

BULLER

OCH BULLERBEKÄMPNING

Arbetsmiljöverket ger ut denna handbok som hjälp och vägledning i syfte att åstadkomma en bättre arbetsmiljö. Den beskriver hur man enligt tillgänglig kunskap och erfarenhet kan och bör gå till väga för att undvika risker med buller i arbetet. Handboken innehåller inte allmänna råd om tillämpningen av någon författning. Däremot kan den innehålla hänvisningar till föreskrifter, allmänna råd och standarder med mera.

Huvudförfattare

Bengt Johansson, Arbetsmiljöverket, enheten för maskiner och personlig skyddsutrustning.

Externa författare

Olle Backteman, Ingemansson Technology, Stockholm.

Klas Hagberg, Ingemansson Technology, Malmö.

Hans Jonasson, Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Borås.

Juha Plunt, Ingemansson Automotive, Göteborg.

Tommy Zetterling och Åsa Nyström, J & W Akustikbyrån, Stockholm.

REDAKTÖR

Annika Hellberg

GRAFISK FORM OCH LAYOUT

Johanna Möller

DIAGRAM OCH FIGURER:

Cadja Skånes

Johanna Möller

ILLUSTRATIONER

Bernt Forsblad

© Arbetsmiljöverket

Fjärde upplagan

Tryckeri: Danagårds Grafiska AB, januari 2002

ISBN 91-7464-414-9



Ändringar i boken "Buller och Bullerbekämpning"

Sedan boken "Buller och bullerbekämpning" trycktes år 2002 har Arbetsmiljöverket gett ut nya föreskrifter om buller (AFS 2005:16). I de nya föreskrifterna har bland annat en del begrepp ändrats. Till exempel heter det idag *Daglig bullerexponeringsnivå* och i boken skriver vi ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå under en 8 timmars arbetsdag.

Genom de här försättssidorna justerar vi delar i boken som inte följer de nya föreskrifterna.

Sidan 34 – Komplettera med detta avsnitt

Daglig bullerexponeringsnivå

För att ta hänsyn till om arbetsdagens längd avviker från 8 timmar beräknas enligt Arbetsmiljöverkets bullerföreskrifter den dagliga bullerexponeringsnivån $L_{EX,8h}$ enligt följande:

$$L_{EX,8h} = L_{pAeq,Te} + 10 \lg (T_e / T_0)$$

där

$L_{pAeq,Te}$ = under tiden T_e uppmätt ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå

T_e = den dagliga exponeringstiden, uttryckt i timmar, för buller med ekvivalenta A-vägda ljudtrycksnivån $L_{pAeq,Te}$.

$T_0 = 8$ timmar

Om $T_e = T_0 = 8$ timmar, blir $L_{EX,8h} = L_{pAeq,Te}$



Sidan 45 – Avsnittet ”Tidsplanerat åtgärdsprogram” ändras till

Handlingsplan

Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller kräver bl.a. att en skriftlig handlingsplan upprättas för att minska bullret för arbetstagarna om bullerexponeringen är lika med eller överstiger de övre insatsvärdena .

En handlingsplan är en tydlig beskrivning av vilka åtgärder som kommer att vidtas för att minska bullret så att det inte är hörselskadligt. I planen ska också anges när åtgärderna ska vara genomförda och vem som ska se till att de genomförs. Omfattningen och utformningen av en handlingsplan kan skilja sig mellan större och mindre företag och mellan olika typer av verksamheter. Tiden för att genomföra programmet kan också variera.

Om kompetens inte finns inom företaget, kan man få hjälp med mätningar, åtgärdsförslag och upprättande av handlingsplaner från till exempel företagshälsovård eller andra konsulter på området. Men det är alltid arbetsgivaren som är ansvarig för handlingsplanen.

Sidan 46 – Avsnittet ”Exempel på utformning av åtgärdsprogram”

Exempel på utformning av handlingsplan

HANDLINGSPLAN FÖR BULLER VID VERKSTADSPRODUKTION AB

En kartläggning av bullersituationen i företagets produktions- och monteringshallar har utförts med hjälp av arbetsmiljöingenjör från företagshälsovården. För personalen i monteringshallen låg den dagliga bullerexponeringsnivån mellan 79 och 88 dB och i produktionshallen mellan 83 och 96 dB. Det innebär att en stor del av personalen utsätts för buller som överskrider det övre insatsvärdet 85 dB enligt Arbetsmiljöverkets bullerföreskrifter.

Med hjälp av extern konsult upprättades nedanstående handlingsplan. Efter behandling på skyddskommittémötet *år-månad-dag* och i samverkan med personalen, tog företagsledningen *år-månad-dag* beslut om att genomföra programmet.



(Tabell)

Med dessa åtgärder beräknas den dagliga bullerexponeringsnivån understiga 80 dB för all personal utom för pressoperatörerna för vilka värdet 85 dB fortfarande kommer att överskridas. Inom de kommande två åren kommer investeringar att göras i nya tystare pressar. De nya pressarna planeras vara i drift till *månad-år* och bullerexponeringen för operatörerna beräknas då understiga insatsvärdena i bullerföreskrifterna.

Kontrollmätning av personalens bullerexponering kommer att genomföras dels när åtgärderna enligt ovanstående lista är vidtagna, dels när pressarna bytts ut. Översyn kommer också omedelbart att göras av rutinerna för val och användning av hörselskydd. Periodisk uppföljning av hörselkontrollen från och med *år-månad-dag* att införas för all personal som exponeras för dagliga bullerexponeringsnivåer över 80 dB.

Datum _____ Namn _____

Verkställande direktör

Sidan 48 – Avsnittet ”Referenser”

*Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om buller, AFS 1992:10 heter numera
Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller, AFS 2005:16*

Sidan 60 – Avsnittet ”Ljudnivåmätare”

Sista raden:

Instrumentet ska uppfylla SS-EN 61672-1. Även instrument som uppfyller kraven enligt de tidigare standarderna SS-EN 60651 och SS-EN 60804 och som enligt dessa tillhör klass 1 eller 2 kan godtas.

Sid 79 - Avsnittet ”Referenser”

[19] SS-EN 60651:1979 *Sound level meters* ERSÄTTTS av SS-EN 61672-1 *Ljudnivåmätare - Del 1: Specifikationer*.

[20] SS 25400 *Akustik – Mätning av bullerexponering i arbetsmiljön*.

Sid 188 – Avsnittet ”Användning”

Användning

Om bullerexponeringen är lika med eller överstiger de undre insatsvärdena i Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller ska arbetstagarna få tillgång till ändamålsenliga hörselskydd. Om bullerexponeringen är lika med eller överstiger de övre insatsvärdena ska hörselskydd användas. Arbetsgivaren ska också ge berörda arbetstagare möjlighet att medverka vid val av hörselskydd. De undre och övre insatsvärdena är följande:

Undre insatsvärden

Daglig bullerexponeringsnivå $L_{EX,8h}$ 80 dB

Impulstoppvärde L_{pCpeak} 135 dB

Övre insatsvärden

Daglig bullerexponeringsnivå $L_{EX,8h}$ 85 dB

Maximal A-vägd ljudtrycksnivå L_{pAFmax} 115 dB

Impulstoppvärde L_{pCpeak} 135 dB



ARBETSMILJÖ
VERKET

Även vid dagliga bullerexponeringsnivåer omkring 75–80 dB kan användning av hörselskydd vara motiverad, eftersom särskilt känsliga personer kan riskera hörselskada vid exponering för lägre nivåer än de övre insatsvärdena.

För att uppnå angiven skyddseffekt är det viktigt att - - - .

Sid 215 – Avsnittet ”Referenser”

Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om buller, AFS 1992:10 heter numera

Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller, AFS 2005:16

Förord

Trots att stora insatser mot buller har gjorts under många år är det fortfarande ett av våra stora arbetsmiljöproblem. Avsikten med den här boken är att ge underlag för ett systematiskt och långsiktigt arbete med bullerfrågorna. Detta genom att ge kunskap om bl.a. bullrets uppkomst och spridning samt hur man mäter buller och hur man kan åtgärda bullerproblem. I huvudsak har den en praktisk inriktning och bör kunna utgöra en del av underlaget för beslut om åtgärder som kan erfordras för att uppfylla kraven i arbetsmiljölagen och Arbetsmiljöverkets/Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om buller.

De förkunskaper som eventuellt kan behövas för att tillgodogöra sig innehållet kan inhämtas i olika existerande informationsskrifter och fackböcker. För fullständighetens skull ger vi i det första kapitlet en sammanfattning av de viktigaste grundbegreppen.

Handboken är en uppdaterad och omarbetad version av **Buller och bullerbekämpning** som gavs ut 1990 av Arbetarskyddsstyrelsen. I denna utgåva har vi låtit externa författare skriva om vissa delar. Huvudförfattare och projektansvarig för boken är *Bengt Johansson* på avdelningen för central tillsyn, enheten för maskiner och personlig skyddsutrustning.

Kenth Pettersson

GENERALDIREKTÖR

ARBETSMILJÖVERKET I DECEMBER 2001

Inledning

Med den här boken vill vi belysa vikten av och ge underlag till ett systematiskt och långsiktigt arbete med bullerfrågor.

Boken inleds med kapitlet ”Grundläggande begrepp”, där vi förklarar de viktigaste uttrycken och vad de innebär. Sen tar vi upp ljudets påverkan på människan, hur man mäter ljud, rumsakustik, bullerbekämpning, hörselvård med mera. Vi lyfter också fram hur man kan planera vid projektering av nya anläggningar.

Vi har valt att göra en rikt illustrerad bok. Illustrationerna är dels figurer som beskriver principer, dels diagram som man kan använda genom att avläsa värden ur dem. Dessutom är boken fylld av formler och tabeller. Figurer, diagram, tabeller och formler har i boken fått separata numreringsringar, men löpande. Figur 1, 2, 3 osv., diagram 1, 2, 3 osv.

Följande avsnitt har vi anlitat externa författare till att skriva:

Blåspistoler, blåsmunstycken samt strömningsljuddämpare, Olle Backteman på Ingemansson Technology i Stockholm. *Ljudisolering*, Klas Hagberg på Ingemansson Technology i Malmö. *Ljudmätning*, Hans Jonasson på Sveriges Provnings- och forskningsinstitut i Borås. *Vibrationsisolering*, Juha Plunt på Ingemansson Automotive i Göteborg. *Rumsakustik*, Tommy Zetterling och Åsa Nyström på J & W Akustikbyrå i Stockholm.

Innehåll

Förord

Inledning

Grundläggande begrepp

Ljudtryck	13
Ljudhastighet, frekvens och våglängd	13
Ljud som funktion av tid och frekvens	16
Hörbart ljud, infraljud och ultraljud	21
Kontinuerligt, fluktuerande och impulsartat ljud	22
Luftljud, stomljud och vätskeljud	23
Nivåer och decibel	23
<i>Ljudtrycksnivå</i>	23
<i>Ljudeffektnivå</i>	24
<i>Ljudintensitetsnivå</i>	25
Hörselintryck — Hörnivå	25
Vägd ljudtrycksnivå (ljudnivå)	26
Vägd ljudeffektnivå och ljudintensitetsnivå	29
Ekvivalent ljudtrycksnivå	29
Ljudtrycksnivå för enstaka händelser	34
Impulstoppvärde (toppljudtrycksnivå)	35
Frekvensanalys	35
<i>Frekvensanalys i oktavband</i>	35
<i>Frekvensanalys i tersband</i>	37
<i>Smalbandsanalys</i>	38
Summering av nivåer	38
Korrektion av mätresultat vid hög bakgrundsnivå	39
Referenser	41

Systematik och långsiktighet

Bullerpolicy	42
Hörselvårdsprogram	42
Målvärden.	43
Genomförande.	43
Organisation.	44
Tidsplanerat åtgärdsprogram	45
Exempel på utformning av åtgärdsprogram	46
Referenser.	48

Ljudets påverkan på människan

Örat och hörseln	49
Hörselskada	50
Maskering av samtal.	52
Inverkan på kroppsfunktioner	55
Inverkan på uppmärksamhet.	55
Inverkan på arbetsprestation	56
Sömnstörningar.	57
Infraljud	57
Ultraljud	58
Referenser.	58

Ljudmätning

Mätinstrument	60
<i>Ljudnivåmätare</i>	60
<i>Filter</i>	60
<i>Ljudintensitetsmätning</i>	60
<i>Dosimeter</i>	60
<i>Infraljud och ultraljud</i>	61
Frekvensanalys.	61
Kartläggning av buller i industrilokaler	62
Bestämning av arbetstagares exponering.	64
<i>Beräkning utifrån bullerkartläggning</i>	64
<i>Mätning med stationärt instrument</i>	64
<i>Mätning med bullerdosimeter</i>	65

<i>Bullrets representativitet</i>	66
Mätnoggrannhet	67
Lokalens akustiska egenskaper	68
Bestämning av emissionsljudtrycksnivå	68
Bestämning av ljudeffektnivå	72
<i>Mätytmetoden</i>	72
<i>Jämförelsemetoden</i>	74
<i>Efterklangsmetoden</i>	76
<i>Intensitetsmetoden</i>	76
Mätning av buller från byggnadsinstallationer	77
Referenser	78

Rumsakustik

Ljudabsorption	80
Efterklangstid	83
Ljudutbredning	86
<i>Ljudutbredning utomhus</i>	86
<i>Ljudutbredning inomhus</i>	87
<i>Effekter av ljuddämpning i en lokal</i>	91
<i>Beräkning av ljudabsorptionens betydelse</i>	92
Poängmetoden	95
Taluppfattbarhet	101
Ljudabsorberande konstruktioner	103
<i>Porösa absorberer</i>	103
<i>Bafflar</i>	107
<i>Resonansabsorberer</i>	108
Referenser	109

Ljudisolering

Luftljudsisolering	111
Stomljudsisolering – Stegljudsisolering	114
Ljudisolerande konstruktioner	115
<i>Massiv enkelvägg</i>	116
<i>Flerskiktsvägg</i>	116
<i>Bjälklag</i>	120
<i>Inverkan av öppningar och springor, dörrar och glaspärtier</i>	120
Utformning av ljudisolerande kontorsenheter, hytter och kontrollrum	122
<i>Dörrpassage</i>	123
<i>Fönster</i>	123
<i>Väggar och bjälklag</i>	124
<i>Stomljudsisolering</i>	124
<i>Ventilation</i>	125
<i>Övrigt</i>	125
Referenser	126

Vibrationsisolering

Allmänt	127
Stomljudsminskande insatser i byggnad	131
Vibrationsisolering av maskiner	132
<i>Krav på underlaget</i>	132
<i>Dynamiskt motstånd, mekanisk impedans</i>	134
<i>Vibrationsisoleringens praktiska utförande</i>	138
<i>Mjuk uppställning</i>	141
<i>Styv uppställning</i>	141
<i>Några råd om vibrationsisolering</i>	143
Referenser	146

Bullerbekämpning vid maskininstallationer

Hindra ljudets uppkomst	148
<i>Byte av metod</i>	148
<i>Elastiska mellanlägg</i>	148
<i>Minskad fallhöjd ger lägre ljudalstring</i>	150
<i>Minska ljudutstrålning från ytor</i>	150
<i>Perforering minskar bullret</i>	151
<i>Dämpade ytor ger lägre ljudutstrålning</i>	151
<i>Exempel på olika typer av åtgärder</i>	153
<i>Minska strömningshastigheten</i>	153
<i>Blåspistoler och blåsmunstycken</i>	156
Hindra spridning av luftljud	157
<i>Avskärmning</i>	157
<i>Inbyggnad</i>	159
<i>Tilläggsisolering</i>	170
<i>Ljuddämpare</i>	174
<i>Maskinrum</i>	183
Hindra utbredning av stomljud	184
<i>Vibrationsisolering av maskiner</i>	184
<i>Vibrationsisolering av komponenter</i>	186
Tilläggsåtgärder	186
Referenser	187

Hörselskydd

Användning	188
Indelning av hörselskydd	189
<i>Typer</i>	189
<i>Funktion</i>	190
<i>Val och utprovning</i>	192
<i>Märkning</i>	199
<i>Bruksanvisning</i>	199
<i>Skötsel, underhåll och lagring</i>	199
Referenser	201

Hörselvård

Audiometrisk undersökning	202
Anställningsundersökning.....	205
Åtgärder vid försämrad hörsel	205
Referenser	205

Planering av nya anläggningar

Målsättning	206
Akustisk planering.....	207
<i>Byggnad inklusive ventilation</i>	207
<i>Maskiner och utrustning</i>	210
Referenser	215

Bilaga:

Ljudabsorptionsfaktorer.....	216
------------------------------	-----

Grundläggande begrepp

Ljudtryck

Ljud kan beskrivas som täthets- och tryckvariationer (vågrörelser) som utbreder sig i en gas, vätska eller fast kropp. Det vi uppfattar som ljud består av tryckvariationer i luften, vilka sätter trumhinnan i svängningar. Dessa tryckförändringar är vanligen små i jämförelse med det statiska atmosfärstrycket.

De minsta tryckvariationer, eller ljudtryck som det mänskliga örat förmår att registrera har storleken cirka $20 \mu\text{Pa}$ *). Vid cirka 20 Pa upplever vi smärta (smärtgränsen).

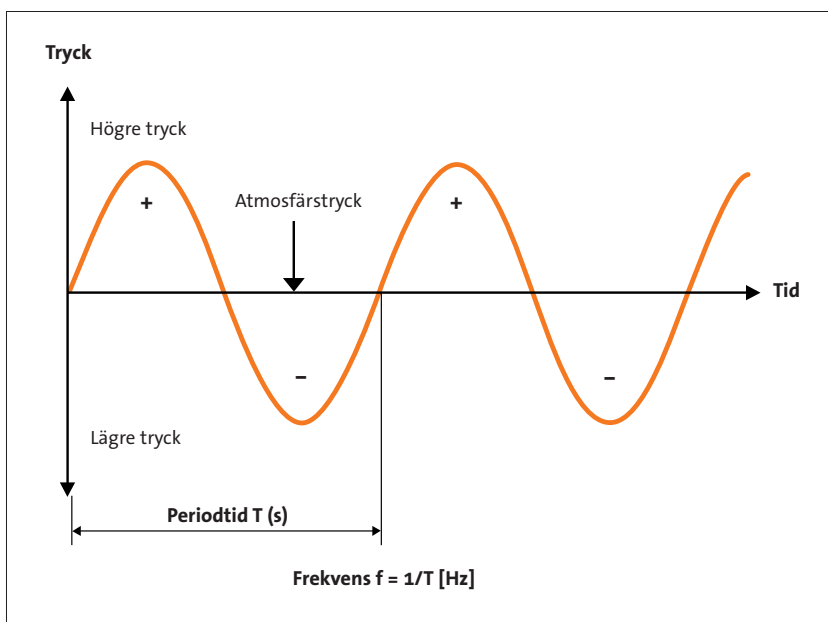
*) $20 \mu\text{Pa} = 0,00002 \text{ Pa}$

$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

Ljudhastighet, frekvens och våglängd

Vi kan skilja på olika typer av ljud genom att de har olika styrka (ljudtryckens storlek är olika) och har olika frekvenssammansättning.

- Ljudets *styrka* bestäms av tryckvariationernas amplitud (se figur 1) och anges i enheten pascal [Pa].
- Ljudets *frekvens* uttryckt i enheten hertz [Hz] är antalet perioder per sekund (se figur 1). Frekvensen är alltså ett mått på tonhöjden. Låg frekvens = bastoner. Hög frekvens = diskanttoner.
- Ljudets *våglängd* anges i enheten meter [m].
- Ljudets *utbredningshastighet* (ljudhastigheten) anges i enheten meter per sekund [m/s].



Figur 1. En ljudvåg är tryckvariationer kring atmosfärstrycket

Vid mätning av ljud omvandlas tryckvariationerna via ljudnivåmätarens mikrofon till elektriska signaler. Ljudnivåmätaren registrerar sedan det så kallade effektiva medelvärde (effektivvärdet) av mikrofonsignalen. Det definieras:

$$p_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p(t)^2 dt} \quad [\text{Formel 1}]$$

där

$T = t_2 - t_1$ = instrumentets integrationstid (tidskonstant) vilken är standardiserad till 1 000, 125 eller 35 ms (millisekunder). De betecknas *slow*, *fast* och *impulse*. Tidskonstanten innebär att mätsignalen integreras (ett medelvärde bildas) under en tid, ungefär så lång som tidskonstanten anger. Exempelvis med tidskonstanten *slow* avläses medelvärdet av signalen för den föregående sekunden (1 000 ms). För mycket kortvariga ljud, impulsljud, kan vissa instrument även registrera det högsta toppvärdet hos signalen vilket betecknas *peak*.

Sambandet mellan ljudets våglängd, utbredningshastighet och frekvens kan skrivas:

$$c = f \cdot \lambda \quad \text{[Formel 2]}$$

där

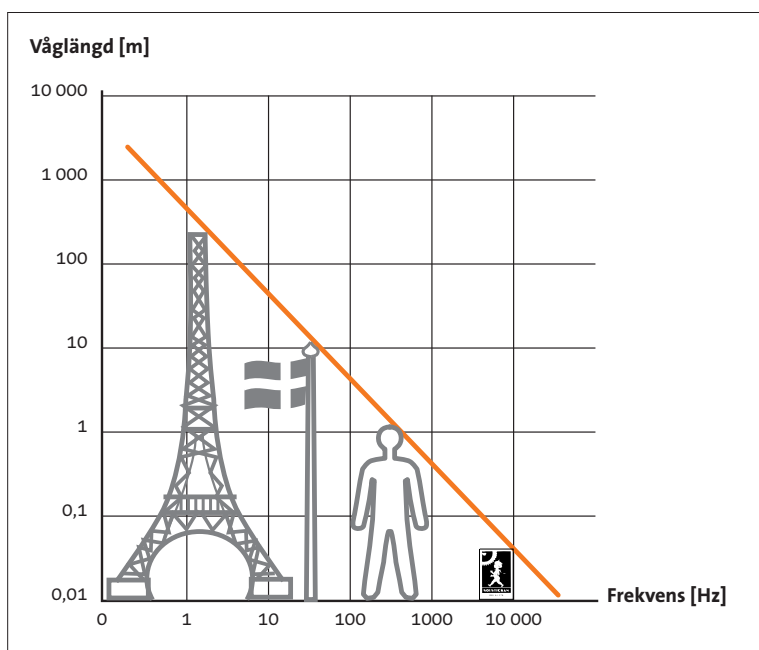
c = ljudhastigheten i m/s (meter/sekund)

f = ljudets frekvens i Hz (hertz)

λ = ljudets våglängd i m (meter)

I luft med temperaturen 20 °C och vid normalt atmosfärstryck är ljudhastigheten cirka 340 m/s.

EXEMPEL: Vid frekvensen 100 Hz blir våglängden $\lambda = 340/100 = 3,4$ m.



Figur 2.

Samband mellan frekvens och våglängd. Ljudhastigheten antas vara 340 m/s.

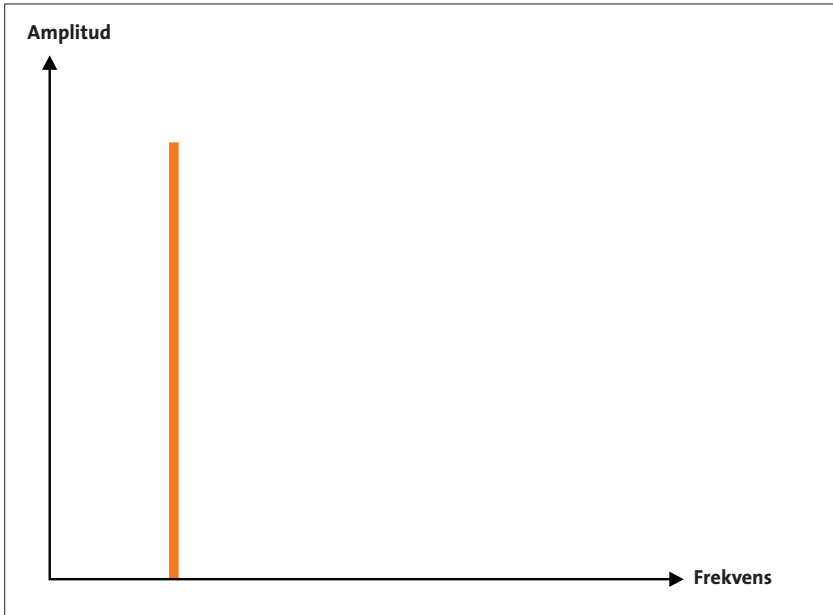
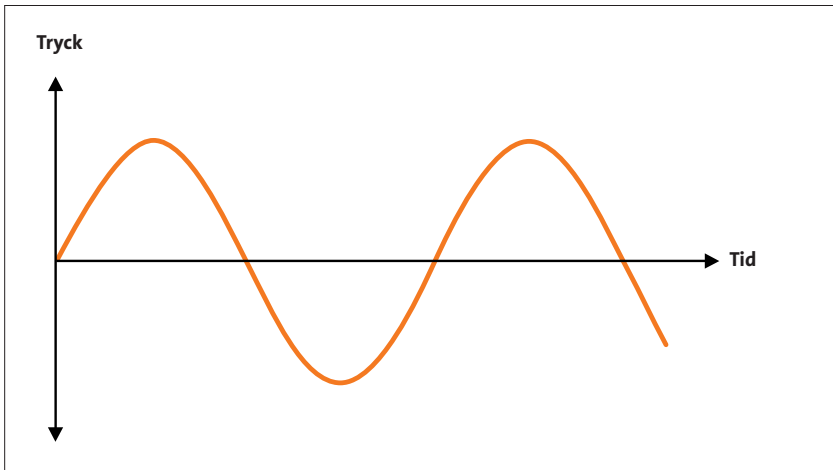
Ljudhastigheten i vätskor och fasta material är betydligt högre än i luft:

Luft	$c = 325 \text{ m/s}$	(vid $-10 \text{ }^\circ\text{C}$)
	$c = 343 \text{ m/s}$	(vid $+20 \text{ }^\circ\text{C}$)
	$c = 435 \text{ m/s}$	(vid $+200 \text{ }^\circ\text{C}$)
Stål	$c = 5\,200 \text{ m/s}$	
Vatten	$c = 1\,450 \text{ m/s}$	
Tegel	$c = 3\,500 \text{ m/s}$	

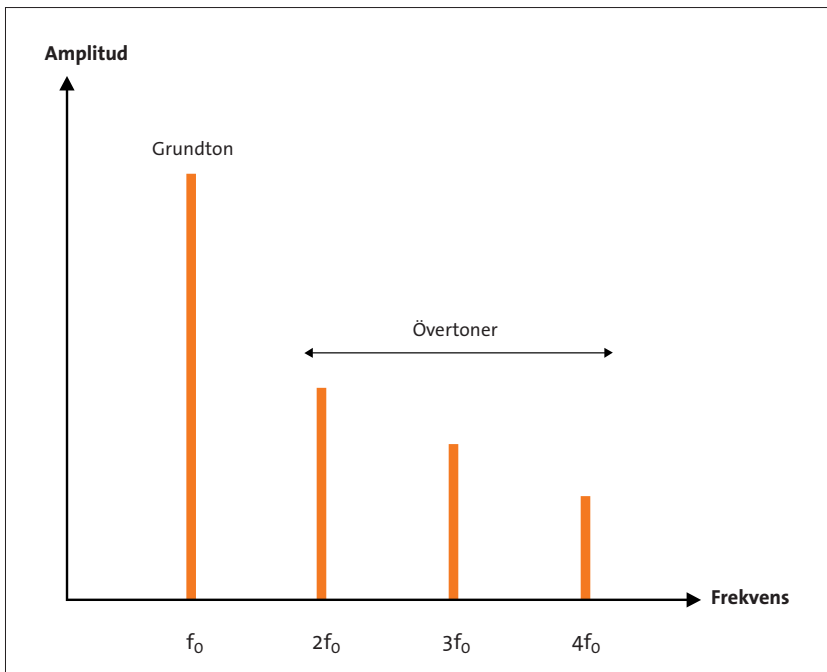
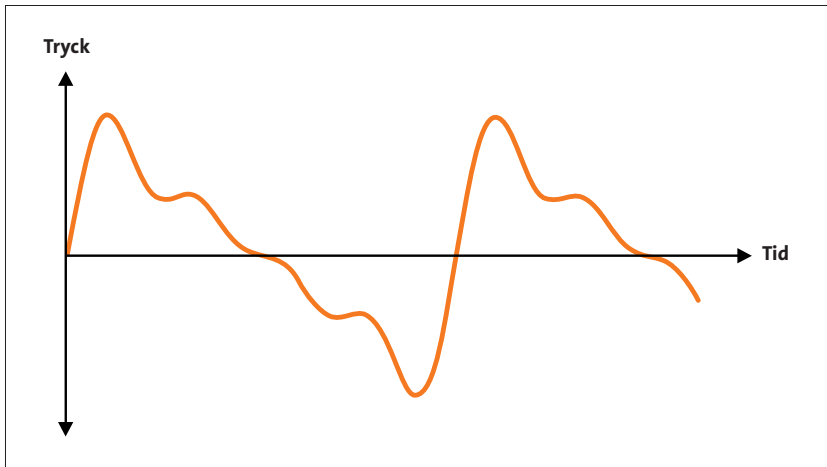
Lägg märke till att ljudhastigheten i gaser är kraftigt beroende av temperaturen.

Ljud som funktion av tid och frekvens

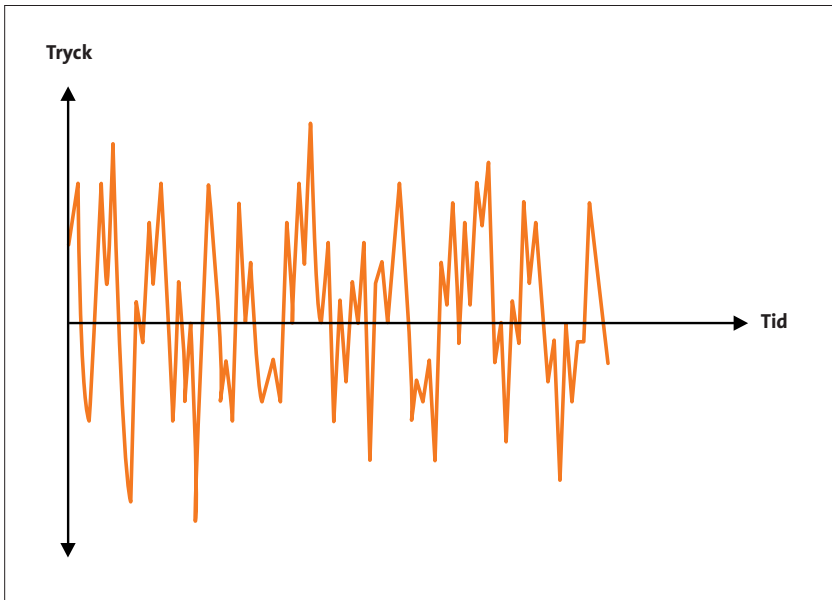
En ren ton består enbart av en grundton med viss frekvens. Den rena tonen förekommer sällan som störning i den industriella miljön. Normalt består ljud av toner med olika frekvenser. I industriell miljö är ljudet oftast sammansatt av en mängd olika toner och brus. Brus kan beskrivas som ljud som innehåller alla frekvenser med en slumpartad styrkefördelning. Talljud utgör exempelvis en blandning av rena toner och brus. Ljud kan beskrivas både som funktion av tiden och som funktion av frekvensen. Vid mätning registreras signalen först som funktion av tiden. Därefter bestäms signalens *ljudspektrum*, det vill säga vilka frekvenser signalen innehåller, med hjälp av *frekvensanalys*. Några exempel på olika typer av ljud och deras ljudspektrum visas i figur 3–6.



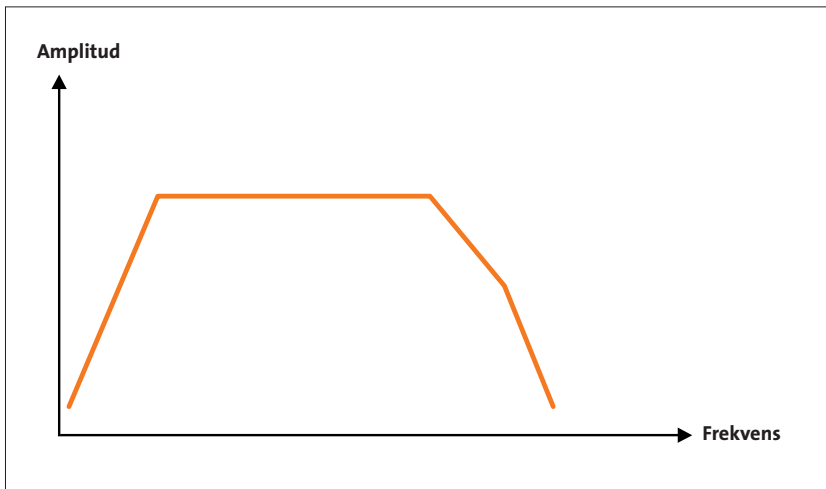
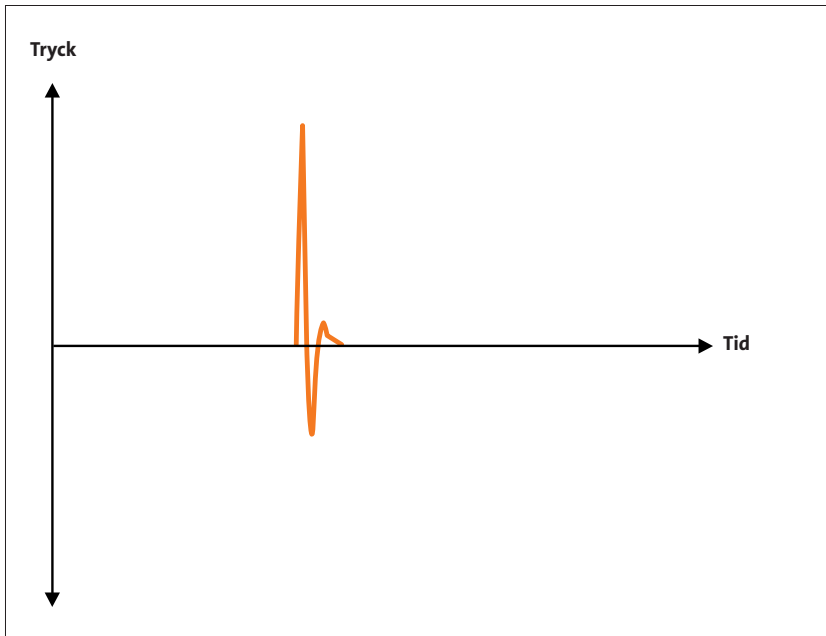
Figur 3a+b. Ljudspektrum för en ren ton består av en enda frekvenskomponent



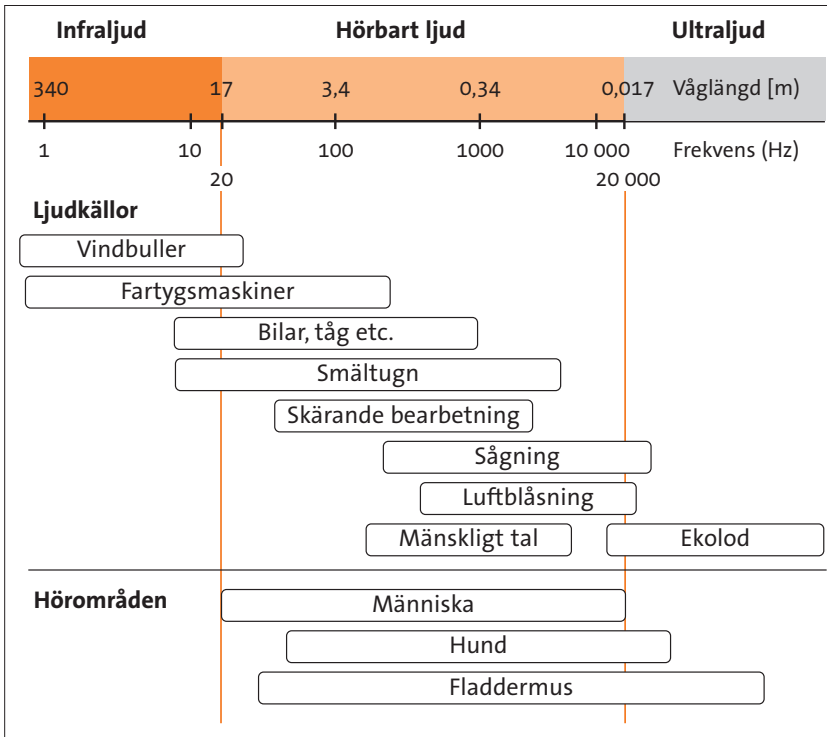
Figur 4a+b. Ljudspektrum för en periodisk funktion med flera ingående frekvenser. Förekommer exempelvis i samband med roterande maskiner där grundtonen f_0 representerar varvtalesfrekvensen och övertonerna är multiplar av denna.



Figur 5a+b. Brus från en helt slumpmässig process exempelvis ett vattenfall ger upphov till ett så kallat kontinuerligt ljudspektrum utan enskilda frekvenskomponenter



Figur 6a+b. Även impuls ljud ger upphov till ett kontinuerligt spektrum. Impulsens tidsförlopp bestämmer spektrumets nedre och övre gränser.



Figur 7. Ungefärliga gränser för hörområdet samt några olika ljudkällors frekvensområden

Hörbart ljud, infraljud och ultraljud

Ljud brukar uppdelas i *hörbart ljud*, *infraljud* och *ultraljud*. Med infraljud avses i allmänhet ljud med frekvenser under 20 Hz och med ultraljud avses ljud med frekvenser över 20 000 Hz. Hörbart ljud har frekvenser mellan dessa gränser.

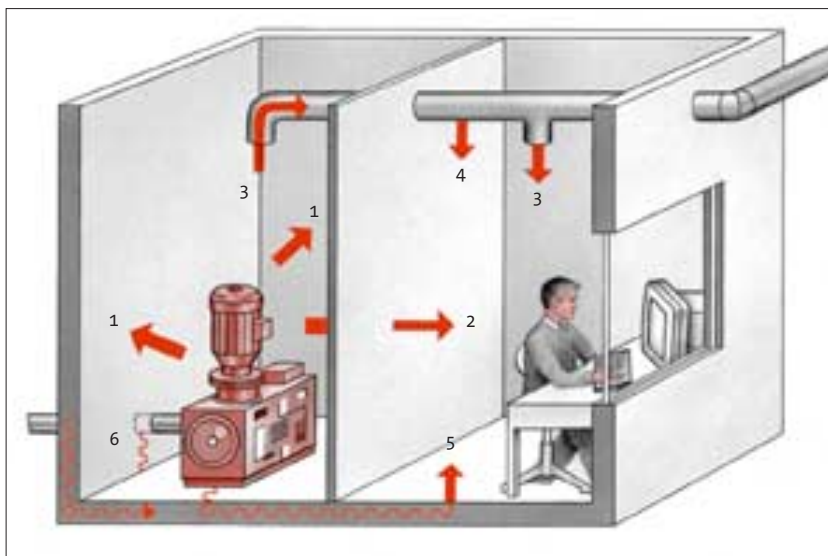
I Arbetsmiljöverkets/Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om buller definieras infraljud som ljud med lägre frekvenser än 22 Hz och ultraljud som ljud med frekvenser över 18 000 Hz. Motivet för detta val av frekvensgränser är att anpassa dessa så att de sammanfaller med bandfiltergränserna för de internationellt standardiserade tersbandsfiltren (1/3-oktavband). Se även avsnittet om frekvensanalys, sidan 35.

Kontinuerligt, fluktuerande och impulsartat ljud

Buller från de flesta bullerkällor sammansätts av brus och toner med olika frekvens samt med olika inbördes styrka.

Vissa bullerkällor, exempelvis elmotorer, avger huvudsakligen ett konstant *kontinuerligt* buller där frekvens- och styrkesammansättningen inte varierar med tiden. I de flesta fall är dock bullret *fluktuerande*, det vill säga frekvens- och styrkesammansättningen förändras hela tiden exempelvis till följd av att källans driftsförhållanden ändras. Mycket kortvariga ljud (skott, slag, maskinslammer etc.) är *impulsartade*.

Dessa olika ljudkaraktärer måste beaktas vid mätning av ljud och vid beräkningar för bullerbekämpningsåtgärder.



Figur 8. Figuren visar hur ljud kan överföras till omgivningen:

1. Direkt överföring från vibrerande maskinytor, från vibrerande gas- eller vätskefyllda rör och från luftströmningar i fläktar och insug.
2. Överföring (transmission) genom rumsytor till intilliggande rum.
3. Transmission genom öppningar i ventilationskanaler.
4. Transmission genom ventilationskanalens väggar.
5. Vibrationer från maskinen som sprids genom bjälklag och väggar som stomljud. Vibrationerna medför buller både i det rum där bullerkällan är uppställd och i angränsande rum.
6. Stomljudsutbredning av vätskeljud i rörledningar som sprids i byggnadsstommen.

Luftljud, stomljud och vätskeljud

Ljud kan fortplanta sig i alla medier som har en massa och är elastiska, det vill säga i gaser, vätskor och fasta material. Beroende på i vilket av medierna ljudet utbreder sig får det olika benämning. Ljud som utbreder sig i luft benämns *luftljud* medan ljud i fasta material benämns *stomljud*. Fortplantar sig ljudet i en vätska benämns det *vätskeburet ljud* eller *vätskeljud*. Ljud kan övergå från ett medium till ett annat. Under ljudets utbredning kan exempelvis stomljud generera luftljud och omvänt. Figur 8 visar hur ljud kan överföras.

Nivåer och decibel

Ljudtrycksnivå

Trumhinnan i örat känner av tryckvariationerna i ljudvågorna. Ljudtryckets amplitud (det dynamiska trycket) är ett naturligt mått på ljudets styrka. Örats dynamiska arbetsområde är mycket stort. Förhållandet mellan ljudtrycket vid smärtgränsen och det nätt och jämt uppfattbara ljudtrycket är mer än ett till en miljon. För att anpassa mät-skalan till örats stora arbetsområde samt till hur vi upplever styrkan hos ljud med olika ljudtryck används en logaritmisk skala för att beskriva ljudets styrka. De logaritmiska storheter som används inom akustiken betecknas *nivå* och anges oftast i enheten *decibel* (dB=1/10 Bel). I vissa sammanhang förekommer även enheten *Bel* [B].

Ljudtrycksnivå som är ett fysikaliskt och dimensionslöst mått på ljudets styrka definieras av uttrycket:

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [dB] \quad \text{[Formel 3]}$$

där

L_p = ljudtrycksnivån i dB

p = ljudtryckets effektivvärde i Pa

p_0 = referensljudtrycket 20 μ Pa ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa)

Referensljudtrycket $20 \mu\text{Pa}$ är enligt internationell standard ett svagt ljudtryck som nätt och jämnt kan uppfattas av en normalhörande person (det vill säga ljudet ligger på hörröskeln). För att göra det tydligt brukar man ibland ange referensljudtrycket efter enheten.

EXEMPEL: $L_p = 75 \text{ dB rel. } 20 \mu\text{Pa}$.

Vid referensnivån $20 \mu\text{Pa}$ blir ljudtrycksnivån 0 dB och vid smärtgränsen 20 Pa får man 120 dB .

Ljudeffektnivå

En ljudkällas *ljudeffektnivå* är ett mått på den akustiska effekt, ljudeffekt, som källan avger till omgivningen. Ljudeffekten och därmed också ljudeffektnivån är i de flesta fall oberoende av källans placering i lokalen, lokalegenskaper och liknande. Ljudeffektnivån definieras av uttrycket:

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}] \quad \text{[Formel 4]}$$

där

L_w = ljudeffektnivån i dB

W = den avgivna ljudeffektens tidsmedelvärde i W

W_0 = standardiserad referensljudeffekt 10^{-12} W

Av definitionen ovan kan utläsas att ljudeffektnivån L_w ökar med 3 dB om ljudeffekten fördubblas.

För att bestämma ljudeffektnivån finns ett antal internationella och europeiska standarder (se avsnittet ”Bestämning av ljudeffektnivå”, sidan 72).

Den praktiska användningen av ljudeffektbegreppet har på senare tid fått allt större betydelse. Enligt EUs maskindirektiv (Arbetsmiljöverkets/Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om maskiner och andra tekniska anordningar) ska en maskins ljudeffektnivå redovisas i bruksanvisningen, om den ekvivalenta A-vägda ljudtrycksnivån på operatörsplats överstiger 85 dB .

Eftersom ljudeffektnivån till skillnad från ljudtrycksnivån, är oberoende av rumsegenskaperna i exempelvis det rum där källan ska ställas upp, kan det i vissa fall vara lämpligt att ange ljudkrav uttryckta som maximal godtagbar ljudeffektnivå (se även avsnittet ”Ljudgaranti vid upphandling” sidan 213). Med kännedom om källans ljudeffektnivå kan sedan ljudtrycksnivån i en godtycklig lokal beräknas (se även avsnittet ”Ljudutbredning”, sidan 86).

Ljudintensitetsnivå

Den ljudeffekt som strömmar genom en enhetsarea (1 m^2) benämns ljudets intensitet. *Ljudintensitetsnivån* anger då akustisk intensitet relaterad till ett internationellt standardiserat referensvärde.

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad [dB] \quad \text{[Formel 5]}$$

där

L_I = ljudintensitetsnivån i dB

I = ljudintensitetens tidsmedelvärde i W/m^2

I_0 = standardiserad referensljudintensitet $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$

Hörselintryck – Hörnivå

Örats känslighet varierar med ljudets frekvens. För att bestämma denna variation lät man ett stort antal försökspersoner i åldern 18–25 år lyssna till två rena toner växelvis, den ena vid frekvensen 1 000 Hz och den andra vid en annan frekvens. Tonernas nivåer justerades till dess att försökspersonerna uppfattade dem som jämnstarka. På grundval av dessa resultat har örats känslighetskurvor bestämts för rena toner.

Det måste betonas att dessa kurvor representerar medelkurvor för ett stort antal försökspersoner. De individuella avvikelserna kan vara stora. Kurvorna gäller enbart för rena toner, som normalt endast förekommer i laboratoriesammanhang. Den streckade kurvan i diagram 1 anger den så kallade hörtröskeln, det vill säga den gräns då ett ljud nätt och jämt kan uppfattas. En ton som har samma subjektiva styrka som en ton på 1 000 Hz med ljudtrycksnivån $N \text{ dB}$ rel. $20 \text{ }\mu\text{Pa}$ sägs ha *hörnivån* $N \text{ phon}$.

EXEMPEL: Vid 100 Hz erfordras en ljudtrycksnivå på 52 dB för att hörnivån ska vara 40 phon.

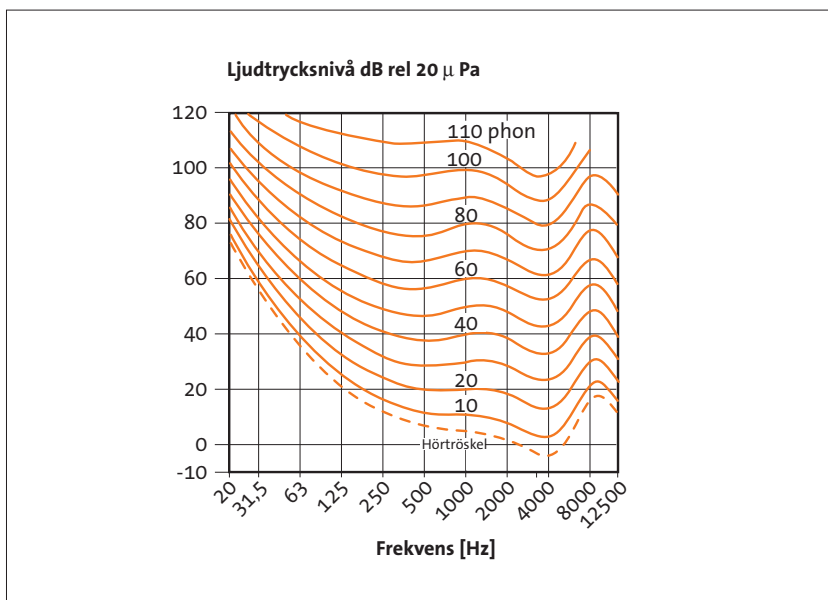


Diagram 1. Hörnivåkurvor enligt svensk standard SS-ISO 226 (1987)

Vägd ljudtrycksnivå (ljudnivå)

För att efterlikna den mänskliga hörseluppfattningen innehåller ljudnivåmätare oftast så kallade vägningsfilter som ger en frekvensberoende dämpning av mikrofonsignalen. Diagram 2 visar frekvensgången hos de två vanligaste filtren, vilka benämns A- och C-filtret. A-filtret är det vanligaste vägningsfiltret och används exempelvis vid bedömning av hörselskaderisk. C-filtret används vanligen vid mätning och bedömning av impuls ljud. Mätning med båda filtren tillämpas vid val av hörselskydd (se även avsnittet om val och utprovning av hörselskydd, sidan 188).

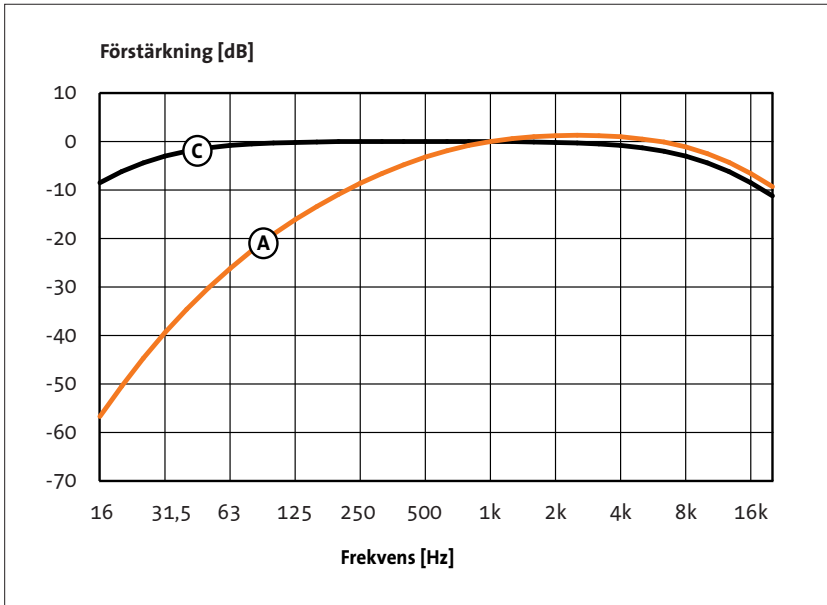


Diagram 2. Filterkurvor för ljudnivåmätarens A- och C-filter

En med vägningsfilter uppmätt ljudtrycksnivå kallas *vägd ljudtrycksnivå* och anges i enheten dB. Den betecknas L_{pA} (alternativt L_A) när A-filtret använts vid mätningen och L_{pC} (alternativt L_C) när C-filtret använts.

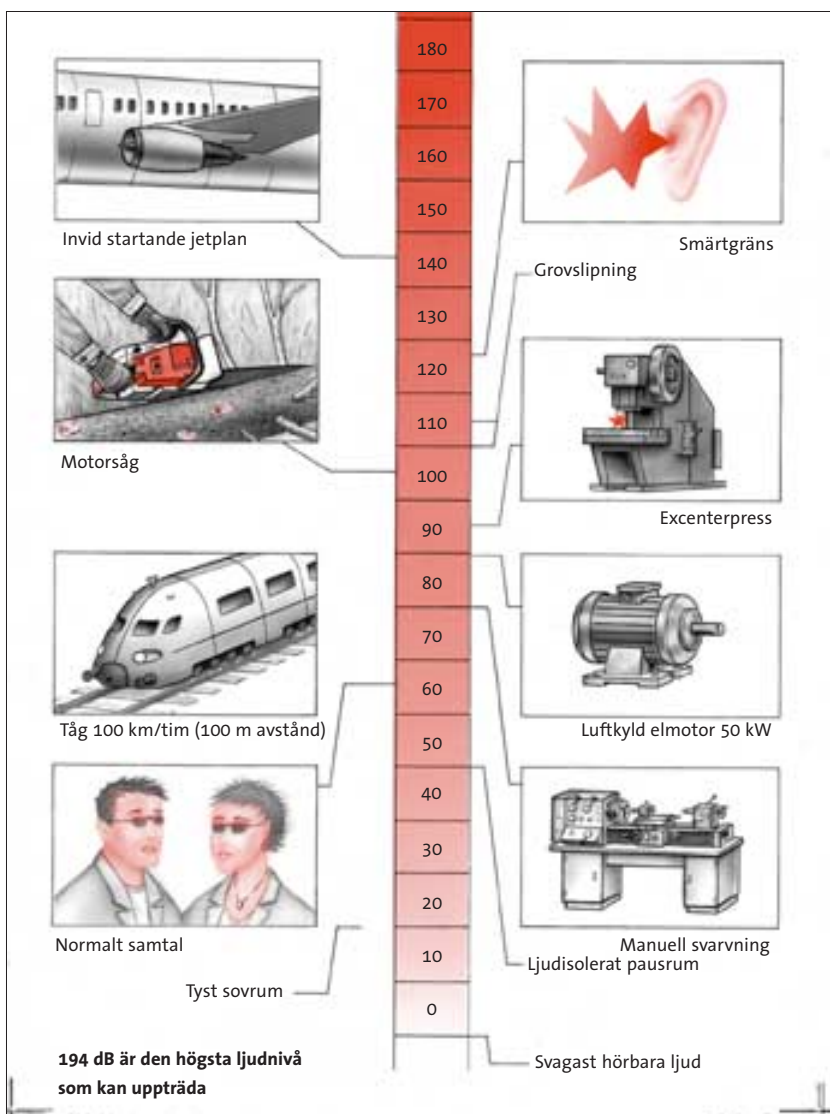
EXEMPEL PÅ SKRIVSÄTT: $L_{pA} = 75$ dB rel. $20 \mu\text{Pa}$.

Det förekommer även att den vägda ljudtrycksnivån benämns *ljudnivå*. Då anges det använda vägningsfiltret inom parentes i enhetsbeteckningen.

EXEMPEL: Ljudnivån = 75 dB(A) rel. $20 \mu\text{Pa}$.

För sammansatta ljud, exempelvis industribuller som ofta har bredbandig karaktär och täcker större delen av det hörbara frekvensområdet, beskrivs hörselintrycket i verkligheten av mer komplicerade samband. Vägda ljudtrycksnivåer har då ofta dålig överensstämmelse med den subjektiva upplevelsen av bullret.

Som ett riktvärde gäller att en ökning av den vägda ljudtrycksnivån med 8–10 dB av de flesta människor upplevs som en fördubbling av



Figur 9. Figuren visar några ljudkällors ljudnivå [dB(A)] mätt på cirka 1 meters avstånd.

hörselintrycket, det vill säga ljudet upplevs som dubbelt så starkt. På motsvarande sätt upplevs en sänkning av nivån med 8–10 dB som en halvering av hörselintrycket. Även om störkänsligheten varierar mellan olika individer ger regeln en hygglig uppfattning om hur ljud uppfattas vid de nivåer som är aktuella i industrimiljö.

När bullret är utpräglat lågfrekvent gäller inte detta riktvärde utan mindre ökning/minskningar av nivån är tillräckliga för en fördubbling/halvering av hörselintrycket. Detta framgår av hörnivåkurvorna i diagram 1 sidan 26. Exempelvis vid 50 Hz räcker en ökning med cirka 5 dB för att ge en fördubbling av hörselintrycket vid låga ljudtrycksnivåer.

Vägd ljudeffektnivå och ljudintensitetsnivå

Vägningsfilter används även i samband med bestämning av ljudeffektnivå och ljudintensitetsnivå. Nivåerna kallas då *vägd ljudeffektnivå* respektive *vägd ljudintensitetsnivå* och anges i enheten dB. De betecknas då L_{WA} respektive L_{IA} när A-filtret använts.

EXEMPEL PÅ SKRIVSÄTT: $L_{WA} = 100$ dB rel. 10^{-12} W.

Ekvivalent ljudtrycksnivå

I de flesta arbetsmiljöer varierar ljudet under en arbetsdag. För att karakterisera ett tidsvarierande buller och skapa ett mått på ljudets störande eller skadliga påverkan har storheten *ekvivalent ljudtrycksnivå* införts. Denna nivå definieras som den ljudtrycksnivå med konstant styrka som representerar samma totala ljudenergi som den tidsvarierande nivån under en given tidsperiod, exempelvis en 8-timmars arbetsdag. Ekvivalent ljudtrycksnivå är alltså en form av genomsnittlig ljudtrycksnivå under en given tidsperiod. Vid redovisning av ekvivalent ljudtrycksnivå bör man alltid ange mättidens längd. Ekvivalent ljudtrycksnivå definieras av uttrycket:

$$L_{peq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 6]}$$

där

$L_{peq,T}$ = ekvivalent ljudtrycksnivå under tiden T i dB

$p(t)$ = ljudtryckets momentanvärde i Pa

p_0 = referensljudtrycket 20 μ Pa

T = mätperiodens längd

Vanligen avses A-vägd storhet. Uttrycket blir då:

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{p_A(t)}{p_0} \right]^2 dt \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 7]}$$

där

$L_{pAeq,T}$ = A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå under tiden T

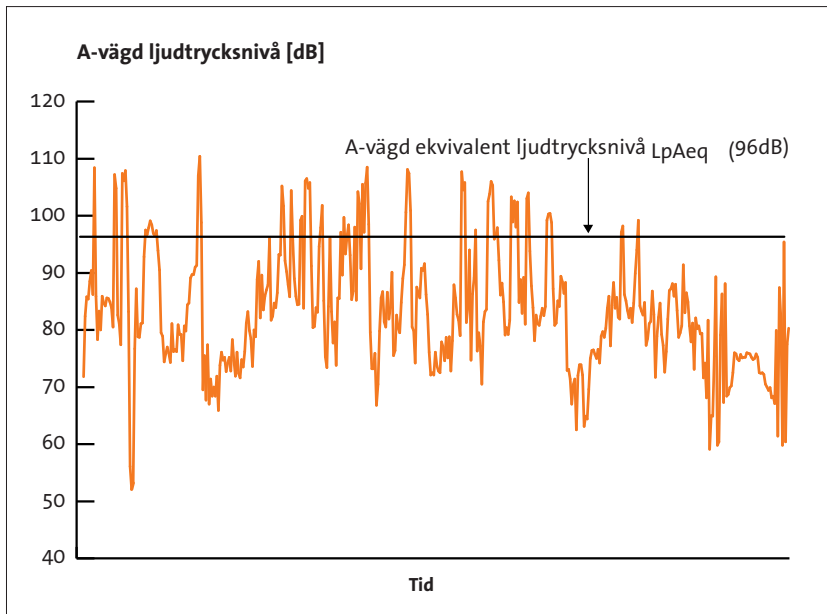
$p_A(t)$ = det A-vägda ljudtryckets momentanvärde i Pa

Med hjälp av definitionen på ljudtrycksnivå kan ovanstående uttryck skrivas:

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_{pA}(t)} dt \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 8]}$$

där

$L_{pA}(t)$ = den momentana A-vägda ljudtrycksnivån i dB



Figur 10. Exempel på ekvivalent ljudtrycksnivå för ett buller där ljudtrycksnivån varierar över tiden

Den A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån $L_{pAeq,T}$ kan direkt registreras med en integrerande ljudnivåmätare eller så kallad bullerdosimeter. Den kan även i vissa fall beräknas med utgångspunkt från utförda ljudnivåmätningar och med ledning av förenklade antaganden om ljudets variationer under mätperioden. Den ekvivalenta ljudtrycksnivån för ett antal exponeringar under olika tider och med olika ljudtrycksnivåer kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \left(t_1 10^{0,1L_{pA1}} + t_2 10^{0,1L_{pA2}} + \dots + t_n 10^{0,1L_{pAn}} \right) \right] \quad [dB]$$

[Formel 9]

där

$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ (vanligen 8 timmar i samband med arbetstagares bullerexponering).

t_1, t_2, \dots, t_n = mättid för de enskilda mätningarna.

$L_{pA1}, L_{pA2}, \dots, L_{pAn}$ = A-vägd ljudtrycksnivå för de enskilda mätningarna (kan även vara ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå för enskilda kortare representativa mätperioder).

EXEMPEL: En arbetstagar arbetar under en arbetsdag vid flera olika maskiner med olika ljudtrycksnivåer enligt tabell 1 nedan.

Tabell 1

Maskin nr	A-vägd ljudtrycksnivå (dB)	Tid vid maskinen (timmar)
1	92	2,0
2	86	1,0
3	83	1,5
4	95	0,5
5	90	3,0

Den ekvivalenta ljudtrycksnivån för hela arbetsdagen blir då:

$$L_{pAeq,8} = 10 \lg \left[\frac{1}{8} \left(2 \cdot 10^{0,1 \cdot 92} + 1 \cdot 10^{0,1 \cdot 86} + 1,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 83} + 0,5 \cdot 10^{0,1 \cdot 95} + 3 \cdot 10^{0,1 \cdot 90} \right) \right] \quad [dB]$$

vilket uträknat blir 90,2 dB.

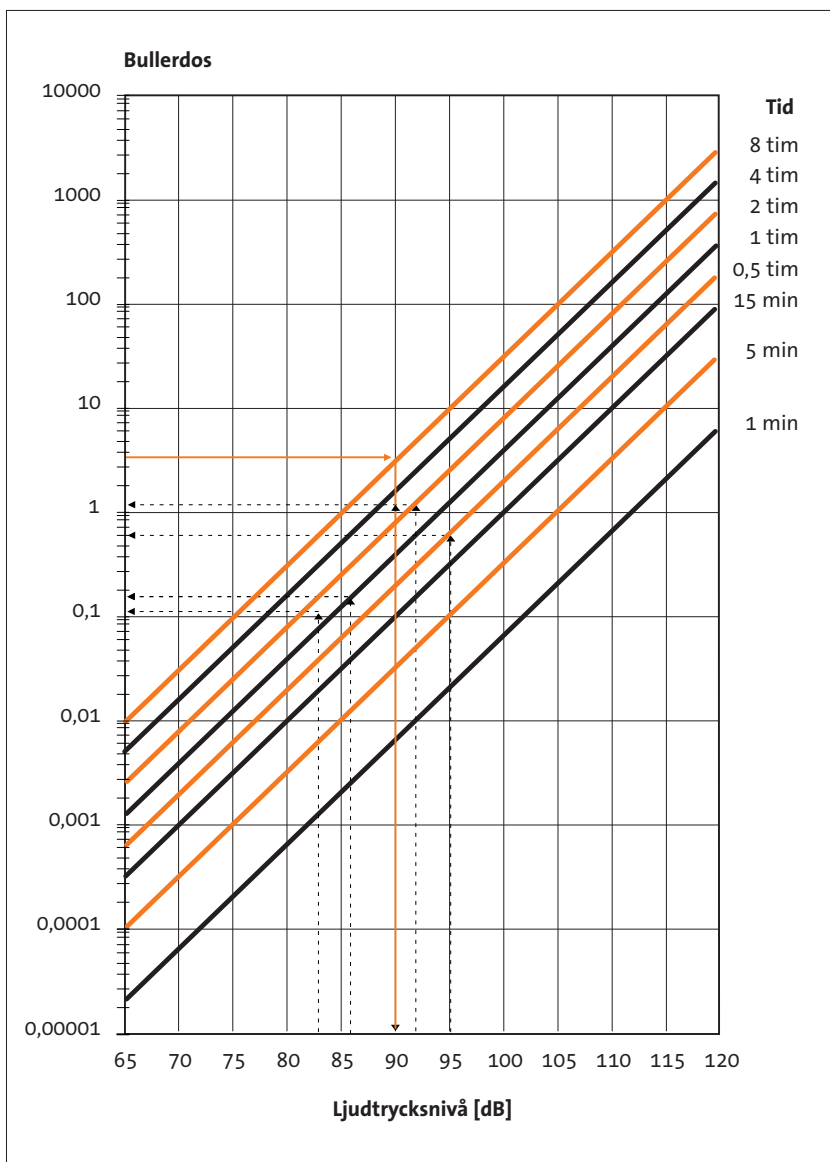


Diagram 3. Uppskattning av ekvivalent ljudtrycksnivå för exponeringar under olika tider och med olika ljudtrycksnivå

En uppskattning av den ekvivalenta ljudtrycksnivån kan även göras med hjälp av diagram 3. Värdena på Y-axeln representerar den så kallade bullerdosen där värdet 1 (100 %) motsvarar en A-vägd ljudtrycks-nivå på 85 dB under 8 timmar.

Om man utgår från värdena i tabell 1 kan man ur diagram 3 avläsa värdena 1,2; 0,15; 0,12; 0,6 och 1,2 vilket summerat ger en bullerdos på cirka 3,3 (330 %). Avläsning i diagrammet ger då att denna dos motsvarar cirka 90 dB ekvivalent ljudtrycksnivå för 8 timmar.

Eftersom den ekvivalenta ljudtrycksnivån bygger på ett medelvärde av ljudenergin kan ett kortvarigt starkt ljud ge ett stort bidrag till den ekvivalenta nivån räknat över exempelvis en arbetsdag. En konstant A-vägd ljudtrycksnivå L_{pA} på 100 dB under 15 minuter motsvaras exempelvis av en ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå på 85 dB räknat över en arbetsdag på 8 timmar ($L_{pAeq,8} = 85$ dB).

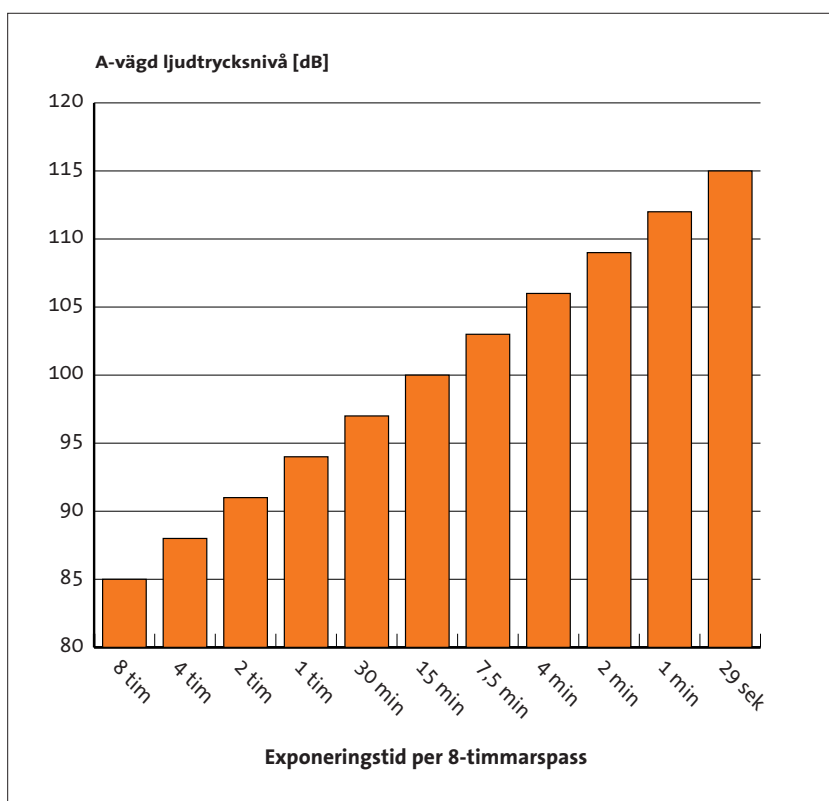


Diagram 4. Värden på A-vägd ljudtrycksnivå och exponeringstid motsvarande en ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå på 85 dB i 8 timmar ($L_{pAeq,8} = 85$ dB)

En A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå på 85 dB under 8 timmar motsvarar 88 dB under 4 timmar. En ökning av nivån med 3 dB motsvarar en halvering av exponeringstiden för samma ekvivalenta ljudnivå. Motsvarande innebär en sänkning av nivån med 3 dB en dubbling av exponeringstiden. Sambandet är ett uttryck för vad som inom akustiken brukar kallas för "lika energiprincipen".

Ljudtrycksnivå för enstaka händelse

I vissa fall, till exempel för arbete med maskiner av slående typ som spik- och häftpistoler, är det möjligt att bestämma bullerexponeringen utifrån mätningar av ljudtrycksnivån för ett enstaka slag. Vissa mätinstrument har möjlighet att beräkna vad som betecknas SEL (Single-Event sound pressure Level eller Sound Exposure Level) utifrån mätning på en enstaka händelse. Resultatet redovisas som ekvivalent ljudtrycksnivå för ett förlopp som varar 1 sekund ($L_{p,1s}$) oavsett mättiden. Den ekvivalenta A-vägd ljudtrycksnivån för en 8-timmars arbetsdag med ett givet antal händelser kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$L_{pAeq,8} = L_{pA,1s} - 45 + 10 \lg n \quad [dB] \quad \text{[Formel 10]}$$

där

$L_{pA,1s}$ = A-vägd ljudtrycksnivå för enstaka händelse (SEL-värde)

n = antalet händelser

EXEMPEL: En arbetstagarer skjuter 1 800 skott per dag med en spikpistol.

$L_{pA,1s}$ (SEL) har för ett skott, uppmätts till 100 dB vid operatörens öra.

Den ekvivalenta ljudtrycksnivån för en 8-timmars arbetsdag blir då:

$$L_{pAeq,8} = 100 - 45 + 10 \lg 1800 = 100 - 45 + 33 = 88 \quad [dB]$$

förutsatt att arbetstagararen inte utsätts för något annat buller under arbetsdagen.

Impulstoppvärde (toppljudtrycksnivå)

Vid mätning av impulsljud, exempelvis slagljud, bestäms det så kallade impulstoppvärdet (peak). I detta fall är det inte effektivvärdet som beräknas, utan det maximala ljudtrycksvärdet som bestäms. Vanligtvis används vägningsfilter C vid denna typ av mätningar. Resultatet redovisas då som C-vägd toppljudtrycksnivå ($L_{pC,peak}$).

Frekvensanalys

Ofta behövs information om ljudets nivå vid olika frekvenser. Vid konstruktion av exempelvis en huv till en maskin behövs mer information om ljudet än vad man får ut vid mätning av enbart vägd ljudtrycksnivå. Eftersom en huv vanligen ger olika dämpning av ljud med olika frekvenser, krävs en frekvensanalys av ljudet som underlag

Frekvensanalys i oktavband

Frekvensuppdelning av ljudet kan göras i frekvensband med olika bandbredd. Det vanligaste förfarandet är en uppdelning av ljudet i så kallade *oktavband* med hjälp av elektroniska filter, så kallade *oktav(bands)filter*. Ljudtrycksnivån mäts då i vart och ett av dessa oktavband. Denna *oktavbandsnivå* mäts oftast utan användning av bredbandsfilter (exempelvis A- eller C-filter). I vissa sammanhang, till exempel när man vill veta vilket frekvensområde som ger det dominerande bidraget till den A-vägd ljudtrycksnivån, kan en kombination av oktavfilter och A-filter användas.

Oktavfilter är ofta så konstruerade att de kan anbringas på en ljudnivåmätare eller ingå i denna. Traditionellt har analoga elektroniska filter använts, men med dagens teknik tillämpas även så kallad digital filtrering vilken utgår från digitaliserade signaler.

Definitionsmässigt omfattar ett oktavband alla frekvenser mellan bandets undre gränzfrequens f_u och dess övre gränzfrequens $f_ö = 2 \cdot f_u$. Bandet betecknas med sin geometriska mittfrekvens:

$$f_m = \sqrt{f_u \cdot f_ö} = \sqrt{2} \cdot f_u = \frac{f_ö}{\sqrt{2}} \quad \text{[Formel 11]}$$

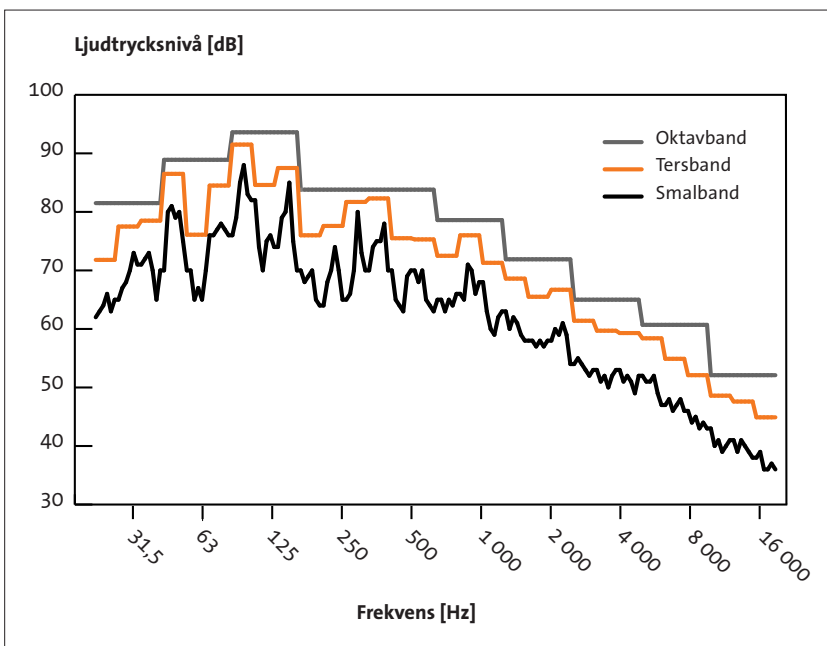
Mittfrekvens f_m [Hz]	Tersfilter $f_u - f_g$ [Hz]	Oktavfilter $f_u - f_g$ [Hz]
12,5	11,2–14,1	11,2–22,4
16	14,1–17,8	
20	17,8–22,4	
25	22,4–28,2	22,4–44,7
31,5	28,2–35,5	
40	35,5–44,7	
50	44,7–56,2	44,7–89,1
63	56,2–70,8	
80	70,8–89,1	
100	89,1–112	89,1–178
125	112–141	
160	141–178	
200	178–224	178–355
250	224–282	
315	282–355	
400	355–447	355–708
500	447–562	
630	562–708	
800	708–891	708–1 410
1 000	891–1120	
1 250	1 120–1 410	
1 600	1 410–1 780	1 410–2 820
2 000	1 780–2 240	
2 500	2 240–2 820	
3 150	2 820–3 550	2 820–5 620
4 000	3 550–4 470	
5 000	4 470–5 620	
6 300	5 620–7 080	5 620–11 200
8 000	7 080–8 910	
10 000	8 910–11 200	
12 500	11 200–14 100	11 200–22 400
16 000	14 100–17 800	
20 000	17 800–22 400	

Tabell 2. Standardiserade mittfrekvenser samt övre och undre gränshänsfrekvenser för ters- och oktavbandsfilter. De färgade fälten markerar oktavband.

Oktavband har konstant relativ bandbredd, där bandbredden är cirka 70 % av bandets mittfrekvens. Oktavbandens mittfrekvenser är internationellt standardiserade. Det hörbara området omfattar de tio oktavbanden med mittfrekvenserna 31,5; 63; 125; 250; 500; 1 000; 2 000; 4 000; 8 000 och 16 000 Hz.

Frekvensanalys i tersband

För mer detaljerad analys av frekvenssammansättningen kan mätutrustning med ett smalbandigt filter användas, exempelvis *tersbandsfilter* (1/3-oktavfilter). Varje oktavband indelas då i tre tersband. Liksom oktavband har tersbanden konstant relativ bandbredd. Bandbredden är cirka 23 % av bandets mittfrekvens.



Figur 11. Samma buller analyserat i smalband, tersband och oktavband. Observera att för ett bredbandigt buller (där alla frekvenser är representerade) registreras lägre ljudtrycksnivåer ju smalare filter som används. För rena toner blir ljudtrycksnivån densamma oberoende av filterbandbredden.

Smalbandsanalys

Ibland finns behov av att analysera ljudets frekvensinnehåll i ännu smalare frekvensband, så kallad smalbandsanalys. För detta ändamål används numera vanligen så kallad FFT-analys (Fast Fourier Transform) där signalbehandlingen sker digitalt. Ljudspektrat presenteras då uppdelat i ett antal linjer eller sammanbundna punkter.

Summering av nivåer

Nivåstorheter angivna i enheten dB kan ej adderas direkt. Om två eller flera ljudkällor är i drift samtidigt kan den resulterande ljudtrycksnivån i en given punkt beräknas om man känner den ljudtrycksnivå som varje enskild källa ger upphov till i den aktuella mätpunkten. Ett sätt är att omvandla registrerade ljudtrycksnivåer till ljudintensiteter, addera dessa och därefter beräkna den totala ljudtrycksnivån. Följande formel kan då användas:

$$L_{p(res)} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{p,i}} = 10 \lg (10^{0,1L_{p,1}} + 10^{0,1L_{p,2}} + \dots + 10^{0,1L_{p,n}}) \quad [dB]$$

[Formel 12]

där

$L_{p(res)}$ = resulterande ljudtrycksnivå i dB

$L_{p,i}$ = ljudtrycksnivå orsakad av ljudkälla nr i

n = antalet ljudkällor

$L_{p,1}$ = ljudtrycksnivå orsakad av källa nr 1

$L_{p,2}$ = ljudtrycksnivå orsakad av källa nr 2

$L_{p,n}$ = ljudtrycksnivå orsakad av källa nr n

En enklare metod innebär parvis summering av dB-tal, vilket kan göras med hjälp av diagram 5.

EXEMPEL: Tre ljudkällor ger var för sig upphov till ljudtrycksnivåerna 85, 88 och 90 dB. Skillnaden mellan 85 och 88 dB är 3 dB varför det enligt diagrammet ska adderas 1,7 dB till den högsta ljudtrycksnivån. Detta ger 89,7 dB \approx 90 dB. I nästa steg blir skillnaden 0 dB varför 3,0 dB ska adderas till 90 dB. Den resulterade ljudtrycksnivån blir då 93 dB.

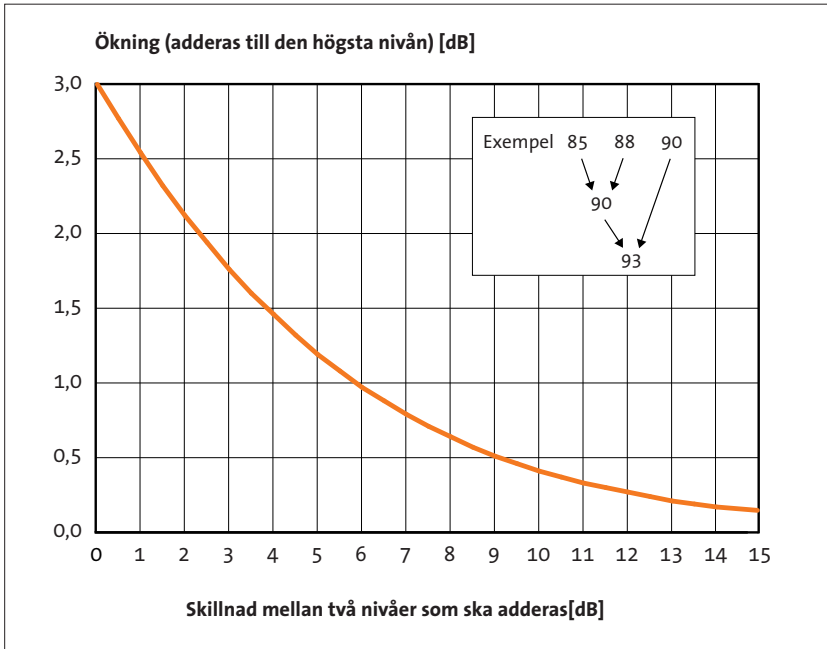


Diagram 5. Bestämning av resulterande ljudtrycksnivå

Summering av nivåer enligt denna metod kan normalt göras i de flesta sammanhang där man har flera bullerkällor. Om ljudkällorna är identiska kan dock så kallad interferens uppträda. Interferensen kan vara konstruktiv vilket kan ge upp till 6 dB högre ljudtrycksnivå när ljuden från två källor samverkar, jämfört med enbart en källa. Den kan också vara destruktiv då ljuden från källorna motverkar varandra, vilket kan ge en avsevärd minskning av ljudtrycksnivån. Destruktiv interferens tillämpas till exempel vid så kallad aktiv dämpning (se även avsnittet om aktiva ljuddämpare, sidan 180). Fenomenet uppträder oftast vid låga frekvenser och kräver specialstudier för att kunna behandlas.

Korrektion av mätresultat vid hög bakgrundsnivå

En bullermätning har ofta syftet att bestämma den ljudtrycksnivå som en ljudkälla ger upphov till i omgivningen. Om bakgrundsnivån i mät-punkten är hög, kommer mätresultatet att påverkas av denna. För att då kunna bestämma den ljudtrycksnivå som enbart källan ger upphov till i

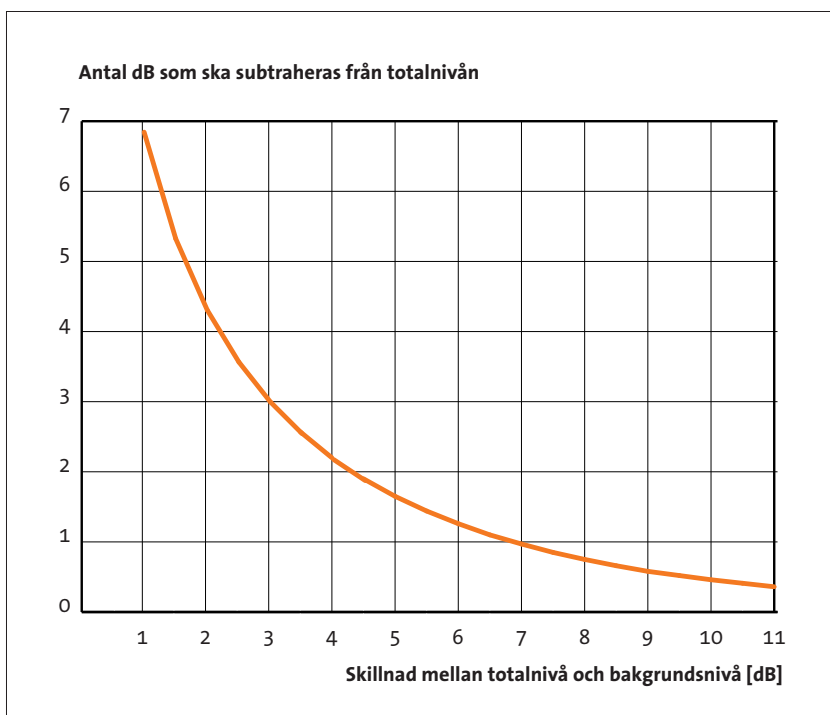


Diagram 6. Korrigering för hög bakgrunds nivå.

mät punkten måste mätresultatet korrigeras för bakgrundsljudets inflytande. En sådan korrigering behöver dock inte göras om den registrerade totala ljudtrycksnivån överstiger bakgrundsnivån med mer än cirka 10 dB. Om skillnaden mellan totalnivån och bakgrundsnivån är mindre än cirka 3 dB, blir det korrigerade mätresultatet mycket osäkert. Mätningen bör i så fall upprepas vid ett annat tillfälle då bakgrundsnivån är lägre. De korrigeringar som ska subtraheras från de uppmätta totala ljudtrycksnivåerna framgår av diagram 6.

EXEMPEL: Vid mätning av buller från en kompressor registrerades i mät punkten den totala A-vägda ljudtrycksnivån 80 dB. Bakgrundsnivån med ljudkällan avstängd uppmättes till 73 dB. Skillnaden 7 dB innebär att 1 dB ska subtraheras från totalljudnivån. Vid mätning av kompressorns ljudtrycksnivå i en miljö med lågt bakgrundsbuller blir värdet således 79 dB.

Referenser

Bodén, H.; Carlsson, U.; Glav, R.; Wallin, H. P.; Åbom, M.: *Ljud och vibrationer*.
KTH MWL 1999.

SS-ISO 226:1987 *Akustik–Hörnivåkurvor*.

Systematik och långsiktighet

För att uppnå och behålla en god ljudmiljö krävs ett systematiskt och långsiktigt arbete med bullerfrågorna. Det är då viktigt att alla i företaget engageras och att arbetsledning och personal motiveras till ökat ansvar. En grundförutsättning för att nå resultat är att företagsledningen har en positiv inställning och att denna är klart uttalad och känd inom hela företaget.

Bullerpolicy

Ett bra hjälpmedel är en av ledningen upprättad bullerpolicy som anger företagets långsiktiga strategi. Den kan användas för att styra fördelningen av arbetsuppgifter och resurser för bullerarbetet. Den kan även fastställa hörselvårdsprogram och innehålla målvärden för högsta tillåtna bullernivåer på olika arbetsplatser. Målvärdena fastställer man för varje verksamhet och de omprövas när förutsättningarna förändras. Bullerpolicyn utgör lämpligen en del av den arbetsmiljöpolicy som föreskrivs i Arbetsmiljöverkets föreskrifter om systematiskt arbetsmiljöarbete.

Hörselvårdsprogram

Att tillämpa ett hörselvårdsprogram innebär att man på ett systematiskt sätt arbetar med att förhindra uppkomsten av hörselskada orsakad av buller. Hörselvårdsprogrammet kan innefatta bullerkartläggning, information till de anställda, utprovning av hörselskydd, åtgärder för minskning av bullerexponeringen samt regelbunden hörselmätning av de anställda. Det är också viktigt att programmet utvärderas och uppdateras regelbundet.

Målvärden

Målvärdena grundas lämpligen på en kartläggning av den befintliga miljön. Vid nya anläggningar är det lämpligt att ta fram data på bra referensanläggningar. Målvärdena bör också relateras till aktuella myndighetskrav för arbetstagarnas bullerexponering.

Genomförande

Följande steg kan vara lämpliga i bullerbekämpningsarbetet:

a) *Bestäm målen och ställ upp kriterier genom att beakta:*

- Lagstiftning och gränsvärden.
- Hörselskaderisk.
- Störning och komfort.

b) *Genomför en kartläggning av bullersituationen och bestäm:*

- Aktuella områden.
- Arbetstagarnas bullerexponering.
- De olika bullerkällornas eller arbetsmomentens bidrag till arbetstagarnas exponering.
- Bullerkällornas ljudemission.
- Arbetslokalens akustik.

c) *Överväg bullerbekämpningsåtgärder*

- vid källan, exempelvis:
 - byte till tystare maskin,
 - byte av arbetsmetod,
 - påverka störkrafter, gör processen "mjukare",
 - minska ljudutstrålning från vibrerande ytor,
 - dämpa utströmmande tryckluft,
- längs utbredningsvägen, exempelvis:
 - inbyggnader,
 - ljuddämpare,
 - vibrationsisolering,
 - avskärmning,

- avskiljning (väggar),
 - lokalåtgärder,
 - vid mottagaren, exempelvis:
 - avskärmning,
 - manöverhytter,
 - hörselskydd.
- d) *Utarbeta förslag och besluta om åtgärder.*
- e) *Upprätta ett tidsplanerat åtgärdsprogram.*
- f) *Genomför åtgärderna.*
- g) *Kontrollera genom nya mätningar att åtgärderna varit tillräckliga.*
- h) *Upprätta eventuellt ett nytt åtgärdsprogram.*

Organisation

Arbetet bedrivs lämpligen i projektform. Genom att engagera alla berörda i företaget kan man dra nytta av den kunskap som finns i organisationen. Medverkan av personalen är också viktig genom att bullerbekämpningsåtgärderna kan förändra maskin- och operatörmiljön avsevärt.

Representanter med olika funktioner i företaget kan behöva involveras, till exempel ledning, planerare, inköpsavdelning, skyddskommitté, underhållspersonal, process- och produktionsavdelningar, teknisk personal, fackföreningar och berörda arbetstagare. För att alla berörda parter medverkan ska bli så effektiv som möjligt är det ofta nödvändigt att åtgärderna föregås av lämplig information och utbildning. Det kan också vara lämpligt att ta med extern expertis exempelvis från företagshälsovården eller andra konsulter.

Tidsplanerat åtgärdsprogram

Arbetsmiljöverkets/Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om buller kräver bland annat att åtgärdsprogram för att minska bullret för arbetstagarna måste göras om bullerexponeringen överstiger angivna gränsvärden.

Ett åtgärdsprogram är en tydlig beskrivning av vilka åtgärder som kommer att vidtas för att minska bullret så att det inte är hörselskadligt. Programmet ska vara tidsplanerat det vill säga det ska ange när de olika åtgärderna beräknas vara genomförda. Det är också lämpligt att ange vem som ska se till att åtgärderna genomförs. Omfattningen och utformningen av ett åtgärdsprogram kan skilja sig mellan större och mindre företag. Tiden för att genomföra programmet kan också variera.

Om kompetens inte finns inom företaget, kan man få hjälp med mätningar, åtgärdsförslag och upprättande av åtgärdsprogram från till exempel företagshälsovård eller andra konsulter på området. Men det är ändå alltid arbetsgivaren som är ansvarig för åtgärdsprogrammet.

Exempel på utformning av åtgärdsprogram

ÅTGÄRDSPROGRAM FÖR BULLER VID VERKSTADSPRODUKTION AB

En kartläggning av bullersituationen i företagets produktions- och monteringshallar har utförts med hjälp av en skyddsingenjör från företagshälsosvården. För personalen i monteringshallen låg de ekvivalenta ljudnivåerna under en 8-timmars arbetsdag mellan 79 och 88 dB(A) och i produktionshallen mellan 83 och 96 dB(A).

Det innebär att en stor del av personalen utsätts för buller som överskrider gränsvärdet 85 dB(A) enligt Arbetsmiljöverkets/Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om buller.

Med hjälp av extern konsult upprättades nedanstående åtgärdsprogram. Efter behandling på skyddskommittémötet *år-månad-dag* och i samverkan med personalen, tog företagsledningen *år-månad-dag* beslut om att genomföra åtgärdsprogrammet.

ÅTGÄRDER	ANSVARIG	KLART
1. Tryckluftskompressorerna i produktionshallen flyttas till separat utrymme i källaren	NN	Månad-År
2. Samtliga tryckluftsutsläpp förses med ljuddämpare	NN	Månad-År
3. Vakuumpump till lyftanordning för plåt förses med ljuddämpare på utloppet och med ljudisolerande huv	NN	Månad-År
4. Renblåsningsmunstycken byts ut mot nya dämpade	NN	Månad-År

ÅTGÄRDER	ANSVARIG	KLART
5. Gradsaxarna förses med modifierad och dämpad utmatningsanordning	NN	Månad-År
6. Ljudabsorbenter monteras i produktionshallens tak och bullerskärmar ställs upp runt pressarna	NN	Månad-År
7. Materialtransportörerna mellan produktions- och monteringsavdelningarna förses med partiella inbyggnader.	NN	Månad-År
8. Samtliga uppsamlingsbehållare och matningsrännor dämpas	NN	Månad-År

Med dessa åtgärder beräknas den ekvivalenta ljudnivån understiga 80 dB(A) för all personal utom för pressoperatörerna för vilka gränsvärdet 85 dB(A) fortfarande kommer att överskridas. Inom de kommande två åren kommer investeringar att göras i nya tystare pressar. De nya pressarna planeras vara i drift till *månad-år* och bullerexponeringen för operatörerna beräknas då understiga gränsvärdena.

Kontrollmätning av personalens bullerexponering kommer att genomföras dels när åtgärderna enligt ovanstående lista är vidtagna, dels när pressarna bytts ut. Översyn kommer också omedelbart att göras av rutinerna för val och användning av hörselskydd. Periodisk uppföljning av hörselkontrollen kommer från och med *år-månad-dag* att införas för all personal som exponeras för nivåer över 75 dB(A).

Datum _____ Namn _____

VERKSTÄLLANDE DIREKTÖR

Referenser

Elvhammar, Hans: *Det tysta jobbet – Handbok för ljudprojektering av industriarbetsplatser*. Arbetsmiljöfonden (numera Forskningsrådet för arbetsliv och socialvetenskap, FAS) 1994.

SS-EN ISO 11690-1:1996 *Akustik – Rekommendationer vid utformning av tysta arbetsplatser – Del 1: Strategi för bullerbegränsning*.

SS-EN ISO 11690-2:1996 *Akustik – Rekommendationer vid utformning av tysta arbetsplatser – Del 2: Åtgärder för bullerbegränsning*.

Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om buller, AFS 1992:10.

Arbetsmiljöverkets föreskrifter om systematiskt arbetsmiljöarbete, AFS 2001:1.

Ljudets påverkan på människan

Människan påverkas av ljud på en mängd olika sätt. Det ljud som inte är önskvärt för en lyssnare benämner man buller. Buller kan vara hörsel-skadligt, störande, maskera samtal och andra signaler, ge upphov till olika fysiologiska reaktioner och ge sömnstörningar. Det kan också göra att en arbetsuppgift blir svårare att genomföra och därmed försämra arbetsprestationen.

Undersökningar har visat att det råder stora individuella skillnader mellan olika individers sätt att uppfatta och påverkas av buller. Bullers inverkan på människan beskrivs kortfattat i nedanstående avsnitt ”Örat och hörseln”.

Örat och hörseln

Med hjälp av hörseln kan vi särskilja och uppleva olika slags ljud. Även under sömnen påverkas hörselorganet och oväntade signaler kan väcka oss.

Från anatomisk synpunkt kan örat delas upp i tre delar – ytteröra med hörselgång, mellanöra med ledmekanismer samt inneröra. Tryckvariationerna i luften tränger in i ytterörat, förstärks normalt i hörselgången och sätter trumhinnan i svängning. Vibrationerna i trumhinnan överförs via mellanörats hörselben till ovala fönstret. Fönstret vidarebefordrar ljudvågorna till innerörat och vätskan i öronsnäckan som i sin tur påverkar hårcellerna i snäckan. När dessa retas, påverkas hörselnerven med resultat att elektriska impulser överförs via nervceller till hjärnan.

Åldrandet gör att kroppens organ och vävnader förändras. Även hårcellerna i snäckan mister med ökad ålder gradvis sin funktionsduglighet. Normalt har äldre människor svårare att höra höga toner, det vill säga

känsligheten minskar mer för höga toner än för låga. De svagaste toner som det mänskliga örat kan uppfatta varierar med tonernas frekvens. Den lägsta ljudtrycksnivå som vid olika frekvenser ger upphov till hörselnimmelse kallas för *hörtröskel* (se även avsnittet ”Hörselintryck – Hörnivå”, sidan 25).

Vårt hörselorgan har en integrationstid (tröghet) för hörseluppfattning på 20–100 millisekunder. Detta medför bland annat att vi inte uppfattar en mycket kort ljudstöt med dess fulla ljudstyrka, men likväl kan hörselorganets hårceller skadas.

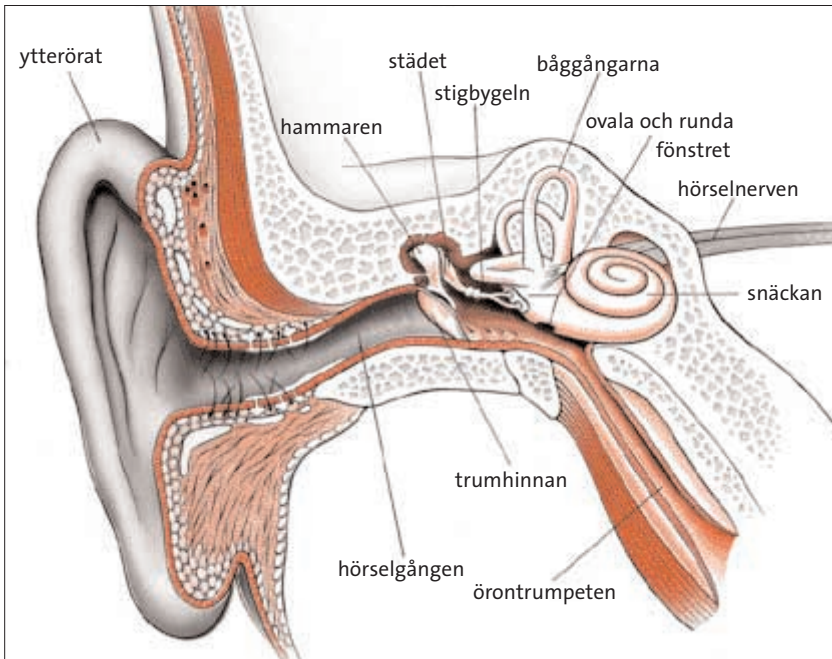
Hörselskada

Vid hörselundersökningar anges hörselnedsättningen alltid i förhållande till en standardiserad hörtröskel. Denna är konstruerad så att den representerar genomsnittet av unga normalhörande personers individuella hörtrösklar. Hörselmätningen sker med hjälp av tonaudiometer som avger toner av varierande frekvens och styrka i personens hörtelefon.

Hörselnedsättningen hos personen anges i förhållande till den standardiserade hörtröskeln, som motsvaras av 0 dB hörselnedsättning vid alla testfrekvenser. Hörselnedsättningen utgör således skillnaden i ljudtrycksnivå mellan personens hörtröskel och den standardiserade hörtröskeln. (se även kapitlet ”Hörselvård”, sidan 202).

Kraftigt men kortvarigt buller orsakar ofta en *tillfällig hörselnedsättning*. I regel återkommer hörselfunktionen efter en kortare eller längre tids hörselvila. Vid långvarig kraftig bullerexponering kan emellertid de ljudkänsliga hörselcellerna i innerörat skadas och en permanent hörselnedsättning blir följden. *Permanent hörselnedsättning*, det vill säga *hörselskada* som orsakats av buller, kvarstår och kan inte botas. Ju starkare bullret är, desto kortare tid behövs för att en hörselskada ska uppstå. Vid mycket höga bullernivåer kan en hörselskada även uppstå momentant. Förutom hörselnedsättning uppträder också ofta så kallad *tinnitus* (mer eller mindre permanenta öronsusningar eller ringningar) som bland annat kan orsakas av höga bullernivåer.

I vissa verksamheter förekommer exponering för ett stort antal mer eller mindre regelbundet återkommande impulsljud. Forskningsresultat tyder på att buller som innehåller impulsljud har en avsevärt större hörselskadande verkan än konstant ljud med samma ekvivalenta ljudnivå. Vid



Figur 12. Örats schematiska uppbyggnad

mycket starkt buller, exempelvis vid skjutning med gevär, kan hörselskada uppstå vid exponering för ett enda skottljud. För att kunna bedöma risken för hörselskada behöver en bullermätning utföras, eftersom vi via vår hörsel inte alltid uppfattar impulsljuden som särskilt höga.

Örats förmåga att uppfatta tal har avgörande betydelse för vår förmåga att kommunicera. Hur allvarlig en bullerskada är beror därför på dess inverkan på språkförståelsen. De viktigaste ljuden för språkförståelse är konsonanterna. Ett språk som består av enbart vokaler är obegripligt. Konsonanterna har högsta frekvensen av alla språkljud och drabbas därför först av bullerskadan.

Den som har fått nedsatt hörsel på grund av buller har en funktionsnedsättning – hörselhandikapp. Det medför ofta svårigheter i relationen mellan en hörselskadad och omgivningen. Hörselhandikapp är ett kommunikationshandikapp som begränsar användningen av det talade ordet som kontakt- och kommunikationsmedium. En hörselskada följs också ofta av upplevda förändringar i ljudbilden vilket innebär att ljud som för en normalhörande inte är störande kan vara mycket störande för den

hörselskadade. Den som har en hörselskada är därför beroende av att personer i omgivningen är insatta i de konsekvenser som hörselhandikappet medför. Generellt gäller också att hörselskadade inte tål buller bättre än andra. Den hörselrest som finns kvar måste man vara aktsam om.

Maskering av samtal

En av de mest påtagliga effekterna av buller på en arbetsplats är att det försämrar möjligheterna till samtal. Även möjligheterna att uppfatta varningssignaler kan försämras. Vid normal röststyrka är den A-vägda ljudtrycksnivån på 1 meters avstånd från en talare i tyst miljö 60–65 dB, vid ökad röststyrka cirka 75 dB och vid mycket hög röststyrka cirka 85 dB.

Flera faktorer påverkar möjligheten att uppfatta tal i en bullrig miljö. Typen av tal spelar stor roll. Sammanhängande meningar är avsevärt lättare att uppfatta än lösryckta stavelser eller sifferkombinationer. Även talarens dialekt kan ha betydelse. Om lyssnaren kan se talarens läppar förbättras uppfattbarheten markant, särskilt i mycket bullriga miljöer. Något som också inverkar på förmågan att uppfatta tal i bullrig miljö är om talaren och/eller lyssnaren använder hörselskydd. Om ljudnivån är låg och talaren använder hörselskydd, ökar denne röststyrkan något. Vid högre bullernivåer får man däremot motsatt effekt, det vill säga talaren sänker röststyrkan något.

Det störande bullrets nivå och frekvensfördelning har stor betydelse. Om bullret är starkt inom talområdet blir maskeringseffekten kraftig. Höga nivåer vid låga frekvenser har olägenheten att försämma möjligheten att uppfatta tal, relativt långt upp i frekvens.

En lyssnares möjlighet att uppfatta tal vid olika röststyrkor och avstånd till talaren kan bedömas genom beräkningar enligt olika metoder. Den enklaste metoden är beräkning av talinterferensnivån (*SIL*) för det störande ljudet. *SIL* står för Speech Interference Level och betecknar medelvärdet av det störande bullrets oktavbandsnivåer för oktavbanden med mittfrekvenserna 500, 1 000, 2 000 och 4 000 Hz. Med denna nivå som underlag kan man med hjälp av diagram 7 avgöra vilka röststyrkor som krävs vid olika avstånd mellan talare och lyssnare.

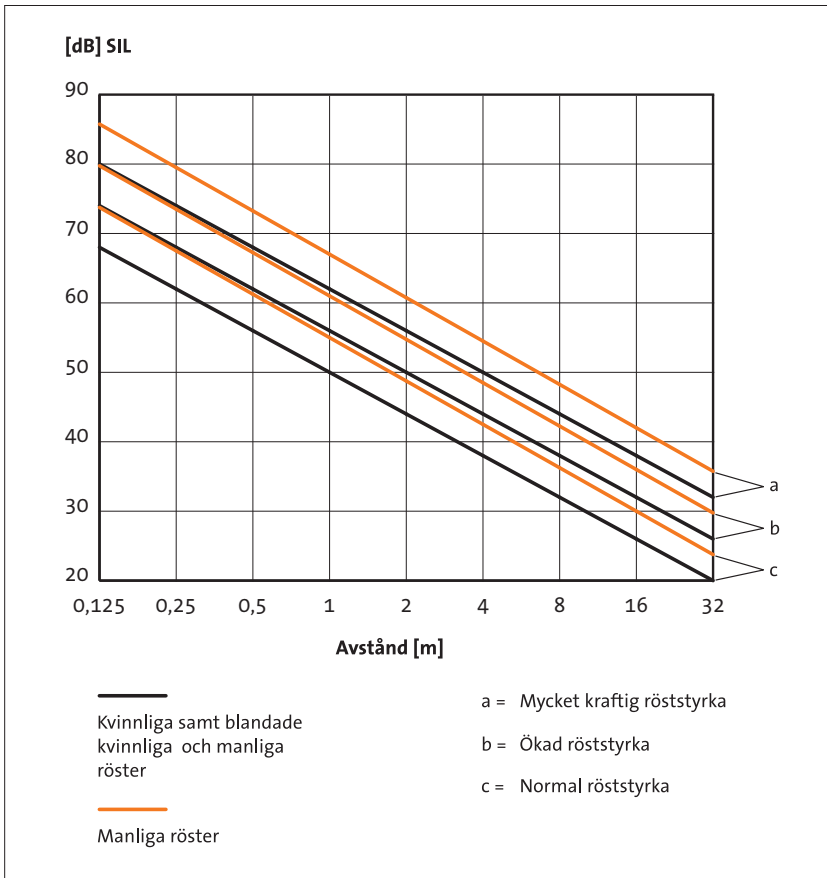


Diagram 7. Samband mellan talinterferensnivå och avstånd mellan talare och lyssnare vid skilda röststyrkor för god uppfattbarhet

EXEMPEL: Oktavbandsnivåerna 58, 61, 64 och 65 dB i oktavbanden med mittfrekvenserna 500, 1 000, 2 000 och 4 000 Hz ger talinterferensnivån:

$$SIL = \frac{58 + 61 + 64 + 65}{4} = 62 \text{ [dB]} \quad \text{[Formel 13]}$$

Av diagram 7 framgår att för nivån 62 dB krävs ökad röststyrka för manliga röster och mycket kraftig röststyrka för kvinnliga röster om avståndet mellan talare och lyssnare är 1 meter.

I lokaler avsedda för talad kommunikation, exempelvis skollokaler och sammanträdesrum, är det speciellt angeläget att insatser görs för att åtgärda bullret så att man får en låg talinterferensnivå.

Om det störande ljudets A-vägd ljudtrycksnivå är känd, kan diagram 8 användas för en grov bedömning av den samtalsmaskerande effekten. Avståndet representerar maximalt avstånd i meter mellan talare och lyssnare för att uppfatta tal vid förekommande ljudnivåer. Diagrammet gäller för lyssnare med normal hörsel. Hörselskadade lyssnare kan behöva upp till 10 dB lägre bullernivå. Äldre lyssnare (över 55 år) och lyssnare med annat modersmål kan behöva upp till 5 dB lägre ljudnivå.

EXEMPEL: Samtal med normal röststyrka mellan två personer kan ske på högst 1,5 meters avstånd i ett buller med en A-vägd ljudtrycksnivå på 60 dB(A). För att samtala på 3 meters avstånd i detta buller måste röststyrkan höjas.

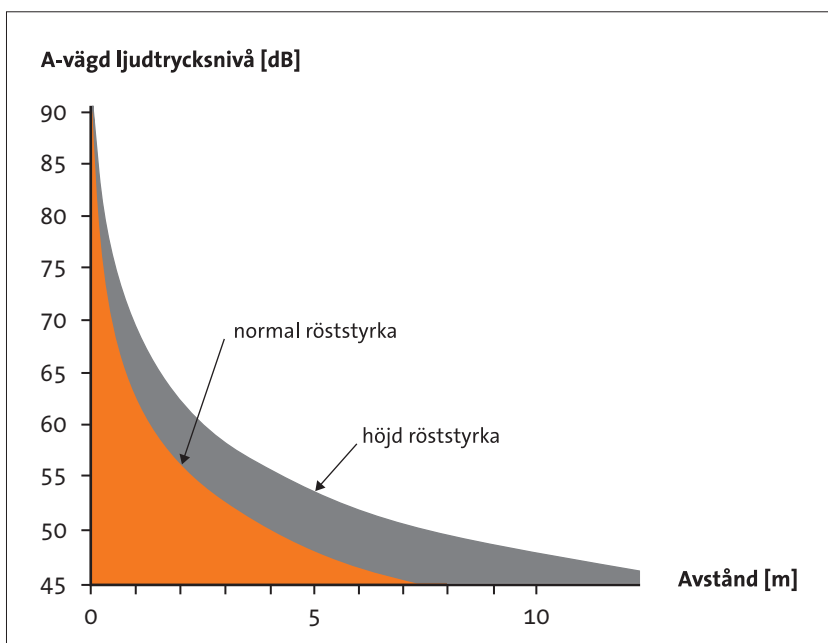


Diagram 8. Samband mellan A-vägd ljudtrycksnivå och avstånd mellan talare och lyssnare vid olika röststyrkor

För noggrannare beräkning av möjligheten att uppfatta tal i buller måste hänsyn tas till hela det hörbara frekvensområdet, bullrets toninnehåll, maskeringseffekter med mera. Beräkningsmetoder finns utvecklade men kräver omfattande analyser som underlag.

Ett annat mått för att bedöma taluppfattbarhet är det så kallade RASTI-värdet. Det mäts med hjälp av speciell mätutrustning som via en högtalare sänder ut en simulerad talsignal i den miljö där taluppfattbarheten ska bestämmas. Signalen fångas upp av en mikrofon i lyssnarpositionen. Beroende på hur signalen har påverkats av ljudreflexer och bakgrundsbuller erhålls ett värde mellan 0 och 1. Värdet 0 innebär mycket dålig taluppfattbarhet och 1 är mycket bra. Värdet 0,6 och högre representerar god taluppfattbarhet.

Inverkan på kroppsfunktioner

Vid plötsliga, oväntade eller okända ljud kan en *orienteringsreaktion* uppstå. Pulsen och blodtrycket sänks under några sekunder, pupillen utvidgas, blodflödet i fingrarna minskar och svettkörtelaktiviteten ökar. Reaktionen antas öka människans beredskap att ta in ytterligare information om omgivningen och reagera på det som hänt i den. Om bullret har mycket hög nivå (mer än cirka 100 dB) kan en *försvarsreaktion* utlösas då bland annat pulsen ökar i stället för att minska. Öväntat starkt buller kan också göra att man spritter till.

Vid mer långvarig bullerexponering i samband med arbetsuppgifter som försvåras av bullret har bland annat förhöjt blodtryck, ökad utsöndring av adrenalin och andra stresshormon samt ökad muskelspänning i vissa muskelgrupper noterats. Effekterna uppstår vanligtvis bara om personen anstränger sig för att bibehålla en viss prestation trots bullerstörningen. Priset för en oförändrad prestationsnivå är alltså en ökad fysiologisk stressnivå. Effekterna förstärks också nästan alltid då bullernivån höjs.

Inverkan på uppmärksamhet

Den tid under vilken en människa kan vidmakthålla en oavbruten uppmärksamhet är begränsad. Redan efter en kortare tid uppkommer små luckor i uppmärksamheten, som kan jämföras med hur ögonlockens blinkning avbryter synen. Dessa avbrott blir vanligare med ökad trötthet

och med ökad monoton i arbetet. Buller kan föra med sig ett tidigare och frekventare uppträdande av dessa avbrott. Bullret har sålunda samma inverkan på uppmärksamheten som uttrötning, i synnerhet vid monotona långvariga bullerexponeringar.

Inverkan på arbetsprestation

Bullrets maskerande effekt kan leda till försämrad prestation vid uppgifter som kräver att man uppfattar ljudsignaler eller andra människors tal. Vid alltför starkt och varierande buller kan aktiverings- och stresseffekter leda till försämrad prestation i form av ökat antal felreaktioner. De visar sig vid mer komplexa uppgifter där stora krav ställs på minne och där man behöver bevaka flera informationskällor samtidigt.

Buller kan också ge negativa effekter vid arbeten som kräver att man tar in skriven information. I en bullrig miljö är det ofta svårare att få grepp om sammanhanget i en text, även om man uppfattar detaljerna riktigt. De negativa effekterna blir större ju starkare och mer varierande bullret är, desto längre arbetet i bullret pågår samt om bullret är oförutsägbart och ligger utanför personens egen kontroll. Problemen blir särskilt stora då bullret utgörs av ovidkommande tal.

Svagt och monotont ljud – särskilt lågfrekvent ljud – riskerar att leda till trötthet och sömnlighet och det är lätt att missa information, även reaktionen blir långsammare. Detta är särskilt märkbart vid enkla, monotona och långvariga arbetsuppgifter, till exempel övervakningsuppgifter. Risken för påverkan från lågfrekvent buller ökar ju längre tid man arbetar i bullret, eftersom tillvänjningen till denna typ av ljud är mycket låg.

Den negativa effekten av bullret kan i vissa fall motverkas och prestationen bibehållas, genom att man anstränger sig mer än normalt. Resultatet av detta blir ofta att man istället är extra trött efter arbetet. Det gör att prestationsförmågan – vid vissa uppgifter – kan bli försämrad efter en period i buller, även om man anstränger sig.

Frånvaro av buller upplevs också av många som en viktig trivsselfaktor.

Sömnstörningar

Till skillnad från synen kan hörseln inte frångöras vid sömn. Det medför att människan även under sömn kontrollerar sin omgivning med hörselns hjälp. Eftersom god sömn är viktig för människan kan bullerstörningar medföra allvarliga konsekvenser för hälsotillståndet. Känsligheten för buller under sömn varierar från individ till individ och även vanan vid vissa typer av buller har stor betydelse.

Infraljud

Människans hörselorgan kan uppfatta ljud i infraljudsområdet om ljudtrycksnivåerna är tillräckligt höga. Ju lägre frekvensen är, desto högre måste ljudtrycksnivån vara för att ljudet ska uppfattas. Den så kallade perceptionströskelkurvan för infraljud framgår av diagram 9. Liksom för andra typer av ljud förekommer relativt stora individuella variationer för känsligheten. Under cirka 15 Hz upphör ljudets tonala karaktär och ljudet upplevs i stället som repeterande stötar eller tryckvågor.

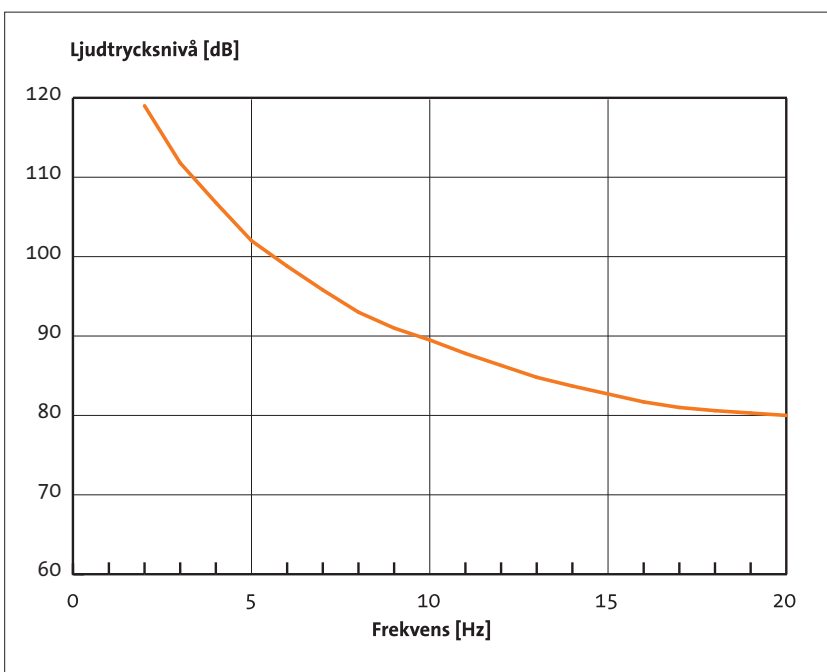


Diagram 9. Perceptionströskelkurva för infraljud

Störningseffekter, trötthet, yrsel, upplevelse av sjösjuka, diffusa obehagskänslor med mera har rapporterats till följd av infraljudsexponeringar. Besvärerna har i förekommande fall rapporterats uppträda vid ljudtrycksnivåer över perceptionströskeln. Eventuellt kan de förklaras av att inte enbart hörselnäcken utan hela innerörat med bland annat balansapparaten stimuleras vid exponering för infraljud.

Påverkan på hörselorganet i form av temporär eller bestående hörselskada eller obehags- och smärtupplevelser lokaliserade till hörselorganet, uppträder endast vid ljudtrycksnivåer över cirka 125–130 dB.

Ultraljud

Ljud med frekvens kring 20 000 Hz kan i regel uppfattas endast av små barn. Med stigande ålder avtar snabbt förmågan att uppfatta ljud med så höga frekvenser. Det kan emellertid inte uteslutas att människans hörselorgan kan skadas vid tillräckligt långvarig exponering för ultraljud med hög ljudtrycksnivå.

Risken för bestående hörselskada anses vara störst när ultraljudet har sådan frekvens och karaktär att undertoner kan påverka hörselorganet. Ultraljudsexponeringar blir därför särskilt kritiska vid frekvenser strax över 20 000 Hz, det vill säga intill den hörbara gränsen. Ljudtrycksnivåer över cirka 100–110 dB har i dessa fall visat sig kunna leda till temporära hörselnedsättningar och obehagsupplevelser i form av tryck- och värme-känsla, lokaliserade till hörselorganet.

Referenser

Beranek, Leo L. (ed.): *Noise and Vibration Control* Rev. ed. 1988.

Landström, Ulf med flera: *Störande buller – Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation*. Arbete och Hälsa 1999:27.

Landström, Ulf med flera: *Störande ljud. Effekter – Utvärdering – Åtgärder*. 1991.

Ljudmätning

Vanliga skäl till att mäta buller är för att:

- Fastställa om bullret har hörselskadlig nivå.
- Fastställa om arbetstagarnas bullerexponering är förenlig med reglerna i Arbetsmiljöverkets/Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om buller.
- Få underlag till bullerbekämpningsåtgärder på maskiner och utrustning eller för en lokal.
- Bestämma emissionsljudtrycksnivå eller ljudeffektnivå från maskiner och utrustningar, till exempel för att kontrollera om – de av tillverkaren deklarerade – bullervärdena överskrids.

Olika bullerkällor avger buller med en för varje bullerkälla karakteristisk frekvenssammansättning. Det avgivna bullret kan också ha helt olika tidskaraktär. Bullrets styrka kan vara konstant eller fluktuerande och även innefatta impulsljud. Detta är viktigt att ta hänsyn till när man väljer mätmetodik. Enklast är att tillämpa befintliga mätstandarder i de fall dessa finns. Tidigare fanns ganska få internationella standarder översatta till svenska, men på senare år har de blivit betydligt fler.

Mätinstrument

Ljudnivåmätare

För att kunna mäta buller behöver man en ljudnivåmätare. Dess egenskaper är internationellt standardiserade. Det finns flera noggrannhetsklasser. För mätning enligt standard krävs i regel ett klass 1 instrument. I vissa fall räcker det med klass 2. För att kunna fastställa om bullret är hörselskadligt krävs som minimum att ljudnivåmätaren kan mäta A-vägd ekvivalent kontinuerlig ljudtrycksnivå (L_{pAeq}), A-vägd maximal ljudtrycksnivå med tidsvägning F (L_{pAFmax}) samt C-vägd topp ljudtrycksnivå (L_{pCpeak}). Instrumentet ska uppfylla SS-EN 60651 och SS-EN 60804.

Filter

För mer avancerade ändamål behöver man oktav- eller tersbandsfilter för att kunna studera bullrets frekvensfördelning (se även avsnittet ”Frekvensanalys”, sidan 35). Filtren ska uppfylla SS-EN 61260. I vissa extremfall måste man använda sig av analysatorer med ännu smalare bandbredd. De enklaste varianterna av oktav- eller tersbandsfilter är så kallade seriella filter som mäter ett frekvensband i taget. De kan med fördel användas om man mäter mer sällan och när bullret är förhållandevis konstant. Vid kraftigt fluktuerande buller och när man ofta gör frekvensanalyser är en så kallad realtidsanalysator som mäter alla frekvensband samtidigt att föredra.

Ljudintensitetsmätning

Intensitetsmätningar kräver dels speciell instrumentering och dels en speciell mätprob. Intensitetsmätinstrument ska uppfylla SS-EN 61043.

Dosimeter

Vill man registrera en arbetstagares totala bullerbelastning under längre tid och under varierande förhållanden behöver man en bullerdosimeter. En sådan bärs av arbetstagaren och avläses efter arbetsdagens slut. Kraven på bullerdosimetrar finns specificerade i SS-EN 61252. Kraven svarar ungefär mot dem som gäller för en klass 2 ljudnivåmätare. En dosimeter

kan dock ha vissa begränsningar. Alla dosimetrar har inte C-vägningsfilter för bestämning av C-vägd toppljudtrycksnivå. Det kan också, speciellt för äldre dosimetrar, finnas begränsningar för mätning av bullernivåer under 80 dB.

Man bör inte använda sig av instrument som inte har dokumentation som visar att de uppfyller relevanta standarder. Detta gäller också de akustiska kalibratorer som man bör ha för att verifiera att instrument med kablar och mikrofon fungerar riktigt. En kalibrator ska uppfylla SS-EN 60942.

Infraljud och ultraljud

Vill man mäta infraljud eller ultraljud krävs speciell mätutrustning. Bland annat krävs speciella mikrofoner.

Frekvensanalys

Vid frekvensanalys registreras ljudtrycksnivån inom olika frekvensband, mer eller mindre smala. För ett bredbandigt buller av bruskaraktär blir den registrerade ljudtrycksnivån högre ju bredare frekvensband som används, eftersom instrumentet registrerar den totala signaleffekten inom bandet (se även avsnittet ”Frekvensanalys”, sidan 35). För smalbandigt buller (rena toner) blir ljudtrycksnivån densamma oberoende av filterbandbredden.

Oktavbandsanalys ger en grov översikt av bullrets frekvensinnehåll och används bland annat vid jämförelse av uppsatta kravspecifikationer för maskiner, ventilationsanläggningar med mera. Tersbandsanalys används vid buller- och vibrationsmätningar för att få underlag för bedömningar av åtgärder på maskiner och byggnader samt i byggnadsakustiska sammanhang. Vid mätning med tersbandsfilter kan man även få en indikation på att en ren ton förekommer i ett tersband om ljudtrycksnivån ligger minst 5–10 dB över nivåerna i de omgivande banden. Vid mätning med smalbandsfilter är det lätt att konstatera om en ren ton förekommer i ett ljud. Den rena tonens nivå överstiger då nivåerna i de omgivande frekvensbanden betydligt. Frekvensanalys utförs vanligen i frekvensbanden med mittfrekvenserna 31,5 till 8 000 Hz.

En grov bedömning av ljudets frekvensinnehåll kan göras efter mätning av A-vägd respektive C-vägd ljudtrycksnivå. Eftersom A-filtret kraftigt

dämpar ljud med låga frekvenser ger en bullermätning med A-filter ett betydligt lägre mätvärde än motsvarande mätning med C-filter, om bullret innehåller låga frekvenser. Tabell 3 visar hur ljudets frekvensinnehåll kan uppskattas med ledning av skillnaden mellan avläst mätvärde i dB(C) respektive dB(A).

dB(C) – dB(A)	Ljudets frekvensinnehåll
>10	Övervägande låga frekvenser
5–9	Kraftiga, låga frekvenser
2–4	Måttliga, låga frekvenser
< 2	Svaga, låga frekvenser

Tabell 3. Uppskattning av ljudets frekvensinnehåll med ledning av skillnaden mellan avläst mätvärde i dB(C) respektive dB(A)

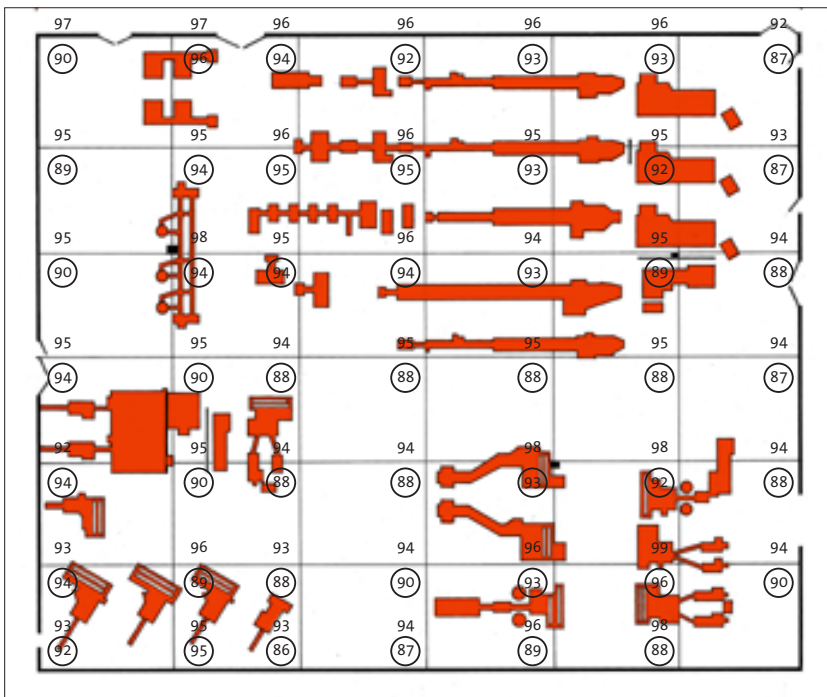
Kartläggning av buller i industrilokaler

I många industrier (pappersbruk, mejerier, bryggerier och liknande) är tillverkningsprocessen kontinuerlig, vilket ofta medför att ljudnivåerna under processen är tämligen konstanta. För att kartlägga bullret i en sådan anläggning väljer man mätpunkter framför allt intill bullrande anläggningsdelar och där personal vistas.

I industrihallar med ett stort antal bullrande maskiner kan det i ett första steg vara tillräckligt att kartlägga bullersituationen genom mätning av ljudnivån i punkter inom ett relativt glest rutnät. Storleken på varje ruta bestäms av hur stora ljudnivåvariationerna är. Ju större variationerna är, desto tätare bör rutnätet vara. Variationerna är ofta ganska små i lokaler med lång efterklang (ljudhårda lokaler) vilket innebär att det i ett första steg kan vara tillräckligt att mäta inom ett ganska glest rutnät. Man mäter i varje hörn av rutnätet samt kompletterar dessa mätpositioner med alla fasta operatörsplatser. Normalt mäts den ekvivalenta ljudtrycksnivån L_{pAeq} under en tid som är tillräckligt lång för att vara representativ. Har någon maskin olika driftcykler ska tiden vara tillräckligt lång för att inkludera alla cykler. Alternativt kan man mäta varje cykel för sig och sedan, om drifttiden för varje cykel är känd, räkna ut den resulterande ljudnivån

för alla cykler tillsammans (se formel 14 sidan 64). Lämplig mät höjd är cirka 1,6 meter.

Under mätningarna är det nödvändigt att ha kontroll över de olika maskinernas driftsvillkor. Om vissa maskiner står stilla längre tider måste man känna till dessa för att senare kunna räkna ut den totala exponeringen i en viss punkt. Man måste också säkerställa att alla maskiner som ska vara i drift under mätningen är i drift.



Figur 13. Resultat av rutnätskartläggning före och efter uppsättning av ljudabsorberande tak i en maskinhall. De värden som anges i cirklarna är efter åtgärd.

Bestämning av arbetstagares exponering

Beräkning utifrån bullerkartläggning

Ett sätt att bestämma arbetstagarnas exponering är att utgå från en bullerkartläggning och kännedom om hur långa tider arbetstagaren befinner sig i varje punkt. Den totala exponeringen under tiden T bestäms med hjälp av formeln:

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \left(t_1 10^{0,1L_{pA1}} + t_2 10^{0,1L_{pA2}} + \dots + t_n 10^{0,1L_{pAn}} \right) \right] \quad [dB]$$

[Formel 14]

där

$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ (normalt 8 timmar)

L_{pA1} = ekvivalent A-vägd ljudtrycksnivå under tiden t_1 osv.

För bedömning av hörselskaderisken i samband med höga impulsnivåer räcker det med att studera det högsta, mätta värdet av $L_{pC, peak}$. Vid mätning av impuls ljud är det viktigt att mikrofonen riktas enligt tillverkarens instruktioner.

Mätning med stationärt instrument

På en fast maskinoperatörsplats kan såväl intermittent som fluktuerande buller med fördel mätas med en stationär integrerande ljudnivåmätare. Idealfallet är om mätningen kan genomföras utan att operatören är närvarande med mikrofonen placerad där operatören normalt har sitt huvud. Ofta behöver dock operatören vara närvarande under mätningen. Mikrofonen bör då placeras så nära operatörens öra att mätningen blir representativ för dennes bullerexponering, men inte så nära att reflexioner kan ge felaktiga värden. Om mikrofonen placeras minst fyra centimeter från operatören är risken liten för att reflexionerna ska ge någon större påverkan på mätresultatet. Mikrofonen bör även placeras på den sida där ljudnivån är högst.

Mätning med bullerdosimeter

Ett annat alternativ att bestämma arbetstagarens exponering är att använda sig av en dosimeter som placeras på arbetstagaren under en representativ tid, vanligen en normal arbetsdag. Även denna typ av mätning kan genom reflexer eller skuggverkan på grund av mikrofonens placering ge mätresultat som avviker från de som man får med instrument med fritt placerad mikrofon. Placering nära personens ytteröra är speciellt kritisk och bör därför undvikas.

Andra viktiga faktorer är ljudets frekvens, klädernas reflekterande egenskaper och de dominerande ljudkällornas läge i förhållande till personen. Den bästa mikrofonplaceringen är vanligen på personens axel eller krage. Även här gäller att mikrofonen bör placeras på den sida där ljudnivån är högst. I typiska bullersituationer inom industrin kan avvikelserna då uppskattas till högst cirka ± 2 dB(A).

Dosimetermätning är att föredra då enskilda personers bullerexponering är svår att beräkna utifrån värden i fasta mätpunkter. Till exempel då personer förflyttar sig inom områden med olika ljudnivåer eller på ett oregelbundet sätt använder eller vistas intill maskiner som ger upphov till varierande ljudnivå. Olika typer av hantverkare utsätts exempelvis ofta för denna typ av exponering.

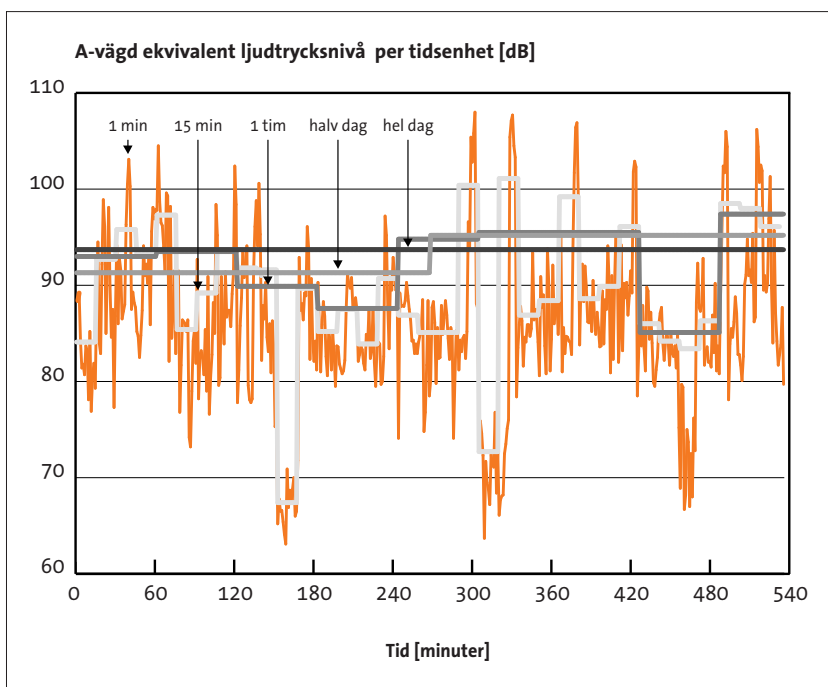
Ibland kan man behöva mäta flera gånger med olika inställningar eftersom inte alla dosimetrar kan mäta L_{pAeq} , L_{pAFmax} och L_{pCpeak} samtidigt.

För dosimetrar gäller att bullerdosen ibland anges i procent. 100 % anger då att den förinställda referensdosen uppnåtts. I Sverige svarar den mot $L_{pAeq} = 85$ dB under en 8 timmars arbetsdag. Eftersom dB-skalan är logaritmisk innebär 10 procent 75 dB, 50 procent 82 dB och 1 000 % 95 dB och så vidare.

Moderna dosimetrar ger också möjlighet till information om ljudnivåns tidsförlopp och kan exempelvis registrera data för varje minut under mätningen. Detta ger till exempel möjlighet att få information om vilka arbetsoperationer som ger det största bidraget till den totala bullerexponeringen.

Bullrets representativitet

Vid exponeringsmätningar är det viktigt att mättiden väljs så lång att man säkert får ett representativt värde för bullerexponeringen. Säkrast resultat får man om mätningen pågår under hela arbetsdagen. I figur 14 visas exempel på avvikelser från heldagsvärdet vid olika långa mättider i samband med dosimetermätning vid plåtslageriarbete. Stora avvikelser från heldagsvärdet kan alltså förekomma när mättiden begränsas.



Figur 14. Resultat från dosimetermätning vid plåtslageriarbete. Den ekvivalenta ljudtrycksnivån redovisas för mätperioderna 1 minut, 15 minuter, 1 timme, halv dag och hel dag.

Det är också viktigt att bullret under den dag man mäter är representativt för det buller som normalt förekommer i verksamheten. I vissa verksamheter kan bullret variera avsevärt från dag till dag och från vecka till vecka. Mätningar kan då behöva genomföras vid flera tillfällen.

Mätnoggrannhet

Även vid omsorgsfullt utförda bullermätningar har de uppmätta ljudnivåerna inte en fullständig noggrannhet. Onoggrannheten för ljudnivåvärden kan antas uppgå till ± 2 dB(A) vid användning av precisionsljudnivåmätare (klass 1) samt till ± 3 dB(A) vid användning av ordinära ljudnivåmätare (klass 2). Onoggrannheten kan bero på:

- instrumentets onoggrannhet,
- kalibreringen,
- operatören och
- avläsningsfel (visarinstrument).

Dessutom inverkar variationen i ljudtrycksnivå i stora rum med reflekterande ytor och vid normal mät höjd 1,6 meter. Variationen av ljudförhållandena under en mätserie, exempelvis då ett oktavband i taget registreras, medför också en mindre noggrannhet. Inverkan från bakgrundsbuller, olämplig mät punkts placering och för få mät punkter i lokal med icke-diffust ljudfält (stående vågor) kan starkt försämra mät noggrannheten liksom felaktigheter i hur mikrofonen är riktad och skärmning av mät personens kropp.

Vid mätning av oktav- och tersbandsnivåer inomhus blir noggrannheten starkt beroende av variationen i ljudtrycksnivå i olika punkter i rummet, särskilt vid låga frekvenser. Vid användning av precisionsljudnivåmätare och oktavfilter kan onoggrannheten vid mätningar i stora rum med reflekterande väggytor uppskattas enligt följande:

Mittfrekvens oktavband [Hz]						
125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
Mät onoggrannhet [dB]						
± 5	± 3	± 2	± 2	± 2	± 2	± 3

Lokalens akustiska egenskaper

Om arbetstagaren befinner sig på avstånd från den bullrigaste ljudkällan kan lokalens akustiska kvalitet kraftigt påverka den ljudnivå som arbetstagaren utsätts för. För att objektivt bedöma lokalen kan man tillämpa SS-EN ISO 11690-3 och ISO 14257. Då behöver man, förutom en ljudnivåmätare, en referensljudkälla det vill säga en ljudkälla som strålar ungefär lika i alla riktningar och som har en känd ljudeffektnivå, L_W . Det man bestämmer är medelförhöjningen av ljudtrycksnivån, DL_f , i förhållande till fritt fält för ett visst avståndsområde.

$$DL_f = L_{p,upp\ddot{m}\ddot{a}tt} - [L_W - 11 - 20\lg(r)] \quad [dB] \quad \text{[Formel 15]}$$

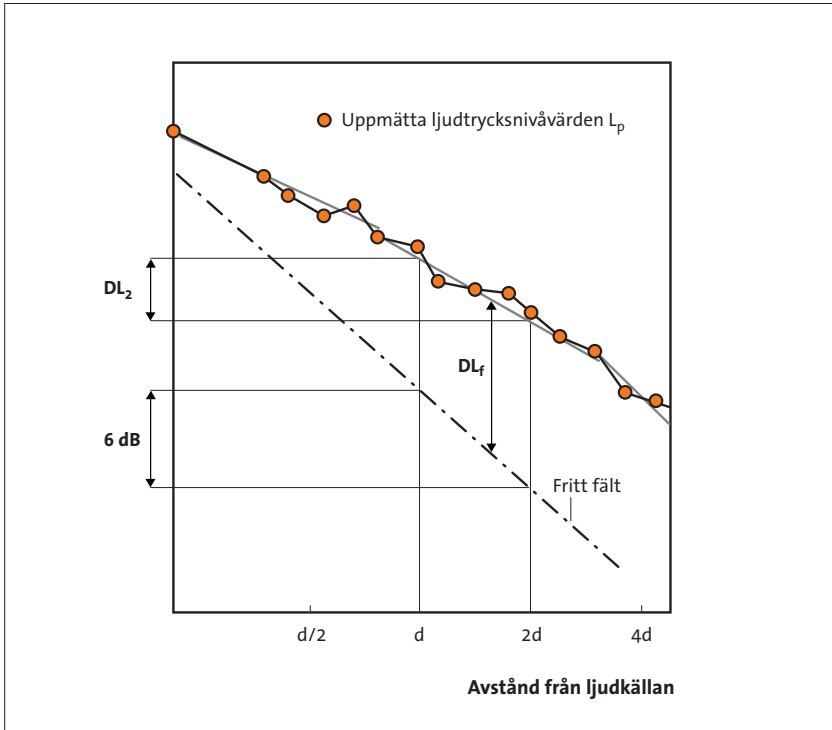
där

r = avståndet till ljudkällan i meter

Om DL_f är större än 8 dB finns det anledning att tro att lokalen behöver förses med fler ljudabsorbenter. Har man inte tillgång till en referensljudkälla kan man i stället utvärdera ljudnivåsänkningen per avståndsdubbling, DL_2 . Utomhus och i ett rum med mycket hög ljudabsorption är denna 6 dB. Ju mer efterklang i rummet, desto lägre blir siffran (se även kapitlet "Rumsakustik", sidan 80). Figur 15 visar exempel på bestämning av DL_f och DL_2 .

Bestämning av emissionsljudtrycksnivå

Med emissionsljudtrycksnivån menas ljudtrycksnivån på operatörsplatsen (eller annan specificerad position) under specificerade driftförhållande och i en mätomgivning där reflexer från väggar och tak kan försummas. Emissionsljudtrycksnivån behöver bestämmas i de fall man vill bullerdeklarerar en maskin eller då man vill kontrollera att en inköpt maskin inte bullrar mer än vad tillverkaren angett i sin bullerdeklaration. Observera att ljudnivån på operatörsplats vid den praktiska användningen av maskinen kan avvika kraftigt från emissionsljudtrycksnivån (se även kapitlet "Planering av nya anläggningar", sidan 206).



Figur 15. Exempel på ljudutbredning i lokal och bestämning av DL_f och DL_2

Bestämning av emissionsljudtrycksnivån sker i första hand med hjälp av en så kallad produktspecifik bullerprovningmetod – om en sådan finns – och i andra hand med hjälp av en av följande internationella standarder:

SS-EN ISO 11201. Denna standard förutsätter en omgivning som är nästan fri från reflexer från väggar och tak eller andra maskiner. Den tillåter inte någon korrektion av mätta värden.

SS-EN ISO 11202. Denna standard tillåter att man korrigerar det uppmätta värdet genom att minska det med upp till 2,5 dB. Den tillåtna korrektionen är försiktigt tilltagen varför emissionsljudtrycksnivån systematiskt överskattas. Det har föreslagits att utöka den tillåtna korrektionen från 2,5 dB till 4 dB. Korrektionen, K_3 , beräknas som:

$$K_3 = 10 \lg \left[1 + 4 \frac{S}{A} \right] \quad [dB] \quad \text{[Formel 16]}$$

där

$$S = 2 \pi a^2$$

a = avståndet (m) från den fastställda positionen till den närmaste, starkare ljudkällan hos maskinen som provas.

A = rummets ekvivalenta ljudabsorptionsarea, som uppskattas utgående från:

$$A = \alpha \cdot S_v \quad \text{[Formel 17]}$$

där

α = medelabsorptionsfaktorn som ges för A-vägda storheter i tabell 4.

S_v = den totala arean på provrummets begränsningsytor (väggar, tak och golv), i kvadratmeter.

SS-EN ISO 11203. Denna standard förutsätter att man inte har en klart definierad operatörsplats eller att denna kan definieras som en yta på ett bestämt avstånd från maskinen. Emissionsljudtrycksnivån blir helt enkelt medelljudtrycksnivån, L_{pm} , på mätytan beräknad från ljudeffektnivån, se formel 18.

SS-EN ISO 11204. Denna standard är svår att använda samtidigt som den endast kan användas i ett begränsat antal fall. Den rekommenderas därför inte. Den tillåter vissa korrekitioner.

SS-EN ISO 11205. Denna standard, som fortfarande är under utarbetande, innebär att man i stället för ljudtrycksnivå mäter ljudintensitetsnivå. Eftersom intensiteten i ett diffust ljudfält är mycket liten kan man approximera emissionsljudtrycksnivån med ljudintensitetsnivån. Standarden är ett intressant alternativ i de fall maskinen är uppställd i ett litet rum med reflekterande väggar eller tak. Men den kräver att man har tillgång till intensitetsmätutrustning.

De produktspecifika standarderna beskriver de driftvillkor som ska gälla för maskinen som ska provas vid mätningarna samt läget för operatörsplatserna medan standarderna ovan i ISO:s 11200-serie endast beskriver de allmänna principerna.

Medelabsorptionsfaktor α	Beskrivning av rummet
0,05	Nästan tomt rum med jämna, hårda väggar gjorda av betong, tegel, gips eller klinker.
0,1	Delvis tomt rum; rum med jämna väggar.
0,15	Rum med möbler; rektangulära maskinrum; rektangulära industri lokaler.
0,2	Oregelbundet formade rum med möbler; oregelbundet formade maskinrum eller industrilokaler.
0,25	Rum med stoppade möbler; maskin rum eller industrilokaler med en liten mängd ljudabsorberande material på tak och väggar (till exempel delvis absorberande tak).
0,35	Rum med ljudabsorberande material på både tak och väggar.
0,5	Rum med stora mängder ljudabsorberande material på tak och väggar.

Tabell 4. Ungefärliga värden på medelabsorptionsfaktorn α

Bestämning av ljudeffektnivå

Mätytmetoden

Den mest grundläggande metoden att bestämma ljudeffektnivån från en maskin är att bestämma medelljudtrycksnivån på en mätyta som fullständigt innesluter maskinen. Under förutsättning att det inte finns reflekterande föremål i närheten kan man då enkelt bestämma ljudeffektnivån utgående från sambandet

$$L_w = L_{pm} + 10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) - K_2 \quad [dB] \quad \text{[Formel 18]}$$

där

L_{pm} = medelljudtrycksnivån på mätytan

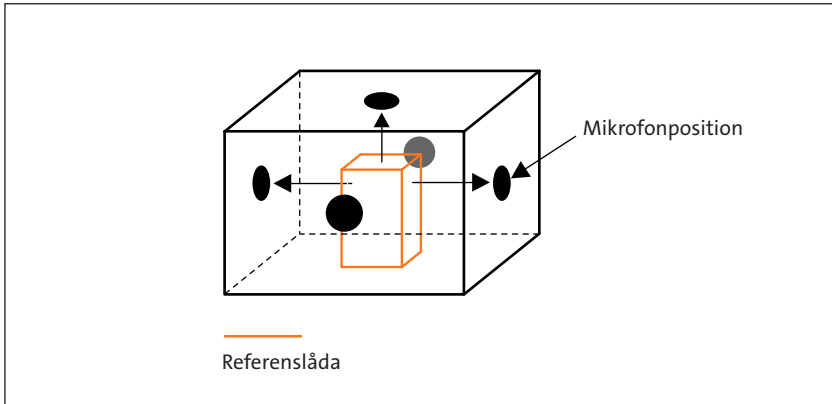
S = mätytans area

$S_0 = 1 \text{ m}^2$

K_2 = en korrektion för att kompensera för höjningen av ljudtrycksnivån på mätytan till följd av reflexer från väggar, tak och andra reflekterande föremål i närheten av maskinen som provas. Utomhus eller i ett halvekofritt rum är $K_2 = 0 \text{ dB}$. Ju högre K_2 blir, desto mindre noggrann blir mätningen. K_2 för A-vägda ljudtrycksnivåer beräknas på samma sätt som K_3 enligt formel 16 men med S = mätytans area.

LÅDMETODEN

Den enklast tänkbara uppställningen visas i figur 16. Först tänker man sig att ljudkällan innesluts i den minsta möjliga låda som innehåller alla ljudutstrålande delar av källan. 1 meter från denna referensbox tänker man sig en ny låda som får definiera en mätyta på vilken man bestämmer medelljudtrycksnivån. Varje mätpunkt ska representera en lika stor del av mätytans area. I enklaste fallet som visas i figuren har man en mätpunkt mitt på varje sida. Önskas noggrannare mätning kompletteras med fler mätpositioner, till exempel de fyra övre hörnen.



Figur 16. Mätpunkter för bestämning av ljudeffektnivå enligt lådmetoden. Avstånd från referenslåda till mikrofonposition på mätytan motsvarar 1 meter i alla riktningar (se pilarna).

Medelljudtrycksnivån för positionerna (n stycken) på mätytan ska bestämmas på ljudtryckskvadraterna, det vill säga antilogaritmiskt enligt:

$$L_{pm} = 10 \lg \left[\frac{1}{n} (10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n}) \right] \quad [dB] \quad [\text{Formel 19}]$$

EXEMPEL:

Mätytan runt en liten ljudkälla är en kub med 2 meters sida. På de fem sidorna uppmättes de A-vägda ljudtrycksnivåerna 85 dB, 80 dB, 83 dB, 87 dB respektive 81 dB. Mätningen genomfördes utomhus ($K_2 = 0$). Hur stor är ljudeffektnivån?

$$L_{pm} = 10 \lg \left(\frac{10^{8,5} + 10^{8,0} + 10^{8,3} + 10^{8,7} + 10^{8,1}}{5} \right) = 84 \quad [dB]$$

$$L_{WA} = 84 + 10 \lg (5 \times 4) = 97 \quad [dB] = 9,7 \quad [B]$$

Lådmetoden finns standardiserad i SS-EN ISO 3744 och 3746. Mätosgrannheten för den A-vägda ljudeffektnivån uppges vara 1,5 respektive 3–4 dB, uttryckt som standardavvikelse av reproducerbarheten.

Metod 3744 kräver fler positioner – minst nio – och en bättre mätomgivning, till exempel halvekofritt laboratorium eller utomhus. Medan metod 3746 ofta kan användas i vanliga stora rum och i bästa fall endast kräver fem positioner.

KLOTMETODEN

Ett alternativ till lådmetoden är klotmetoden. Metoden är i princip densamma men mätytan är en halvsfär istället för en låda. Normalt väljer man ett mätavstånd lika med klotradien (r) som är minst dubbelt så stort som halva diagonalen i referenslådan. Mikrofonens höjd på den klotformiga mätytan är normalt $0,6r$. För en punktkälla på plan mark ger klotmetoden analogt med formel 18.

$$L_W = L_{pm} + 10 \lg (2\pi r^2) \quad [dB] \quad \text{[Formel 20]}$$

EXEMPEL: En meter från en liten ljudkälla på marken eller golvet gäller att $L_p = L_W - 10 \lg (6,28) = L_W - 8$ dB. Formel 20 ger också direkt den så kallade avståndslagen som säger att ljudet i fritt fält avtar med 6 dB per avståndsdubbling.

Klotmetoden finns, analogt med lådmetoden, standardiserad i SS-EN ISO 3744 och 3746. Dessutom finns den i en exklusiv precisionsvariant i SS-EN ISO 3745, som endast används för kalibreringsändamål. I senaste versionen av ISO 3745 normaliserar man resultatet till normalt lufttryck och temperatur. Detta ökar precisionen eftersom man annars får olika resultat beroende på till exempel vilken höjd över havet man befinner sig. Korrektionen är dock obetydlig för typiska svenska förhållanden.

Jämförelsemetoden

En noggrann, enkel och snabb metod som är speciellt lämplig då man inte har tillgång till speciella mätrum är jämförelsemetoden. Den går ut på att man jämför ljudtrycksnivån L_p från den ljudkälla som man vill prova med ljudtrycksnivån L_{pref} från en kalibrerad referensljudkälla med ljudeffektnivån L_{Wref} . Ljudeffektnivån från den okända källan blir då:

$$L_W = L_{Wref} + L_p - L_{pref} \quad [dB] \quad \text{[Formel 21]}$$

Mätningarna ska ske i oktavband varefter den A-vägda ljudeffektnivån lätt kan räknas ut. Mätpunkterna bör vara desamma för bägge ljudkällorna. Lämpligt avstånd från ljudkällan är antingen 1 meter enligt figur 16, sidan 73 eller cirka 2 meter var som helst runt källan. Det mest noggranna resultatet får man för små ljudkällor som man kan flytta. Man mäter då först på den ena ljudkällan som sen flyttas och ersätts på exakt samma plats av den andra.

EXEMPEL: Ljudeffektnivån på en nyinköpt maskin skulle kontrolleras. Man hade tillgång till en kalibrerad referensljudkälla och utförde en mätning enligt ovan. Den A-vägda ljudeffektnivån från maskinen beräknas med hjälp av nedanstående uppställning.

f [Hz]	L _{Wref}	L _p	L _{pref}	L _W	A-vägning	L _W + A-vägning
125	87	84	84	87	-16	71
250	90	91	86	95	-9	86
500	91	95	87	99	-3	96
1 000	91	96	87	100	0	100
2 000	90	98	87	101	1	102
4 000	89	92	86	95	1	96

$$L_{WA} = 10 \lg \left(10^{7.1} + 10^{8.6} + 10^{9.6} + 10^{10} + 10^{10.2} + 10^{9.6} \right) = 105 \text{ [dB]} = 10,5 \text{ [B]}$$

Jämförelsemetoden finns standardiserad som ett alternativ i standarderna SS-EN ISO 3741, 3743 och 3744. Den praktiskt intressantaste standarden är SS-EN ISO 3747 som kan tillämpas under mer normala, icke laboratorieliknande, förhållanden. För små ljudkällor ger jämförelsemetoden – oberoende av mätomgivningen – normalt en noggrannhet på cirka 2 dB, uttryckt som standardavvikelse för reproducerbarheten för den A-vägda ljudeffektnivån.

Efterklangsmetoden

Denna metod tillämpas i efterklangsrum eller andra rum med liten ljudabsorption. Liksom för jämförelsemetoden måste mätningarna alltid utföras i ters- eller oktavband. Genom att bestämma efterklangstiden T i rummet med volymen V samt medelljudtrycksnivån L_{pm} från källan kan ljudeffektnivån bestämmas ur:

$$L_w = L_{pm} + 10 \lg \frac{A}{A_0} + 4,34 \frac{A}{S} + 10 \lg \left(1 + \frac{S \cdot \lambda}{8 \cdot V} \right) - 6 \quad [dB]$$

[Formel 22]

där

A = den ekvivalenta ljudabsorptionsarean

(=rumsabsorptionen – se formel 28, sidan 84)

$A_0 = 1 \text{ m}^2$

S = efterklangsrummets totala ytarea

λ = våglängden

V = rummets volym

Termen $10 \lg (1 + S\lambda/8V)$ är den så kallade Waterhousekorrektionen som kompenserar för att medelljudtrycksnivån enligt gällande standarder, mäts enbart i rummets mitt. Eftersom energitätheten alltid är störst nära väggarna får man därför alltid en systematisk underskattning av rummets totala medelljudtrycksnivå.

Efterklangsmetoden finns standardiserad i SS-ISO 3741. Noggrannheten, uttryckt i standardavvikelse för reproducerbarheten, är även här cirka 2 dB för den A-vägda ljudeffektnivån. Liksom för ISO 3745 har man också för senaste versionen av ISO 3741 infört en korrektion för lufttryck och temperatur.

Intensitetsmetoden

Instrumentutvecklingen har gjort det möjligt att mäta ljudeffektnivån direkt, utan att gå omvägen över ljudtrycksnivå. Med hjälp av en speciell mikrofon, vanligen två fasmatchade vanliga mikrofoner, och en tvåkanalig realtidsanalysator kan man bestämma medelljudintensitetsnivån L_I över en mätyta S runt den aktuella maskinen och ljudeffektnivån blir då helt enkelt:

$$L_w = L_f + 10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad [dB]$$

[Formel 23]

$$S_0 = 1 \text{ m}^2$$

Medelvärde på L_f bestäms enklast genom att svepa mätsonden i jämn takt över en mätyta på cirka 20 centimeters avstånd från maskinen. Det är viktigt att varje del av mätytan får lika lång sveptid. En lämplig sveptid kan vara 1 minut per m^2 . Om ljudtrycksnivån från maskinen och bakgrundsbullret utanför maskinen är stationära kan man med hjälp av intensitetstekniken bestämma ljudeffektnivån från en maskin även om bakgrundsbullret är högre än maskinbullret. Detta beror på att buller utifrån passerar mätytan i två riktningar. Eftersom intensiteten känner av riktningen, innebär detta att in- och utpasserande ljud neutraliserar varandra för bakgrundsbullret. Detta gäller bara om maskinen inte själv absorberar infallande ljud.

Svepmetoden är mycket lätthanterlig och ger i regel mycket goda resultat. En nackdel är att det är svårt att bedöma kvaliteten på mätningarna. Det vanligaste sättet att bedöma denna är att titta på den så kallade pI-indikatorn:

$$F_{pI} = L_p - L_f$$

[Formel 24]

Om F_{pI} är mindre än 10 dB brukar mätningarna vara korrekta. Metoden finns som standard i SS-EN ISO 9614-2.

För fullständig kontroll över mätningarna krävs att dessa utförs i ett stort antal fasta mätsöndspositioner och att olika kvalitetsindex utvärderas, se SS-EN ISO 9614-1.

Mätning av buller från byggnadsinstallationer

För mätning av störande buller från byggnaders installationer bestämmer man i regel ett medelvärde, baserat på vissa regler, av ljudtrycksnivån i rummet. I små rum krävs tre mikrofonpositioner och i lite större rum sex stycken. Förfarandet finns beskrivet i SS 025263. För lågfrekvent buller, det vill säga buller inom området 31–200 Hz, har Socialstyrelsen kommit ut med tilläggsanvisningar, se referens [27].

Referenser

- [1] SS-EN ISO 3740:1999 *Determination of sound power levels of noise sources. Guidelines for the use of basic standards and for the preparation of noise test codes.*
- [2] ISO/DIS 3741:1999 *Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation rooms.*
- [3] SS-EN ISO 3743:1994 *Akustik – Bestämning av ljudeffektnivåer för bullerkällor med användning av ljudtryck – Teknisk metod för små, flyttbara källor i efterklangsfält.*
Del 1: Jämförande metod för rum med hårda väggar.
Part 2: Methods for special reverberation test rooms.
- [4] SS-EN ISO 3744:1994 *Akustik – Bestämning av ljudeffektnivåer för bullerkällor med användning av ljudtryck – Teknisk metod med användning av en omslutande mätyta över ett reflekterande plan.*
- [5] ISO/DIS 3745:2000 *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic and semianechoic rooms.*
- [6] SS-EN ISO 3746:1995 *Akustik – Bestämning av ljudeffektnivåer för bullerkällor med användning av ljudtryck – Överslagsmetod med användning av en omslutande mätyta över ett reflekterande plan.*
- [7] ISO/DIS 3747-1998 *Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Comparison method for use in situ.*
- [8] ISO 9612:97 *Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in the working environment.*
- [9] ISO 9614-1 *Akustik – Bestämning av ljudeffektnivåer hos bullerkällor med användning av ljudintensitet – Mätning i punkter.*
- [10] ISO 9614-2 *Akustik – Bestämning av ljudeffektnivåer hos bullerkällor med användning av ljudintensitet – Mätning med svepmetod.*
- [11] SS-EN ISO 11200:1995 *Akustik – Bulleremission från maskiner och utrustning – Riktlinjer för användning av grundstandard för bestämning av emissionsljudtrycksnivå vid operatörsplats eller andra specificerade platser.*
- [12] SS-EN ISO 11201:1995 *Akustik – Bulleremission från maskiner och utrustning – Mätning av emissionsljudtrycksnivå vid operatörsplats – Teknisk metod i ett i huvudsak fritt ljudfält över ett reflekterande plan, Technical corrigendum 1:97.*
- [13] SS-EN ISO 11202:1995 *Akustik – Bulleremission från maskiner och utrustning – Mätning av emissionsljudtrycksnivå vid operatörsplats – Överslagsmetod på plats.*
- [14] SS-EN ISO 11203:1996 *Akustik – Bulleremission från maskiner och utrustning – Mätning av emissionsljudtrycksnivå vid operatörsplats.*
- [15] SS-EN ISO 11204:1996 *Akustik – Bulleremission från maskiner och utrustning – Mätning av emissionsljudtrycksnivå vid operatörsplats, Technical corrigendum 1:97 (Översatt till svenska).*
- [16] ISO/CD2 11205:1999 *Acoustics – Determination of sound pressure levels using sound intensity.*

- [17] SS-EN ISO 11690:1996
Akustik – Rekommendationer vid utformning av tysta arbetsplatser.
Del 1: Strategi för kontroll av bullerbegränsning.
Del 2: Åtgärder för bullerbegränsning.
Del 3: Ljudutbredning och bullerprediktion i verkstäder.
- [18] prEN ISO 14257:1999 *Acoustics – Measurement and modelling of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance.*
- [19] SS-EN 60651:1979 *Sound level meters.*
- [20] SS-EN 60804:1985 *Integrating – averaging sound level meters (including amendment no 1:1989).*
- [21] SS-EN 60942:1997 *Sound calibrators.*
- [22] SS-EN 61012 *Filters for the measurement of audible sound in the presence of ultrasound.*
- [23] SS-EN 61043:1993 *Instruments for the measurement of sound intensity – Measurements with pairs of pressure sensing microphones.*
- [24] SS-EN 61252:1993 *Specifications for personal sound exposure meters.*
- [25] SS-EN 61260:1995 *Electroacoustics, Octaveband and fractional-octaveband filters.*
- [26] SS 025263: 1996 *Byggakustik - Mätning av ljudtrycksnivå i rum – Fältprovning.*
- [27] SP INFO 1996:17 *Vägledning för mätning av ljudnivå i rum vid låga frekvenser – fältprovning.*
- [28] SS-ISO 1999:1990 *Bestämning av yrkesmässig bullerexponering och uppskattning av bullerorsakad hörselskada.*

Rumsakustik

Ljudabsorption

När en ljudvåg träffar till exempel en vägg kommer en del av den infallande ljudenergin att reflekteras i väggytan, en del kommer att omvandlas till värmeenergi, det vill säga absorberas av väggen och en del kommer att passera genom väggen. Hur stor del av energin som kommer att absorberas av väggen beror på av vilket material väggen är byggd och i viss mån även hur den är monterad (lättväggar). Förluster uppstår dels genom att väggen sätts i svängning när ljudvågen träffar den, dels genom friktion i porösa väggmaterial om ljudvågen kan tränga in genom väggytan.

Ljudabsorptionsfaktorn för ett material, i ett givet montage och med en given tjocklek, definieras som förhållandet mellan den energi som absorberas av väggen eller passerar genom väggen och den infallande ljudenergin. Absorptionsfaktorns storlek varierar mellan 0 vid total reflektion och 1 vid total absorption. Absorptionsfaktorn är nära noll för hårda styva ytor, till exempel betong, kakel, putsad tegel eller lättbetong. Den är som högst för mycket porösa material såsom mineralull och vissa textilier. Absorptionsfaktorn är frekvensberoende och anges i oktav- eller tersband. Absorptionskurvornas utseende varierar för olika typer av material. De kan även variera beroende på tjocklek och olika typer av montage av ett och samma material (se vidare avsnittet ”Ljudabsorberande konstruktioner”, sidan 103).

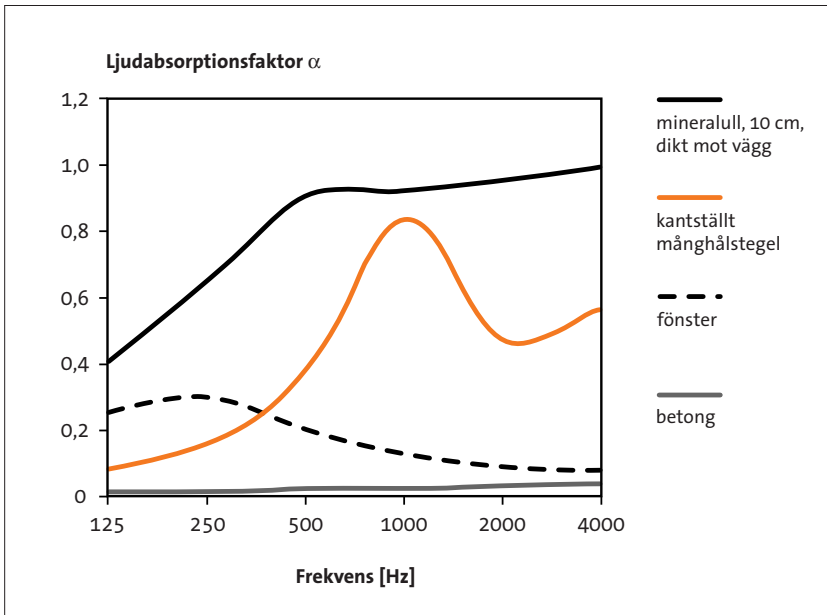


Diagram 10. Ljudabsorptionsfaktorns frekvensberoende för några olika konstruktioner

Med en ytas *ljudabsorption* avses produkten av absorptionsfaktorn (α) och ytans storlek (S).

$$A = \alpha \cdot S$$

[Formel 25]

Enheten är m^2 Sabine (m^2S) efter amerikanen Sabine som omkring år 1900 studerade absorption och efterklangstid i slutna rum.

Föremål vars ljudabsorption inte enkelt kan beskrivas som produkten av en yta och en ljudabsorptionsfaktor kallas *enkelabsorbenter*. Exempel på enkelabsorbenter är människor och stoppade möbler.

Även luften har en viss ljudabsorption. Luftabsorptionen beror på rummets volym och ljudets frekvens. Den får betydelse endast i stora rum och vid höga frekvenser. Många gånger kan man bortse från luftabsorptionen.

Rumsabsorptionen för ett slutet utrymme utgör summan av begränsningsytornas absorption och eventuella enkelabsorbenter. Den kan beskrivas:

$$A = \alpha_1 \cdot S_1 + \alpha_2 \cdot S_2 + \alpha_3 \cdot S_3 + \dots + \alpha_n \cdot S_n + A_{enkel\ 1} + \dots + A_{enkel\ n} \quad [m^2S]$$

[Formel 26]

där

A = rumsabsorptionen i m^2 Sabine

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ = delytornas absorptionsfaktorer

S_1, S_2, \dots, S_n = delytornas area i m^2

$A_{enkel\ 1}, A_{enkel\ 2}, \dots, A_{enkel\ n}$ = enkelabsorbenternas ljudabsorption i m^2 Sabine

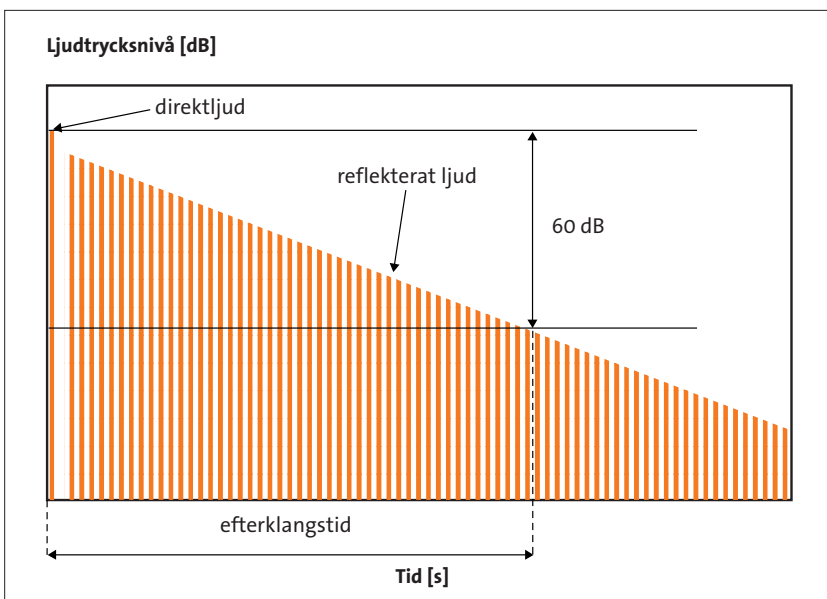
I nedanstående tabell 5 redovisas ljudabsorptionsfaktorer för några vanliga byggnadsmaterial tillsammans med ljudabsorptionen för några enkelabsorbenter. (*Ytterligare exempel på ljudabsorptionsfaktorer redovisas i bilagan, sidan 216.*)

Material	Frekvens i Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
<i>Ljudabsorptionsfaktorn hos några vanliga byggnadsmaterial (%)</i>						
Betong	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Parkett på reglar	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
Mjuk matta på betong	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Linoleum på betong	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Mineralull, 3 cm, direkt mot vägg	0,12	0,24	0,50	0,80	0,86	0,88
Mineralull, 10 cm, direkt mot vägg	0,40	0,65	0,90	0,92	0,95	0,99
Bomullsgardin, draperad	0,12	0,20	0,42	0,53	0,64	0,62
Öppet fönster, teoretiskt värde	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<i>Ljudabsorptionen hos några enkelabsorbenter (m^2Sabine)</i>						
Sittande person	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46
Stol med klädd sits och rygg	0,17	0,23	0,23	0,22	0,19	0,18

Tabell 5. Ljudabsorptionsfaktorer för några vanliga byggnadsmaterial tillsammans med ljudabsorptionen för några enkelabsorbenter

Efterklangstid

Om en ljudkälla i ett rum plötsligt stängs av kommer ljudet i rummet inte att upphöra ögonblickligen. Ljudet reflekteras i rummets begränsningsytor och klingar av efterhand som det tappar sin energi vid reflexionerna. Hur snabbt ljudet klingar av beror på begränsningsytornas ljudabsorberande egenskaper. Efterklangstiden definieras som den tid det tar för ljudtrycksnivån att avta 60 dB efter det att ljudkällan har stängts av.



Figur 17. Schematiskt efterklangsförlopp i ett rum när ljudkällan stängs av

Om man känner till rummets volym och rumsabsorptionen kan man beräkna efterklangstiden:

$$T = 0,16 \frac{V}{(A + 4 \cdot m \cdot V)} \quad [s] \quad \text{[Formel 27]}$$

där

T = efterklangstiden i sekunder

V = rummets volym i m^3

A = rumsabsorptionen i m^2 Sabine

m = dissipationskoefficienten för luft i m^{-1}

Luftabsorptionen ($4 \cdot m \cdot V$) blir betydande endast vid höga frekvenser och stora rumsvolymer. Ofta försummas luftabsorptionen och efterklangstiden kan då skrivas:

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad [s] \quad \text{[Formel 28]}$$

Det finns två sätt att uttrycka rumsabsorptionen:

Sabine: $A_{sab} = S \cdot \alpha_{sab}$

Eyring: $A_{eyr} = S \cdot \alpha_{eyr}$

$$\alpha_{sab} = -2,3 \cdot \lg(1 - \alpha_{eyr})$$

Tumregeln är att A_{sab} används då medelabsorptionsfaktorn är mindre än 0,2 och A_{eyr} används då medelabsorptionsfaktorn är större än 0,2. I diagram 11 visas sambandet mellan α_{sab} och α_{eyr} grafiskt.

Efterklangstiden i ett rum ökar alltså med rummets volym. Den påverkas dessutom av begränsningsytornas ljudabsorberande egenskaper. Ju högre ljudabsorptionsfaktor begränsningsytorna har, desto kortare blir efterklangstiden. Även rummets möblering och utrustning inverkar på efterklangstiden.

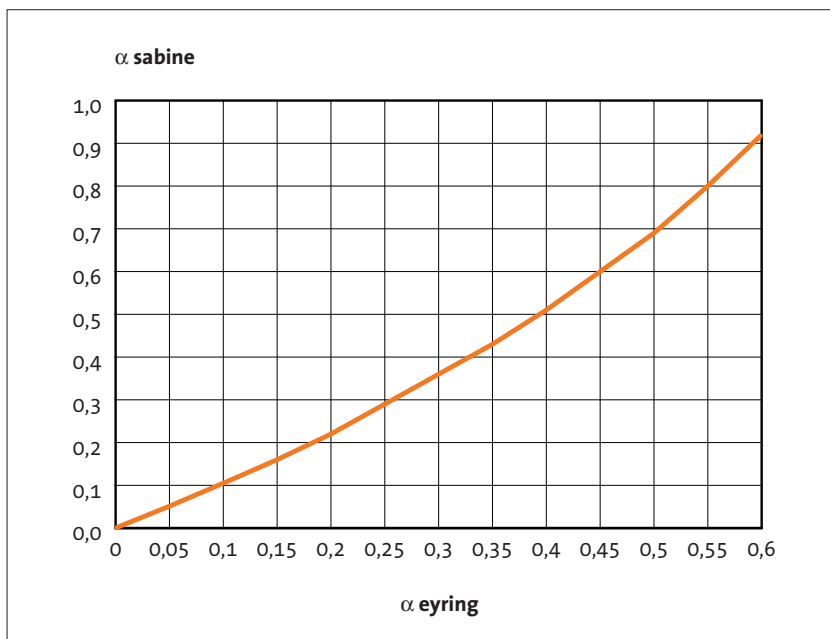
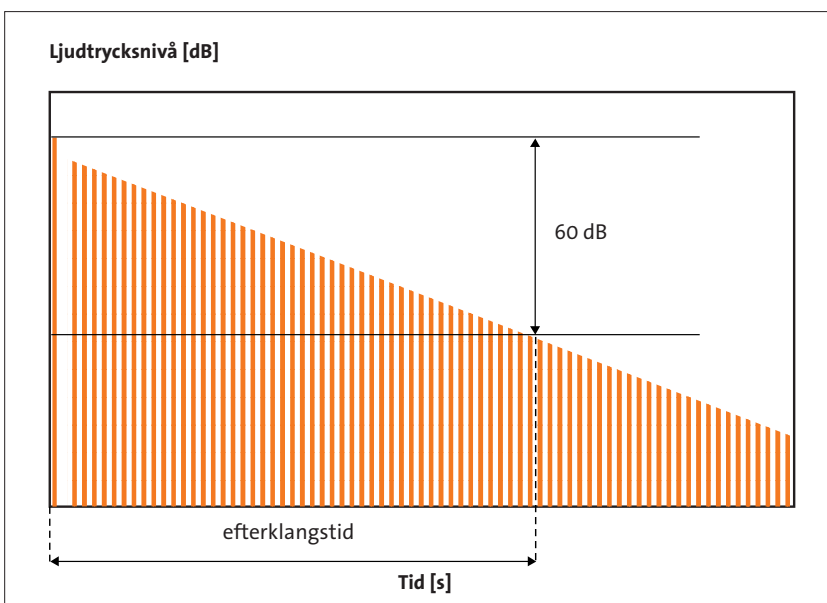
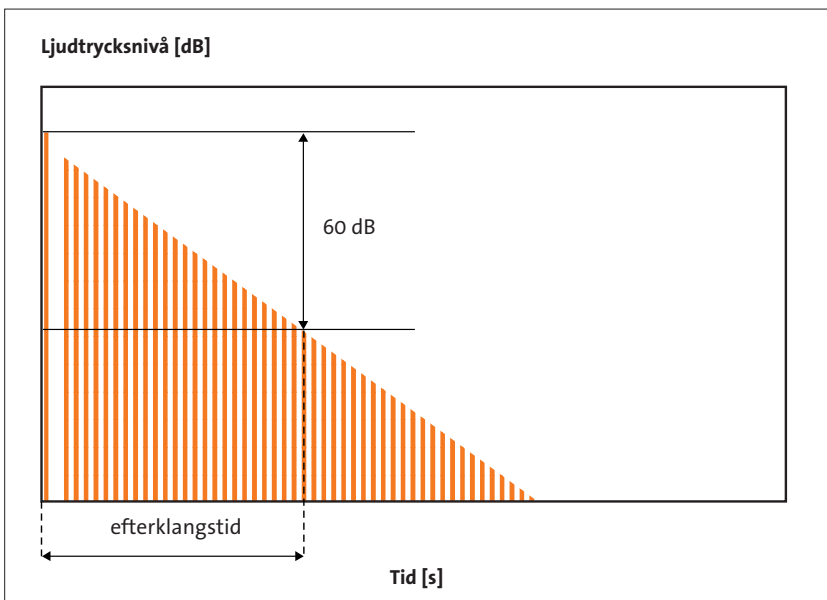


Diagram 11. Samband mellan α_{sab} och α_{eyr}



Figur 18a. Efterklangsförloppet i ett rum med ljudreflekterande väggar (lång efterklangstid)



Figur 18b. Efterklangsförloppet i ett rum med ljudabsorberande väggar (kort efterklangstid)

Efterklangstiden varierar med ljudets frekvens, eftersom rumsabsorptionen är olika stor vid olika frekvenser.

Om endast ett värde på efterklangstiden anges brukar detta avse ett medelvärde över frekvensbanden 500–2 000 Hz eller 250–4 000 Hz.

Uttrycken för efterklangstid enligt ovan kan endast användas för beräkningar i rum med diffusa ljudfält. Ett rum kan anses ha ett diffust ljudfält om de inbördes dimensionerna (längd, bredd och höjd) har liten avvikelse från varandra och om starkt ljudabsorberande ytor är jämt fördelade i lokalen.

I stora rum med ojämnt fördelad absorption och i rum med starkt avvikande inbördes dimensioner (till exempel korridorer) bör efterklangstiden mätas eller beräknas med hjälp av datorsimulering.

Ljudutbredning

Studier av ljudutbredningen, det vill säga ljudstyrkan på olika avstånd från en ljudkälla, baseras alltid på en hur den avgivna ljudeffekten fördelas i omgivningen av en ljudkälla.

Ljudutbredning utomhus

Sfärisk utbredning från en punktkälla innebär att källans ljudeffekt fördelas likformigt i alla riktningar. Utomhus är ljudutbredningen nästan alltid halvsfärisk. Ljudutbredningen sker då likformigt i alla riktningar ovanför markplanet.

I dessa två fall fördelas alltså ljudeffekten W över hela respektive halva den sfäriska yta vars area på avståndet r från ljudkällan är:

$$4 \cdot \pi \cdot r^2 \text{ respektive } 2 \cdot \pi \cdot r^2 \quad [W / m^2]$$

Ljudintensiteten blir då:

$$I = \frac{W}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \text{ respektive } \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad [W / m^2] \quad [\text{Formel 29}]$$

eller dubbelt så hög vid den halvsfäriska ytan jämfört med den sfäriska, det vill säga ljudintensitetsnivån (och därmed också ljudtrycksnivån) är 3 dB högre i det halvsfäriska fallet.

Ljudtrycksnivån avtar däremot med 6 dB för varje avståndsdubbling i båda fallen, vilket brukar benämnas ljudutbredning i fritt fält.

På avståndet r från ljudkällan är ljudtrycksnivån:

$$L_{pr} = L_w - 20 \lg(r) - K \quad [dB] \quad \text{[Formel 30]}$$

där

L_{pr} = ljudtrycksnivån på avståndet r (dB rel 20 μ Pa)

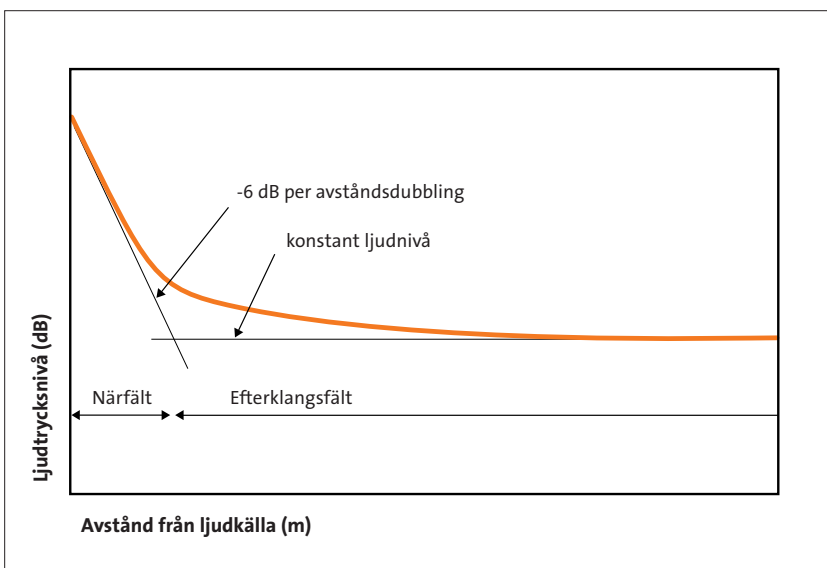
L_w = källans ljudeffektnivå (dB rel 10⁻¹² W)

$K = 8$ (vid halvsfärisk ljudutbredning)

$K = 11$ (vid sfärisk ljudutbredning)

Ljudutbredning inomhus

Inomhus reflekteras ljudvågorna i rummets begränsningsytor, möbler och liknande. Ljudutbredningen blir då betydligt mer komplicerad än utomhus, där ljudtrycksnivån avtar med 6 dB per avståndsfördubbling i fritt fält.



Figur 19. Ljudtrycksnivån inomhus som funktion av avståndet till ljudkällan

Om man utgår från att det i lokalen finns en ljudkälla med en känd ljud-effektnivå (L_w), kan ljudtrycksnivån (L_p) på avståndet (r) från källan översiktligt beräknas med hjälp av följande uttryck (det angivna uttrycket gäller för en punktkälla):

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\underbrace{\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2}}_{\text{avstånd}} + \underbrace{\frac{4 \cdot (1 - \alpha)}{A}}_{\text{absorption}} \right) \quad [\text{dB}] \quad \text{[Formel 31]}$$

där

L_p = ljudtrycksnivån i dB på avståndet r från källan.

L_w = källans ljudeffektnivå i dB.

r = avståndet från ljudkällan i meter.

α = begränsningsytornas genomsnittliga absorptionsfaktor (= A/S).

A = rumsabsorptionen i m^2S .

S = begränsningsytornas sammanlagda storlek i m^2

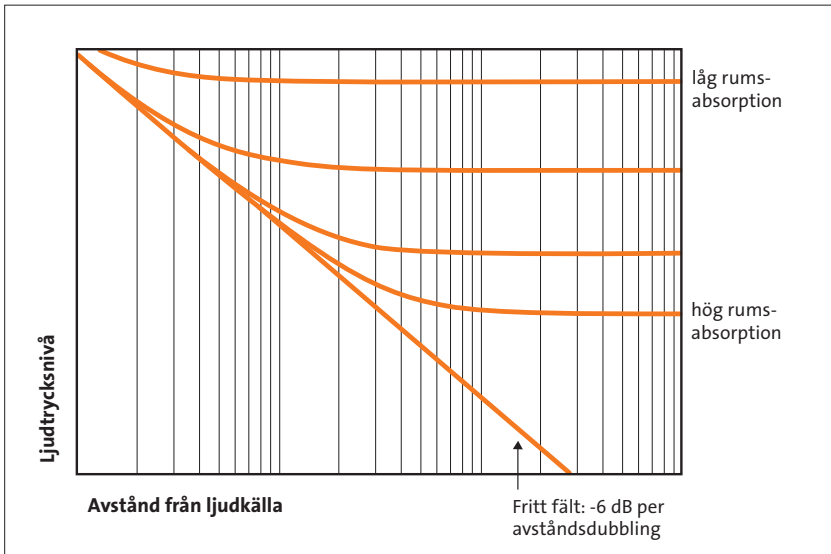
Q = en så kallad riktningfaktor som beror på ljudkällans placering.

Q har värdet:

- 1 om ljudkällan är placerad fritt i rummet (sfärisk utbredning).
- 2 om ljudkällan är placerad mot ett plan (exempelvis golv).
- 4 om ljudkällan är placerad mot två plan (exempelvis golv och vägg).
- 8 om ljudkällan är placerad mot tre plan (i ett hörn).

Ljudtrycksnivån i närheten av ljudkällan avtar med avståndet, på samma sätt som utomhus. Ju längre bort från källan man befinner sig, desto större betydelse får reflektioner från rummets begränsningsytor. På ett visst avstånd från ljudkällan blir dessa reflektioner bestämmande för ljudnivån, som därefter upphör att minska med avståndet från ljudkällan, se figur 19. I figuren visas även gränserna för det man brukar kalla när- respektive efterklangsfält (eller direkt- respektive fjärrfält).

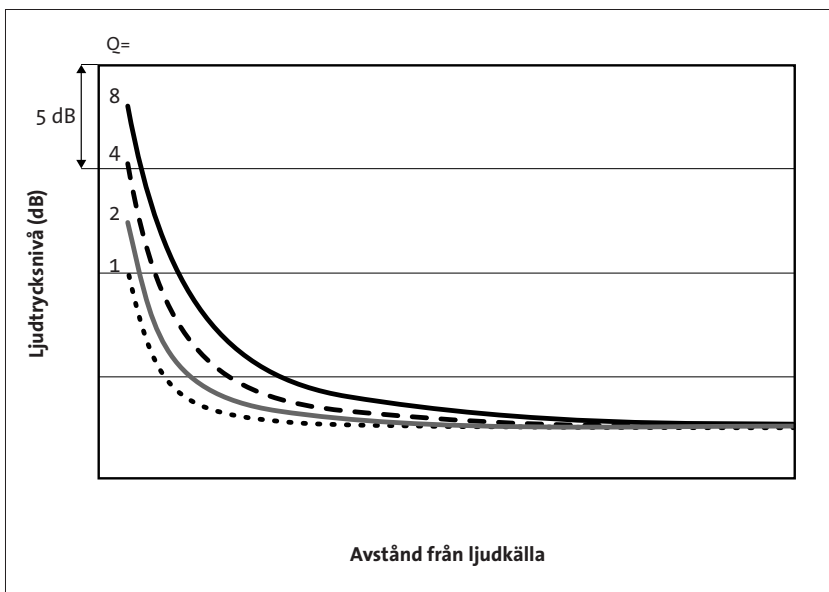
Ju större rumsabsorptionen är, desto mer närmar sig kurvan för ljudutbredning inomhus en dämpning om 6 dB per avståndsdubbling. Se figur 20.



Figur 20. Rumsabsorptionens inverkan på ljudutbredningen inomhus.
a=reflekterande väggar, b=absorberande väggar, c=fritt fält, ■ = Bullerkälla

I efterklangsfältet är alltså ljudtrycksnivån direkt beroende av rumsabsorptionen. Ju större rumsabsorptionen är, desto lägre blir ljudtrycksnivån i efterklangsfältet.

Ljudkällans placering har betydelse i närfältet medan ljudtrycksnivån i efterklangsfältet inte påverkas. Figur 21 visar ett exempel på placeringens inverkan. Nära källan ökar ljudtrycksnivån med upp till 3 dB för varje reflekterande plan som tillkommer. Denna ökning kan motverkas genom att de reflekterande ytorna förses med ljudabsorberande material.



Figur 21. Inverkan av ljudkällans placering på ljudtrycksnivån inomhus

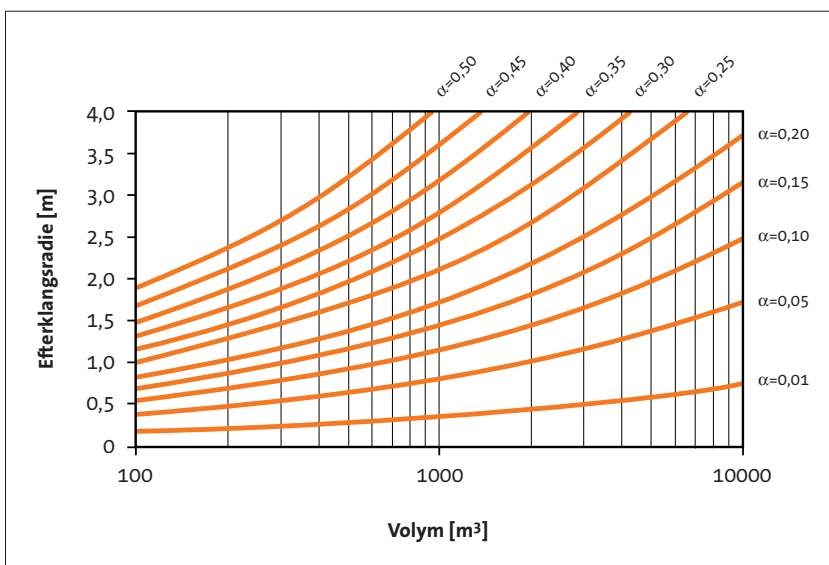


Diagram 12. Efterklangsradien som funktion av rumsvolym och medelabsorptionsfaktor

Väl inne i efterklangsfältet kan man alltså bortse från direktljudet. Reflexionerna från rummets begränsningsytor blir då bestämmande och beräkningen av ljudtrycksnivån enligt ovan kan förenklas till:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{4 \cdot (1 - \alpha)}{A} \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 32]}$$

Avståndet från ljudkällan till gränsen mellan när- och efterklangsfältet beror, rent teoretiskt, av den totala rumsabsorptionen och rummets volym eller totala begränsningsyta. I verkligheten spelar ofta andra faktorer in, som rummets geometri (förhållandet mellan längd, bredd och höjd) och fördelningen av absorberande ytor. I diagram 12 visas teoretiskt beräknade värden av detta avstånd, efterklangsradien, som funktion av rummets volym V (längd = bredd = höjd) och medelabsorptionsfaktorn α .

I diagram 13 visas skillnaden mellan ljudtrycksnivån på olika avstånd från en bullerkälla och källans ljudeffektnivå, beräknat enligt formel 31. De olika kurvorna visar hur ljudtrycksnivån på ett visst avstånd från ljudkällan varierar med rumsabsorptionen. Den raka kurvan motsvarar fritt fält. Beräkningen har gjorts för en ljudkälla placerad fritt i rummet ($Q=1$) Diagram 13 visar att en icke oväsentlig sänkning av ljudnivån kan erhållas i en arbetslokal genom uppsättning av absorbenter, särskilt om lokalens begränsningsytor från början har låga absorptionsfaktorer.

Effekter av ljuddämpning i en lokal

Genom att föra in ljudabsorberande material i en lokal ökar man efterklangsradien kring ljudkällan (se diagram 12). Efterklangstiden blir kortare och ljudtrycksnivån på avstånd från källan sjunker. Uppsättning av ljudabsorbenter i en lokal sänker bullerexponeringen obetydligt för den personal som stadigvarande vistas intill mycket bullriga maskiner. För personal som vistas på avstånd från de starkaste bullerkällorna, eller som ständigt förflyttar sig i lokalen, kan effekten bli mer påtaglig.

Även om den mätbara effekten av de ljudabsorberande åtgärderna inte är så stor, upplevs ljudklimatet ofta behagligare till följd av att efterklangstiden minskar. Det blir lättare att samtala och urskilja varifrån ljudet kommer, vilket bidrar till att öka trivseln och minska bullrets tröttnande verkan i arbetet.

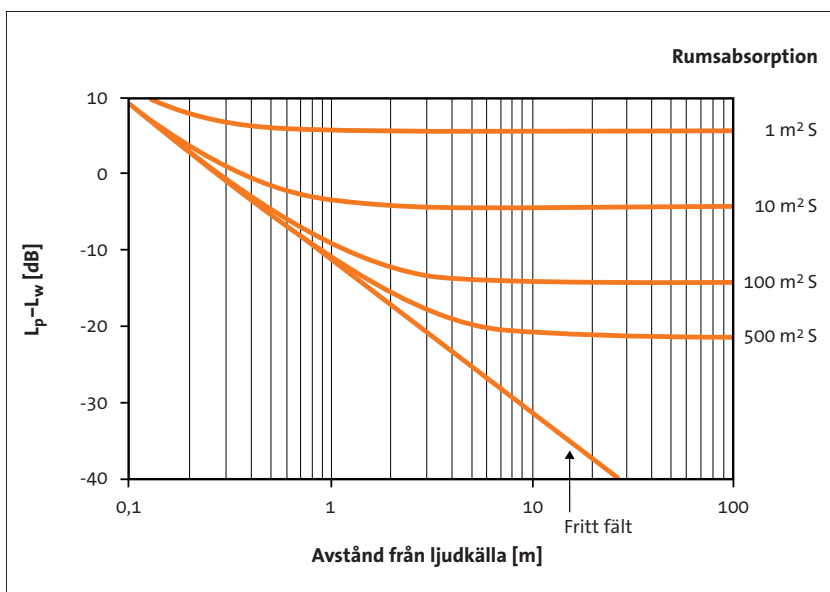


Diagram 13. Skillnad mellan ljudtrycksnivån i ett rum och ljudkällans ljudeffektnivå som funktion av rummets absorption och avståndet till ljudkällan

Beräkning av ljudabsorptionens betydelse

Genom att öka ljudabsorptionen i en lokal, förkortar man efterklangstiden i lokalen och minskar ljudnivån på avstånd från ljudkällan. En förkortad efterklangstid och minskad bakgrundsbullernivå, ökar möjligheten att uppfatta tal. Nedan beskrivs dessa effekter genom ett antal exempel.

Exemplen utgår från en lokal med dimensionerna
 $(L \cdot B \cdot H) = 32 \cdot 20 \cdot 7 = 4\,480 \text{ m}^3$.

EFTERKLANGSTID

EXEMPEL: Beräkning av efterklangstid före och efter införande av absorberande undertak. Lokalen har från början ljudreflekterande väggar, golv och tak.

Ytor i lokalen:		
	Dimensioner	Yta
Golv	32 x 20 m =	640 m ²
Tak	32 x 20 m =	640 m ²
Väggar	2 x 32 x 7 + 2 x 20 x 7 m =	798 m ²
Totalt		2 078 m²
Volym	32 x 20 x 7 m =	4 480 m³

Medelabsorptionsfaktorn uppskattas till 0,10. Den totala rumsabsorptionen blir då $0,10 \cdot 2\,078 = 208 \text{ m}^2\text{Sabine}$. Luftabsorptionen försummas här för enkelhetens skull.

Efterklangstiden kan beräknas till :

$$T = 0,16 \frac{V}{A} = 0,16 \frac{4480}{208} = 3,4 \quad [s] \quad \text{[Formel 33]}$$

För att sänka efterklangstiden i lokalen installerar man ett absorberande undertak med absorptionsfaktorn 0,90.

Den nya efterklangstiden beräknas:

Absorptionsyta		
Golv	640 x 0,10 =	64 m ² S
Tak	640 x 0,90 =	576 m ² S
Väggar	798 x 0,10 =	80 m ² S
Total rumsabsorption A_{Sab}		720 m²S

Medelabsorptionsfaktorn α_{Sab} blir då $720/2\,078 = 0,35$. Här bör rumsabsorptionen beräknas enligt Eyring (α större än 0,2). Diagram 11 på sidan 84 ger $\alpha_{eyr} = 0,30$.

Efterklangstiden kan nu beräknas till:

$$T = 0,16 \frac{4480}{0,30 \cdot 2078} = 1,1 \quad [s]$$

LJUDTRYCKSNIVÅ

EXEMPEL: Beräkning av ljudtrycksnivå före och efter införande av absorberande undertak.

Hur går det med ljudtrycksnivån när man inför det absorberande undertaket i exemplet ovan?

Vid fri ljudutbredning från en ljudkälla med ljudeffektnivån $L_w = 100$ dB används följande formel:

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha)}{A} \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 34]}$$

Utan absorberande undertak får vi:

$$L_{p,\text{före}} = 100 + 10 \lg \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4 \cdot (1 - 0,10)}{208} \right) \quad [dB]$$

Med absorberande undertak får vi:

$$L_{p,\text{efter}} = 100 + 10 \lg \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4 \cdot (1 - 0,35)}{720} \right) \quad [dB]$$

I diagram 14 visas skillnaden i ljudtrycksnivå före och efter åtgärd ($= L_{p,\text{före}} - L_{p,\text{efter}}$).

Man ser att skillnaden i ljudtrycksnivå före och efter åtgärd blir betydande först på några meters avstånd från ljudkällan. På större avstånd än 7–8 meter ändras sedan inte nivåskillnaden nämnvärt.

Beroende på en lokals storlek och ursprungliga rumsabsorption kan man vid införande av betydande mängder ljudabsorption räkna med en nivåsenkning om 1–2 dB i närheten av ljudkällan (på avståndet 1–2

meter) och 5–10 dB på avstånd större än 5 meter. Detta gäller om man endast har en ljudkälla eller en koncentrerad grupp av ljudkällor i lokalen.

Med många ljudkällor spridda runt om i en lokal blir nivåsenkningen intill ljudkällorna obetydlig och på avstånd högst cirka 5 dB.

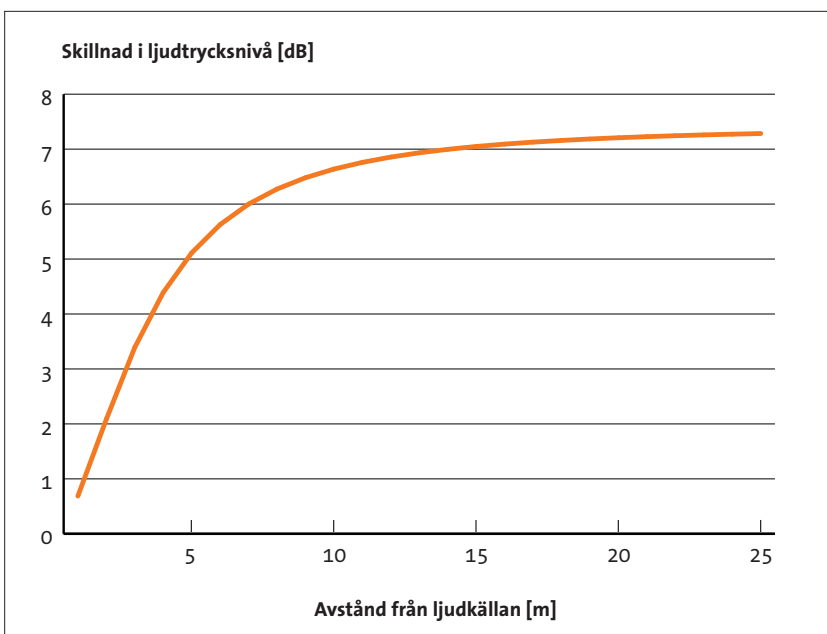


Diagram 14. Skillnad i ljudtrycksnivå före och efter åtgärd

Poängmetoden

För beräkning av ljudutbredning i lokaler finns också en beräkningsmodell som bygger på att man poängsätter lokalen.

Följande storheter som påverkar ljudutbredningen i lokalen ingår i poängsättningen:

- Lokalens volym
- Takhöjd – Takabsorbent
- Rumsbredd – Väggsabsorbent
- Reflekterande ytor i lokalen (maskintäthet)

Diagram 15-17 beskriver hur man går tillväga:

En lokal på 7 000 m³ (50·35·4 meter) får 2 poäng enligt diagram 15. Samma lokal med heltäckande perforerat plåtundertak ($\alpha = 0,2$) får 1,7 poäng, eftersom takhöjden är 4 meter (se diagram 16). Om lokalen även har ett väggmaterial som är likvärdigt med takmaterialet ($\alpha = 0,2$) får lokalen 1 poäng, eftersom rummet är brett (se diagram 17).

Den aktuella lokalen har således 4,7 poäng. Tillsammans med maskintätheten MT och lokalens poäng, bestäms sedan ljudutbredningen i lokalen. Maskintätheten MT beräknas enligt följande:

$$MT = \frac{A}{V} \quad \text{[Formel 35]}$$

där

A = summan av tvärsnittsarean för alla reflekterande ytor (maskiner, pelare, skärmar eller liknande) i m²

V = lokalens volym i m³

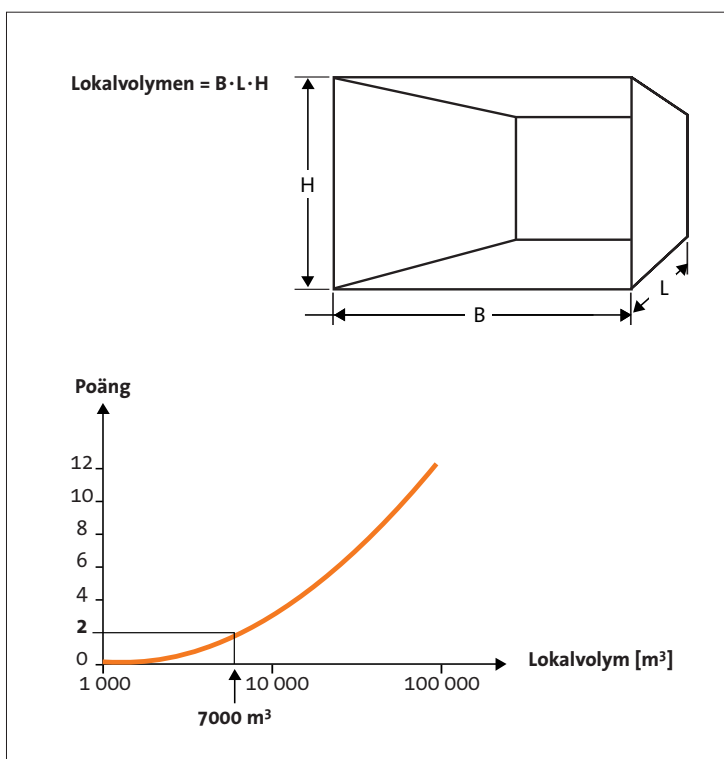


Diagram 15. En lokal på 7 000 m³ (50·35·4 meter) får 2 poäng enligt diagrammet

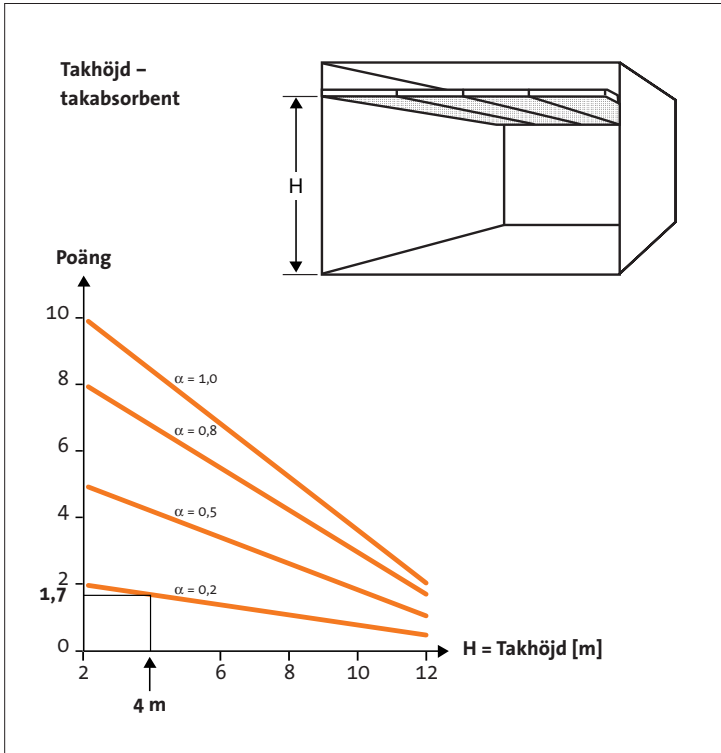


Diagram 16. Samma lokal som i diagram 15 med heltäckande perforerat plåtundertak ($\alpha = 0,2$) får 1,7 poäng, eftersom takhöjden är 4 meter.

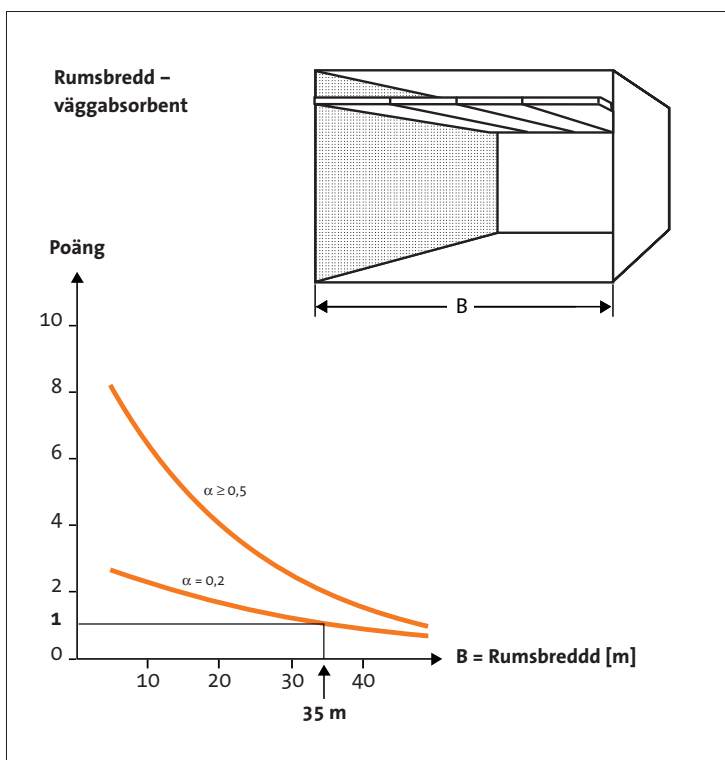


Diagram 17. Om lokalen även har ett väggmaterial som är likvärdigt med takmaterialet ($\alpha = 0,2$) får lokalen endast 1 poäng, eftersom rummet är brett.

Ur diagrammen 18–21, kan ljudutbredningen bestämmas för olika poäng och maskintätheter. De streckade områdena visar förbättringar som kan uppnås om det ej är fri sikt mellan bullerkällan och mottagaren.

Skillnader i ljudnivå (ΔL_D) enligt diagrammen, utgår från ljudnivån på 1 meters avstånd från bullerkällan.

Om en lokal på $7\,000\text{ m}^3$ har cirka 350 m^2 reflekterande ytor, är maskintätheten MT i lokalen:

$$MT = \left(\frac{350}{7000} \right) = 0,05$$

I diagram 19 kan man exempelvis avläsa att ljudnivån på 15 meters avstånd från en bullerkälla blir 13 dB(A) lägre än ljudnivån på 1 meters avstånd från källan.

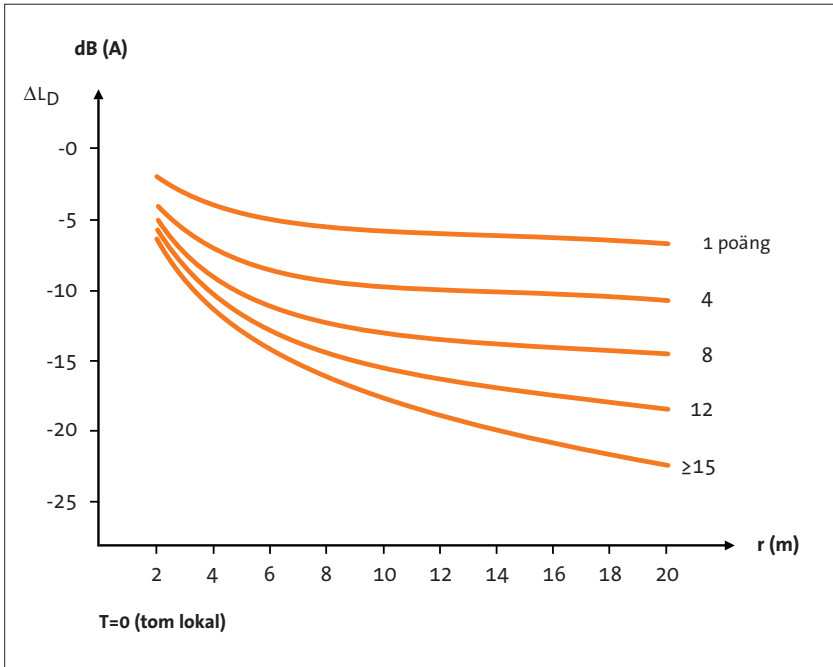


Diagram 18. $MT = 0$ (tom lokal)

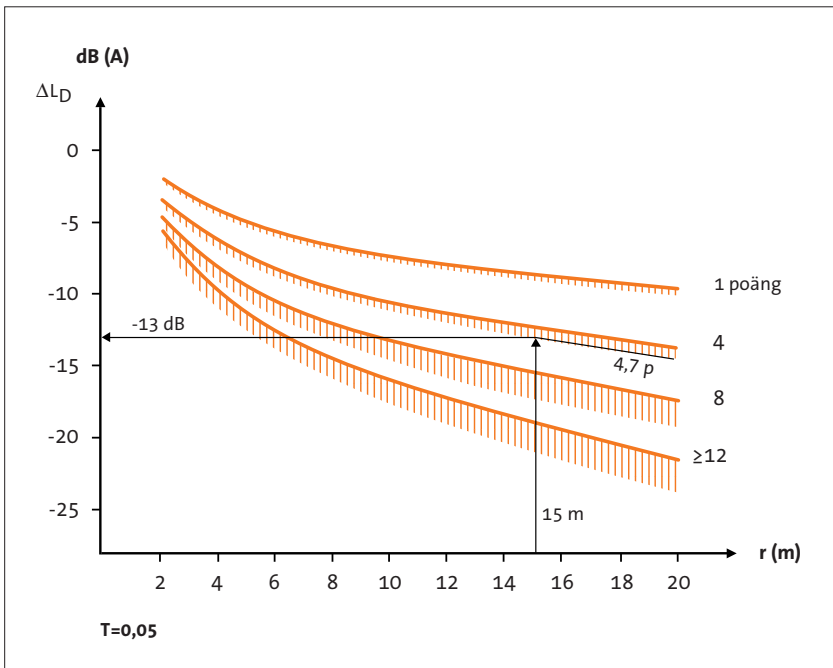


Diagram 19. $MT = 0,05$

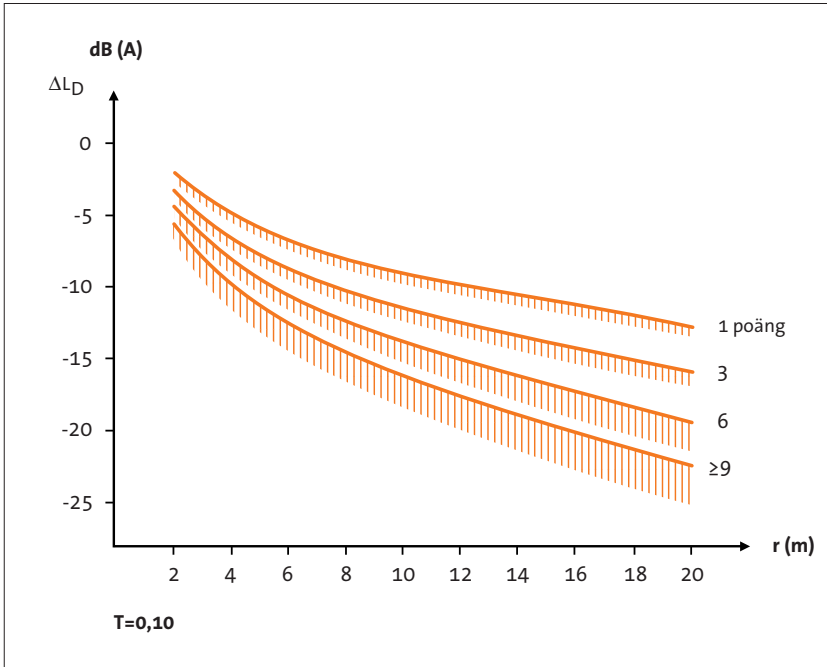


Diagram 20. $MT = 0,10$

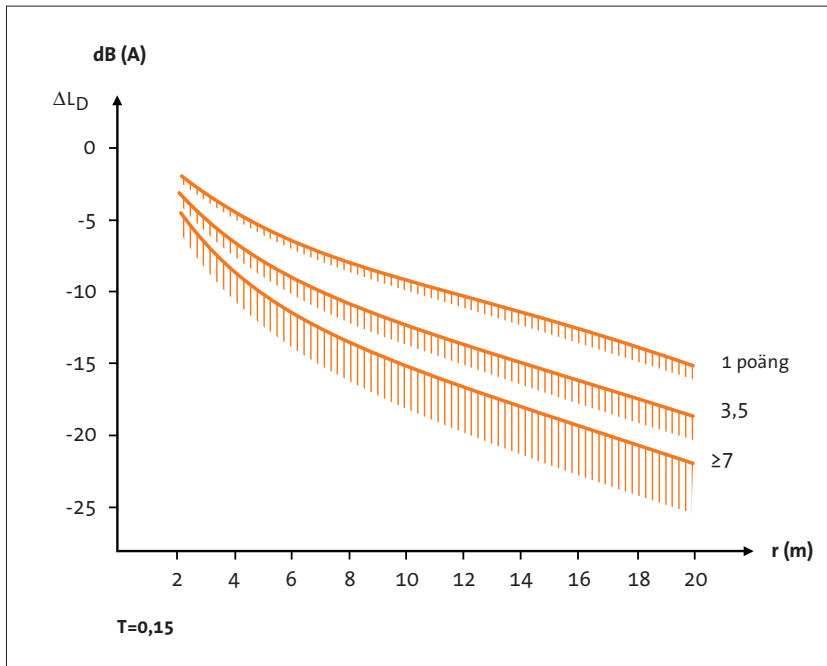


Diagram 21. $MT = 0,15$

Om det finns flera bullerkällor i lokalen beräknas varje källa för sig och därefter summeras värdena, exempelvis med hjälp av formel 12 på sidan 38 eller diagram 5 på sidan 39.

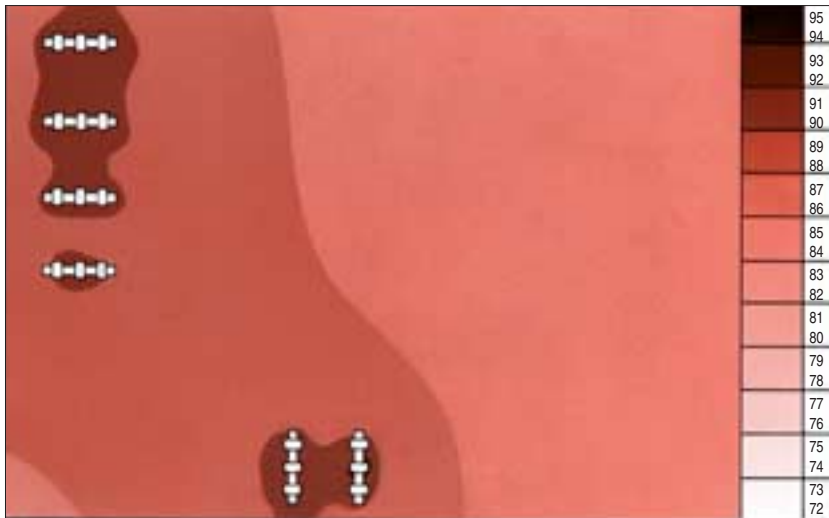
För beräkning av ljudnivån i många punkter och från flera maskiner finns numera dataprogram där ljudnivån i en lokal kan redovisas som bullerzongränser eller färgfält. Programmen kan även beräkna inverkan av bland annat skärmar i en lokal. Figur 22 visar ett exempel på en sådan beräkning med sex bullerkällor i lokalen. Lokalen är densamma som för ovanstående beräkning med absorptionsfaktorn 0,2 för tak och väggar.

Om absorptionsfaktorn i taket ökas till 0,9 och skärmar placeras runt de bullrande maskinerna erhålls det resultat som redovisas i figur 23. Med absorberande tak och skärmar kan man alltså få betydande minskning av ljudnivån i stora delar av lokalen.

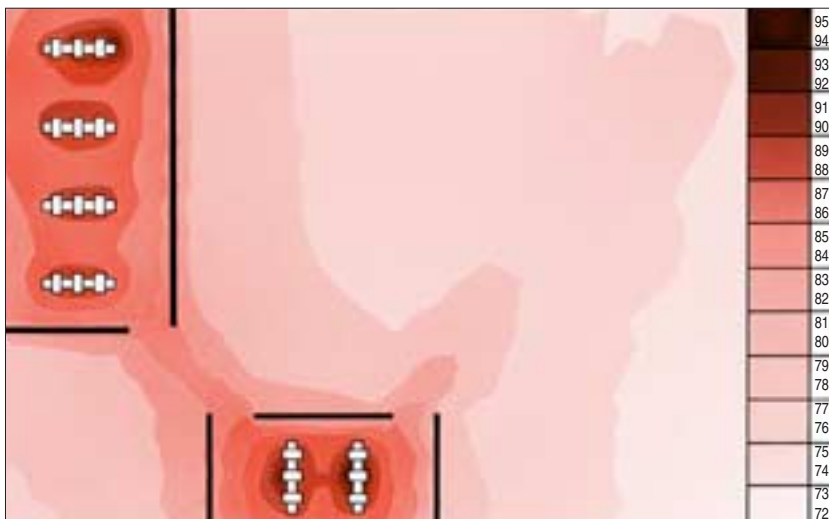
Om taket har låg absorption ger skärmarna betydligt sämre effekt vilket framgår av figur 24.

Taluppfattbarhet

Möjligheten att uppfatta tal beror på bakgrundsbullernivån och efterklangstiden i rummet. Ju lägre bakgrundsbullernivå och efterklangstid, desto större möjlighet att uppfatta tal. Att taluppfattbarheten är god innebär också att man inte behöver höja rösten för att göra sig hörd.



Figur 22. Beräknade ljudnivåer i produktionslokal (50 · 35 · 4 meter) med absorptionsfaktorn 0,2 hos tak och väggar



Figur 23. Beräknade ljudnivåer för produktionslokal (50 · 35 · 4 meter) med absorptionsfaktorn 0,2 hos väggar och 0,9 hos tak samt skärmar runt de bullriga maskinerna



Figur 24. Beräknade ljudnivåer för produktionslokal (50 · 35 · 4 meter) med absorptionsfaktorn 0,2 hos tak och väggar samt skärmar runt de bullrande maskinerna

Ljudabsorberande konstruktioner

Det finns olika typer av ljudabsorberande konstruktioner. De vanligaste och mest effektiva absorbenterna är porösa absorbenter, exempelvis mineralull och textilier. Membranabsorbenter kan vara effektiva lågfrekvensabsorbenter och hålrumabsorbenter kan fås att fungera vid en viss bestämd frekvens. Vidare måste man ta hänsyn till så kallade naturliga absorbenter (möbler, utsmyckningar i form av textilier, gardiner och så vidare), dit även luftabsorptionen kan räknas.

Porösa absorbenter

Porösa material med öppna porer orsakar energiförluster hos en inträngande ljudvåg genom att rörelseenergi övergår till friktionsvärme. Sådana material är mineralull, vissa skumplaster (ej styroplast av typen frigolit som har slutna porer) och textilier. De material som framför allt används för att åstadkomma ljudabsorberande beklädnader är mineralull. En tumregel är att stenull och glasull har likvärdig absorption då stenullen har två gånger glasullens volymvikt.

Följande faktorer påverkar effekten av en mineralullsabsorbent:

Volymvikt (Diagram 22)

Man ser att ljudabsorptionen ökar med volymvikten till en viss gräns, varefter lågfrekvensabsorptionen ökar men högfrekvensabsorptionen minskar. Över en viss gräns minskar absorptionen vid alla frekvenser.

Tjocklek (Diagram 23)

Maximal absorption erhålls för frekvenser vars våglängd är mindre än fyra gånger tjockleken hos materialet, vid dikt montage.

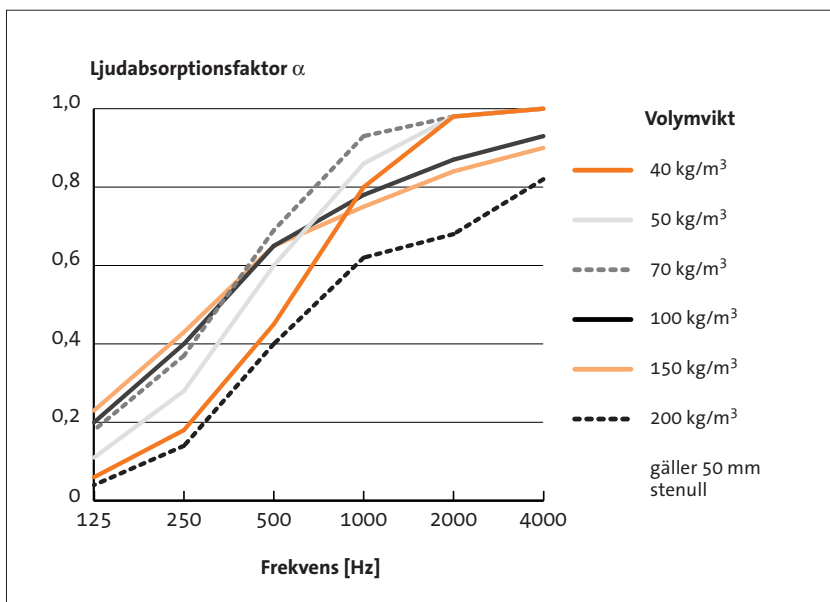


Diagram 22. Påverkan av volymvikt

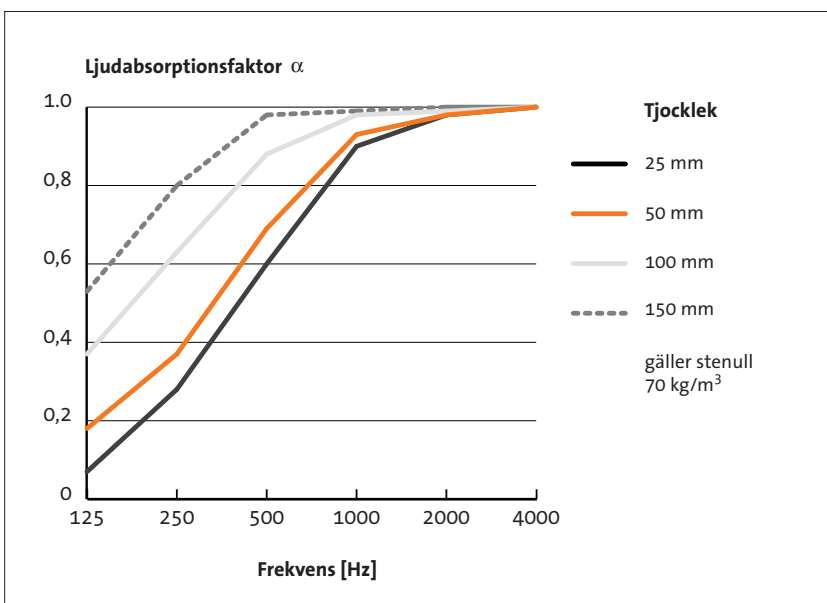


Diagram 23. Tjockleken inverkan

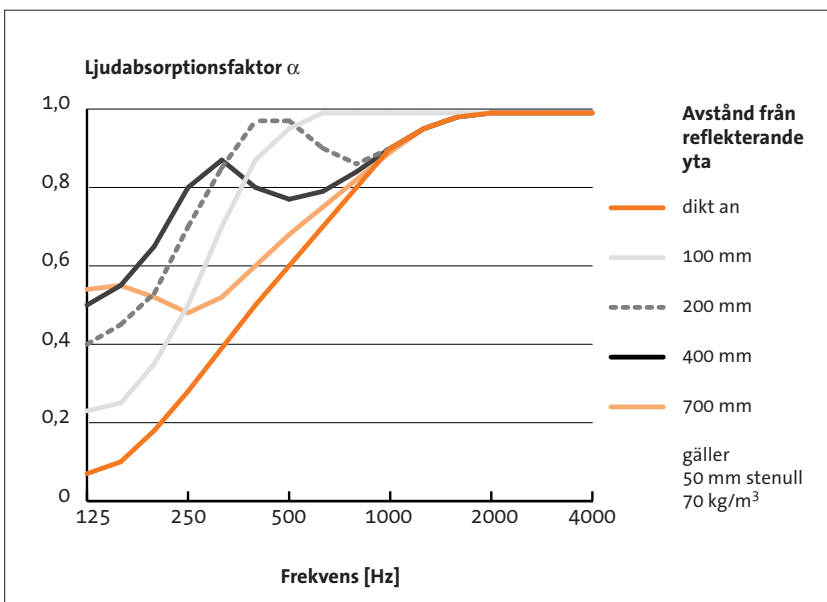


Diagram 24. Avstånd från reflekterande yta

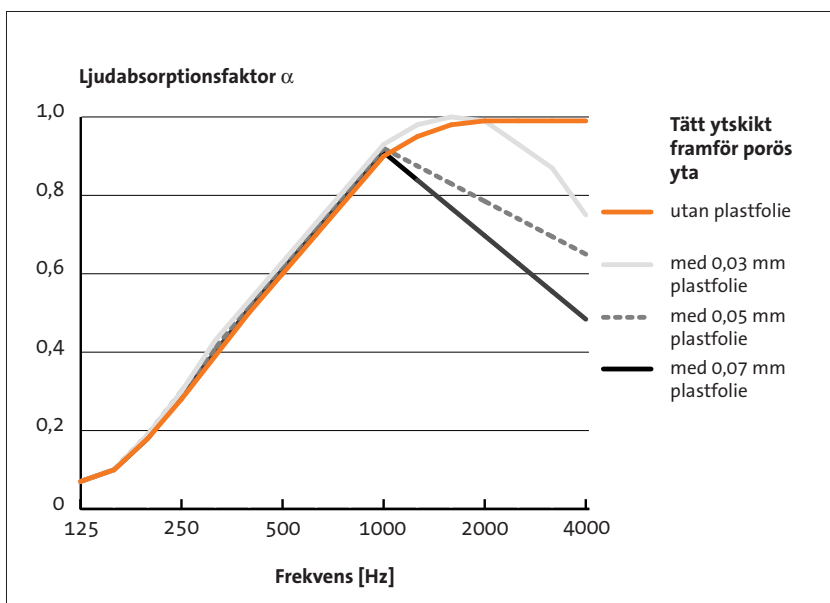


Diagram 25. Tätt ytskikt framför porös yta

Avstånd från reflekterande yta (Diagram 24)

Ljud med frekvenser vars 1/4-våglängd motsvarar avståndet till den reflekterande ytan, absorberas effektivt (1/4-våglängdsprincipen). Detta betyder dessutom att en 5 centimeter tjock mineralullsskiva med 5 centimeter luftspalt får i det närmaste samma absorptionsegenskaper som en 10 centimeters mineralullsskiva monterad dikt mot en reflekterande yta.

För mineralullsskivor med relativt hög volymvikt kan man dessutom vid lägre frekvenser få ett ljudabsorptionsbidrag på grund av membranabsorption (se figur 25a sidan 108).

Tätt ytskikt framför porös yta (Diagram 25)

Ett tätt ytskikt (plastfilm eller färg) hindrar ljudet från att tränga in i materialets öppna porer. Beroende på skiktets tjocklek (vikt) försämras högfrequensabsorptionen mer eller mindre vid högre frekvenser. Ju tyngre skikt, desto större påverkan. Mycket lätta och tunna plastfolier eller speciella målarfärger kan användas utan att absorptionen försämras nämnvärt.

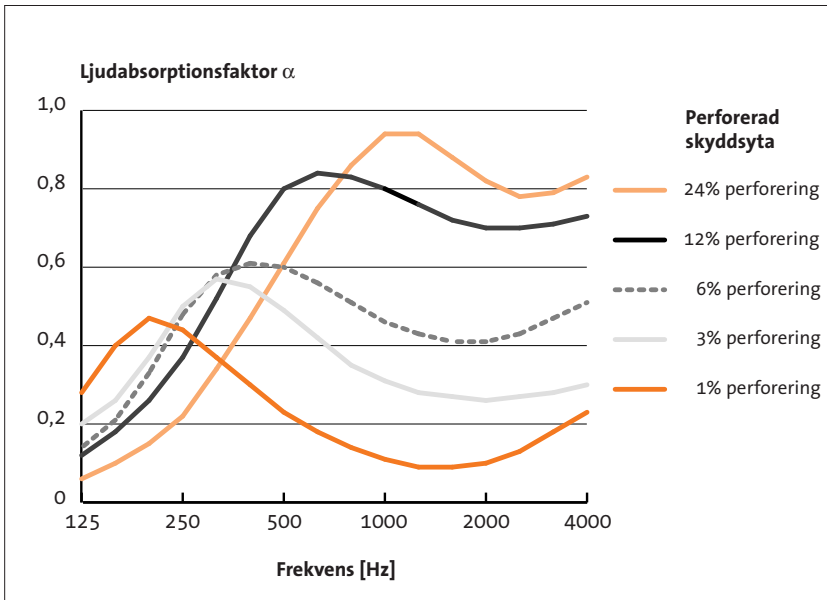


Diagram 26. Perforerad skyddsytas

Perforerad skyddsytas. (Diagram 26)

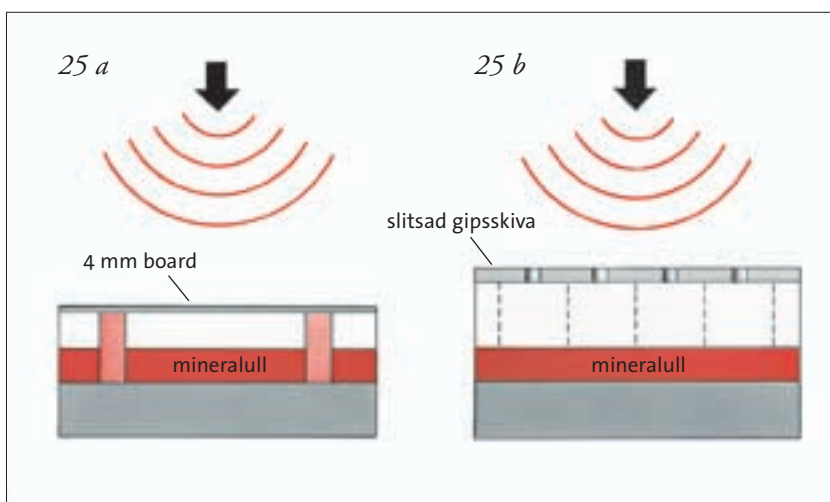
I många fall måste en absorberande skyddas mot åverkan, till exempel med en tunn perforerad stål- eller aluminiumplåt. En sådan yta måste ha minst 25–30 procent öppen yta för att inte absorptionen ska försämrats betydligt. Nödvändig perforeringsgrad beror i någon mån på grovleken hos perforeringsmönstret. Med 1 mm stora hål räcker exempelvis cirka 15 procent för att absorptionen vid frekvensen 3 000 Hz inte ska påverkas.

Bafflar

Ett bättre utnyttjande av absorberarna kan man få om de hängs upp vertikalt i taket (hängande bafflar). I relation till heltäckande absorberande undertak kan man ofta få 10–20 procent större absorption med bafflar.

Resonansabsorbenter

Det finns två typer av resonansabsorbenter. Den ena är *membranabsorbenter* (figur 25a) som kan bestå av stora skivor med ett luftmellanrum mellan skivan och bakomliggande vägg eller tak. Den andra är *hålrumabsorbenter* (figur 25b), eller så kallade Helmholtzresonatorer som kan bildas av till exempel kantställt håltegel med hålrum bakom. Båda typerna fungerar genom resonansverkan. Båda typerna kan göras verksamma vid medelhöga eller låga frekvenser men måste dimensioneras till resonans i önskat frekvensområde. Membran- och hålrumabsorbenter kan ofta vara ett bra komplement till porösa absorbenter, vilka är mest effektiva vid högre frekvenser.



Figur 25a+b. Bilden till vänster visar en membranabsorbent bestående av en tunn skiva som svänger på den luftfjäder som bildas mellan membran och bakomvarande vägg.

Till höger visas en hålrumabsorbent av kopplade så kallade Helmholtzresonatorer vilka bildas av hålen i en perforerad täckplatta och luftvolymen bakom hålen. (Volymen är ej uppdelad i fack men fungerar akustiskt som om så vore fallet.)

Referenser

- Ljunggren, Sten: *Kompendium i byggnadsakustik* Stockholm 1992.
- Lindblad, Sven: *Akustik för Väg och vatten*. Tekniska högskolan i Lund 1989.
- Kihlman, Tor: *TA I (Teknisk akustik del1)*. Chalmers i Göteborg 1988.
- Bernström, Richard: *Akustikhandbok för arkitekter och byggnadsprojektörer*. Stockholm 1987.
- Karlén, Lennart: *Akustik i rum och byggnader*. Stockholm 1983.
- Gadefelt, Göran: *Teknisk akustik*. Stockholm 1984.
- Brandt, Ove: *Akustisk planering*. Stockholm 1958.
- Alm, Staffan; Ingemansson, Stig: *Maskinbuller*. 1963.
- Andersson, Johnny: *Akustik & Buller*. AB Svensk Byggtjänst 1998.
- Varning för buller*: J&W Akustikbyrå.
- Lindqvist, Elisabeth: *Sound propagation in large factories*. CTC rapport F81-02.
- Lindqvist, Elisabeth: *Design curves for estimating sound pressure levels in factories*. BFR rapport D15:1982.

Ljudisolering

Ljudisolering berör ljudförhållandena *i två utrymmen* och beskriver hur väl de avskiljande konstruktionerna hindrar ljud i det ena utrymmet (sändarrummet) att överföras till det andra (mottagarrummet). Ofta används begreppet ljudisolering som ett samlingsbegrepp för luftljudsisolering och stom- eller strukturljudsisolering (se kapitlet ”Vibrationsisolering”, sidan 127 samt avsnittet ”Stom- och stegljudsisolering”, sidan 114). Ofta är luftljudsisoleringen viktigast, men vid exempelvis utrustning som avger kraftiga vibrationer kan även stomljudsisoleringen behöva beaktas. I detta avsnitt behandlas primärt luftljudsisoleringen.

I byggnadssammanhang utgörs skiljekonstruktionen mellan två rum, av väggar eller bjälklag. Vanligen är det dessa konstruktioner som bestämmer *luftljudsisoleringen*, men figur 26 visar att luftljudet även transporteras via flankerande ytor/konstruktioner vilket medför minskad isolering mellan rummen. I praktiken kan detta medföra en avsevärd försämring.

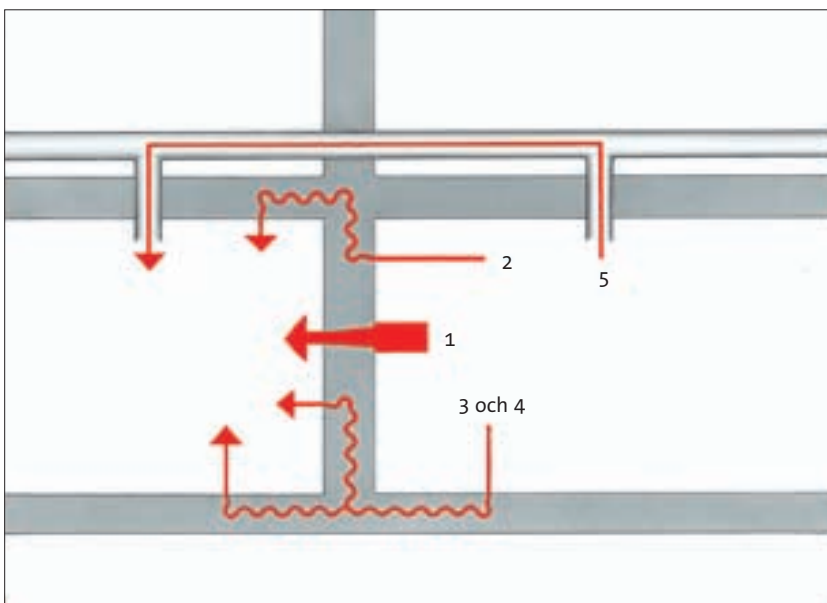
En metod att begränsa ljudavgivningen från en maskin till en lokal, är att bygga in maskinen i en huv bestående av väggar och tak. Omvänt använder man sig av en hyttkonstruktion för att skydda en person från bullret i en verkstadslokal. I dessa fall är det skiljekonstruktionen med fyra delväggar, tillsammans med taket i huven/hytten, som avgör luftljudsisoleringens storlek.

Luftljudsisolering

Den luftljudsisolering förmågan hos väggar/bjälklag kan bestämmas både i ett laboratorium och i en färdig byggnad. I ett laboratorium är betingelserna sådana att ljudtransmission endast sker direkt genom provobjektet (motsvarar för luftljudsisolering normalt pil nr 1 i figur 26). Därför skiljer man alltid på värden uppmätta i laboratorium och värden uppmätta i byggnad. För exempelvis en vägg, blir värdet alltid lägre (schablonmässigt 5 dB) i en byggnad eftersom ljudet också "smiter" andra vägar (pilarna 2, 3, 4 och 5 i figur 26).

Med ljudisolerande väggar eller bjälklag kan buller mellan olika utrymmen begränsas i lämplig omfattning. En skiljekonstruktions ljudisolerande förmåga bestäms av flera olika parametrar. För massiva enkelväggar och bjälklag förbättras ljudisoleringen när ytvikten (det vill säga vikten per kvadratmeter skiljeyta) ökar. En hög ytvikt gör skiljekonstruktionen trög och den sätts inte så lätt i svängning av infallande ljudvågor, vilket är en förutsättning för att ljud ska avges från skiljeytans andra sida.

Genom att bygga upp en skiljekonstruktion med två skikt separerade med en luftspalt, kan man åstadkomma en god ljudisolering med relativt lätta konstruktioner. För väggar används ofta begreppet "dubbelväggar".



Figur 26. Ljudöverföringsvägar i en byggnad

Olika väggtyper beskrivs mer i avsnittet "Ljudisolerande konstruktioner", sidan 115.

Den i laboratorium uppmätta luftljudsisoleringen benämns reduktionstal R och är beroende av ljudets frekvens. Enligt internationell standard bestäms R för 16 frekvensband (1/3-dels oktavband). Definitionsmässigt är reduktionstalet:

$$R = 10 \lg \left(\frac{W_i}{W_t} \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 36]}$$

där

R = väggens reduktionstal vid en speciell frekvens, i dB

W_i = infallande ljudeffekt mot skiljekonstruktionen

W_t = utgående (transmitterad) ljudeffekt

Vid *praktisk mätning* av reduktionstalet (luftljudsisoleringen för en skiljekonstruktion mellan två rum) gäller:

$$R = L_s - L_m - 10 \lg \frac{A}{S} \quad [dB] \quad \text{[Formel 37]}$$

där

R = skiljekonstruktionens reduktionstal dB vid given frekvens

L_s = ljudtrycksnivån i sändarrummet, dB re 20 μ Pa

L_m = ljudtrycksnivån i mottagarummet, dB re 20 μ Pa

A = mottagarummets ljudabsorption, m² Sabine

S = skiljekonstruktionens area, m²

Obs! Skiljekonstruktionens area (S) ingår i detta samband vilket måste beaktas vid valet av exempelvis väggar för en kontorshytt i en produktionshall. Hyttens samtliga väggar blir då exponerade för bullret i hallen, det vill säga skiljearean (S) blir stor. Det innebär att man för en given väggkonstruktion med reduktionstalet R , normalt får en påtagligt mindre ljudnivåskillnad $L_s - L_m$ än förväntat.

För att slippa redovisa reduktionstalet vid flera olika frekvenser är det normalt att man väger samman alla reduktionstal i de 16 frekvensbanden,

enligt en särskild internationell standard, SS-EN ISO 717 (1996), till ett enda värde som kallas vägt reduktionstal R_w ($w = \text{weighted}$). Med detta mått beaktas frekvensområdet 100 – 3 150 Hz, vilket är godtagbart i många fall. Om man avser reduktionstalet i en färdig byggnad ska detta markeras med ett primtecken', R'_w .

I många fall krävs dock att också låga frekvenser (i detta fall under 100 Hz) beaktas när man formulerar ett ljudkrav. R_w eller R'_w kan då kompletteras med en så kallad anpassningsterm, C_{x-x} , där $x-x$ beskriver vilket frekvensområde som avses. C_{x-x} definieras också i SS-EN ISO 717/1 (1996), och kan anges för flera olika frekvensområden. Av erfarenhet vet vi att det finns behov av god lågfrekvent ljudisolering i bostäder och där kraftiga, lågfrekventa bullerkällor finns – exempelvis produktionsmaskiner, fläktar, kompressorer samt även trafikbuller.

Högt reduktionstal R'_w ger god luftljudsisolering

Tabell 6 ger en uppfattning om vad olika reduktionstal kan innebära i praktiken:

R'_w (dB)	normalt tal, kontorsmaskiner	högröstat samtal	skrik	högtalarljud måttlig nivå	kraftigt lågfrekvent ljud
35					
44					
48					
52*					
60					

* Lämpligt ur sekretesssynpunkt
röd – hörs, **rosa** – kan höras, **vit** – hörs inte

Tabell 6. Översiktlig beskrivning av vad olika reduktionstal kan innebära i praktiken

Stomljudsisolering – Stegljudsisolering

Vid mekanisk påverkan av byggnadsstommen uppstår vibrationer – stomljud – i vägg- och bjälklagsytor. Dessa avger då hörbart luftljud till omgivande rum.

Stomljud uppstår således om maskiner (produktionsmaskiner, pumpar, fläktar etc.) och utrustning (hissar, elkontakter etc.) är stumt anslutna till byggnadens bärande delar respektive om man släpar en stol över eller tappar ett föremål i golvet. Ljud som uppstår i angränsande rum när man går med hårda skor över golvet benämns *stegljud*.

Stomljud från maskiner och liknande reduceras genom att de monterar med vibrationsisolering, så att överföringen av vibrationer till stommen minskas. Se även kapitlet ”Vibrationsisolering”, sidan 127.

För att bestämma en skiljekonstruktions förmåga att överföra stegljud används en internationellt standardiserad maskin, en så kallad hammarapparat. Apparaten som placeras på golvet har fem elmotordrivna stålhammare vilka slår mot golvytan.

Samtidigt mäter man ljudtrycksnivån i angränsande rum, i samma frekvensband som för luftljudsisolering. Ljudtrycksnivåerna korrigeras med hänsyn till mottagarrummets ljudabsorptionsyta och det slutliga resultatet brukar kallas för stegljudsnivåer och de betecknas L_n (dB). Dessa värden utgör ett mått på konstruktionens stegljudsisolering.

Också för stegljudsisoleringen kan dessa nivåer vägas samman till ett enda värde, vägd stegljudsnivå $L_{n,w}$ eller, i en färdig byggnad, $L'_{n,w}$. Detta sker enligt SS-EN ISO 717/2. För lätta stomsystem är det i vissa fall viktigt att särskilt beakta frekvenser under 100 Hz. $L_{n,w}$ eller $L'_{n,w}$ kan då kompletteras med anpassningstermen, $C_{I,x-x}$, där I betyder ”Impact” (stöt) och x-x beskriver vilket frekvensområde som avses. $C_{I,x-x}$ definieras i SS-EN ISO 717/2 och kan anges för två olika frekvensområden.

Höga stegljudsnivåer, $L'_{n,w}$ ger dålig stegljudsisolering

Tabell 7 ger en indikation på vilka krav olika stegljudsnivåer kan uppfylla. En mer detaljerad sammanställning för olika verksamheter finns i standarden SS 02 52 68. Se även avsnittet ”Bjälklag” sidan 120.

L'n,w (dB)	Värdering	Exempel på konstruktion
≥ 70	Begränsad störningsfrihet	320 mm betong utan golvbeläggning alt. 200 mm betong med golvbeläggning med ca 7 dB stegljudsförbättring, ΔL_w
65–69	Acceptabel miljö	300 mm betong med golvbel. med ca 3–7 dB stegljudsförbättring alt. 200 mm betong med golvbel. med ca 8–12 dB stegljudsförbättring
60–64	God ljudmiljö	300 mm betong med golvbel. med ca 8–12 dB stegljudsförbättring alt. 200 mm betong med golvbel. med ca 13–17 dB stegljudsförbättring
≤ 59	Höga krav på störningsfrihet	Specialfall

Anm. Observera att värderingen gäller i kontorslokaler. I andra byggnader kan värderingen se annorlunda ut. Se även avsnittet om bjälklag sidan 120.

Tabell 7. Indikation på vad olika stegljudsnivåer kan innebära i praktiken

Ljudisolerande konstruktioner

I de tre följande avsnitten ges exempel på olika typer av skiljekonstruktioner. I samband med varje exempel anges vilket reduktionstal (alternativt vilken stegljudsnivå) man kan förvänta sig i byggnad för aktuell konstruktion samt ungefärligt värde på – för ändamålet lämplig – anpassningsterm. Anpassningstermernas värden anges inte exakt eftersom dessa kan variera inom ett visst område för respektive konstruktionstyp. I de fall där osäkerhet föreligger är anpassningstermernas värden angivna på säkra sidan eller inte angivna alls.

Massiv enkelvägg

Denna väggtyp karakteriseras av att väggens massa och styvhet har stort inflytande på väggens ljudisoleringsförmåga. Typiska material är betong och murade tegelväggar av lättklinker eller betonghålblock. När ljudvågor träffar en tung vägg har dessa svårt att sätta väggen i svängning. Eftersom det är väggens svängning som orsakar ljudutstrålning på mottagarsidan innebär detta att en tung vägg reducerar ljudalstringen på mottagarsidan effektivt. En tung vägg isolerar också bra mot låga frekvenser (lägre än cirka 200 Hz), där maskinbuller ofta är kraftigt. Anpassningstermen, $C_{50-3150}$, ger i dessa fall en indikation om liten korrektion på grund av låga frekvenser medan den generellt ger mer utslag på lätta väggtyper.

I tabellerna 8–9 ges exempel på några typiska väggkonstruktioner med reduktionstal och anpassningstermer.

Genom att klä en vägg med så kallad strålningsminskande beklädnad kan ljudisoleringen förbättras avsevärt. Genom att klä en sida, av exempelvis väggtyp 5 (se tabell 9), med 13 mm gips på 50 mm regler och fylla luftspalten med mineralull kan reduktionstalet förbättras med upp till cirka 10 dB. Observera dock att detta gäller endast reduktionstalet, R'_w . Om anpassningstermen inkluderas blir skillnaden troligen något mindre eftersom isoleringen vid låga frekvenser inte påverkas så mycket av en sådan åtgärd. Med reglarna fristående från väggen och större luftspalt, kan man dock åstadkomma en god lågfrekvent förbättring.

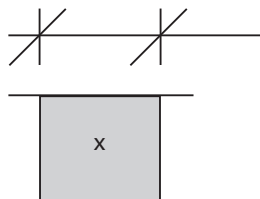
Flerskiktsvägg

Den vanligaste typen av flerskiktsvägg i byggnader är dubbelväggen som består av exempelvis gipsskivor monterade på båda sidor av en, antingen gemensam eller för vardera sidan separat, regelstomme.

För denna väggtyp är det normalt luftspalten mellan de två ytskikten (och regelstommen) som överför ljudet. Som allmän regel gäller att god luftljudsisolering uppnås då skiktens ytvikt är stor och då avståndet mellan skikten (luftspalten) är stort. Blir luftspalten för liten kommer väggen alltmer att likna enkelväggen, vilket medför att reduktionstalet i stort kommer att bestämmas av väggens ringa ytvikt. I tabell 10 ges några exempel på typiska flerskiktskonstruktioners reduktionstal och anpassningstermer.

Betongväggar nummer 1 till 3

x = väggens tjocklek enligt tabell 8

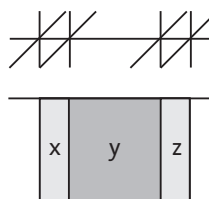


Vägg nummer	Tjocklekar (mm)	R'_w (dB)	$C_{50-3\ 150}$ (dB)	$C_{50-3\ 150}$ (dB) medel	$R'_w + C_{50-3\ 150}$ (dB) medel
1	$x = 120$	48	} $-1 \Rightarrow -3$	- 2	46
2	$x = 150$	53			51
3	$x = 200$	55			53

Tabell 8. Reduktionstal och anpassningstermer för olika betongväggar /betongbjälklag

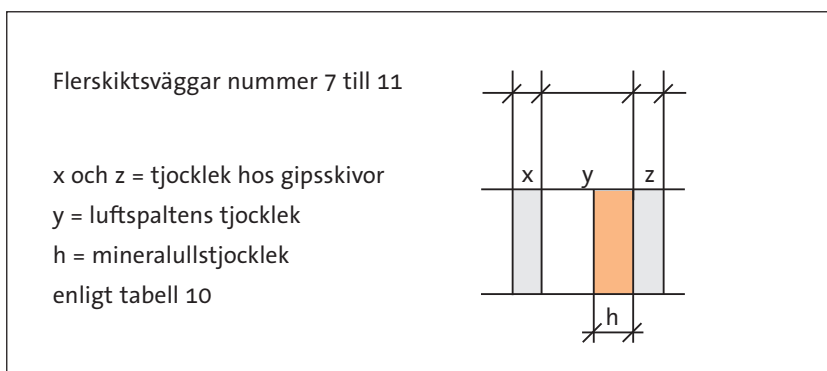
Tegelväggar nummer 4 till 6

x och z = putsens tjocklek
 y = tjocklek hos teglet
 enligt tabell 9



Vägg nr.	Tjocklekar (mm)	R'_w (dB)	$C_{50-3\ 150}$ (dB) medel	$C_{50-3\ 150}$ (dB) medel	$R'_w + C_{50-3\ 150}$ (dB)
4	$x = 0; y = 120; z = 0$	44	} $-1 \Rightarrow -4$	- 2	42
5	$x = 15; y = 120; z = 15$	48			46
6	$x = 15; y = 240; z = 15$	52			50

Tabell 9. Reduktionstal och anpassningstermer för olika tegelväggar med eller utan puts

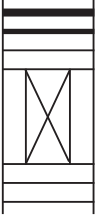


Vägg nr.	Tjocklekar (mm)	R'_w (dB)	$C_{50-3150}$ (dB)	$C_{50-3150}$ (dB) medel	R'_{w+} $C_{50-3150}$ (dB) medel
Med gemensam regelstomme					
7	x = 26; y = 70; z = 26; h = 30	44	-2 ⇒ -7	- 4	40
8	x = 26; y = 95; z = 26; h = 30	48	-2 ⇒ -7	- 4	44
Med saxad regelstomme					
9	x = 26; y = 120/95; z = 26; h = 120	52	-2 ⇒ -10	- 5	47
10	x = 26; y = 150; z = 26; h = 140	56	-2 ⇒ -10	- 5	51
11	x = 39; y = 150; z = 39; h = 140	60	-2 ⇒ -10	- 5	55
Dubbel tegelvägg med 15 mm puts på båda sidor					
12	x = 120; y = 100; z = 120; h = 100	64 ⇒ 68			≤60

Anm. Angivna reduktionstal kan påverkas av avståndet mellan regler. Ovanstående värden gäller för regelavstånd 60 cm.

Tabell 10. Reduktionstal och ungefärligt värde på anpassningstermer för olika flerskiktsväggar

Tabell 11. Vägd stegljudsnivå och ungefärligt värde på anpassningstermen $C_{1,50-2500}$ för 150 mm betong och ett träbjälklag

Typ	Tjocklekar (mm)	$L'_{n,w}$ (dB)	$C_{1,50-2500}$ (dB) Anm. 1	$C_{1,50-2500}$ (dB) medel	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ (dB) medel
Massivt betongbjälklag med matta klass 7. Klarar "normalt" kontorskrav se "Ljudguiden" referenser sidan 146	150	63		-3	60
Träbjälklag som klarar "normalt" kontorskrav (vinylgolv + 9 mm träfiberskiva + airolen + 13 mm gips + 22 mm spån + 200 x 48 regel + glespanel + 2 x 13 gips		63		3	66

Anm. 1

Värdet för betongbjälklag kan variera mellan cirka -11 och 0 och för träbjälklag mellan cirka -2 och 13. Värdet beror bland annat på val av golvbeläggning och när man byter golvbeläggning ändrar man normalt också $L'_{n,w}$ - värdet. Värdet påverkas vidare av spännvidder, knutpunkter etc. vilket måste beaktas i varje enskilt fall. På grund av detta komplicerade mönster anges i tabellen endast ett ungefärligt medelvärde. Detta medelvärde kan inte användas som projekteringsanvisning men det ger en indikation om att det lönar sig att välja en tung konstruktion när man är ute efter god ljudisolering vid låga frekvenser.

Bjälklag

Bjälklag kan bestå av flera olika material. I en industrilokal är det vanligt med ett bottenbjälklag i betong (platta på mark) medan en eventuell kontorsdel ofta byggs upp av en träkonstruktion i en eller flera våningar. I kontorsdelar är det också vanligt med prefabricerade betongelement. Om ett kontor exempelvis är placerat under ett entresolbjälklag på vilket någon typ av verksamhet förekommer (lager och liknande), kan det vara viktigt att särskilt studera bjälklagets stegljudsisolerande förmåga. Detta kan naturligtvis gälla även om kontoret ligger på övervåningen och våningen under består av speciellt ljudkänsliga lokaler (mättrum/konferensrum).

Om man väljer en träkonstruktion blir stegljudsisoleringen mot låga frekvenser sämre, än om man väljer en tung konstruktion som betong. Samtidigt kan hårda golvbeläggningar ge betydande störningar vid höga frekvenser, i synnerhet för betongbjälklag. Vägledning för val av golvbeläggningar och övergolv ges i Svensk Standard SS 02 52 67 (utgåva 2). Ett sätt att minimera risken för störning, både vid låga och höga frekvenser, är att redovisa en konstruktion som uppfyller stegljudskravet både med och utan anpassningstermen $C_{1,50-2\ 500}$.

Inverkan av öppningar och springor, dörrar och glaspartier

Om en skiljekonstruktion har en öppning betyder detta att reduktionstalet för springans eller öppningens area är noll. En liten öppning kan därför ha förödande effekt på skiljeväggens totala reduktionstal. Beräkning av en öppnings inverkan kan göras enligt följande formel:

$$R_{res} = R_0 - 10 \lg \left[1 + \frac{S_1}{S_0} \left(10^{\frac{R_0 - R_1}{10}} - 1 \right) \right] \quad [dB] \quad \text{[Formel 38]}$$

där

R_{res} = väggens resulterande reduktionstal (vägg inklusive öppning)

R_0 = reduktionstal enbart för väggkonstruktionen

R_1 = öppningens reduktionstal

S_0 = total väggarea (vägg inklusive öppning)

S_1 = öppningens area

EXEMPEL: Tänk dig en vägg med $R_0 = 40$ dB och $R_1 = 0$ dB (det vill säga ett hål). Om halva väggen öppnas, $S_1/S_0 = 0,5$, blir resulterande reduktionstal endast 3 dB. För andra förhållanden mellan S_1/S_0 , se tabell 12.

S_1/S_0	R_{res} (dB)
0,5	3
0,1	10
0,01	20
0,001	30

Tabell 12. Resulterande reduktionstal hos en vägg med $R_0=40$ dB för olika förhållanden, S_1/S_0 . Som framgår av tabellen har även små öppningar mycket stor inverkan. Öppningens form har också betydelse och dessutom är minskningen av reduktionstalet i viss mån beroende av frekvensen. Speciellt vid mycket smala, långsträckta springor.

Om öppningen är försedd med en dörr eller fönster beräknas resulterande reduktionstal genom att sätta R_1 lika med reduktionstalet för dörren eller fönstret. Ljudisolerande dörrar och fönster kan väljas i olika ljudisoleringsklasser som anges i bilaga A i SS 02 52 67 (2).

Om en vägg består av många delar med delytorna S_i och med motsvarande reduktionstal R_i beräknas det resulterande reduktionstalet enligt följande:

$$R_{res} = 10 \lg \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{R_i}{10}}}{\sum_{i=1}^n S_i} \right) \quad [dB] \quad \text{[Formel 39]}$$

För väggar med fönster som inte är klassade som exempelvis glaspartier, kan man räkna med följande reduktionstal. Förutsättningen är att glaspartiet utgör högst 50 procent av hela skiljeytan och att "väggdelens" reduktionstal är 5 dB högre än det värde som anges i tabell 13.

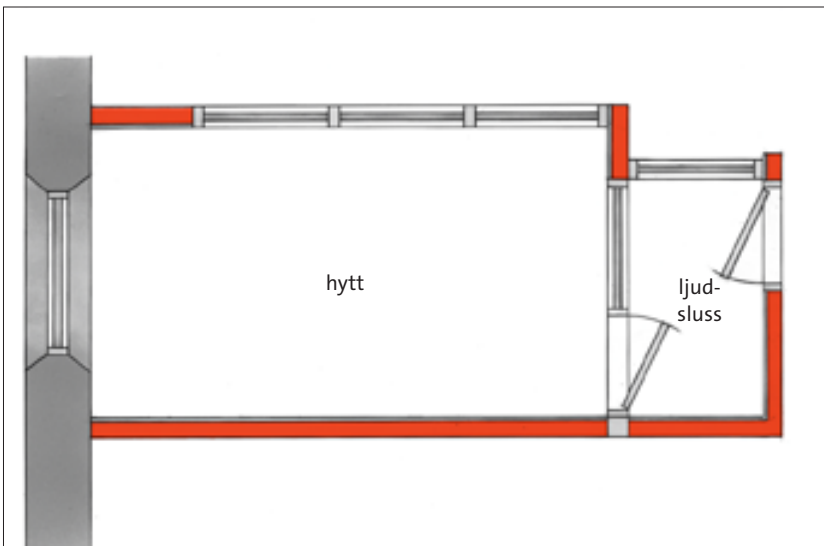
Man kan kombinera glastjocklekar, luftspalt och karmabsorbent på andra sätt och ändå få de värden som anges i tabell 13. Man kan också åstadkomma ännu bättre ljudisolering, men då är det lämpligt att specialstudera varje fall för sig.

Vägg med:	Ger ljudisolering (dB)
4 mm enkelglas	$R'_w = 30$
3 mm glas, 50 mm luft, 3 mm glas	$R'_w = 30-35$
4 mm glas, 100 mm luft, 4 mm glas	$R'_w = 40$
4 mm glas, 120 mm luft, 4 mm glas; karmabsorbent min. 50 mm tjock	$R'_w = 44$
8 mm glas, 160 mm luft, 4 mm glas	$R'_w = 44$

Tabell 13. Ungefärliga reduktionstal för vägg med fönsterpartier

Utformning av ljudisolerade kontorsenheter, hytter och kontrollrum

I många industrilokaler är det både vanligt och praktiskt att ha kontorsenheter, hytter eller kontrollrum som direkt gränsar till produktionslokalen. För att inte störas av buller från produktionslokalen kan man behöva ljudisolera dessa. För att uppnå en god ljudisolering är det viktigt att beakta det som beskrivs i följande avsnitt:



Figur 27. Planskiss över hytt med ljudsluss

Dörrpassage

Tidigare avsnitt har visat att öppningar, eller delar av vägg med väsentligt sämre reduktionstal, avsevärt försämrar ljudisoleringen hos den färdiga väggkonstruktionen. Om det ställs höga krav på ljudisolering och det samtidigt finns behov av att ofta använda dörrpassagen, så bör man montera en ljudsluss med dubbla dörrar eller en bra dörr med lång ljudabsorberande sluss. Annars är risken mycket stor för att bli störd varje gång dörren öppnas. Dörrar väljs utifrån det totalkrav som gäller för skiljekonstruktionen. Taket i slussen bör förses med absorbenter. För enklare fall och när en sluss av olika skäl inte är önskvärd, bör en – med hänsyn till resulterande reduktionstal – lämplig ljudklassad dörr användas. Dörren placeras då på den sida av hytten eller kontorsenheten där det bullrar minst.

Fönster

Om det ställs höga krav på ljudisolering bör stora fönsterytor undvikas. För mindre ytor kan ljudklassade fönster väljas utifrån kravet på väggen. För större fönsterytor kan man välja glaspartier utifrån data i tabell 13.

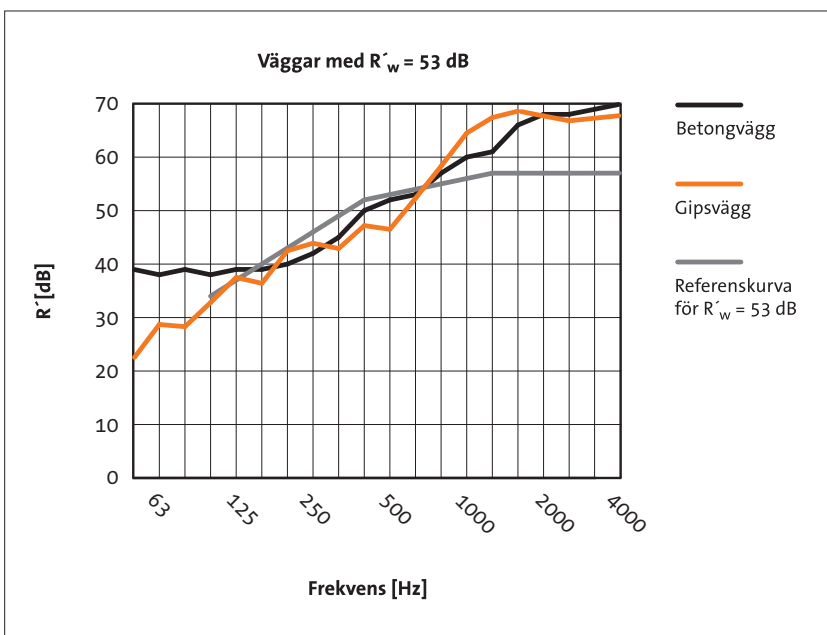


Diagram 27. Reduktionstal som funktion av frekvensen för en betongvägg och en gipsvägg med samma vägda reduktionstal R'_w

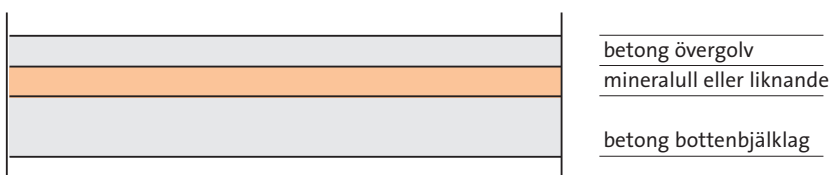
Väggar och bjälklag

God luftljudsisolering kan man uppnå med såväl tung skiljekonstruktion som lätt. Vid särskilda krav på god ljudisolering vid låga frekvenser bör man välja en tung skiljekonstruktion. Reduktionstalen kan variera mycket inom ett och samma frekvensband beroende på konstruktionstyp trots att det vägda reduktionstalet, R'_w , är detsamma. Detta åskådliggörs i diagram 27. I diagrammet är R'_w -värdet 53 dB för båda väggtyper.

Ofta måste man också ta hänsyn till praktiska synpunkter såsom krav på mekanisk hållfasthet hos konstruktionen. Dessutom bör hela den invändiga takytan i hytten kompletteras med ett absorberande undertak. Man bör välja absorbenter med goda absorptionsegenskaper, klass A eller B (SS-EN ISO 11654). För vissa verksamheter måste man också tänka på att välja absorbenter som är lätta att hålla rena.

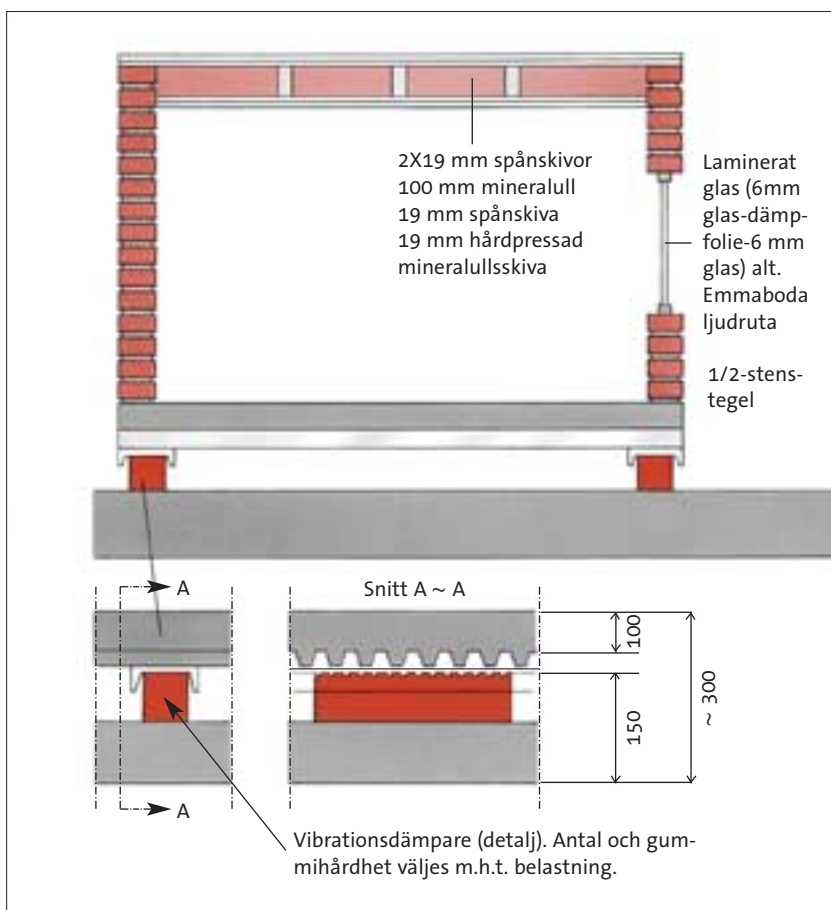
Stomljudsisolering

För att undvika stomljudsutbredning mellan industridel och kontorsdel, del av kontor eller manöverhytt etc. kan dessa delar behöva ”frikopplas” från stommen genom exempelvis en flytande golvkonstruktion och med hjälp av elastiska fogar, se även avsnittet ”Stomljudsminskande insatser i byggnad”, sidan 131. En typisk flytande golv konstruktion kan vara uppbyggd enligt principskissen nedan:



Princip för flytande golvkonstruktion

Övergolv och mineralullsskikt dimensioneras med hänsyn till dominerande störfrekvenser. För många maskinuppställningar och vid lågfrekventa vibrationer är dock denna lösning tveksam. Det är då ofta nödvändigt att de vibrerande maskinerna/vibrationskällorna förses med korrekt dimensionerade vibrationsisolatorer som eventuellt kan behöva placeras på särskilda fundament, se även kapitlet ”Vibrationsisolering”, sidan 127.



Figur 28. Figuren visar ett utförande för ett kontrollrum eller liknande som kan ge 35–40 dB(A) minskning av ljudnivån. Lägg märke till att det normalt också fordras vibrationsisolering och att resultatet blir bättre med ljudabsorberande tak.

Ventilation

Ventilationsöppningar och kanaler bör normalt förses med ljudfällor.

Övrigt

Öppningar för exempelvis rör och kablar bör utformas som absorberklädda kanaler med minsta möjliga öppna area. Kanallängden bör vara minst 30 centimeter. Efter installation tätas öppningarna så väl som möjligt med mineralull.

Det finns monteringsfärdiga element och hytter att tillgå på marknaden. Vid jämförelse mellan olika typer av hytter bör man vara uppmärksam på att isoleringsdata inte alltid är jämförbara på grund av olika mät- och redovisningsmetoder. Omsorgsfull montering är viktig för de monteringsfärdiga elementen, främst därför att det lätt uppstår springor i elementskarvarna.

Figur 28 visar ett exempel på kontrollrum där man ställer höga krav på ljudisolering.

Referenser

- Rasmussen, B.: *Implementation of the new ISO 717 building acoustic rating methods in Europe*. NKB Committee and Work Reports 1996:04 E.
- Åkerlöf, L.: *Ljudguiden*.
- SS-EN ISO 717-1 *Akustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar, del 1: Luftljudisolering*.
- SS-EN ISO 717-2 *Akustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar, del 2: Stegljudsnivå*.
- SS-EN ISO 11654 *Akustik – Byggakustik – Ljudabsorbenter – Värdering av mätresultat och klassindelning*.
- SS 02 52 67 (utgåva 2) *Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder (bilaga A – Vägledning för val av ljudisolerade dörrar och fönster)*.
- SS 02 52 68 *Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell*.
- SS-EN 685 *Golvmaterial – Klassificering*.

Vibrationsisolering

Allmänt

Maskiner och andra vibrerande föremål som används i byggnader, fordon och farkoster som innehåller ljudkänsliga utrymmen måste oftast vibrationsisoleras. Vibrationsisoleringen består av fjädrande element – vibrationsisolatorer – som sätts in mellan vibrationskällan och underlaget. Fjädrarna kan bära upp föremålet, samtidigt som de påtvingade dynamiska vibrationskrafterna som överförs till underlaget reduceras betydligt.

Ett svängande system kan vid lägre frekvenser betraktas som bestående av den vibrerande källans stela massa, isolatorernas (fjädrarnas) styvhet och underlagets dynamiska styvhet. Detta system måste ha egenfrekvenser som är väsentligt lägre än frekvenserna hos de starka vibrationskomponenter som alstras av maskinen och som ska hindras att passera genom isolatorerna. En effektiv vibrationsisolering förutsätter således låga egenfrekvenser hos den elastiska uppställningen av vibrationskällan. Egenfrekvenserna får inte bli alltför låga, eftersom detta kan resultera i en alldeles för mjuk uppställning och stora förskjutningar hos maskinen för pålagda statiska krafter, drivmoment eller stötlaster. Även vibrationsamplituderna hos maskinen blir normalt större än för ett styvare montage, hur mycket avgörs av storleken hos maskinens massa.

Generellt gäller att en stel massa uppställd på fjädrar har sex så kallade rörelsefrihetsgrader och därmed också sex egenfrekvenser. Dessa motsvarar rätlinjig rörelse respektive rotationer i tre mot varandra vinkelräta riktningar (x , y , z , φ_x , φ_y , φ_z). Om man känner maskinens massa och tröghetsmomentkomponenter och isolatorernas styvheter i tre riktningar samt placeringen av dem, kan man beräkna de sex egenfrekvenserna för uppställningen med vedertagna metoder. I många fall är det helt nödvändigt att

man beräknar och dimensionerar samtliga sex egenfrekvenser för att undvika att få ytterligare lågfrekventa vibrationsproblem med isoleringen. Detta gäller speciellt vid isolering mot lätta och relativt vecka underlagsstrukturer, till exempel arbetsfordon, fartyg och dylikt.

Om frekvensen hos någon av källans väsentliga vibrationskomponenter skulle sammanfalla med en av uppställningens egenfrekvenser, får vi resonanssvängningar, vilka ofta medför mycket kraftiga vibrationer hos både källan och underlaget.

Om några av källans störfrekvenser är lägre än uppställningsfrekvenserna, överförs dessa vibrationer genom fjädersystemet med en viss förstärkning. För de av källans väsentliga vibrationsfrekvenser som är betydligt högre än uppställningens egenfrekvenser får vi en önskvärd, ofta starkt reducerad överföring av vibrationerna. Det innebär att ju lägre egenfrekvenser, desto bättre vibrationsisolering.

För en del fall kan det vara tillräckligt att, mycket förenklat, betrakta en rörelseriktning i taget för att bestämma några av uppställningens egenfrekvenser. För bjälklag och betongplattor i byggnader är dessutom den vertikala rörelseriktningen oftast mest avgörande för de vibrationer som överförs. Egenfrekvenser för vertikal rätlinjig rörelse behöver då bestämmas.

För maskiner som överför ett drivmoment till omgivningen behöver även egenfrekvensen för rotation kring motsvarande horisontella axel bestämmas. Den vertikala egenfrekvensen kan uppskattas direkt från den hoptryckning av isolatorerna som maskinens tyngd åstadkommer. (Se diagram 29 sidan 139.) För maskinuppställningens vertikala egenfrekvens gäller då följande samband:

$$f_{vert} \approx \frac{15}{\sqrt{d_s}} \quad [Hz] \quad \text{(montage på stålfjädrar)} \quad \text{[Formel 40a]}$$

$$f_{vert} \approx \frac{20}{\sqrt{d_g}} \quad [Hz] \quad \text{(montage på gummifjädrar)} \quad \text{[Formel 40b]}$$

där

f_{vert} = maskinuppställningens vertikala egenfrekvens i Hz.

d_s respektive d_g = medelvärde för den statiska hoptryckningen i mm hos stål- respektive gummiisolatorer (se figur 29).

Skillnaden i den vertikala egenfrekvensen mellan montage på stålfjädrar respektive gummifjädrar beror på att gummifjäders dynamiska styvhet normalt är cirka 1,5–2 gånger större än dess statiska styvhet, medan stålfjäders dynamiska och statiska styvhet är lika. Som vi ser av diagram 28, måste egenfrekvensen hos den förenklade isoleringsmodellen (en riktning) vara minst 2–3 gånger lägre än vibrationskällans frekvens för att isoleringen – det vill säga reduktionen av kraftamplituden mot underlaget – ska bli stor nog. Vidare framgår att isoleringen vid högre frekvenser kan bli något bättre om isolatorer med låg dämpning (små förluster) används, men samtidigt blir förstärkningen då betydligt större för frekvenser omkring egenfrekvensen och därunder.

Gummifjädrar har avsevärt högre inre förluster än stålfjädrar. De senare måste därför oftast kompletteras med yttre dämpningsordningar (stötdämpare) om det finns risk för att systemet sätts i svängning vid egenfrekvensen, till exempel vid start och stopp av maskinen.

Denna mycket förenklade uppskattning av vertikal resonansfrekvens gäller endast om maskinfundamentet är tungt i förhållande till vibrationskällan och har tillräcklig styvhet. Om dessa villkor inte uppfylls blir egenfrekvensen högre och vibrationsisoleringen sämre. Vid vibrationsisolering av maskiner och apparater i fordon och farkoster samt på lätta och veka bjälklag, plattformar eller maskinstativ kan underlaget dessutom ha egenfrekvenser inom samma frekvensområde vilket i betydande grad



*Figur 29.
Maskin uppställd på
fjädrande element*

*d = ihoptryckning
av isolatorer*

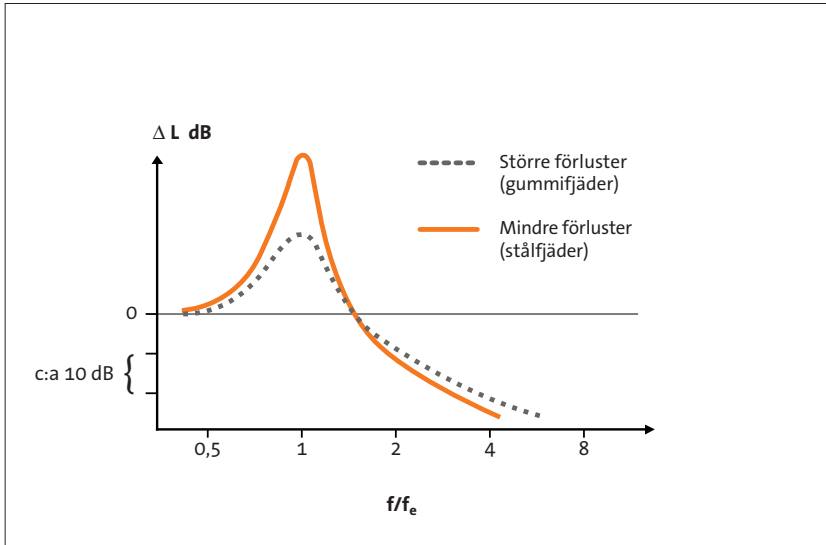
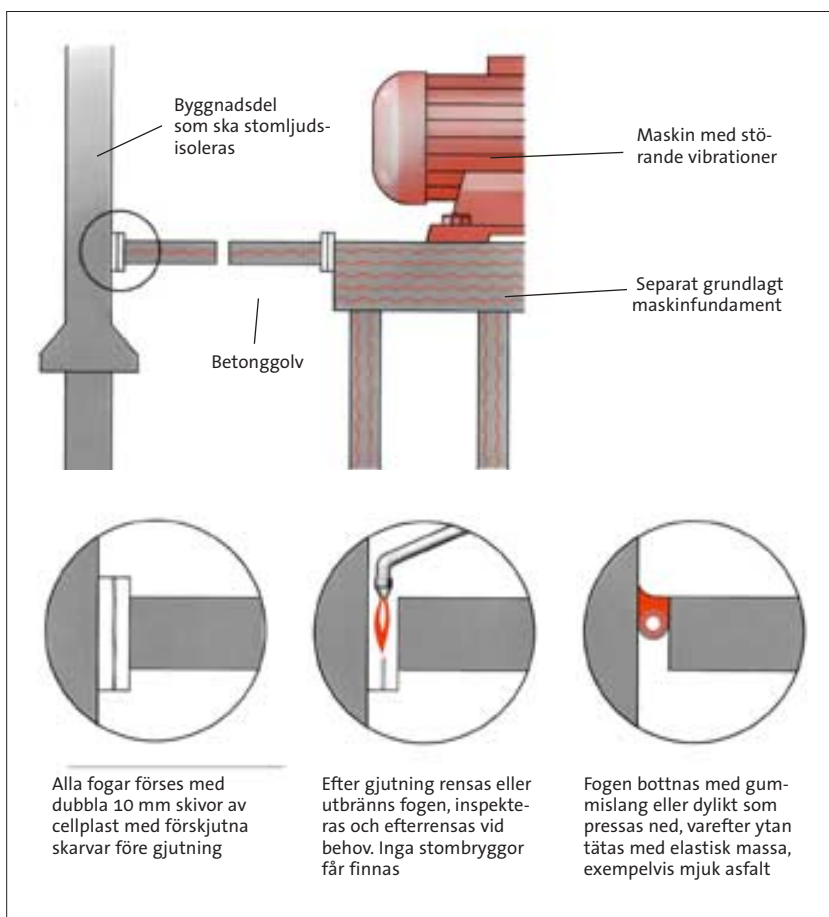


Diagram 28. Förstärkning respektive reduktion av kraftamplituden mot underlaget vid uppställning på elastiskt montage som funktion av relativa frekvensen (förhållandet mellan maskinens driftsfrekvens och uppställningens egenfrekvens)

komplikerar beräkningar och dimensionering av uppställningen. I det senare fallet kommer dessutom effektiviteten (insättningsdämpningen) hos isoleringen vid frekvenser över uppställningseigenfrekvenserna att påverkas starkt av vilket dynamiskt ”motstånd” (mekanisk impedans) den underliggande strukturen har vid infästningspunkterna. I samtliga dessa fall bör dimensionering av vibrationsisoleringen överlåtas till experter.

En annan metod för att hindra spridning av vibrationer till byggnad innebär att maskinen placeras på ett separat fundament utan förbindelse med omgivande golvbjälklag. Fundamentet kan exempelvis gjutas direkt mot underliggande berggrund. Metoden används företrädesvis för stora och mycket tunga maskiner.



Figur 30. Exempel på stomavskiljning i golv på mark

Stomljudsminskande insatser i byggnad

Spridningen av vibrationer och stomljud från en maskin kan reduceras genom att skapa elastiska fogar i byggnaden eller genom att välja en vibrationsisolerad uppställning av maskinen.

Avskiljningsfogen kan antingen placeras i anslutning till ett separat fundament för maskinen eller runt en separat platta på mark på vilken en störkänslig maskin, våg, fotoutrustning etc. monteras. Avskiljningen måste göras med stor omsorg så att man inte får några stombryggor. Ett exempel på utförande visas i figur 30.

Vid maskiner som alstrar stora stötkrafter, till exempel excenterpressar, blir belastningarna stora på fundament och vibrationsisolering. Väljer man att ställa upp maskinen direkt på ett separat fundament kan man tvingas göra fundamentet mycket stort och tungt för att begränsa vibrationernas storlek.

En annan (mer komplicerad) metod är att välja ett lättare, men styvt fundament på vilket ett extra mellanfundament ställs upp – med en relativt mjuk vibrationsisolering. På detta mellanfundament placeras maskinen på styva vibrationsisolatorer. Mellanfundamentet får ganska stora rörelser som kan begränsas genom att öka dess massa. Fördelen med metoden är att man kan begränsa vibrationsstörningarna till mark och omgivande byggnad. Dimensioneringen av en sådan uppställning behandlas inte i den här boken.

Vibrationsisolering av maskiner

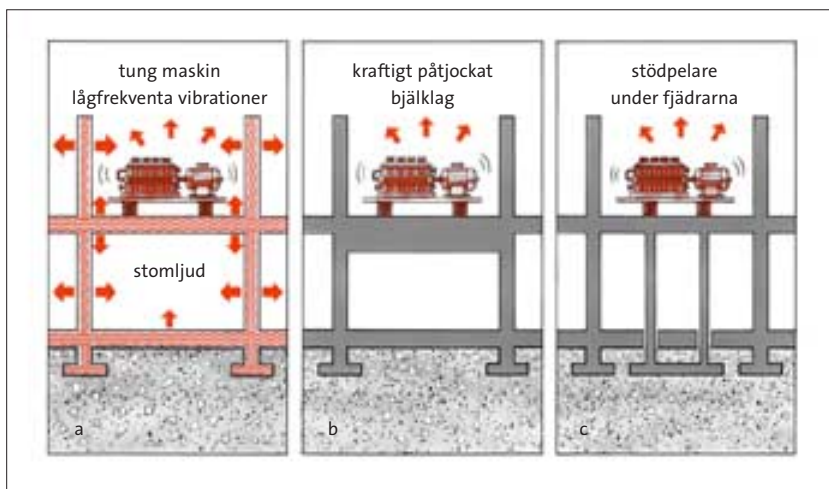
Krav på underlaget

Ett mycket vanligt sätt att minska störande vibrationer och stomljud i byggnader, fordon eller farkoster är att montera maskinerna på vibrationsisolatorer, se även avsnittet ”Vibrationsisolering – allmänt” sidan 127.

En problemfri och effektiv vibrationsisolering kräver emellertid att man tar hänsyn till en hel rad faktorer. En korrekt dimensionering av en vibrationsisolerad uppställning kan ofta vara mycket komplicerad och det räcker sällan med de enkla regler som återges här. Detta gäller speciellt för maskiner vilka är känsliga för de rörelser som uppkommer vid elastisk uppställning, till exempel svarvar, pressar och precisionsslipmaskiner. Det gäller också för maskiner som monteras på relativt vecka och lätta underlag, i fordon, fartyg med mera.

Vibrationsisolering kräver att underlaget har ett högt dynamiskt ”motstånd”, så kallad mekanisk impedans. Ett underlag som är styvt och har en stor massa har normalt en hög mekanisk impedans. Stora, tunga maskiner ställer större krav på denna mekaniska impedans, det vill säga styvhet och massa ska vara större hos underlaget. Figurerna 31 och 32

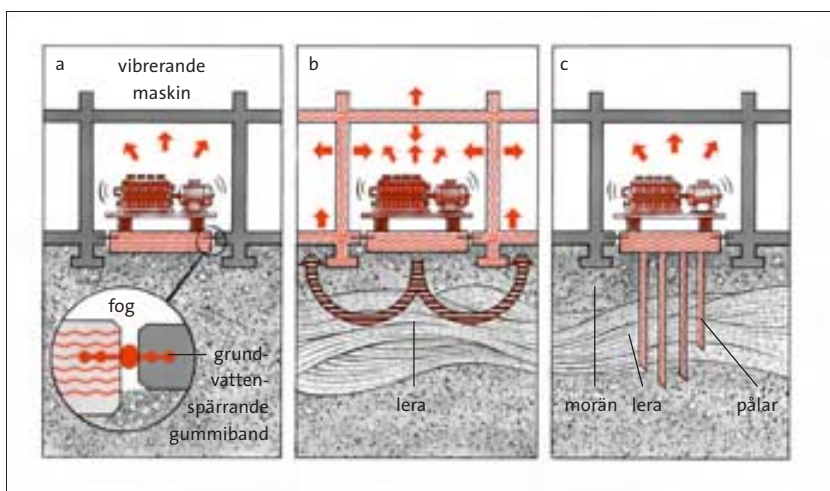
illustrerar principer för maskinuppställning i en byggnad. Av illustrationerna framgår att tunga maskiner överhuvudtaget inte bör placeras på lätta bjälklag om det går att undvika.



Figur 31a, b, c. Uppställning av maskiner på bjälklag i byggnadskropp

Ett bjälklag har ett stort antal resonanser vilket kan göra det svårt att få en effektiv vibrationsisolering, eftersom den mekaniska impedansen (motståndet) vanligen är betydligt mindre vid resonansfrekvenserna än i övrigt. Tung maskiner med lågfrekventa vibrationer kan därför inte vibrationsisoleras mot normala bjälklag utan särskilda åtgärder. Bjälklaget kan till exempel styvas upp genom att göras extra tjockt eller också kan stödpelare eller balkar sättas in.

De bästa möjligheterna att vibrationsisolera mycket tunga maskiner med lågfrekventa vibrationer har man på ett betongbjälklag eller betongblock som vilar direkt på marken. Ännu effektivare spärr mot stomljudspridning får man om bottenplattan/blocket avskiljs från övriga byggnader med en fog. Om marken har lerlager kan det dessutom bli nödvändigt att påla under plattan/blocket.



Figur 32a, b, c. Uppställning av maskiner på betongbjälklag direkt på marken

Dynamiskt motstånd, mekanisk impedans

Varje konstruktion gör ett visst motstånd mot att vibrera när den utsätts för dynamiska krafter. Detta dynamiska motstånd, eller så kallade mekaniska impedans, beror på konstruktionens massa, styvhet, inre dämpning och är dessutom en funktion av frekvensen. Impedansen är dessutom olika för olika angreppspunkter och riktningar hos den pålagda vibrationskraften.

Förenklat kan man säga att den mekaniska impedansen i huvudsak motsvarar den effektivt medsvängande massan vid den aktuella frekvensen. Storleken hos den medsvängande massan motsvarar den del av konstruktionen som svänger i fas med angreppspunkten. Vid resonansfrekvenserna för konstruktionen blir emellertid den mekaniska impedansen betydligt mindre och bestäms av hur stor den inre dämpningen hos konstruktionen är.

Detta gäller både underlaget och maskinstrukturen, som inte heller kan betraktas som stela kroppar vid lite högre frekvenser.

Ett avskilt, kompakt och styvt fundament (se figur 33) uppträder oftast som en stel massa i det frekvensområde där vibrationsisoleringens uppställningsresonanser hamnar. Denna kan sägas ha ett ”massmotstånd” och inverkan av denna på den vertikala resonansfrekvensen är enkel att

uppskatta. Om fundamentets massa inte är betydligt (mer än 3 gånger) större än maskinens massa, behöver man korrigera formlerna för uppskattning av den vertikala resonansfrekvensen enligt följande:

$$f_{vert} \approx \frac{15}{\sqrt{d_s}} \left(1 + \frac{m_m}{m_d}\right)^{0,5} \quad [Hz] \quad \text{(montage på stålfjädrar)} \quad \text{[Formel 41a]}$$

$$f_{vert} \approx \frac{20}{\sqrt{d_g}} \left(1 + \frac{m_m}{m_d}\right)^{0,5} \quad [Hz] \quad \text{(montage på gummifjädrar)} \quad \text{[Formel 41b]}$$

där

f_{vert} = maskinens vertikala egenfrekvens i Hz.

m_m = maskinens massa i kg.

m_d = underlagets dynamiska massa i kg.

d_s respektive d_g = medelvärdet för den statiska hoptryckningen i mm hos stål- respektive gummiisolatorer.

Bjälklag och andra underlag som är upplagda på stöd karakteriseras vid låga frekvenser (under $0,5f_i$ där f_i är första egenfrekvensen) av sin statiska styvhet vid uppställningspunkterna. Om denna styvhet inte är väsentligt större än isolatorernas (mer än 5–7 gånger) behöver resonansfrekvensberäkningen även korrigeras för den totala nedfjädringen i detta fall. Vi får då:

$$f_{vert} \approx \frac{15}{\sqrt{d'_s}} = \frac{15}{\sqrt{d_i + d_u}} \quad [Hz] \quad \text{(montage på stålfjädrar)} \quad \text{[Formel 42a]}$$

$$f_{vert} \approx \frac{20}{\sqrt{d'_g}} = \frac{20}{\sqrt{d_i + 1,15d_u}} \quad [Hz] \quad \text{(montage på gummifjädrar)} \quad \text{[Formel 42b]}$$

där

d_i = medelvärdet för den statiska hoptryckningen hos isolatorerna i mm.

d_u = de statiska nedböjningen hos underlaget i mm.

Betonggolvet's tjocklek, mm	Dynamisk massa, kg
100	1 000
200	4 000
300	9 000
400	16 000
500	25 000

Tabell 14. Uppskattning av dynamisk massa hos betonggolv vid uppställningsfrekvensen 30 Hz

För mycket stora spännvidder hos bjälklag (till exempel på pelare) får man istället en mekanisk impedans som ungefär närmar sig den oändliga plattans. Man kan då uppskatta storleksordningen på den dynamiska massan, se exemplet i tabell 14. Men det går i detta fall inte att generellt förutsäga åt vilket håll denna påverkar uppställningens egenfrekvenser. Om vi säkerställer att egenfrekvenserna hamnar under bjälklagets första resonansfrekvens, gäller det som sagts i förra stycket (en extra nedfjädring). Om inte, gäller väsentligen vad som sägs i nästa stycke. Man bör under alla omständigheter välja ett så stort dynamiskt motstånd som möjligt.

EXEMPEL: Vid uppställning på ett stort betonggolv (till exempel pelardäck) får man ungefär följande dynamiska massa vid uppställningsfrekvensen 30 Hz (motsvarar 1 800 r/min):

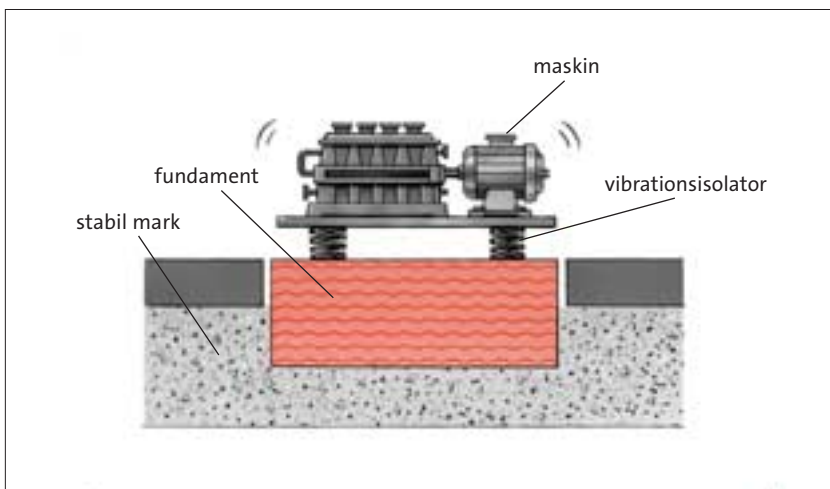
Den dynamiska massan är dessutom omvänt proportionell mot frekvensen. Detta kan sammanfattas i uttrycket:

$$m_d \approx \frac{3 \cdot 10^6 h^2}{f} \quad \text{[Formel 43]}$$

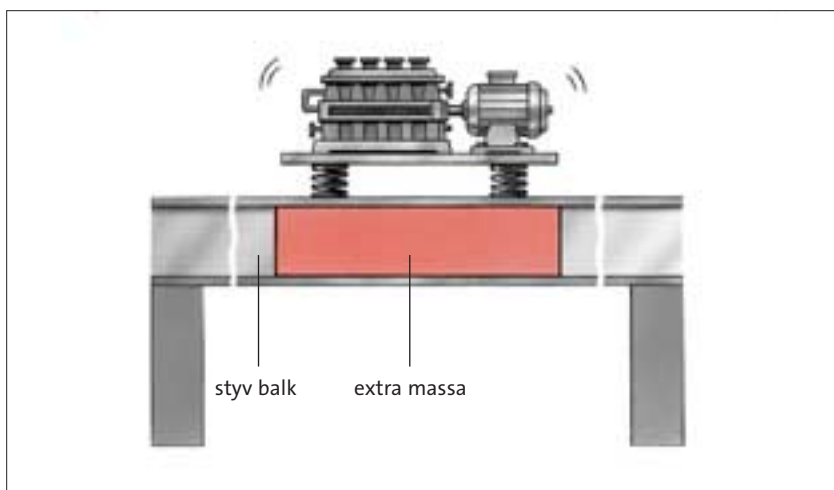
där

h är betongplattans tjocklek i meter.

f är frekvensen i Hz.



Figur 33. Maskin vibrationsisolerad mot ett avskilt, styvt och massivt fundament



Figur 34. Vibrationsisolering mot styvt underlag. En extra massbelastning ger bättre vibrationsisolering.

För stora bjälklag eller andra relativt veka underlag eller för maskiner som inte är kompakta kan vi erhålla egenfrekvenser hos dessa i samma område som de tilltänkta egenfrekvenserna för vibrationsisoleringen. Om man inte kan säkerställa att den dynamiska styvheten hos dessa konstruktioner fortfarande är väsentligt större än isolatorernas styvhet i detta frekvens-

område, behöver man eventuellt tillgripa relativt avancerade och detaljerade strukturdynamiska beräkningar för att säkerställa att vibrationsisoleringen fungerar som det är tänkt.

Om underlaget har för liten dynamisk medsvängande massa kan man öka denna genom att styva upp underlaget (se figur 34). Underlaget ska vara väsentligt styvare än vibrationsisolatorerna. Ofta kan det vara lämpligt att även tillföra extra massa till underlaget. Om man tillför massa utan att samtidigt förstyva underlaget, sänker man underlagets egenfrekvens. Det är då viktigt att åtminstone överslagsmässigt uppskatta att man inte kommer att hamna med en underlagsresonans vid maskinens väsentligaste störfrekvenser.

Observera att det dynamiska motståndet även normalt är mycket större över eller i omedelbar närhet av ett stöd än mitt ute på en platta, till exempel ett bjälklag. Dessa stöd kan utgöras av pelare eller bärande väggar. Även punkter över kraftiga förstyrningsbalkar visar upp ett betydligt större motstånd.

Den mekaniska impedansen vid infästningspunkterna hos både maskin och underlag, har stor inverkan på den effektiva isolering (insättningsdämpning) som man kan uppnå vid lite högre frekvenser. Tvärt emot vad som oftast anges i isolatorkataloger, begränsar resonanser hos underlag med mera den maximala isoleringsgraden i praktiken till cirka 80–95 procent (insättningsdämpning mellan 15–25 dB). För riktigt veka underlag kan den maximala isoleringsgraden ibland bli ännu lägre. Såväl dimensionering som god konstruktion kräver då speciell expertkunskap.

Vibrationsisoleringens praktiska utförande

Vid uppställning av en maskin på vibrationsisolatorer får man ett system med sex egenfrekvenser (resonansfrekvenser) för uppställningen, se avsnitt ”Vibrationsisolering – allmänt”, sidan 127. Man får en resonansfrekvens i vertikalled som bestäms av maskinens massa och isolatorernas (fjädrarnas) sammanlagda styvhet i vertikal riktning. Mjukare isolatorer ger lägre resonansfrekvenser, större förskjutningar för pålagda statiska krafter och moment och oftast även större rörelser i maskinuppställningen. Den vertikala resonansfrekvensen kan bestämmas utifrån hur mycket isolatorerna trycks ihop när de belastas med maskinens vikt (statisk nedfjädring) enligt diagram 29, om man antar att underlaget inte ger efter (oändlig mekanisk impedans). Se även avsnittet ”Vibrationsisolering – allmänt”, sidan 127.

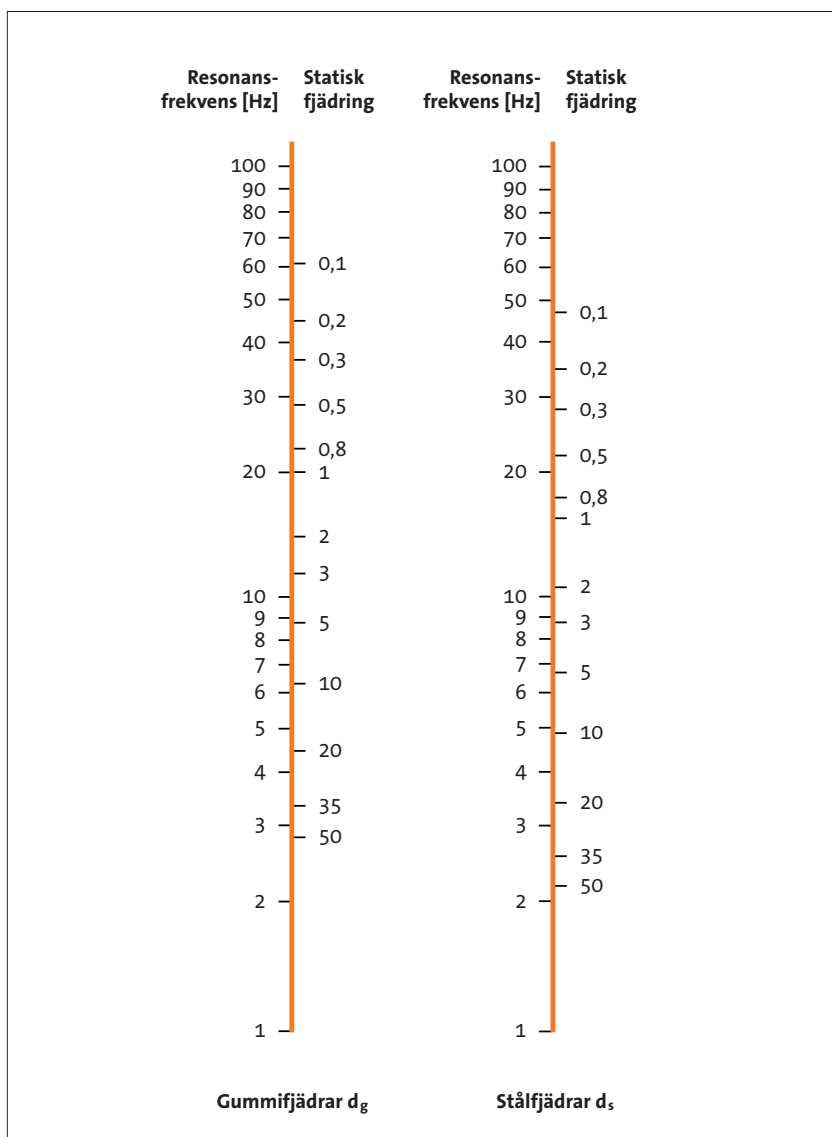
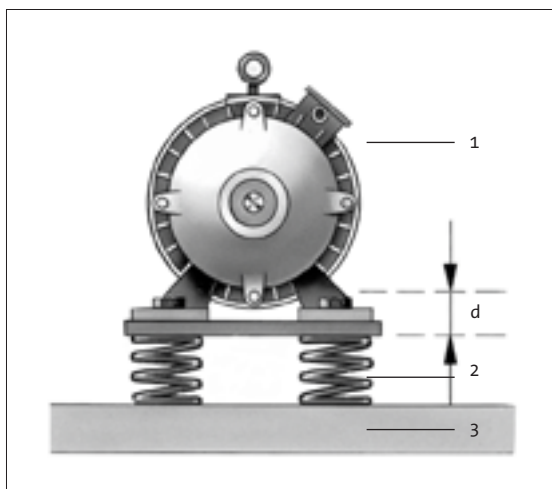


Diagram 29. Samband mellan resonansfrekvens och nedfjädring

Sambandet gäller vid vibrationsisolering av maskin uppställd på ett mycket styvt och tungt underlag. För stålfjädrar till höger och isolatorer av gummi till vänster.

För gummifjädrar skiljer sig den dynamiska styvheten något från den statiska. Tillverkare och säljare brukar ange den dynamiska styvheten i sina kataloger.



1. Maskin
 2. Isolatorer
 3. Underlag med begränsad impedans (normalfall)
- $d =$ statisk nedfjädring

Figur 35. Elastisk uppställning av maskin mot underlag med begränsad impedans

Om en maskin ställs upp på isolatorer mot ett underlag med begränsad impedans (massa och styvhet), vilket är det normala fallet (se figur 35), kan man överslagsmässigt uppskatta den vertikala resonansfrekvensen ur nedfjädringen. Beräkningen görs på den statiska lasten (maskinvikten) samt underlagets mekaniska impedans mot vibrationer – till exempel karakteriserad av dess dynamiska, frekvensberoende massa. För exempelvis ett mycket styvt, separat fundament är den dynamiska massan lika med den fysiska massan vid låga frekvenser.

Då ett styvt separat betonggolv/block vilar direkt mot marken kan den dynamiska massan överslagsmässigt fördubblas. Observera att sättningar i mark ofta kan medföra att ett betonggolv blir fribärande. Vid överslagsmässig bedömning om ett underlag är tillräckligt styvt och tungt för isolerad uppställning av en maskin, bör man normalt kräva att underlagets dynamiska massa omkring den vertikala resonansfrekvensen ska vara minst dubbelt så stor som maskinens massa.

Uppställningens resonansfrekvens får man av uttrycken i formel 41a respektive 41b, sidan 135.

För att åstadkomma den önskvärda vibrationsisoleringen måste man välja isolatorer med lämplig styvhet och lasttålighet. Katalogdata anger vanligen tillåten maximal last samt den statiska nedfjädringen som funktion av den pålagda belastningen.

Om maskinens störfrekvens överensstämmer med någon av uppställningsfrekvenserna i de riktningar som sätts i svängning av de störande krafterna från maskinen, förstoras vibrationerna och maskinen kommer i kraftig resonanssvängning. Styrkan av denna blir beroende av isolatorernas dämpning. För gummiisolatorer blir förstoringen av svängningsamplituden cirka 3–10 gånger, medan stålfjädrar kan medföra upp till cirka 100 gångers förstärkning.





Normalt undviker man att störfrekvenser och uppställningsfrekvenser sammanfaller. Vid start av en maskin kan man emellertid bli tvungen att låta varvtalet passera resonansområdet. Vid snabb passage av dessa ”kritiska” varvtal hinner resonanssvängningar inte bildas fullt ut. Kan man inte klara detta måste man använda rörelsebegränsare i isolatorer eller gummibuffertar för att hindra alltför stora rörelser i maskinen.

Mjuk uppställning

Väljs uppställningseigenfrekvenser, som är minst 1,5 gånger lägre än lägsta väsentliga störfrekvens uppnår man avisolering. Ju lägre uppställningsfrekvenserna är, desto bättre avisolering får man. Den avisoleringseffekt som praktiskt kan uppnås begränsas normalt till cirka 0,2–0,05 eller en isolergrad av 80–95 procent. De isolatortyper som i första hand kommer till användning vid uppställning av verktygsmaskiner, är maskinskor, gummi-mattor och enklare isolatorer med sidostabilitet.

Styv uppställning

Vid vissa maskiner kan inte en tillräckligt mjuk uppställning användas av praktiska skäl. Till exempel ger en vibrationsisolering av excenterpressar med en vertikal uppställningsfrekvens kring en tredjedel av slagfrekvensen upphov till instabilitet. I sådana fall kan man välja en styvare uppställning med egenfrekvenser över de kraftigaste lågfrekventa störkrafternas frekvenser, för att på så sätt erhålla en avisolering för mer högfrekventa störningar från stötar och slag. Denna typ av isolering kräver oftast en mycket noggrann dimensionering för att inte resultera i oacceptabla förstärkningar av lågfrekventa vibrationer och för att uppnå en tillräckligt effektiv avisolering av högfrekventa komponenter.

			
Gummimatta med fastbultning	Maskinsko	Vibrationsisolator med lika styvhet horisontellt och vertikalt	Specialdämpare
FÖRDELAR			
Billig. Lätt anpassningsbar.	Enkel höjdjustering	God sidstyvhet. Fastbultbar.	Anpassad isolator med rätt styvhet i de olika riktningarna. Inbyggd rörelsebegränsare. Fastbultbar.
NACKDELAR			
Liten sidostyvhet	Liten sidostyvhet	Något besvärlig höjdjustering	Högt pris
ANVÄNDNING			
Högfrekventa störningar. Enklare uppställningar.	Verktygsmaskiner som t.ex. pressar.	Verktygsmaskiner som t.ex. pressar, saxar, slipmaskiner.	Dieselmotorer på tåg och i fartyg.

Figur 36. Exempel på vibrationsisolatorer och deras fördelar, nackdelar och användningsområden

En jämförelse mellan några isolatortyper görs i figur 36. För att få data om belastningsförmåga, sammantryckning, användningsområden och så vidare, hänvisas till materialleverantörernas uppgifter.

Några råd om vibrationsisolerings

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ENKEL DIMENSIONERING

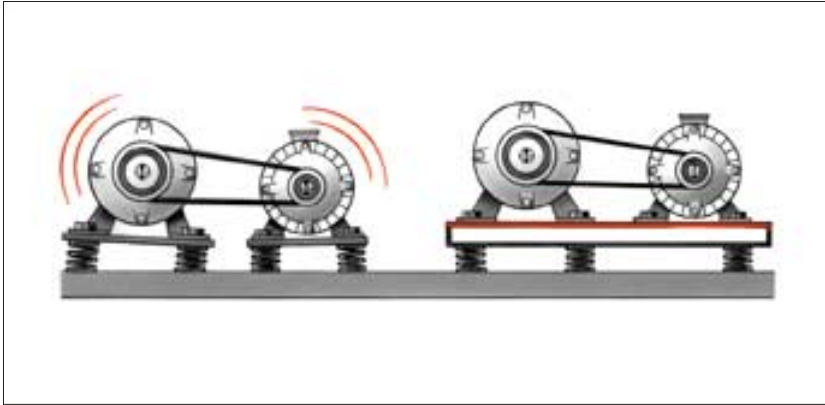
De väldigt enkla regler för att dimensionera vibrationsisolerings av maskiner som berörts i föregående avsnitt, förutsätter att följande är uppfyllt:

- Maskinramen är tillräckligt styv i sig själv, det vill säga ett styvt underlag får inte vara förutsättningen för att maskinen ska fungera.
- Eventuellt gemensamt balkstativ för maskin och drivenhet (t.ex. elmotor) är tillräckligt styvt för att tillåta elastisk uppställning.
- Underlaget för uppställning är tillräckligt styvt och massivt.
- Tyngdpunktens höjd över isolatorerna är liten i förhållande till avståndet mellan aktuella uppställningspunkter.
- Verkande krafter är i huvudsak vertikala och någorlunda centrerade i förhållande till aktuella uppställningspunkter. Pulserande vridmoment som verkar på maskinen via en drivaxel ska kunna försummas.
- Anslutningar av rör, elektriska ledningar, ventilation etc. kan utföras elastiskt utan risk för rörbrott, läckage och liknande.

ENKEL DIMENSIONERING AV VIBRATIONISISOLERING

Dimensionering av vibrationsisolerings kan om ovanstående är uppfyllt ske för enbart vertikal riktning och stegvis enligt följande:

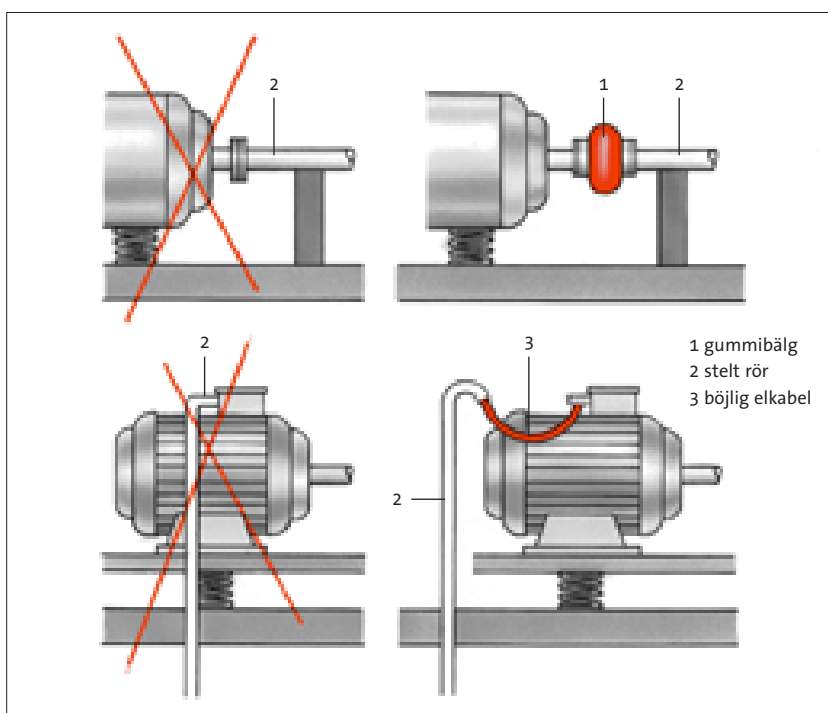
- Bestäm dynamiska massan (mekaniska impedansen) i underlaget. Den dynamiska massan bör om möjligt vara minst dubbelt så stor som massan hos den uppställda maskinen. Är den dynamiska massan mindre erfordras ofta kompensation i form av mjukare uppställning för att få samma avisolerings.
- Försök att välja maskinens placering så att isolatorerna hamnar över eller strax intill stödjande pelare, väggar eller förstärkningsbalkar. Detta för att utnyttja en högre effektiv dynamisk massa hos underlaget.
- Dimensionera förstärkningar av underlaget om det behövs för att få tillräckligt dynamiskt motstånd.



Figur 37. Då maskin och drivaggregat är separata enheter, placeras de om möjligt på en gemensam styv balkramplatta eller motsvarande

- Om maskin och drivande enhet är separata, bör de placeras på en gemensam styv balkram om det är möjligt (se figur 37).
- Totala vikten och tyngdpunktsläget bestäms hos den enhet som ska avisoleras.
- Bestäm vibrationernas grundstörfrekvens om det är möjligt (uppgifter från maskinleverantör eller mätdata). Ofta kan det vara svårt att få några uppgifter. Då kan man göra en bedömning med exempelvis varvtalet för verkande kraft eller antalet fram- och återgående rörelser per sekund som utgångspunkt.
- Lämplig vertikal resonansfrekvens för uppställningen väljs normalt till cirka $1/3$ av lägsta störfrekvens eller varvtal. Vid beräkning av denna uppställningsfrekvens tar man även hänsyn till dynamiska massan i underlaget.
- Kontrollera att uppställningen inte blir för mjuk och rörelserna för stora. Den statiska nedfjädringen bör anpassas med hänsyn till maskinens funktion. Om maskinen ger ett vridande moment via en axel, se till att inte förvridning eller uppriktningsfel blir för stora. Försök att placera isolatorerna så att man undviker tippning/nickning. Placera dem om möjligt i höjd med tyngdpunkten för roterande maskiner som ger vridmoment. Observera att en maskin får större rörelser vid vibrationsisolering än vid stelt montage.

- Välj lämpliga isolatorer, se figur 36 på sidan 142. Den statiska belastningen bör vara jämnt fördelad på isolatorerna med ungefär lika stora nedfjädringar. Typen av vibrationsisolator ska också väljas med hänsyn till vilka kemikalier, oljor, lösningsmedel och liknande, som den kan tänkas komma i beröring med.
- Anslutningar till uppställningen ska vara elastiska. Kraftöverföringar, stosar eller böjliga rör till ventilationskanaler, elektriska kablar och rör ansluts med gummislangar och så vidare.



Figur 38. Bra och dåliga arrangemang för flexibla förbindningar

Referenser

- Ingemansson, S.; Elvhammar, H.: *Buller och Bullerbekämpning - Principer och tillämpningar*. Arbetarskydds nämnden 1977.
- Frangeur m.fl.: *Gummi som konstruktionsmaterial*. Ingenjörsläroverket 1975.
- Plunt, J.: *Vibrationsisoleringsmetoder av Maskiner. Dimensioneringsmetoder, även för högfrekventa vibrationer*. IFM Akustikbyrå AB, Rapport TR 8128.09. 1981. (Framtagen för Arbetarskyddsfonden.)
- Beranek, L. L. (ed): *Noise and Vibration Control* (Kap. 13). McGraw-Hill 1971.
- Beranek, L. L.; Ver, I. L.: *Noise and Vibration Control Engineering, Principles and Applications* (Kap. 11). J. Wiley & Sons 1992.
- Plunt, J.: *Vibration Isolation, Mobility Methods, Power Transmission. Kompendium i Teknisk Akustik*. Chalmers tekniska högskola. Göteborg 1999.
- Harris, C. E. (ed): *Shock and Vibration - Handbook*. McGraw-Hill 1987.
- Cremer & Heckl & Ungar: *Structure-borne Sound*. Springer Verlag 1973.

Bullerbekämpning vid maskininstallationer

Det effektivaste sättet att minska ljudnivån på arbetsplatser är att hindra ljudet att fritt utbreda sig i rummet, det vill säga dämpa bullret vid källan. Det kan man åstadkomma med följande insatser:

- Hindra ljudets uppkomst, det vill säga åtgärda genereringsmekanismen.
- Hindra spridningen av luftljud.
- Hindra utbredningen av stomljud.

Dessa insatser kan genomföras på befintlig utrustning eller man kan begära att leverantören inför dem på ny utrustning i samband med tillverkning eller montage.

Hindra ljudets uppkomst

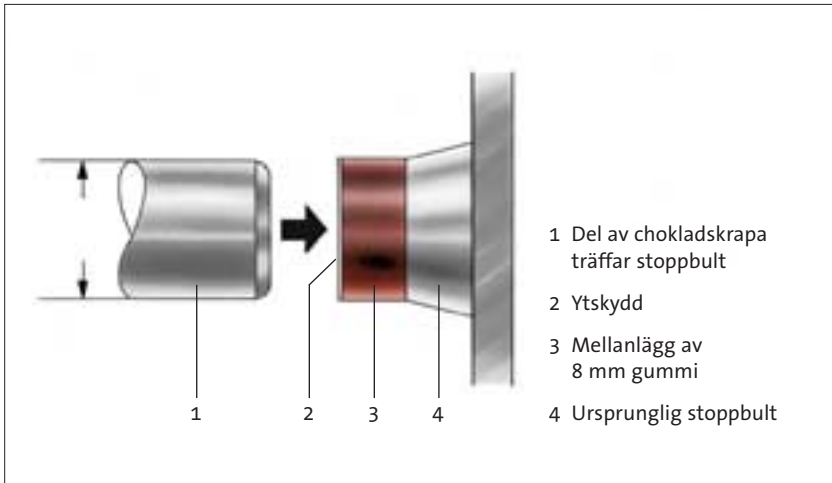
Byte av metod

Genom att byta eller förändra en arbetsmetod respektive en process kan man ofta minska uppkomsten av buller.

BULLRANDE	TYSTARE
Slående mutterdragare	Segdragande mutterdragare
Kolvkompressor	Skruvkompressor
Tryckluftcylinder	Tryckluftcylinder med ändlägesdämpning
Rulltransportör	Gummibandstransportör
Radialfläkt med raka skovlar	Radialfläkt med böjda skovlar
Axialfläkt	Radialfläkt med böjda skovlar
Punktsvetsautomat	Sömsvets
Vakuumpump	Multiejektor (pneumatisk)
Stansning	Laserskärning
Flamhärdning	Härdning med laserstråle
Slående formning	Hydraulisk pressning
Torkning med luftflöde	Torkning med strålning
Trycklufts- eller förbränningsmotordrift	Elektrisk drift

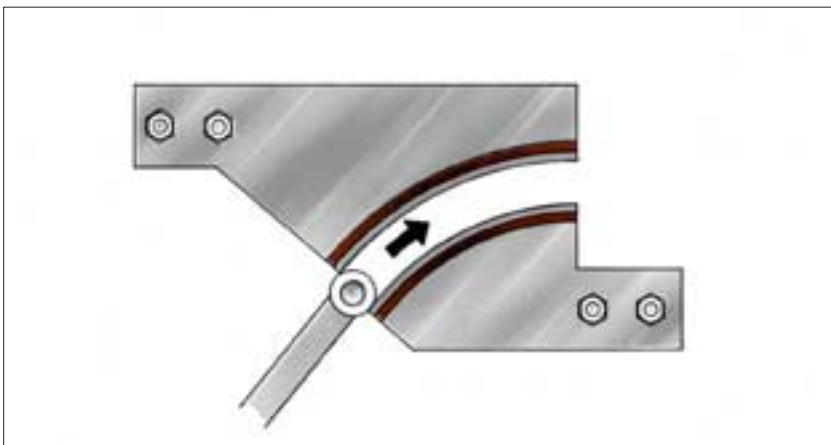
Elastiska mellanlägg

Slag- och stötljud kan ofta minskas genom att man monterar in elastiska mellanlägg i stöt- och slagprocessen. Mellanläggen förändrar den kraftpuls som uppstår när två objekt stöter samman, vilket minskar överföring av vibrationsenergi i det frekvensområde som ofta är kritiskt för ljudutstrålningen. I figur 39 och 40 visas två exempel på utföranden.



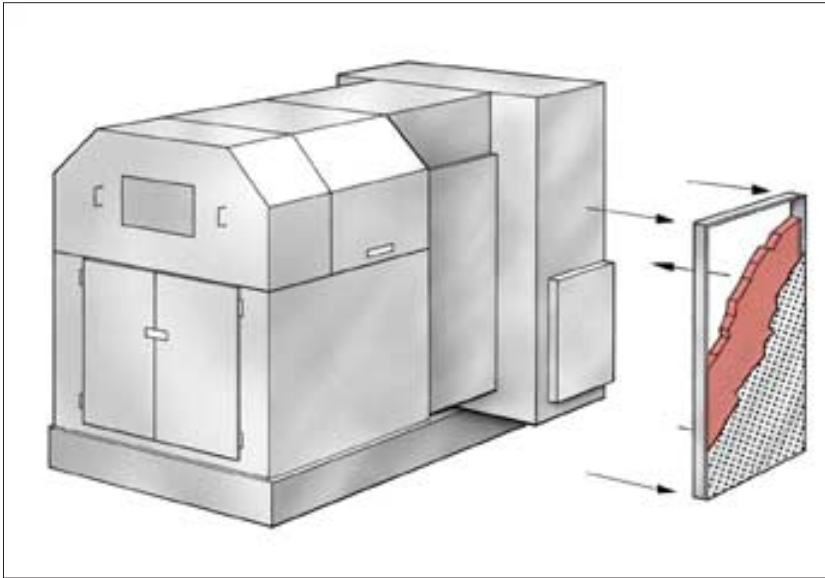
Figur 39

EXEMPEL: Chokladgjutmaskin. Slagjuden minskades cirka 20 dB med hjälp av ett 8 mm gummimellanlägg.



Figur 40

EXEMPEL: Förpackningsmaskin. I en förpackningsmaskin orsakade led-bulten hos en hävarm kraftiga slagjud när den slog emot metallytan hos en styrkurva. Genom att belägga styrkurvans ytor med gummi (rött i figuren) skyddat av tunn stålplåt fick man en anseelig ljudnivåsänkning.



Figur 41 Exempel med ändrat maskinhölje

Minskad fallhöjd ger lägre ljudalstring

Genom att minska anslagshastigheten på fallande gods och liknande, reduceras vibrationsenergin i den mottagande strukturen. Det leder till minskad ljudutstrålning. Att minska fallhöjden eller bromsa upp hastigheten för detaljer som faller ned i exempelvis uppsamlingsbehållare, är därför en metod som kan ge betydande ljudnivåsänkningar med begränsade insatser.

Minska ljudutstrålning från ytor

Ofta förstärks det utstrålade ljudet från maskiner och utrustningar genom sekundär ljudutstrålning orsakad av vibrationer från stora ostagade ytor, som maskinhöljen av tunnplåt. En av de viktigaste bullerdämpningsåtgärderna är att bryta den stumma kontakten mellan bullerkällan och dessa ytor.

Perforering minskar bullret

Om en vibrerande plåtyta utförs i perforerad plåt, strålar den inte ut ljud lika effektivt som när en tät plåt används. Man kan därför i vissa fall få en lägre ljudnivå om man ersätter en tät täckplåtyta på en maskin med perforerad plåt eller en trådnätsram. I samband med uppsamlingsbehållare och liknande där ljud alstras av fallande gods, kan man ofta få stora förbättringar genom att utföra dessa i perforerad plåt, metallnät eller sträckmetall.

EXEMPEL: Alla skyddsluckor etc. på en automatsvarv var tillverkade av tät plåt. Den totala ekvivalenta ljudnivån för en grupp av sådana svarvar var 87 dB(A). Figur 41 visar en sådan svarv med drivenheter i borte änden (elmotorer och växlar). Man fann att huvudvibrationskällan, en växeltransmission, orsakade mycket kraftig stomljudsutstrålning från plåthöljet.

Alla luckor och täckplåtar nära växeln byttes mot en ny konstruktion, bestående av tätperforerad plåt (hål med diametern 2 mm, c/c 4 mm) med mineralull med hög volymvikt på insidan. Ljudnivån minskade med 4 dB(A) till 83 dB(A).

Anm. Den perforerade plåten gav givetvis inte lika bra luftljudsisolering som den täta plåten, men tillräcklig luftljudsisolering fick man i detta fall genom att välja hög volymvikt på mineralullen.

Dämpade ytor ger lägre ljudutstrålning

Resonanssvängningar i plåtytor ger ofta upphov till kraftig ljudutstrålning. Denna ljudutstrålning kan minskas om man lägger på en dämpmassa på ytan eller om man byter den homogena metallplåten till en ”sandwichpanel” som består av metall – dämpfolie – metall (MPM-plåt). Dessa speciella dämpmaterial ger ökade svängningsförluster det vill säga en större del av vibrationsenergin omvandlas till värme och en mindre del till ljud. För konstruktioner som utsätts för slag och stötar exempelvis från fallande gods kan man med denna typ av dämpning ofta få minskningar av ljudnivån med 10–15 dB(A).

EXEMPEL: En transportvagnstyp som användes i en charkuterifabrik hade hårda hjul och ett lastflak av rostfri plåt. När den kördes tom över ett klinkergolv var ljudnivån 98 dB(A). Stomljudd från lastflaket visade sig vara huvudproblemet. Undersidan beströks med en tvåkomponent dämpmassa. En rostfri plåt trycktes mot dämpmassan som sedan härdade och man fick en effektiv sandwichkonstruktion. Även sidor och handtag dämpades. Ljudnivån sjönk till 91 dB(A). Se diagram 30.

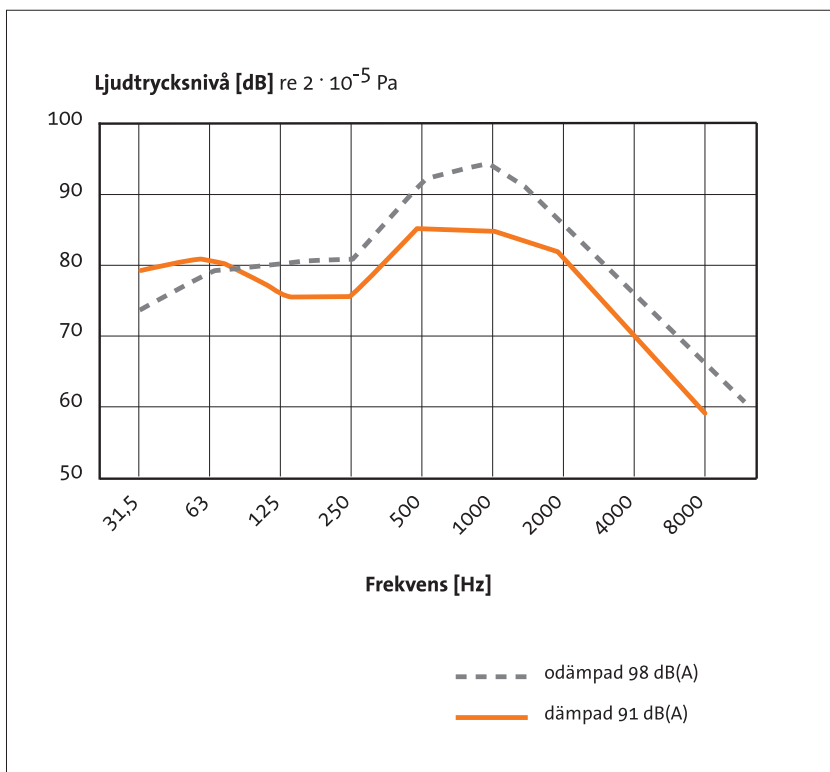
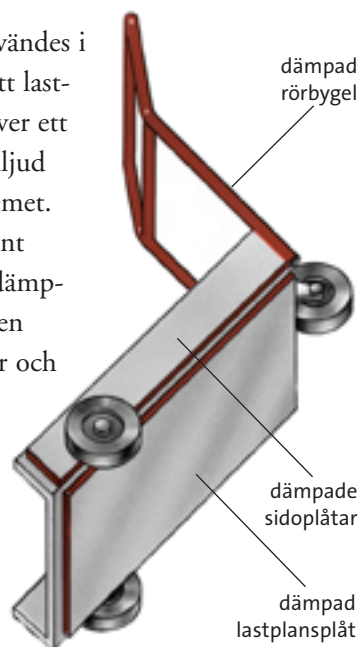
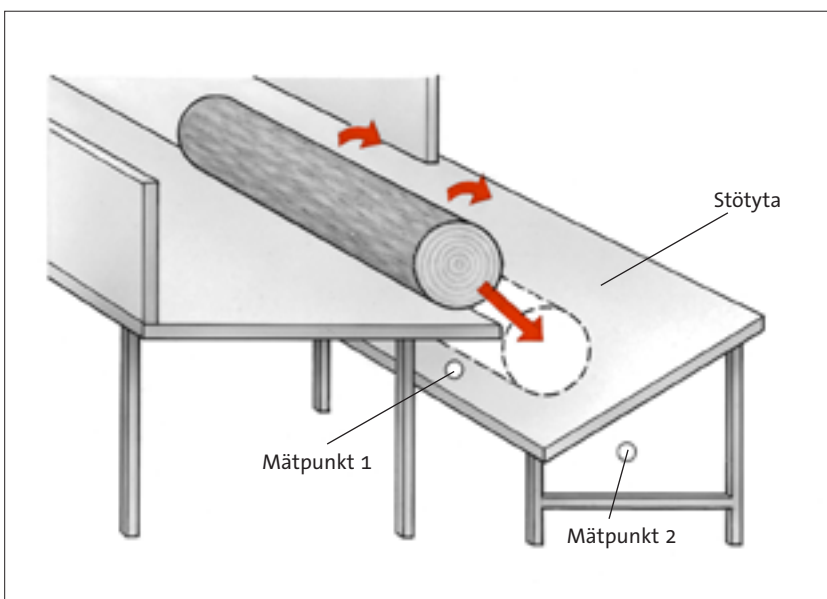


Diagram 30. Exempel på förbättring vid dämpning av transportvagn

154 Exempel på olika typer av åtgärder

EXEMPEL: Olika typer av åtgärder för att minska ljudutstrålningen från en stötyta har provats. Stötytor förekommer i timmertransportörer där stockar faller, exempelvis i så kallad nedstört. Se figur 42 och tabell 15.

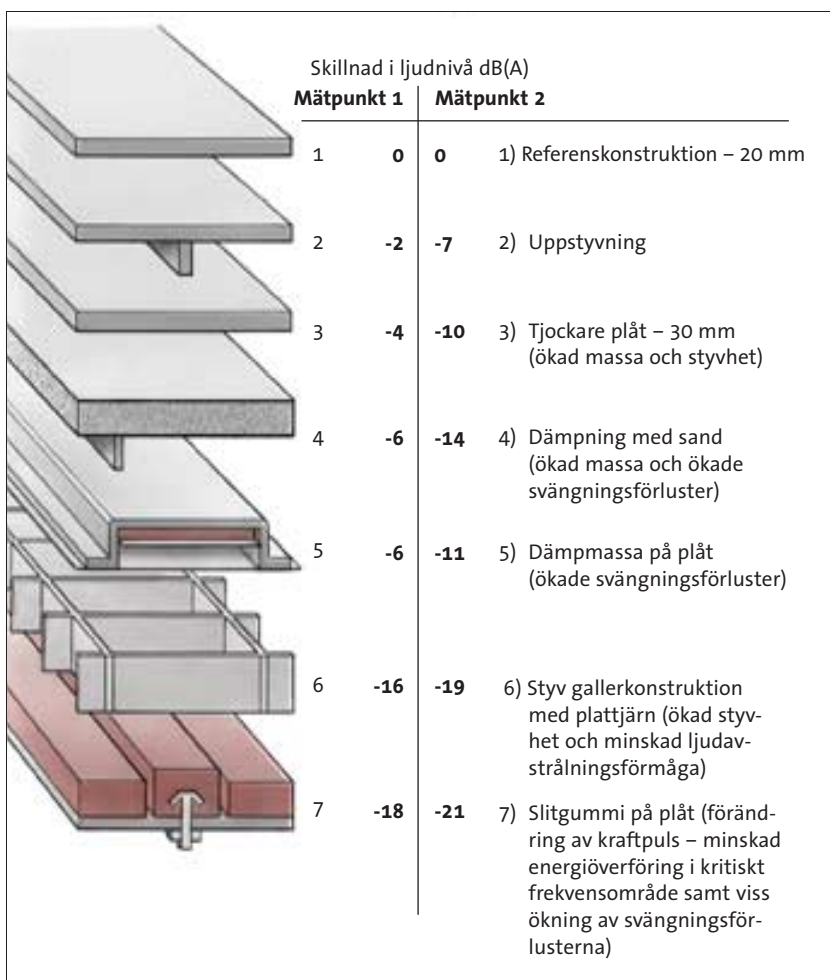
Genom rätt utformad konstruktion kan man alltså få stora sänkningar av ljudnivån.



Figur 42. Exempel på dämpning av stötyta för timmer

Minska strömningshastigheten

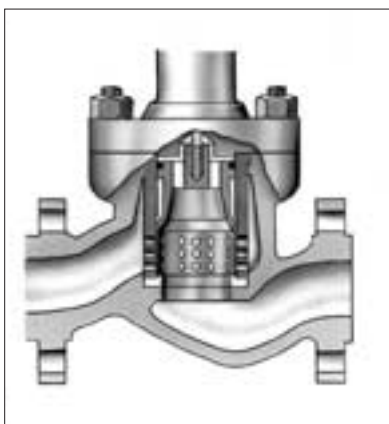
Den dominerande orsaken till de höga ljudnivåerna som strålar ut från rörledningar och rörsystem är att det normalt förekommer höga luft hastigheter och ogynnsam strömningsteknisk utformning av rörsystemet. Det alstrade ljudets nivå är som regel proportionellt mot femte eller sjätte potensen av strömningshastigheten. Om man därför kan halvera mediets strömningshastighet sänks ljudalstringen teoretiskt med minst 14 dB. Tillverkarna kan normalt ge ljustdata för sina ventiler, varför ljudnivåerna kan beräknas redan under konstruktionsstadiet. Det finns även flera beräkningsmodeller för bestämning av ljudutstrålning från ventiler.



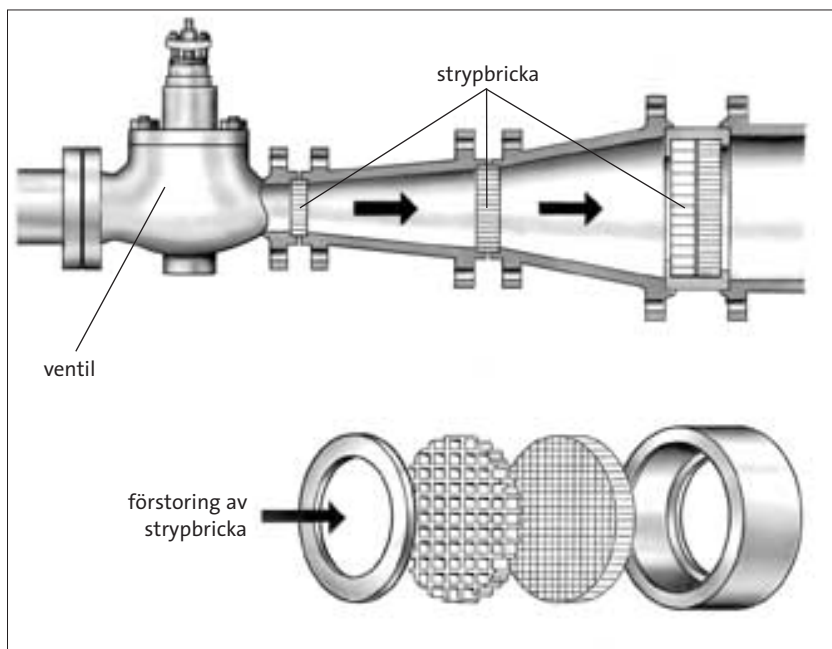
Tabell 15. Figur 42 visar försöksanordningen med mät punkt 1 över stötytan och 2 under stötytan. Som referenskonstruktion användes 20 mm stålplåt.

Det finns flera alternativa sätt att minska högfrekvent buller från system med kraftig ljudalstring inne i systemet eller då gas eller luft strömmar ut med hög hastighet i en arbetslokal. Generellt gäller dock att bästa ljudminskande effekter får man då åtgärden sätts in på eller vid bullerkällan.

Vid ljudalstring inne i rörsystemet från ventiler, kan ljudalstringen minskas med hjälp av fasta strypbrickor alternativt genom förbikoppling genom mindre ventil. Ett annat alternativ är att använda speciellt tysta så kallade "low-noise" ventiler (se figur 43). Ljuddämpare för utströmmande tryckluft behandlas i avsnittet "Ljuddämpare", sidan 174.



Figur 43. Exempel på "low-noise" ventil. Principen för dessa ventiler är att flödet delas upp i ett antal delstrålar med lägre hastighet och/eller tryckfall i ett antal underkritiska steg. Ventilen i figuren har en konstruktion där ångan passerar genom en perforerad yta, vilket begränsar flödet.

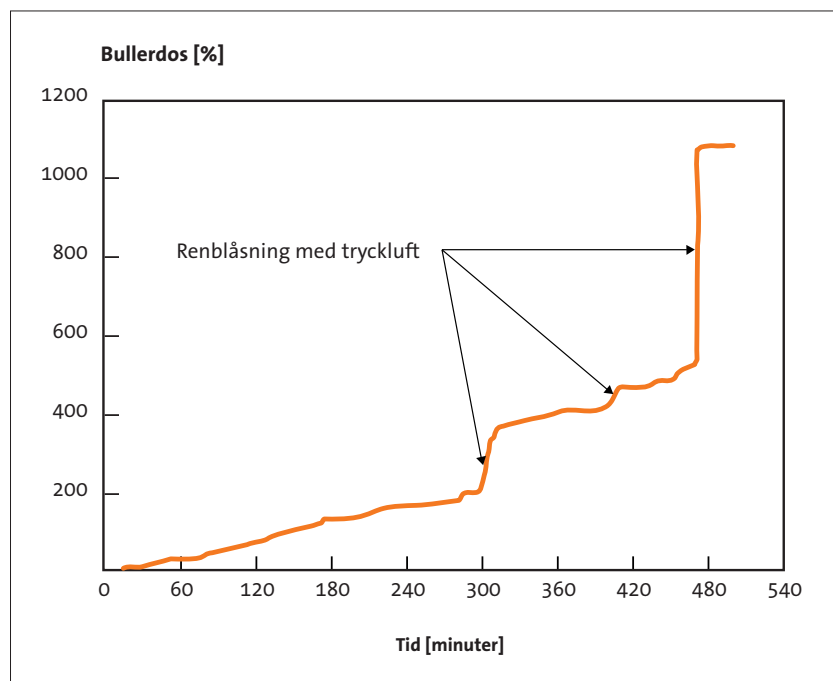


Figur 44. Exempel på användning av strypbrickor. Alltför höga tryckfall över en ventil kan undvikas om en eller flera så kallade "low dB" strypbrickor placeras i rörledningen nedströms ventilen. På det sättet avlastas ventilen från att uppta hela tryckfallet. Detta leder till lägre stömningshastighet genom ventilen och följaktligen till lägre ljudalstring, cirka 10–15 dB(A). En begränsande faktor är att flödet eller tryckfallet endast kan regleras inom relativt snäva gränser med ventilen.

Blåspistoler och blåsmunstycken

Vid användning av dämpade blåspistoler respektive blåsmunstycken kan ljudnivån ofta minskas med 10 dB(A) och bibehållen effekt. Följande rekommendationer kan ges beträffande val av utrustning:

- Välj en utrustning som ger ett stort luftflöde när det gäller kylning eller torkning av ytor.
- Välj en utrustning med stor blåskraft när det gäller att blåsa bort spån med mera.
- Välj en utrustning med stor strålvidd när det gäller rengöring av smuts.



Figur 45. Exempel på bullerdos under en arbetsdag vid arbete i textilindustri. Renblåsning med tryckluft ger de största bidragen till den totala bullerdosen. Den ekvivalenta ljudnivån för hela arbetsdagen var cirka 95 dB(A). Med dämpade blåspistoler skulle den ekvivalenta ljudnivån i detta fall kunna sänkas med 5–6 dB(A).

EXEMPEL PÅ LJUDDÄMPNINGSSÅTGÄRDER: Ljuddämpningsåtgärderna på en fräsmaskin innebar att samtliga luftutsläpp kopplades till en central filterdämpare (se avsnittet ”Filterljuddämpare”, sidan 182). Renblåsning av dubbar och kylning av fräshuvuden utfördes med dämpade blåsmunstycken. Munstyckena var installerade med lämpligare riktning och på kortare avstånd. Med dessa åtgärder minskade den ekvivalenta ljudnivån från 91 dB(A) till 84 dB(A).

Hindra spridning av luftljud

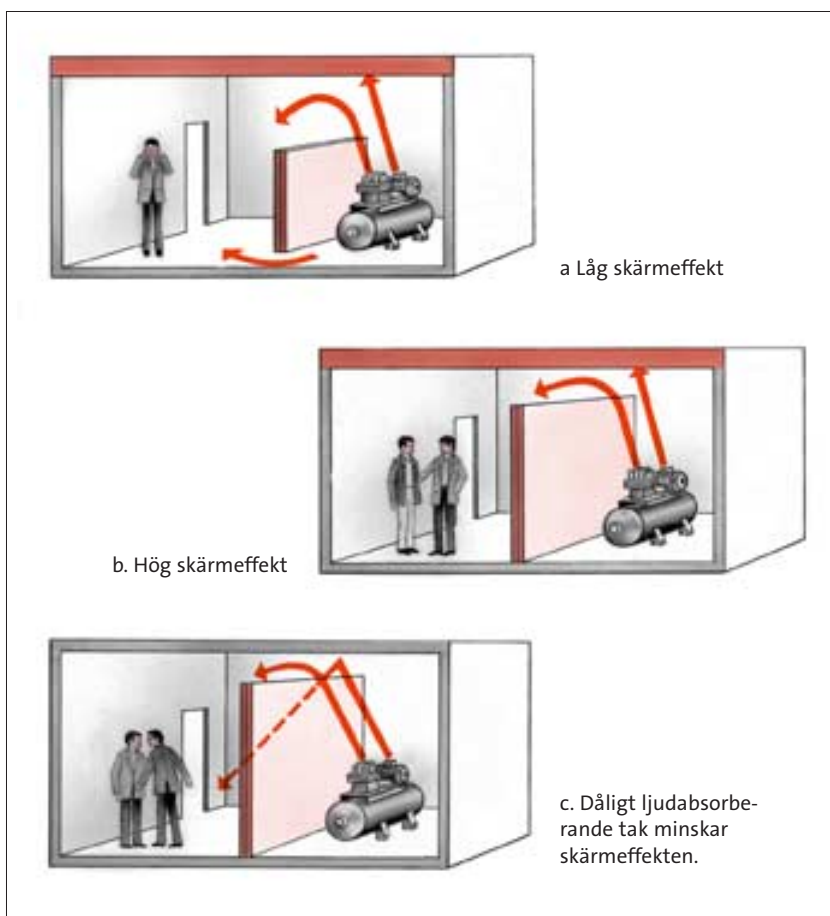
Om man inte kan hindra alstringen av luftljud vid källan är det nödvändigt att på lämpligt sätt skärma av eller bygga in bullrande maskiner, utrustning, rör och kanaler. Luftljudsisolering behandlas i avsnittet ”Luftljudsisolering”, sidan 111.

Avskärmning

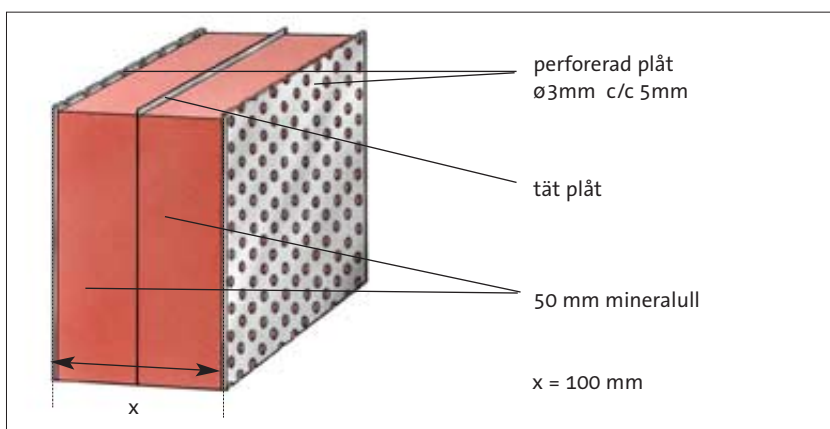
Avskärmning är ett vanligt sätt att uppnå bullersänkning på (se figur 46). Det fungerar för många typer av källor. Skärmar kan vara fasta eller lätt flyttbara. Det är möjligt att åstadkomma upp till 10 dB(A) bullerreduktion bakom en absorberande skärmvägg.

För att man ska få den avsedda effekten av upptill öppna skärmar är det nödvändigt att ha ett kraftigt ljudabsorberande tak i lokalen (se även avsnittet ”Poängmetoden”, sidan 95.). Detta krav är mindre betydelsefullt i lokaler med hög takhöjd. Skärmväggen utförs exempelvis med mineralull på bägge sidor om en tät vägg av plåt. En typisk konstruktion visas i figur 47.

Om man väljer mineralull med hög volymvikt (mer än 75 kg/m³ vid stenull, mer än cirka 40 kg/m³ vid glasull) kan ofta mittplåten slopas i skärmar med begränsade krav på ljudisolering. Skärmens storlek har betydelse eftersom den bestämmer omfattningen av läckaget runt skärmen.



Figur 46a–c . Exempel på avskärmningar



Figur 47. Exempel på utförande av skärmvägg

Inbyggnad

En vanlig lösning är att bygga in bullrande maskiner i någon form av huvkonstruktion. Utformningen och storleken av huvan bestäms – förutom av de akustiska kraven – även av andra faktorer som behovet av tillgänglighet, underhåll, justeringar, verktygsbyte, säkerhetsaspekter, materialflöde med mera. Inbyggnaden kan vara av olika typ, fristående utan kontakt med den inbyggda utrustningen eller fäst mot utrustningen. Den kan täcka hela eller delar av utrustningen.

De väggkonstruktioner som används består vanligen av ett tätt ljudisolerande ytterskikt och ett skikt av poröst ljudabsorberande material vänt inåt mot bullerkällan. Det täta ytterskiktet reflekterar ljudet och det ljudabsorberande materialet omvandlar delar av den inneslutna ljudenergin till värme. Om huvens insida helt saknar absorptionsförmåga kommer ljudnivån inuti huvan att höjas så mycket som motsvarar de ljudisolerande väggarnas reduktionstal, med resultatet att huvens ljudisolering uteblir.

Man talar om den ljudisolerande huvens *insättningsdämpning* och menar då den resulterande effekten av väggarnas ljudisolering och absorptionen inuti huvan. Insättningsdämpningen D_W definieras som skillnaden i ljudeffektnivå utan och med huv:

$$D_W = L_{W1} - L_{W2} \quad [dB] \quad \text{[Formel 44]}$$

där

L_{W1} = ljudeffektnivå utan huv i dB.

L_{W2} = ljudeffektnivå med huv i dB.

Alternativt används skillnaden i ljudtrycksnivå D_p i en given punkt utan och med huv:

$$D_p = L_{p1} - L_{p2} \quad [dB] \quad \text{[Formel 45]}$$

där

L_{p1} = ljudtrycksnivå utan huv i dB.

L_{p2} = ljudtrycksnivå med huv i dB.

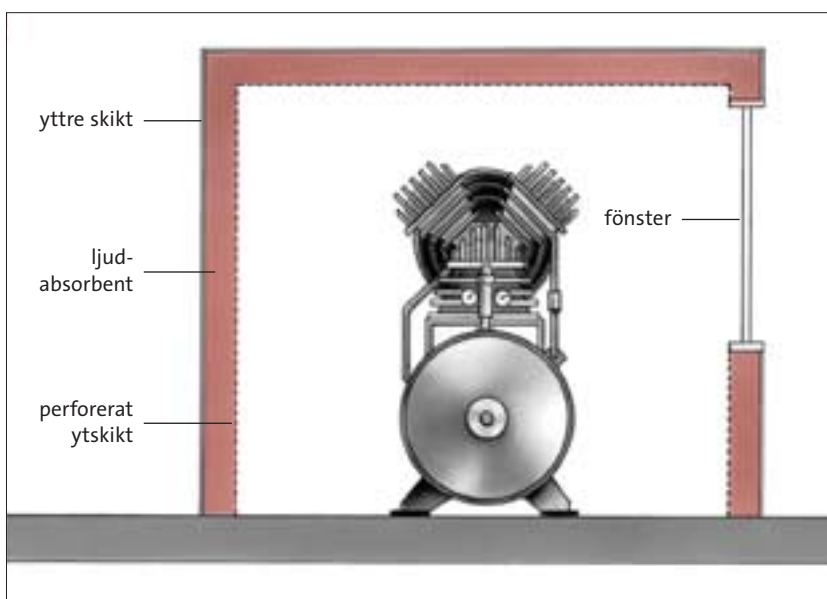
D_W och D_p är frekvensberoende och anges vanligen i oktavband eller tersband. Huvens effekt på den A-vägda totalnivån är därför beroende av ljudkällans frekvensspektrum.

För många tillämpningar kan en stabil ram med följande väggkonstruktion vara lämplig (se figur 48):

- Yttre skikt av 1,5 mm stålplåt.
- 50 mm ljudabsorbent (mineralull, skumplast eller liknande).
- Perforerat ytskikt med en perforeringsgrad större än 30 % (mekaniskt ytskydd).
- 6 mm säkerhetsglas för eventuella fönster.

Exempel på insättningsdämpning för en huv visas i diagram 31.

I samband med stomljudsalstrande maskiner (till exempel förbränningsmotorer, generatorer, växellådor, kompressorer och transformatorer) begränsas ofta insättningsdämpningen av stomljudsöverföring via den bärande strukturen eller anslutningar mellan ljudkällan och huvens väggar. För att minimera detta krävs en rätt utförd vibrationsisolering (se kapitlet "Vibrationsisolering", sidan 127).



Figur 48. Snitt genom typisk huv med fönster

LJUDABSORBENT

Säkerhetskrav bestämmer valet av ljudabsorbent. Med tanke på brandrisk är mineralull i allmänhet bättre än ljudabsorberande skumplast med öppna celler. Tillskärning av mineralull bör undvikas på verkstaden och kanterna på den tillskurna mineralullen bör förséglas för att undvika lösa partiklar i huven och dess omgivning.

Absorbenten kan skyddas mot olja, vatten och liknande genom att förses med ett ytskikt av plastfilm eller metallfolie. Ytskiktet kan påverka ljudabsorptionsegenskaperna, speciellt vid högre frekvenser. För ytvikter över 50 g/m² vilket motsvarar en tjocklek på 50 µm för en plastfolie, får man försämrade ljudabsorption över 2 kHz (se även avsnittet "Ljudabsorberande konstruktioner", sidan 103). Absorptionen kan också försämras ytterligare genom att folien pressas mot det perforerade ytskiktet. För att undvika detta kan ett tunt stormaskigt nät läggas mellan det perforerade ytskiktet och folien.

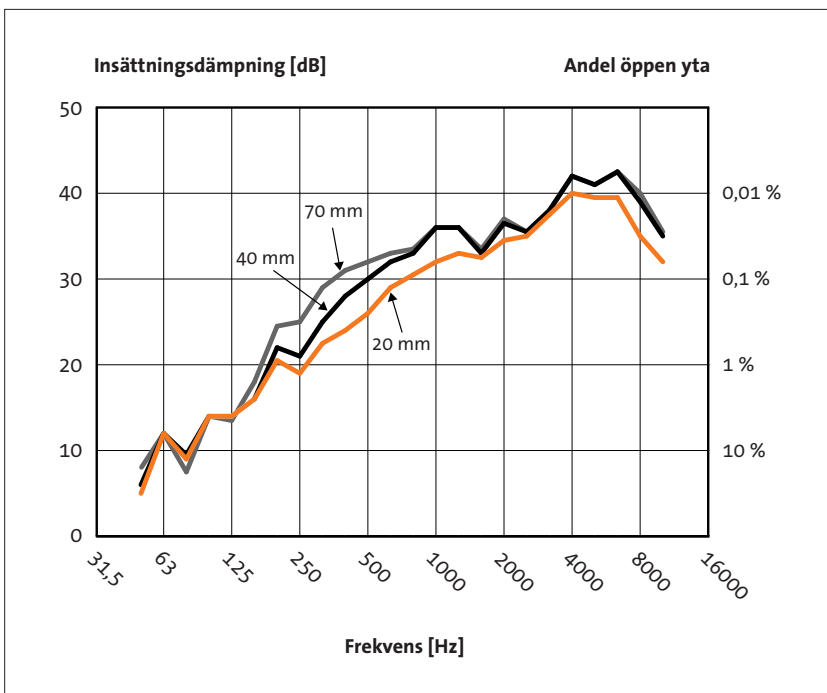


Diagram 31. Uppmätt insättningsdämpning för huv av 1,5 mm stålplåt med olika tjocklekar på det ljudabsorberande materialet. I diagrammet har också den maximalt möjliga insättningsdämpningen vid olika andelar öppen yta lagts in.

LÄCKAGE

För att få så hög insättningsdämpning som möjligt är det viktigt att minimera ljudläckage. Om andelen öppen yta är 10 procent blir insättningsdämpningen högst 10 dB, oavsett hur bra ljudisolering själva väggkonstruktionen har. Om den öppna ytan är 1 procent blir maximala värdet 20 dB och om den är 0,1 procent blir värdet högst 30 dB (se diagram 31).

HUVAR FÖR HÖGA KRAV

När kraven på bullerbekämpning är höga är det också viktigt att minimera stomljudsöverföringen, genom att i första hand vibrationsisolera bullerkällan. Det kan kombineras med elastiskt montage av huvens paneler och dämpskikt på panelernas yttre skikt. Panelernas ljudisolering kan ökas genom att de utförs som dubbelväggskonstruktioner (se figur 49 och även avsnittet "Ljudisolerande konstruktioner", sidan 115). Förbättringar jämfört med en lika tung enkelväggskonstruktion uppnås för frekvenser över cirka $1,5 \times f_r$ där f_r är dubbelväggens resonansfrekvens:

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1''} + \frac{1}{m_2''} \right)} \quad [\text{Hz}] \quad \text{[Formel 46]}$$

där

m_1'' = ytvikten hos skikt 1 i kg/m².

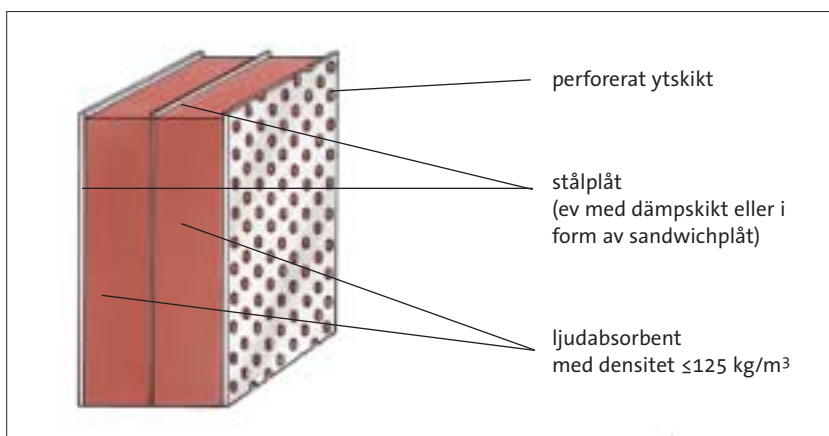
m_2'' = ytvikten hos skikt 2 i kg/m².

d = avståndet mellan ytskikten i m.

Vid högre frekvenser ger dubbelväggen ett avsevärt högre reduktionstal än enkelväggen.

EXEMPEL: För två stålplåtar med tjocklekarna 1,5 och 1 mm på avståndet 100 mm blir resonansfrekvensen cirka 80 Hz. Från cirka 120 Hz kommer dubbelväggens ljudisolering att vara bättre än isoleringen hos en lika tung enkelvägg.

För att kunna tillgodogöra sig dubbelväggens goda luftljudsisolering krävs mycket noggrann tätning av konstruktionen (se avsnittet "Läckage", sidan 162).



Figur 49. Exempel på dubbelväggskonstruktion kompletterad med ljudabsorbent mot bullerkällan

DIMENSIONER

När huvan är liten i förhållande till ljudets våglängd är insättningsdämpningen i huvudsak beroende av konstruktionens styvhet. När huvan är stor i förhållande till våglängden är väggkonstruktionens massa bestämmande. Huvan kan betraktas som liten när dess största dimensioner är mindre än en kvarts våglängd vid den aktuella frekvensen. För att optimera insättningsdämpningen krävs då en mer detaljerad utredning.

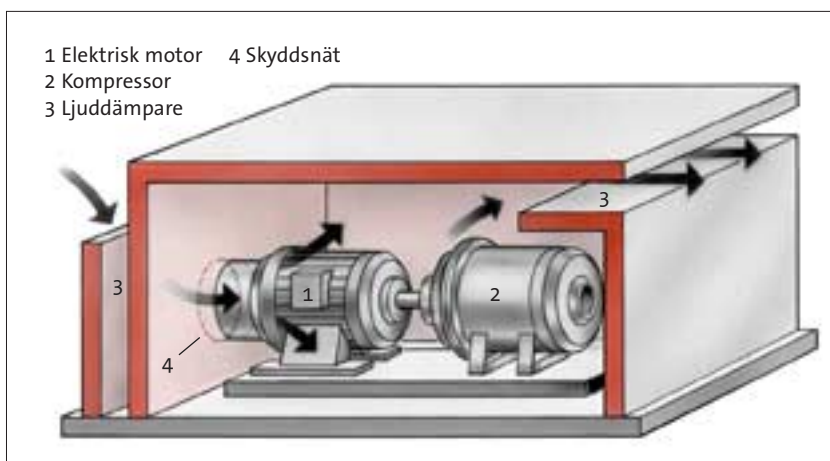
EXEMPEL: Vid 63 Hz är våglängden cirka 5,4 meter. En kvarts våglängd blir då cirka 1,4 meter. En huv med dimensionerna 1 x 0,8 x 0,6 meter är då liten i förhållande till våglängden.

Huvens minsta dimension bestäms av kravet att ingen maskindel ska beröra huvens väggar. I det fall huvan behöver fästas i maskinen bör antalet fästpunkter begränsas till ett minimum och infästningarna bör göras elastiska.

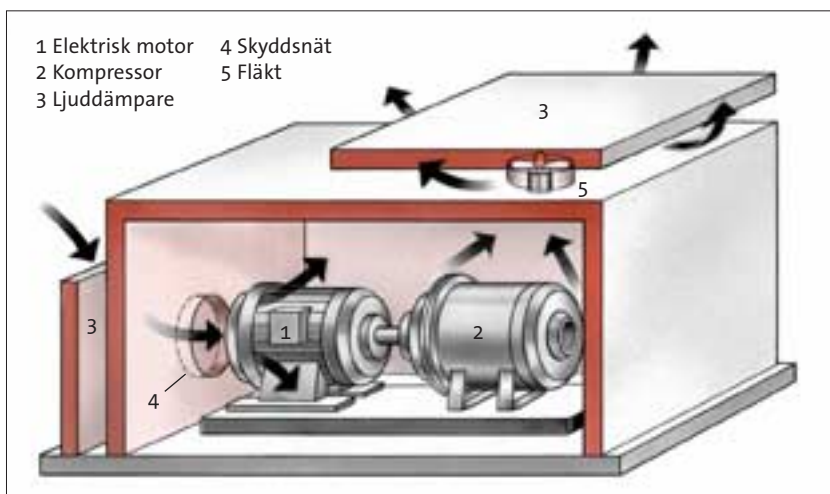
Detaljer i samband med konstruktion av huvar finns redovisade i standarden ISO 15667.

LJUDDÄMPARE

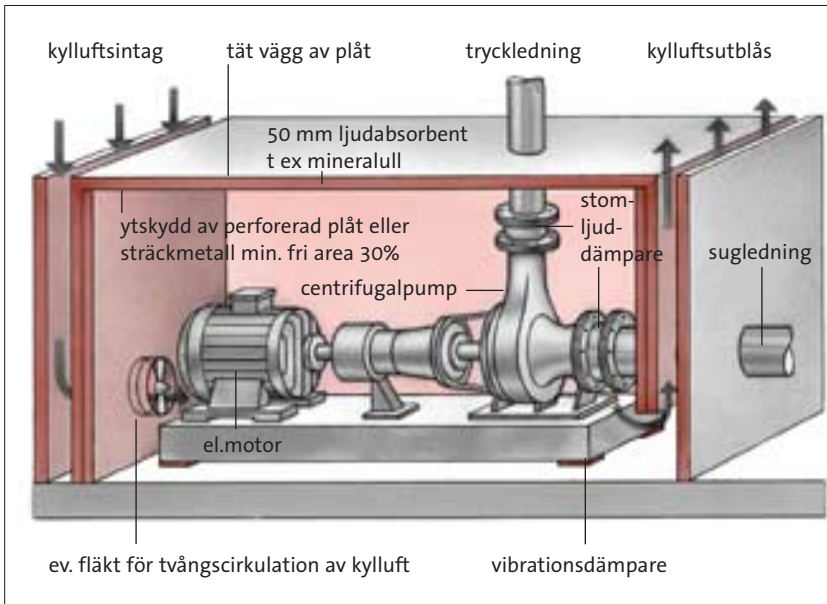
Eftersom en inbyggnad även utgör en värmeisolering kan en maskin sällan byggas in helt. Därför är det oftast nödvändigt med ventilationsöppningar för in- och utgående kylluft – även för en elmotor. För att få tillräckligt kylflöde kan även en extra fläkt behövas. För att begränsa ljudläckage behöver öppningarna förses med ljuddämpare.



Figur 50a. Den elektriska motorns fläkt används för att forcera ventilationen genom huven



Figur 50b. Huv med separat fläkt för forcering av ventilationen



Figur 51. Exempel på inbyggnad av pumpaggregat

Det är oftast ljuddämparen som begränsar huvens insättningsdämpning och inte reduktionstalet hos huvens vägg. Det lönar sig alltså inte att göra huvan mycket bättre än ljuddämparen.

I de fall när material behöver matas in och ut ur en huv behöver in- och utmatningsöppningarna ofta också kompletteras med ljuddämpande kanaler, för att minska ljudläckage.

I samband med inbyggnader kan det även vara lämpligt att kontakta maskinleverantören för att få uppgifter om vilka omgivningsförhållanden som är acceptabla för en maskin, exempelvis med tanke på eventuella maskingarantier.

Några schematiska lösningar för hurar till ett kompressoraggregat med luftkyld elektrisk motor samt till ett pumpaggregat visas i figurerna 50a+b och 51. Ljuddämparna i kyl Luft s intaget och utloppet har dimensionerats för att ge erforderlig ljudnivåsänkning. Ljuddämparnas tvärsnitt ska vara så långsmalt som möjligt och längden stor om man vill åstadkomma hög ljudreduktion (se avsnittet "Ljuddämpare", sidan 174). Denna typ av inbyggnad sammanställs ofta av fabriksstillverkade element. Ibland kan det räcka med att enbart kapsla in de dominerande bullerkällorna.

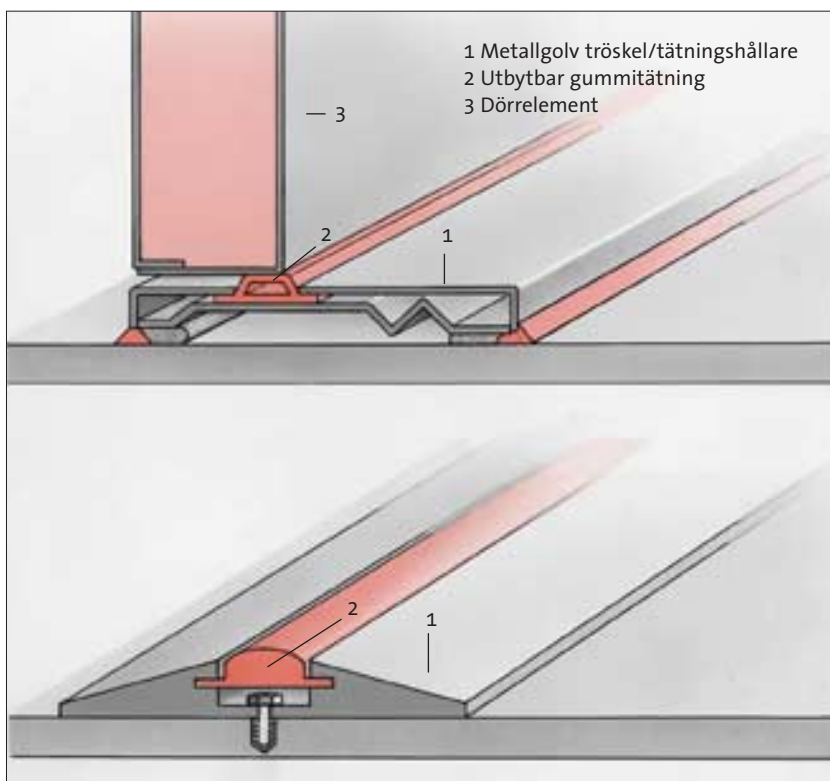
En stegvis inbyggnad till en förpackningsmaskin visas i figur 56, sidan 169.

TÄTNINGAR

Det är viktigt att täta springor och öppningar till exempel i skarvar mellan väggsektioner och mellan väggsektioner och golv för att minimera ljudläckage. Om väggelementen ofta tas bort är det viktigt att tillse att tätningens utförande lämpar sig för detta.

DÖRRAR

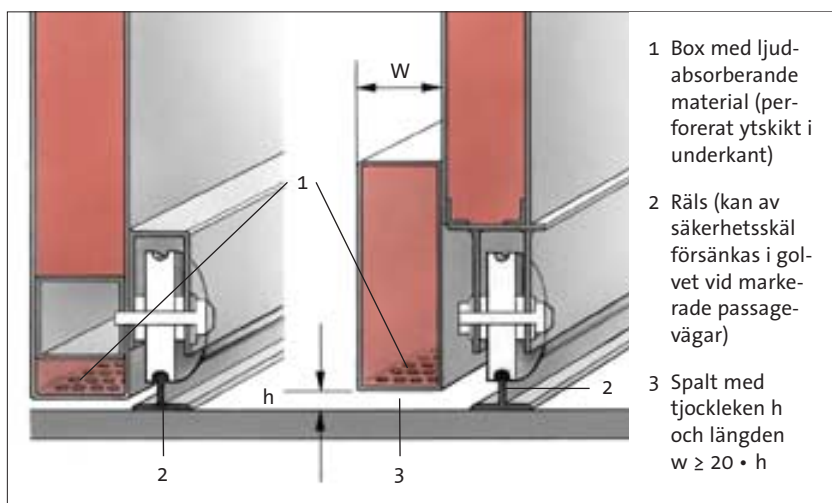
Dörrar med tröskel är att föredra ur akustisk synvinkel, eftersom man då kan få en effektivare tätning runt alla fyra kanterna. En nackdel är snubbelrisken. När tröskel inte kan användas bör luftspalten mellan dörr och golv vara så liten som möjligt för att begränsa ljudläckage. Tätning med borstar kan ge en marginell förbättring. Något bättre resultat kan man få genom att använda gummitätning enligt figur 52a och b.



Figur 52a och b. Exempel på tätning mellan dörr och golv

Nackdelen med denna typ är förslitning genom friktion mot dörren och behov av frekvent underhåll. Förslitningen kan också ge upphov till ljudläckage.

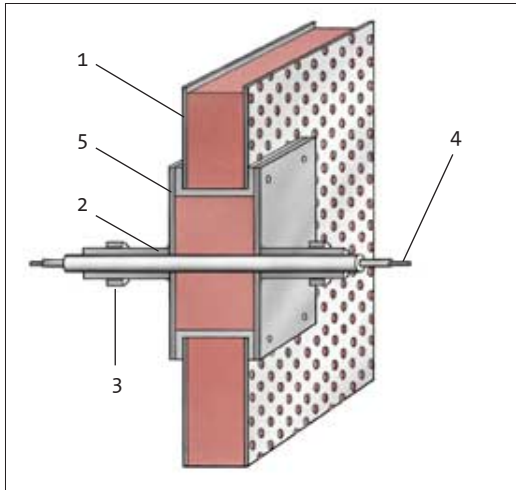
När det inte finns plats att öppna en dörr med gångjärn kan en skjutdörr vara ett alternativ. Den bör då vara utförd så att en ljudabsorberande spalt bildas runt kanten för att begränsa ljudläckage.



Figur 53a och b. Exempel på akustiskt verksamma spalter i nederkant av rörliga väggelement

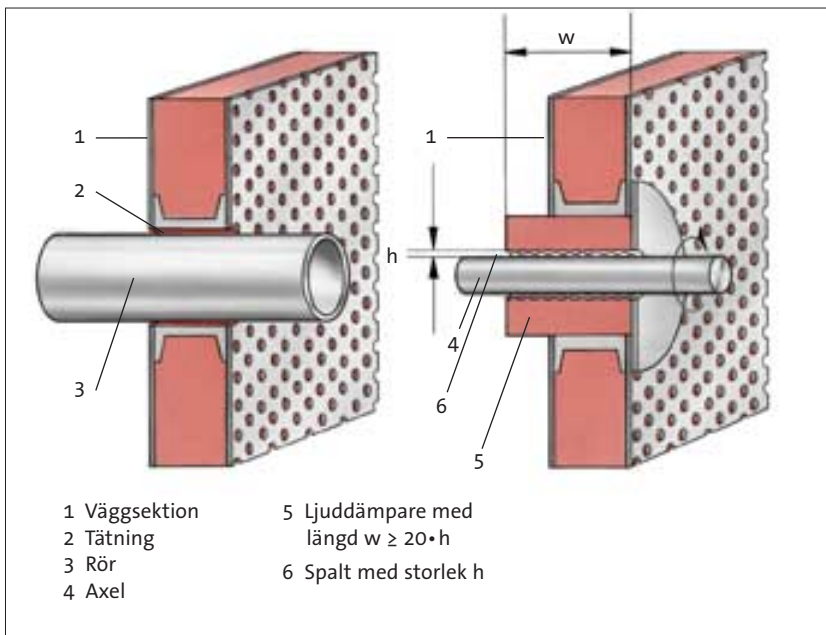
När springor är oundvikliga till exempel i samband med rörliga väggelement och skjutdörrar kan konstruktionen utformas så att smala ljudabsorberande spalter bildas. Några konstruktionsexempel visas i figur 53.

Öppningar för kablar, rör, materialtransport med mera bör göras så små som möjligt och förses med ljuddämpare eller ljudabsorberande kanaler. Öppningar för underhållsarbeten ska vara noggrant stängda under drift. Exempel på konstruktion för att minimera ljudläckage visas i figurerna 54 och 55.



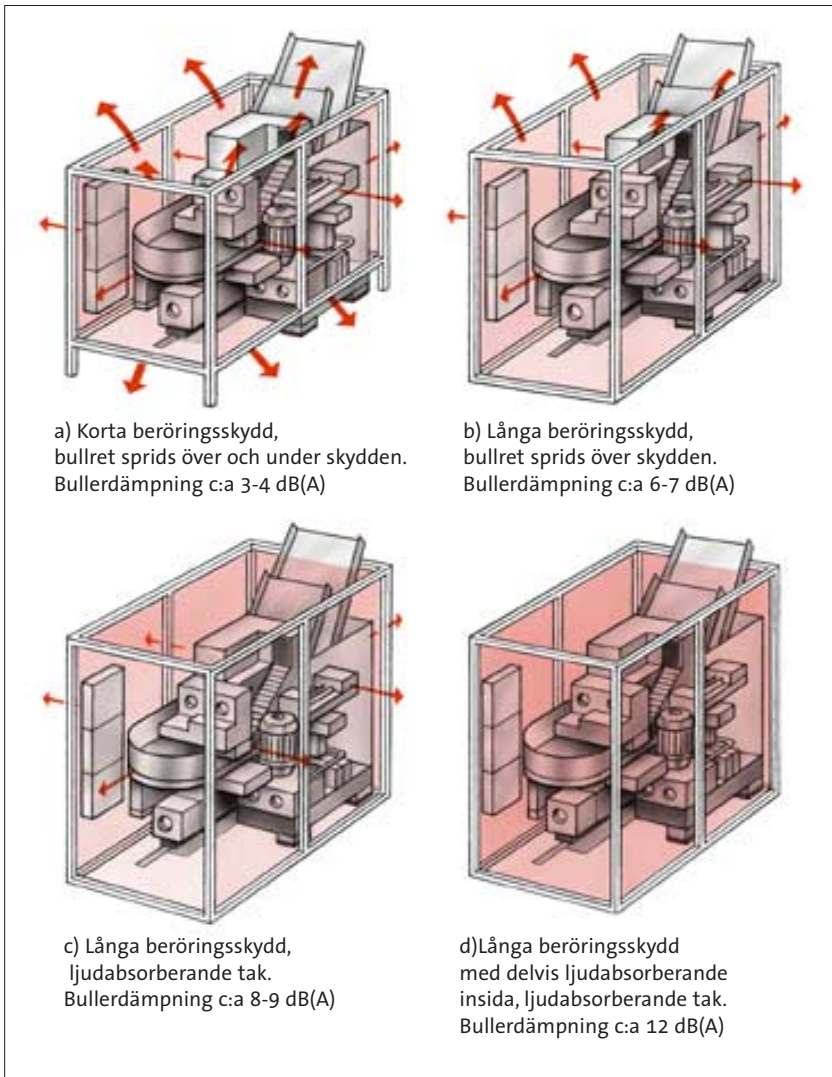
- 1 Vaggsektion
- 2 Halva rorsectioner svetsade mot anslutningsplat
- 3 Fastsattningsanordning (slangklamma eller dylikt)
- 4 Kabel
- 5 Anslutningsplat

Figur 54. Exempel pa kabelgenomforing



- 1 Vaggsektion
- 2 Tatning
- 3 Ror
- 4 Axel
- 5 Ljuddampare med langd $w \geq 20 \cdot h$
- 6 Spalt med storlek h

Figur 55a och b. Exempel pa akustiska atgarder for vagggenomforingar av ror, axlar, manoverdon med mera



Figur 56 a–d. Stegvis förbättring av ljuddämpande effekt för en inbyggd till en förpackningsmaskin. Pilarna visar dominerande ljudspridningsvägar.

Tilläggsisolering

Ljudutstrålningen från maskinytor, rörväggar, byggnadsytor och liknande kan minskas genom yttre tilläggsisolering (så kallat avstrålningsskydd eller strålningsminskande beklädnad). Den består av ett tätt ytskikt monterat med en luftspalt mot den aktuella ytan. Luftspalten fylls vanligen helt eller delvis med ljudabsorberande material. Insättningsdämpningen hos avstrålningsskyddet beror på flera faktorer:

- Ytskiktets massa, styvhet och dämpning.
- Avståndet mellan ytskikt och maskinyta.
- Det utstrålade ljudets spektrum.
- Mekanisk koppling mellan ursprunglig vägg och ytskikt.

Man kan räkna med att avstrålningsskyddet börjar ge effekt först vid frekvenser över cirka $1,5 \times f_r$ där f_r är resonansfrekvensen för det massafjädersystem som bildas av luftspalten och ytskiktet. För ett avstrålningsskydd med absorbent i luftspalten gäller:

$$f_r = \frac{42}{\sqrt{m''d}} \quad [Hz] \quad \text{[Formel 47]}$$

där

m'' = ytvikten hos det yttre skiktet [kg/m^2]

d = avståndet mellan maskinyta och ytskikt [m]

EXEMPEL: För 1 mm stålplåt (cirka $7,8 kg/m^2$) och avståndet 50 mm blir resonansfrekvensen cirka 67 Hz. Avstrålningsskyddet börjar då ge effekt vid $1,5 \times 67 = 100$ Hz. Detta stämmer väl med de uppmätta värden som redovisas i diagram 32.

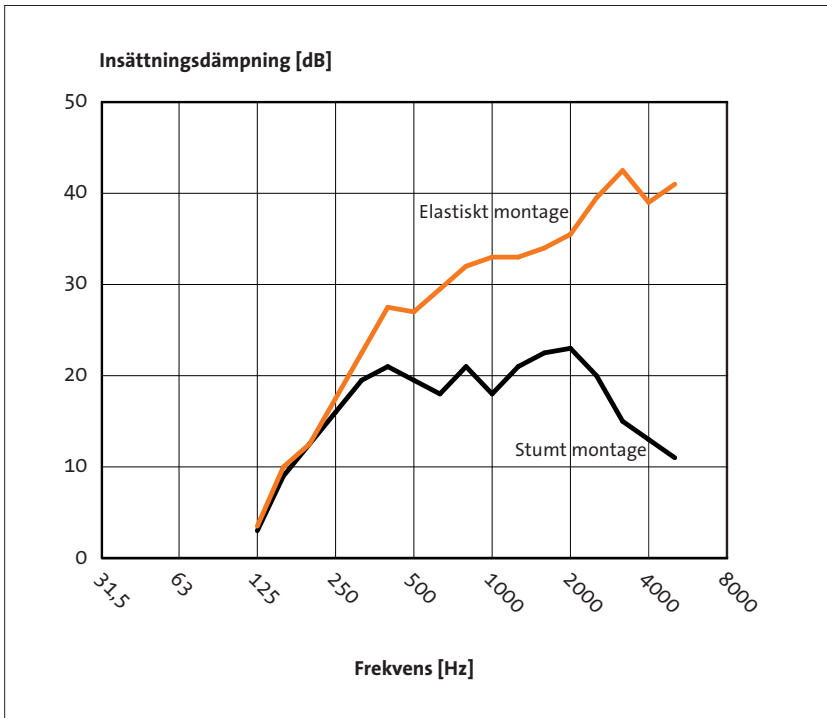
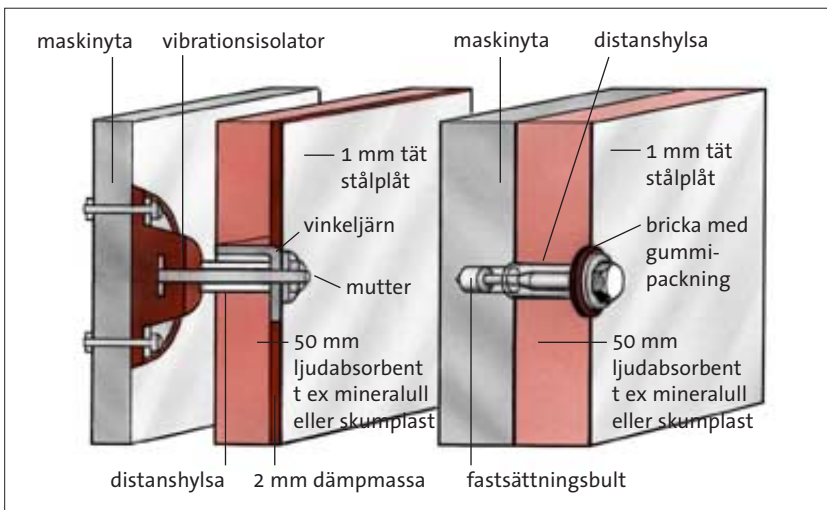


Diagram 32. Insättningsdämpning hos avstrålningskydd runt maskin med dimensionerna 1 x 0,6 x 0,8 meter. 1 mm stålplåt monterad med 50 mm luftspalt fylld med absorptionsmaterial. Av figuren framgår betydelsen av att använda elastiska förbindningar mellan maskinyta och ytskikt.



Figur 57a och b. Exempel på utformning av avstrålningskydd

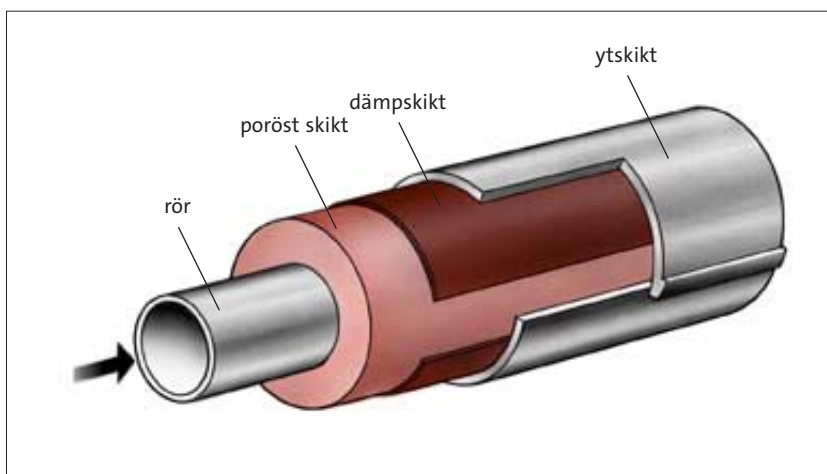
NÅGRA REGLER OCH RÅD FÖR TILLÄGGSISOLERING

- Undvik stumma kontakter mellan ursprunglig vägg och ytskikt. Nödvändig stagning ska ske punktvis eller med elastisk koppling.
- Utför tilläggsisoleringens ytskikt med så liten styvhet som möjligt. Slät plåt är gynnsammare än korrugerad. Välj dämpat material som stålplåt med dämpmassa, sandwichplåt (så kallad MPM-plåt) eller liknande.
- Tänk på att värmeisoleringseffekten kan ge problem, exempelvis kan oljan i en tilläggsisolerad kuggväxel behöva kylas.

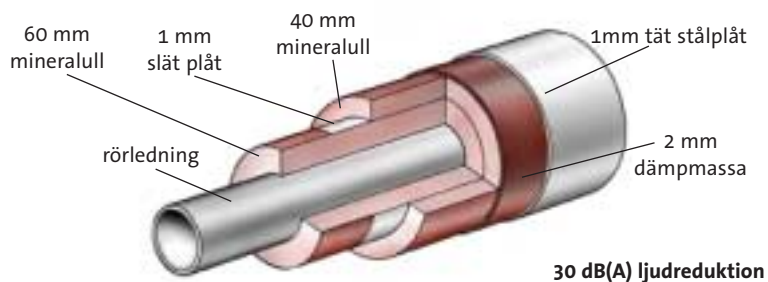
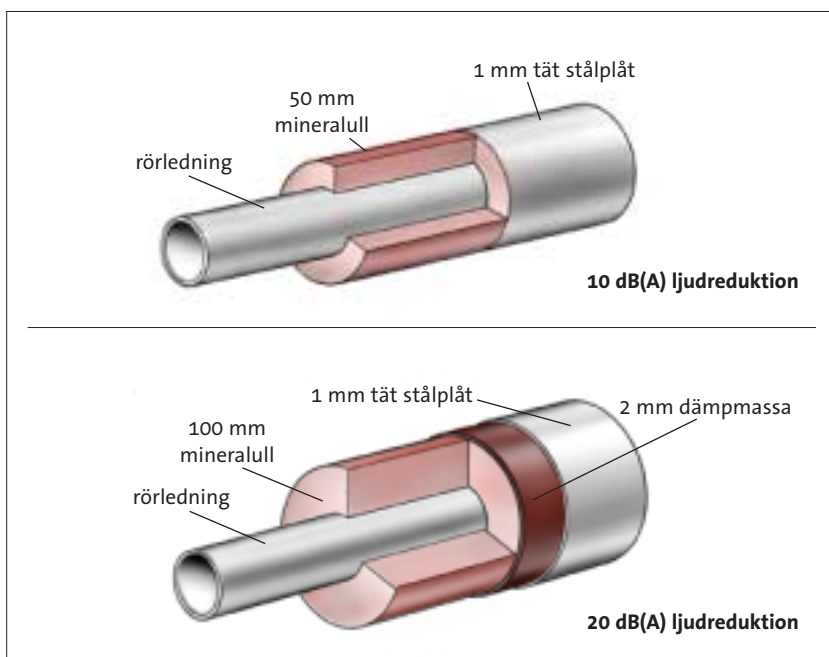
I figur 57 visas några exempel på utföranden.

ISOLERING AV RÖRLEDNINGAR

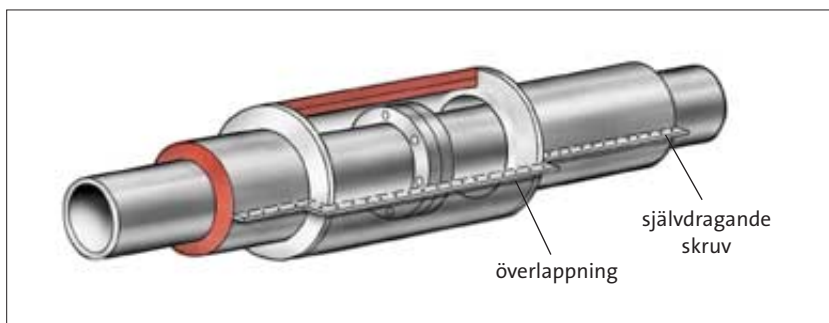
I figurerna 58–60 visas några exempel på tilläggsisolering av rörledning. Isoleringen fyller ofta två funktioner; värmeisolering och ljudisolering. De uppgivna värdena för ljudreduktion är enbart indikationer eftersom tilläggsisoleringens effekt i hög grad är beroende av de faktorer som nämnts ovan.



Figur 58. Principiell uppbyggnad av rörisolering



Figur 59a–c. Några exempel på rörisoleringar



Figur 60. Exempel på isolering av rörskarv

Ljuddämpare

Förbränningsmotorer och flödesmaskiner som fläktar, pumpar, kompressorer, turbiner med mera alstrar ljud som sprids i anslutna rör och kanaler. Ljud alstras också då luft eller annan gas strömmar i rörsystem med ventiler, tvära krökar och andra störningar av flödet. För att minska ljudöverföringen är det ofta nödvändigt att det aktuella systemet förses med ljuddämpare. Med en ljuddämpare menas vanligen en anordning genom vilken en konstant ström av en gas eller vätska kan passera utan större tryckfall medan bullret utsätts för dämpning. Ett mått på ljuddämparens dämpningsegenskaper är reduktionstalet D_t

$$D_t = L_{w1} - L_{w2} \quad [dB] \quad \text{[Formel 48]}$$

där

L_{w1} = ljudeffektnivån in i ljuddämparen.

L_{w2} = ljudeffektnivån ut från ljuddämparen till en reflexionsfri kanal.

Reduktionstalet är en för dämparen karakteristisk konstant oberoende av det system i vilket den är inkopplad. I praktiken påverkas dämparens uppförande både av ljudkällans och anslutna kanalers akustiska egenskaper. För att ange ljuddämparens effekt i det aktuella systemet används insättningsdämpningen D_i .

$$D_i = L_{w1} - L_{w2} \quad [dB] \quad \text{[Formel 49]}$$

där

L_{w1} = ljudeffektnivån genom någon del av kanalsystemet utan ljuddämpare.

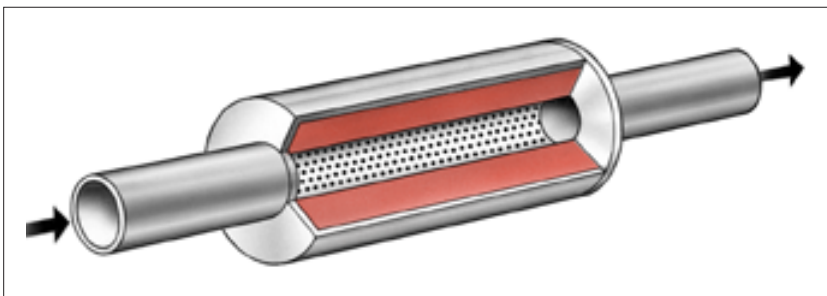
L_{w2} = ljudeffektnivån genom samma del av kanalsystemet med ljuddämpare (någonstans efter dämparen).

Reduktionstalet och insättningsdämpningen är lika stora om både ljudkällan och anslutna kanaler är reflektionsfritt anpassade till dämparen. Dämpningen är frekvensberoende och anges vanligen i oktav- eller tersband.

ABSORPTIONSLJUDDÄMPARE

Den vanligaste typen av ljuddämpare är absorptionsdämparen där ljudabsorberande material upptar energi ur den ljudvåg som passerar genom kanalen eller rörledningen. Figur 61 visar ett exempel på en cylindrisk absorptionsljuddämpare. Absorbenten är försedd med ett ytskydd av perforerad plåt mot den genomströmmande luften eller gasen för att förhindra att delar av absorbenten rycks loss.

Exempel på insättningsdämpning hos en cylindrisk absorptionsdämpare visas i diagram 33.



Figur 61. Exempel på utförande av absorptionsljuddämpare

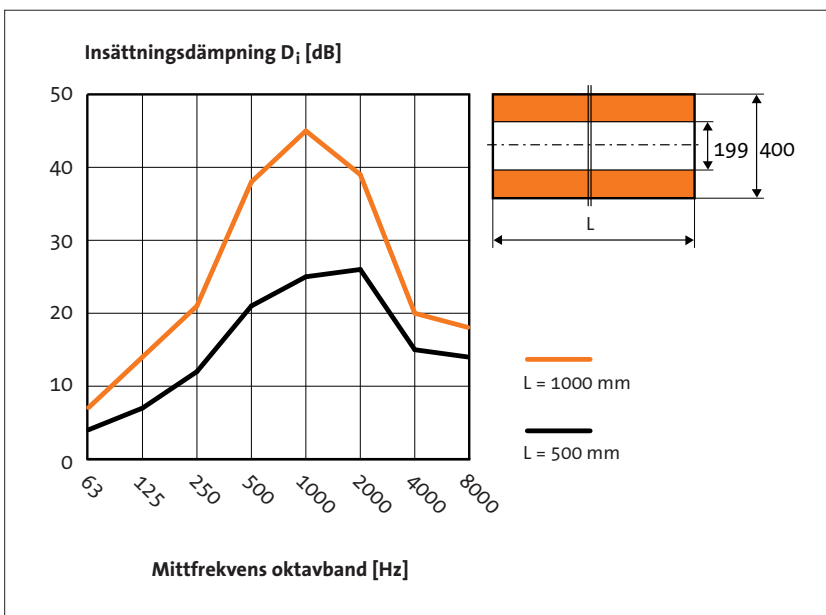


Diagram 33. Exempel på insättningsdämpning hos absorptionsljuddämpare (laboratiormätning).

Ljuddämparen kan även vara utformad som en rektangulär kanal. Dämpningen beror på dämparens längd, den beklädda kanalens tvärdimensioner och beklädnadens absorption. I diagram 34 visas beräknade reduktionstal för en dämpare med kvadratisk tvärsnitt och en dämpare med långsmalt tvärsnitt. Den fria arean är lika stor i båda fallen. Resultatet visar att högre dämpning kan uppnås över ett bredare frekvensområde med ett långsmalt tvärsnitt. Detta förhållande kan utnyttjas genom att sätta in ett antal längsgående skivor i kanalen och på så sätt dela upp kanalen i ett antal smalare kanaler. Denna typ av dämpare brukar kallas baffelljuddämpare. Ett exempel på en sådan visas i figur 62.

Exempel på insättningsdämpningen hos en baffelljuddämpare visas i diagram 35. Absorptionsdämparen ger hög dämpning i frekvensområdet 400–3 000 Hz.

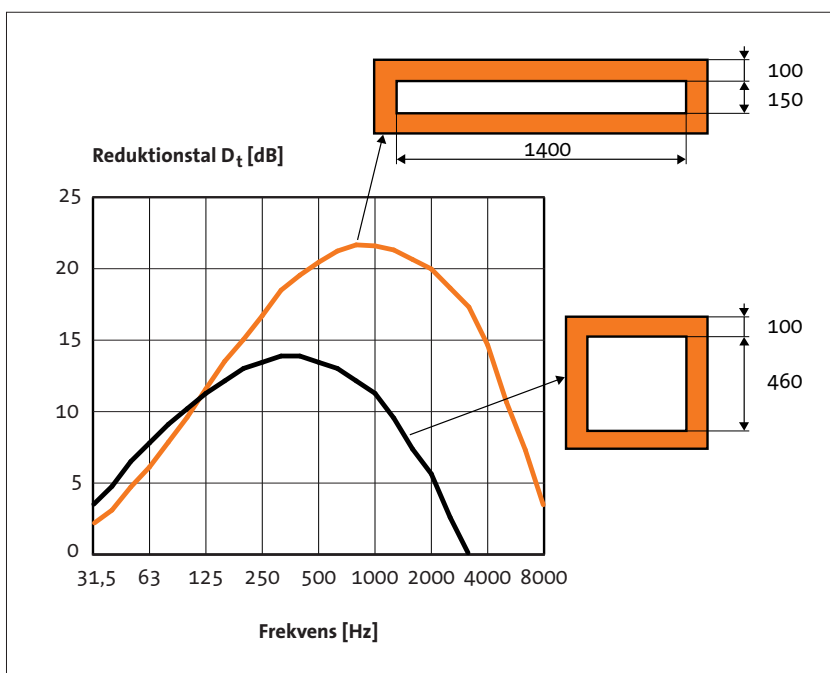


Diagram 34. Beräknade reduktionstal för 1 meter långa kanalljuddämpare med olika tvärsnitt men med samma kanalarea. Glasfiberabsorbent med ytvekt 50 kg/m^3 och ytskydd av perforerad plåt med 33 procent öppen yta.

Insättningsdämpning D_i [dB]

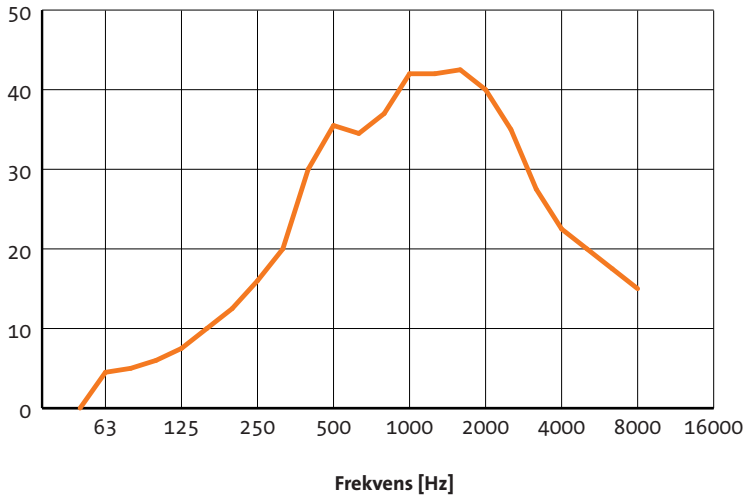
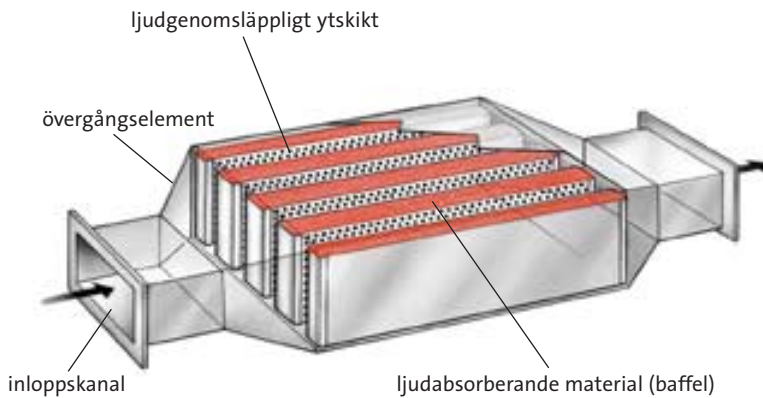
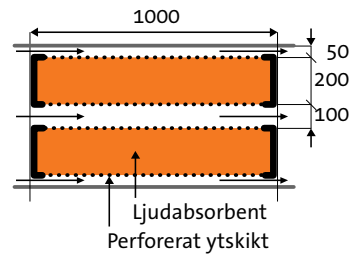


Diagram 35. Exempel på insättningsdämpning hos baffeljuddämpare (laboratiemätning)

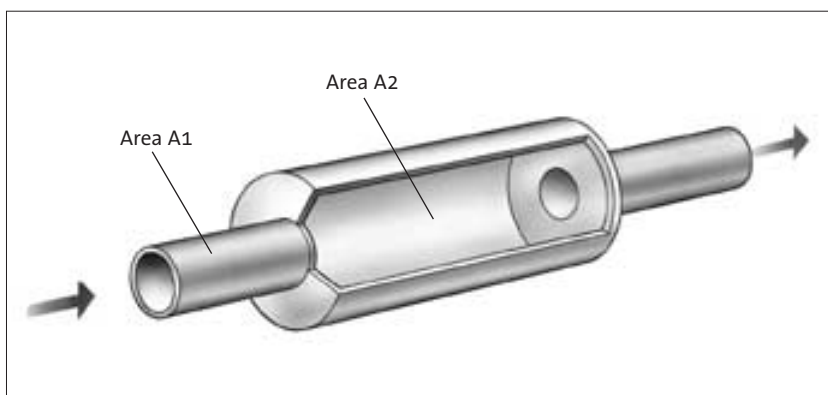


Figur 62. Exempel på utförande av baffeljuddämpare

En viktig faktor vid val av dämpare är – förutom dämpningen – tryckfallet genom ljuddämparen. Även den egenljudalstring som orsakas av luftflödet kan vara av betydelse. Leverantörerna kan lämna uppgift om detta.

REFLEKTIONSLJUDDÄMPARE

En kanal som lokalt utvidgas till en eller flera så kallade expansionskammare fungerar som en reflektionsljuddämpare (se figur 63), vilken reflekterar ljudenergin tillbaka till källan.



Figur 63. Exempel på utförande av reflektionsdämpare (expansionskammare)

Dämpningen hos en enkel expansionskammare beror på förhållandet A_2/A_1 , där A_2 respektive A_1 betecknar tvärsnittsarean för kammaren respektive rörledningen. Dämpningen för en reflektionsljuddämpare är relativt smalbandig. Den är störst för ljud med frekvenser där kammarens längd utgör udda multiplar av en kvarts våglängd. För frekvenser där längden utgör multiplar av en halv våglängd erhålls ”nollställen” där man inte får någon dämpning. Exempel på beräknat reduktionstal för en expansionskammare visas i diagram 36.

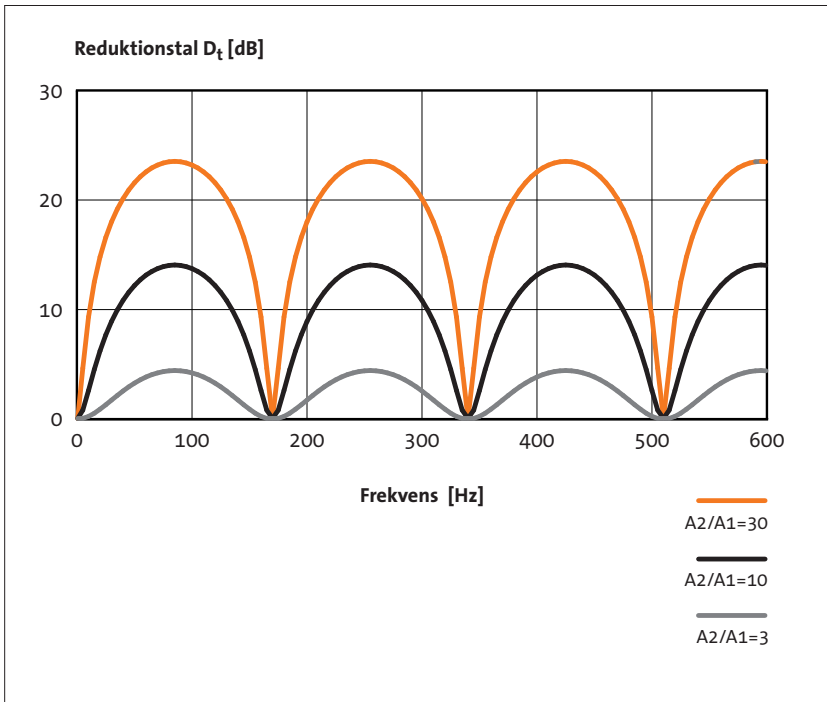
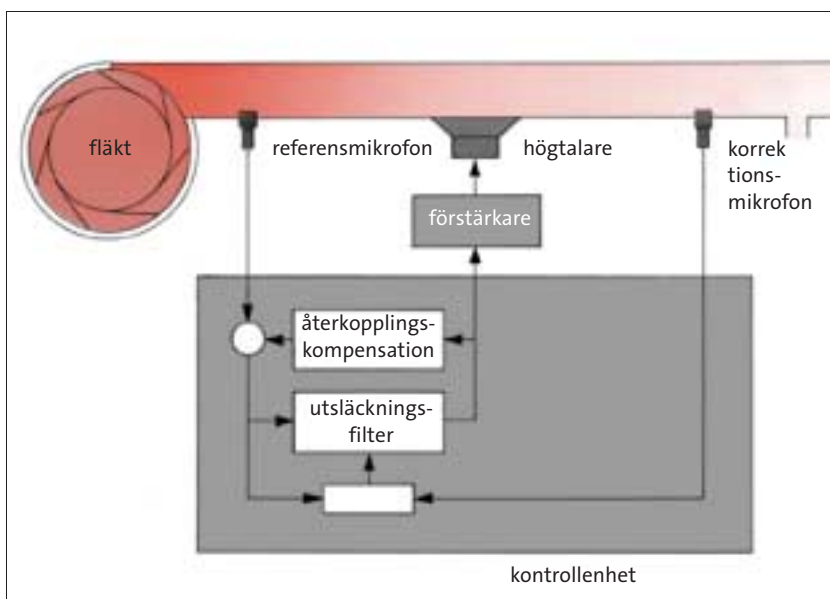


Diagram 36. Exempel på beräknat reduktionstal för en 1 meter lång expansionskammare vid olika areaförhållanden

Dämpningen kan förbättras och nollställena utplånas genom att kammarens väggar förses med ljudabsorberande material. Vid seriekoppling av olika långa kammare kan man få dämpningen att innefatta ett större frekvensområde. I vissa sammanhang kombineras även reflektions- och absorptionsluddämpare.

En reflektionsdämpare bör alltid dimensioneras noga med hänsyn till ljudets frekvenssammansättning. Denna dämpartyp används framför allt vid dominerande lågfrekvent buller, exempelvis kolvkompressorer, blåsmaskiner och förbränningsmotorer. Reflektionsdämparen är även lämplig i system där man inte kan använda porösa material, exempelvis hydraulsystem eller gasledningar med hög strömningshastighet.



Figur 64. Exempel på uppbyggnad av system för aktiv dämpning av fläktbuller

AKTIVA LJUDDÄMPARE

Genom att på elektronisk väg alstra ett ljud som är i motfas till det aktuella bullret och sända ut detta ljud via högtalare är det möjligt att få en utsläckning av bullret, exempelvis i en ventilationskanal. Figur 64 visar ett exempel på hur ett sådant aktivt ljuddämpningssystem kan vara uppbyggt. Tekniken fungerar i huvudsak på lågfrekvent buller upp till cirka 500 Hz. I praktiska tillämpningar har man fått bullerminskningar av bredbandigt lågfrekvent buller på upp till cirka 20 dB. Vid dämpning av enstaka rena toner har man uppnått förbättringar på upp till 30 dB.

För att få dämpning över ett brett frekvensområde kombineras vanligen den aktiva lågfrekvensdämparen med en konventionell absorptionsljuddämpare. Tekniken är även applicerbar på andra bullerkällor som förbränningsmotorer, pumpar, kompressorer och liknande som alstrar ljud i anslutna rör och kanaler samt på buller i slutna utrymmen – exempelvis inuti bilar och flygplan.

STRÖMNINGSLJUDDÄMPARE

För att dämpa strömningsljud kan de ljuddämpare som beskrivits ovan av absorptions- respektive reflektionstyp monteras i systemet eller på luftutsläpp. Absorptionsdämparen dämpar över ett bredare frekvensområde medan reflektionsdämparen i första hand dimensioneras för hög dämpning inom ett begränsat frekvensområde för att exempelvis dämpa en ren ton.

När det gäller dämpning av luftutsläpp från pneumatikutrustning används dels ljuddämpare av sintrad metall eller plast, dels filter- och centralljuddämpare.

Sintrad metall eller plastljuddämpare kan minska ljudnivån med 10–20 dB(A). Filterljuddämpare kan ge en dämpning med 25–30 dB(A) och en centralljuddämpare kan minska bullret från använd tryckluft, som släpps ut i fria luften, med 35 dB(A) eller mer.

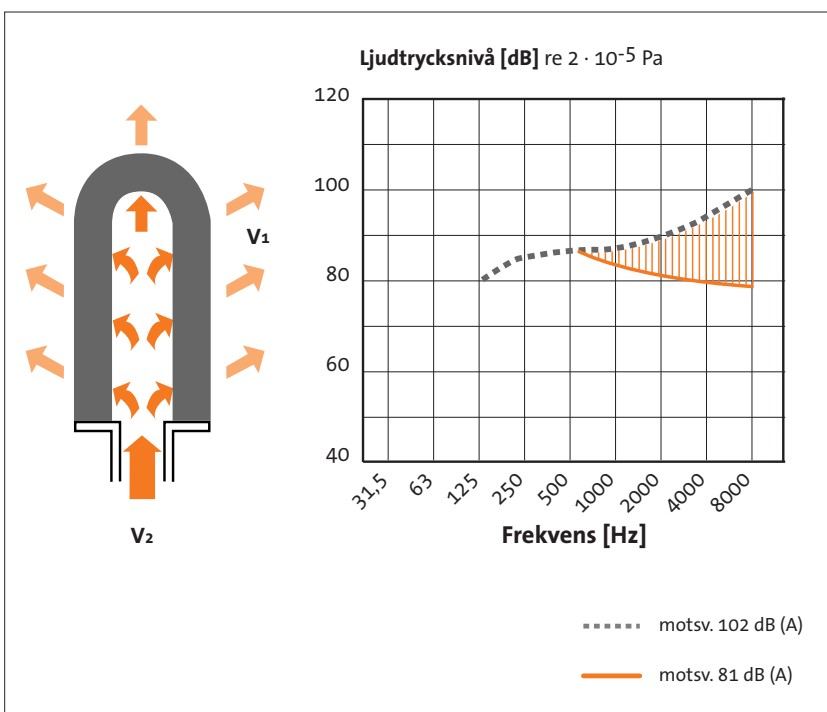


Diagram 37. Exempel på sintrad pneumatikventilljuddämpare. Luftutströmningen från en reglerventil i en förpackningsmaskin orsakade korta ljudnivåtoppar om 102 dB(A). Lufttrycket var 6 bar och mätavståndet 1 meter. En sintermetalldämpare (diffusor) anslöts till utloppet. Luft hastigheten reducerades då från v_2 till v_1 och ljudnivån sjönk till 81 dB(A).

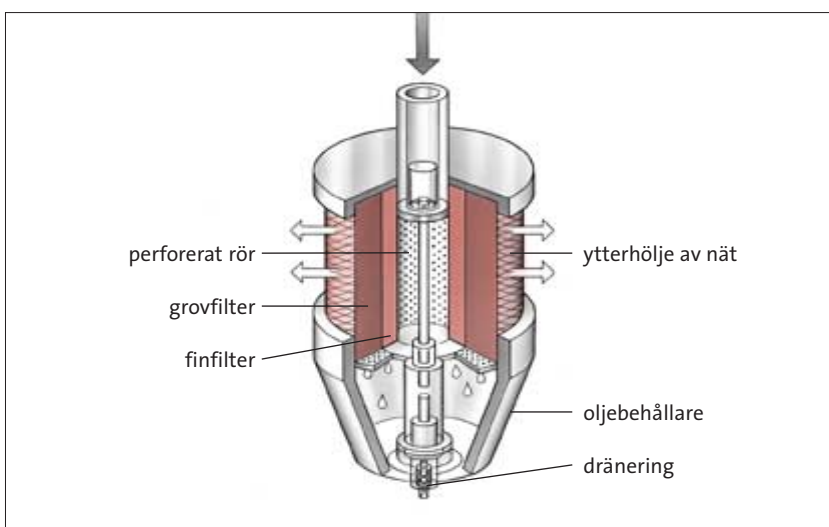
SINTRAD DÄMPARE

Ljuddämpare av sintrad metall eller plast används ofta vid friblåsande utsläpp direkt monterade på ventiler och dylika komponenter. Luften passerar genom det porösa materialet (se figur i diagram 37, sidan 181). Då luften utvidgar sig i den sintrade dämparens klina kanaler kyls luften och om den är fuktig finns risk för att den fryser och sätter igen dämparen. Det finns även risk för igensättning av dämparen om luften innehåller smutspartiklar. På marknaden finns ett flertal fabrikat av filterdämpare som inte har denna nackdel.

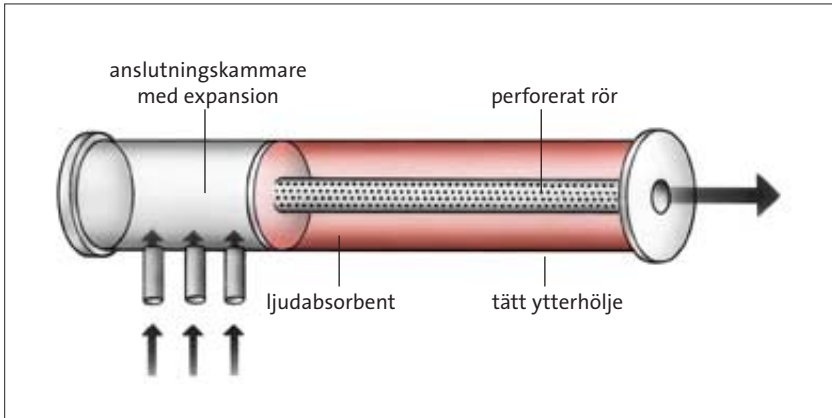
Sintrade dämpare eller andra dämpare där det finns risk för igensättning får inte användas i excenterpressar för manuellt arbete. Sintrade ljuddämpare är förbrukningsmaterial som regelbundet ska bytas ut.

FILTERLJUDDÄMPARE

En nackdel med sintrade dämpare är de risker med oljedimma som kan uppstå. Vid kraftig inblandning av olja i tryckluften slås oljan sönder i dämparen till fina partiklar som sedan sprids i lokalen och det hygieniska gränsvärdet för oljedimma kan överskridas. En lösning för att klara oljeproblem är att samla utsläppen från exempelvis ventiler till en centralt monterad filterljuddämpare. Detta kräver dock mer utrymme och är mest lämpligt att använda för produkter som har många utsläpp av friblåsande tryckluft.



Figur 65. Exempel på utförande av filterljuddämpare



Figur 66. Exempel på centralljuddämpare av typ absorptionsdämpare för flera tryckluftsutsläpp

CENTRALLJUDÄMPARE

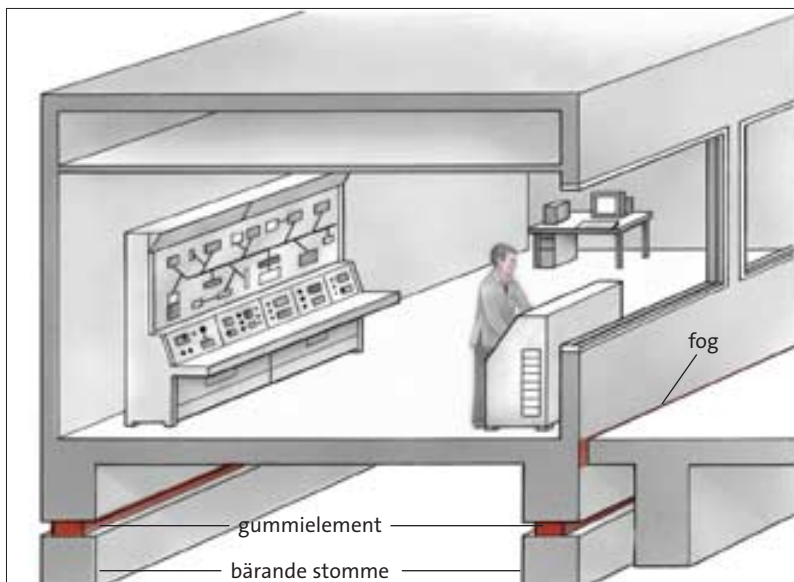
Ett alternativ i nya produktionslokaler kan vara att via slangar samla samtliga luftutsläpp från maskinerna i lokalen och ansluta dessa till en centraldämpare av absorptionstyp. Med riktig dimensionering kan man få ett relativt lågt tryckfall.

Maskinrum

Vissa typer av bullrande maskiner som luft- och kylkompressorer, fläktar och blåsmaskiner kan man vanligtvis placera i separat maskinrum eftersom de inte fordrar kontinuerlig tillsyn. Då ljudnivån i dessa maskinrum ofta är hög, cirka 90–100 dB(A), kan det vara gynnsamt att montera ljudabsorbenter i tak och på väggar.

Det är också nödvändigt att observera behovet av luftljudsisolering till angränsande lokaler. När väggar och bjälklag består av betong är isoleringen normalt tillräcklig.

Det är ofta nödvändigt med vibrationsisolering för dessa maskintyper då vibrationerna från dem kan ge upphov till kraftigt stomljud i byggnaden.



Figur 67. Vibrationsisolerad byggnadsenhet

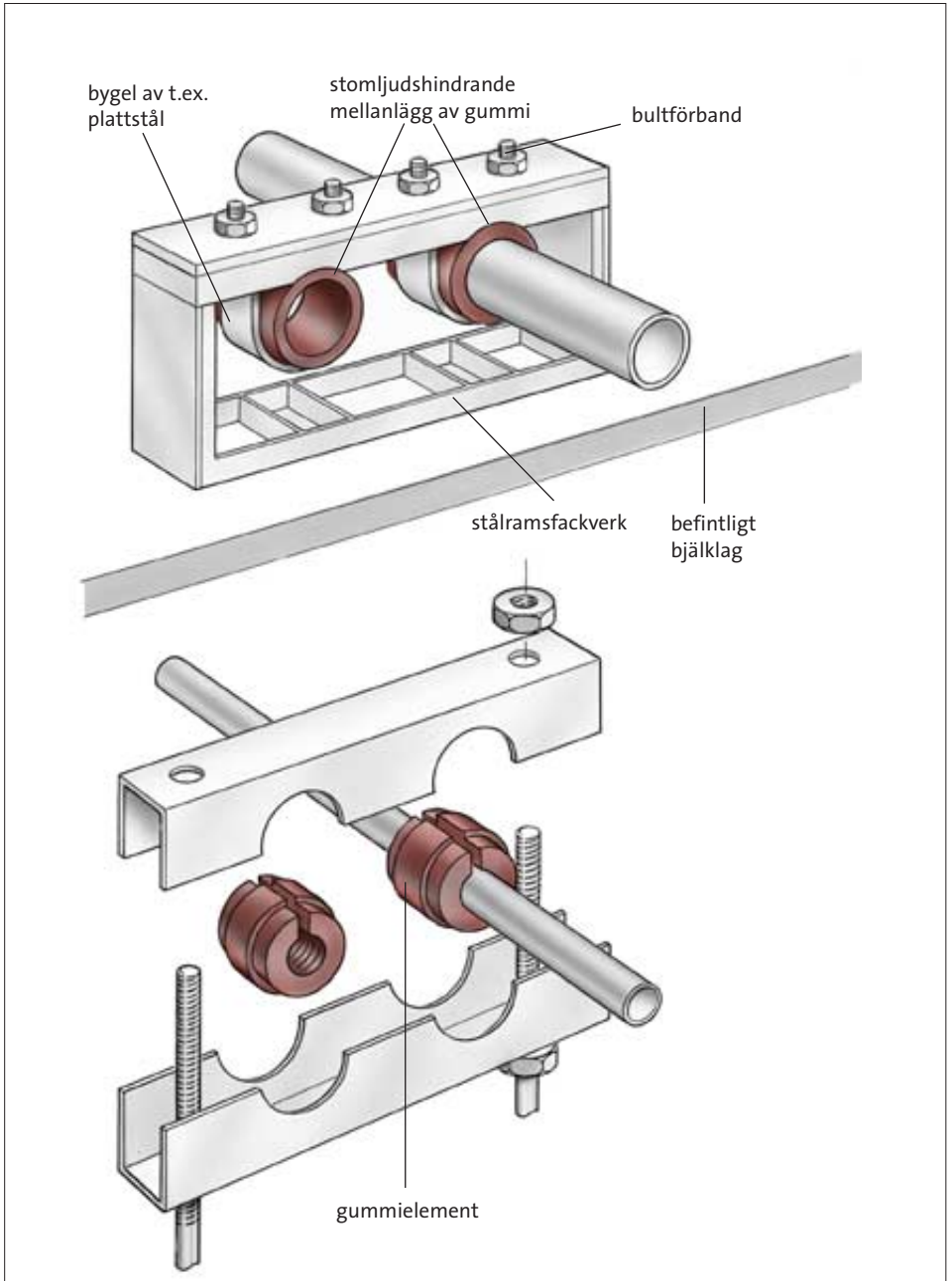
Hindra utbredning av stömljud

När man har ljudkänsliga lokaler i en byggnad måste man ta hänsyn till både luftljuds- och vibrationsstörningar från maskininstallationer. Vibrationer och stömljud fortplantas med mycket låg dämpning och kan därför spridas över stora avstånd.

Ofta behöver man vidta speciella åtgärder. Fabrikskontor, kontrollrum eller liknande placeras lämpligen i separat byggnadsdel (avskild med en fog från den vibrerande byggnadskroppen) eller i en byggnadsenhet som är vibrationsisolerad, se figur 67.

Vibrationsisolering av maskiner

Det effektivaste sättet att undvika vibrationer i en byggnadsstomme är vanligen att montera vibrerande maskiner på vibrationsisolatorer. Vibrationsisolering behandlas i kapitlet "Vibrationsisolering", sidan 127.



Figur 68. Exempel på stomljudsisolering av rörledningar

Figur 69. Exempel på stomljudsisolering av rör

Vibrationsisolering av komponenter

I många fall kan inte rörledningar som är anslutna till en vibrerande pump, kompressor eller liknande avisoleras tillräckligt effektivt. Man måste då förhindra stumma kontakter mellan rör och byggnad genom att utföra rörupphängningen elastisk, se exempel i figurerna 68 och 69.

Tilläggsåtgärder

Ofta är det nödvändigt att förändra befintliga maskinkonstruktioner för att erhålla godtagbara ljudnivåer. Om det är möjligt bör sådana åtgärder genomföras före leverans/montage av maskin, eftersom arbetet normalt försvåras när maskinen väl står på plats.

Vid inköp av nya maskiner bör man således redan vid upphandlingen komma överens med leverantören om förändringar av grundkonstruktionen, vilka kan utföras i samband med tillverkningen. I EU:s maskindirektiv finns bland annat krav på att maskiner ska vara CE-märkta och att bruksanvisningen ska innehålla information om utsläpp av luftburet buller (se även kapitlet ”Planering av nya anläggningar”, sidan 206). Det innebär att man redan före inköp kan få vissa uppgifter om maskinens ljuddata.

För befintliga maskiner kan vissa förändringar utföras i samband med att de renoveras på verkstad medan andra förbereds så att förändringarna kan införas när maskinen ställs upp igen.

Referenser

- Beranek, L. L. (ed.); Vér I. L. (ed.): *Noise and vibration control engineering: principles and applications*. New York, Wiley, 1992.
- Maskinbuller*. IVA meddelande nr 135. Stockholm 1963.
- Bell, L. H.; Bell, Douglas H.: *Industrial noise control – fundamentals and applications – 2 ed.* New York, Decker, 1994.
- Tokhi, M.O.; Leitch, R.R.: *Active noise control*. Oxford, Clarendon Press 1992.
- Bullerdata för maskiner och komponenter – handbok 1, 2 och 3*.
Verkstädernas förlag 1989, 1991 resp. 1992.
- ISO 15667:2000 *Acoustics – Guidelines for noise control by enclosures and cabins*.
- ISO 14163:1998 *Acoustics – Guidelines for noise control by silencers*.
- ISO/CD 15665 *Acoustics – Acoustic insulation for pipes, valves and flanges*.
- SS-EN ISO 11690-2 *Akustik – Rekommendationer vid utformning av tysta arbetsplatser – Del 2: Åtgärder för bullerbegränsning*.

Hörselskydd

Även om ljuddämpande åtgärder vidtagits i nyproducerade och befintliga anläggningar, kan ljudnivån vara så hög att det finns risk för hörselskada. Man behöver då använda hörselskydd. Men det bör betonas att användning av hörselskydd inte ska ses som en permanent lösning på ett bullerproblem, utan som en tillfällig lösning i avvaktan på ytterligare buller begränsande åtgärder.

Användning

Om bullerexponeringen för arbetstagarna överstiger de gränsvärden som anges i Arbetsmiljöverkets/Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om buller ska hörselskydd som är anpassade för ändamålet användas och underhållas väl. De gränsvärden som anges är:

Ekvivalent ljudnivå under en 8-timmars arbetsdag	85 dB(A)
Maximal ljudnivå (med undantag för impuls ljud)	115 dB(A)
Impulstoppvärde	140 dB(C)

Även vid ljudnivåer omkring 75–80 dB(A) kan användning av hörselskydd vara motiverad, eftersom särskilt känsliga personer kan riskera hörselskada vid exponering för lägre nivåer än de angivna gränsvärdena.

För att uppnå angiven skyddseffekt är det viktigt att man tar på hörselskydden i enlighet med instruktionerna i tillverkarens bruksanvisning. Det är också viktigt att skydden tas på innan man går ut i en bullrig miljö. Bästa möjliga dämpning får man genom att skyddens läge finjusteras när man

befinner sig i den bullriga miljön. Justering av skyddet bör upprepas under användningstiden. Det är mycket viktigt att skydden används hela tiden i miljöer med hörselskadligt buller. Även om skydden bara tas av under en kort tid i en sådan miljö, minskar skyddseffekten för hela arbetsdagen drastiskt.

EXEMPEL: Ett hörselskydd med 30 dB dämpning ger en skyddseffekt på bara 12 dB om man tar det av sig en halvtimme om dagen under en 8-timmars arbetsdag. Om skyddet bara används under halva arbetsdagen blir skyddseffekten endast 3 dB.

Indelning av hörselskydd

Hörselskydd kan i huvudsak delas in i två huvudgrupper, *kåpor* och *proppar*. Inom varje grupp finns ett flertal typer med olika utformning, egenskaper och användningssätt. Skydden kan vara antingen enbart passiva eller ha någon typ av tilläggsfunktion. För vissa ändamål finns även *ljuddämpande hjälmar*.

Typer

HÖRSELKÅPOR

Hörselskydd av kåptyp består av två kåpor som omsluter ytterörat. Kåporna hålls ihop med en bygel som vanligen är av metall eller plast. De är försedda med en tätningsring som tätar mot huvudet och har vanligen ljudabsorberande material på insidan. Bygeln kan vara utförd som hjässbygel, nackbygel eller hakbygel. Det finns också skydd med universalbyglar som kan användas i valfri position.

HJÄLMMONTERADE HÖRSELKÅPOR

Hjälmmonterade kåpor består av separata kåpor på armar som är fästa på en skyddshjälm. Armarna kan justeras så att kåporerna kan placeras över öronen. För speciella ändamål monteras även kåpor inuti hjälmar, till exempel flyghjälmar.

HJÄLMAR

Ljuddämpande hjälmar täcker en stor del av huvudet samt ytterörat. De kan begränsa överföringen av luftljud till kraniet och därmed minska benledning till innerörat.

HÖRSELPROPPAR

Hörselproppar är skydd som placeras i hörselgången eller som täcker hörselgångens mynning. De kan vara avsedda att användas flera gånger eller endast en gång. *Proppar som är färdigformade* kan sättas in i hörselgången utan att de behöver formas först. De är vanligen utförda i glasdun, silikonkummi eller plast och kan finnas i olika storlekar. *Individuella proppar som är färdigformade* tillverkas efter avgjutning av hörselgången. *Proppar som formas av användaren* är utförda i material som kan komprimeras innan de sätts in i hörselgången. Propparna expanderar därefter och tätar till hörselgången.

HÖRSELPROPPAR MED BYGEL

Det finns hörselproppar med bygel. De är formade i förväg eller kan formas av användaren och de är fästa på en bygel som pressar in dem i hörselgången eller mot hörselgångens mynning.

Funktion

PASSIVA SKYDD

Passiva skydd minskar ljudöverföringen till trumhinnan genom att reflektera och/eller absorbera ljudet. Dämpningens storlek är densamma oavsett vilken nivå ljudet har. I vissa extremfall till exempel vid kraftiga impulsljud kan avvikelser förekomma. Ett passivt skydd utgör alltid grunden för skydd med någon form av tilläggsfunktion.

NIVÅBEROENDE SKYDD

Hos nivåberoende skydd varierar dämpningen beroende på den omgivande ljudnivån. Syftet är att skydda mot impulsljud eller tillfälliga ljud med höga nivåer men medge kommunikation under tystare perioder. Den vanligaste typen är hörselkåpor försedda med mikrofon, förstärkare

och högtalare. Vid låga ljudnivåer överförs ljudet utan dämpning och kan vanligen även förstärkas vid behov. Med ökande ljudnivå begränsas förstärkningen så att hörselskadliga nivåer från högtalaren undviks och kåpan övergår gradvis till att fungera som en passiv hörselskyddskåpa.

AKTIVA SKYDD

I aktiva skydd används elektroakustiska komponenter för att alstra ljud med motsatt fas (motljud). Den aktiva funktionen ökar skyddets dämpning huvudsakligen vid lägre frekvenser medan högre frekvenser tas om hand av skyddens passiva funktion.

KOMMUNIKATIONSSKYDD

Det finns hörselskydd, vanligen kåpor, som via inbyggda hörtelefoner och elektronik ger möjlighet till radiolyssning och/eller kommunikation, antingen trådlöst eller via kabel.

SKYDD MED LIKFORMIG DÄMPNING

Det finns både proppar och kåpor som ger ungefär samma dämpning över ett brett frekvensområde vilket kan ge förbättrade möjligheter till kommunikation och en naturligare tonbalans.

KOMBINATION AV OLIKA FUNKTIONER

De olika funktionerna enligt ovan kan kombineras på olika sätt. Exempel på kombinationer är kommunikationsskydd/nivåberoende skydd och kommunikationsskydd/aktiva skydd.

Val och utprovning

KÅPOR

Kåporna måste vara tillräckligt stora i förhållande till örat. Hjäss- och nackbygel ska justeras så att kåporna ligger väl an mot huvudet. Den som bär skydden måste informeras om att hår, mösskanter och dylikt inte får placeras mellan skyddet och huvudet eftersom dämpningen då försämras avsevärt.

PROPPAR

Passformen på - i förväg formade - proppar av gummi, plast eller dylikt är speciellt viktig. Det är lämpligt att utprovningen utförs av personer som kan avgöra om det föreligger medicinska hinder att bära en viss typ av skydd.

BULLERSITUATION

Vid val av hörselskydd är det viktigt att hänsyn tas, både till bullrets nivå och dess frekvensinnehåll. Dessutom behöver hörselskyddens dämpningsförmåga vara känd. Den redovisas i hörselskyddens bruksanvisning. Det är också viktigt att undvika alltför hög dämpning eftersom det då finns risk för att kraven på komfort och kommunikation inte blir tillgodosedda (se nedan) vilket kan leda till minskad användning. Det kan därför vara lämpligt att välja hörselskydd så att den A-vägda ljudtrycksnivån under skydden blir cirka 75–80 dB.

Det finns flera metoder för att beräkna den A-vägda ljudtrycksnivån under hörselskyddet. En metod är oktavbandsmetoden vilken utgår från frekvensanalys av bullret i oktav- eller tersband samt skyddens dämpning i oktavband. Metoden är relativt komplicerad och tidskrävande. En enklare metod som ger likvärdiga resultat är den så kallade HML-metoden. Denna metod kräver uppgifter om bullrets A-vägda och C-vägda ljudtrycksnivåer (L_{pA} och L_{pC}) samt hörselskyddens dämpning i form av H-, M- och L-värden. De representerar dämpningen vid höga frekvenser (H), mellanfrekvenser (M) och låga frekvenser (L). Nedanstående tabell 13 kan användas för att bestämma skyddets förväntade dämpning av den A-vägda ljudtrycksnivån.

H	$L_{pC}-L_{pA}$				M	$L_{pC}-L_{pA}$						L	$L_{pC}-L_{pA}$							
	-2	-1	0	1		2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14	15
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
24		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabell 16. Tabell för bestämning av förväntad dämpning

EXEMPEL: Hörfrekvent buller.

Uppmätta ljudtrycksnivåer är $L_{pA} = 99$ dB och $L_{pC} = 100$ dB.

Hörselskyddets dämpvärden är $H = 25$, $M = 22$, $L = 13$ dB.

Gå in i tabellen:

- markera $H = 25$ och $M = 22$ i tabell 16 och dra en linje mellan dessa punkter,
- sök upp $L_{pC} - L_{pA}$ ($100 - 99$) = 1 dB längst upp i tabellen,
- gå härifrån rakt ned i tabellen till linjen mellan punkterna,
- läs av värdet (i detta fall 23 dB),
- skyddet dämpar alltså den A-vägda ljudtrycksnivån med 23 dB.
Nivån på insidan av skyddet förväntas då bli $99 - 23 = 76$ dB (A).

EXEMPEL: Lågfrekvent buller.

Uppmätta ljudtrycksnivåer är $L_{pA} = 95$ dB och $L_{pC} = 107$ dB.

Hörselskyddets dämpvärden är $H = 37$, $M = 30$, $L = 21$ dB.

Gå in i tabellen:

- a) markera $M = 30$ och $L = 21$ i tabell 16 och dra en linje mellan dessa punkter,
- b) sök upp $L_{pC} - L_{pA} (107 - 95) = 12$ dB längst upp i tabellen,
- c) gå härifrån rakt ned i tabellen till förlängningen av linjen mellan punkterna,
- d) läs av värdet (i detta fall 18 dB) och
- e) den förväntade ljudnivån under skyddet blir då $95 - 18 = 77$ dB(A).

Om man bara har tillgång till A-vägd ljudtrycksnivå kan diagram 38 användas för en snabbkontroll av om hörselskyddet ger tillräcklig dämpning. Metoden kan användas i avvaktan på att mätning ska utföras med både A- och C-filter.

Utgå från ett hörselskydd som användaren kan acceptera. Ta sedan reda på den ekvivalenta A-vägda ljudtrycksnivån för en 8-timmars arbetsdag och skyddets H-, M- och L-värden.

EXEMPEL: Uppmätt A-vägd ekvivalent ljudtrycksnivå är 100 dB. Hörselskyddets dämpvärden är $H = 27$ dB, $M = 23$ dB och $L = 14$ dB.

- a) gå in i diagram 38 vid den aktuella ekvivalenta ljudtrycksnivån (100 dB),
- b) gå sedan rakt upp i diagrammet och markera M- och L-värdena,
- c) bestäm bullrets typ genom att jämföra det aktuella bullret med exemplen i tabellerna nedan,
- d) om bullret är av HM-typ följ de diagonala linjerna från M-värdet och avläs förväntat A-vägd ljudtrycksnivå under skyddet (i detta fall 77 dB),
- e) om bullret är av L-typ följ de diagonala linjerna från L-värdet och avläs värdet (i detta fall 86 dB, vilket ligger över gränsvärdet). Man bör då välja ett skydd som har högre dämpning vid låga frekvenser.

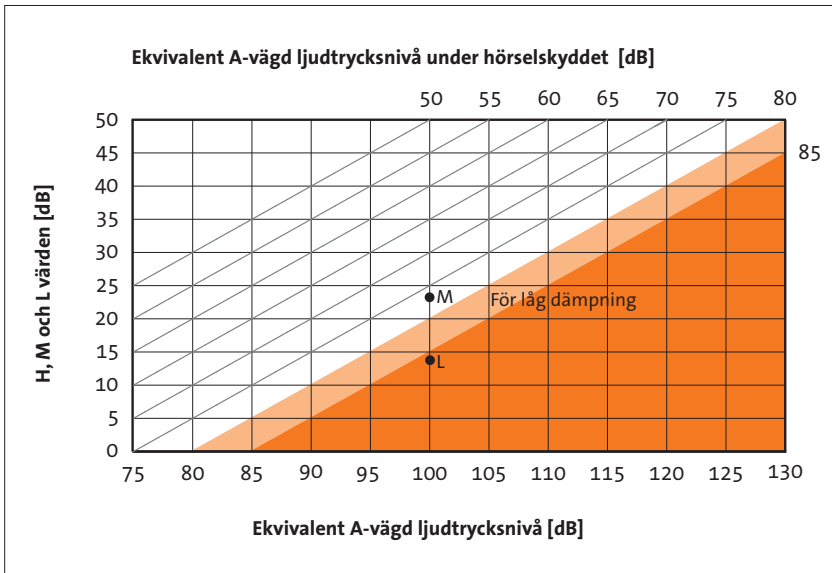


Diagram 38. Diagram för snabbkontroll av förväntad dämpning enligt HML-metoden

Buller typ L	
Bulldozers	Konverterenheter
Motorgeneratorer	Krosskvarnar
Elektriska smältugnar	Kupolugnar
Förbränningsugnar	Masugnar
Glödgningsugnar	Pressgjutmaskiner
Grävmaskiner	Sandblästringsmaskiner
Kolvkompressorer	

Tabell 17a. Exempel på bullerkällor med dominerande lågfrekvent buller

Buller typ HM	
Centrifuger	Mekaniska vävstolar
Flaskpåfyllningsmaskiner	Motorhammare
Fals/vulstmaskiner	Putsning av gjutgods
Gasskärning	Sockertärningsmaskiner
Genomgångsslipmaskiner	Spinnmaskiner
Hydrauliska pumpar	Stötformningsmaskiner
Högtrycksbanmatade rotationspressar	Träbearbetningsmaskiner
Malningsmaskiner	Virk-/stickmaskiner

Tabell 17b. Exempel på bullerkällor med dominerande hög- eller mellanfrekvent buller

I bullersituationer där bakgrundsnivån är måttlig men där vissa bullriga arbetsmoment förekommer kan det vara lämpligt att hela tiden använda proppar med måttlig dämpning och när det behövs förstärker man skyddet med en kåpa som placeras över proppen. Ett annat alternativ är att använda nivåberoende skydd.

Vid arbete där bullernivån är mycket hög kan en kombination av propp och kåpa behövas. Det bör observeras att man inte kan räkna fram dämpningen genom att addera de båda skyddens dämpning. Dämpningsdata för kombinationen bör därför finnas. Vid höga ljudnivåer kan det buller som överförs via kraniet, så kallade benledning, bli så starkt att det finns risk för hörselskada. Det kan då vara nödvändigt att använda ljuddämpande hjälmar. I vissa extremt bullriga miljöer kan bullret vara så starkt att inget hörselskydd eller kombination av hörselskydd ger tillräcklig dämpning. Den enda möjlighet som då finns är att förkorta exponeringstiden.

KOMFORT

I verksamheter där personer utsätts för exponering av buller med höga ljudnivåer är det viktigt att hörselskydden bärs oavbrutet, eftersom korta avbrott starkt minskar den avsedda skyddsverkan. Därför är det viktigt att välja bekväma hörselskydd som kan bäras hela arbetsdagen. Vid användning av hörselproppar är deras anpassning till hörselgångens storlek och form viktig. Den enskilde användaren måste ges möjlighet att prova och välja mellan flera olika typer av hörselskydd som samtliga uppfyller dämpningskraven för den aktuella arbetsplatsen. Det är särskilt viktigt att hjälmmonterade hörselskydd provas ut individuellt. Här har flera faktorer betydelse, som hörselskyddskåpens storlek, hjälmens bredd och hur högt på huvudet hjälmen sitter.

För att ge möjlighet till variation är det lämpligt att det alltid finns tillgång till flera typer av skydd som är lämpliga i den aktuella miljön.

KOMMUNIKATION

För att upprätthålla god talkommunikation och förmågan att höra varningssignaler är det viktigt att undvika alltför hög dämpning. Detta är speciellt viktigt för personer med nedsatt hörsel. Skydd med extremt hög dämpning kan också bli obekvämare att bära än andra som ger lägre men ändå tillräcklig dämpning. Kommunikationen kan i många fall underlättas genom användning av skydd med likformig dämpning. På arbetsplatser där varningssignaler förekommer är det lämpligt att hörselskyddsanvändarnas uppfattningsförmåga av dessa testas under normala arbets- och driftsförhållanden.

MILJÖFAKTORER

Vid val av hörselskydd är det viktigt att även den omgivande miljön beaktas. Olika val av skydd kan exempelvis behöva göras om skyddet ska användas inomhus eller utomhus. Fysiskt tungt arbete, hög temperatur och/eller hög luftfuktighet kan orsaka stark svettning under hörselskyddskåpor. Proppar kan då vara att föredra. För att avhjälpa problemet kan kåpor kompletteras med en tunn, absorberande papperskrage som täcker tätningssringen. Detta kan dock påverka kåpornas dämpning. Därför bör dämpningsmätningar med sådan krage finnas. Vätskefyllda tätningssringar kan

också vara mer bekväma i varm miljö jämfört med andra tättningsringar. Arbete i dammig omgivning kan medföra smutsbeläggning på kåpornas tättningsringar och orsaka hudirritation. I sådana miljöer kan engångspropplar eller kåpor med utbytbara papperskragar vara att föredra. Det är också viktigt att hörselskyddet tas på i ren miljö och rengörs regelbundet.

Vid arbeten där snabba förändringar av kroppsläget är nödvändigt är det viktigt att skyddets funktion inte försämras och att komforten bibehålls.

KOMBINATION MED ANNAN PERSONLIG SKYDDSUTRUSTNING

När man kombinerar hörselskydd med annan personlig skyddsutrustning är det viktigt att se till att hörselskyddets dämpning inte försämras på grund av kombinationen.

Hörselskydd ska bäras under skyddskläder och huvor. Det är viktigt att andningsskyddets band inte hindrar hörselkåpans tättningsringar från att täta mot huden. I stället för hörselkåpa kan det då vara bättre att använda propplar.

Glasögonskalmar kan drastiskt försämma dämpningsförmågan om de hindrar kåpans tättningsringar från att sluta tätt mot huden. För att undvika detta kan man använda glasögon med band i stället för skalmar eller propplar i stället för kåpor. En annan lösning kan vara att i kombination med kåpor med breda och mjuka (eventuellt vätskefyllda) tättningsringar använda glasögon med tunna skalmar som sluter tätt mot huden. Dämpningsmätningar för kombinationen kåpa/glasögon bör finnas tillgängliga.

När det gäller kombinationen hörselskydd och skyddshjälm ska man alltid välja sådana kombinationer som är särskilt utprovade och godkända tillsammans. Det är viktigt att se till att hörselskyddskåpan inte kommer i direkt kontakt med hjälmskalet.

Vid användning av visir är det viktigt att visiret är tillräckligt brett och att visirets huvudställning inte kommer i kontakt med någon del av hörselskyddet, till exempel bygeln. I stället kan det vara bättre att använda propplar utan bygel.

Valet av hörselskydd bör följas upp inom 1–4 veckor. Vid förändring av verksamhet eller arbetsuppgifter är det också lämpligt att genomföra uppföljande bullermätningar för kontroll av avvikelser.

Märkning

Hörselkåpor ska, förutom CE-märkning, vara märkta med följande information:

- Tillverkarens namn, varumärke eller annan identifikation.
- Modellbeteckning.
- Om kåporna är avsedda att bäras i en speciell position: markering som anger *framsida* och/eller *ovansida* och/eller *vänster* och *höger kåpa*.
- Nummer på aktuell EN-standard.

Hörselproppar eller propparnas förpackning ska, förutom CE-märkning, vara märkta med följande information:

- Tillverkarens namn, varumärke eller annan identifikation.
- Modellbeteckning.
- Om propparna är av engångstyp eller kan användas flera gånger.
- Instruktioner för hur propparna ska anbringas och användas. Av dessa ska även framgå att det är nödvändigt att propparna anbringas på rätt sätt.
- Propparnas nominella storlek utom för förformade individuella proppar och proppar som tätar mot hörselgångens mynning.
- Nummer på aktuell EN-standard.

Bruksanvisning

En bruksanvisning på svenska ska följa med hörselskydden och innehålla bland annat uppgifter om användning, tillpassning, skötsel, underhåll och lagring samt skyddens dämpningsvärden.

Skötsel, underhåll och lagring

Hörselskydd behöver underhållas för att dämpningen inte ska försämras efter en tids användning.

Den bygel som kåporna är fästade vid får inte töjas ut så mycket att fjädersegenskaperna ändras eftersom det försämrar dämpningsegenskaperna.

RENGÖRING OCH HYGIEN

Hörselskydd som är gjorda för att återanvändas ska rengöras och underhållas så att de inte förlorar sin dämpförmåga, orsakar hudirritation eller andra besvär. Hörselkåpor, särskilt tättningsringarna, och proppar som ska återanvändas ska tvättas eller rengöras enligt tillverkarens rekommendationer. Vid användningen är det viktigt att man inte berör den del av proppen som sätts in i örat med smutsiga fingrar, eftersom detta kan ge upphov till infektioner. Proppar för engångsbruk bör inte användas flera gånger.

FÖRVARING

Hörselskydd som inte används ska förvaras på ett hygieniskt sätt, kåpor till exempel i plastpåsar och proppar som ska återanvändas i rena askar. Vid förvaring bör man se till att bygeln inte sträcks ut och att tättningsringarna inte deformeras. Oanvända hörselskydd ska förvaras på lämpligt ställe enligt tillverkarens rekommendationer. Proppar för engångsbruk ska finnas i reserv i tillräcklig omfattning.

INSPEKTION OCH KOMPONENTBYTEN

Hörselskydd ska inspekteras med jämna mellanrum med avseende på mekaniska skador, ålder och deformation. Byglarnas form ska kontrolleras genom att man jämför dem med ett oanvänt exemplar om man misstänker att bygelkraften försämrats. Om kåpornas anliggningstryck mot huvudet är för litet måste bygeln bytas ut för att man ska få avsedd dämpning. Tättningsringar måste omgående bytas ut när de har tappat formen, blivit hårda eller spröda, har begynnande sprickor eller har försämrats på annat sätt. Byte av tättningsringar ska ske enligt tillverkarens instruktion och reservdelar eller nya skydd ska alltid finnas tillgängliga.

Referenser

Personlig skyddsutrustning. Arbetskyddsstyrelsen 1999. Best nr H227.

Arlinger, Stig (ed.): *Med örat i centrum – förebyggande hörselvård.*

Arbetskyddsstyrelsen 1997. Best nr H293.

SS-EN 458 *Hörselskydd – rekommendationer för val, användning, skötsel och underhåll.*

Vägledande dokument.

SS-EN 352-1 *Hörselskydd – fordringar och provning – Del 1: Käpor.*

SS-EN 352-2 *Hörselskydd – fordringar och provning – Del 2: Proppar.*

SS-EN 352-3 *Hörselskydd – fordringar och provning – Del 3: Käpor monterade på industrihjälm.*

Hörselvård

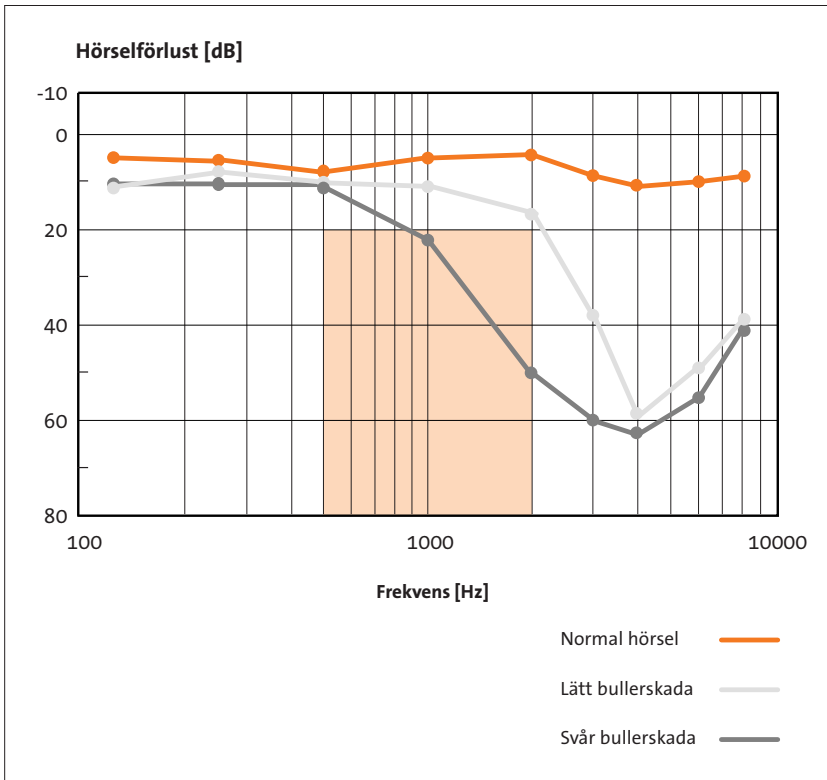
Ljudfrågor har fått en ökad betydelse, såväl i befintlig arbetsmiljö som vid nyprojektering. På många arbetsplatser har inom olika branscher hörselskadliga ljudnivåer uppmätts. För att snabbt upptäcka begynnande hörselskada och förhindra att skadan förvärras ska personalen vid sådana arbetsplatser ges möjlighet att genomgå regelbundna hörselkontroller.

Audiometrisk undersökning

Audiometri innebär att man mäter hörselförmågan. Man utnyttjar rena toner med bestämd frekvens och nivå, som patienten får lyssna till i hörlurar.

Följande frekvenser används normalt vid proven: 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 4 000, 6 000 och 8 000 Hz. Vid undersökningen noteras de lägsta ljudtrycksnivåerna på tonerna som patienten kan höra med ett öra i taget. Resultaten av proven redovisas för vardera örat i form av ett så kallat audiogram.

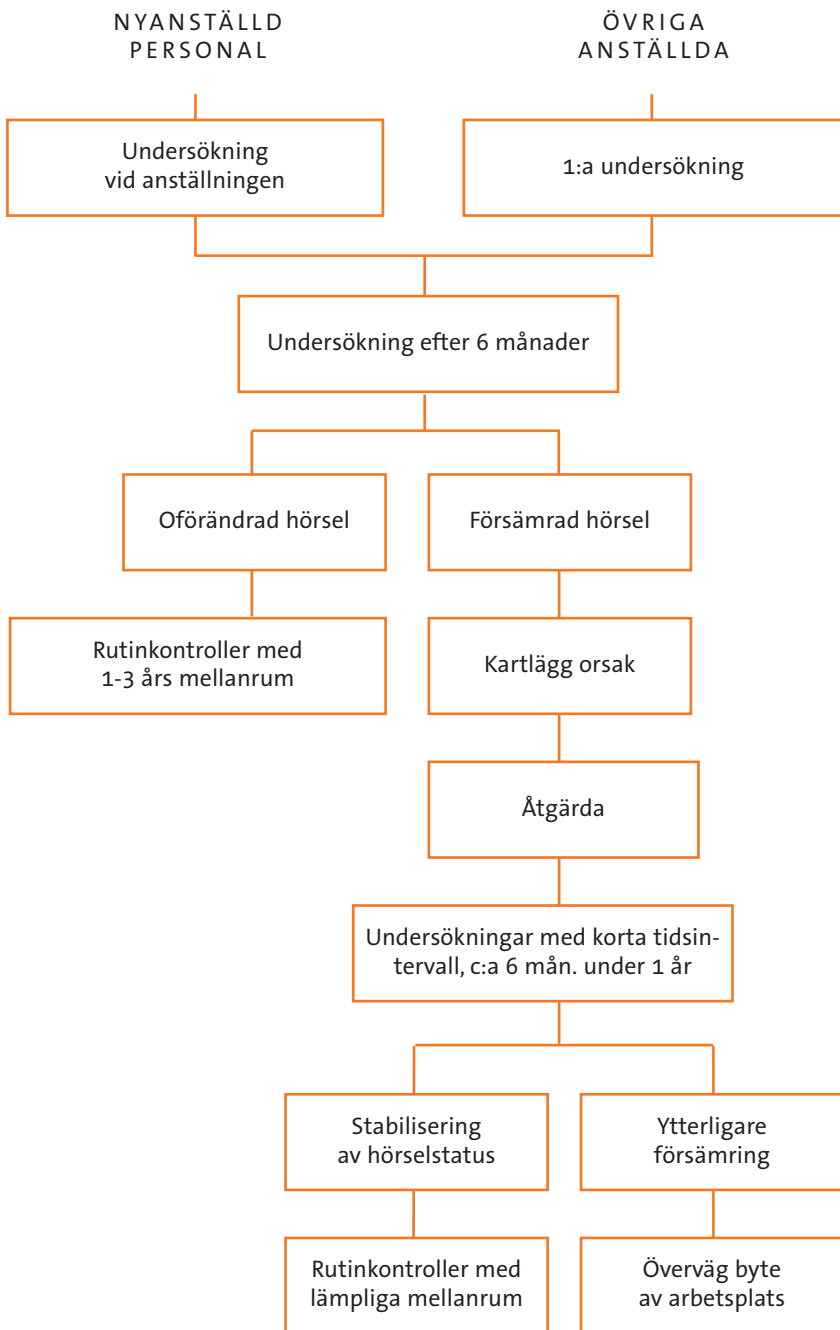
I figur 70 visas ett audiogram från en undersökning av personer med och utan hörselskador. Om audiogrammet uppvisar en hörselnedsättning som är mindre än 20 dB vid testfrekvenser upp till 6 000 Hz anser man att personen har en normal hörsel.



Figur 70. Exempel på audiogram

Den hörselnedsättning som orsakas av bredbandigt buller uppstår ofta inom frekvensområdet 3 000–6 000 Hz. Den påverkar nästan inte alls taluppfattbarheten under tysta förhållanden men ger klart försämrad förmåga att uppfatta tal i bullriga miljöer. En lätt bullerskada kan allmänt beskrivas som en hörselnedsättning som är större än 20 dB vid en eller flera av testfrekvenserna 3 000, 4 000 och 6 000 Hz och med audiogrammet i övrigt normalt vid frekvenser upp till 2 000 Hz.

Vid fortsatt bullerexponering kan hörselnedsättningen gradvis utbreda sig mot den viktiga delen av talfrekvensområdet mellan 500 och 2 000 Hz. Om hörselskadan får en sådan omfattning att hörselnedsättningen griper in i det sektionerade området i figur 70, anses det föreligga en svår hörselskada. En sådan hörselskada medför svårigheter att uppfatta tal och innebär större eller mindre invaliditet.



Scematisk skiss. Exempel på rutiner för periodisk hörselkontroll

Anställningsundersökning

Vid anställning av personal som ska arbeta i bullrande verksamhet bör hörselundersökning göras för att fastställa hörselstatusen. För personer som redan ådragit sig en hörselskada bör man överväga om inte annat arbete är mer lämpligt. För övrig personal kan kontrollundersökningar göras enligt nedanstående schematiska skiss.

Åtgärder vid försämrad hörsel

Om en försämring av hörseln upptäcks, trots genomförda bullerbekämpningsåtgärder, behöver orsaken fastställas och åtgärder vidtas.

Har försämringen skett trots att hörselskydd använts, bör skydd med bättre dämpning införskaffas och användas. Om personen inte har använt skydd, måste man kräva att han/hon gör det. När försämring av hörseln upptäcks bör undersökningar göras oftare för att kontrollera att vidtagna åtgärder medför en stabilisering av hörselstatusen. Inträffar ytterligare försämring, bör man överväga omplacering.

Se även kapitlet ”Systematik och långsiktighet”, sidan 42.

Referenser

Arlinger, Stig (ed.): *Med örat i centrum – förebyggande hörselvård*. Arbetskyddsstyrelsen 1997. Best nr H293.

Arlinger, Stig; Hagerman, Björn; Ytterlind, Åke: *Ljuv musik och öronproppar – om musik och hörselskador*. Prevent 2001.

Planering av nya anläggningar

Vid planering av en ny industrianläggning är det en fördel att dela upp projektet i två samordnade delprojekt – oavsett storleken på projektet.

- *Funktions- och utrustningsprojektet* som omfattar maskiner och övrig mekanisk utrustning, transportanordningar etc. Inom detta projekt bestäms även maskin- och annan verksamhetslayout.
- *Byggprojektet* som omfattar byggnaden och de fasta (ej produktionsinriktade) installationerna; i första hand VVS-anläggningarna – i vissa fall kompressoranläggning och delar av processinstallationen.

Den akustiska planeringen måste effektivt inarbetas i båda delprojekten om man ska nå ett gott resultat i ljudhänseende.

Målsättning

Kraven på åtgärder mot buller anges i Arbetsmiljöverkets/Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om buller. I ett projekt är det mycket viktigt att lägga fast mål för de ljudnivåer som ska vara vägledande i valet av nödvändiga insatser och utformning av dessa. Målet kan formuleras enligt följande:

- Hörselskadande bullerexponering ska inte förekomma i arbetslokaler.
- Där det är möjligt ska den ljudnivå eftersträvas som medger att normalt samtal kan föras.
- Arbetsplatsbullret ska inte överskrida de ljudnivåer som kan uppnås med rimliga tekniska och ekonomiska insatser.

- Riktvärden för högsta ljudnivåer i olika lokaler och verksamheter ska anges.

Akustisk planering

Den akustiska planeringen av en ny industrianläggning omfattar normalt:

Byggnad inklusive ventilation.

- Layout.
- Stomme.
- Ljudisolering.
- Absorbenter.

Maskiner och utrustning.

- Maskinupphandling med ljudgaranti.
- Montageföreskrifter (bland annat vibrationsisolering).

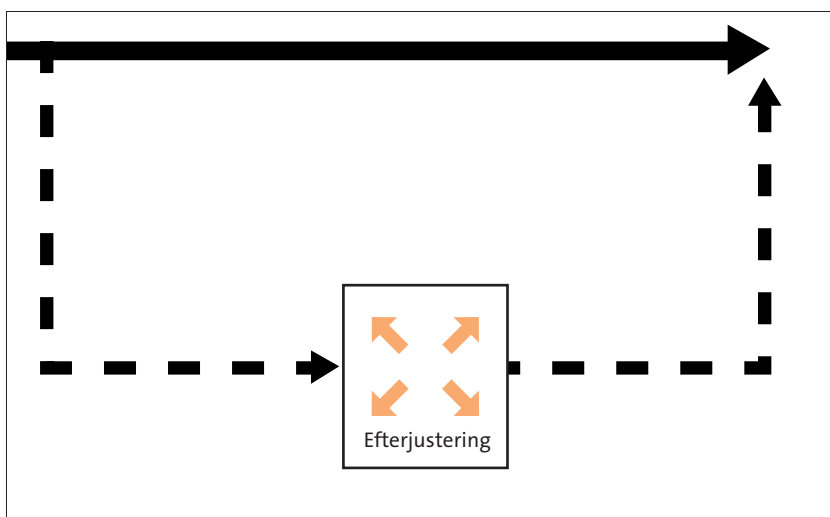
Byggnad inklusive ventilation

LAYOUT

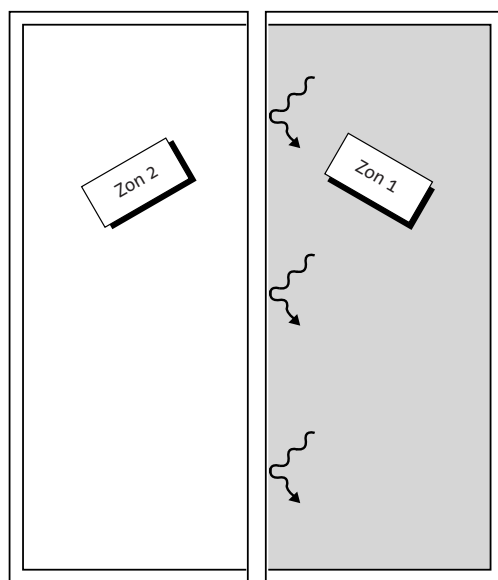
Om man tar hänsyn till ljudaspekterna tidigt i byggnadsplaneringen kan ofta verksamhetens layout anpassas så att man kan skapa ”tysta” och ”bullrande” zoner, både i luft- och stomljudshänseende. Härigenom åstadkommer man en bättre arbetsmiljö och mindre kostsamma lösningar.

STOMME

Spridningen av vibrationer i byggnadsstommen har behandlats i kapitlet ”Vibrationsisolering”, sidan 127. Valet av hur fundamentet ska utföras, placering av elastiska fogar eller liknande i de bärande byggnadskonstruktionerna måste givetvis finnas med vid byggstarten, se exempel i figur 72.



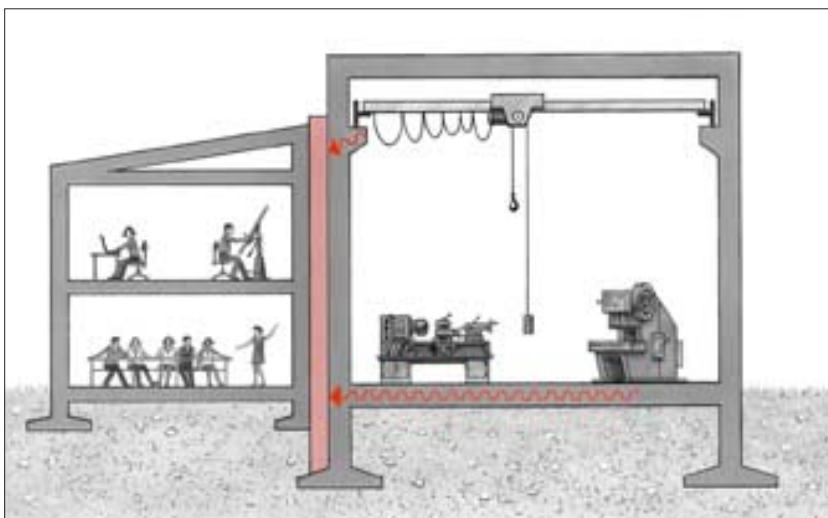
Figur 71. Bullrande arbetsmoment vid exempelvis montering bör koncentreras och förläggas till ljudisolerat utrymme, till exempel efterjustering.



Figur 72. Om den stomljudsfarliga verksamheten koncentreras till speciella ytor kan antalet "ljudfogar" och specialfundament begränsas. Alla stomljuds-kopplade enheter förläggs till zon 1 och direkt störkänslig verksamhet till zon 2.

LJUDISOLERING

Behovet av luftljudsisolering i en industribyggnad berör – förutom tillhörande kontorslokaler – väggar, fönster och dörrar för manöverrum, förmanskontor, pausrum etc. samt bulleravskiljande inbyggnader av utrustning.



Figur 73. Kontors-/personalbyggnaden bör alltid stomskiljas från verkstadsbyggnaden

ABSORBENTER

I moderna industrilokaler med hårda begränsningsytor av betong, lättbetong, korrugerad plåt och så vidare är uppsättning av absorbenter en nödvändig åtgärd för att skapa ett gott ljudklimat (se även kapitlet ”Rumsakustik”, sidan 80). Absorbenternas värmeisoleringsförmåga är en egenskap som man givetvis bör ta hänsyn till vid beräkning av lokalens uppvärmningskostnad.

I andra arbetslokaler, exempelvis restaurangkök där man har kraftigt slammer, behövs absorbenter som är effektiva men också tål rengöring.

För kontorslandskap och storum där det finns flera kontorsfunktioner i samma lokal, behövs takytor som är kraftigt ljudabsorberande.

Maskiner och utrustning

Vid projektering av en ny anläggning eller då man i övrigt gör en betydelsefull investering i ny utrustning bör också ljudgarantifrågan behandlas omsorgsfullt.

Några frågor man bör tänka på vid inköp är, akustisk målsättning, begäran om ljuddata från leverantören, specifikation i offertförfrågan och granskning av offerter, ljudkrav i köpekontrakt och utförande av leveranskontroll etc.

Nedan anges det fullständiga handlings-schemat för maskininköp med ljudkrav, vilket bör följas vid betydelsefulla nyanskaffningar.

Inköpen i ett företag kan i ljudhänseende delas in i tre grupper som lämpligen hanteras enligt följande:

Grupp 1

Stora produktionsmaskiner, nya typer av utrustning och enheter med lång livslängd. I dessa fall krävs grundliga diskussioner mellan köpare och säljare i samband med inköp. Ljudkraven specificeras i inköpshandlingar. Säljaren garanterar i köpekontraktet att ljudnivåkraven kan uppfyllas. Eventuellt förbehåll avseende montageföreskrifter anges.

Kontrollprogram ingår i kontraktet.

Grupp 2

Standardinköp av typen elmotorer, växlar, handverktyg och mindre bearbetningsmaskiner och liknande. Ljudkravet baseras på tidigare erfarenheter och omfattar ljudnivån på angivna platser och vid föreskrivet driftsfall. Leverantören bekräftar att ljudkravet godkänns respektive anger eventuella reservationer.

Grupp 3

Inköp som frikopplas från ljudkrav. Orsaken kan vara att utrustningen är ”tyst” eller att köparen beslutat att själv utföra bullerdämpningar. Vid kontakt med leverantören bör man dock bevaka möjligheterna att få förbättringar införda.

INKÖP AV NYA MASKINER

Genom att ställa krav på bullernivån vid inköp av nya maskiner eller när en ny anläggning projekteras har man ofta möjlighet att minska bullerexponeringen till en kostnad som är betydligt lägre än om åtgärder behöver vidtas i efterhand. Lösningen blir också ofta mer praktisk och funktionell.

EU:S MASKINDIREKTIV

I EU:s maskindirektiv som överförts till svensk lagstiftning i Arbetsmiljöverkets/Arbetsarskyddsstyrelsens föreskrifter om maskiner och andra tekniska anordningar finns bland annat krav på att maskiner ska vara CE-märkta. Krav finns också på att maskiner ska vara konstruerade och tillverkade så att risker till följd av utsläpp av luftburet buller minskas till lägsta möjliga nivå, med hänsyn till tekniska framsteg och tillgång till anordningar för att reducera buller, framför allt vid källan.

Bruksanvisningen för en CE-märkt maskin ska innehålla information om utsläpp av luftburet buller från maskinen enligt följande:

- *Ekvivalent kontinuerlig A-vägd ljudtrycksnivå vid arbetsstationerna, om detta överstiger 70 dB(A). Om nivån inte överstiger 70 dB(A) ska detta anges.*
- *Maximalt momentant C-vägd ljudtrycksvärde vid arbetsstationerna om detta överstiger 63 Pa (130 dB relaterat till 20 µPa).*
- *Ljudeffektnivå från maskinen om ekvivalent kontinuerlig A-vägd ljudtrycksnivå vid arbetsstationerna överstiger 85 dB(A).*

För mycket stora maskiner kan ekvivalent kontinuerlig ljudtrycksnivå på bestämda ställen runt maskinen anges i stället för ljudeffektnivån.

Om arbetsstationer inte har angetts eller inte går att ange ska ljudtrycksnivåerna mätas på ett avstånd av 1 meter från maskinens yta och 1,6 meter från golvet eller tillträdesplattformen. Läge och värde för maximalt ljudtryck ska anges.

Bruksanvisningen ska även, vid behov, ange de krav som gäller vid installation och montering för att minska buller eller vibrationer (till exempel användning av dämpare, fundamentets typ och massa).

STANDARDER

För att bestämma ovanstående värden kan så kallade harmoniserade standarder tillämpas. De finns dels som grundstandarder (se kapitlet ”Ljudmätning”, sidan 59) och dels som så kallade produktspecifika standarder. I de produktspecifika standarderna specificeras bland annat driftsförhållandena och läget för arbetsstationerna (operatörsplatserna).

Det är inte obligatoriskt att tillämpa harmoniserade standarder, men om man gör det antas man uppfylla direktivets krav. I direktivet anges också att när de harmoniserade standarderna inte tillämpas, ska ljudnivåerna mätas med den för maskinen lämpligaste metoden. Tillverkaren ska också ange maskinens driftsförhållanden under mätning samt vilka mätmetoder som använts.

Standarderna är så konstruerade att eventuell påverkan från omgivningen inte ingår i värdena för bullret på operatörsplats. Värdena är därmed specifika för maskinen vilket ger möjlighet att jämföra olika maskiner oberoende av i vilken miljö mätningarna utförts. Det bör dock observeras att värdena kan förändras och vanligen blir högre när maskinen placeras i sin slutliga miljö. Detta bland annat på grund av reflektioner från omgivande väggar och tak.

Det är också viktigt att maskinens driftsförhållanden beaktas. Det är inte säkert att de driftsförhållanden som ligger till grund för de angivna bullervärdena stämmer överens med de förhållanden som maskinen kommer att arbeta under i den aktuella produktionen. Exempelvis kan en ökning av produktionshastigheten innebära en väsentlig höjning av bullernivån.

För att tillförsäkra sig om att bullernivån blir tillräckligt låg i den aktuella produktionen, är det viktigt att ställa upp ljudkrav och ange avtalade ljudgarantier i köpekontraktet vid inköp av nya maskiner eller när en ny anläggning projekteras. För att uppställda målvärden inte ska överskridas, är det också viktigt att bidragen från samtliga bullerkällor beaktas i samband med kravställningen. Eftersom det i många fall inte finns standardlösningar behöver köparen ofta engagera sig i utformningen och föra en dialog med leverantören för att lösningen ska bli så optimal som möjligt. Förutom den akustiska funktionen kan då krav på produktion, maskintillsyn, operatörmiljö med mera behöva beaktas.

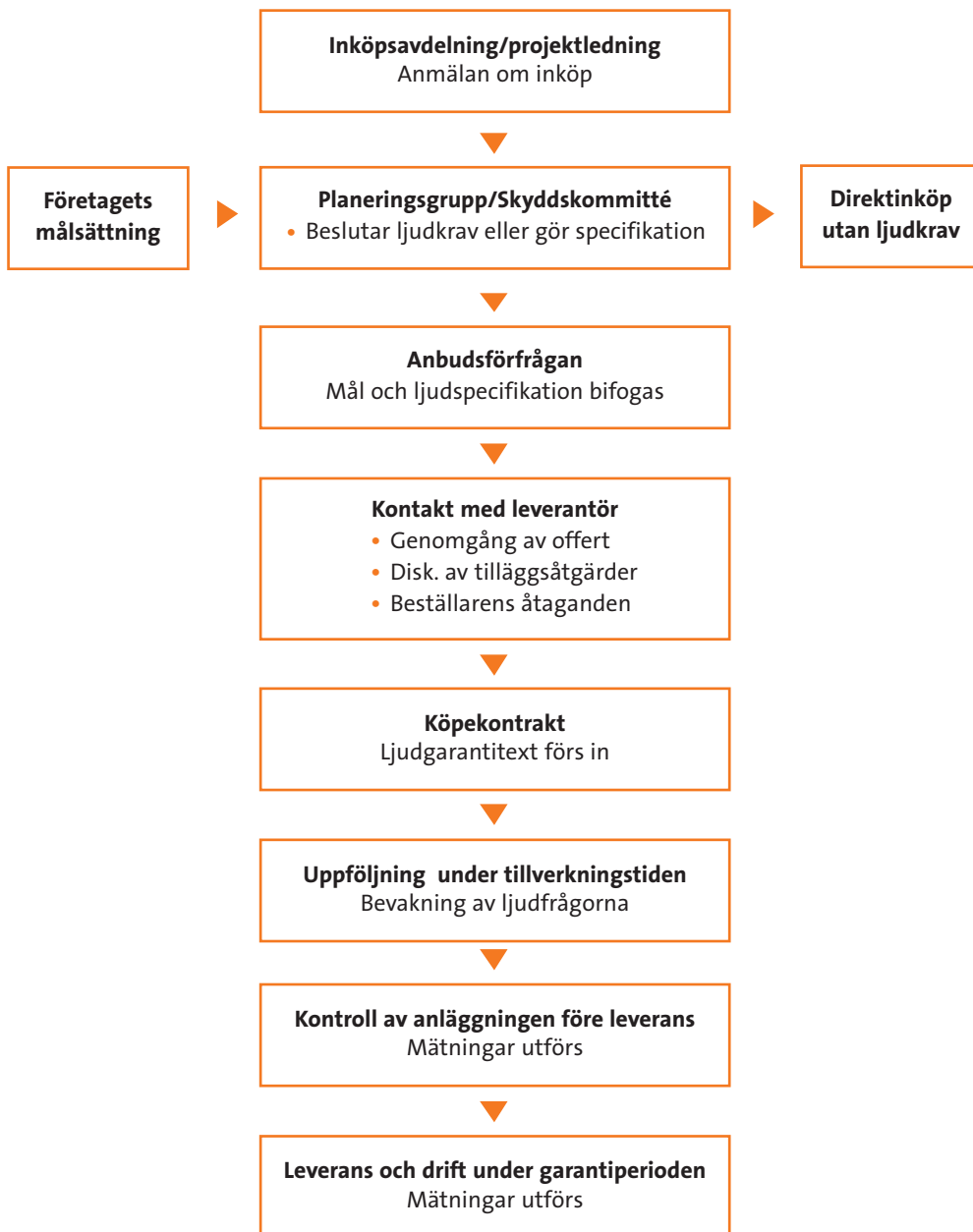
Krav ställs lämpligen på A-vägd ljudtrycksnivå på operatörsplats och på 1 meters avstånd eller mer från maskinen eller anläggningen i den aktuella lokalen och under aktuella driftförhållanden. Eftersom nivån påverkas av reflektioner från lokalens begränsningsytor behöver maskinleverantören få uppgifter om lokalens akustiska egenskaper (se kapitlet ”Rumsakustik”, sidan 80) liksom placeringen av maskinen eller anläggningen i lokalen. Det krävs också att leverantören har kompetens att göra de beräkningar som behövs.

En annan möjlighet är att ställa krav på maskinens A-vägda ljud-effektnivå. Kravvärdet bestäms utifrån önskad A-vägd ljudtrycksnivå i lämpliga punkter, lokalens akustiska egenskaper och maskinens placering (se avsnittet ”Ljudutbredning inomhus”, sidan 87). Eftersom ljudutstrålningen från en maskin ofta är olikformig kan detta förfarande innebära viss osäkerhet för bullernivån nära maskinen, exempelvis på operatörsplatsen.

I båda dessa fall kan det vara lämpligt att föra en dialog med leverantören och vid behov anlita extern expertis. Om kompletterande åtgärder som avskärmningar och inbyggnader planeras kan det också finnas behov av ytterligare information exempelvis frekvensanalys av bullret.

Att maskinen eller utrustningen uppfyller uppställda krav följs upp genom mätningar i den aktuella lokalen och vid aktuella driftförhållanden. Det är då viktigt att man i kontraktet avtalat om hur kontrollen ska göras; mätmetod, driftförhållanden, toleranser med mera.

På sidan 214 visas en schematisk skiss över hur ett maskininköp kan gå till.



Schematisk skiss. Maskinköp med ljudgaranti.

MONTAGEFÖRESKRIFTER

Som redan nämnts ovan är ljudnivåerna i en anläggning beroende av såväl maskinernas uppbyggnad som hur de monteras inbördes och i byggnadsstommen. Det är således viktigt att hindra utbredningen av vibrationer från en maskinenhet till anslutande maskinstativ, rörledningar och ventilationstrummor. Det är också viktigt att hindra ljudläckage i spalter och öppningar.

UNDERHÅLL

Ett regelbundet underhåll av maskiner och anläggningar är viktigt för att inte bullernivån ska öka med tiden. Placering av maskiner och utformning av anläggningar bör därför göras, så att underhåll underlättas.

Referenser

Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om maskiner och vissa andra tekniska anordningar, AFS 1994:48.

Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om arbetsplatsens utformning, AFS 2000:42.

Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter om buller, AFS 1992:10.

Elvhammar, Hans: *Det tysta jobbet – handbok för ljudprojektering av industriarbetsplatser*. Arbetsmiljöfonden (numera Forskningsrådet för arbetsliv och socialvetenskap, FAS) 1994.

Ljudabsorptionsfaktorer

TÄTA KONSTRUKTIONER UTAN LUFTSPALTER

	Ljudabsorptionsfaktorer vid olika frekvenser, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Betongvägg, oputsad	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Marmor, glaserat kakel	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Tegelvägg, oputsad	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Tegelvägg med kalkcementputs	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Tegelvägg, putsad, oljemålad	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Tegelvägg, tapetserad, putsad	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Trägolv i asfalt på betong	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Klinkerplattor på betong	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Linoleummatta, direkt på betong	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
50 mm träpanel direkt mot vägg	0,10	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04
5 mm gummmatta på betong	0,04	0,04	0,08	0,12	0,10	0,10
10 mm mjuk matta på betong	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
Fönsterglas	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Vattenyta	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03

**TÄTA KONSTRUKTIONER MED LUFTSPALT
- MEMBRANABSORBENTER**

	Ljudabsorptionsfaktorer vid olika frekvenser, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
16 mm trä på 40 mm reglar	0,18	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
8 mm träfanér på 50 mm reglar	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
3 mm träfanér på 50 mm reglar	0,20	0,28	0,26	0,09	0,12	0,11
Trägolp på reglar	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Trägolp med linoleummatta	0,15	0,12	0,11	0,10	0,07	0,08
Gipsskivevägg	0,12	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06
13 mm gipsskiva på 100 mm reglar	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Fönsterglas	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Stora rutor av tjockt glas	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Tvåglasfönster 3 mm glas, 30 mm glasavstånd	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
Tvåglasfönster, 3 mm glas, 10 mm glasavstånd	0,02	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02
13 mm gipsskiva på 25 mm reglar utan mineralull	0,16	0,15	0,07	0,08	0,05	0,06
9 mm gipsskiva på 25 mm reglar med mineralull	0,21	0,20	0,07	0,06	0,04	0,08
9 mm gipsskiva på 25 mm reglar utan mineralull	0,15	0,16	0,08	0,06	0,05	0,06
Podium av trä med luftvolym under	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
13 mm gipsskiva på 25 mm reglar med mineralull	0,26	0,20	0,10	0,07	0,04	0,07

**ÖPPNA KONSTRUKTIONER MED HÅL ELLER SLITSAR
- HÅLRUMSABSORBENTER**

	Ljudabsorptionsfaktorer vid olika frekvenser, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Kantställt 78-hålstegel direkt mot stenvägg	0,05	0,15	0,33	0,85	0,45	0,55
Kantställt 78-hålstegel 50 mm från vägg, med mineralull	0,48	0,77	0,38	0,27	0,65	0,35
13 mm slitsad gipsskiva 12 %, 106 x 3 mm ² på läkt med mineralull	0,20	0,22	0,71	1,00	0,55	0,42
13 mm perforerad gipsskiva 11 % Ø 5 mm på läkt med mineralull	0,18	0,32	0,71	1,00	0,50	0,29
27 mm perforerad gipsskiva 16 % Ø 4,5 mm 300 mm från tak	0,45	0,55	0,60	0,90	0,86	0,75
Kantställt 19-hålstegel direkt mot stenvägg	0,14	0,28	0,45	0,90	0,45	0,65
Kantställt 19-hålstegel 50 mm från vägg, med mineralull	0,37	1,00	0,85	0,60	0,80	0,65
Perforerad skiva 7,6 % Ø 5 mm på 25 mm regler med mineralull	0,06	0,22	0,52	0,87	0,61	0,32
Perforerad skiva 15 % Ø 5 mm på 25 mm regler med mineralull	0,14	0,16	0,40	0,75	0,81	0,50

ÖPPNA KONSTRUKTIONER MED HÅL ELLER SLITSAR
- HÅLRUMSABSORBENTER

	Avstånd mellan paneler	Ljudabsorptionsfaktorer vid olika frekvenser, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
Spaltpanel 13 x 70 mm ² på 25 mm reglar med mineralull och luftspalt	0 mm	0,17	0,32	0,12	0,06	0,03	0,02
	1 mm	0,09	0,72	0,30	0,12	0,06	0,05
	2 mm	0,09	0,67	0,49	0,21	0,09	0,07
	4 mm	0,08	0,57	0,71	0,40	0,20	0,18
	8 mm	0,09	0,60	0,91	0,60	0,35	0,30
	16 mm	0,03	0,46	0,87	0,70	0,54	0,42
	49 mm	0,06	0,41	0,83	0,93	0,73	0,55
	102 mm	0,03	0,40	0,79	0,91	0,76	0,70
	270 mm	0,03	0,33	0,73	0,89	0,85	0,77

PORÖSA MATERIAL

	Ljudabsorptionsfaktorer vid olika frekvenser, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Mineralullsskiva mot tak						
25 mm tjocklek	0,05	0,21	0,59	0,83	0,87	0,91
50 mm tjocklek	0,15	0,56	0,88	1,00	1,00	0,95
100 mm tjocklek	0,58	0,69	0,96	0,97	1,00	0,91
Mineralullsskiva 200 mm från tak						
25 mm tjocklek	0,48	0,49	0,70	0,78	0,94	0,93
50 mm tjocklek	0,49	0,63	0,83	0,97	1,00	0,96
100 mm tjocklek	0,49	0,64	0,89	0,98	1,00	0,96
50 mm mineralull direkt mot vägg med 0,05 mm PE-folie						
	0,20	0,63	1,00	0,95	0,83	0,66
16 mm pressad mineralfiberplatta. Avstånd 20 mm från tak						
	0,09	0,40	0,56	0,59	0,70	0,69
16 mm pressad mineralfiberplatta. Avstånd 210 mm från tak						
	0,38	0,28	0,39	0,59	0,64	0,65
Tätt vävda fönstergardiner 90 mm från vägg						
	0,06	0,10	0,38	0,63	0,70	0,73
Bomullstyng (0,33 kg/m ²)						
veckat till 1/2 yta	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54
3/4 yta	0,04	0,23	0,14	0,57	0,53	0,40
7/8 yta	0,03	0,12	0,15	0,27	0,37	0,42
Porös skumplast 50 mm						
20 mm	0,10	0,21	0,40	0,93	0,82	0,98
	0,03	0,07	0,35	0,72	0,95	0,90
Nålfiltmatta på betonggolv						
	0,05	0,08	0,20	0,30	0,35	0,40
Grus 100 mm tjocklek						
	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
Sand 100 mm tjocklek						
	0,15	0,35	0,40	0,50	0,55	0,80
Cementbunden träullsplatta						
30 mm tjocklek	0,06	0,09	0,17	0,35	0,52	0,56
50 mm tjocklek	0,10	0,15	0,25	0,51	0,47	0,63
70 mm tjocklek	0,15	0,20	0,40	0,65	0,52	0,78
100 mm tjocklek	0,13	0,25	0,51	0,52	0,68	0,82
Rundvirkesarmerad cementbunden träullsplatta						
150 mm tjocklek	0,20	0,64	0,75	0,75	0,85	0,91

FÖREMÅL

	Ljudabsorptionsfaktorer vid olika frekvenser, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Publikyta pers/m ²						
0,72	0,10	0,21	0,41	0,65	0,75	0,71
1,04	0,16	0,29	0,55	0,80	0,92	0,90
1,52	0,22	0,38	0,71	0,95	1,02	1,00
2,00	0,26	0,46	0,87	1,06	1,15	1,10
Fullsatt salong, scen och körläktare, yta inkl gångar	0,60	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85
Stoppad konsertsalsstol, tom	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70

LJUDABSORPTIONSYTA

Föremål	Ljudabsorptionsyta m ² Sabine vid Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Man i ytterrock, stående	0,17	0,41	0,91	1,30	1,43	1,47
Man inomhusklädd, stående	0,12	0,24	0,59	0,98	1,13	1,12
Musiker sittande inkl stol och instrument (Kuhl)	0,60	0,95	1,06	1,08	1,08	1,08
Sittande person	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46
Musiker med instrument (Brandt)	0,40	0,85	1,15	1,40	1,30	1,20
Hopfällbar stol av träfanérskivor	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
Stol med klädd sits och rygg	0,17	0,23	0,23	0,22	0,19	0,18
Trästol med klädd sits	0,09	0,13	0,15	0,15	0,11	0,07