

EN PERSONLIG SYN PÅ PSYKOAKUSTIKENS
BETYDELSE I EN AKUSTIKERS VARDAG

HUR UTFORMAS AKUSTIKEN
I FRAMTIDENS KONTOR?

EFFEKTEN AV CORONARESTRIKTIONER
STUDERADE VIA BULLERMÄTNINGAR

LJUdBLADET

EN MEDLEMSTIDNING FRÅN SVENSKA AKUSTISKA SÄLLSKAPET NR 2 2020

TEMA MÄRKVIBRATIONER

KOMFORTSTÖRANDE
VIBRATIONER OCH BEHOVET AV EN
NATIONELL BERÄKNINGSMODELL

AVSTÄNDSDÄMPNING AV
VIBRATIONER I LERMARK FRÅN
TÅGPASSAGER ÖVER VÄXLAR

Innehåll

NR 2 2020

3 Ledare

Ordförande Hans har ordet

5 Avståndsdämpning av vibrationer i lermark från tågpassager över växlar

Fråga om markvibrationer som ledde till ett gediget examensarbete

8 Hur utformas akustiken i framtidens kontor?

Hur ett modernt kontor ska utformas efter kundens behov och -kanske- bristfälliga standarder

9 Effekten av Coronarestriktioner och rekommendationer från myndigheter studerade via bullermätningar i centrala Stockholm

Bullerkartläggning av en delvis nedstängd stad i pandemitider

12 Komfortstörande vibrationer och behovet av en nationell beräkningsmodell

Behovet av en gemensam beräkningsmodell identifierades för länge sedan med fortfarande saknas en standardiserad modell

14 Ibland kan vi inte förnimma det vi mäter och ibland kan vi inte mäta det vi förnimmer

En personlig syn på psykoakustikens betydelse i en akustikers vardag

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:-

Studerande: gratis (LjudBladet endast i pdf-format)

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

Annon priser 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@chalmers.se

Maria Quinn, maria.quinn@ecophon.se

Valberedning 2020

Anders Schönbeck, Mats Åbom

Revisorer 2020

Björn Tunemalm, Peter Pettersson

LJUDBLADET NR 2 2020

ISSN 1403-2317

Grafisk form Christoffer Leijon, CC Design & Media

Teknisk produktion Allduplo Offsettryck AB

Ansvarig utgivare Hans Bodén KTH, 100 44 Stockholm

Just nu pågår *Forum Acusticum* som en online-konferens. Traditionellt har *European Acoustics Association* (EAA) sin *General Assembly*, där ordförandena i de nationella medlemsföreningarna deltar, på söndagen innan konferensen börjar. Så var också fallet den här gången men istället för ett möte på plats i Lyon så sköttes det online via *GoToMeeting*. Många av oss tillbringade ju mycket tid på *Zoom*, *Teams* eller *GoToMeeting* som läget är nu med varierande resultat. I fallet med EAAs *General Assembly* var en fördel att deltagandet var mycket mer komplett än det brukar vara när man måste vara på plats på konferensen för att delta. Så jag tillbringade en gråmulen decembersöndag framför datorn och kan lämna en kort rapport om några punkter som kan vara av intresse för våra medlemmar:

EAA tänker försöka få fler företag att bli så kallad *Sustaining Members*. Samtidigt inför man en modell som innebär om ett företag från ett medlemsland blir *Sustaining Member* och bidrar med en viss summa till EAA så räknas en fjärdedel av denna av från avgiften som varje nationell förening betalar till EAA.

I början på detta år sades avtalet mellan EAA och Hirzel upp när det gäller *Acta Acustica united with Acustica (AAuA)* och EAA började ge ut *Acta Acustica open source* via en annan förläggare. Detta ledde till en konflikt där Hirzel blockerade tillgången till arkivet med artiklar i *AAuA* för våra medlemmar. Hårda förhandlingar har förts mellan EAA och Hirzel på slutet med hjälp av en tysk advokat men man har inte kunnat komma överens eftersom Hirzel ställer oresonliga

ekonomiska krav. Man vill ha över 75 000 Euro vilket motsvarar kostnaden för att gå in och köpa tillgång till varje enskild artikel.



Hans Bodén

E-post: hansbod@kth.se

Mobilnummer: 070-694 49 62

EAA tänker öppna en egen plattform och göra gamla artiklar tillgängliga något man anser sig ha laglig rätt till. Samtidigt tänker Hirzel tydligen börja ge ut en ny tidskrift under namnet *Acustica*. Vi får återkomma med mer detaljer senare.

När det gäller *EuroNoise* planerar organisatörerna fortfarande att genomföra konferensen på plats i Funchal på Madeira men att flytta datumet till oktober eller november 2021.

International Year of Sound 2020 förlängs till att omfatta hela 2021. Det går att hitta information på sound2020.org

I förra numret av *LjudBladet* skrev jag att Corona-pandemin förutom alla andra effekter nog har inneburit att det blivit tystare i samhället. I det här numret av *LjudBladet* skriver Romain Rumpler från KTH om en studie som visar vad som händer med ljudnivån i Stockholms innerstad under pandemin i våras.

Vår Ljuddag genomfördes som en halvdag online tisdag 27 oktober, med ett antal bra föredrag och med 2019 års Ljudpristagare Mendel Kleiner som huvudnummer. Efter omständigheterna var det ett lyckat evenemang.

Slutligen vill jag påminna om nomineringar till Ljudpriset och Ljudmiljöpriset 2020.



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



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

AVSTÅNDSDÄMPNING AV VIBRATIONER I LERMARK FRÅN TÅGPASSAGER ÖVER VÄXLAR

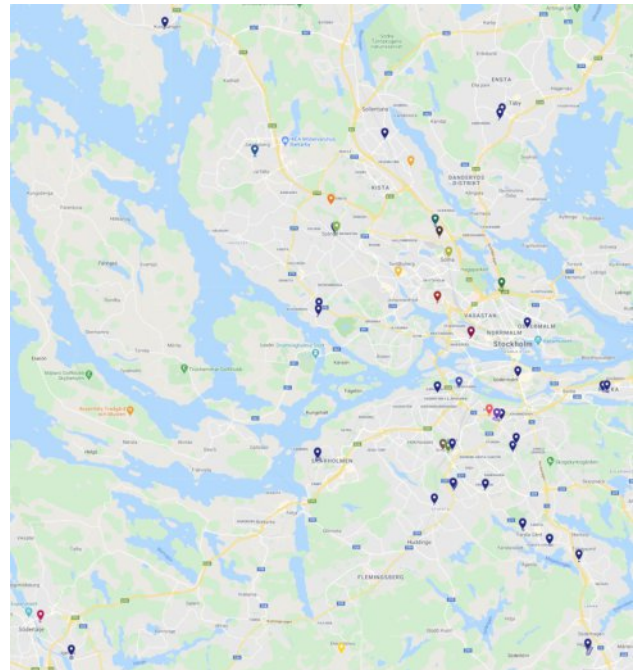
I samband med nybyggnad på tidigare oexploaterad mark invid järnvägsspår behöver bedömningar göras av risken för kännbara vibrationer i byggnaden. Frågan blir i regel aktuell när det handlar om lös mark som lera. Vi har under de senaste åren mätt på ett stort antal platser i Stockholm, dels på berg, dels på lera, och byggt upp en gedigen erfarenhetsbas, se Figur 1. Genom det systematiska arbetet har vi också kunnat identifiera ett antal frågor som behöver utredas mer.

En sådan fråga är avståndsdämpning från tågpassager över växlar på lermark. Av det skälet initierade vi ett examensarbete som utfördes respektive handleddes av artikelförfattarna, tillsammans med KTH (MWL) under våren 2020. I artikeln ges bakgrunden till arbetet, problembeskrivningen av markvibrationer i förhållande till komfortvibrationer i byggnader, samt en kort sammanfattning av resultaten.

Bakgrund

Ett tåg som kör över en växel kan anses vara en kraftkälla för både berg och lös mark inom rimliga gränser för markens beskaffenhet. Till följd av ojämnheten som växeln utgör exciteras tåget. Grovt förenklat kan tåget betraktas som bestående av massor sammankopplade med en primär och sekundär fjädring. När systemet exciteras underifrån med en föreskriven rörelse svarar det med en kraft mot marken. Lös mark, som har en högre mobilitet än berg, kommer att svara med en större rörelse och energitransmission. Det visar sig vid mätningar att en stark frekvenskomponent registreras i marken i området kring 10 Hz i samband med tågpassager över växlar, vilket kan härröras till tågets primärfjädring. Det är ett frekvensområde där människor är känsliga för vibrationer, samt där man kan förvänta sig att bjällklags lägsta egenfrekvenser kan uppträda.

Sammantaget finns det anledning att vara vaksam på hela kedjan när dessa problem ska hanteras. I dagsläget saknas betydande fysikalisk kunskap för att hantera frågan beräkningsmässigt från källan till färdig byggnad. Som alltid är indata en springande punkt, men storleksordningen går åtminstone att ringa in med utförliga mätningar och modeller likt den här presenterade. Detsamma gäller markens beteende. En väsentlig del som det fortfarande saknas kunskap kring är överföringen mellan markvibrationer och stomme när byggnaden inte endast är en ”flytande” enhet placerad direkt på marken. Närmare bestämt avses överföringen från mark till pålar i en reell kontext. Forskning kring detta pågår för



Figur 1: Platser i Stockholm där ACAD utfört markvibrationsmätningar.

närvarande på KTH (Byggetenskap) men ännu är inte resultaten tillgängliga, och sannolikt kommer inte arbetet kunna ge alla svar i ett första skede. Tills vidare behövs i varje projekt alltid en erfarenhetsbedömning kopplat till förståelsen av systemet och dess ingående komponenter.

Startpunkten i bedömningen är de fria vibrationerna, dvs vibrationerna på den obebyggda marken. Dessa erhålls antingen genom mätning, förutsatt att tåget redan finns, eller genom andra bedömningar ifall mätning inte är möjligt. Är vibrationerna försumbara i jämförelse med kraven kan problemet med kännbara vibrationer möjligen avfärdas tidigt. Det görs ofta i ett läge då huset ska byggas på berg (ibland inträder då istället frågan om stomljud). Ifall vibrationerna bedöms som potentiellt problematiska med avseende på kännbara vibrationer, tar i regel ett större utredningsarbete vid. En viktig del handlar då om att bedöma de fria vibrationerna vid den aktuella platsen skild från mätplatsen. Oftast är det praktiskt i ett tidigt skede, och inte sällan det enda möjliga, att mäta nära tåget för att få tydliga signaler och sedan extrapolera till olika platser där byggnaderna ska stå. Den här presenterade modellen är framtagen just för den delen av problemet.

Utfört arbete

Att prediktera avståndsdämpningen kan vid första anblick te sig någorlunda enkelt, teoretiskt genomförbart, och inte kräva större mätinsatser. Snabbt inser man dock behovet av rimliga värden på materialparametrarna för att korrekt beskriva den frekvensberoende markimpedansen. Därtill kommer behovet av kunskap om den frekvensberoende indatan.

Sådana uppgifter erhålls endast med säkerhet genom mätningar. I ett förarbete till modellskapandet, samt vid tillämpningen av modellen, ingår också att bilda sig en uppfattning om vad för sorts modellegenskaper som är lämpliga. Modellarbetet kräver alltså tidiga mätningar för bedömningar av lämplig metod, samt för uppskattning av rimliga materialdata.

Mätningar

Mätningar utfördes i den lösa marken i ett antal punkter på ökande avstånd från en växel, och ett antal tågpassager registrerades. Dessa analyserades och en modell skapades för att beskriva avståndsdämpningen som ett Running RMS-värde över tid, resultatet för de högsta tidpunkterna kan ses i Figur 2. Det kan ses att avståndsavstagan sprider över passagerna, i synnerhet på nära avstånd. I regel faller amplituden med mer än kvadratroten av avståndet, och till och med mer än linjärt med avståndet för vissa passager.

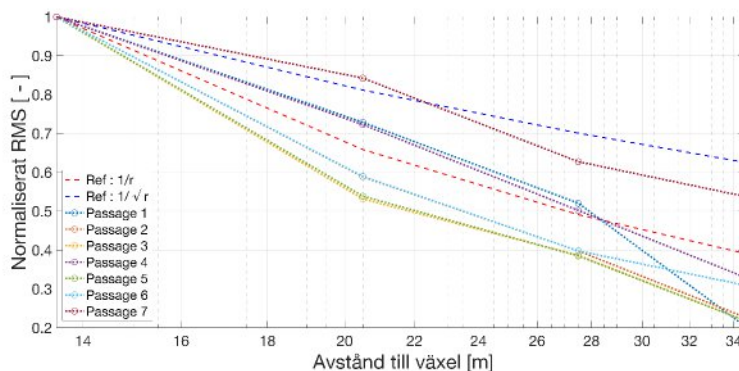
Modell

Ifall marken kan antas vara linjärelastisk och isotrop för de aktuella vibrationerna medför det enklare modeller. Naturligtvis är marken alltid inhomogen då det alltid finns olika lager under leran; längst ner möter vi berget. Det här arbetet utgick inte desto mindre just från en homogen, linjärelastisk och isotrop halvrymd.

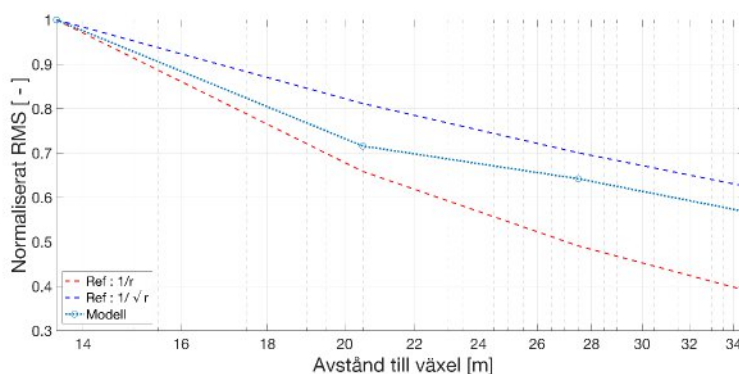
I marken finns volyms-vågor: skjuv- och dilatationsvågor som avtar med avståndet inne i marken. Dessa vågor avtar med kvadraten av avståndet på ytan där det också finns Rayleigh-vågor som avtar med kvadratroten av avståndet [Miller]. Med dissipation, som alltid är frekvensberoende, avtar vågornas amplituder fortare.

En rörlig källa modelleras i Matlab där sliprar och en växel ingår. För växeln ges en kraft av en enkel massafjäder modell av tåget exciterat av en given förskjutning vid varje hjulpassage. För varje sliper ansätts en tidsberoende kraft på marken. Dessa pulståg fouriertransformeras till frekvensdomänen där en analytisk lösning finns i form av en inverstransform i vågtalsdomänen [Miller]. Denna integral beräknas enkelt i Matlab för små avstånd (då Helmholtz-tal, dvs skjuv-vågtalet gånger avstånd, är litet). För större avstånd är integralen numeriskt instabil och en asymptotisk lösning för Rayleigh-vågens bidrag används [Miller]. Slutligen inverstransformeras responsen till tidsdomänen för att därefter Wm-filtreras och utvärderas som Running RMS.

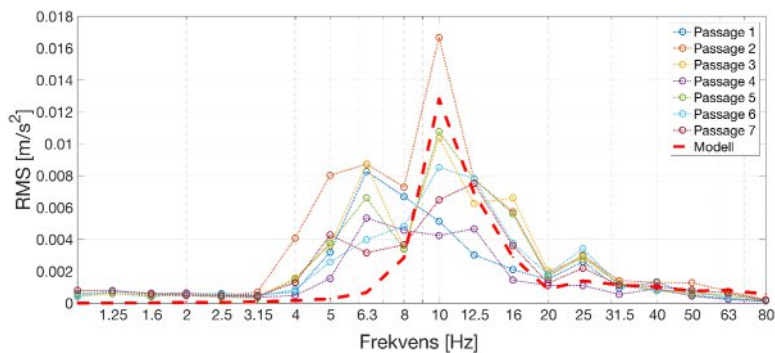
Resultaten som kan jämföras med mätningarna kan ses i Figur 3 och Figur 4. Det avgörande värdet är maximal nivå, RMS med utvärdering 'slow'. Vår bedömning är att de speglar väl de slutsatser vi vågar dra från mätningarna, angående avståndsavtagande.



Figur 2: Avståndstagandet som Wm-filtrerat Running RMS (acceleration) för passager över växeln. Värdena för samtliga passager är normaliserade mot det närmsta avståndet till växeln.



Figur 3: Avståndstagandet för modellen som Wm-filtrerat Running RMS (acceleration) för passage över växeln. Värdena är normaliserade mot det närmsta avståndet till växeln.



Figur 4: Wm-filtrerat Running RMS (acceleration) i tersband för modellerade och uppmätta passager över växeln, presenterade för det högsta värdet i passagen.

Kommentar till resultaten

Nyttan av en modell likt denna som baseras på att marken är en homogen semi-infinit halvrymd kan egentligen bara utvärderas genom att den testas och itereras på olika platser. Trots att modellen utgår från mätningar på endast en plats verkar den emellertid fånga verkligheten hyfsat väl. Det stöds av att modellen inte har parameteroptimerats för att matcha mätdata men ändå visar en hyfsad överensstämmelse. Ett skäl till att det fungerar väl på längre avstånd från källan kan antas vara att där dominerar Rayleighvågorna, i och med att dessa avtar långsammare med avståndet än tryck- och skjuvvågorna. På kortare avstånd kan man tänka sig att närfältet dominerar

och detta är mer känsligt för den exakta beskrivningen av kraftfältet mellan räls och mark.

Referenser

Fredrik Lindström, "*Attenuation of structure-borne vibrations induced by trains passing railway switches*". 2020. KTH.

Miller and Pursey, "*The field and radiation impedance of mechanical radiators on the free surface of a semi-infinite isotropic solid*". Proc Roy Soc. Series A. 223.1155 (1954), pp. 521–541.



Peter Blom

Tekn. Dr. teknisk akustik, akustiker
ACAD-International AB
peter.blom@acad.se



Svante Finnveden

Docent strukturakustik, akustiker
ACAD-International AB
svante.finnveden@acad.se



Fredrik Lindström

Civilingenjör teknisk akustik, akustiker
ACAD-International AB
fredrik.lindstrom@acad.se

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

Moderna kontor passar inte mallen för hur vi designar och utvärderar akustik. Telefonen är ett av våra käraste arbetsredskap och många sitter i öppet landskap. Våra kunder anser ofta att utformningen blir för statisk och kraven för höga. Vi anser att taluppfattbarhet är den viktigaste parametern att studera i kontor. Detta hoppas vi kan lösa med att utforma en god akustik i kontor som inte följer mallen med korridor och rum eller stora kontorslandskap.

Hur ett modernt kontor ska utformas har länge varit en het potatis. Kontoret har gått från att ha varit baserat på en korridor med rum på båda sidor, till att vara aktivitetsbaserat med många andra lösningar däremellan, till exempel ett klassiskt kontorslandskap med eller utan varianter av skärmväggar.

Ett mötesrum har traditionellt varit ett fyrkantigt rum med ett bord och stolar. Med tiden fylldes detta på med en whiteboard som kompletterades med en projektor och slutänden blev det en stor skärm. Under tiden har diverse videokonferensutrustning passerat, blivit Lync och sen Skype, vidare till Teams-rum eller Zoom.

Med Covid-19 har denna utveckling tagit ett nytt steg, då många ser sig mer eller mindre jobba hemifrån under resten av sitt arbetsliv och videokommunikation används konstant.

Trots att kontoren förändras konstant har de akustiska kraven som ställs på kontor i stort sett stått stilla i 20

år i Sverige. Vi vet att det arbetas för fullt med en revidering av SS 25268:2007 och vi tror att det är dags för oss akustiker att tänka om vad gäller de krav vi ställer på kontoren. För hur ljudnivå från trafik och andra yttre bullerkällor, stegljudnivå och ljudtrycksnivå inomhus från installationer har vi under åren inte fått några större synpunkter på hur kraven är utformade, men för rumsakustik och luftljudsisolering får vi många kommentarer.

Här är några av dem:

- Krav på luftljudsisolering mellan kontorslandskap och andra utrymmen är för högt satt. ”Det blir pansarglas” har förmodligen sagts eller tänkts av mer än en beställare. ”Kan vi inte använda glasdörr går det inte” har också dykt upp då och då.
- ”Ska ni täcka HELA väggen med absorberter?” och ”Vi kan inte ställa några krav på akustik med möbleringen inräknad” har också sagts om rumsakustik i kontorslandskap.
- ”Vad står det i standarden om Skype-rum?”

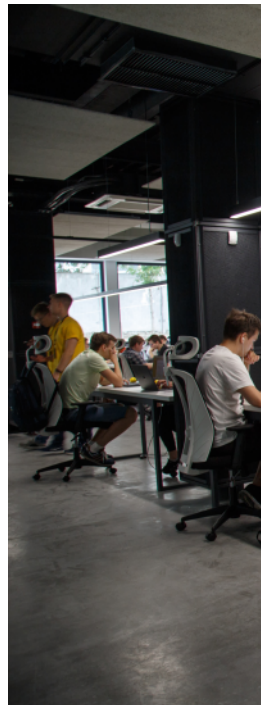
Vi inser ju att kunden har rätt och eftersom vi knappt själva förstår hur vi ska utforma kontoren är ju chansen ganska liten att de förstår vad vi vill förmedla. Om inte standarden är utformad för att hantera kontorslandskap med 3,8 meter i takhöjd, öppet mellan våningarna och liknande moderniteter som Skype-rum och lounge-yta, måste vi hitta alternativa lösningar för en god ljudmiljö på kontoren. Detta har föranlett oss till att titta på de krav som ställs i andra länder

och hur de väljer att tackla dessa problem - när vi projekterar nya kontor.

Taluppfattbarheten i ett kontor är kanske det viktigaste måttet för hur bra den akustiska miljön är. En god eller utmärkt taluppfattbarhet i de rum som används för samtal är att eftersträva och en låg taluppfattbarhet mellan arbetsplatser i det öppna landskapet

är ett bra mått för att förhindra överhörning mellan dem.

I vårt grannland i öst har forskningen och utvecklingen av taluppfattbarhet som bedömningsparameter kommit betydligt längre och införts och bedöms i standarden för nya kontor (Open-plan offices - New Finnish room acoustic regulations, Hongisto och Keranen, 2018).



Störavstånd r_D (avstånd från talaren där taluppfattbarheten sjunker under 0,5 och mottagaren ej längre störs av enskilda individers tal) och *Privat avstånd* r_p (avstånd från talaren där

taluppfattbarheten sjunker under 0,2 och mottagaren inte kan uppfatta vad som sägs i tal från talaren), är viktiga parametrar för att bedöma kvalitén på akustiken inom ett kontor.

Vi anser att dessa parametrar bör studeras vidare i utformningen av en ny standard i Sverige då beräkningar och mätningar av taluppfattbarhet har visat sig ha hög överensstämmelse med varandra och den faktiska upplevelsen i kontoret. Att införa detta öppnar nya möjligheter både för oss akustiker och de personer som jobbar med att utforma kontor, såsom arkitekter och inredningsdesigners.



Viktor Ek

Senior Akustikkonsult
Brekke & Strand Akustik AB

vek@brekkestrand.se



Romain Rumpler (KTH)

rumpler@kth.se

Siddharth Venkataraman (KTH)

sidven@kth.se

Peter Göransson (KTH)

pege@kth.se

EFFEKTEN AV CORONARESTRIKTIONER OCH REKOMMENDATIONER FRÅN MYNDIGHETER STUDERADE VIA BULLERMÄTNINGAR I CENTRALA STOCKHOLM

I nom det Europeiska projekt CIVITAS Eccentric och EIT Urban Mobility ZEUS, har ett antal mikrofoner placerats ut på flera strategiska platser i Stockholm. Syftet är att mäta trafikbullret i staden och samtidigt undersöka om möjligheten att tillåta leveranser med tyngre fordon på natten. En av dessa utvalda platser är i en vältrafikerad korsning vid Medborgarplatsen i centrala Stockholm. Vi som arbetar med projektet beslutade oss för att se om våra ljuddata kunde visa hur Sveriges mjukare nedstängning med rekommendationer i stället för total lock-down fungerade i praktiken i ett sådant aktivt område [1]. Mätplatsen visas i figur 1 på en bullerkarta över området.



Figur 1. Bullerkarta över Medborgarplatsen. Ju ljusare färg, desto mer buller. Mätplatsen visas i grönt. Foto: Sacha Baclet

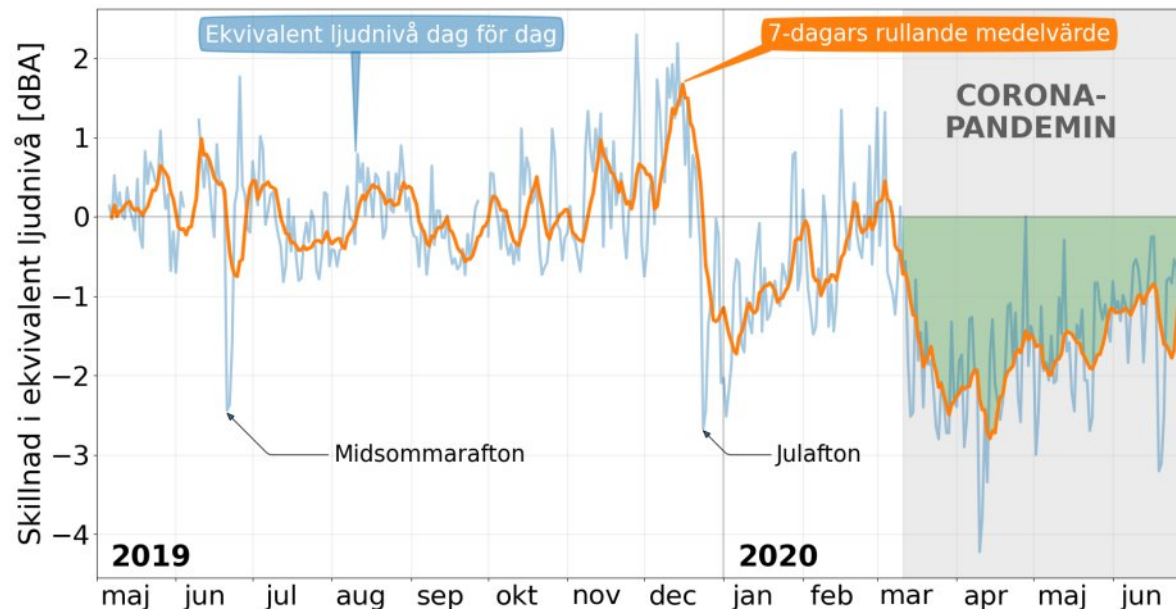
Dessa data, som sträcker sig från våren 2019 till sommaren 2020, visar att aktiviteten i området sjönk drastiskt den vecka i mars då Folkhälsomyndighetens första rekommendationer utfärdades. Redan helgen vecka 10, några dagar innan förbudet för offentliga sammankomster med fler än 500 personer trädde i kraft [2], sjönk bullernivån runt Medborgarplatsen i centrala Stockholm. Under veckorna som följde fortsatte sedan bullernivån på helger att sjunka snabbare än bullret på vardagarna.

I samband med Folkhälsomyndighetens rekommendationer vecka 11 och 12 om att stanna hemma, inte åka kollektivt, jobba på distans och studera hemifrån, sjönk bullret ytterligare på vardagarna och landade på motsvarande normala helgnivåer.

Detta visas i Figur 2, där fluktuationerna av motsvarande bullernivåer i förhållande till referensgenomsnittsnivåerna för 2019 markeras.

Förändringen var tydlig både på veckodagar och helgdagar, vilket visar att rekommendationerna påverkade både arbetslivet och nöjeslivet i området. Ljudvolymen var vid månadsskiftet mars/april i nivå med de tystaste dagarna på året, midsommarafton och julafton. Från andra hälften av april började bullernivåerna långsamt öka på både vardagar och helger. Detta kan tyda på att stockholmarna gradvis började återgå till sina tidigare aktiviteter, vilket möjliggjordes då myndigheternas rekommendationer inte var tvingande. I slutet av den studerade perioden, vecka 27, nådde bullret den högsta nivån. En nivå som ändå var minst 1 dB lägre än normalt jämfört med samma vecka 2019.

Denna inledande studie, som presenteras mer detaljerat i december 2020 numret av den vetenskapliga tidskriften Sustainable Cities and Society [1] fortsätter för närvarande med en pilotstudie för att mäta hur bullernivåerna förändras under dygnet på hela Södermalm. Tanken är att tillgång till realtidsdata om bullernivåer gör det möjligt för de som rör sig i staden att undvika platser där det är mycket folk i situationer då det är viktigt, till exempel under pandemier.



Figur 2. Bullermätningen från våren 2019 till sommaren 2020, med referens till bullernivåerna i genomsnitt mellan april 2019 och november 2019.

Referenser

- [1] Rumpler, R., Venkataraman, S., & Göransson, P. (2020). *An observation of the impact of CoViD-19 recommendation measures monitored through urban noise levels in central Stockholm, Sweden*. Sustainable cities and society, 63, 102469. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102469>
- [2] Folkhälsomyndigheten (2020). *Förslag: Inga allmänna sammankomster med fler än 500 personer*. Presskonferens, 2020-03-11 (Senast åtkomst 2020-11-02) <https://www.folkhalsomyndigheten.se/nyheter-och-press/nyhetsarkiv/2020/mars/forslag-inga-allmanna-sammankomster-med-fler-an-500-personer>



Romain Rumpler
Ljud och vibrationer (MWL)
Kungliga Tekniska högskolan
rumpler@kth.se



Siddharth Venkataraman
Ljud och vibrationer (MWL)
Kungliga Tekniska högskolan
sidven@kth.se



Peter Göransson
Ljud och vibrationer (MWL)
Kungliga Tekniska högskolan
pege@kth.se

INNOVATIVE SOUND INSTRUMENTATION MADE IN NORWAY



När jag 1999 började arbeta som akustikkonsult satte min seniora kollega mig att läsa de nordiska beräkningsmodellerna för buller från väg- och järnvägstrafik innan jag började räkna. Det kändes bra att det fanns en fastslagen beräkningsmodell som var beprövad och vedertagen. Då kunde jag känna mig trygg med att om jag gjorde rätt i mina beräkningar så fick jag rätt resultat. Det var värre när det gällde vibrationer från tågtrafik till byggnader, vi kunde mäta under befintliga förhållanden men inte beräkna värden från framtida trafik. Men, tänkte jag då, det kommer säkert snart att finnas en beräkningsmodell fastställd av myndigheterna.

Vibrationer i mark orsakade av trafik

Under mina drygt 20 år i branschen har jag lärt mig en hel del om markvibrationer. De uppstår av att den rörliga kraften från tåget pressar ner marken under banan. Ju större ofjädrad massa, dvs. massa av de delar av tåget som sitter under fjädningen (hjul, axlar, bromsar, boggi, drivning mm.), desto större krafter och därmed större vibrationer i marken under banan. Vibrationskrafterna ökar också av ojämnheter i spår som exempelvis spårskarvar och växlar. En styv bankropp bidrar med en motståndskraft mot rörelser. En hög bank av sprängsten rör sig mindre än en låg bana av jord. Hur stora rörelserna blir i marken under spåret påverkas i allra högsta grad av de geologiska förutsättningarna. Ett löst material (lera, gyttja) har en helt annan eftergivlighet än ett friktionsmaterial (sand, morän, grus) vilket betyder att lösa material ger förutsättning för att starka vibrationer skapas.

För vägtrafik är de principiella förhållandena de samma men på grund av fordonens lägre vikt, och det faktum att de har relativt mjuka hjul, är problematiken generellt mycket mindre. Höga vibrationsnivåer kan uppstå vid mycket lösa leror i kombination med ojämnheter i vägbana som brunnar och farthinder. Det krävs emellertid generellt mycket begränsade avstånd mellan väg och byggnad för att vibrationsproblematik ska uppstå.

De vibrationer som skapas under banan kommer att vilja sprida sig för att jämna ut de spänningar som uppstår i materialet. På samma sätt som under bankroppen kommer en lös lera att transportera vibrationsvågen långt och utan stora energiförluster. Jag brukar tänka på det som när jag dänger till en geléefterrätt med skeden, den bara böjer sig för slaget och skakar länge. Om vi jämför med en mark bestående av sand så har denna mycket större intern friktion. Sandkornen hakar i

varandra och vill inte komma i svängning. Jämför det med att slå till en påse socker med skeden. Innehållet är kemiskt ganska nära gelén men strukturen på kornen gör att de inte kommer i svängning. Därför behöver vi veta vilka geologiska förhållanden som råder mellan spåret och den punkt vi vill studera.

Utbredningen av vibrationskraften i marken är i princip sfärisk, dvs logaritmiskt avtagande med avståndet mellan källa och mottagare. Detta samband förutsätter att marken är homogen, vilken den sällan är. I övergång mellan olika jordarter kan det bli skärmning och reflektion och när vi når berg upphör spridningen nedåt och utbredningen blir snarare cylindrisk. En extra ovälkommen effekt kan uppstå om jorddjupet ner till fast berg minskar närmare mottagaren vilket gör att alla vibrationer trycks upp mot ytan och blir starkare.

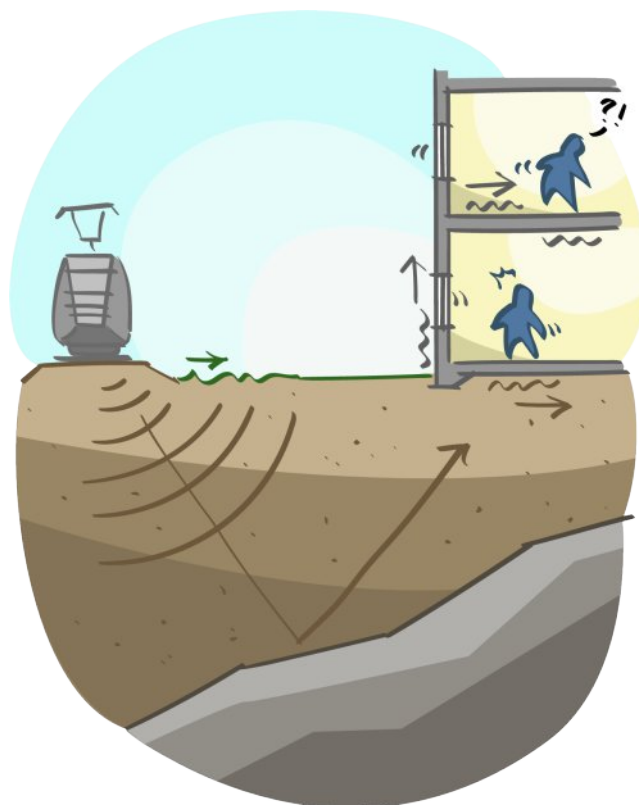
Samhällets krav och avsaknad därav

Vi bryr oss oftast inte om vibrationer i mark men är mycket känsliga för vibrationer inomhus. 0,3 mm/s, komfortvägd vibration, är känseltröskeln enligt svensk standard 460 48 61. Undre gräns för måttlig störning är 0,4 mm/s och det räknas som sannolik störning vid nivåer över 1,0 mm/s. Trafikverket tillämpar 0,4 mm/s som riktvärde i bostad vid nybyggnation av järnväg och väg. Trafikverket anser även att samma värde ska tillämpas om ett bostadshus byggs intill statlig järnväg eller väg. Intressant att notera är hur nära riktvärdet ligger känseltröskeln. Om vi jämför med riktvärden för buller avseende maximal ljudnivå under en fordonspassage är den 45 dBA. Hörseltröskeln är 0 dBA i laboratorium och för ett helt oskadat öra, och någonstans i storleksordningen 15-20 dBA i en vanlig boendemiljö. Vår tolerans mot kännbara vibrationer är med andra ord mycket lägre jämfört med hörbara ljud. Konstigt nog ställer Boverket inte några egna krav på vibrationer i byggnader i sina Byggregler!



Vibrationer inomhus

De vibrationer som vi reagerar på är de som uppstår inomhus på de bjälklag där vi står, sitter eller ligger. Alltså måste vi ha förståelse för hur vibrationen sprider sig från marken till ett bjälklag. Grundläggningen av en byggnad är av helt avgörande betydelse för kopplingen mellan mark och byggnad. En byggnad som är grundlagd på mark, tänk platta på mark eller torpargrund, kommer att ha en mycket låg motståndskraft mot vibrationer i marken. Den kommer helt enkelt att följa med markens rörelser och "gunga med". Om byggnaden i stället är pålad ner till fast mark dess vikt på underliggande berg och inte på den vibrerande marken. Byggnaden står då stilla medan den omgivande marken rör sig. Även byggnadsstommens konstruktion påverkar vibrationerna i bjälklaget. Ett styvt bjälklag kommer inte lika lätt i svängning som ett slant bjälklag. Skillnaderna mellan respons på en inkommande vibration i ett träbjälklag med stor spännvidd, och ett betongbjälklag med kort spännvidd, är typiskt en faktor tre. Ett högt hus kan även komma i rörelse i horisontalled om styvheten inte är tillräcklig för att hålla emot. Denna effekt ökar med ökande antal våningsplan.



Behov av en gemensam beräkningsmodell för komfortstörande vibrationer

Texten ovan visar på att kunskapen om vad som styr vibrationsnivåer i byggnader är kända men problemet kommer när vi ska sätta ett värde på nivån för jämförelse med riktvärdet. Till stor irritation för branschen har det fortfarande inte tagits fram en gemensam beräkningsmodell som kan användas vid samhällsplanering, mer än 20 år efter att de beräkningsmodeller som vi använder för luftburet buller senast reviderades. Hur kan Trafikverket beställa vibrationsutredningar från konsultbranschen utan att specificera hur de vill ha dem utförda? De flesta konsultfirmor har egna beräkningsmodeller som de tagit fram utifrån de data de har samlat på sig under åren men de redovisar aldrig hur beräkningarna är utförda med hänvisning till att det är företagshemlighet och konkurrensfördel att ha en modell. Jag vågar nog påstå att det även spelar in att vi kan känna att våra modeller varken vilar på fysikaliska modeller eller empiriska bevis som är odiskutabla. Hur kan Trafikverket acceptera att vibrationsutredningar utförs i en svart låda utan insyn? För att inte tala om den helt uppenbara risken med ett rättsosäkert läge där olika utredare kan komma fram till olika resultat. Hur kan Naturvårdsverket, som ansvarar för att människor inte utsätts för en miljö som skadar deras hälsa, acceptera att det inte finns en nationell samsyn på hur vibrationsutredningar ska hanteras? Hur kan Boverket, som ansvarar för att alla bostäder som byggs i Sverige medför god boendemiljö, acceptera att dessa hus, i bästa fall, byggs baserat på en

vibrationsutredning utan evidens? Varför ställer kommunerna, som har planmonopol och ansvarar för alla bostäder som byggs, inte krav på att en fråga som vilka vibrationsnivåer som kommer att uppstå i de nya byggnaderna, utreds på ett tillfredställande sätt?

Min poäng, och uppmaning, är att det är hög tid att Trafikverket, Naturvårdsverket och Boverket tar ansvar för situationen och påbörjar ett arbete med att utveckla en nationell beräkningsmodell för komfortvibrationer i byggnader, orsakade av väg- och järnvägstrafik. Jag tror att jag inte bara pratar för Sweco när jag säger att vi inom konsultbranschen gärna bistår i arbetet med att ta fram en modell, men initiativet måste komma från de myndigheter som ansvarar för frågan. Jag hade tänkt att jobba med det här i 20 år till och hoppas verkligen inte att vi kommer och sitta med hemsnickrade överslagsmetoder när jag går i pension.

Illustrationer av Linnea Jansson



Henrik Naglitsch
Sweco Environment AB
henrik.naglitsch@sweco.se

IBLAND KAN VI INTE FÖRNIMMA DET VI MÄTER OCH IBLAND KAN VI INTE MÄTA DET VI FÖRNIMMER

Alice Hoffmann
(Brekke & Strand)
aho@brekkestrand.se

- En personlig syn på psykoakustikens betydelse i en akustikers vardag

Klassisk akustik utgår från den fysikaliska beskrivningen av ljud som vågor och hur vi kan mäta det. Men i vardagen går vi människor inte runt med mikrofoner, accelerometrar analysatorer för att koda av vår omgivning. Vad vi har är vår kropp och dess sinnen med vilka vi förnimmar vår omvärld. Med vår hjärna kan vi processa dessa förnimmelser och jämföra med tidigare erfarenheter som finns lagrade i vårt minne.

Vår hörsel har begränsningar: Under en viss nivå (hörtröskeln) hör man inget ljud och över en viss gräns (obehagströskel) orsakar ljudet smärta. Vi hör också bara i ett visst frekvensområde som beror på ålder och vilka ljud man har varit utsatt för. Å andra sidan kan vi använda oss av våra två öron och en än så länge oslagbara signalanalys tack vare våra hjärnor.

För att anpassa oss i praktiken efter hur vi uppfattar ljud använder vi dB-skalan och olika vägningar. Eftersom det ljudtrycksområde som är mest relevant för oss är så stort (dynamiken av vår hörsel): från ca. 20 μ Pa till 20 Pa och för att

det för hörseln, liksom för alla våra sinnen, gäller att fysiskt stimuli inte är linjärt utan logaritmiskt proportionellt mot upplevt stimuli använder vi den logaritmiska decibelskalan. Om man tänker tillbaka på början av sin karriär in i akustikens värld så känns detta för de mesta inte som en naturligt val. Det tar tid att vänja sig vid att tänka i dB, men det gör det mycket enklare att förstå akustiska problem.

De mest använda vägningarna är A- och C-vägning. Dessa är tagna från hörselkurvor (equal loudness curves) och anpassade till dåtidens filterteknik. I tillägg så gäller hörselkurvan bara för rena toner, och det har man sällan i praktiken. Idag används de ofta utanför sin ursprungliga kontext. Man använder A- vägningen (baserad på 40 dB hörsel-linjen) oberoende av ljudnivån. C -vägning används för att ta hänsyn till låga frekvenser, även om den egentligen är till för höga nivåer runt 100 dB. Det har dock visat sig i praktiken att den nutida användningen fungerar "rätt bra" även om den aldrig utvecklades specifikt för lågfrekvent ljud. Dessutom har vi idag mycket bättre metoder tillgängliga, exempelvis olika hörselmodeller och loudnessmodeller.

Ecophon Focus™ Levels

Ljudabsorption i olika nivåer



Två viktiga effekter som gör att vår uppfattning skiljer sig från mätning är "just noticeable differences" (JND) och masking. Båda kan tas hänsyn till i psykoakustiska modeller.

"Just noticeable difference" är ett mått på vilken förändring i ett ljud vi kan uppleva. Och om man känner till det så hjälper det ju om en förbättring/försämring kommer påverka eller inte. De kanske viktigaste JND för en akustiker är de som avser ljudnivå och frekvens. I avseendet ljudnivå kan vår hörsel urskilja avvikelser på mellan 0,2 och 1 dB beroende på den totala ljudnivån, typ av ljud och situation. För frekvens beror det väldigt mycket på situationen. Vi kan notera väldigt små skillnader i frekvens om båda tonerna spelas samtidigt då hörseln använder interferenseffekter. JND avseende frekvens uttrycks, snarare än i absoluta frekvenstal, med en procentsats i relation till den frekvens man jämför med och denna procentsats brukar ligga runt 0,7 %.

Masking beskriver effekten av att ett ljud kan döljas av ett starkare ljud. Detta kan ske både i tid och frekvens. Ju mer lika två ljud är desto mer sannolikt är det att vi bara känner av det som låter starkare. Detta används exempelvis i algoritmer för datareducering för musik.

Ett annat exempel är modulerade ljud. Beroende på modulationsfrekvensen är upplevelsen helt annorlunda. I psykoakustiken kan därför samma fysikaliska effekt uttryckas som tre olika "percept": fluktuation strength, roughness, och tre toner som förändrar sin pitch (upplevd tonhöjd). I tillägg beskrivs de olika sätten att uppleva modulation på samma sätt, oberoende av om ljudet är frekvens- eller amplitud-modulerat. Hur vi beskriver modulationer och skiljer dem åt beror alltså på om vi har ett fysikaliskt eller psykoakustiskt perspektiv.

Liknande fenomen har jag upptäckt i min tidigare forskning om hur man upplever vibrationer. Om man blir utsatt för vertikala helkropps vibrationer med varierande frekvens så beskrivs de inte som en, gradvis varierande känsla (percept) utan som olika slags känslor. Att uppleva låga frekvenser runt 4 Hz beskrivs som att gunga, vaja eller guppa. Frekvenser runt 8 Hz ger en mer skumpande känsla. Med ytterligare stigande frekvens beskrivs vibrationerna som först skakningar och sen skälvnningar för att sedan övergå i en känsla av att det kryper i kroppen och till slut att det kittlas. Även om den fysikaliska stimulus är den samma, så reagerar kroppen varierande på den. De låga frekvenserna sätter hela kroppen i rörelse men enskilda kroppsdelar har olika resonansfrekvenser som kan exciteras vid lite högre frekvenser och ännu högre upp i registret känner man vibrationen bara i kontaktytan mellan huden och det vibrerande föremålet.

Det här visar tydligt att det på individnivå kan variera mycket hur ljud eller vibrationer upplevs eftersom det beror direkt på vår kroppsbyggnad. Men även våra minnen och våra känslor

kan ha en effekt på hur vi upplever ljud. Jag skulle vilja dela med mig av ett självupplevt exempel på hur detta kan ta sig uttryck.

Vid en vandring i fjällen uppmärksammade jag ett ljud som irriterade mig väldigt mycket. Jag tyckte mig höra en motorväg eller i alla fall en större väg, vilket ju dock var omöjligt där jag var, mitt på fjället. Först när jag hade kommit en bit längre på vägen och såg det forsande vattnet förstod jag att det var där ljudet från. Men min hjärna hade mer erfarenhet av trafik än av vilda forsande vattendrag så den associationen kom först. Och i alla fall för mig är det en stor skillnad om jag tänker på en forsande bäck i fjällen eller en motorväg. Det ena tanken är positiv och energigivande, medan det andra är negativt och stressande.

två viktiga effekter som gör att vår uppfattning skiljer sig från mätning är just noticeable differences och masking

Så det finns många olika aspekter av hur vi upplever en situation och ett ljud. Och försvinnande lite av det speglas i en mätning. Speciell när vi bryter ner det till ett eller två tal. I praktiken tror jag många använder någon form av psykoakustiska begrepp i vardagen – om än hemmasnickrade. När man får klagomål på ljudproblem eller diskuterar ljud så handlar det oftast inte om nivåer eller frekvenser men att det låter för högt, att det är ett knackande, brummande eller pipande ljud. Och dessa beskrivningar kan vi som akustiker översätta till att det handlar om vissa frekvenser, mer eller mindre impulshaltigt ljud eller om det generella ljudtrycket är orsaken. Så psykoakustik är inte något nytt främmande, utan ett sätt att formulera och använda kunskap som många redan använder intuitivt. Vi kommer ju inte undan våra mest praktiska mätinstrument – våra öron och vår hjärna.



Alice Hoffmann
Akustikkonsult
Brekke & Strand Akustik AB
aho@brekkestrand.se

Grundläggande referenser

- Kleiner, M. (2011). *Acoustics and Audio Technology*. J Ross Publishing.
Genuit, K. (2010). *Sound-Engineering im Automobilbereich*. Springer.

Referenser till Psychoakustik och Ljudexempel

- Zwicker, E. & Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics. Facts and Models*. Springer.

Referenser till egen forskning

- Hoffmann, A. (2010). *Perception of whole body vibration*. Chalmers University of Technology.
Hoffmann, A. (2016). *Auralization, perception and detection of tyre-road noise*. Chalmers University of Technology

Nyheter i sortimentet...

Ljud och Vibration



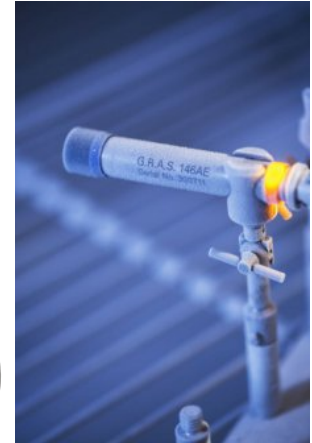
SVANTEK Nya instrument med OLED

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



Komplett 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



MEASURING NOISE & VIBRATION



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