



Skrifter från

Lyssnande Lund
Ljudmiljöcentrum vid Lunds
universitet

Rapport nr 4

Skadliga ljud

Lunds universitet
2006

Publisher: Sound Environment Centre, Lund University

Text © Editorial, Frans Mossberg; individual chapters, the contributors, 2006

This book is licensed under an Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. This license allows users to download and share the article for non-commercial purposes, so long as the article is reproduced in the whole without changes, and the original authorship is acknowledged. (See full terms and conditions here: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

e-ISBN 978-91-89415-35-5

DOI <https://doi.org/10.37852/oblu.148>

ISSN 1653-9354

Publications from the Sound Environment Centre at Lund University Report no.4

Printed in Sweden by Media-Tryck, Lund University, Lund 2006

(Citation, e.g.: Mossberg, F. (Red.) (2006). Skadliga ljud. (Skrifter från Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet; Vol. 4, Nr. 4). Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet., DOI: <https://doi.org/10.37852/oblu.148>)

Information about the Sound Environment Centre, Lund University, can be found here: <https://www.lmc.lu.se/>

Skrifter från
Lyssnande Lund - Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Rapport nr 4

Skadliga ljud

Texter från seminarium den 20 oktober 2006
arrangerat av
Lyssnande Lund – Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Lund 2006

ISSN 1653-9354

Red: Frans Mossberg
Lund 2006

Innehåll

Inledning	1
Stig Arlinger <i>Hörselskador - hur uppstår de och hur kan man förebygga?</i>	2
Kim Kähäri <i>Akustikprojektet i Göteborg</i>	11
Per Hiselius <i>Objekt i öronen - möjligheter och faror</i>	23

Inledning

Det fjärde numret av Lyssnande Lund – Ljudmiljöcentrums rapportserie, har som tema *Skadliga ljud* och är frukten av ett tvärvetenskapligt seminarium arrangerat av centret den 20 oktober 2006 vid Lunds universitet. Detta seminarium hade ett audiologiskt perspektiv och behandlade hörselskador och preventiva åtgärder för att skydda hörseln från att förslitas i förtid.

Stig Arlinger redogör här för hur skador affekterar olika komponenter i hörselorganet och visar fotografier på direkt synbara permanenta skador på snäckans hårceller som orsakats av hög bullerexponering. Stark ljud- och bullerexponering under fritiden, till exempel i samband med konserter, innebär liknande belastning som att utsättas för kontinuerligt högt ljud i en arbetsmiljö, bara att exponeringen i allmänhet enbart varar under kortare tider.

Problemen med höga ljudnivåer i samband med musik behandlas av *Kim Kähäri* som i samarbete med arbetslivsinstitutet undersökt hur ljudmiljö och ljudutrustning på en typisk rockklubb kan förbättras så att den tillfredställer musikernas och publikens konstnärliga krav och samtidigt bevarar hörselhälsan för alla inblandade. Resultaten visar mycket väl att detta låter sig göras med utnyttjande av akustisk kunskap, god vilja och erforderliga ekonomiska medel.

Hur hörseln kan skyddas med hjälp av öronproppar och kvalitativa hörlurar tas upp av *Per Hiselius* som i sitt bidrag beskriver möjligheter och faror med objekt i öronen. Hiselius visar nödvändigheten av att hörselskydd sluter tätt mot huvud eller hörselgång för att de skall fungera tillfredställande och understryker samtidigt farorna med de små hörselgångslurarnas (typ mp3-spelare, mobiltelefoner el. dyl.) möjligheter att skapa mycket höga och således även riskfyllda ljudtryck i den begränsade volym som hörselgången utgör.

Ljudmiljöcentrum tackar samtliga författare för deras bidrag

Lund den 14 november 2006

Frans Mossberg
Koordinator/producent
Lyssnande Lund
Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Hörselskador - hur uppstår de och hur kan man förebygga?

Stig Arlinger, Avd. för Teknisk audiologi, INR, Hälsouniversitetet i Linköping

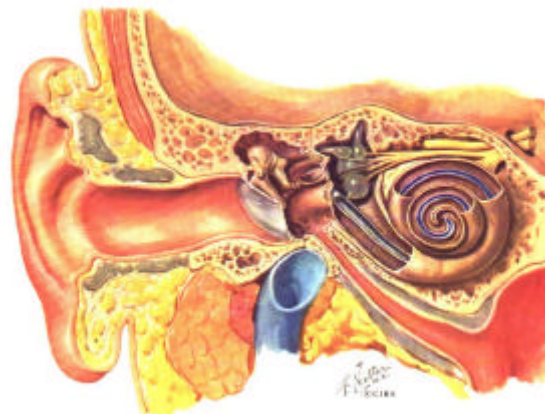
Bakgrund

Hörselskada kan uppstå på grund av bullerexponering, som innebär överbelastning av sinnesorganet, men också på grund av många andra orsaker. Det biologiska åldrandet drabbar även hörselorganet, och hos många personer som exponerats för buller under många år i arbetslivet föreligger ofta en kombination av bullerskada och åldersförändringar i hörselorganet. Ärftliga faktorer spelar en allt tydligare roll för uppkomsten av hörselskada, både som ensam faktor och i samverkan med yttre faktorer som bullerexponering, infektionssjukdomar, vissa mediciner som kan påverka innerörat m.m.

Begreppet hörselskada innebär skada på hörselorganet och kan yttre sig dels som hörselnedsättning, d.v.s. att hörseln förlorar sin normala känslighet och att ljud därigenom måste vara starkare än normalt för att kunna uppfattas, dels som tinnitus. Tinnitus innebär hörselupplevelse i form av brusljud eller toner utan närvaro av något yttre fysikaliskt ljud.

Den perifera delen av hörselorganet, örat, består av tre funktionellt separata delar, se bild.

Ytterörat fångar upp ljudvågorna i omgivande luft och förstärker dessa i vissa frekvensområden. Tryckvariationerna sätter trumhinnan i svängning, och denna vibration överförs via hörselbenen i mellanörat – hammaren, städet och stigbygeln – till den vätskefyllda

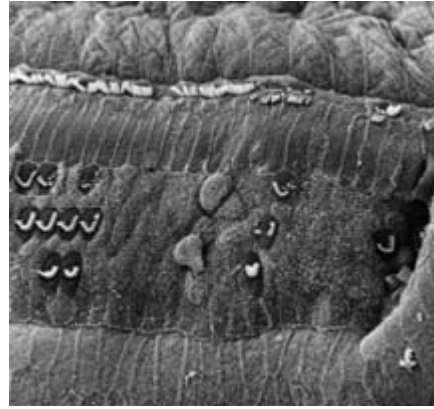
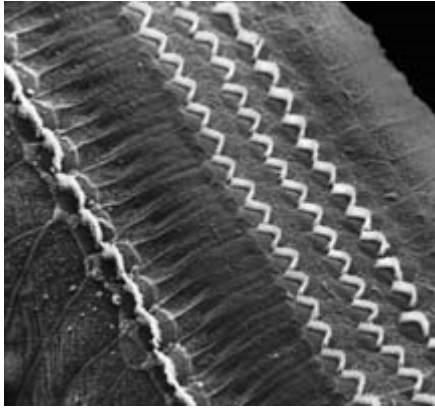


hörselnervens nervtrådar. Dessa hårceller är i ett friskt öra ca 15 000 till antalet och är mycket små, mindre än en hundra milimeter i diameter. På cellkroppens topp befinner sig något hundratal fina sinneshår, cilier, som är fundamentala i omvandlingen från svängningsrörelse, orsakad av ljudvågen, till elektriska impulser i hörselnervens ca 30 000 nervtrådar.

Hörselskador

Hörselskada kan i princip drabba alla delarna av sinnesorganet, men den absolut vanligaste formen är skada i snäckan, där framför allt hårceller skadats eller helt förstörts. Bullerskadan domineras av hårcellsskador, och också den åldersrelaterade hörselskadan orsakas till stor del av bortfall av dessa celler. Effekten av en bullerexponering kan vara temporär och därmed övergående efter en tids bullervila, s.k. TTS – Temporary Threshold Shift. Detta är en varningssignal som indikerar att snäckans hårceller belastats hårdare än de mår bra av. Om exponeringen upprepas tillräckligt många gånger är risken stor att örat drabbas av en permanent skada – PTS, Permanent Threshold Shift. Erfarenheten har visat att väsentliga individuella variationer föreligger i risken att drabbas av en bullerskada efter en viss exponering. Detta beror på ett flertal faktorer, bl.a. olikheter i ytterörats och hörselgångens utseende, mellanörats egenskaper och sannolikt också små skillnader i snäckans form och dess blodförsörjning. Några säkra metoder för att avgöra vem som är känslig och vem som är motståndskraftig föreligger dock inte.

Generellt gäller för skador i snäckan att de med dagens kunskap är obotliga och permanenta. På bilden nedan ses till vänster friska hårceller prydligt ordnade i fyra rader. Den högra bilden representerar ett skadat öra, där kraftig bullerexponering förstört en stor del av hårcellerna och därmed orsakat en väsentlig hörselskada.



Skador kan också uppstå i mellanörat på hörselben eller trumhinna, men dessa skador är relativt ovanliga. När de uppstår går de ofta att avhjälpa med öronkirurgiska ingrepp.

Hörselskadans konsekvenser

En skada som drabbat mellanörat orsakar en dämpning av ljudöverföringen till snäckan, men när ljuden väl når dit kan omvandlingen till nervsignaler ske på normalt vis. Följden av en sådan skada är således enbart att alla ljud blir svagare, vilket med framgång kan kompenseras genom förstärkning av ljuden.

En skada som drabbat snäckan blir däremot mera komplicerad. Hörselnedsättning så som den beskrivs av det vanliga hörselprovet, tonaudiogrammet, visar att vissa eller kanske alla ljud behöver vara starkare än normalt för att bli hörbara. Framför allt drabbas diskantområdet, och inte sällan är enbart detta område drabbat, vilket är typiskt för t.ex. bullerskadan. Men också den åldersbetingade hörselnedsättningen slår först och mest mot diskantområdet.

Den diskantdominerade hörselnedsättningen gör att många konsonantljud och framför allt tonlösa konsonantljud blir svagare eller ohörbara, och talljud mister mycket av sin tydlighet för den drabbade. Förutom att ljud förlorar i hörbarhet innebär skadan i snäckan också olika kvalitativa förändringar. Även när ljud är tillräckligt starka återges de ändå av det skadade örat med sämre kvalitet. Mycket av precisionen i den komplexa process som hårcellerna normalt utför har gått förlorad p.g.a. skadan. Detta leder bl.a. till att den hörselskadade personen blir mycket mera störd av omgivningsbuller och ekon i stora lokaler. Detta är

också det mest typiska problemet: I en tyst samtalssituation är det inga problem, men i matsalen med mycket sorl runt omkring eller i trafiken med alla ljud i omgivningen är det omöjligt att höra vad folk säger.

Ett annat fenomen som kan uppstå vid hårcellsskada är s.k. diplakusis eller dubbelhörande. Det kan innebära att vänster och höger öra återger en och samma ton med olika tonhöjd eller att en ton låter som två och därmed ofta som sprucken och oren. Denna form av förvrängning kan vara mycket besvärande vid t.ex. musikutövning.

Ytterligare en vanlig följd av hårcellsskada är att starka ljud upplevs som lika starka eller rent av starkare än av en normalhörande. Detta innebär att spelrummet mellan den ljudstyrka som motsvarar nätt och jämnt hörbart ljud och den som motsvarar obehagligt starkt ljud är kraftigt förminskat. Detta förhållande komplicerar användandet av förstärkning som kompensation för hörselnedsättningen.

Hörselskada får för många drabbade sociala konsekvenser genom att man har svårt att följa med i samtal, ofta missuppfattar och måste anstränga sig extra mycket för att fungera i många olika situationer. Man känner sig utanför gemenskapen och detta leder inte så sällan till att man undviker sociala kontakter.

Tinnitus

Tinnitus i form av ljudupplevelse utan yttre fysikaliskt ljud är en följd av hörselskada som kan ha mycket skiftande orsak. Tinnitus kan uppträda tillfälligt direkt efter en kraftig bullerexponering och klinga av efter några timmar eller dygn. I likhet med den tillfälliga hörselnedsättningen efter en sådan exponering är detta en varningssignal att örat utsatts för alltför stor belastning.

Permanent tinnitus är vanligt i samband med bullerskada, men blir generellt vanligare med stigande ålder, vilket talar för ett samband också till åldersbetingad hörselnedsättning. Olika sjukdomar som kan ge upphov till hörselskada kan även ligga bakom tinnitus. Också total dövhet är inte sällan

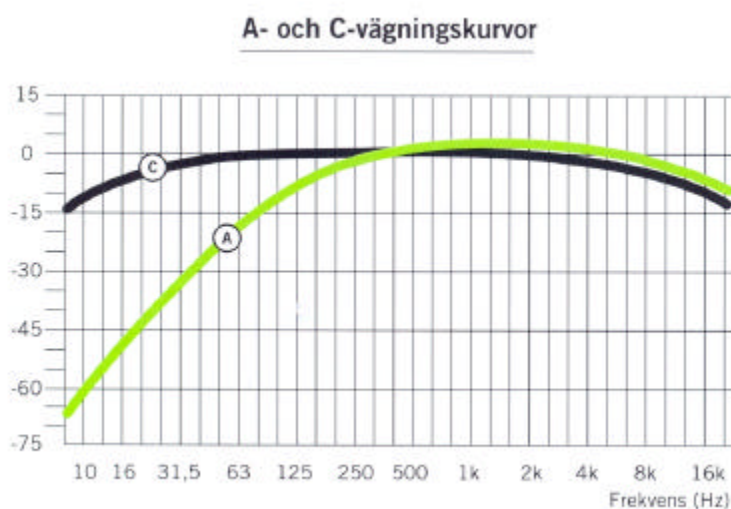
förknippad med tinnitus, som då kan vara speciellt besvärande eftersom aldrig yttre ljud kommer in och maskerar eller avleder uppmärksamheten.

Något enkelt botemedel mot tinnitus finns inte. Ett viktigt råd till tinnitus-drabbade är att undvika tystnad, då ju endast tinnitus finns som hörselupplevelse och därmed drar till sig uppmärksamheten. Stress och trötthet är andra negativa faktorer som tenderar att förvärra tinnitus och bör undvikas. Psykologiska behandlingsmetoder har visat sig kunna hjälpa en stor andel av personer som drabbats av svår tinnitus.

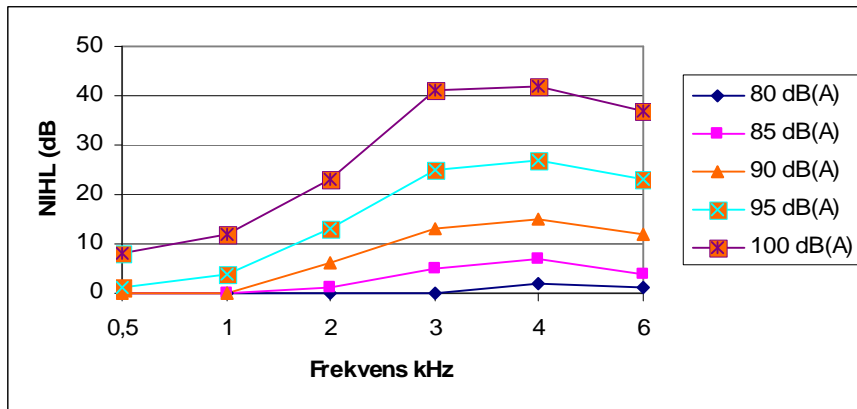
Gränsvärden för bullerexponering

Kunskapen om hörselskaderisk efter bullerexponering är idag relativt god och skulle med konsekvent tillämpning kunna förhindra de flesta bullerskador. En internationell standard från ISO, ISO 1999 "Akustik – Bestämning av yrkesmässig bullerexponering och uppskattning av bullerorsakad hörselskada" beskriver i statistiska termer hörselskaderisken.

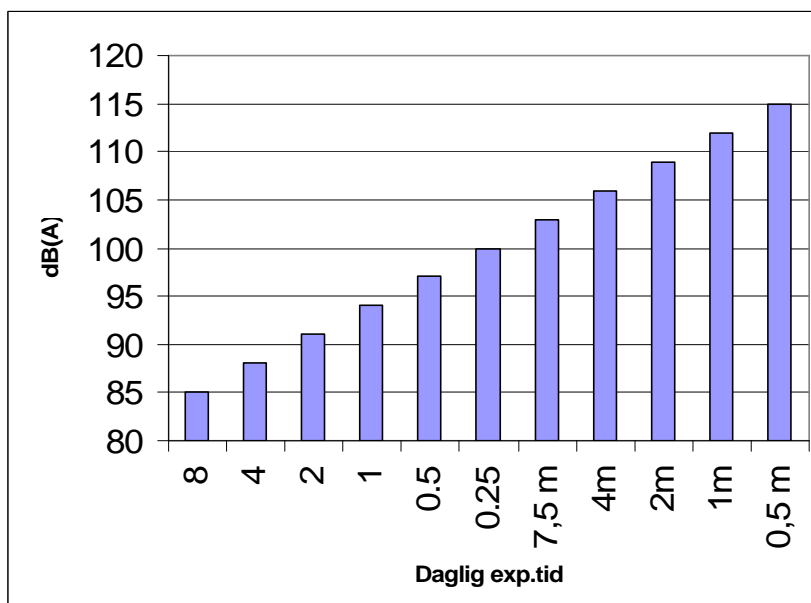
När man mäter buller som innehåller många frekvenser från bas till diskant vill man ta hänsyn till att människans hörsel är olika känslig för olika frekvenser. Därför låter man olika frekvenser väga olika tungt genom att använda ett vägningsfilter i bullermätaren. Detta filter kallas A-vägningsfilter. Ibland används också ett annat filter vars främsta uppgift är att avgränsa det uppmätta frekvensområdet – detta filter kallas C-vägningsfilter. Filteregenskaperna för dessa illustreras av nedanstående bild. När man gjort en bullermätning med användning av A-filtret anger man ofta resultatet i form av dB(A).



Bullernivåer under 80 dB(A) innebär försumbar risk. Vid ökande bullernivå ökar risken för skada. Nedanstående bild illustrerar hur stor bullersakad hörselnedsättning 10 % av exponerade personer kan förväntas drabbas av efter 10 års yrkesmässig exponering 8 timmar per dag i olika bullernivåer från 80 till 100 dB(A).



Risken för skada bestäms av en kombination av ljudnivå och exponeringstid. Åtta timmars exponering för 85 dB(A) antas motsvara samma risk som 4 timmar i 88 dB(A) eller 2 timmar i 91 dB(A). För varje halvering av exponeringstiden tillåts ljudnivån öka med 3 dB utifrån antagandet att det är den totala akustiska energin som bestämmer risken för skada. Detta illustreras av nedanstående bild.



För yrkesmässig bullerexponering ansvarar Arbetsmiljöverket för föreskrifter i form av AFS 2005:16 "Buller" (www.av.se/lagochratt/afs/afs2005_16.aspx), som

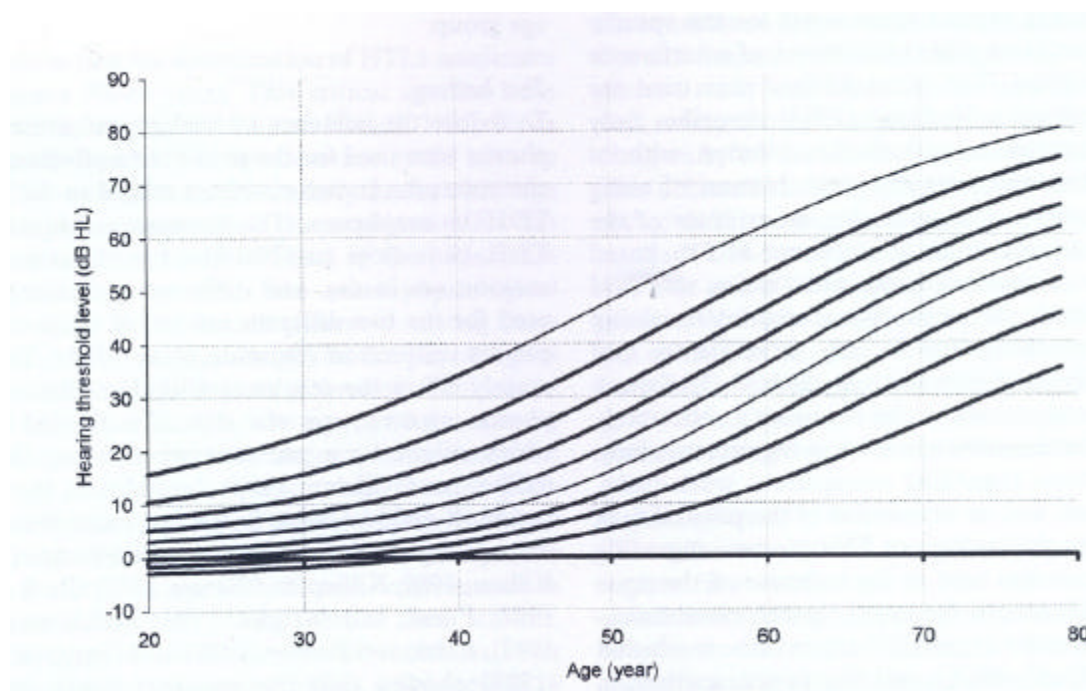
bygger på EU-direktivet om buller i arbetet, 2003/10/EG. Enligt dessa föreskrifter ska vid det s.k. undre insatsvärdet, 80 dB(A) som genomsnittsnivå under en typisk arbetsdag, arbetstagare informeras om risker, erbjudas hörselkontroll och ha tillgång till hörselskydd, samtidigt som arbetsmiljön ska kartläggas för att möjliggöra en säker riskbedömning. Gränsvärdet 85 dB(A) för en 8-timmarsdag får under inga omständigheter överskridas – hänsyn ska då tas till eventuella hörselskydds ljuddämpande egenskaper. För kortvariga impulsljud gäller gränsvärdet 135 dB(C) som inte får överskridas oavsett hur kortvarigt ljudet än är.

Bedömning av hörselnedsättning

Vid bedömning av misstänkt bullerskada uppstår nästan alltid frågan hur stor andel av individens hörselnedsättning som kan antas bero på den yrkesmässiga bullerexponeringen och hur vederbörandes hörselkurva skulle ha sett ut utan den aktuella exponeringen. Ofta kan man anta att åldern har givit ett visst bidrag och med viss sannolikhet också andra faktorer som kan påverka hörseln. Någon absolut säker separering av dessa olika faktorer är ju inte möjlig för en enskild individ, men man kan dock göra en viss statistisk bedömning. Ett sätt är att jämföra individens hörselkurva mot en lämplig referenspopulation. En sådan har nyligen presenterats i ett forskningsprojekt vid Linköpings universitet och resultaten finns tillgängliga i tabellform via Internet med adressen <http://www.av.se/webbshop/pdfroot/H293.pdf>.

Bilden nedan illustrerar som ett exempel från denna studie den statistiska fördelningen av hörtrösklarna vid 4 kHz för män vid olika åldrar från 20 till 80 år. Den mittersta kurvan av de nio representerar medianvärdena, d.v.s. de hörtröskelvärden där hälften av männen har bättre och hälften sämre hörtrösklar. Övriga kurvor representerar olika percentiler i steg om 10 % från 10 till 90 %. Den översta kurvan representerar sålunda hörtröskelvärden som de 10 % av männen med sämst hörsel överstiger. På motsvarande sätt representerar den understa kurvan de hörtröskelvärden som 90 % av männen överstiger. Om hörtröskeln vid 4 kHz för en 60-årig man är 35 dB motsvarar det medianvärdet, d.v.s. genomsnittet för 60-åriga män utan yrkesmässig bullerexponering. Skulle hörtröskeln däremot vara exempelvis 65 dB avviker han påtagligt från vad man kan förvänta sig, och det innebär stor sannolikhet att hans öron exponerats för

någon hörselskadande faktor – buller eller sjukdom – eller att han har en ärftlig benägenhet för att åldras hörselmässigt snabbare än normalt. På motsvarande sätt kan man bedöma hörtrösklarna vid alla tonfrekvenser som testas vid hörselprovet. Motsvarande referensvärden finns också för kvinnor, vars hörtrösklar generellt är något bättre än mäns.



Gränsvärden i fritid och offentlig miljö

I fritidsmiljöer av olika slag – i bostaden när man borrar med slagbormmaskinen i en betongvägg, när man mekar med mopeden, när man kör med motorsågen eller när man går på diskotek eller utomhusrockgala - gäller i princip samma risker som i arbetsmiljön. Skillnaden är oftast att man inte exponeras lika länge och lika ofta som den som utsätts för hörselrisk i sitt dagliga arbete. Men om ljudnivåerna är tillräckligt höga kan även en relativt begränsad exponeringstid innebära risk för hörselskada i form av hörselnedsättning och/eller tinnitus.

Socialstyrelsen har utfärdat allmänna råd angående höga ljudnivåer i offentlig miljö med fokus på lokaler och platser där musik spelas på hög ljudnivå (http://www.sos.se/sosfs/2005_7/2005_7.pdf). Riktvärden för lokaler och plat-

ser där barn inte har tillträde är 100 dB(A) som genomsnittlig ljudnivå (så kallad ekvivalentnivå) och den maximala ljudnivån får inte överskrida 115 dB(A). Där också barn har tillträde bör inte ekvivalentnivån överstiga 97 dB(A) och maximala ljudnivån får inte överstiga 110 dB(A). För verksamhet som är speciellt riktad till barn bör inte ekvivalentnivån överstiga 90 dB(A). Den som ansvarar för musikverksamheten har också ansvaret för att dessa riktvärden inte överskrids. De nämnda ljudnivåerna kan förefalla avsevärt högre än Arbetsmiljöverkets gränsvärden för arbetsplatser. Förklaringen till skillnaden är det rimliga antagandet att för de flesta deltagare en typisk konsert eller diskoteksbesök pågår några timmar och inträffar kanske någon gång i veckan eller ännu mera sällan. Det förhindrar dock inte att de nämnda ljudnivåerna upplevs som höga av många åhörare och att användning av hörselskydd på rock- och popkonserter blivit allt vanligare. Tillgången till hörselgångsproppar som ger en relativt jämn ljuddämpning över hela frekvensregistret från bas till diskant, s.k. musikproppar, minskar risken för hörselskada utan att förstöra musikupplevelsen.

Vad kan man göra för att förebygga bullerskador?

Grundläggande insatser för att minska bullerskadorna både i arbetslivet och på fritiden är att göra människor medvetna om riskerna och undvika dem, vilket går i de allra flesta fall. Primärt bör alltid vara att försöka reducera de potentiellt skadliga höga ljudnivåerna genom att dämpa ljudkällorna och genom att skärma av ljudutbredningen. Hörselskydd är en mycket viktig komponent för att eliminera skaderisker, och det är viktigt att agera föredöme genom att använda dem där det är befogat.

AKUSTKPROJEKTET I GÖTEBORG

Kähäri K. Arbetslivsinstitutet

Projektet erhöj:

Europeiska Arbetsmiljöbyråns pris The Good Practice Award, Bilbao, Dec. 2005
Designårspris i kategorin Arbetsliv & Design, Stockholm, Maj 2006

PROJEKTGRUPPEN

Berntson Alf	Tekn. Lic., Akustikkonsult, Artifon AB
Blom Maria	Sångerska, låtskrivare, Ordförande i AMMOT
Blomgren Göran	Ljudtekniker/leverantör, United Audio/ Starlight AB
de Sousa Mestre Johan	Akustikkonsult, Artifon AB
Dubow Alex	Echophon AB
Harström Joakim	Ljudtekniker, Henriksberg
Hellqvist Christine	Proj.ledare, sångerska, skribent, AMMOT
Kähäri Kim	Proj.ledare, Med. Dr., Arbetslivsinstitutet Väst
Liedström Rune	Svenska Musikerförbundet
Närlundh Björn	Utredningschef, Miljöförvaltningen i Göteborg
Rothlin Hans	Krögare, Henriksberg
Sandell Jenny	Audionom, forskningsassistent, Göteborgs Universitet.
Sjösten Per	Tekn. Dr, Akustikkons./Ljuddes, Sound Processing AB
Sörenson Staffan	Arrangörsföreningen.
Wilhelmsson Willy	Marknadschef, Henriksberg

BAKGRUND

Effekterna och riskerna med höga ljudnivåer från musik har diskuterats flitigt i både forskarvärlden och i media de senaste åren och flera undersökningar har rapporterat hög andel musikrelaterade hörselskador dels bland musiker och publik men också hos anställda på musikklubbar (1-5). Särskilt vanligt med höga ljudnivåer från musik är på de mindre livemusikklubbarna där avståndet mellan publik och scen ofta är litet och där det är svårt att dämpa direktljudet från scenen. Dagens ljudnivågränsvärden är komplexa att efterleva då klubbmiljön är en kombinerad arbets- och fritidsmiljö samt en miljö som av konstnärliga skäl mer inriktar sig på att förstärka ljud och totalupplevelse. Samtidigt finns allmänna råd kring ljudnivåbegränsning, som gäller för musik till publik (6-7) och Arbetsmiljöverkets föreskrift som gäller för anställda musiker, tekniker och annan personal som t.ex. vakter och serveringspersonal (8).

Enligt Miljöbalken har verksamhetsutövaren ansvar för att ingen kommer till skada och han är vidare skyldig till att ha tillräcklig kunskap om de hälsorisker verksamheten utgör (9). Den arrangemangsansvarige har anmälningsskyldighet och skyldighet att upprätta ett egenkontrollprogram och bland annat mäta och dokumentera ljudnivåer under arrangemang. Arrangören skall alltså kunna bevisa att ljudnivån inte varit för hög. Miljöförvaltningen i bland annat Göteborg, har under senare år genomfört tillsynsinsatser som syftar till att belysa de risker som förekommer då människor utsätts för höga ljudnivåer i samband med besök på konserter, gym, diskotek, biografier och andra platser där man kan utsättas för hörselskadliga ljudnivåer. Arbetet har skett på flera plan, till exempel informationsinsatser till dem som ansvarar för ljudnivåerna, deltagande i utbildning av blivande ljudtekniker och arrangörer samt ljudnivåmätningar. Bakgrunden till Miljöförvaltningens engagemang är att allt fler människor drabbas av hörselskador som till exempel tinnitus på grund av alltför höga ljudnivåer.

Varför det är särskilt svårt att begränsa ljudnivåer vid konserter på mindre inomhusscener beror på flera faktorer. Den viktigaste faktorn är dock att avståndet mellan publik och scen oftast är minimal och att det akustiska direktljudet från trumset och ljudet från monitorer och förstärkare på scen och felaktigt placerade PA-högtalare ger för hög nivå till publiken. Många gånger är lokalerna direkt olämpliga för förstärkt levande musik. Trångt och låg takhöjd. Ljudet från trummorna sätter ofta nivån för övriga instrument och en kompakt, extatisk publik som visslar, skriker och applåderar kan dessutom paradoxalt nog, i vissa fall vara hörselskadlig för sig själv. Alltför höga ljudnivåer betyder ofta hörselskadliga nivåer och idag är många även bland musiker, publik och ljudtekniker överens om att något måste göras för att få till stånd ett bättre ljudklimat ute på de mindre klubbarna. Samtidigt får detta inte ske på bekostnad av musikupplevelsen. Väldigt många, både musiker och lyssnare anser att musiken "ska kännas i kroppen" för en fullödlig musikupplevelse. Konststycket att kunna balansera hörselvänliga ljudnivåer och en positiv musikupplevelse kräver både kunskap och erfarenhet och en god teknisk och akustisk förutsättning.

Under hösten 2003 och i januari 2004 initierade och genomförde Arbetslivsinstitutet och AMMOT, (Artister och musiker mot tinnitus) två möten i Göteborg för att diskutera de små musikklubbarnas problem att hålla sig under Socialstyrelsens ljudnivårekommendationer. Med på dessa två möten var repre-

sentanter för Arrangörsföreningen, Miljöförvaltningen i Göteborg, ljudtekniker, Svenska Musikerförbundet, Rikskonserten, regionfullmäktige och Socialdepartementet, akustiker/akustikfirmor, ljudleverantörer, musiker, Kulturnämnden med flera. En disciplinmässigt tvär projektgrupp med både forskare och praktiker bildades och Akustikprojektet startade i augusti 2004.

Trots våra olika yrkeskompetenser och synsätt på frågeställningen hos arbetsgruppen så resulterade diskussionerna i ett samarbete kring formuleringen och genomförandet av "Akustikprojektet".

SYFTET

Det övergripande syftet med projektet var att se om man med hjälp av olika akustiska och tekniska lösningar kan låta framföra musik i en liten klubblokal utan att ljudnivåerna överskrider gällande riktvärden samtidigt som musikupplevelsen blir god och accepterad av både musiker, anställda och publik.

MÅL

Förutom det grundläggande målet, att finna fungerande lösningar för småklubbar att klara ljudnivåkraven (i enlighet med "Socialstyrelsens allmänna råd om buller inomhus och höga ljudnivåer SOSFS 2005; 15), så var det också ett viktigt mål att både anställda, publik och musiker var nöjda med resultaten av dessa lösningar.

MATERIAL

Lokalen

Takterrassen, Henriksbergs restaurang i Göteborg valdes som studieobjekt. Publikkapaciteten var 150 personer. Musiken som spelas är huvudsakligen rock/house/techno med fokus på den något yngre publiken (20-25 år). Hyreskontraktet var långsiktigt och krögaren stod i begrepp att renovera lokalen så vår intervention kunde samordnas med denna renovering. Avståndet från bakre scenvägg till motsatta bakre vägg/hörn mätte 21 m.



Bild 1. Scenen på Henriksbergs takterrass före ombyggnaden. Scenen är mycket liten och publiken hamnar mycket nära scenutrustningen och PA-högtalarna. Endast tunna textilier på scenväggarna och övermålade absorber i taket.



Bild 2. Lokalen sedd åt andra hållet, från scenen. Övermålade absorber i taket, baren till vänster och mixplatsen till höger.

Den befintliga tekniken

Det fanns en separat ljudanläggning och en separat diskoanläggning. Högtalarna var staplade vid vardera scensida (Bild 1). I den ena stapeln satt ett mittmonterat hemmabyggt diskantorn placerat ca 175 cm över golvnivå, alltså i ungefärlig publiköronhöjd.

Den befintliga akustiken

I lokalen fanns övermålade takabsorbenter. Detta innebar ljudabsorption endast vid låga frekvenser och vid höga frekvenser i övrigt huvudsakligen *reflektion*.

Väggarna runt scenen hade ingen fast absorption utan var endast behängda med tunt tyg dikt an väggen. Ljudtrycksvariationen i lokalen var stor, 14 dB, beroende om man stod längst framme vid scenkant nära högtalarna, eller längst bak i lokalen och den subjektiva upplevelsen var att ljudet i lokalen var skramligt och starkt. I lokalen fanns en bar placerad vilket innebar att de anställda arbetade i en synnerligen ljudstark miljö och i bakre delen av lokalen fanns ett litet dansgolv.

Anställda, publik och musiker som deltog i enkätundersökningen

De anställda som besvarade enkäten var endast 4 stycken. Gruppens svar beskrivs utan detaljer för undvikande av personidentifiering. Övriga musiker och publik som besvarade enkäten beskrivs i tabell I.

	Publik – medelålder, år	Musiker- medelålder, år
Före åtgärd	5 kvinnor & 6 män - 25 år	- 6 män - 38 år
Efter åtgärd	11 kvinnor & 14 män - 22 år	2 kvinnor & 10 män - 25 år
Totalt	16 kvinnor & 20 män - 23 år	2 kvinnor & 18 män - 29 år

Tabell I. Tabellen visar fördelningen av kön och ålder på publik och musiker som besvarat enkät före och efter åtgärden

Sammanfattning av våra intryck innan åtgärd

1. För liten scen
2. Låg takhöjd, reflekterande väggar och tak (övermålade absorbenter)
3. Publik står för nära scenen och strax intill högtalare – ojämn ljudnivå i lokalen
4. Det finns en risk att akustiska trummor ensamma överskrider riktvärdet i denna typ av miljö
5. Gitarrförstärkare etc. stod ofta felaktigt riktade rakt ut mot publiken
6. Monitorer alltför nära publiken längst fram och felplacerade i förhållande till musikerna

7. Ljudtekniker saknar kunskap och möjligheter att åtgärda de höga ljudnivåerna
8. Musiker på scen utan ljudnivåkontroll, dålig medhörning och dålig teknik = oroliga musiker
9. De anställdas arbetsmiljö var oacceptabel ur ljudsynpunkt

METODER

Projektet omfattar en teknisk och akustisk intervention (förändringsåtgärd). Forskningsansatsen var explorativ vilket innebär att den varken är hypotesprövande eller kan ställas mot och jämföras med andra liknande studier då denna är den första i sitt slag. Analyserna av enkätundersökningen är kvalitativ och har inte statistikbehandlats på grund av intervjugruppernas små och olika storlek. Metoder som använts har varit enkätundersökningar och akustik, ljudnivåberäkningar och ljudnivåmätningar.

Akustik, ljudnivåberäkningar och ljudnivåmätningar

För planering och beräkning av vilka olika typer av akustikplattor som skulle väljas och var dessa skulle placeras för den mest optimala rumsakustiken användes det datorbaserade simuleringsverktyget "Computer Aided Theatre Technique" eller "CATT-Acoustics" som det numera kallas (se: www.catt.se). Tekniken har använts sedan 1986 av akustiker och är vanlig för beräkning och förutsägbarhet om hur en specifik lokal kan låta oavsett om man bygger nytt eller genomför en förändring av något slag i en redan befintlig lokal. Med hjälp av detta program optimerades typ och placering av högtalare samt typ och placering av absorbenter.

Nedan visas en 3D-bild av CATT-modellen som användes i datorberäkningarna.

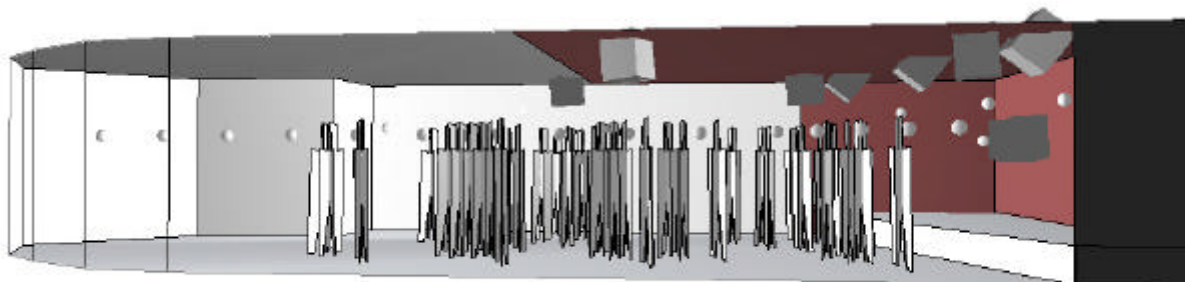


Fig. 1. Den mörkröda främre ytorna runt scenen och främre takytan är helabsorberande. De små kloten markerar de olika mikrofonpositionerna.

Redan i den debatt som föregick detta projekt – framför allt i pressen – förekom argument att 100 dBA-regeln var omöjlig att klara eftersom till och med ett akustiskt trumset kunde överskrida detta gränsvärde. Vi ville därför mäta upp vilken ljudeffekt detta instrument kunde alstra samt hur mycket en skärm placerad runt trumsetet dämpade ljudet. Vi vade att använda en och samma trumslagare för alla våra mätningar. Mätningar gjordes först i det ekofria labbet på Chalmers Tekniska högskola, avdelningen för Teknisk Akustik. Jämförande mätningar gjordes sedan på musikklubben Henriksberg, före och efter ombyggnaden.

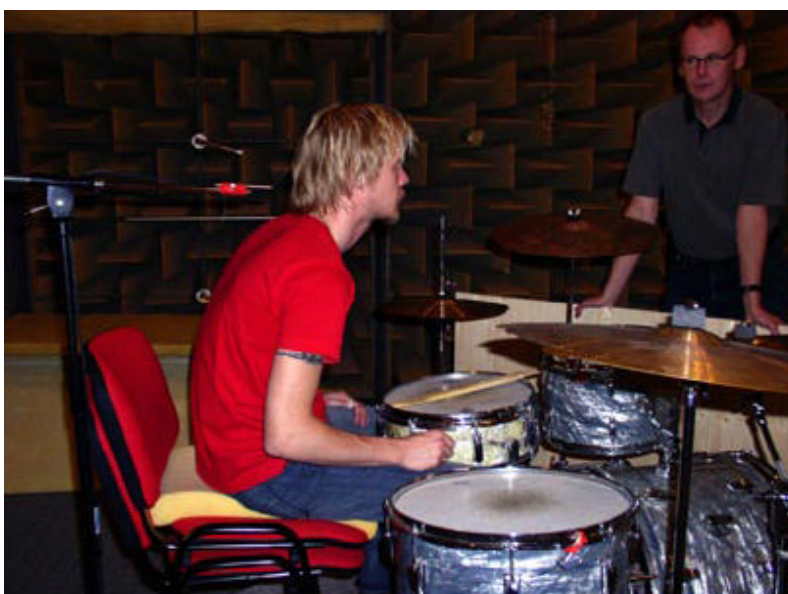


Bild 3. Visar projektets testtrummis Tobias Wiik spelandes i ekofria laboratoriet på Chalmers. Till höger i bild står Alf Berntson, en av projektets två akustiker. På bilden syns en 80 cm hög skärm placerad runt trumsetet.

RESULTAT

Den nya tekniken

Den gamla tekniken togs bort och ny installerades. Efter CATT- Acoustic- beräkningar valdes typ och placering av PA-högtalare för att ge jämnast möjliga ljudnivå över publiken. Fyra toppar monterades så högt upp som möjligt i taket. Två av toppar monteras i tak över scenframkant (bild 3-4). De två andra monterades längre bak i salen och fördröjdes för maximal Haas-effekt (ca 10-20 ms relativt huvud-systemet för sin täckyta). På så sätt upplevs ljudet komma från scenen/huvudsystemen även om man står längst bak i lokalen under en konsert. Sub-basar placerades i hål som togs upp i scenen på vänster och höger

sida. Förstärkare och monitorer på scen lyftes upp från golvet för att riktas mer i öronhöjd mot musikerna och för att publiken inte skulle komma att stå så nära. Diskohögtalarna monterades bort och inspelad discomusik levererades via nya PA-systemet.

Den nya akustiken

Följande åtgärder genomfördes:

- En ny och större scen med rak scenframkant byggdes
- En nytt, stabilt scengolv byggdes med liten resonans, matta på golv
- Effektiva absorbenter i scentak och på scenväggar
- Olika typer av takabsorbenter monterades för att ge så jämn ljudnivå som möjligt
- Våggabsorbenter vid mixplats och vid högtalare monterades för undvikandet av interferens
- Stativ, bord etc. på scen för att kunna placera monitorer (placerades delvis på sub-baslådor)
- Baren flyttades ut från konsertlokalen
- Barriär för skyddsavstånd mellan scen och publik (byggdes vid scenframkant)
- Nya högtalare med toppar (mellan och högfrekvens) placerade i tak och infällda sub-basar i scenframkantens sidor
- Hela taket försågs med nya takabsorbenter. Den nya takhöjden i lokalen mätte 2,30 m med de nya absorbenterna på plats och den nya rektangulära scenen mätte 4 x 8 m, (bild 3). Scenen byggdes ut med helt rak framkant som ger betydligt mer plats för musikerna och gör att trumset hamnar längre från publiken. I framkant gjordes plats för placering av sub-bashögtalare på publikgolvnivå för att få tillräckligt avstånd till publiken. Baren flyttades ur lokalen till ny inglasad terrass en halvtrappa upp. Detta innebar att publikytan i själva spellokalen blev större och kunde efter åtgärd ta emot 200 stående gäster mot tidigare 150 personer (bild 4).



Bild 4. Lokalen efter ombyggnad. Mixerbåset till vänster. Notera de fyra topphögtalarna i taket och monitorer på subbaslådorna vid scenens sidor. Mixerbåset till vänster är kvar i samma position som före ombyggnaden. Baren är bortflyttad en halvtrappa upp till höger, till den inglasade terrassen.

Ljudnivåvariationen i lokalen innan och efter åtgärd

Som nämnts tidigare, var ett av huvudsyftena med ombyggnaden att ge en jämn spridning av ljudet över publiken. Före ombyggnaden användes högtalarstaplar på scenkanten för publikljudet. Publiken kunde i princip gå hur nära högtalaren som helst. Den uppmätta skillnaden mellan värsta position och ett medel över de sex mätpunkterna var därför *minst* 14 dB. Efter ombyggnaden sitter högtalarna i taket och det går inte längre att lägga örat intill högtalaren. Motsvarande skillnad i ljudtrycksnivå efter ombyggnaden resulterade i ca 3 dB.

Dämpning av ljudnivån från akustiskt trumset med hjälp av trumskärm

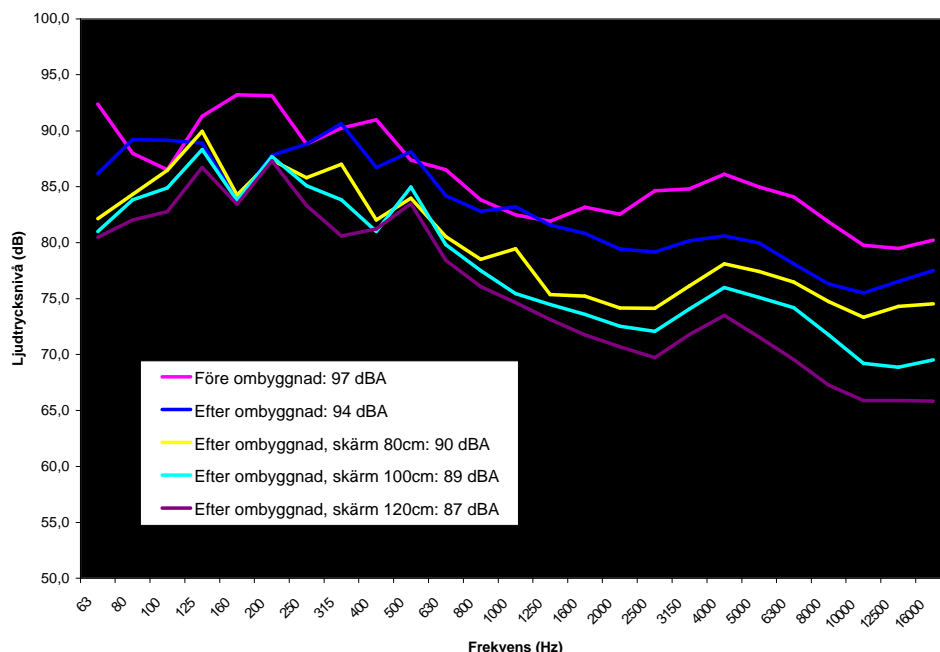
Den sänkning av ljudnivån man kan erhålla genom åtgärder på lokalens randytor, det vill säga väggar och tak, är begränsad på grund av direktstrålningen från trumsetet till publiken. Av ovanstående resonemang framgår att den maximala sänkningen i detta fall är i storleksordningen 7 dB, vilket i och för sig är en avsevärd ljudnivåsänkning. Om denna sänkning inte är tillräcklig, måste

man akustiskt skärma av trumsetet för att minska den direkta ljudutstrålningen från trumsetet till publiken. Detta kan åstadkommas med en skärm.

Figur 2 visar en sammanställning av ljudtrycksnivåer uppmätta i position 1 (dvs närmast scenen) på publikytan, före och efter ombyggnad, utan skärm, samt med skärmar av lite olika höjd. Resultaten med skärmar är mätta efter att de akustiska åtgärderna i lokalen genomförts. Enbart de akustiska åtgärderna ger således en nivå-sänkning på ca 3 dB i denna position. Medelvärdet över alla sex mätpunkterna på publikytan sänktes med 4 dB. Man ser att redan med en 80 cm hög skärm, dvs. med en överkant i höjd med virveltrumman, får man en avsevärd dämpning vid vissa frekvenser, vilket ger en sänkning av ljudnivån med ytterligare 4 dB.

Ljudnivåer från konserter före och efter åtgärd

Både dosimetrismätningar och korttids ekvivalentvärden uppmätta med ljudnivåmätare innan lokalen åtgärdades visade värden överskridande gällande gränsvärden. Fig. 3 visar mätresultat från innan ombyggnaden. Figur 4 visar mätningar utförda i lokalen efter åtgärd. En av dessa mätningar hamnar strax över gränsvärdet, i övrigt ligger de under.



Figur 2. Visar ljudtrycksnivåer från trumset i mätposition 1 på Henriksberg. Efter det att rummet på Takterrassen, Henriksberg var akustiskt åtgärdat så dämpades direktljudet från trummorna med ytterligare 4 dB med en 80 cm hög skärm placerad runt trumsetet. Ökad höjd på skärmen ökade dämpningen ut till publiken.

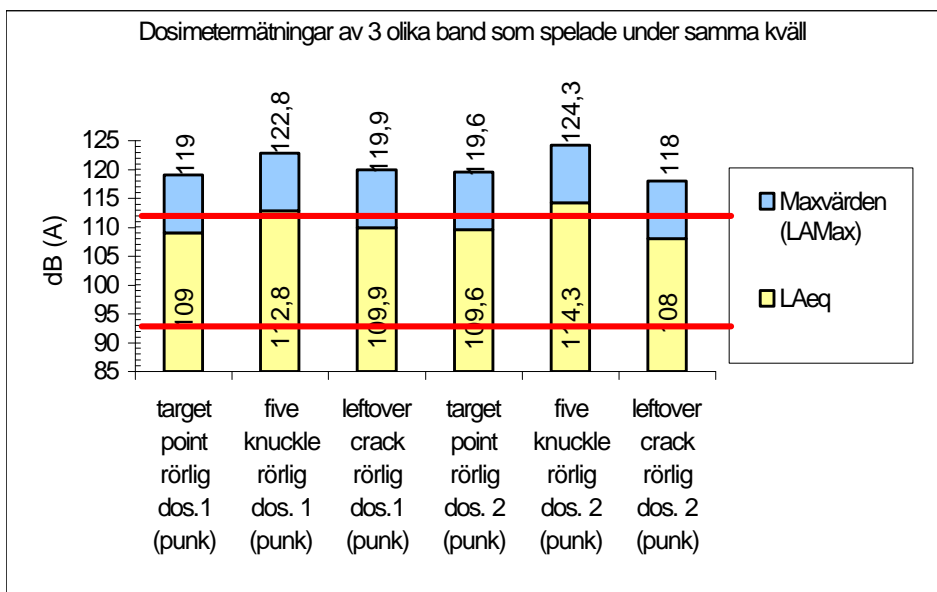


Fig 3. Figuren visar dosimetermätningar utförda under konsert i lokalen innan ombyggnad. Samtliga mätningar visar höga ljudnivåer.

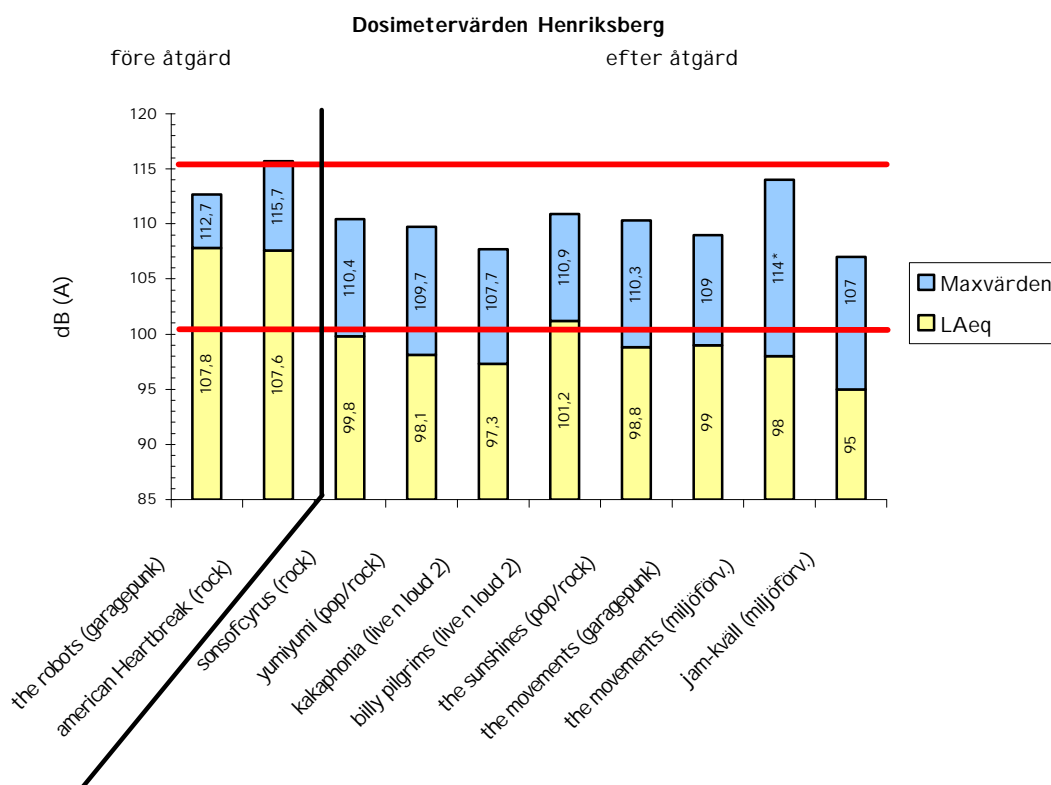


Fig 4. Figuren visar ljudnivåer från konserter uppmätta med dosimetri. Två av mätningarna visar värden från tiden innan lokalen byggdes om.

Enkät svar, före och efter åtgärd

Av de totalt 36 personerna från publiken (23 år i medelålder) så upplever 40% sig ha någon form av besvär med hörseln och 57% av de 36 använder hörselskydd ibland eller alltid vid konserter. Motsvarande siffra bland de totalt 18 musikerna (29 år i medelålder) är 56% med någon form av hörselproblem och 78% av de 18 st som använder hörselskydd ibland eller alltid. Vid tillfället för vår enkätundersökning var det dock endast 23% av publiken och 56% av musikerna som använde hörselskydd.

I enkäten ställdes frågan "hur upplevde du ljudet under konserten?" Drygt hälften, 6/11 angav svar som "för högt, skramligt och kompakt" innan åtgärd. Efter lokalen byggts om var 16/25 lyssnare mycket nöjda och svarade "bra, mycket bra, ibland den första gången det är lagom, inte för högt utan lagom, akustiken är bra, jämn nivå på instrumenten, fin ljudbild". Åtta av 25 tyckte att det var "helt OK, ganska bra, medelbra" och en svarade "inte så bra". Av de sex musiker som besvarade enkäten innan åtgärd så svarade fem stycken att det lät "odistinkt, orent, slamrigt, bullrigt" en tyckte att det lät "OK, men lite för högt". Efter åtgärd tyckte åtta av 12 musiker att det lät "helt OK, medelbra men lite högt eller lite för lågt", fyra stycken tyckte att det lät "skitbra /mycket bra men för mycket ljud eller för lite ljud.

De tre anställda som besvarade enkäten tyckte att det var "OK när det spelades inspelad musik men att det vid livemusik ibland var högt och jobbigt" innan lokalen åtgärdades. Efter åtgärd svarade fyra anställda att var en "mycket positiv förändring, behagligare ljudnivå och ljudkvalitet".

Kostnader

Kostnaden för absorbenterna var ca 30.000 kronor exklusive montering. Beroende på vilken teknik man väljer till sin lokal så landar ju kostnaderna därefter. Vi valde en relativt dyrbar och professionell utrustning och för den fick Henriksberg betala ca 200.000 kronor + moms.

Vill du läsa mer om Akustikprojektet så gå till www.ammot.se

Objekt i öronen - möjligheter och faror

Per Hiselius, Lund 2006-10-20

Hörlurar och hörselskydd finns i många varianter. Många av dessa är designade för att delvis sitta inne i hörselgången. En sådan design skapar både möjligheter och risker. Hörselskydd som blockerar hörselgången har bra förutsättningar för att stänga ute ljud, och kan effektivt skydda hörseln mot höga ljudnivåer. Hörlurar som sitter inne i hörselgången har, å andra sidan, mycket goda förutsättningar för att skapa höga ljudtryck, vilket kan vara en fördel - men det kan också innebära vissa risker. Det finns även produkter som kombinerar dessa två funktioner.

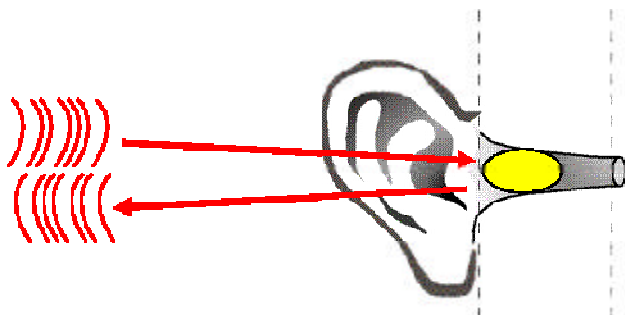
Objekt som skyddar mot ljud

Hörselskydd finns i ett mycket stort antal varianter. Grovt sett kan man dela in dem i proppar och kåpor.

Proppar kan delas in i fyra huvudgrupper, nämligen engångs, flergångs, proppar på bygel och formgjutna (gjuts efter ett avtryck av användarens hörselgångar). Var och en av dessa grupper har sina fördelar.

Kåpor finns också i ett flertal varianter. Idag är det relativt vanligt med kåpor som innehåller elektronik, t.ex. FM-radio eller system för att återge omgivningens ljud - fast på en ofarlig nivå.

Gemensamt för alla hörselskydd är att de huvudsakligen fungerar på samma sätt akustiskt, nämligen genom att blockera vägen för ljudet så att det mesta av den infallande ljudenergin studsar tillbaka.



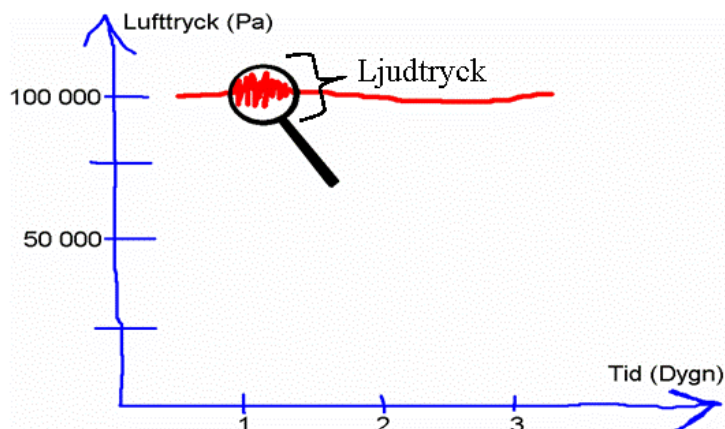
Figur 1. Det infallande ljudet studsar tillbaka när man har en propp i hörselgången.

Gemensamt för alla hörselskydd är också att det är absolut nödvändigt att de sluter tätt mot huvudet, eller i hörselgången, för att de skall fungera. Även ett mycket litet läckage kan resultera i väsentligt försämrad funktion.

Ljud i siffror

För att bättre förstå hur hörselskydd fungerar kan det vara bra se på definitionen av ljud. Ljud är en variation, eller störning, av det lufttryck som omger oss. För att vi skall uppfatta det som ljud måste störningens amplitud, d.v.s. ljudtrycket, vara stor nog. Dessutom måste variationen vara snabb nog - men inte för snabb. Hur snabba variationerna är, d.v.s. deras frekvens, mäts vanligtvis i Hz (antal svängningar per sekund). Alla ljud, utom rena toner, innehåller en blandning av många olika frekvenser. Ett väl fungerande öra kan uppfatta frekvenser mellan ca 20 Hz och 20 000 Hz om amplituden är stor nog.

Tryck mäts normalt sett i Pa (N/m^2), vilket man även gör när det gäller ljudtryckets amplitud, men oftast räknas amplituden om till en logaritmisk skala som har enheten dB(SPL) - där SPL står för Sound Pressure Level.



Figur 2. Ljud är en variation, eller störning, av det luftryck som omger oss.

Normalt luftryck ligger på ca 100 000 Pa (N/m^2). Detta motsvarar ett tryck åstadkommet av 10 ton/ m^2 , eller vikten av 10 bilar fördelat på en kvadratmeter. Hörselns känslighet är frekvensberoende, men under gynnsamma förhållande kan man förnimma tryckförändringar på mindre än 0,00001 Pa. Det högsta ljudtryck som man enligt arbetsmiljöverket (AFS2005:16) får utsättas för motsvarar ca 10 Pa (extremt korta ljudimpulser kan dock tillåtas ha högre amplitud).

Ljudvågor är rörelser som fortplantar sig i ett medium, t.ex. luft. Dessa rörelser innehåller rörelseenergi. Ljudenergi definieras oftast som intensitet (effekt/yta), och mäts i storheten W/m^2 . Det högsta ljudtryck man får utsätta för motsvarar ca 0,5 W/m^2 . För att kunna uppfatta ljud kan det räcka med så lite ljudenergi som 0,000000000001 W/m^2 . Örat är alltså ett mycket känsligt instrument som kan detektera mycket små signaler.

Dämpning

För hörselskydd definieras dämpning i princip som skillnaden i ljudtryck vid trumhinnan, med och utan hörselskydd, även om man av olika skäl inte mäter detta direkt. Uttryckt i dB kan ett hörselskydd dämpa uppemot 40 dB. Den typ av proppar man skall rulla mellan fingrarna innan man stoppar in dem i örat dämpar ofta mer än 40 dB vid höga frekvenser, om de sitter bra och långt in i hörselgången. Detta motsvarar att ljudenergin har minskat mer än 10 000 gånger.

Man kan tänka sig en propp som har oändligt hög dämpning, och att ett eventuellt hål rakt igenom denna propp har dämpningen noll - d.v.s. allt ljud som träffar hålet går rakt igenom proppen. Båda dessa förutsättningar är naturligtvis orealistiska, men de ger ett intressant räkneexempel. Om man dessutom antar att tvärsnittet på en hörselgång är ca 1 cm^2 , så skulle ett hål med ett tvärsnitt på $1/10\,000 \text{ cm}^2$, d.v.s. ca $0,01 \text{ mm}^2$, begränsa proppens dämpning till 40 dB. Ett hål motsvarande 1 mm^2 skulle begränsa proppens dämpning till ca 20 dB. Även om exemplet är orealistiskt och en stark förenkling av verkligheten, så inser man att även ett mycket litet läckage påverkar ett hörselskydds dämpning.

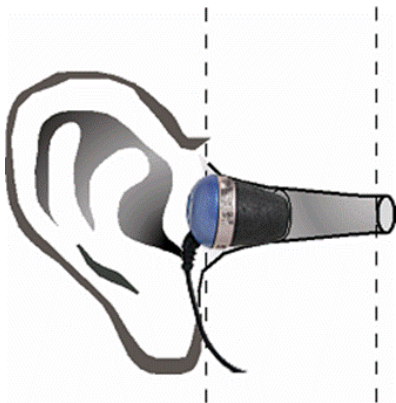
Dessutom är den skada man får p.g.a. ljud framförallt beroende på mängden ljudenergi man utsätts för per dygn. Detta mäts med A-vägning, dB(A), vilket kompenserar för att höga frekvenser är lite farligare än låga. 40 dB motsvara en faktor 10 000 i ljudenergi, vilket innebär att 1 minuts exponering utan hörselskydd motsvarar 10 000 minuter med hörselskydd. Ett hörselskydd med 20 dB dämpning anses ha låg dämpning, men ger ändå ett skydd motsvarande en faktor 100 - d.v.s. 1 minuts exponering utan hörselskydd motsvarar 100 minuter med hörselskydd.

Slutsatsen man kan dra är att ett hörselskydd gör bara nytta när det används – på ett korrekt sätt. Hur mycket ett hörselskydd kan dämpa under optimala omständigheter är däremot ganska ointressant. Det viktiga är att

det används, och att det sitter bra (sluter tätt). Viktiga egenskaper för hörselskydd är därför att de är bekväma, lätta att använda, ser bra ut, tillåter kommunikation och att de finns i olika storlekar.

Objekt som skapar ljud

Hörlurar finns också i ett mycket stort antal varianter. Många av dessa är designade för att, åtminstone delvis, sitta inne i hörselgången. Även i detta fall kan ett hypotetiskt räkneexempel vara illustrativt. Om man tänker sig ett fiktivt membran uppspant en bit in i hörselgången, så kan man räkna på hur stora rörelser som behövs för att skapa ett visst ljudtryck innanför det fiktiva membranet. För att skapa ett ljudtryck motsvarande det tystaste man kan höra räcker det med en rörelse mindre än radien på en väteatom. Redan vid rörelser på 1 μm börjar man närma sig den enligt arbetsmiljöverket maximalt tillåtna ljudnivån på 115 dB(A).



Figur 1. Det är lätt att skapa höga ljudtryck i en liten volym.

I verkligheten sluter sällan hörlurar helt tätt mot hörselgången, och membranens yta är mindre än hörselgångens tvärsnittsytta. Men exemplet visar att det är lätt att skapa höga ljudtryck i en liten volym. Därför är det enkelt att bygga hörlurar som kan skapa höga ljudtryck. Detta kan i vissa avseenden vara positivt, men kan samtidigt innebära risker för användaren eftersom ett ljud ofta är skadligt innan den upplevs som obehagligt högt.

Örat, känsligt i dubbel bemärkelse

Sammanfattningsvis kan man säga att örat är känsligt i dubbel bemärkelse. Örat är ett känsligt mätinstrument som kan detektera mycket svaga signaler, men är också ömtåligt - och tyvärr är det i stort sett omöjligt att subjektivt bedöma hur skadligt ett ljud är.



LUNDS UNIVERSITET

Lyssnande Lund - Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet

Box 117, 221 00 Lund
Telefon 046-222 09 46.

www.ljudcentrum.lu.se