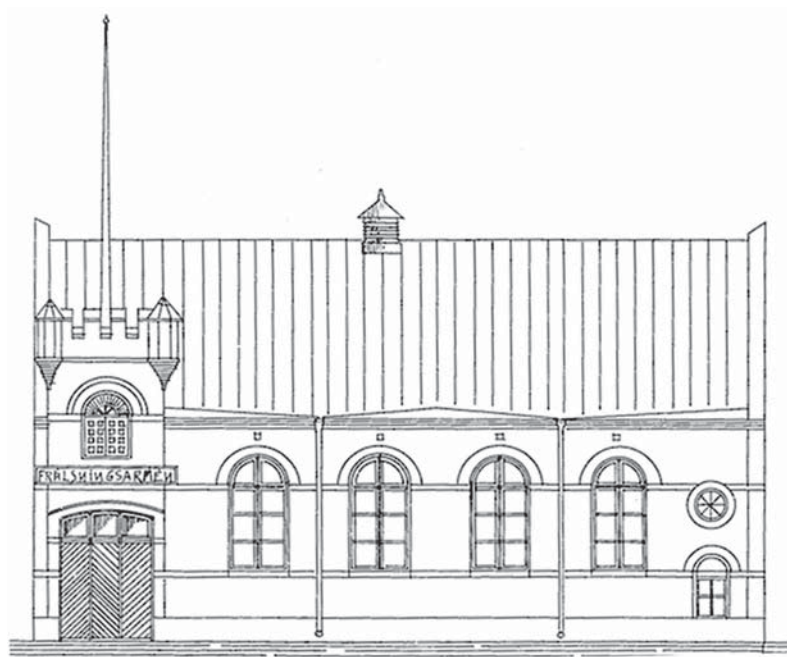




**LUND**  
UNIVERSITY



# **STÖRANDE LÅGFREKVENT BULLER I KONSERTLOKAL I LUND**

FREDRIC JOHANSSON

*Bachelor's Dissertation  
at Engineering Acoustics*



DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES  
DIVISION OF ENGINEERING ACOUSTICS  
ISRN LUTVDG/TVBA--16/6001--SE (1-37) | ISSN 0281-8477  
BACHELOR'S DISSERTATION

# STÖRANDE LÅGFREKVENT BULLER I KONSERTLOKAL I LUND

FREDRIC JOHANSSON

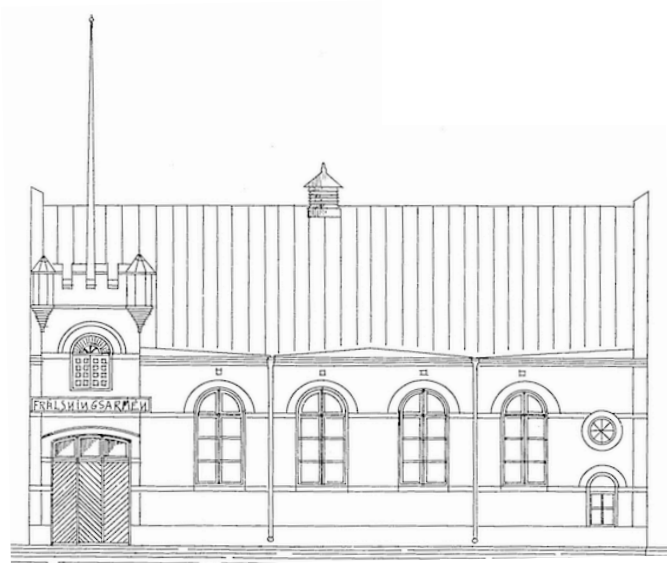
Supervisor: **DELPHINE BARD**, Assoc. Prof., Div. of Engineering Acoustics, LTH.

Examiner: Professor **ERIK SERRANO**, Dept. of Construction Sciences, LTH.

Copyright © 2016 by Division of Engineering Acoustics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.

**For information, address:**  
Division of Engineering Acoustics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: [www.akustik.lth.se](http://www.akustik.lth.se)





## **Störande lågfrekvent buller i konsertlokal i Lund** **Disturbing low frequent noise in recital hall in Lund**

Fredric Johansson

2016



## Sammanfattning

Denna rapport tar upp ett specifikt fall av akustiska problem; en fastighet i Lund vars huvudsakliga användningsområde som konsertlokal störs av trafikbuller samtidigt som rumsakustiska åtgärder behövs. Hälsoeffekter och ljudtransmission undersöks innan åtgärdsförslag diskuteras. Transmission genom vägg, fönster och tilluftsdon avhandlas såväl individuellt och som en sammansatt konstruktion. En beräkningsmodell i CATT-acoustics används för att förutspå rumsakustiken i konsertsalen. Absorbenter och Helmholtzresonatorer diskuteras som lösning på hög efterklangstid.

Nyckelord: Byggnadsakustik, rumsakustik, ljudtransmission, ljudperception, hälsoeffekter av trafikbuller, absorbenter, Helmholtz resonator, CATT acoustic

## **Abstract**

This report deals with a specific case of acoustic problems; a property in Lund whose main use as a concert venue is disturbed by traffic noise while at the same time room acoustic measures are needed. Health effects and sound transmission is examined before the proposed actions are discussed. Transmission through walls, windows and air intakes are examined both individually and as a composite construction. A computer model in CATT Acoustics is used to predict the room acoustics in the concert hall. Absorbers and Helmholtz resonators are discussed as a solution to high reverberation.

Keywords: Building acoustics, room acoustics, sound transmission, sound perception, health effects from traffic noise, absorbers, Helmholtz resonator, CATT acoustic



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Syfte</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Hälsoeffekter av buller</b>	<b>2</b>
4.1	Talförståelse	3
4.2	Nedsatt hörsel	3
4.3	Sömnstörningar	4
4.4	Kardiovaskulära och andra fysiska effekter	4
<b>5</b>	<b>Ljud och uppfattning av ljud</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Trafikbuller</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Byggnadens egenskaper</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Rumsakustik</b>	<b>15</b>
8.1	Efterklangstid	16
8.2	Modell i CATT-Acoustic	17
<b>9</b>	<b>Transmission av buller</b>	<b>20</b>
9.1	Flanktransmission	21
9.2	Vägg	21
9.3	Fönster och dörrar	22
9.4	Ventilation	22
<b>10</b>	<b>Möjliga åtgärder</b>	<b>23</b>
10.1	Fönsteråtgärder	23
10.2	Åtgärda tilluftsdon	25
10.3	Tätning av huvudingång	26
10.4	Absorbenter	26
10.5	Active noise cancelling	27
10.6	Helmholtz resonator	27
<b>11</b>	<b>Diskussion</b>	<b>28</b>
<b>12</b>	<b>Åtgärdslista</b>	<b>29</b>
<b>13</b>	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>31</b>
<b>14</b>	<b>Figurkällor</b>	<b>32</b>

# 1 Bakgrund

Frälsningsarmén upprättade år 1899 en byggnad avsedd som samlingsal i centrala Lund. Idag brukas fastigheten av Lunds studentsångare till framföranden och övningar i form av tal och sång. Den universella användningen ställer flexibla krav på de rumsakustiska egenskaperna i samlingsalen som efterklangstid, klarhet och ljudnivå. Samtidigt är byggnaden belägen vid höga ljudnivåer av störande trafikbuller som läcker in genom den föråldrade fasaden. Trafikbuller består dominerande av lågfrekvent ljud som lätt passerar genom tunna material som fönsterglas och kräver tjocka absorbenter och liknande för att dämpas fysiskt. Förutom den störande aspekten har också trafikbuller negativa hälsoeffekter.

Maria magle 2, som är fastighetsbeteckningen för byggnaden har tunga tegelytterväggar och fem höga rundbågiga fönster på vardera långsida. Planlösningen består dominerande av en stor konserthall med hårda reflekterande ytor. I dagsläge är efterklangstiden och trafikbullrets ljudnivå väldigt hög. Lokalen är i behov av en bättre akustisk miljö rörande både rums- och byggnadsakustiska aspekter. Utmaningen består av att sänka dessa utan att genomföra några ändringar i fasaden, vilket är otillåtet enligt lag på grund av byggnadens kulturhistoriska värde. Förutom regleringar i plan- och bygglagen finns också stora ekonomiska begränsningar.

## 2 Syfte

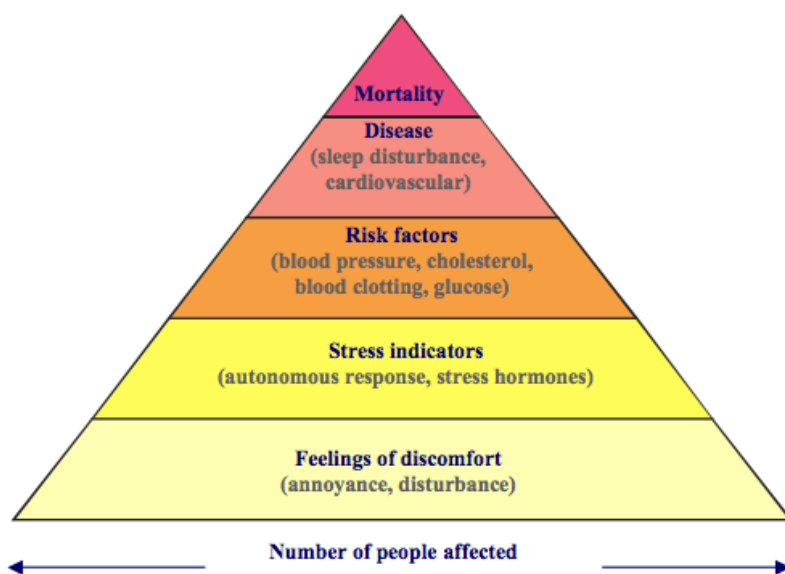
Syftet med detta arbete är att hitta fysiska och möjligen digitala åtgärder för att förbättra den akustiska miljön i en specifik konserthall i Lund. Detta med avseende på störande trafikbuller som läcker in genom byggnadens fasad och de rumsakustiska egenskaperna för dagligt brukande som konserthall. Åtgärderna jämförs och utvärderas sedan för att hitta en optimal lösning där också en ekonomisk aspekt vägs in.

### 3 Metod

En litteraturstudie görs för att få en teoretisk bakgrund på rumsakustik och ljudtransmission. Tillsammans med observationer och ritningar hittas specifika lösningar för detta fall. En datormodell används för att förutspå den rumsakustiska ljudbilden i konserthallen och används också för att jämföra olika scenarier. Resultatet utvärderas för att hitta en optimal lösning rörande akustik och ekonomi för detta specifika fall.

### 4 Hälsoeffekter av buller

Buller och oljud är den vanligaste källan till klagomål rörande levnads- och arbetsmiljö i Europa. I stadsmiljö är problemet extra stort. I jämförelse med andra faktorer som påverkar miljön runt människor är buller svårare att kontrollera och reglera på grund av okunskap om dess effekter. Tidigare analyser som gjorts är till största del inriktade på buller som störande faktor där man inte tar hänsyn till de faktiska hälsoeffekter som buller medför. Världshälsoorganisationen har analyserat samband mellan exponering av buller och respons hos utsatta individer i en epidemiologisk studie. Tillräckliga bevis finns för att fastställa kopplingen mellan buller och irritation, sömnsvårigheter samt hjärt- och kärlsjukdomar. Det finns också underlag för att anta ett samband mellan buller och kognitiv försämring och tinnitus (World Health Organisation, 2011).



Figur 1- Utbredning av hälsoeffekter [1]

Till negativa hälsoeffekter på grund av buller räknas både fysiska, psykiska och sociala problem. Långsiktiga, men även tillfälliga effekter är medräknade. (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999)

#### **4.1 Talförståelse**

Förmågan att uppta ljud är viktig för välbefinnandet. Önskvärt ljud från exempelvis naturen, konversationer, framföranden och musik kan i samband med buller bli mycket mer svårförståeligt. Detta kan vara mycket störande och koncentrationshämmande. Hur lättuppfattat det önskvärda ljudet är beror på förhållandet till det omgivande oljudet. Vanlig talkommunikation ligger i frekvensspannet 100 till 6000 Hz med den viktigaste delen i 300 till 3000 Hz. Desto högre andel oljud speciellt i dessa frekvenser ökar ohörbarheten. Om det nyttiga ljudet är 15 dB högre än bakgrundsbullret så är det 100% förståeligt på en meters avstånd (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999). Efterklangstiden har också påverkan på talförståelsen. Då den överstiger en sekund, speciellt i kombination med buller blir tal mer svårförståeligt.

Negativ påverkan på talkommunikationen i sig, oavsett om den beror på störande bakgrundsljud eller nedsatt hörsel har ett stort antal bevisade funktionsnedsättningar och leder till förändrat beteende hos individen: sämre koncentration, utmattning, osäkerhet, dåligt självförtroende, irritation, sämre arbetsförmåga och stressreaktioner. Påverkan på talkommunikationen har speciellt stor effekt på äldre, barn som lär sig språk och att läsa samt personer som är främmande för det talade språket.

#### **4.2 Nedsatt hörsel**

Nedsatt hörsel är den vanligaste yrkesskadan och innebär att tröskelvärde för den lägsta hörbara ljudnivån ökar. Personer som dagligen utsätts för höga ljudnivåer, exempelvis på sin arbetsplats eller i sin bostad riskerar att få nedsatt hörsel. Då den A-vägda tidsekvivalenta ljudtrycksnivån åtta timmar om dagen,  $L_{Aeq,8h}$  ligger lägre än 75 dB har inte någon märkbar risk för hörselnedsättning hittats. För andra tidsperioder är principen om ekvivalent ljudenergi applicerbar. Vid utsättning av buller 24 timmar om dygnet ( $L_{Aeq,24h}$ ) lägre än 70 dB under en hel livstid klarar sig 95 % av en population utan hörselnedsättning. Utöver ljudtrycksnivån har även frekvensen betydelse för hur stor risken är. Risken är störst vid 4000 Hz men risken

finns också inom intervallet 3000 till 6000 Hz. Vid ökande ljudtrycksnivå ökar dock också intervallet. (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999).

### **4.3 Sömnstörningar**

Sömn är en av de viktigaste förutsättningarna för god hälsa och återhämtning. 80 till 90 % av alla sömnstörningar på grund av oljud beror på interna källor som exempelvis stegljud, ljud från ventilationssystem etc. Till sömnstörningar räknas svårigheter att somna, vaknande på natten och mindre djupsömn. Direkt under sömnen kan detta leda till högre puls och blodtryck, sammandragning av blodkärl, oregelbundna hjärtslag och ökade rörelser. Dagtid efter en natt av dålig sömn kan individen känna sig utmattad, ha sämre humör och prestera sämre. För god sömn bör  $L_{A,max}$  inte överstiga 45 dB mer än tio till femton gånger per natt.

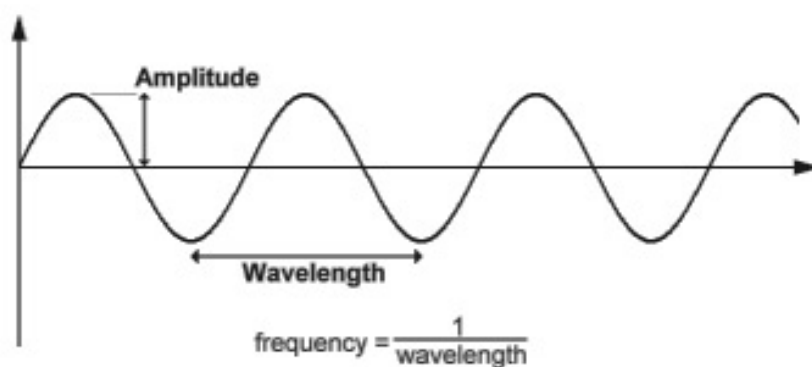
### **4.4 Kardiovaskulära och andra fysiska effekter**

Vistelse i miljöer med högt buller aktiverar det autonoma nervsystemet och ger hormonella stressreaktioner i kroppen. De hormonella förändringarna ger temporärt högre puls och blodtryck samt sammandragning av blodkärlen. Under lång och daglig exponering kan känsliga individer få permanenta effekter såsom kroniskt högt blodtryck och kranskärlsjukdomar. I vilken utsträckning detta visar sig och vilken tidsrymd av exponering som krävs är starkt beroende av personen i sig, levnadsmiljö och livsstil är exempel på viktiga faktorer för individens känslighet.

## **5 Ljud och uppfattning av ljud**

Ljud är kortfattat överföring av vibrationer via oscillerande tryckvågor. En ljudkälla sprider tryckvariationer som beroende av tid och rum överlagrar atmosfärstrycket. Tryckvariationerna sprider sig genom olika fluider och fasta material genom dess massa och förmåga att komprimeras. När dessa tryckvariationer når öronen stimuleras vårt hörselorgan och vi upplever att vi hör ljud. De två viktigaste storheterna i att beskriva ljud fysiskt är just denna tryckvariation och ljudets frekvens. Med frekvens menas hur snabbt trycket varierar, hur många gånger på en sekund som oscillationen upprepas. Mörka bastoner har låg frekvens och ljusa höga toner hög. Frekvens anges i svängningar per sekund eller Hertz [Hz], som är SI-enheten. En normal människa i 20-årsåldern kan uppfatta ljud med frekvenser mellan cirka 16

Hz till 16 kHz men detta intervall är beroende på många faktorer. Om man utsätts för höga ljudnivåer dagligen från exempelvis hörlurar eller buller på arbetsplatsen förminskas ovan nämnda intervall. En enskild ton kan beskrivas med en sinusvåg där frekvensen är dess svängningshastighet och amplituden dess relativa tryckvariation (Möser, 2009).



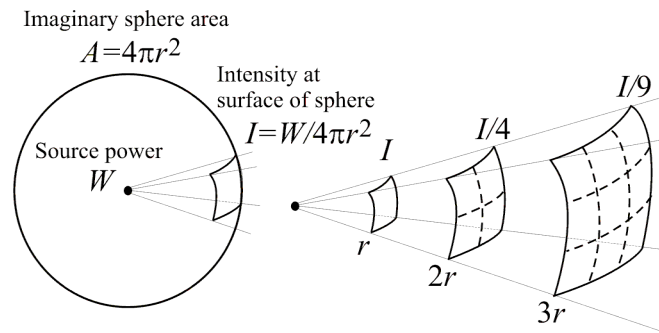
Figur 2 - Tryckvariationen för en enskild ton [2]

Frekvensen för en ljudvåg är inte beroende av avståndet från källan som ljudnivån är. Om så var fallet skulle ljud förvrängas och låta helt annorlunda beroende på vilket avstånd lyssnaren har. Frekvensen är direkt beroende av våglängden och ljudhastigheten enligt:

$$f \cdot \lambda = c \quad \text{Ekv. 1}$$

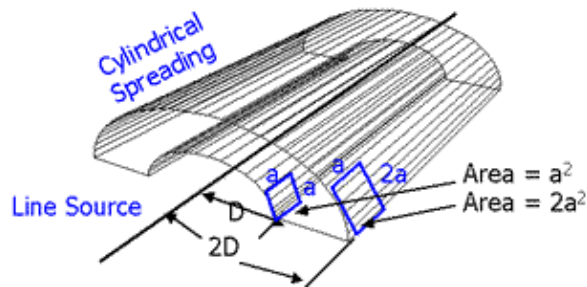
där  $f$  är frekvensen i Hz eller sekund<sup>-1</sup>,  $\lambda$  är våglängden i meter och  $c$  är ljudhastigheten i meter/sekund. Enligt detta samband innebär det att låga frekvenser har lång våglängd eftersom ljudhastigheten i stort sett enbart är beroende av vilken fluid vågorna transporteras i. När våglängden blir lång relativt de objekt som ljudet rör sig runt och genom börjar vågorna bete sig annorlunda. Ljudhastigheten i luft vid normalt tryck och temperatur är ca 343 m/s. Detta ger en våglängd på ca 17 m för frekvensen 20 Hz. Rumsliga objekt blir vid dessa frekvenser små relativt våglängden och lågfrekvent ljud tenderar att böja sig runt hörn och liknande. På samma sätt har högfrekvent ljud väldigt kort våglängd och lämnar skuggzoner likt ljus bakom objekt i rummet (Barron, 1993).

Ljudintensiteten från en enskild punktkälla minskar kvadratisk mot avståndet om reflektioner försummas. I decibelskalan motsvarar detta en minskning om 6dB per dubbling av avståndet från ljudkällan (Barron, 1993). Fenomenet kallas sfärisk utbredning och kan illustreras enligt följande figur:



Figur 3 - Sfärisk spridning [3]

Vid buller från förbipasserande fordon bör dock källan ses som en linje och cylindrisk utbredning används. Mätning bör då ske under hela förloppet då fordonet passerar. En cylindrisk utbredning motsvarar en minskning av 3 dB då avståndet från källan fördubblas (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999).

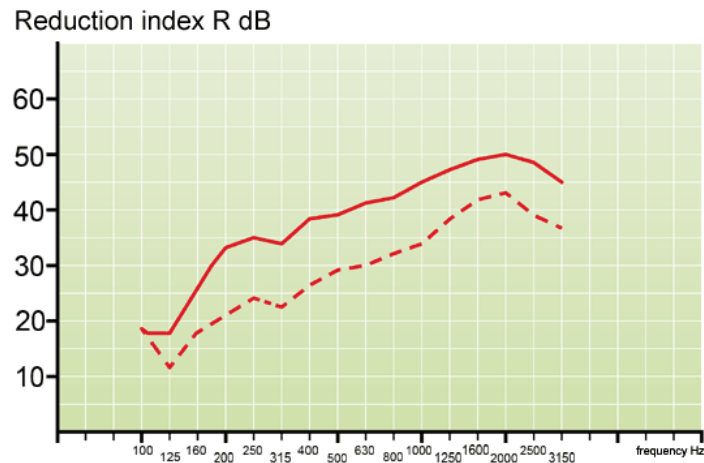


Figur 4 - Cylindrisk spridning [4]

Andelen hårda reflekterande ytor är dock stor i städer och ekon bör därför inte försummas.

Naturligt är det extremt sällsynt med rena enskilda toner som bara innehåller en frekvens. Nästan alla naturligt uppträdande ljud består delvis av flera oharmoniska svängningar. En godtycklig ljudvåg kan generellt beskrivas med ett antal komponenter med ingående amplitud och frekvens (Möser, 2009).

Inom byggnadsakustik vid transmission (överföring av akustiska vågor) av ljud är det mycket fördelaktigt att se signaler i frekvensspektrum eftersom överföringsegenskaperna ofta varierar beroende av frekvens. Generellt kan man säga att transmissionsförlusten är lägre vid låga frekvenser (Möser, 2009).



Figur 5 - Ljudreduktion hos en dubbelvägg med och utan mineralull i kaviteten [5]

Den mänskliga uppfattningen av frekvenser relativt varandra är inte linjär utan beror på förhållandet mellan dem enligt Michael Möser (2009). Exempelvis är uppfattningen av steget mellan 100 till 200 Hz och 1000 till 2000 Hz lika stort. Sambandet kan skrivas:

$$\frac{f_{a1}}{f_{a2}} = \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \quad \text{Ekv. 2}$$

Detta innebär att perceptionen av en frekvensökning beror på startfrekvensen. Detta gäller också grovt för ändringar i ljudtrycket.

En ändring i perception är proportionell mot kvoten mellan ändringen och startvärdet för den fysiska stimulinen enligt:

$$\Delta E \propto \frac{\Delta R}{R_0} \quad \text{Ekv. 3}$$

Vid finita små ändringar och integration erhålls:

$$\int dE = k \int \frac{dR}{R_0}$$

$$E = k \cdot \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) = 2,3 \cdot k \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad \text{Ekv. 4}$$

Detta påvisar att uppfattningen av ljud hos oss människor har ett logaritmiskt förhållande till den fysiska stimulansen. Detta gör att vi uppnår finkänslighet vid väldigt svaga stimulinen, ett väldigt stort intervall av hörbara frekvenser och samtidigt en form av överbelastningsskydd. Den logaritmiska uppfattningen gäller många av våra sinnen. Exempelvis ljudtryck och -frekvens, ljus samt vikt. Dock ej temperatur (Möser, 2009).

För att beskriva ljudnivå används:



$$L = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 \quad \text{Ekv. 5}$$

där L anger ljudnivån i decibel [dB]. Proportionalitetskonstanten 20 är grovt vald så att en dB är den minsta hörbara ökningen av ljudnivån, som är frekvensberoende, vid 1 kHz. Eftersom trycket oscillerar med tiden runt atmosfärstrycket används ett kvadratisk medelvärde eller rms-värde, för att ange dess inverkan då även den negativa delen (relativt atmosfärstrycket) uppfattas. Grundljudtrycket  $p_0$  är tröskelvärde för det lägst hörbara ljudtrycket: 20 mPa. Frekvens anges också logaritmiskt vid byggnadsakustiska tillämpningar. Där, i så kallade oktavband, där en oktav är en fördubbling av frekvensen. (Möser, 2009).

Enheten decibel anger ett logaritmiskt mått och är användbart även inom andra områden än akustik. Inom akustiken är enheten praktisk inte bara för att den linjärt motsvarar vår uppfattning av ljudnivån utan också för att den kan beskriva transmissionsmotstånd för exempelvis ljuddämpare, dörrar och fönster eller användas för att jämföra ljudnivån mellan två rum (Barron, 1993).

Ofta anges transmissionsmotstånden som reduktionstal, R för de specifika byggnadsdelarna som avses. Om transmission sker genom sammansatta konstruktioner används ett areavägt reduktionsindex enligt följande:

$$R = -10 \cdot \log\left(\frac{1}{S} (S_1 \cdot 10^{-R_1/10} + S_2 \cdot 10^{-R_2/10} + \dots)\right) \quad \text{Ekv. 6}$$

där S är den totala arean,  $S_i$  är motsvarande delarea och  $R_i$  är motsvarande reduktionstal. (Negreira, 2014)

Ljudnivån från trafikbuller är inte konstant. För att mer praktiskt ange ljudnivån under en viss tid, T, kan den energiekvivalenta ljudnivån beräknas enligt (Möser, 2009):

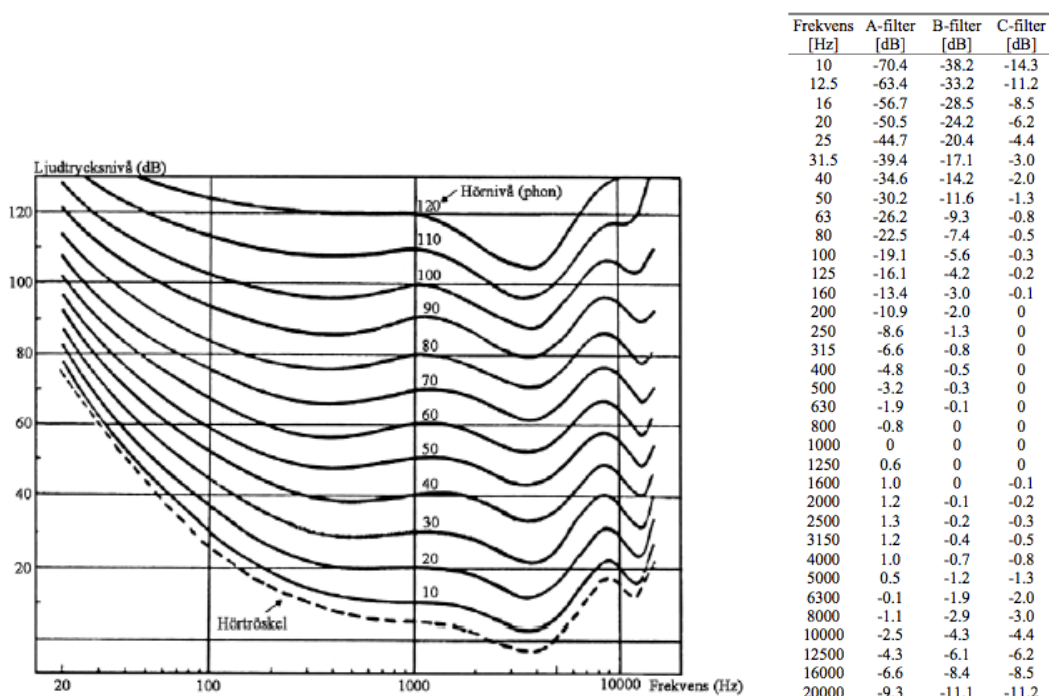
$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0}\right)^2 dt\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt\right) \quad \text{Ekv. 7}$$

För att förutspå hälsopåverkan anser World Health Organisation (2011) att den energiekvivalenta ljudnivån för ett dygn,  $L_{den}$ , bör användas. Indexet *den* står för "day evening night" och delar upp dygnet i delar med tillägg för kväll och natt: dag, 12 h, +0 dB; kväll, 4 h, +5 dB; natt, 8 h, +10 dB.  $L_{den}$  beräknas utifrån tidsekvivalenta ljudnivåer enligt:

$$L_{den} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+10}{10}}\right)\right) \quad \text{Ekv. 8}$$

Det är dock viktigt att ta hänsyn till eventuella enskilda ljudtrycksmaximum om sådana förekommer eftersom korta impulser (slagljöd etc.) knappt påverkar tidsekvivalenta värden samtidigt som de har en annan effekt på människors hälsa (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999).

Som många andra egenskaper är också uppfattningen av ljudnivån frekvensberoende. Människans uppfattning är högst vid cirka 1 000 Hz och lägre vid låga och höga frekvenser. I ett frekvens-ljudtryck-diagram bildas så kallade phonkurvor om ekvivalent uppfattning ritas. Längs en linje i diagrammet är den subjektiva uppfattningen av ljudnivån konstant (Nilsson, Johansson m.fl, 2005).



Figur 6 – Phonkurvor och filter för olika tersband [16]

För att kompensera för ovan nämnda fenomen kan frekvensvägda filter användas. En A-vägning, som är den vanligaste, innebär tillägg (positiva och negativa) motsvarande en inverterad phonkurva vid 40 phon. B- och C-vägning fungerar på samma sätt fast vid 60 och 80 phon. För att särskilja mellan ovägt ljud och de olika vägningarna anges ofta ljudtrycksnivån i dB, dB(A) eller dBA och liknande.

Då trafikbuller till stor del består utav lågfrekventa komponenter har A-vägningen blivit starkt kritiserad av många för att låga frekvenser är starkt dämpade

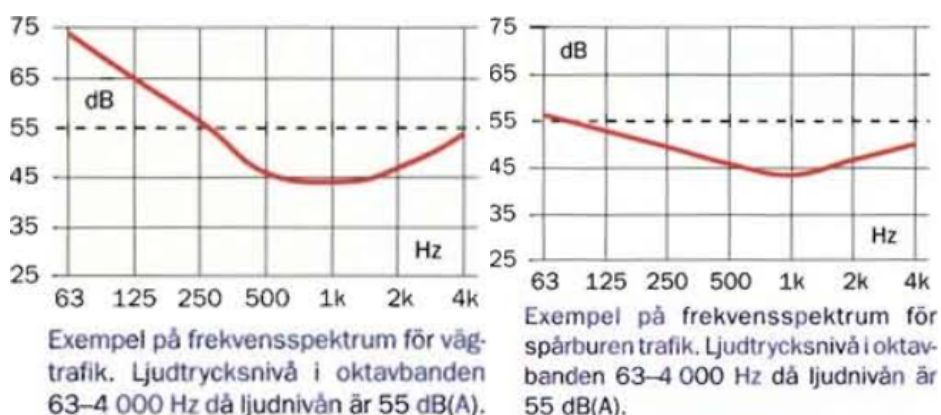
(Kjellberg et al, 1984; Persson & Björkman, 1988; Broner & Leventhall, 1993; Goldstein, 1994) (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999).

## 6 Trafikbuller

Den största källan till störande buller är transporter som person- och lastbilar, bussar, tåg och flygplan. En tidsekvivalent ljudtrycksnivå för vägtrafik kan förutspås utifrån trafikflöde, hastighet, andel tunga fordon och vägytans karaktär. Det är viktigt att ta hänsyn till närliggande förändringar av dessa faktorer som annars lätt glöms. Till exempel kan en närbelägen busshållplats öka den verkliga ljudnivån eftersom bussar stannar där och väsnas en längre tid jämfört med om den bara passerar. Ett annat exempel på detta fenomen är trafikljus.

Vid låga hastigheter är den dominerande delen av bullret från personbilar och bussar motorljud. Bullret ökar också vid grövre underlag som kullersten. Även reflekterande omgivning gör att ljudnivån höjs (Trafikverket, 2015).

Bullret från tågtrafik beror på en mängd faktorer. Vid låga hastigheter under 30 km/h dominerar ljudet från motor och här är dieselmotorer värre än elektriskt drivna. Vid hastigheter mellan 30 och 300 km/h är den största delen rullningsbuller. Detta buller uppstår till största delen vid kontakten mellan hjul och räls. På grund av detta är rälsens skick och utformning viktig. Även tåglängd och typ av tåg avgör bullrets nivå och karaktär. Godståg alstrar generellt mer buller än passagerartåg. Bullret från godståg sprids som luftljud men i vissa fall också som vertikala vibrationer i marken (Trafikverket, 2015).



Figur 7 - Frekvensspektrum för väg- och tågtrafik [6]

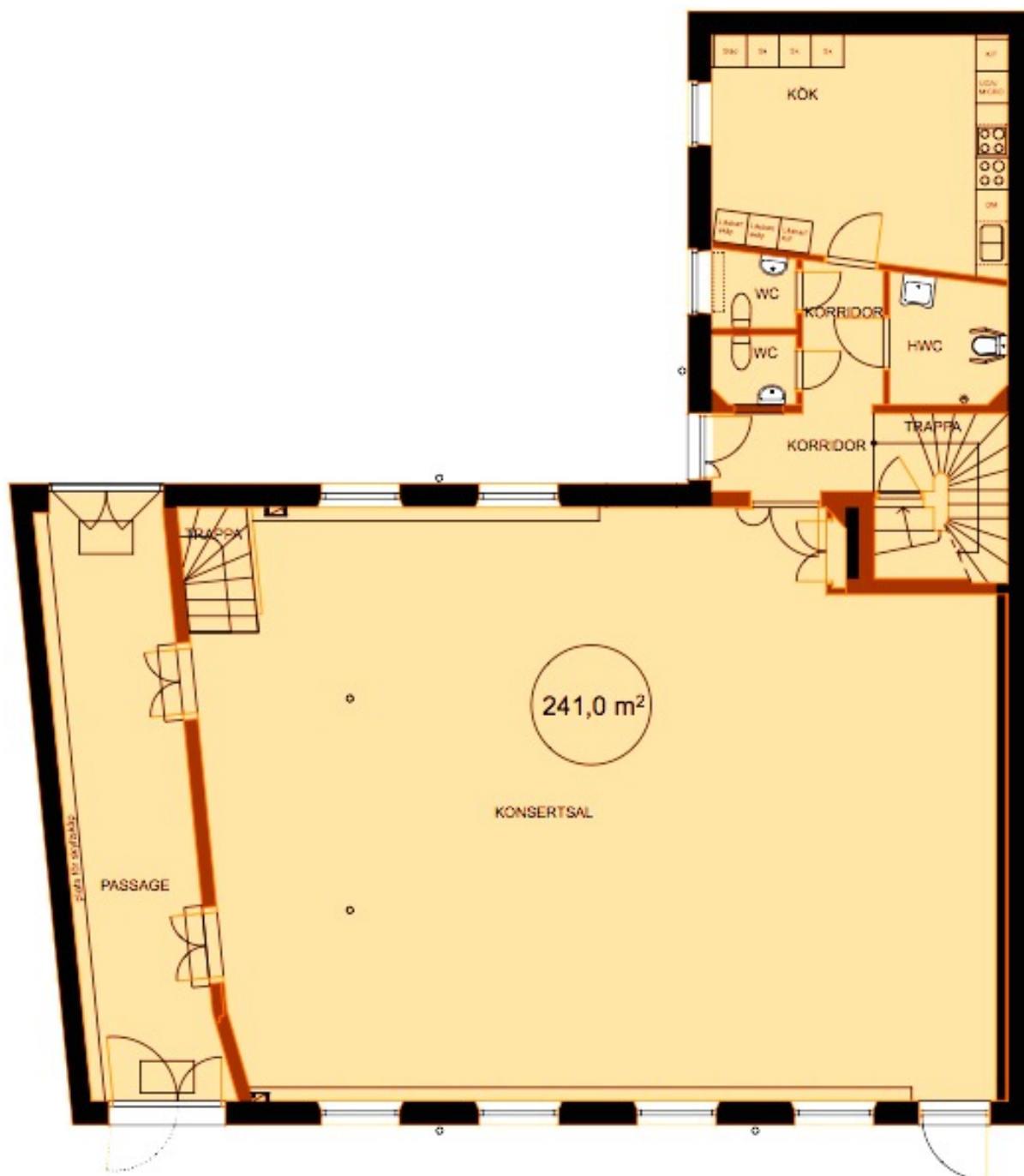
## 7 Byggnadens egenskaper

Maria Magle 2 är en fastighet belägen i centrala lund på Magle stora kyrkogata 2. Gatan som löper utanför byggnaden är en smal kullerstengata utan linjetrafik. Avståndet från byggnaden till närmsta tågspår är ca 0,5 km i stadsmiljö.



Figur 8 - Magle stora kyrkogat utanför byggnaden [7]

Byggnaden upprättades av Frälsningsarmén år 1890 och nyttjas idag av Lunds studentsångare för körövningar, framträdanden och tal. Planlösningen är utformad enligt Figur 9.



Figur 9 – Planlösning [8]

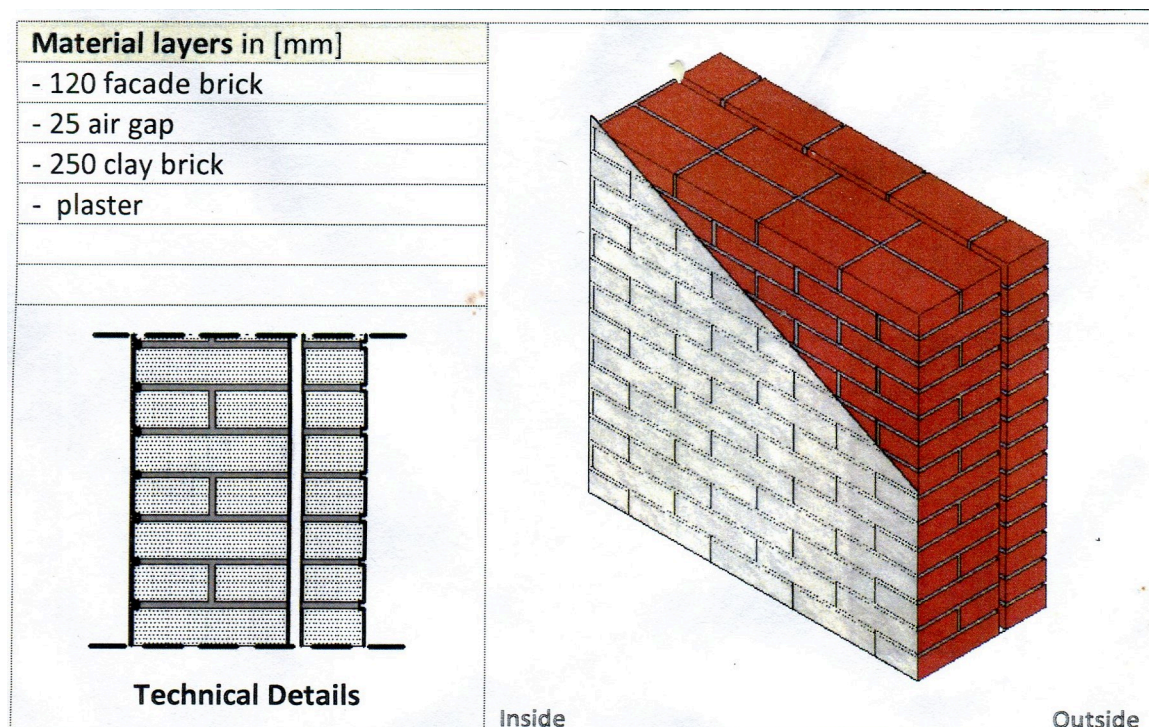
Ytterväggarna består av tunga betong- och tegelskikt. De har stort djup och anses ha bra akustiska egenskaper. Ytskiktet på insidan är betong och antas vara högreflekterande.





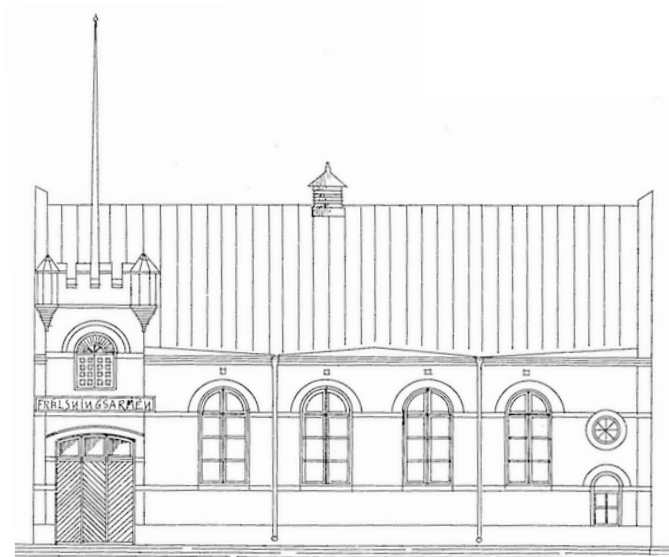
Figur 10 - Bild på väggen [9]

I figuren nedan visas en exempelvägg med  $R'_w$  på 58 dB och som antas ha liknande egenskaper.



Figur 11 - Exempel på yttervägg i tegel [10]

Fasaden som utsätts för trafikbuller har sex fönster. Ovanför fyra av de stora fönsterna finns tilluftsventiler, se Figur 12.



**Figur 12 - Fasad mot Magle stora kyrkogata [11]**

De fönster som finns är gamla och har tunna dubbelglas.



**Figur 13 - Detaljbild, fönsterkarm [9]**

Huvudingången är riktad ut mot gatan och har en uppenbart stor läcka då solljus tydligt lyser igenom vid den nedre tröskeln, se Figur 14. Innanför dörren finns en passage med två trädörrar in till konsertsalen. Passagen består av hårda reflekterande ytor.



Figur 14 – Huvudingång [9]

Konsertertsalen har fyra tilluftsdon ut mot gatan med biltrafik. Salen är också utrustad med akustiska gardiner för att reglera efterklang. De syns som röda ytor i Figur 16.

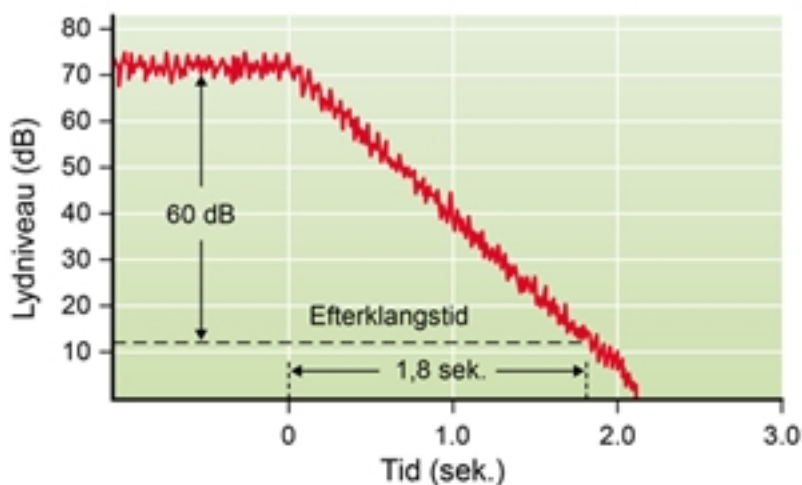
## 8 Rumsakustik

Det direkta ljudet från en ljudkälla i ett rum är inte det enda en åhörare uppfattar. Det direkta ljudet är det som går i en rak linje genom rummet mot lyssnaren. En ljudkälla skickar dock ljud i sfäriska vågor, alltså i flera riktningar samtidigt. Större delen kommer att studsas mot väggar och andra ytor och gå en längre väg innan det når åhöraren en mycket kort tid efter det direkta ljudet. Den del som studsar ett fåtal gånger kallas tidiga reflektioner. Då ljudet studsar flertalet gånger når det åhöraren ännu senare. Detta ljud kallas efterklang. Varje gång ljudet studsar absorberas även en del av det material det studsar i. Därför är ljudnivån lägre för de ljudvågor som har reflekterats fler gånger (Barron, 1993).



## 8.1 Efterklangstid

En kort impuls av ljud, exempelvis en smäll eller en klapp kan eka kvar flera sekunder i en kyrka men endast i en bråkdel av en sekund i ett vanligt vardagsrum. Varje utrymme har sin egen karaktär på efterklang beroende av dess volym, utformning och ytmaterial. För att kunna beskriva efterklangen har man definierat efterklangstid. Efter att en ljudkälla upphört mäts tiden tills ljudnivån har sänkts 60 dB. En fraktion av en ljudvåg absorberas vid varje reflektion, trycket sänks då exponentiellt med tiden. Detta ger en linjär minskning i decibelskalan som är logaritmisk (Barron, 1993).



Figur 15 - Exempel på efterklang [12]

Det finns många liknande mätetal inom akustiken som används till olika ändamål. Efterklangstid kan också definieras som  $T_{30}$  vilket innebär tiden för att ljudnivån i ett rum ska reduceras 60 dB (för att vara jämförbart med det klassiska RT), mätt mellan -5 dB och -35 dB. EDT motsvarar också en sänkning av 60 dB men mäts de första 10 dB och står för *Early Decay Time*. EDT motsvarar bättre den subjektiva känslan av ett rums efterklangstid eftersom de tidiga reflektionerna har en psykoakustiskt större effekt (AV info).

För att mäta klarhet, förmåga att urskilja specifika ljud används  $C_{80}$ . Då sena reflektioner kan störa kommande ljudvågor mäts förhållandet mellan tidiga (0 till 80 ms) och sena reflektioner (80 ms och uppåt) genom integration av ljudtrycket som funktion av tiden (AV info):

$$C_{80} \equiv 10 \cdot \log \left( \frac{\int_0^{0,08} p(t)^2 dt}{\int_{0,08}^{\infty} p(t)^2 dt} \right) \quad \text{Ekv. 9}$$

Lång efterklangstid ger ett lågt  $C_{80}$  vilket betyder att klarheten är låg. Vid musikaliska tillämpningar används 80 ms gränsen, vid muntliga framträdanden används 50 ms.

Enligt Boverket (2008) ska efterklangstiden i lokaler anpassas efter utrymmets ändamål. En lokal med olika användningsområden kan med fördel ha exempelvis gardiner för att uppnå en flexibel efterklangstid. Efterklangstiden i en lokal som används till både tal och musikaliska uppträdanden bör ligga inom spannet **0,8 till 1,5 sekunder**. Det är också viktigt att inte glömma att efterklangstiden är beroende utav publikmängden vid uppträdanden. (Barron, 1993).

Ett rums efterklangstid kan förutspås genom olika metoder som alla har sina för- respektive nackdelar. Om ett fullständigt diffust ljudfält antas beror efterklangstiden på rummets volym och dess absorberande ytor. Ett stadigt förhållande uppstår mellan inkommande ljudenergi och absorberad ljudenergi i begränsningsytor. Genom detta kan Sabines formel härledas (Möser, 2009):

$$T = 1.63 \frac{V}{\alpha \cdot S} \quad \text{Ekv. 10}$$

Sabines formel är dock en grov förenkling om ljudfältet inte är helt diffust och absorptionen inte är jämt fördelad över alla ytor. I stora komplexa salar med blandade akustiskt hårda och mjuka ytor kommer felet att vara större. Beroende på position i rummet kommer därför ljudupplevelsen att vara olika.

## 8.2 Modell i CATT-Acoustic

För att mer korrekt förutspå efterklangstid och även många andra akustiska egenskaper behövs geometrisk datormodellering och beräkning. CATT-acoustic är en svenskutvecklad mjukvara som genom så kallad ray-tracing i en geometrisk modell kan beräkna akustiska egenskaper. Ray-tracing bygger på att partiklar skickas i spridda linjer runt om i modellen och låts studsa mot ytor med tilldelade absorptionskoefficienter för varje oktavband. CATT-acoustic hanterar även spridning (på engelska scattering) i form av koefficienter för varje frekvensband. Spridning innebär att ytor inte ses som helt plana och ljudfältet blir mer diffust (Honeycutt, 2014).

Vid modellering är publik en av de delar som är svåra att få representativt i en datormodell. Människor har betydande stor absorption och ger väldigt hög spridning. Genom att tilldela golvytor motsvarande absorption kan en förenkling göras. Dock överdrivs då rummets volym samtidigt som absorption vid publikens sidor inte tas med i beräkningarna. Ett mer verklighetsmotsvarande resultat fås om publiken modelleras som en låda med absorption och spridning. CATT-acoustic kan även beräkna efterklangstid enligt Sabines metod. Jämförelse ger då en verklighetskontroll samtidigt som Sabines formel kan användas baklänges för att se hur mycket absorption som saknas för att nå en efterfrågad efterklangstid (Honeycutt, 2014).

Modellering av Maria Magle 2 görs efter handritningar (1899) ifrån stadsbyggnadskontoret i Lund. Publik modelleras som lådor varav publiken på plan 2 har lutning. Befintliga absorbenter i form av gardiner och plattor modelleras som delytor på respektive vägg. Följande absorptionskoefficienter i procent används:

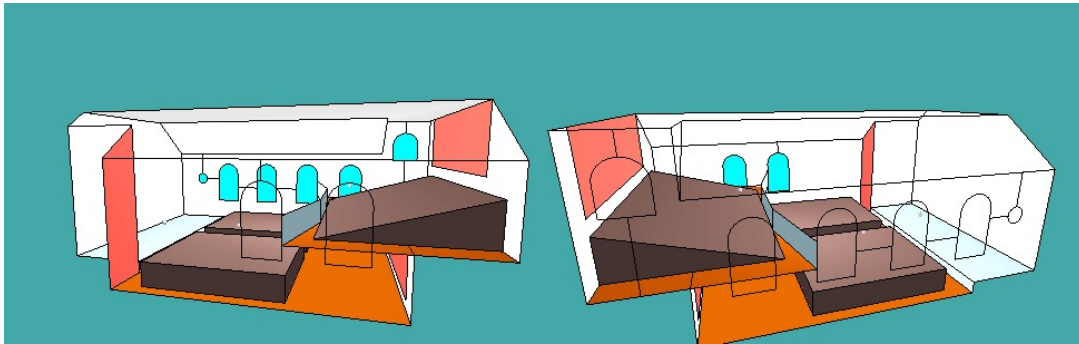
**Tabell 1 - Absorptionskoefficienter för ytskikt**

$f$ /[Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Betongvägg	10	5	6	7	9	8
Gardin	7	31	49	75	70	60
Fönster	10	10	15	12	7	9
Trägol	15	11	10	7	6	7

För publiken används spridning och två fall av absorption: fullsatt publik eller helt tomma stolar.

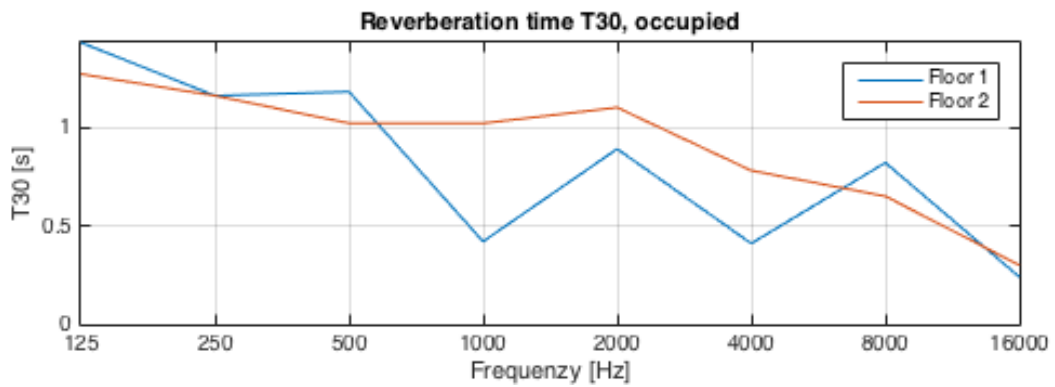
**Tabell 2 - Absorption och spridning för publik**

$f$ /[Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha_{publik}$ /[%]	40	60	75	88	88	85
$\alpha_{tom lokal}$ /[%]	15	19	22	39	38	30
$\delta$ /[%]	30	40	45	70	80	90

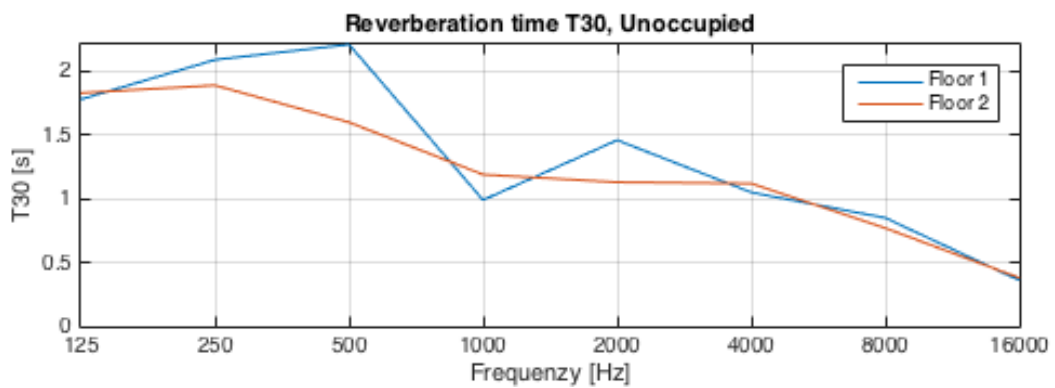


Figur 16 - 3D-vyer av modell i CATT-acoustics

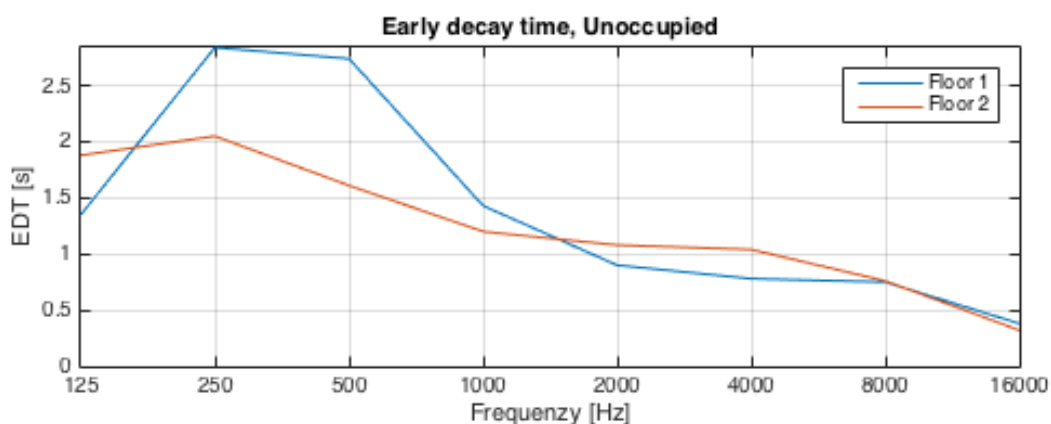
Beräkningar görs då ljudkällan placeras på scen längst fram i lokalen och mätning skedde i publiken på nedre (floor 1 i figurer nedan) och övre plan (floor 2).



Figur 17 - Efterklangstid för fullsatt lokal



Figur 18 - Efterklangstid för tom lokal



Figur 19 - EDT för tom lokal

I tabellen nedan jämförs resultatet från CATT-Acoustics för Maria Magle med andra kända konserthallar.

Tabell 3 - Jämförelse mot andra konsertlokaler (AV info)

Namn	Volym	Platser	RT, fullsatt	EDT, tom lokal	C80
Lund, Maria Magle	1170	160	0,82	1,40	6,4
Berlin, Komische Oper	7000	1222	1,25	1,23	3,1
London, Royal Opera House	12250	2120	1,10	1,04	4,5
Tokyo, Nissei Theater	7500	1340	1,11	1,06	4,4

## 9 Transmission av buller

Ljudmiljön är den faktor som är högst rankad enligt undersökningar för välbefinnande hos människor i byggnader. En sammansatt konstruktions eller byggnadsdels förmåga att stänga ute luftburet ljud kallas för dess luftljudisolering. I svenska standarder betecknas luftljudisoleringens reduktionstal med  $R$  eller  $R_w$  om det är ett frekvensvägt värde. Värden från verkliga fältmätningar betecknas  $R'$ . Eftersom reduktionstalet är frekvensberoende används ett vägt tal som är anpassat för alla frekvenser, detta för enkelhet. Vid mätningar korrigeras reduktionstalet också för transmissionsarea och mottagarrummets efterklangstid för att få en mer realistisk jämförelse med andra konstruktioner. Det är viktigt att inte glömma det indirekta ljudet, se kommande kapitel om flanktransmission. Eftersom det vägda reduktionstalet inte är frekvensberoende finns särskilda spektrumanpassningstermer för olika ljudkällor och konstruktionsdelar vid exempelvis lågfrekvent ljud som trafikbuller då reduktionen oftast är lägre vid låga frekvenser (Boverket, 2008).

Typ av ljud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landsvägstrafik &gt; 80 km/tim</li> <li>• Järnvägstrafik, normal och hög hastighet</li> <li>• Jetflyg på kort avstånd</li> <li>• Industrier som utsänder mellan- och högfrekvent buller</li> <li>• Höga röster och skrik i innerstadsmiljö, lekplatser etc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gatutrafik, ca 10% tunga fordon</li> <li>• Järnvägstrafik, låga hastigheter</li> <li>• Propellerflyg</li> <li>• Jetflyg på långt avstånd</li> <li>• Industrier som utsänder låg- och mellanfrekvent buller</li> <li>• Diskotekmusik</li> </ul>
	Lägsta luftljudsisolering (dB)	Lägsta luftljudsisolering (dB)
	$R'_w+C$	$R'_w+C$
	$R'_w+C$	$R'_w+C_{tr}$

Figur 20 - Anpassningstermer för reduktionstal [13]

Termen  $R'_w + C_{tr}$  avser det sammanvägda reduktionstalet för de byggnadsdelar som ljudtransmissionen sker i. Det vill säga väggar, dörrar, fönster, luftintag, tak och så vidare. Att använda det vägda reduktionstalet även med anpassningsterm är en mycket förenklad dimensionering (Boverket, 2008).

Vid nyproduktion i dag är de vanligaste utförandefelen som leder till att beräknad ljudreduktion inte uppnås följande (Boverket, 2008):

- Luftläckage
- Oavsiktligt styva anslutningar så kallade stomljudsbygggor
- Oavsiktligt veika anslutningar som kan ge oförutsedd flanktransmission

## 9.1 Flanktransmission

Det ljud som överförs via angränsande byggnadsdelar, exempelvis intilliggande rum kallas flanktransmission. I stort sett allt ljud som inte är direkt luftljud klassas hit. Flanktransmission innefattar också ljudöverföring via marken. En stor del av ljudöverföring sker via flankerande transmission vilket gör att den inte är försumbar. Flanktransmission är också svårare att beräkna eftersom många fler faktorer, exempelvis styvhet i anslutningar, påverkar resultatet.

## 9.2 Vägg

Tunga ytterväggskonstruktioner har i regel goda akustiska egenskaper mot luftburet ljud. Dock innebär ofta betongväggar styvare anslutningar till bjälklag och innerväggar vilket medför högre transmission inom byggnaden (Boverket, 2008).

### 9.3 Fönster och dörrar

Dörrar och fönsters ljudreduktion kan försämrats mycket av läckor vid lister och trösklar, speciellt vid låga frekvenser. Tryckvågorna i luften pressar luft genom läckan vilket gör att ljudet överförs in i nästan rum. Läckor som knappt är synliga gör också stor skillnad. Skillnaden blir större för dörrar och fönster med hög ljudklassning (Boverket, 2008).

De flesta fönster med fungerande tätningslister har en ljudreduktion på minst 30 dB(A).

Om dörren eller fönstret har dålig passning mot karmen kan också transmissionen öka. Dålig passning beror oftast på:

- Ojämnt underlag
- Att skruvarna karmen sitter med är ojämnt borrade så att karmen sitter snett och i sin tur anliggningsytan mot dörren blir sned
- Dörr- eller fönsterbladet är för tungt för upphängningen så att monteringen blir sned
- Tillverkarens anvisningar för monteringen är inte följda fullt ut.

För att i fält enkelt kontrollera om passningen är bra finns ett enkelt test. Genom att klämma ett vanligt A4-papp mellan dörr eller fönster och karm och sedan dra ut det, fås ett mått på hur hårt listen är pressad. Om pappret går sönder är passningen för tight. Pappret ska kunna dras ut med visst motstånd för att passningen skall vara korrekt. Testet kan utföras vid olika punkter för att kontrollera om passningen är sned (Boverket, 2008).

### 9.4 Ventilation

Uteluftsventiler, eller tilluftsdon som de också benämns, kan vara en stor källa till luftljudsläckage. Det har skett stor utveckling med tiden och idag finns ventiler optimerade för att stänga ute ljud och samtidigt filtrera den inkommande luften. Enligt svensk standard ska uteluftsventilerna vara utformade för att minimera kallras och drag. De ska också vara filtrerande och bör vara ljuddämpande. De måste också finnas möjlighet till rengöring (Boverket, 2008).

Luftventilers reduktionsförmåga är mycket beroende av hur väggen de är monterade i är utformad. För att ge jämförbara värden anger tillverkarna reduktionstalen för sina produkter enligt hur stor skillnad i ljudtryck ventilerna ger monterade i en akustiskt ideal vägg med arean 10 m<sup>2</sup>. Väggen består ofta av starkt ljudabsorberande porösa material som mineralull. Monteras ventilen istället exempelvis i en vägg med täta celler av lättbetong eller

cellplast kan skillnaden mot tillverkarens angivna värde bli högre än 15 dB. Ventiler monterade nära andra ventiler eller exempelvis väggar kan också öka transmissionen, speciellt vid låga frekvenser (Boverket, 2008).

Det finns två kategorier av fysiska ljuddämpare i rör och ventilationer. Den första typen består av att mekaniskt ändra tvärsnittets storlek. Genom att öka och förminska arean på tvärsnittet vinkelrätt flödet reflekteras en stor del av ljudet mot källan. Ljudenergin riktas helt enkelt om och övergår i värme och liknande. Det andra sättet är att klä insidan i olika beklädnader. Absorption är inte nödvändigt utan reflektion har också stor betydelse (Möser, 2009).

## 10 Möjliga åtgärder

Sammanstatta konstruktioner har ofta störst ljudinsläppning genom fönster och tilluftsdon eftersom dessa utgör svagare länkar då tunga väggar har bra reduktion i sig. Med andra ord så är det viktigt att åtgärda de byggnadsdelar med sämst ljudreduktion först för att förbättra reduktionen effektivt och undvika onödiga kostnader. (Åkerlöf, Byman et al., 1998)

Bullerplank har sämre inverkan på lågfrekvent ljud då höjden blir liten relativt våglängden. Dessutom behövs stor ytmassa hos planket för att effektivt reducera låga frekvenser (Berglund, Lindvall, & Schwela, 1999). Även rent praktiskt är bullerplank inte ett genomförbart alternativ centralt i Lund.

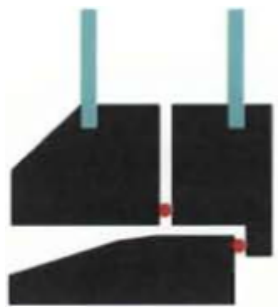
### 10.1 Fönsteråtgärder

För att åtgärda ljudinsläppning vid fönster bör först läckage undersökas. Som tidigare nämns är läckor mycket vitala. Exempelvis är fungerande tätninglistor viktigare än att öka antalet glas från två till tre. De flesta fönster med fungerande tätninglistor uppnår en ljudreduktion om minst 30 dBA. Om däremot tätninglisterna är dåliga sänks ljudreduktionen till mellan cirka 20 och 25 dBA (Åkerlöf, Byman m.fl., 1998).

En rad faktorer har betydelse för ljudreduktionen och därför kan den för monterade fönster vara svår att förutspå. Vid större projekt än Maria Magle rekommenderas provmontage.

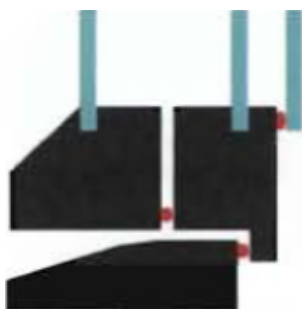


Som första steg bör som sagt tätning kontrolleras. Genom att justera och rikta sned passning samt se till att fungerande tätningslister finns kan reduktionstalet för ett fönster uppnå omkring 36 dBA. Detta är också ett ekonomiskt alternativ och är ofta effektivt vid äldre hus. Kostnaden är då cirka 400 kr per fönster (Åkerlöf, Byman m.fl., 1998).



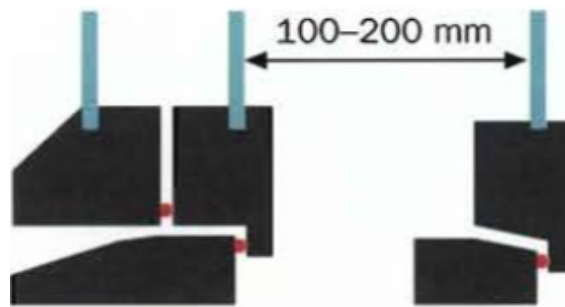
**Figur 21 - Tätningslister vid fönster [6]**

För att uppnå en reduktion upp mot cirka 41 dBA kan en tilläggsruta monterats på exempelvis insidan av befintligt fönster. Kostnaden är då cirka 3 000 kr per fönster (Åkerlöf, Byman m.fl., 1998).



**Figur 22 - Tätningslister och tilläggsruta [6]**

Eftersom Maria Magle 2 är en äldre byggnad och fasaden är k-märkt är det inte säkert att byte av hela fönstren är tillåtet. Eftersom väggen är tjock och fönsterhålen är relativt djupa finns utrymme för en tilläggsruta på egen fönsterbåge. Lösningen är dock inte ekonomiskt försvarbar om den jämförs med att byta till moderna fönster. Kostnaden för denna lösning är cirka 6 000 kr och en reduktion av 48 dBA kan erhållas (Åkerlöf, Byman m.fl., 1998).



Figur 23 - Tätninglistor och tilläggsruta på egen fönsterbåge [6]

Att byta till moderna fönster med bra akustiska egenskaper kan ge ljudreduktion över 48 dBA. Kostnaden är cirka 7 000 till 10 000 kr (Åkerlöf, Byman m.fl., 1998).

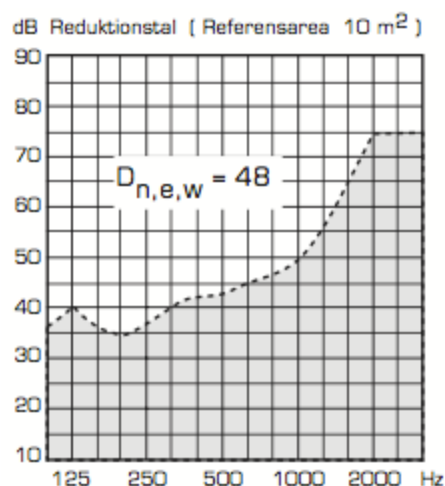
Nämnvärt är att ovan angivna prisuppgifter är från 1998 och priserna för byggnadsmaterial har stigit sedan dess.

## 10.2 Åtgärda tilluftsdon

Tilluftsdonen i byggnaden ser enligt bilder ut att vara gamla och ha akustiskt dåliga egenskaper. Att byta tilluftsdon till moderna med ljudreducerande beklädnad kan ha stor effekt beroende på hur bra de befintliga ventilerna är. Om de befintliga nästintill kan ses som rena läckor bör skillnaden vara betydande. Nedan visas ett exempel på en ventil med ljuddämpat rör från luftbutiken.se. Kostnaden är 665 kr utan installation och  $R_w$  är 48 dB.



Figur 24 - Fresh 90-dB [14]



Figur 25 - Reduktionsspektrum för Fresh 90-dB [15]

### 10.3 Tätning av huvudingång

Huvudentrén bidrar endast med flankerande ljud till konsertsalen som i huvudsak används i byggnaden. Dock är miljön i passagen högt reflekterande och dörren, som tidigare påpekats, har en uppenbart stor läcka. Att åtgärda läckan och installera absorbenter i passagen bör förbättra ljudnivån i den stora salen.

### 10.4 Absorbenter

När lokalen används till övningar utan publik är efterklangstiden hög enligt Figur 18. Detta bidrar dels till att ljudet från trafikbullret ekar och förstärks samt att talförståelsen blir lägre. Genom att sätta upp ytterligare absorbenter i form av skivor motverkas detta. Lokalen är redan utrustad med akustiska gardiner vilket gör efterklangstiden flexibel. Dock är dessa ej tillräckliga då publik inte är närvarande. Optimalt vore att absorbera ljud på byggnadens kortsidor för att bättre dämpa sena reflektioner men här är redan gardiner placerade. Om absorbenter monteras i tak och på väggar där plats finns förbättras den akustiska miljön, ljudnivån sänks samt att den flexibla efterklangstiden från gardinerna behålls. Flexibel efterklangstid är fördelaktigt då konsertsalen används till både tal som hörs bäst med kort efterklangstid samt övning och uppträdanden som vinner på något längre efterklangstid.

Som tidigare nämnts bör efterklangstiden ligga mellan cirka 0,8 till 1,5 sekunder. Enligt Figur 18 bör alltså efterklangstiden sänkas ca 0,5 sekunder. Speciellt bör efterklangstiden i det lågfrekventa spannet sänkas. Enligt Sabines formel (Ekv. 10) motsvarar

detta över 300 m<sup>2</sup> 100% absorberande yta vilket ej är möjligt på grund av platsbrist. Därav rekommenderas att där enkel installation och plats finns monteras väggabsorbenter. Dock ej mer än 300 m<sup>2</sup>.

### **10.5 Active noise cancelling**

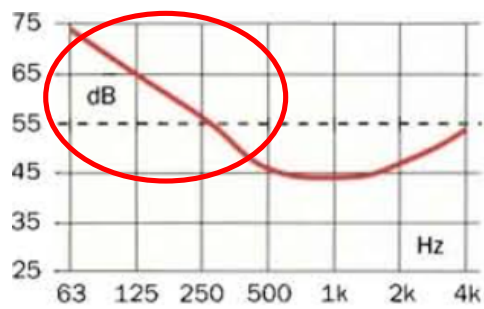
Genom att fånga upp ljud med en mikrofon, färförskjuta det så att ljudvågen blir inverterad, och sedan sända ut det via en högtalare kan ljud dämpas. Ljudvågen och dess inverterade motvåg interfererar och resultanten blir noll. Detta är dock en väldigt komplicerad process, speciellt i tredimensionella situationer.

Aktiv ljuddämpning kan endast uppnås effektivt vid låga frekvenser och bra förhållanden. Exempel där sådana system används är bilar där elektronisk signal från motor kompletterar ljudupptagning i kupén. I kanaler är ljudet riktat och mycket lättare att förutsäga. Här är enda området där dessa system kan konkurrera med klassiska alternativa dämpningsmetoder (Möser, 2009).

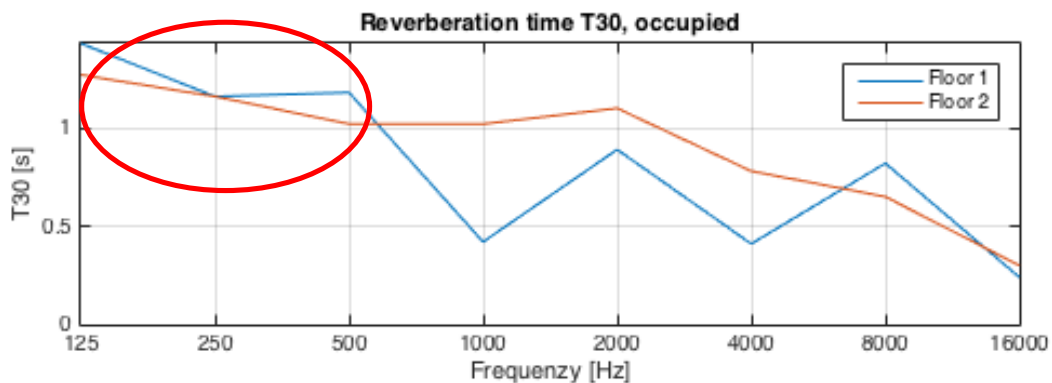
### **10.6 Helmholtz resonator**

En Helmholtzresonator är en form av absorbent som med hjälp av dess rumsliga dimensioner angriper en viss frekvens. Resonatorn består av en volym och en hals med öppning. Luften i halsen verkar som en diskret massa vars rörelseenergi bidrar med tröghet. Luften i volymen beter sig som en oscillerande fjäder, d.v.s. expanderas och komprimeras. Beroende på halsens och kroppens utformning kan önskade frekvenser dämpas i ett rum (Han, 2008).

I det specifika fallet som behandlas i denna rapporten bör låga frekvenser vara målet eftersom i detta område är ljudtrycksnivån från vägtrafiken hög, reduktionen i konstruktionen låg och efterklangstiden hög. Enligt Figur 7 och Figur 17 bör frekvenser mellan 0 och 500 Hz vara målet för resonatorn. Se markering nedan.



Exempel på frekvensspektrum för vägtrafik. Ljudtrycksnivå i oktavbanden 63–4 000 Hz då ljudnivån är 55 dB(A).



Eftertanke bör dock ges till att Helmholtz resonatorer är utrymmeskrävande och att beräkningar krävs för rätt utformning.

## 11 Diskussion

Eftersom Maria magle 2 inte nyttjas som bostad eller arbetsplats på heltid är långvarig exponering ( $L_{eg}$  och  $L_{den}$ ) och medföljande hälsoeffekter som nedsatt hörsel och sömnstörningar inte aktuellt. Dock är det störande trafikbullret ett stort problem som leder till försämrad talförståelse och andra stressreaktioner. För att förbättra ljudmiljön bör både konstruktionens sammansatta reduktion och den höga efterklangstiden förbättras.

Då vägtrafiken på kullersten väldigt nära byggnaden har dominerande lågfrekvent buller samtidigt som byggnadsdelar och absorberande skikt verkar sämre i detta område är förutsättningarna problematiska. Tågtrafiken i Lund ligger på stort avstånd samtidigt som andra byggnader blockerar den direkta ljudöverföringen vilket gör att detta buller kan försummas.

Det är ekonomiskt oförsvarbart att göra mätningar på både befintliga fönster och tilluftsdon som behövs för att kunna förutspå den totala transmissionen samt att hitta vilken byggnadsdel som släpper igenom mest ljud. Väggekonstruktionen som är tung och tjock har jämfört med andra väldigt bra akustiska egenskaper. Således bör fönster och ventiler i första hand åtgärdas. Även rumsakustiskt bör ljudmiljön förbättras. Jämfört med stora kända konserthallar är Maria magle 2 i samma klass vad gäller efterklangstid, EDT och  $C_{80}$ . Dock är byggnaden endast en bråkdel av de andra storleksmässigt samtidigt som användningsområdet inte enbart är för uppträdanden. Resultatet från CATT-modellen bör inte vara missvisande eftersom hög noggrannhet och spridningskoefficienter har används.

Att på plats göra papperstestet för att hitta läckor och sätta upp en list på huvuddörren är en väldigt enkel och billig lösning. Att sätta upp tilläggsrutor kan vara ekonomiskt fördelaktigt då energiförbrukningen samtidigt sjunker. Byte av tilluftsdon är också relativt billigt och en enkel åtgärd som kan ge stor effekt. Att montera Helmholtzresonatorer anses inte vara effektivt eftersom de kräver ytterligare beräkningar och är platskrävande. Samtidigt förändras rummets utformning i och med förändring av ytor i rummet, både till reflektion och placering sett. Detta kommer ändra rumsakustiken och nya problem kan uppkomma. För att sänka efterklangstiden i konsertsalen rekommenderas installation av absorbenter där plats finns.

## 12 Åtgärdslista

Nedan listas åtgärder som anses ekonomiskt försvarbara samt bör ha tillräcklig effekt på de akustiska problem som presenterats. För att få bättre ljudreduktion i ytterväggsstrukturen rekommenderas:

1. Byte av de fyra uteluftsventilerna i konsertsalen (se Figur 12) till ljuddämpande tilluftsdon, exempelvis Fresh 90-dB.
2. Kontroll och tätning av samtliga fönster på byggnaden med hjälp av papperstestet och installation av tilläggsruta på befintlig fönsterkarm.
3. Tätning av stor läcka vid tröskeln på entrédörr ut mot Magle stora kyrkogata.

För att förbättra de rumsakustiska egenskaperna bör de befintliga absorptionsgardinerna kompletteras. Gardinerna ger flexibel efterklangstid men dock bör den totala tiden sänkas

med kompletterande absorptionsplattor. För att nå ultimata rumsakustik krävs mer absorption än vad som är praktiskt möjligt. Därför rekommenderas montering av plattor i entré och konsertsal där plats tillåter. I entrén finns plats på samtliga väggar vilket syns i Figur 14. Den stora salen täcks dock stora ytor av fönster och akustiska gardiner vilket gör att takplattor rekommenderas i så stor utsträckning som möjligt.

## 13 Litteraturförteckning

- Åkerlöf, L., Byman, U., & fl., m. (1998). *Skönheten och oljudet*. Stockholm: Svenska Kommunförbundet.
- AV info. (u.d.). *Room Acoustics / Concert Hall Acoustics - an Overview* . Hämtat från AV info.eu:  
<http://www.bnoack.com/index.html?http&&www.bnoack.com/acoustic/concerthall.html>  
den 08 12 2015
- Barron, M. (1993). *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. England: E & FN Spon.
- Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). *Guidelines for community noise*. World Health Organisation.
- Boverket. (2008). *Bullerskydd i bostäder och lokaler*. Boverket.
- Honeycutt, R. (den 16 Oktober 2014). *How To Model Audience Absorption*. Hämtat från Prosoundtraining.com: <http://www.prosoundtraining.com/site/blog/how-to-model-audience-absorption/> den 2 12 2015
- Leif Akerlöf, U. B. (1998). *Skönheten och oljudet - handbok i trafikbullerskydd*. Stockholm: Svenska kommunförbundet.
- Möser, M. (2009). *Engineering acoustics, An Introduction to Noise Control* (2 uppl.). (R. E. S. Zimmermann, Övers.) Berlin: Springer.
- Negreira, J. (2014). *Sound Insulation*. (Avdelningen för teknisk akustik, Lunds universitet, Artist) Lund.
- Nilsson, E., Johansson, A.-C., & m.fl. (2005). *Grundläggande Akustik*. Teknisk Akustik. Lund: Lunds tekniska högskola.
- Trafikverket. (den 22 04 2015). *Källor till vägtrafikbuller*. Hämtat från Trafikverket.se: <http://www.trafikverket.se/Privat/Miljo-och-halsa/Halsa/Buller-och-vibrationer/Fakta-om-buller-och-vibrationer/Kallor-till-vagtrafikbuller/> den 22 09 2015
- Trafikverket. (den 22 04 2015). *Trafikverket.se*. Hämtat från Källor till järnvägsbuller: <http://www.trafikverket.se/Privat/Miljo-och-halsa/Halsa/Buller-och-vibrationer/Fakta-om-buller-och-vibrationer/Kallor-till-jarnvagsbuller/> den 22 09 2015
- World Health Organisation. (2011). *Burden of disease from environmental noise*. Bonn, Tyskland: World Health Organisation.



## 14 Figurkällor

- [1] World Health Organisation. (2011). *Burden of disease from environmental noise*. Bonn, Tyskland: World Health Organisation.
- [2] <http://www.it.hiof.no/~borres/gb/draw-fractal/img/wave01.jpg>
- [3] [http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcg/tutorial/tutorial/Tutorial\\_files/Squarelaw.bmp](http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcg/tutorial/tutorial/Tutorial_files/Squarelaw.bmp)
- [4] [http://www.dot.ca.gov/hq/env/noise/online\\_training\\_module1/slides/gifs/slide54.gif](http://www.dot.ca.gov/hq/env/noise/online_training_module1/slides/gifs/slide54.gif)
- [5] [http://paroc.com/knowhow/sound?sc\\_lang=en](http://paroc.com/knowhow/sound?sc_lang=en)
- [6] Åkerlöf, L., Byman, U., m.fl (1998). *Skönheten och oljudet*. Stockholm: Svenska Kommunförbundet.
- [7] Google street view
- [8] Lokal XXX Arkitekter AB
- [9] Foto: Delphine Bard
- [10] Juan Negreira
- [11] Stadsbyggnadskontoret, Lunds kommun
- [12] [http://www.paroc.dk/knowhow/lyd/lydabsorbtion?sc\\_lang=da-DK](http://www.paroc.dk/knowhow/lyd/lydabsorbtion?sc_lang=da-DK)
- [13] Swedish Standard Institute: SS 25267
- [14] [http://www.luftbutiken.se/1078-thickbox\\_default/fresh-90-db.jpg](http://www.luftbutiken.se/1078-thickbox_default/fresh-90-db.jpg)
- [15] [http://www.luftbutiken.se/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=155](http://www.luftbutiken.se/index.php?controller=attachment&id_attachment=155)
- [16] Nilsson, E., Johansson, A.-C., & m.fl. (2005). *Grundläggande Akustik*. Teknisk Akustik. Lund: Lunds tekniska högskola.

## 14 Figurkällor

- [1] World Health Organisation. (2011). *Burden of disease from environmental noise*. Bonn, Tyskland: World Health Organisation.
- [2] <http://www.it.hiof.no/~borres/gb/draw-fractal/img/wave01.jpg>
- [3] [http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcg/tutorial/tutorial/Tutorial\\_files/Squarelaw.bmp](http://resource.isvr.soton.ac.uk/spcg/tutorial/tutorial/Tutorial_files/Squarelaw.bmp)
- [4] [http://www.dot.ca.gov/hq/env/noise/online\\_training\\_module1/slides/gifs/slide54.gif](http://www.dot.ca.gov/hq/env/noise/online_training_module1/slides/gifs/slide54.gif)
- [5] [http://paroc.com/knowhow/sound?sc\\_lang=en](http://paroc.com/knowhow/sound?sc_lang=en)
- [6] Åkerlöf, L., Byman, U., m.fl (1998). *Skönheten och oljudet*. Stockholm: Svenska Kommunförbundet.
- [7] Google street view
- [8] Lokal XXX Arkitekter AB
- [9] Foto: Delphine Bard
- [10] Juan Negreira
- [11] Stadsbyggnadskontoret, Lunds kommun
- [12] [http://www.paroc.dk/knowhow/lyd/lydabsorbtion?sc\\_lang=da-DK](http://www.paroc.dk/knowhow/lyd/lydabsorbtion?sc_lang=da-DK)
- [13] Swedish Standard Institute: SS 25267
- [14] [http://www.luftbutiken.se/1078-thickbox\\_default/fresh-90-db.jpg](http://www.luftbutiken.se/1078-thickbox_default/fresh-90-db.jpg)
- [15] [http://www.luftbutiken.se/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=155](http://www.luftbutiken.se/index.php?controller=attachment&id_attachment=155)
- [16] Nilsson, E., Johansson, A.-C., & m.fl. (2005). *Grundläggande Akustik*. Teknisk Akustik. Lund: Lunds tekniska högskola.