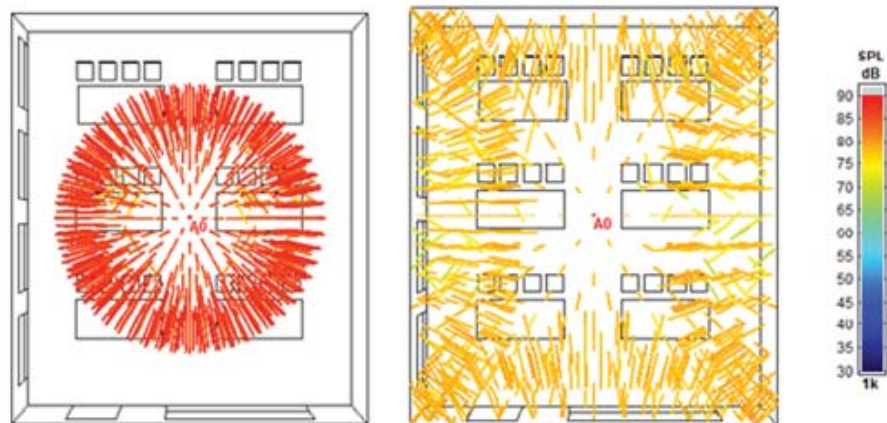




LUND  
UNIVERSITY



# STUDIE OM EN FÖRBÄTTRAD TALUPPFATTNING I KLASSRUM MED AVSEENDE PÅ BARN MED COCHLEAIMPLANTAT

LOVE KLASSON

Engineering  
Acoustics

*Master's Dissertation*



DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES  
DIVISION OF ENGINEERING ACOUSTICS

ISRN LUTVDG/TVBA--18/5054--SE (1-76) | ISSN 0281-8477

MASTER'S DISSERTATION

# STUDIE OM EN FÖRBÄTTRAD TALUPPFATTNING I KLASSRUM MED AVSEENDE PÅ BARN MED COCHLEAIMPLANTAT

LOVE KLASSON

Supervisor: **JUAN NEGREIRA**, Assistant Professor, Div. of Engineering Acoustics, LTH, Lund.  
Deputy supervisor: **MARCIN BRYCKI**, Acoustics Consultant, WSP Acoustics, Noise and Vibrations, Malmö.  
Examiner: **DELPHINE BARD**, Associate Professor, Div. of Engineering Acoustics, LTH, Lund.

Copyright © 2018 by Division of Engineering Acoustics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.  
Printed by V-husets tryckeri LTH, Lund, Sweden, October 2018 (PI).

**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)



## Abstract

A child with severe hearing loss or deafness may get a cochlear implant which helps the child to hear. With a cochlear implant the child still has a difficulty in perceiving speech, especially in a noise environment like a classroom. This study was created to highlight the problems that children with cochlear implant encounter in a classroom and find a solution to how speech perception can be improved in a classroom. Through interviews, literature studies and simulations, a classroom was chosen, which was considered to provide the best prerequisites for speech perception with regard to children with cochlear implant. This classroom mimicked the acoustic characteristics of a forest.

To determine the most suited classroom, five parameters were analyzed and compared between seven simulated classrooms. The parameters were: Reverberation time ( $T_{60}$  [s]), speech clarity ( $C_{50}$  [dB]), definition ( $D_{50}$  [%]), sound strength ( $G$  [dB]) and the speech transmission index (STI [-]).

The  $T_{60}$  indicates the time in which the sound remain in the room. For good speech intelligibility, low frequencies are desired to have a short  $T_{60}$ , to reduce masking vowel sounds, and high frequencies are desired to have long  $T_{60}$ , to accommodate the speech with the informative consonant sounds. The  $C_{50}$  and  $D_{50}$  indicate the amount of early soundreflexions that hit the receiver within 50 ms. These reflexions are beneficial for good speech intelligibility and the  $C_{50}$  and  $D_{50}$  should be as high as possible in a classroom.  $G$  indicates how much the room strengthens the sound. In a classroom,  $G$  is desired to be as low as possible, to reduce the risk of the Lombard effect. Finally, STI describes the quality of the speech that reach the child, which should be as high as possible in a classroom.

One of the seven classrooms that was simulated in this study was simulated as a typical Swedish classroom and is called in the "reference classroom" in this study. The reference classrooms results from the five parameters were used to determine an improvement from the other six simulated classrooms. The classroom with the greatest improvement of these six, has a ceiling with high-absorption, which like the sky in a forest, did not reflect any sound back to the listener. The classroom also has leaning walls of slatted panel, which absorbs low frequencies and directs the sound to the ceiling. In addition to these walls there are diffusers, which like trees in the forest, spreads high frequencies into the classroom. On the floor there is a thick rug, like leaves and moss on the ground in the forest, damps sounds like scratching chairs and pedaling feet.



## Sammanfattning

Ett barn med grav hörselskada eller dövhet kan få ett cochleaimplantat inopererat, vilket hjälper barnet att kunna höra. Med ett cochleaimplantat har barnet fortfarande svårt att uppfatta tal, speciellt i en högljudd miljö som ett klassrum. Denna studie skapades för att lyfta fram de problem som barn med cochleaimplantat möter i ett klassrum och finna en lösning på hur taluppfattningen kan förbättras i klassrummet. Genom intervjuer, litteraturstudier och simuleringar från programmet CATT-Acoustic valdes ett klassrum, vilket ansågs ge bäst förutsättningar för taluppfattning med avseende på barn med cochleaimplantat. Detta klassrum efterliknade en skogs akustiska egenskaper.

För att avgöra vilket klassrum som var mest fördelaktigt analyserades och jämfördes fem parametrar mellan sju simulerade klassrum. Parametrarna var: efterklangstiden ( $T_{60}$  [s]), taluppfattbarheten ( $C_{50}$  [dB]), definitionen ( $D_{50}$  [%]), ljudstyrkan ( $G$  [dB]) och talöverföringsindex (STI [-]).

$T_{60}$  anger hur lång tid som ljudet stannar kvar i rummet. För god taluppfattning önskas låga frekvenser ha kort efterklangstid, för att minska maskerande vokalljud, och höga frekvenser önskas ha lång efterklangstid, för att tillgodose talet med de informationsgivande konsonantljuden.  $C_{50}$  och  $D_{50}$  anger hur stor andel av tidiga ljudreflexer som träffar mottagaren inom 50 ms. Dessa reflexer är fördelaktiga för god taluppfattning och  $C_{50}$  och  $D_{50}$  skall i ett klassrum vara så höga som möjligt.  $G$  anger hur mycket rummet förstärker ljudet, i ett klassrum önskas denna vara så låg som möjligt för att minska risken för Lombard effekten. Slutligen beskriver STI kvalitén på talet som möter barnet, som skall vara så hög som möjligt.

Ett av de sju klassrummen som simulerades i denna studie simulerades som ett typiskt svenskt klassrum, och kallas i studien för "referensklassrummet". Referensklassrummets resultat från de fem parametrarna användes för att avgöra en förbättring från de övriga sex simulerade klassrummen. Det klassrum med störst förbättring av dessa sex, har ett högabsorberande tak, som liksom himlen i en skog inte reflekterade tillbaka något ljud till lyssnaren. Klassrummet har även lutande väggar av spaltpanel, som absorberar låga frekvenser och riktar ljudet upp mot taket. Utöver dessa väggar finns även diffusorer som, liksom trädstammar, sprider ut höga frekvenser ut i klassrummet. På golvet finns slutligen en tjock matta, som likt löv och mossa på marken, dämpar ljud, som skrapande stolar och trampande fötter.





## Förord

Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har genomförts på avdelningen för Teknisk Akustik, LTH, samt för WSP Akustik, Malmö.

Jag skulle vilja ge mitt största tack till min handledare Juan Negreira, som hjälpt mig dag och natt för att få detta examensarbete färdigt. Jag vill även tacka alla som jag intervjuat, med ett speciellt tack till Jonas Christensson och Lennart Nilsson som båda svarat på många mail och telefonsamtal med frågor kring detta arbete. Jag vill tacka alla mina medarbetare på WSP-Akustik för allt stöd jag fått, speciellt Marcin Brycki som hjälpte mig finna en plats hos WSP samt med hanteringen av simuleringarna. Jag vill slutligen tacka min examinator Delphine Bard för allt stöd under detta arbete och ett kärleksfullt tack till min sambo Fredrika Andersson som gått igenom denna utmaning med mig.



# Innehållsförteckning

<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2 Syfte och problemformulering</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 Metodik</b> .....	<b>10</b>
<b>1.5 Begränsningar</b> .....	<b>11</b>
<b>1.6 Disposition</b> .....	<b>11</b>
<b>2 TEORI</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Ljud och ljudvågor</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Örats uppbyggnad</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 Hörsel</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Hörselskador .....	19
2.3.2 Ledningshinder och sensorineural hörselnedsättning .....	20
2.3.3 Dövhet .....	20
<b>2.4 Cochleaimplantat (CI)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.5 Tal – Vokaler och konsonanter</b> .....	<b>22</b>
2.5.1 Taluppfattning .....	23
<b>2.6 Rumsakustik</b> .....	<b>29</b>
2.6.1 Vad påverkas av rumsakustiken?.....	29
2.6.2 Egenmod och egenfrekvens.....	30
2.6.3 Absorption och absorberter.....	31
2.6.4 Reflektion och reflektorer.....	34
2.6.5 Diffusion och diffusorer .....	34
<b>2.7 Praktiska hjälpmedel för god talluppfattning för barn med CI i klassrum</b> .....	<b>35</b>
<b>3 INTERVJUER</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1 Introduktion</b> .....	<b>36</b>
3.1.1 Tillstånd från vårdnadshavare .....	37
<b>3.2 Sammanfattning från intervjuerna</b> .....	<b>37</b>
3.2.1 Barnen med CI:s största problem i ett klassrum.....	37
3.2.2 Lösningar på dessa problem .....	38
3.2.3 Efterlikna skogen i klassrummet? .....	38
3.2.4 Skogens egenskaper in till klassrummet .....	39
<b>3.3 Sammanställning av riktvärden</b> .....	<b>39</b>

<b>4 SIMULERING</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1 Introduktion</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2 Metod</b> .....	<b>41</b>
<b>4.3 CATT-Acoustic</b> .....	<b>41</b>
4.3.1 TUCT – Beräkningsmodell till CATT-Acoustic .....	42
4.3.2 SketchUp – Modelleringsverktyg till CATT-Acoustic .....	42
<b>4.4 Placering av ljudkällor och mottagare vid beräkning i CATT-Acoustic</b> .....	<b>42</b>
4.4.1 Ljudkällor .....	42
4.4.2 Mottagare .....	43
<b>4.5 Genomsnittligt svenskt klassrum</b> .....	<b>44</b>
<b>4.6 Grunden för samtliga simulationer</b> .....	<b>44</b>
<b>4.7 Materialparametrar för varje yta</b> .....	<b>45</b>
4.7.1 Uppskattningsverktyg för spridningsfaktorn .....	46
4.7.2 Materialparametrar för grunden till simuleringarna .....	46
<b>4.8 Simulerade klassrum</b> .....	<b>47</b>
4.8.1 Referensklassrum .....	47
4.8.2 Klassrum 1–6 .....	48
<b>5 RESULTAT</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1 Efterklangstiden (<math>T_{20}</math> [s])</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2 Taluppfattbarhet (<math>C_{50}</math> [dB])</b> .....	<b>55</b>
<b>5.3 Definition (<math>D_{50}</math> [%])</b> .....	<b>57</b>
<b>5.4 Ljudstyrkan (<math>G</math> [dB])</b> .....	<b>59</b>
<b>5.5 Talöverföringsindex (<math>STI</math> [-])</b> .....	<b>61</b>
<b>5.6 Undersökning - modanalys</b> .....	<b>63</b>
<b>6 DISKUSSION OCH SLUTSATS</b> .....	<b>65</b>
<b>6.1 Hur påverkar detta ett barn med CI av egenmoder?</b> .....	<b>65</b>
<b>6.2 Möttes satta riktvärden?</b> .....	<b>65</b>
<b>6.3 Störst förbättring av taluppfattning med avseende på barn med CI?</b> .....	<b>66</b>
<b>6.4 Hur får man en förbättrad taluppfattning i ett klassrum med avseende på ett barn med CI?</b> .....	<b>67</b>
<b>6.5 Trovärdighet</b> .....	<b>67</b>

7 FÖRSLAG PÅ FORTSATT STUDIE .....	69
8 REFERENSLISTA.....	70
9 REFERENSLISTA – FIGURER .....	73
BILAGA 1 - INTERVJUFRÅGOR TILL INTERVJUPERSON 1–10 .....	75
BILAGA 2 - INTERVJUFRÅGOR TILL BARN 1 OCH 2 .....	76
BILAGA 3 - INTERVJUFRÅGOR TILL MENTOR 1 .....	77
BILAGA 4 – BLANKETT.....	78

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I Skolverkets läroplan för grundskola, förskoleklassen och fritidshemmet (Lgr 11) står bland annat: *”Undervisningen ska anpassas till varje elevs förutsättningar och behov.”* (Skolverket, 2016). För att varje elev skall kunna ta del av undervisningen är en stor förutsättning att de hör vad som sägs i klassrummet (Ljung, 2010).

Ett barn med grav hörselnedsättning eller dövhet kan idag få möjligheten att operera in ett cochleaimplantat (CI). Detta gör det möjligt för barnet att uppfatta ljud, så som tal. Tyvärr fungerar inte hörseln som synen, där ett par starka glasögon kan ge nära till perfekt syn. Ljuden som barnet med CI hör är endast en liten del av vad ett normalhörande barn kan höra (Eberts, 2016). Detta gör att tal kan vara svårt att uppfatta och inläring utan speciella hjälpmedel och åtgärder i klassrummet kommer inte barnets förutsättningar och behov att mötas (Ljung, 2010).

Många klassrum med majoriteten normalhörande barn i Sverige är i dåligt skick med avseende på den auditiva miljön, däribland taluppfattning. I Stockholm gjorde Specialpedagogiska Skolmyndigheten en studie där endast 20% av de 85 klassrum som testades klarade ljudklass C, som är det lägsta kravet satt enligt Boverkets Byggregler (Gellerstedt & Bjarnason, 2015).

Specialsolor för hörselnedsatta barn har dock mycket goda förutsättningar och klassrummen är anpassade för god taluppfattning. Andelen barn med CI som börjar i klasser med normalhörande barn ökar däremot ständigt. Idag börjar 85% av hörselnedsatta barn i skolor med majoriteten normalhörande barn och enligt de senaste prognoserna kommer endast 5% av hörselnedsatta barnen att börja i en specialskola om fem år (Tabell 5, intervjuperson 10).

I denna studie kommer åtgärder på ett klassrum göras för att förbättra taluppfattbarheten för barn med CI. Genom ett antal intervjuer med bland annat forskare, produktframtagare, såväl som barn med CI och en mentor, har en del av informationen och inspirationen för denna studie tagits. Slutligen har åtgärderna simulerats för att bevisa och utvärdera en förbättring.

## 1.2 Syfte och problemformulering

Syftet med detta examensarbete att ge barn med CI så bra taluppfattning som möjligt i ett klassrum genom att tillsätta olika material och utformning på rummet.

Problemformuleringen är:

- Hur får man en förbättrad taluppfattning i ett klassrum med avseende på ett barn med CI?

## 1.3 Metodik

För att kunna svara på problemformuleringen har bland annat en rad intervjuer hållits, med professorer inom bland annat hörsel, rumsakustik och logopedi. Utöver dessa har även produktframtagare och specialister inom CI intervjuas. Slutligen har elever med CI samt deras mentor intervjuas. Intervjuerna har, tillsammans med tidigare forskning inom ämnet genom litteraturstudier och författarens egna idéer, legat till grund för denna studie.

För att påvisa att åtgärderna, som bestämdes efter intervjuerna hållits och studien tagit form, skapar en förbättrad taluppfattning i klassrummet, har simuleringar i CATT-Acoustic, ett simulerings- och beräkningsprogram för rumsakustik, gjorts (CATT, 2018). Förbättrad taluppfattning mäts genom fem rumsakustiska parametrar: Efterklangstiden ( $T_{60}$  [s]), taluppfattbarheten ( $C_{50}$  [dB]), definition ( $D_{50}$  [%]),

ljudstyrkan ( $G$  [dB]) och talöverföringsindex ( $STI$  [-]) (Svensson & Nilsson, 2008). En skillnad skall märkas mellan taluppfattning och taluppfattbarhet ( $C_{50}$ ) Dessa parametrar jämförs mellan sju olika klassrum: ett klassrum som simuleras som ett normalt svenskt klassrum, och sex klassrum där material och utformning av rummet varierar för att maximera god taluppfattning med avseende på ett barn med CI.

### 1.5 Begränsningar

Antalet intervjuer med elever med CI och deras mentorer är begränsat då flertalet skolor som fick förfrågan avböjde denna då prioriteringen låg i barnets lärande och att tiden skulle avgränsas till detta. Detta berodde på det stora antal förfrågningar skolorna får om besök med liknande ärenden.

På grund av resursbrist kunde åtgärderna inte testas i ett befintligt klassrum utan simuleringar fick stå för resultatet, genom att jämföra skillnaden mellan parametrar som står för taluppfattning mellan sju olika simulerade klassrum.

### 1.6 Disposition

I kapitel 2 kommer all bakomliggande teori redovisas. Inledningsvis beskrivs grunderna i ljud, örats uppbyggnad och hörseln. Därefter kommer en beskrivning av hörselskador och cochleaimplantat (CI) och slutligen beskrivs tal, taluppfattning samt rumsakustik.

Kapitel 3 handlar om intervjuerna som gjorts. Här sammanfattas intervju svaren och där bland en beskrivning från två av intervjudeltagarnas svar på frågan: *"Vad ger en god taluppfattning i ett klassrum med avseende på barn med CI?"*.

I kapitel 4 beskrivs de sju klassrum som har simulerats i CATT-Acoustic. Här beskrivs även simulerings- och beräkningsprogrammet CATT-Acoustic. I kapitel 5 redovisas samtliga resultat som tagits från simulationerna. Här besvaras även frågeställningen. I kapitel 6 diskuteras dessa resultat och en slutsats dras från hela studien.

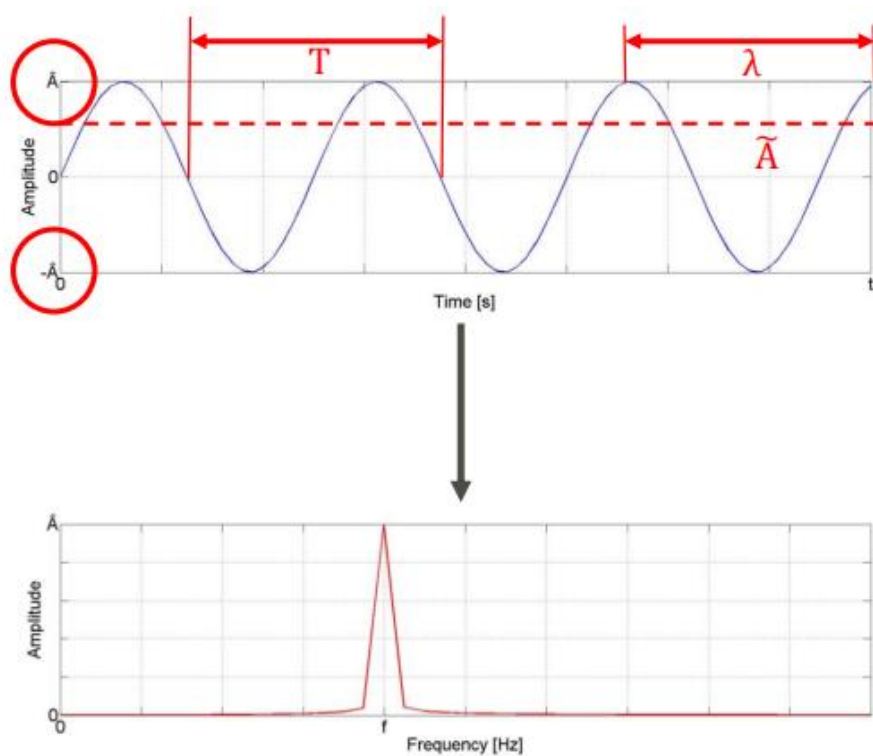
## 2 Teori

I detta kapitel kommer den bakomliggande teorin för denna studie förklaras, med grundläggande termer inom akustik, rumsakustik, tal och hörsel. Vidare beskrivs ett cochleaimplantat och slutligen anges praktiska hjälpmedel som förbättrar taluppfattningen för ett barn med CI i ett klassrum.

### 2.1 Ljud och ljudvågor

En ljudvåg skapas då tryckförändringar i en media med massa som är elastisk, så som luft, skapar en våg av luftpartiklar som svänger kring sin jämvikt. Det elastiska mediet vill sätta sig i jämvikt igen vilket påverkar det omkringliggande omgivningen, vilket ger partiklarna sin rörelse. När ljudvågen når ett öra kan rörelsen omvandlas till ljud i hjärnan (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

Ljudvågorna i luft är longitudinella då gaser inte kan ta upp skjuvkrafter (Kleiner, 2000). Den "enklaste" av dessa vågor, både fysiskt och matematiskt, kallas för harmonisk våg. En harmonisk våg kan till exempel skapas med hjälp av en stämgafler. Ett vanligare namn för denna ljudvåg är ton, se Figur 1 (Moore, 2003).



Figur 1. Överst graf: Visar en harmonisk våg, med periodtiden ( $T$ ), våglängden ( $\lambda$ ) och amplitud ( $A$ ) (med övre- ( $\hat{A}$ ) och undre gräns ( $-\hat{A}_0$ ), samt effektivvärdet ( $\tilde{A}$ )). Undre graf: Visar den harmoniska vågens frekvens ( $f$ ). [1]

För att beskriva ljudvågens egenskaper används bland annat *periodtid* ( $T$  [s]), *våglängd* ( $\lambda$  [m]), *amplitud* ( $A$  [Pa]) och *frekvens* ( $f$  [Hz]), se Figur 1. Periodtid är den tid det tar för att fullbordad en svängning, även kallat en period. Våglängden är längden på en period. Amplituden beskriver tryckskillnaden från mediantrycket. En höjning av amplituden uppfattas ge ett starkare ljud. Slutligen anger frekvensen antalet perioder per sekund.



Ett samband mellan frekvensen, våglängden, periodtid och ljudets hastighet ( $c$  [m/s]) visas i Ekvation 1 och 2 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$c = 331,4 \sqrt{1 + \frac{\theta}{273}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

Där:

$c$  = Ljudets hastighet [m/s]

$\theta$  = Lufttemperatur [ $^\circ\text{C}$ ]

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (2)$$

Där:

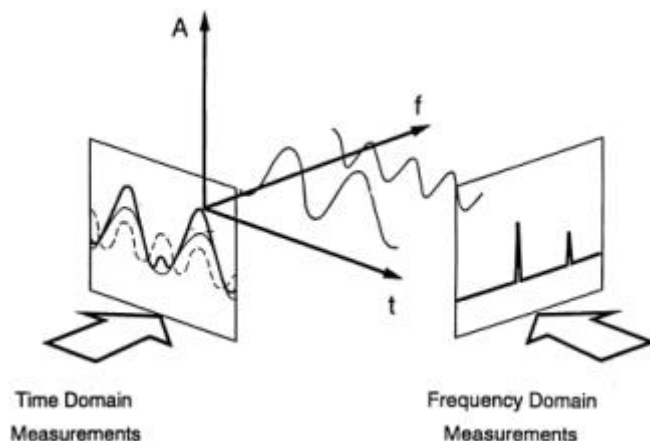
$c$  = Ljudets hastighet [m/s]

$\lambda$  = Våglängden [m]

$T$  = Periodtid [s]

$f$  = Frekvens [Hz]

Detta visar att en ton med en lång våglängd har en låg frekvens, vilket uppfattas som ett dovt ljud, medans en ton med kort våglängd har en hög frekvens och uppfattas som ett ljutt ljud, se Figur 2. Ett normalhörande öra kan uppfatta frekvenser mellan 20 – 20 000 Hz (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).



Figur 2. Tidsdomänen till vänster visar bland annat våglängden för två toner och frekvensdomänen till höger visar dess frekvens. [2]

Vid en viss tidpunkt kan ett momentanvärde på ljudtrycket ( $p(t)$  [Pa]) i en harmonisk våg beskrivas med Ekvation 3 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$p(t) = \hat{A} \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = \hat{A} \cdot \sin(2\pi f t) \text{ [Pa]} \quad (3)$$

Där:

$p(t)$  = Momentanvärdet på ljudtrycket med avseende på tiden [Pa]

$\hat{A}$  = Amplitudens övre gräns [Pa]

$T$  = Periodtiden [s]

$f$  = Frekvensn [Hz]

För att ta fram medelvärdet av standardavvikelsen på momentanvärdet beräknas *effektivvärde* ( $\tilde{p}(f)$  [Pa]) med avseende på frekvensen. Effektivvärdet kallas även för *rms-värde* som står för "root mean square", se Ekvation 4 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). (Se även Figur 1, som visar effektivvärdet som  $\tilde{A}$ ).

$$\tilde{p}(f) = \sqrt{\frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} p^2(t) dt} \text{ [Pa]} \quad (4)$$

Där:

$\tilde{p}(f)$  = Effektivvärdet (rms-värde) med avseende på frekvensen [Pa]

$\Delta t$  = Integrationstiden [s]

$p(t)$  = Momentanvärde på ljudtrycket med avseende på tiden [Pa]

*Integrationstiden*, vilket är tiden som ljudet spelas in över, brukar delas in i: Snabb = 125 ms, långsam = 1 s och impuls = 35 ms, beroende på vad som skall mätas (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

- *Mäta ljud*

För att mäta ljud används oftast en mikrofon som skapar en elektrisk signal som är proportionell mot skillnaden i lufttrycket över en viss tid. Då ett normalhörande öra kan avgöra tryckskillnader på ett stort spektrum i enheten pascal (20  $\mu$ Pa - 200 Pa), är trycket i pascal en olämplig enhet att använda för att beskriva en ljudnivå. Istället används *decibel* [dB], som är en logaritmisk skala. Ljudnivån kan bland annat mätas av *ljudtrycksnivån* ( $L_p(f)$  [dB]), även kallat *SPL*, som står för "Sound Power Level", se Ekvation 5 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$L_p(f) = 20 \cdot \log_{10} \frac{\tilde{p}(f)}{p_{ref}} \text{ [dB]} \quad (5)$$

Där:

$L_p(f)$  = Ljudtrycksnivån (SPL) med avseende på frekvens [dB]

$\tilde{p}(f)$  = Effektivvärdet (rms-värde) med avseende på frekvens [Pa]

$p_{ref}$  = Referenstrycket (konstant i luft) =  $20 \cdot 10^{-6}$  [Pa]

*Referenstrycket* är det lägsta tryck en människa med god hörsel kan uppfatta (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

- *Ljudtrycksnivån avtar med avståndet från ljudkällan*

Ljudtrycksnivån beror även på avståndet från ljudkällan. Ett samband visar att det uppmätta ljudtrycket ( $p$  [Pa]) vid en viss punkt är omvänt proportionell avståndet från ljudkällan, se Ekvation 6. Detta innebär till exempel att vid en fördubbling av avståndet sänks ljudtrycksnivån med 6 dB. (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$p \sim \frac{1}{r} \quad (6)$$

Där:

$p$  = Ljudtrycket [Pa]

$r$  = Avståndet från ljudkällan [m]

- *Ljudeffektnivån*

Vid en mätning sänder ljudkällan ut en *ljudeffektnivå* ( $L_W$  [dB]). Ljudeffektnivån visar hur mycket ljudenergi (i watt [W]) som ljudkällan sänder ut per sekund och är ett konstant värde som inte förändras beroende på placering eller byte av omgivande rum. Ljudeffektnivån beskrivs med ekvation 7 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$L_W = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right) [dB] \quad (7)$$

Där:

$L_W$  = Ljudeffektnivån [dB]

$P$  = Ljudeffekten från ljudkällan [W]

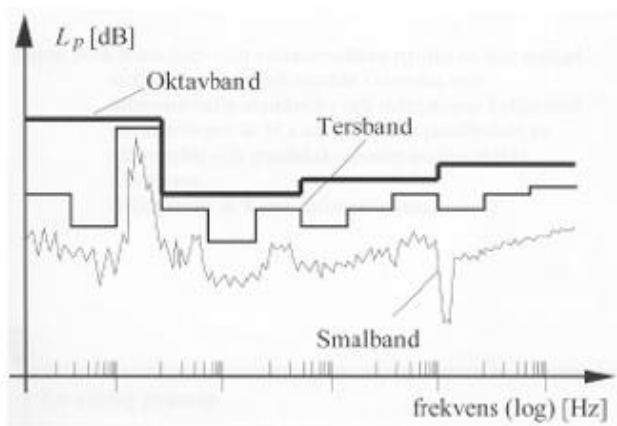
$P_0$  = Referens ljudeffekten (konstant i luft) =  $10^{-12}$  W

*Referens ljudeffekten* är den lägsta ljudeffekten en människa med god hörsel kan uppfatta (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

- *Smalband, tersband och oktavband*

Då frekvensen på ljudvågorna påverkar hur ljudet uppfattas av mottagaren, kan ljudtrycksnivåer delas in beroende på frekvens. Då det mänskliga örat kan uppfatta ett så stort spektrum av frekvenser har en indelning av dessa gjorts, kallade *band*, se Figur 3. Indelningen sker mellan två frekvenser, den undre- och övre gränshfrekvensen ( $f_u$  och  $f_ö$ ). Den minsta bandet kallas *smalband* och skillnaden mellan den undre- och övre gränsen är 3 Hz eller mindre, se Figur 3. Den mellersta bandet kallas *tersband*, eller *1/3 oktavband*, och den bredaste bandet kallas *oktavband*, där skillnaden mellan bandens övre- och undre gränshfrekvens visas i Figur 3.

I mitten av den undre- och övre gränshfrekvensen hittas mittfrekvensen ( $f_m$ ). En fördubbling av mittfrekvensen kallas för en oktav och oktavbanden är ett samlingsnamn för dessa frekvenser som kan delas in mellan ca 63 Hz och 8000 Hz (fetmarkerade värden i Figur 3). Desto fler frekvenskomponenter som bandet har, desto högre blir ljudtrycksnivån (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

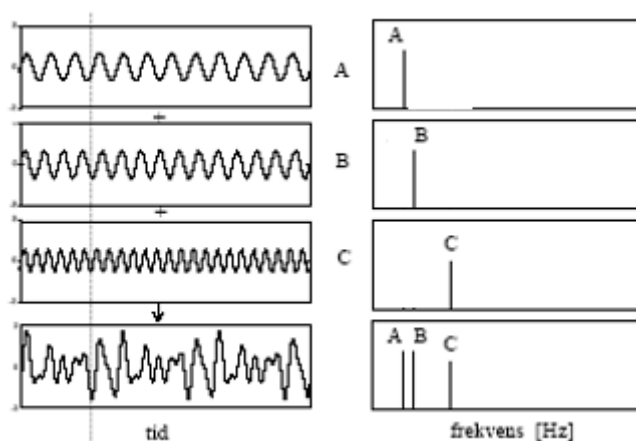


Mittfrekvens $f_m$ (Hz)	Tersfilter $f_u - f_o$ (Hz)	Oktavfilter $f_u - f_o$ (Hz)	Mittfrekvens $f_m$ (Hz)	Tersfilter $f_u - f_o$ (Hz)	Oktavfilter $f_u - f_o$ (Hz)
50	44,7 – 56,2		800	708 – 891	
<b>63</b>	56,2 – 70,8	44,7 – 89,1	<b>1000</b>	891 – 1120	708 – 1410
80	70,8 – 89,1		1250	1120 – 1410	
100	89,1 – 112		1600	1410 – 1780	
<b>125</b>	112 – 141	89,1 – 178	<b>2000</b>	1780 – 2240	1410 – 2820
160	141 – 178		2500	2240 – 2820	
200	178 – 224		3150	2820 – 3550	
<b>250</b>	224 – 282	178 – 355	<b>4000</b>	3550 – 4470	2820 – 5620
315	282 – 355		5000	4470 – 5620	
400	355 – 447		6300	5620 – 7080	
<b>500</b>	447 – 562	355 – 708	<b>8000</b>	7080 – 8910	5620 – 11200
630	562 – 708		10000	8910 – 11200	

Figur 3. Överst: Visar indelningen av smalband, tersband och oktavband. Undre: Tabellen visar dem övre- och undre gränzfrequenserna ( $f_o$  och  $f_u$ ) samt mittfrekvensen ( $f_m$ ), där de fetmarkerade värdena är oktavbanden. [3]

#### o Ljud i vardagen

De flesta ljud som hörs i vardagen, så som tal och musik, är uppbyggda av flera hopsatta toner över en tid och som ger en mer komplexa ljudvågor, se Figur 4, där tre toner satts ihop till en (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).



Figur 4. Till vänster visas tre olika toner med avseende på tiden och längst ned visas en hopsättning av dessa. Till höger visas frekvenserna för varje ton. [4]

○ *Total och ekvivalent ljudtrycksnivå*

För att få ett en-siffrigt värde över flera band kan den totala ljudtrycksnivån beräknas med Ekvation 8.

$$L_{p,tot} = 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{p,n}}{10}} \right) \text{ [dB]} \quad (8)$$

Där:

$L_{p,tot}$  = Total ljudtrycksnivå [dB]

$L_{p,n}$  = Ljudtrycksnivå över band n [dB]

N = Summan av antalet ljudtrycksnivåer [-]

För att få ett en-siffrigt värde över en tidsperiod kan den ekvivalenta ljudtrycksnivån beräknas med Ekvation 9.

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p(t)}{10}} dt \right) \text{ [dB]} \quad (9)$$

Där:

$L_{eq,T}$  = Ekvivalent ljudtrycksnivå över den totala tiden T [dB]

$L_p(t)$  = Ljudtrycksnivån vid tiden t [dB]

T = Totala tiden [s]

○ *Medelvärde*

Vid beräkning av medelvärde med enheter så som: Antal [st], tid [s] eller procent [%], beräknas generellt medelvärdet av Ekvation 10, som kallas för det aritmetiska medelvärdet (Calculator, u.å).

$$M(x) = \frac{\sum_{n=1}^N x_n}{N} \quad (10)$$

Där:

$M(x)$  = Aritmetiska medelvärdet med avseende på x [st, s, %...]

$x_n$  = Värde nummer n [st, s, %...]

N = Summan av antalet värden x [-]

När medelvärdet skall beräknas med enheten decibel [dB] kan Ekvation 11 användas, som kallas för okorrelerad addition (Dr. Apple, 2001).

$$L_m = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \text{ [dB]} \quad (11)$$

Där:

$L_m$  = Medelvärdet [dB]

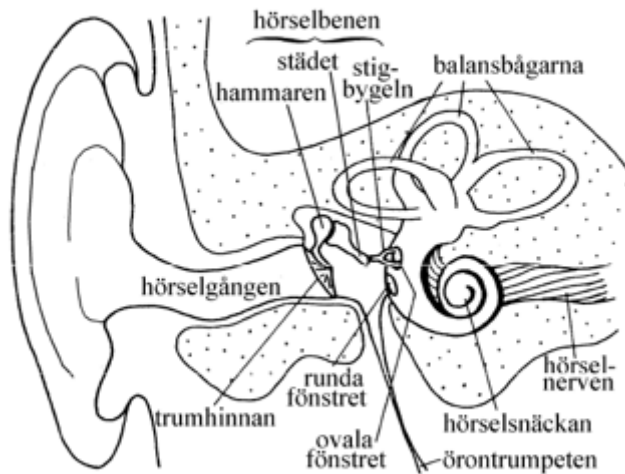
$L_n$  = Ljudnivå nummer n [dB]

N = Summan av antalet ljudnivåer [-]

## 2.2 Örats uppbyggnad

Det mänskliga örat brukar indelas i tre delar: ytteröra, mellanöra och inneröra, se Figur 5 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

YTTERÖRAT MELLANÖRAT INNERÖRAT



Figur 5. Örats uppbyggnad: Ytterörat, mellanörat och innerörat. [5]

○ *Ytterörat*

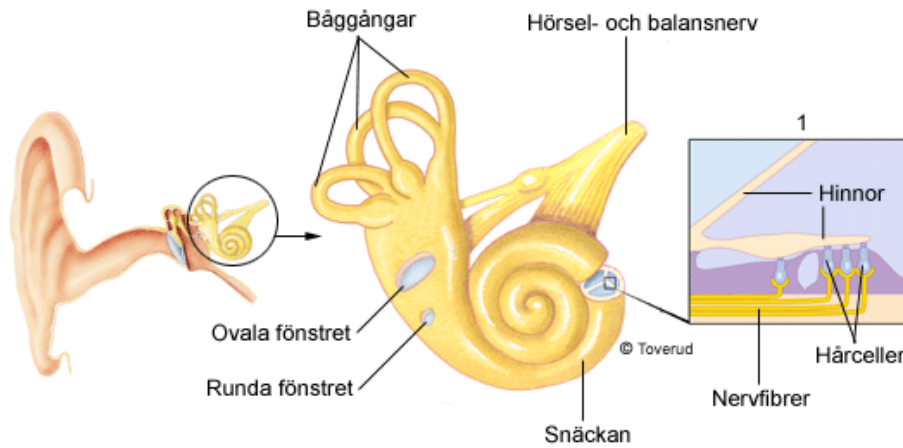
Ytterörat består av öronmussla (som är det vi kan se) och hörselgången som leder till trumhinnan. Öronmusslans fångar upp ljudet och hjälper till att lokalisera var det kom ifrån. Ljudvågorna går via hörselgången och sätter trumhinnan i svängning (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

○ *Mellanörat*

Mellanörat består av tre små ben, tillsammans kallas de för hörselbenskedjan, och är kända som de minsta benen i den mänskliga kroppen. Dessa ben kallas för hammaren, städet och stigbygeln, se Figur 5. Hörselbenskedjan förstärker svängningarna och för dem mekaniskt vidare till innerörat via det ovala fönstret (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

○ *Innerörat*

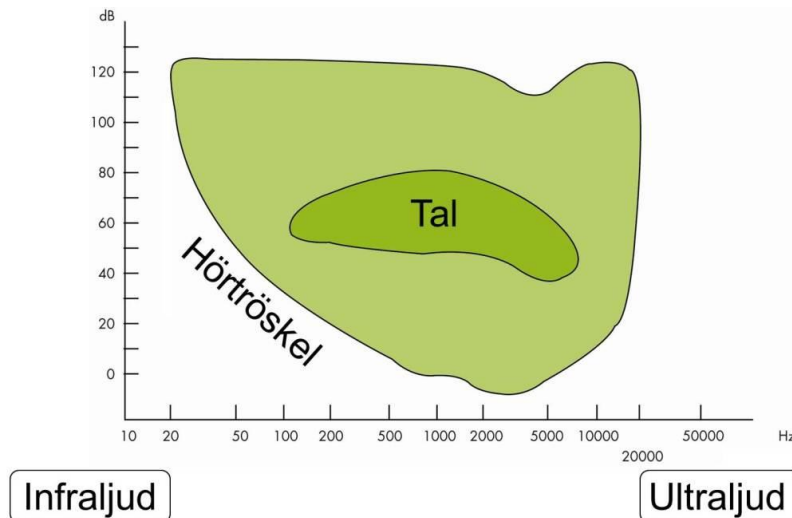
Innerörat omvandlar de mekaniska svängningar till nervimpulser. Omvandlingen sker i hörselnäcken, även kallad cochlean, som är ett spiralformat, snäck-liknande, hålrum, se Figur 6. Cochlean är vätskefyllt och uppdelad i två kanaler, den nedre trappan och snäckgången. Avgränsningen mellan dessa kanaler kallas basilmembranet (Moore, 2003). De mekaniska svängningarna deformerar basilmembranet vilket stimulerar små närliggande hårceller som skickar signaler till hjärnan via hörselnerven och människan i fråga, om normalhörande, kan höra det ljud som sänds ut. Basilmembranet utformning och styvhet påverkar vilka hårceller som stimuleras av svängningarna och kan därför skilja mellan olika inkommande frekvenser (Moore, 2003). På basilmembranet finns över 15 000 stycken hårceller i ett normalhörande öra. Dessa ligger i en liknande ordning som ett piano, med hårceller som stimuleras av höga frekvenser, ljusa toner, i basen av cochlean som gradvis går över till lägre frekvenser, dova toner, desto längre in i hörselnäcken man kommer (Hörsellinjen, u.å).



Figur 6. Hörselsnäckan (Cochlean) och dess uppbyggnad. [6]

### 2.3 Hörsel

Ett friskt öra kan som tidigare nämnts uppfatta frekvenser mellan 20–20 000 Hz. Vårt hörselområde kan ses i Figur 7 som det ljudgrönmarkerade området. Frekvensen under 20 Hz kallas för infraljud och frekvenser över 20 000 Hz kallas för ultraljud. Örat är olika känsligt för olika frekvenser och är som mest känsligt för frekvenser mellan 125–8000 Hz, det spanns normalt tal hamnar i, se Figur 7 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). Många forskare menar att örat har mekanismer som evolutionärt har utvecklat förmågan att uppfatta tal, och att denna process är annorlunda för hur örat uppfattar icke-talljud (Moore, 2003).



Figur 7. Hörseltröskeln och området för normalt tal. [7]

#### 2.3.1 Hörselskador

I Sverige finns ca 1,5 miljoner hörselskadade personer (Hörsellinjen, u.å). Hörselskador kan orsakas av höga ljud och effekten kan vara temporär eller permanent (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). En hörselskada kan även vara medfödd, ärftligt eller ske under förlossningen eller under fosterlivet (Hörselboken, 2009).

För att kategorisera graden av hörselskada indelas den i fem stycken grupper. Denna indelning grundas i den lägsta ljud testpersonen kan höra mätt i *decibel-hörnivå* [dB HL].

Ljudet är en ren ton och mätningen görs i både ett och båda öronen. Grupperna och dess decibelhörselnivå är som följer: Normal- (20 dB HL), lindrig- (25–39 dB HL), måttlig- (40–69 dB HL), allvarlig- (70–89 dB HL) och grav- (90 dB HL) hörselnedsättning (Cochlear, u.å).

### 2.3.2 Ledningshinder och sensorineural hörselnedsättning

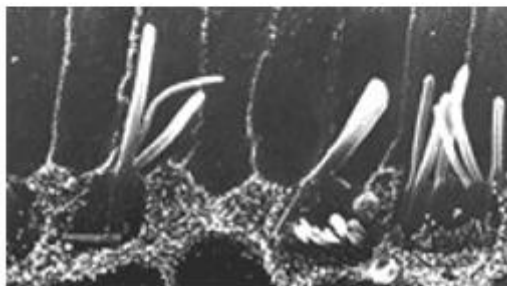
Beroende på vart hörselskadan befinner sig i örat kallas den antingen för ledningshinder eller sensorineural hörselnedsättning.

#### ○ Ledningshinder

Ledningshinder heter de hörselskador som påverkar ljudledningen via yttreörat och/eller mellanörat. Hörselgången kan vara skadad eller saknas, vaxproppar i hörselgången, skador på trumhinnan, inflammationer i mellanörat och avbrott i hörselbenskedjan är alla orsaker till ledningshinder. Ledningshinder medför en försvagning av ljudnivån och personer med skadan använder oftast hörapparat som förstärker ljudnivån eller genomgår en operation (Hörselboken, 2009)

#### ○ Sensorineural hörselnedsättning

Sensorineural hörselnedsättning är den största gruppen av hörselskadade och majoriteten av dessa har en permanent hörselskada. Den största delen av personer med *monaural* (ensidig) hörselskada tillhör denna grupp. Skadan påverkar innerörat (cochlean och dess hårceller, se Figur 8), hörselnerven och/eller hjärnans hörselcentrum (Hörselboken, 2009). Denna typ av skada påverkar ofta förmågan att uppfatta höga frekvenser, så som konsonanter, vilket medför en svårighet att förstå tal (mer om detta i kapitel 2.5), speciellt vid hög bakgrundsnivå (Moore, 2003, s. 59). Denna typ av skada kan bland annat vara ärftlig, ske vid förlossningen, utvecklas under sjukdom så som röda hund, påssjuka eller Menières sjukdom och under tumörtillväxt (Hörselboken, 2009).



Figur 8. Överst: Hårceller hos en normalhörande person. Undre: Skadade hårceller hos en person med sensorineural hörselnedsättning eller dövhet. [8]

### 2.3.3 Dövhet

Om ljudvågorna som går in i örat inte kan nå hjärnan för att personen i fråga ska uppfatta det som ljud kallas denna person för döv. Dövhet kan vara ärftligt med kan också ske vid vuxen ålder.

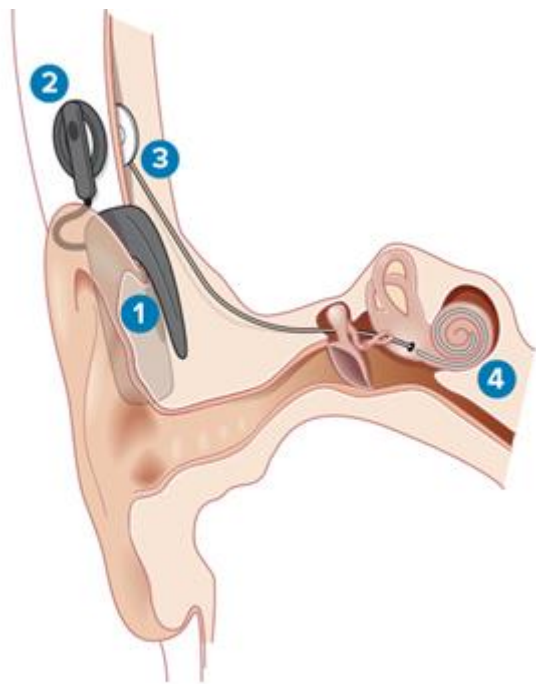


Det finns många orsaker till dövhet, så som: förstörd trumhinna, infektioner i mellan- och/eller innerörat och därmed skador på hårcellerna (se Figur 8), vätskefylld hörselgång och skinpåväxt bakom trumhinnan (Nordqvist, 2017).

## 2.4 Cochleaimplantat (CI)

För personer med sensorineural hörselnedsättning eller dövhet där cochlean och dess hårceller är skadade, kan ett CI bidra till en förbättrad ljudupptagningsförmåga. Personer med allvarlig, upp till grav, hörselnedsättning tillhör denna grupp. Ett CI kan endast fungera om hörselnerven är helt eller delvist intakt och fungerande (Moore, 2003).

Ett CI är dels uppbyggt av en ljudprocessor (1) och en radiosändare (2), som båda sitter på utsidan av huden. Innanför huden sitter även en mottagare (3) och en stimuleringselektrod (4), se Figur 9. Ljudprocessorn fångar upp ljud med en mikrofon och sänder den elektroniskt vidare till radiosändaren. Radiosändaren skickar informationen med hjälp av radiovågor till mottagaren som skickar signalen elektroniskt genom stimuleringselektroden till cochlean. Inne i cochlean stimuleras hörselnerven med den elektriska signalen som leds via hörselnerven till hjärnans hörselcentra (Hörselboken, 2016).



Figur 9. Cochleaimplantatets uppbyggnad. 1) Ljudprocessor, 2) Radiosändare, 3) Mottagare och 4) Stimuleringselektrod. [9]

Ljudprocessorn gör om alla de tusentals inkommande frekvenserna till ca 24 stycken kanaler. Dessa kanaler innehåller information ifrån olika oktavband och ljudprocessorn är specialiserad på att förstärka frekvenser för tal, 125 – 8000 Hz. För varje kanal med elektrisk information finns en elektrod på stimuleringselektroden som stimulerar den plats inne i cochlean där skadade hårceller skulle tagit emot respektive frekvenser (Cochlear implant help, u.å). Det är svårt för elektroderna att skicka ut rätt information till rätt nervcell på hörselnerven då strömmen leds till närliggande nervceller, detta ger en förvrängd ljudbild för mottagaren (Moore, 2003).

Ett CI förbättrar taluppfattningen för bäraren och nästan alla med implantat medger att kvalitén på deras liv förbättras efter operationen. Taluppfattningen är dock begränsad och försvåras av befintlig bakgrundsnivå (Moore, 2003). Personen som bär implantatet har svårt att uppfatta vart källan från

Ljudet kommer ifrån om bakgrundsnivån är för hög eller om många pratar på samma gång från olika håll (Stith & Drasgow, 2015). CI har under de senaste tre decennierna utvecklats i snabb takt. I början av 70-talet sattes implantat enbart in på vuxna men idag opereras över 90% av alla dövfödda barn (Hörseleboken, 2016).

## 2.5 Tal – Vokaler och konsonanter

Orden i tal är skapade av bokstäver i alfabetet vilket är indelade i två olika grupper: vokaler och konsonanter. Vokaler är mer högljudda och hörs enklare. Det finns dock fler konsonanter i alfabetet och i det svenska språket, liksom många andra språk, ligger den största delen av informationen i konsonanterna (Ljung, 2010).

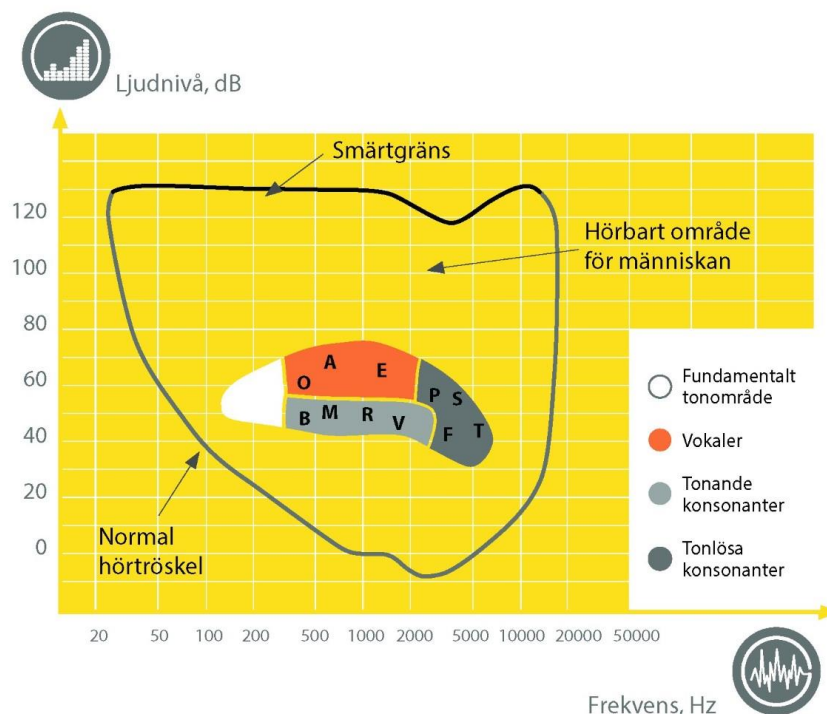
Ett exempel kan göras för att förtydliga denna effekt: en läsare har mycket svårt att ta fram informationen från den översta meningen, med endast vokaler, medan den undre meningen med endast konsonanter gör det enklare (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

*“..a..a..e ..a ..a..a ..a., ..o.. o.. ..a..i..”*

*“Ch..mp..gn sk.. v..r.. k..ll, t..rr ..ch gr..t..s”*

*(Winston Churchill)*

Vokaler som "O, A och E" ligger hos de flesta människorna vid frekvenser mellan 125–2000 Hz. Tonande konsonanter, "B, M, R och V", ligger mellan 250 – 4000 Hz. Slutligen ligger tonlösa konsonanter, "P, S, F och T", i frekvensområdet 2000–8000 Hz, se Figur 10. Det är de tonlösa konsonanterna som till största del bidrar till god taluppfattning (Ecophon, 2018). Vokaler i frekvensspannet 125–500 Hz bidrar till störst maskering av konsonanterna (Tabell 5, intervjuperson 9).



Figur 10. Uppdelningen av vokaler och konsonanter. [10]

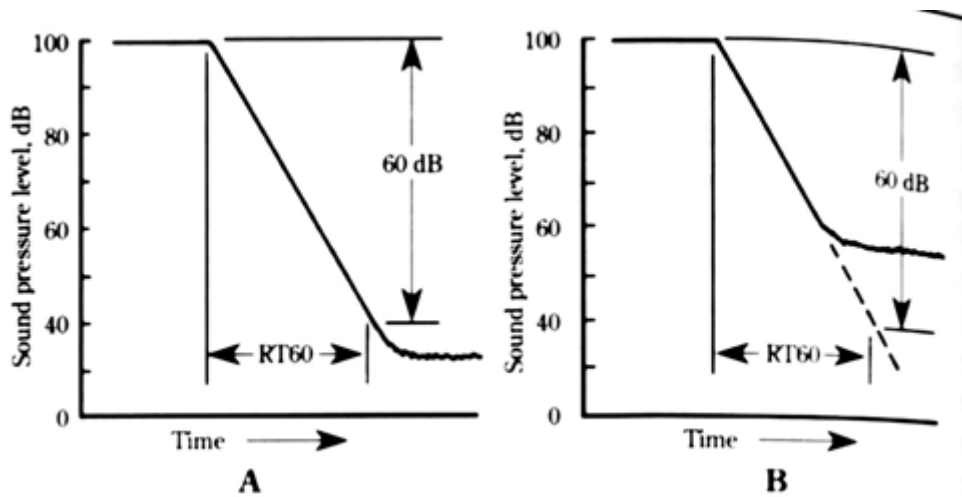
### 2.5.1 Taluppfattning

Graden av taluppfattning kan mätas med hjälp av fem olika parametrar: *Efterklangstiden* ( $T_{60}$ ), *taluppfattbarhet* ( $C_{50}$ ), *definition* ( $D_{50}$ ), *ljudstyrka* ( $G$ ) och *talöverföringsindex* ( $STI$ ). Den sistnämnda påverkas av *Signal-brusförhållande* ( $SNR$ ) och *bakgrundsnivån* (Svensson & Nilsson, 2008).

#### ○ Efterklangstid ( $T_{60}$ )

Efterklangstiden definieras som tiden det tar för ljudnivån att sjunka -60 dB efter att en ljudkälla stängts av. För att mäta efterklangstiden används en ljudnivåmätaren som startar att mäta först efter att ljudnivån sjunkit -5 dB och fram till att den sjunkit ytterligare -65 dB (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). Anledningen till väntan på den första sänkningen på -5 dB beror på att gamla mätverktyg gav opålitliga värden under denna tid.

Då bakgrundsnivån är så pass hög att en sänkning på -65 dB inte är möjlig kan en sänkning ned till -25 dB istället användas. Tiden detta tar multipliceras med tre för att få en extrapolerad efterklangstid, betecknad  $T_{20}$ , se Figur 11 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). I praktiken mäts oftast  $T_{20}$  och kraven som ställs på olika utrymmen brukar sättas i  $T_{20}$ , detta är endast en annan beteckning för efterklangstiden som visar hur den mäts.



Figur 11. A: Visar efterklangstiden ( $RT60=T_{60}$ ). B: Visar också efterklangstiden fast här är bakgrundsnivån för hög för att ljudtrycksnivån skall sjunka 60 dB. Här kan  $T_{20}$  istället mätas. [11]

För att beräkna fram efterklangstid kan Sabines formel användas, se Ekvation 12 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$T_{60}(f) = K \cdot \frac{V}{A} = K \cdot \frac{V}{\sum_i (S_i \cdot \alpha_i(f))} \text{ [s]} \quad (12)$$

Där:

$T_{60}(f)$  = Efterklangstiden med avseende på frekvensen [s]

$K$  = Konstant, vid normala förhållanden = 0,16 [s/m]

$V$  = Rummets volym [ $m^3$ ]

$A$  = Absorptionsarea [ $m^2$ ]

$S_i$  = Yta på material  $i$  [ $m^2$ ]

$\alpha_i(f)$  = Absorptionsfaktor för yta  $i$  med avseende på frekvensen [-]

Absorptionsfaktorn kan beskrivas av Ekvation 13 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). Se även Figur 12.

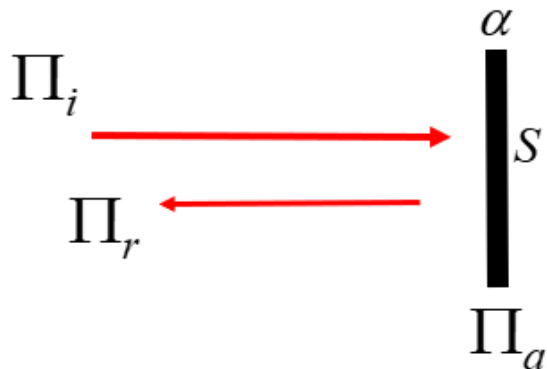
$$\alpha(f) = \frac{\Pi_a}{\Pi_i} [-] \quad (13)$$

Där:

$\alpha(f)$  = Absorptionsfaktorn med avseende på frekvens [-]

$\Pi_a$  = Absorberad effekt [W]

$\Pi_i$  = Infällande effekt [W]



Figur 12. Här visas tre effekter: Infällande- ( $\Pi_i$ ), reflekterande- ( $\Pi_r$ ) och absorberande effekt ( $\Pi_a$ ), samt ytan ( $S$ ) och absorptionsfaktorn ( $\alpha$ ). [12]

Sabines formel antar att ljudfältet i rummet är ett *idealt diffust ljudfält*. Detta innebär att alla punkter i rummet reflekterar inkommande ljudvågor åt olika riktningar. (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). Den teoretiska gränsen på vid vilket frekvens ett rum är diffust eller icke-diffust kallas Schroeder frekvensen, som i ett normalstort rum är ca 200 Hz (Acoustic Fields, 2016). En mer verklighetsförankrad beräkningsmetod används under simuleringen i denna studie, som närmare beskrivs i kapitel 4.3.

Den lägsta tillåtna genomsnittliga efterklangstid i ett klassrum skall vara  $T_{20} = 0,5$  s för oktavbanden 250–4000 Hz. Oktavbandet 125 Hz är tillåtet att ligga på  $T_{20} = 0,7$  s (Svensk Standard - SS 25268:2007+T1:2017, 2018). För utrymmen för personer med nedsatt hörsel skall en så kort genomsnittlig efterklangstid som möjligt eftersträvas för oktavbanden 125-, 250- och 500 Hz (Svensk Standard - SS 25268:2007+T1:2017, 2018).

○ *Finsk studie – normal storleksordning av parametrarna för ett klassrum*

En studie har gjorts i Finland, där 40 stycken klassrum undersökts för att se hur lärarnas/läraryrarnas röst påverkas av klassrummets förhållanden (Rantala & Eeva, 2015). I studien har bland annat de fem eftersökta parametrarna i denna studie uppmätts. De genomsnittliga dimensionerna för dessa 40 klassrum var: längd x bredd x höjd=8,4m x 7,5m x 3,2m, vilket liknar dimensionerna för klassrummen som kommer att simuleras i denna studie: längd x bredd x höjd =8m x 7m x 2,7m. Resultaten från den finska studien används därför i denna studie för att jämföra och ge en måttstock för normal storleksordning av parametrarna i ett klassrum med liknande dimensioner.

Den genomsnittliga efterklangstiden i den finska studien var  $T_{60}=0,55$  s med en standardavvikelse på  $SA=0,11$  s (Rantala & Eeva, 2015).

○ *Taluppfattbarhet ( $C_{50}$ )*

$C_{50}$  står för "Speech Clarity" som översätts till "Taluppfattbarhet". Taluppfattbarheten definieras som kvoten mellan den tidiga ljudtrycksenergin som reflekteras inom 50 ms och den sena ljudtrycksenergin som reflekteras efter detta, se Ekvation 14 (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009).

$$C_{50} = 10 \cdot \log \left( \frac{\int_0^{0,050} p^2(t) dt}{\int_{0,050}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \text{ [dB]} \quad (14)$$

Där:

$C_{50}$  = Taluppfattbarheten [dB]

$p(t)$  = Momentanvärdet på ljudtrycket vid mätpunkt uppmätt efter en ljudkälla stängts av [Pa]

$t$  = Tiden [s]

Ljudtrycksenergin som reflekteras inom 50 ms har en positiv inverkan på taluppfattningen då den förstärker ljudnivån. De senare ljudreflexerna maskerar talet och sänker taluppfattningen. Ett högt värde på  $C_{50}$  är därför önskvärt för att uppnå god taluppfattning i ett rum. (Ljung, 2010).

Det finns inga krav på  $C_{50}$  i ett klassrum enligt Svensk Standard (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009). Den genomsnittliga taluppfattbarheten i den finska studien var  $C_{50}=4,5$  dB men en standardavvikelse på  $SA=1,6$  dB (Rantala & Eeva, 2015). Detta värde anses, i denna studie, vara normalt för ett klassrum med liknande dimensioner.

○ *Definition ( $D_{50}$ )*

$D_{50}$  står för det tyska ordet "Deutlichkeit" som översatt blir "Definition". Definitionen definieras som kvoten mellan ljudtryckenergin av dem tidiga reflexerna och den totala ljudtrycksenergin, se Ekvation 15 (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009).

$$D_{50} = \frac{\int_0^{0,050} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (15)$$

Där:

$D_{50}$  = Definitionen [%]

$p(t)$  = Momentantrycket vid mätpunkt uppmätt efter en ljudkälla stängts av [Pa]

$t$  = Tiden [s]

För att höra tal så tydligt som möjligt skall  $D_{50}$  vara så nära 100 % som möjligt (Ljung, 2010). Det finns inga satta krav på  $D_{50}$  i ett klassrum enligt Svensk Standard (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009). Den genomsnittliga definitionen i den finska studien var  $D_{50}=73\%$  men en standardavvikelse på  $SA=6,7\%$  dB (Rantala & Eeva, 2015). Detta värde anses, i denna studie, vara normalt för ett klassrum med liknande dimensioner.

○ *Ljudstyrka ( $G$ )*

$G$  står för "Gain" eller "Sound Strenght" som översatt blir "Ljudstyrka". Ljudstyrkan definieras som skillnaden mellan ljudtrycksnivån vid mätpunkten och ljudtrycksnivån i ett fritt fält från 10 m avstånd efter en ljudkälla stängts av, se Ekvation 16 (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009).

$$G = L_p - L_{p,10} \text{ [dB]} \quad (16)$$

Där:

$G$  = Ljudstyrkan [dB]

$L_p$  = Ljudtrycksnivån vid mätpunkten uppmätt efter en ljudkälla stängts av [dB]

$L_{p,10}$  = Ljudtrycksnivån 10 meter från ljudkällan i fritt fält uppmätt efter en ljudkälla stängts av [dB]

Där ett *fritt fält* är ett utrymme där ljudet inte påverkas av omgivningen. Om värden från  $L_{p,10}$  saknas kan ljudstyrkan även beräknas med Ekvation 17 (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009).

$$G = L_p - L_W + 31 \text{ [dB]} \quad (17)$$

Där:

$G$  = Ljudstyrkan [dB]

$L_p$  = Ljudtrycksnivån vid mätpunkten uppmätt efter en ljudkälla stängts av [dB]

$L_W$  = Ljudeffektsnivån från ljudkällan [dB]

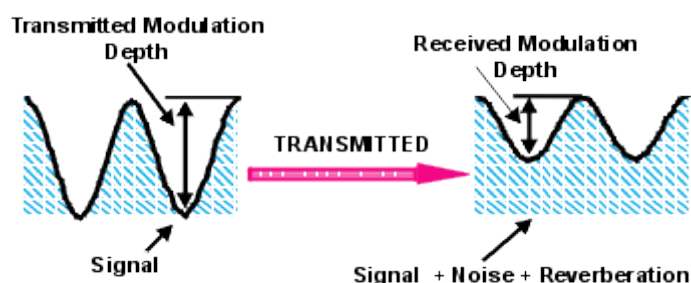
En hög ljudstyrka innebär att rummet höjer ljudtrycksnivån från utsändaren medan ett lågt innebär att rummet dämpar ljudtrycksnivån (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009). I ett klassrum önskas ett så lågt  $G$ -värde som möjligt då detta bidrar till en lägre bakgrundsnivå från pratande barn och minskar risken för Lombard effekten (se kapitel 2.6.1) (Acoustic Bulletin, u.å).

Det finns inga satta krav på ljudstyrkan  $G$  i ett klassrum enligt Svensk Standard (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009). Den genomsnittliga ljudstyrkan i den finska studien var  $G=15$  dB men en standardavvikelse på  $SA=2,8$  dB (Rantala & Eeva, 2015). Detta värde anses, i denna studie, vara normalt för ett klassrum med liknande dimensioner.

○ *Talöverföringsindex (STI)*

STI står för "*Speech Transmission Index*" som översätts till "*Talöverföringsindex*". Talöverföringsindexet är ett index mellan 0 och 1 som anger hur väl tal överförs från talaren till mottagaren, där  $STI=1$  är fullständig taluppfattning och  $STI=0$  är ingen taluppfattning.

För att mäta STI skickas en modulerad signal ut, som efterliknar tal, från den plats talaren förväntas stå. Signalen mottas sedan av en ljudnivåmätare, som placeras där en lyssnare förväntas stå eller sitta, och analyserar skillnaderna av den utskickade signalen och den mottagna. STI är en viktad summering av denna skillnad, där hänsyn tas till vilket kön talaren har, och beskriver hur stor del av informationen som skickats ut som mottagaren kan ta emot. Det som mäts är skillnaden i modulationsdjupet, med andra ord amplitudskillnaden på den utskickade signalen och den mottagna, se Figur 13. En hög efterklangstid och mycket brus i rummet sänker STI (Houtgast & Steeneken, 2002).



Figur 13. För att ta fram STI mäts skillnaden från det utsända moduleringsdjupet och det mottagna moduleringsdjupet. [13]

STI kan beräknas med Ekvation 18.

$$STI = \sum_{K=1}^7 \alpha_k \cdot MTI_k - \sum_{K=1}^6 \beta_k \cdot \sqrt{MTI_k \cdot MTI_{k+1}} \quad [-] \quad (18)$$

Där:

$STI$  = Talöverföringsindex [-]

$MTI_k$  = "Modulation transfer index" och beskriver skillnaden av utsänd och mottagen modulationsdjup vid oktavband  $k$  [-]

$\alpha_k$  = Viktad faktor för oktavband  $k$  [-]

$\beta_k$  = Redundansfaktor för oktavbanden  $k$  och  $k+1$  [-]

Både  $\alpha_k$  och  $\beta_k$  kan hittas i (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012).

Tabell 1. Viktad faktor ( $\alpha$  [-]) och redundansfaktor ( $\beta$  [-]) för män och kvinnor vid beräkning av STI (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012).

Oktavband [k]		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Man	$\alpha$	0,085	0,127	0,230	0,233	0,309	0,224	0,173
	$\beta$	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	-
Kvinna	$\alpha$	-	0,117	0,233	0,216	0,328	0,250	0,194
	$\beta$	-	0,099	0,066	0,062	0,025	0,076	-

Talöverföringsindexet har testats praktiskt i många studier och andelen mellan 0 och 1 anger hur många ord och meningar av olika svårighetsgrad testpersonen kan uppfatta i genomsnitt (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012).

Efter tester på personer med både milda och grava hörselskador har STI, och metoden att ta fram den, visat sig stämma angående graden av taluppfattning. Skillnaden är att personer med grova hörselskador behöver ett högre STI-värde för att nå samma taluppfattning som en person utan (Houtgast & Steeneken, 2002).

Det högsta kravet satt i Sverige för att få en god, till utmärkt, taluppfattning är  $STI=0,75$  eller högre, se Tabell 2. Ett normalt värde i ett klassrum för god taluppfattning är  $STI=0,62$  (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012). Det genomsnittliga talöverföringsindexet i den finska studien var  $STI=0,74$  men en standardavvikelse på  $SA=0,04$  (Rantala & Eeva, 2015). Detta värde anses, i denna studie, vara normalt för ett klassrum med liknande dimensioner.

Tabell 2. Betygsättning av STI (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012).

Betyg	Mycket dålig	Dålig	Godkänd	Bra	Utmärkt
STI [-]	0 – 0,30	0,30 – 0,45	0,45 – 0,60	0,60 – 0,75	0,75 – 1

STI är starkt beroende av bakgrundsnyvån och signal-brusförhållandet i rummet, en hög bakgrundsnyvå och ett lågt signal-brusförhållande sänker STI (Houtgast & Steeneken, 2002).

○ *Signal-brusförhållande (SNR)*

Signal-brusförhållandet, förkortas (SNR) från engelskans "Signal-to-Noise Ratio", är måttet för hur stark en signalens ljudnivå är i jämförelse med brusets ljudnivå i rummet. Bruset är en sammantagning av bakgrundsnyvån, så som luftkonditionering, pratande kollegor eller ljud från trafiken. Höga efterklangstider, stående vågor och fladdereko (se kapitel 2.6.1) ökar även bruset då en signals

tydlighet störs vid skillnader i tid och position av ljudvågorna (Houtgast & Steeneken, 2002). Ett högt värde på SNR ger en god taluppfattning (Ljung, 2010).

Vid dåliga förhållanden för taluppfattning, så som låg SNR, kommer hjärnan att behöva använda mer energi för att förstå informationen än vid bättre förhållanden. Så om en elev i ett klassrum med dåliga förhållanden för taluppfattning kan höra vad föreläsaren säger, är det svårare att förstå informationen. Även om eleven lyckas förstå informationen så är det svårare att minnas den (Ljung, 2010).

- *Bakgrundsnivå*

Enligt arbetsmiljöverket bör bakgrundsnivån inte överstiga en total ljudtrycksnivån  $L_{p,tot} = 50$  dB för att tal skall kunna uppfattas från 5-10 m avstånd. För hörselskadade bör denna bakgrundsnivå inte överstiga  $L_{p,tot} = 35$  dB för samma effekt (Arbetsmiljöverket, 2005).

Bakgrundsnivån som sätts in i denna studies simuleringar är tagen från en annan svensk studie där 22 stycken klassrum mättes upp och ett medelvärde av bakgrundsnivån togs fram, se Tabell 3 (Lundqvist, 2003).

Tabell 3. Bakgrundsnivån i oktavband 125–8000 Hz (Lundqvist, 2003).

Oktavband [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Ljudtrycksnivå ( $L_{p,n}$ [dB])	40	35	34	25	22	20	18

Vilket ger  $L_{p,tot} = 42$  dB från Ekvation 8. Detta överstiger arbetsmiljöverkets förslag och bidrar till att studiens simuleringar görs i ett icke önskvärt klimat för hörselskadade (och där med barn med CI). I den finska studien uppmättes bakgrundsnivån också till  $L_{p,tot}=42$  dB (Rantala & Eeva, 2015), vilket är ännu ett skäl till att resultaten mellan denna studie och den finska studien kan jämföras med varandra, speciellt i avseende på STI (som är väldigt bakgrundsnivå-beroende).

- *Sammanfattning*

I Tabell 4 visas en beskrivning av samtliga parametrar, satta krav enligt Svensk Standard och resultatet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015).



Tabell 4. Parametrar för taluppfattning, dess definition, krav från Svensk Standard (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012), (Svensk Standard - SS 25268:2007+T1:2017, 2018) och resultat från finsk studie (Rantala & Eeva, 2015).

Parameter	Definition	Krav från Svensk Standard	Finsk studie (Rantala & Eeva, 2015). Genomsnittsvärde / SA
<b>Efterklangstid (<math>T_{60}</math> [s])</b>	Tiden det tar för ljudnivån att sjunka 60 dB efter att ljudkällan stängts av	125-, 250-, 500 Hz så kort som möjligt. 1-, 2-, 4 kHz <0,50 s	0,55 s / 0,11 s
<b>Taluppfattbarhet (<math>C_{50}</math> [dB])</b>	Skillnaden mellan tidiga (<50 ms) och sena ljudenergireflexer	-	4,50 dB / 1,60 dB
<b>Definition (<math>D_{50}</math> [%])</b>	Skillnaden mellan tidiga (<50 ms) och totala ljudenergireflexer	-	73,00% / 6,70%
<b>Ljudstyrka (<math>G</math> [dB])</b>	Skillnaden mellan uppmätt ljudtrycksnivå och ljudtrycksnivå uppmätt 10 m från ljudkällan i ett fritt fält	-	15,00 dB / 2,80 dB
<b>Talöverföringsindex (<math>STI</math> [-])</b>	Kvalitén av talöverföringen mellan talare och lyssnare	<0,75	0,74 / 0,04

## 2.6 Rumsakustik

Rumsakustik är den del inom akustiken som beskriver hur ljud beter sig inom ett rum. Alla parametrar som skall tas fram i denna studie påverkas av rumsakustiken, så som rummets ytors beklädnad och dess utformning (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

- *Ljud är en form av energi*

En ljudvåg är en rörelse av luften och en form av energi. Enligt termodynamikens första huvudsats försvinner aldrig energi utan den kan endast omvandlas. Om en ljudvåg sänds ut i ett rum och träffar en vägg kommer en del av energin att studsas tillbaka, *reflekteras*. En annan del av energin kommer att tas in av väggen, *absorberas*, och bli till termisk energi och/eller kinetisk energi och den kvarvarande energin går igenom väggen, *transmitteras*, och in till mottagarrummet (Kuttruff, 2009).

### 2.6.1 Vad påverkas av rumsakustiken?

- *Stående vågor*

Om ljudvågor reflekteras mot en yta och skickas tillbaka mot källan kan en stående våg skapas. Detta sker då två vågor möts och *superpositioneras*: infaller på ett sådant sätt att vågornas överlappning förstärker eller släcker ut varandra. En förstärkt våg, med en högre amplitud, hörs mer, och fenomenet kan skapa en bullrig miljö i rummet det sker i (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008). För att motverka detta skall plana parallella ytor undvikas, genom till exempel reflektorer. Ett annat alternativ är att använda diffusorer (Christensson, Ljudskolan, 2018).

- *Fladdereko*

Fenomenet fladdereko bildas i ett rum med två hårda parallella väggar där resterande väggar antingen absorberar eller diffuserar ljudet. Detta skapar ett eko då ljudvågorna stannar kvar i rummet då de reflekteras mellan dessa två väggar. Ekot kan beskrivas som "*metalliskt*" eller "*plåtigt*" och stör möjligheten för god taluppfattning i rummet (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

- *Lombardeffekt*

Lombardeffekten innebär en tendens för en talare att höja sin röst, vartefter bullerljudnivån höjs, för att mottagaren skall kunna höra vad de säger. Detta innebär att ljudnivån i en bullrig miljö blir ännu bullrigare och denna effekts intensitet höjs om antalet talare och lyssnare ökar i rummet. Om bullernivån kan hållas nere och om taluppfattningen är god i ett rum kommer Lombardeffekten minska eller försvinna helt (Brumm & Zollinger, 2011).

- *Knäckebrödseffekten*

Knäckebrödseffekten är beskriven av intervjuperson 9, se Tabell 5, och innebär att om rösten (eller ljudet av ett knäckebröd som bryts) kan höras väldigt väl i ett rum, kommer avsändaren att sänka sin röst (eller inte äta knäckebrödet). Detta beror på att avsändaren sätts i en situation hen är obekvämt i, där allt hen säger kan höras av alla. Effekten anses bero på den evolutionära fördelen med att höras av endast de som man vill skall höra och inte av rovdjur eller likande faror (IntervjupersonerTabell 5, intervjuperson 9).

Effekten har testats ett flertal gånger i rum, bland annat klassrum, som tidigare hade bristande förhållande för taluppfattning men som sedan renoverades till att få goda förhållanden. Efter renoveringen märktes en betydligt lägre ljudnivå i rummet då barn från alla åldrar och bakgrund vistades där, detta beror delvis på knäckebrödseffekten (IntervjupersonerTabell 5, intervjuperson 9).

## 2.6.2 Egenmod och egenfrekvens

I varje rum finns ett fenomen som kallas resonans. Resonans innebär att om det aktuella rummet är mött med en ton som en av rummets *egenfrekvenser* (som beror på rummets dimensioner och hastigheten som ljudet färdas i, se Ekvation 19) kommer rummet konstruktivt att svara med en förstärkning av denna ton. Stående vågor skapas, vilket förstärker ljudet i fråga. Vid dessa frekvenser kommer rummet att sprida ljudet i vissa mönster, kallade *egenmoder*. För varje egenfrekvens finns en enskild egenmod. Med andra ord är egenmoden olika former som ett rum eller en struktur kan vibrera, vilket skapar stående vågor (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

Egenfrekvensen för ett rum format som ett rätblock beräknas genom Ekvation 19 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$f(n_x, n_y, n_z) = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{B}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{H}\right)^2} \quad 19$$

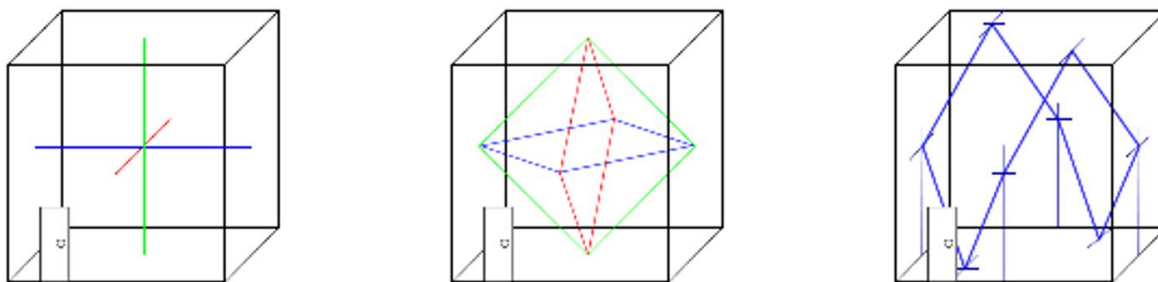
Där:

$c$  = Ljudets hastighet [m/s]

$n_x, n_y, n_z$  = Heltal [-]

$L, B, H$  = Längd, bredd och höjd på rummet [m]

Det finns axiella, tangentiella och snedställda moder beroende på vilken riktning de stående vågorna uppträder ( $n_x, n_y$  och  $n_z$  i Ekvation 19), se Figur 14 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).



Axial modes 1D

Tangential modes 2D

Oblique modes 3D

Figur 14. Axiella, tangentiella och snedställda moder som beroende på vilken riktning de stående vågorna uppträde. [14]

- När påverkas rummet som starkast av egenmoder?

I verkligheten, när ett bredbandigt ljud sänds ut i rummet (så som tal och musik), är många frekvenser inblandade och rummets svar är en superpositionering av alla rummets egenmoder.

Om vi ligger ovanför den så kallade Schroeder-frekvensen (Acoustic Fields, 2016) kallas rummets ljudfält för diffust och en god approximation om hur ljudet beter sig i detta rum ges av de metoder och simulationer som, utöver detta kapitel, används i denna studie. Men i vissa fall bör man uppmärksamma egenmodernas ljudfördelning i rummet, speciellt då egenfrekvenser finns närvarande (t ex från ett HVAC-system). I lågfrekvensområdet (frekvenser med lång våglängd), och under Schroeder-frekvensen, är den så kallade moddensiteten låg och ljudfältet diffunderat. Här är ljudtrycksnivån väldigt beroende på placeringen i rummet (Acoustic Fields, 2016).

I denna studie kommer de första 50 egenmoderna tas fram från programmet Abaqus (3DS, u.å) genom  *finita elementmetoden (FEM)*. Detta visas i kapitel 5 Resultat.

### 2.6.3 Absorption och absorbenter

Absorption av ljudvågorna sänker bullernivån i ett rum och kan bland annat justera efterklangstiden. Absorbenter kan delas in i två delar, porösa absorbenter och resonansabsorbenter. En absorbent i ett rum absorberar en del av den ljudenergi som i annat fall skulle reflekteras eller transmitteras (Kuttruff, 2009).

- Porösa absorbenter

Om den inkommande ljudvågen förlorar en del av sin energi genom friktion har den gått igenom en porös absorbent och ljudenergin omvandlas till *termisk energi* (värmeenergi). Exempel på porösa absorbenter är mineralull och stenull. En porös absorbent absorberar främst höga frekvenser. För att ett poröst material skall absorbera medel och låga frekvenser effektivt krävs ett tjockt lager. Därför sätts oftast dessa i taket där de inte inkräktar på rummets boendeyta (Cox & D'Antonio, 2004).

En regel som används för att absorbera ned till en viss frekvens, är att tjockleken på absorbenten skall vara en fjärdedel av våglängden på denna frekvens. Så om frekvenser ned till 125 Hz önskas absorberas, ska tjockleken ( $d$  [m]) vara ca  $d = 0,7$  m, se Ekvation 20 (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

$$d = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4 \cdot f} = \frac{343}{4 \cdot 125} \approx 0,7 \text{ m} \quad (20)$$

Där:

$d$  = Tjocklek på absorbent [m]

$\lambda$  = Våglängd på frekvens [m]

$c$  = Ljudets hastighet i luft (vid 20 °C) [m/s]

$f$  = Frekvens [Hz]

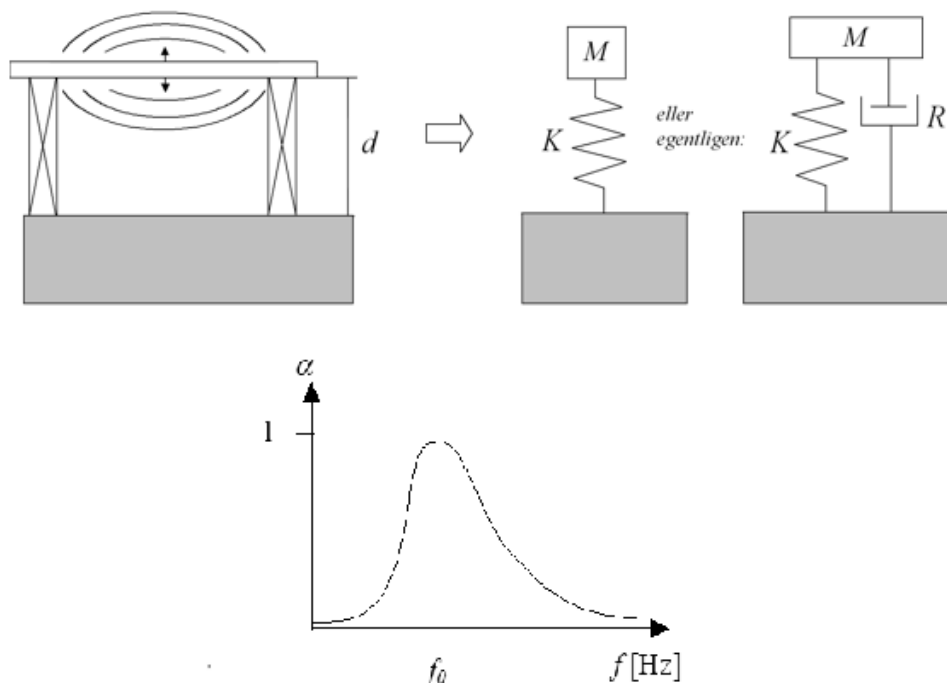
En porös absorber absorberar som bäst om *porositeten* ligger mellan 0,7 och 0,9. Porositet är ett förhållande mellan materialets luftvolym och dess totala volym. Vid för låg porositet hindras ljudvågorna från att ta sig in i absorbernten. Vid för hög porositet kommer ljudvågorna inte utsättas för någon friktion då utrymmet är för stort (Cox & D'Antonio, 2004).

Utöver tjockleken och porositeten på absorbernten beror dess absorberande förmåga även på materialets *strömningsmotstånd*. Strömningsmotstånd är ett mått på hur väl luft kan ta sig igenom ett poröst material och beror på hur fibrerna ligger i materialets struktur. Täta fibrer ger ett högt strömningsmotstånd och en hög absorptionsfaktor (Kuttruff, 2009).

○ *Resonansabsorbenter*

För effektiv absorption vid låga och medelhöga frekvenser kan en resonansabsorbent användas. En resonansabsorbent är ett system av en massa och en fjädring som sätts i svängning av inkommande ljudvågor (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

Resonans är ett annat ord för medsvängning. Resonans är ett fenomen som genom en förändring i rörelse, vid ett smalt frekvensområde, kan sätta ett system i en förhöjd svängning. Detta fenomen sker vid systemets *resonansfrekvens* ( $f_0$  [Hz]), se Figur 15. Om den inkommande ljudvågen har samma frekvens som resonansabsorbentens resonansfrekvens sätts systemet i svängning och ljudenergin omvandlas till *kinetisk energi* (rörelseenergi) och absorberar därmed till största del denna frekvens (Kuttruff, 2009).



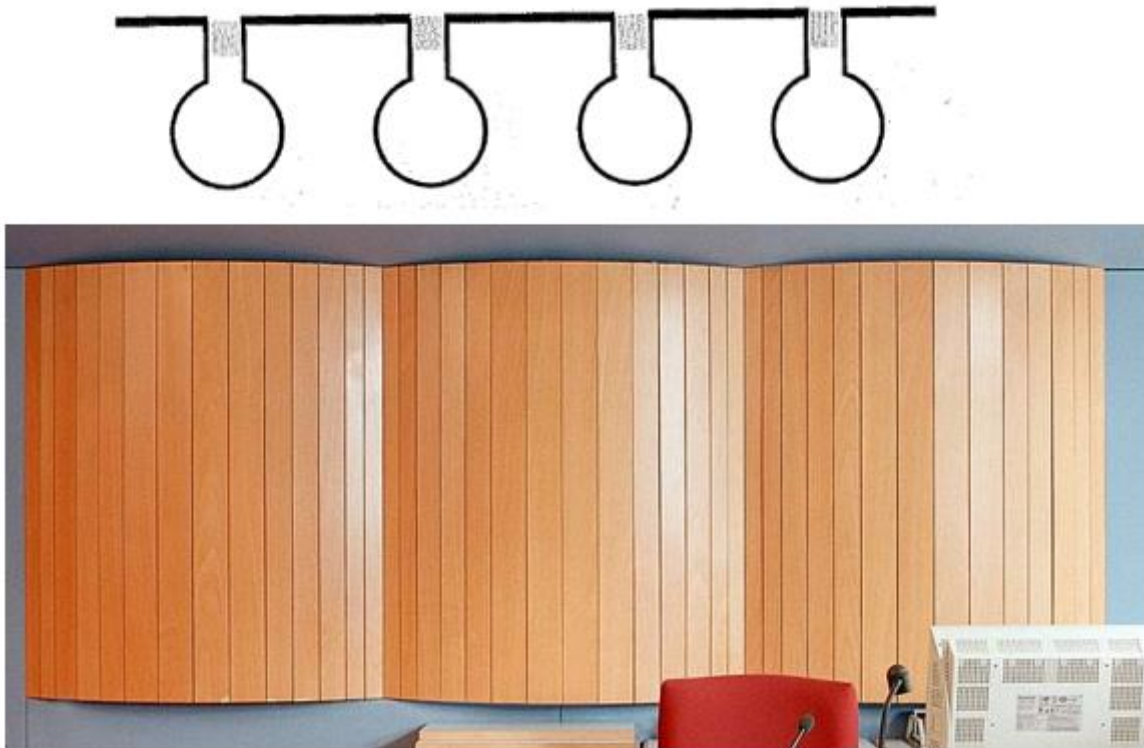
Figur 15. Överst: Ett exempel på hur en resonansabsorbent fungerar, där  $M$  står för massa,  $K$  för fjäderns styvhet och  $R$  för systemets resonans. Undre: Resonansabsorbentens resonansfrekvens  $f_0$ . [15]

För att öka absorptionen och bredda frekvensområdet för resonans sätts vanligen ett poröst material bakom den fjädrade massan som omvandlar den kinetiska energin till termisk energi genom friktion.

För att maximera denna effekt skall det porösa materialet sättas i den delen av systemet med högst partikelhastighet på luften. För att ställa in resonansfrekvensen ändras massan och/eller styvheten på fjädringen. En vanlig typ av resonansabsorbent är *Helmholtzresonator* (Kuttruff, 2009).

- *Helmholtzresonator*

Den enklaste utformningen av en Helmholtzresonator består av ett hål som leder till en kolv via en hals, se Figur 16. Massan i denna typ av resonansabsorbent utgörs av luften i halsen och fjädringens styvhet av luften i kolven. En speciell typ av Helmholtzresonator, som absorberar medel- och låga frekvenser, kallas för *spaltpanel* (Kuttruff, 2009)



Figur 16. Utformning av en Helmholtzresonator. [16]

- *Spaltpanel*

En spaltpanel är uppbyggt utav ett flertal träpaneler som är uppsatta mot en vägg med ett specifikt avstånd från varandra och väggen, se Figur 17. Bakom dessa paneler finns ett lager av en porös absorbent, som till exempel glasull. Bakom panelen är partikelhastigheten på luften som störst och den önskade effekten maximeras därför (Kuttruff, 2009).

Likt en Helmholtzresonator motsvarar spalten mellan panelen resonatorns hals och därmed systemets massa, medans luftvolymen mellan panelen och den bakomliggande väggen motsvarar fjädringens styvhet på systemet. Den specifika resonansfrekvensen som spaltpanelen absorberar kan justeras genom att ändra storleken på spalten samt luftvolymen bakom panelerna. En minskning av spaltbredden sänker resonansfrekvensen, en ökning av spaltdjupet sänker resonansfrekvensen och en ökning av luftvolymen bakom panelen sänker resonansfrekvensen (Kuttruff, 2009).



Figur 17. En spaltpanel är uppbyggd av brädor med ett avstånd mellan varandra och mellan den bakomliggande väggen. Bakom brädorna kan ett absorberande lager finnas. [17]

#### 2.6.4 Reflektion och reflektorer

En hård och solid yta kan få inkommande ljudvågor att riktas i en önskad riktning och används på så väl tak som väggar. Detta kan förstärka ljudnivån och även taluppfattningen för mottagaren om så mycket av ljudreflexerna som möjligt kan nå hen inom 50 ms. En reflektor kan även rikta ljud bort från mottagare för att motverka denna effekt om den är oönskad. För att ljud skall reflekteras mot en reflektor måste ojämnheter på reflektorn vara mycket kortare än tonens våglängd (Kuttruff, 2009). En lutning på 5° på en reflektor kan bidra med en sänkt bland annat efterklangstid om ljudet reflekteras mot en mer absorberande yta. Lutningen bidrar även till minskat fladdereko (Brunskog, Holmberg, Johansson, Nilsson, & Sjökvist, 2008).

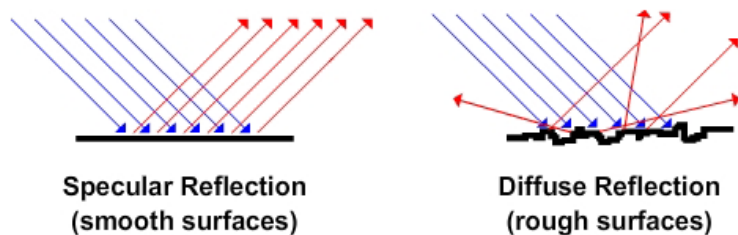
#### 2.6.5 Diffusion och diffusorer

För att sprida inkommande ljudvågor åt olika riktningar används diffusorer. Genom ett varierande mönster reflekteras ljudvågor åt olika håll och beroende på infallsvinkeln och våglängder på de infallande ljudvågorna sprids dem i rummet. Låga frekvenser har lång våglängd och höga frekvenser har kort. I en människas hörselområde, mellan 20 Hz och 20 000 Hz, skiljer sig våglängden från 17 m till 1,7 cm. Dessa längder påverkar storleken på djup och längd på de mönster som finns på en diffusor (Cox & D'Antonio, 2004).

För att en diffus reflex skall skapas måste ojämnheter i materialet vara större än en fjärdedel av tonens våglängd. Ett rum med rätt konstruerade och placerade diffusorer sprider ljudet på ett sådant sätt att hjärnan lättare kan ta in och uppfatta de olika tonerna på grund av tidsskillnaden mellan dem (Cox & D'Antonio, 2004).

- *Spridningsfaktor (s [-])*

I bland annat simuleringsprogrammet CATT-Acoustic används *Spridningsfaktor (s [-])*. Denna anger hur stor andel av ljudvågorna som träffar ytan som reflekteras diffust (åt spridda håll). Ljud som inte reflekteras diffust reflekteras *spekulärt*, med samma ingångs- som utgångsvinkel, se Figur 18 (CATT-A, 2016).



Figur 18. Vänster: Ljud som reflekteras spekulärt på en plan yta. Höger: Ljud som diffuseras på en ojämn yta. [18]

Ekvation 20 beskriver förhållandet mellan spridningsfaktorn ( $s$  [-]) och absorptionsfaktorn ( $\alpha$  [-]) (CATT-A, 2016). Absorptionsfaktorn är beskriven i kapitel 2.5.1, Ekvation 13.

$$\alpha + (1 - \alpha) \cdot (1 - s) + (1 - \alpha) \cdot s = 1 \quad (20)$$

Där:

$\alpha$  = Absorptionsfaktorn [-]

$s$  = spridningsfaktorn [-]

## 2.7 Praktiska hjälpmedel för god taluppfattning för barn med CI i klassrum

I denna studie har dels de rumsakustiska parametrarna och dess förändring av taluppfattningen studerats. Utöver rummets utformning och materialval finns även en rad praktiska hjälpmedel som ytterligare förbättrar taluppfattning för barn med CI.

### ○ Placering i klassrummet

Genom att placera barnet med CI så nära ljudkällan, till exempel läraren/läraryn, som möjligt, kan barnet se läraren/läraryns mun för att enklare kunna läsa på deras läppar. Därför är det även viktigt att klassrummet är väl upplyst. Barnen skall även sitta så långt från ventilationsanläggningar, dörrar och fönster som möjligt, som kan bidra med en ökad bakgrundsnivå och buller (Cochlear, u.å).

### ○ FM-system

Ett FM-system är en mikrofon som avgivaren kan ha runt halsen eller som ett headset, som skickat ljudet direkt till mottagarens implantat med hjälp av radiovågor. FM står för "Frequency Modulation" och fungerar som en radio. FM-system förstärker därmed avgivarens röst och sänker bakgrundsnivån för mottagaren, vilket förbättrar taluppfattningsförmågan (Mroz, 2017). För att maximera talförståelsen krävs att mikrofonen är så nära avsändarens mun som möjligt, till exempel med hjälp av ett headset. Det är även viktigt att samtliga elever har tillgång till att prata in i en mikrofon, vid exempelvis en diskussion eller presentation för hela klassen (Tabell 5, intervjuperson 6)

### ○ Informationsform och medhjälpare

Information som verbalt uttalats i klassrummet skall finnas nedskrivet. Läraren/läraryn skall även prata tydligt och ge barn med CI tid att uppfatta vad som sagts, speciellt då ny information ges. Det hjälper inte att höja rösten då detta endast försvårar taluppfattningsförmågan för barnet. Slutligen kan barnet tilldelas en klasskamrat eller utbildad personal som kan skriva ned viktig information under lektionerna (Stith & Drasgow, 2015).

## 3 Intervjuer

### 3.1 Introduktion

Under en intervju får intervjupersonen med egna ord svara på de frågor som ställs. Intervjupersonen får även en möjlighet att ändra på sitt svar eller bygga vidare på det vid en senare tidpunkt under intervjuens gång. Genom att hålla intervjuer erhålls information som (i vissa fall) inte går att hitta någon annan stans, vilket breddar informationsbanken inom det ämnet som intervjun hålls inom. (Alshenqeti, 2014)

I denna studie har 13 stycken personer intervjuats, tio personer som arbetar inom studieområdet, två barn med CI och en mentor till ett av dessa barn. Intervjupersonerna har dels hittats genom aktiv sökning på internet men även i stor grad genom rekommendationer och tips från redan efterfrågade intervjupersoner. Tillexempel ansåg en del sig inte ha tillräcklig kunskap i ämnen för att svara på intervjufrågorna, så de rekommenderade kollegor på samma eller andra företag eller institutioner som de visste hade tillgång till den saknade kunskapen.

Genom att intervjua personer med stor kunskap och erfarenhet inom ämnena rumsakustik, barn med hörselproblem och barnens inlärningsförmågor i skolan, kunde en stor del av inspirationen till denna studie tidigt tas. Frågorna som ställdes, så som: *” Vad anser du är det största problemet ett barn med cochleaimplantat har under en skoldag med avseende på akustiken i deras klassrum?”* gav olika svar beroende på vem som svarade.

För att få en större insyn i hur vardagen i ett klassrum såg ut intervjuades två barn med CI och en mentor som jobbar med ett av barnen dagligen. Här kunde de själva svara på hur deras situation ser ut, med egna förslag och åsikter om förändring och förbättring.

Intervjupersonerna med deras yrkestitel, datum och tid samt hur intervjun hölls hittas i Tabell 5.

Tabell 5. Intervjupersoner, yrkestitel, datum, tid och plats för intervjuerna.

Intervjupersoner	Yrkestitel	Datum	Tid	Plats
Intervjuperson 1	Universitetsadjunkt vid institutionen för neurovetenskap på Uppsala universitet	2018-02-14	11:00-11:22	Över Skype
Intervjuperson 2	Senior akustisk ingenjör på ett företag som designar, tillverkar och levererar hörsel-implantat	2018-02-14	14:30-14:43	Över Skype
Intervjuperson 3	Adjungerande professor inom kognitiv hörselvetenskap på Linköpings universitet/projektledare på en forskningscentral	2018-02-14	16:00-16:28	På arbetsplatsen
Intervjuperson 4	Professor inom kognition och kommunikation hos döva och hörselskadade på Linköpings universitet	2018-02-15	09:15-09:26	Över Skype
Intervjuperson 5	Docent på Lunds universitet inom bland annat logopedi, foniatri och audiologi	2018-02-19	13:30-13:44	På arbetsplatsen



<b>Intervjuperson 6</b>	Forsnings-ingenjör vid logopedi, foniatri och audiologi institutet på Lunds universitet	2018-02-21	10:00-10:53	På arbetsplatsen
<b>Barn 1</b>	Elev med CI	2018-02-22	11:00-11:09	På barn 1s skola
<b>Mentor 1</b>	Mentor för barn 1 och lärare i idrott och SO	2018-02-22	11:10-11:32	På barn 1s skola
<b>Intervjuperson 7</b>	Docent vid logopedi, foniatri och audiologi institutet på Lunds universitet	2018-02-27	15:00-15:10	På arbetsplatsen
<b>Barn 2</b>	Elev med CI	2018-03-01	12:45-12:53	På barn 2s skola
<b>Intervjuperson 8</b>	Konceptutvecklare på ett företag som utvecklar, tillverkar och marknadsför akustiksystem	2018-03-05	14:00-14:44	Över Skype
<b>Intervjuperson 9</b>	Akustiker på svensk akustikkonsultfirma	2018-03-06	10:00-10:35	Över Skype
<b>Intervjuperson 10</b>	Professor i logopedi på Lunds universitet	2018-03-08	12:00-12:27	På arbetsplatsen

### 3.1.1 Tillstånd från vårdnadshavare

För att få intervjua barn under 15 år måste tillstånd fås av deras vårdnadshavare (SMIF, u.å). I Bilaga 4 hittas den blankett som barnens vårdnadshavare skrev på innan intervjuerna hölls.

### 3.2 Sammanfattning från intervjuerna

Nedan följer en sammanfattning av var intervjupersonerna svarade på de frågor som ställdes, intervjufrågorna hittas i Bilaga 1–3. Samtliga intervjuer spelades in och vid önskan om tillgång till dessa, vänligen kontakta författaren.

#### 3.2.1 Barnen med CI:s största problem i ett klassrum

Ett barn med CI möter många svåra problem i ett klassrum, speciellt om detta klassrum inte är anpassat för god taluppfattning. Då barnets implantat endast gör det möjligt att ta in ett relativt litet spann av ljudsignaler, jämfört med ett normalhörande barn, är det viktigt att dessa signaler inte störs (Tabell 5, intervjuperson 6).

En viktig aspekt är att kunna höra andras samtal för att samla information. Ett barn med CI, som befinner sig i en bullrig miljö, kan endast uppfatta tal från ett kort avstånd, ca 2-3m. Om en lärare eller klasskamrater håller en konversation från ett längre avstånd missar barnet med CI oftast detta. Då ca 90% av allt vi lär oss under en dag kommer från information som inte är riktat till endast oss, gör detta stor skillnad (Tabell 5, intervjuperson 1).

Riktningshörandet är viktigt för att känna sig trygg. I en stimmig miljö blir det väldigt svårt för ett barn med CI att veta vart ifrån ljudet kommer. Om klassrummet är tillräckligt bra för att ett FM-system inte alltid behövs, kommer barnet med CI kunna höra vart ljudet kommer ifrån och därmed känna sig tryggare (Tabell 5, intervjuperson 8).

Ett CI tar in ljudsignaler främst horisontalt (fram, bak och åt sidorna) och inte longitudinellt (uppåt eller nedåt). Av denna anledning skall ljud som träffar taket absorberas till så stor grad som möjligt, för att inte skapa longitudinella ljudreflexer, som skapar en miljö som förvirrar bäraren av CI:t och försvårar riktningshörandet ytterligare (Tabell 5, intervjuperson 2).

Då hjärnan måste använda en stor del av sin energi för att uppfatta vad som sägs blir barn med CI ofta trötta efter en längre tid i en stimmig miljö. Även minnet påverkas, då framförallt *arbetsminnet*. Arbetsminne innebär förmågan att minnas vad som nyligen sas, inom ett spann på några sekunder. Om detta minne försvagas måste barnet i fråga gissa vad som sas och att hålla koncentrationen och få ett sammanhang från hela lektionen/föreläsningen försvåras (Tabell 5, intervju person 3).

### 3.2.2 Lösningar på dessa problem

Problemen är väldigt individuella, precis som för alla barn. Det man generellt kan säga är att en förbättrad rumsakustik gör det bättre för alla, såväl barn med och utan CI, som för lärarna i klassrummet. Att även ha mikrofonen nära munnen är viktigt, så att inte skrap från till exempel tröjan hörs in till barnets CI (Tabell 5, intervju person 6). Att sänka ljudnivån på ventilationsanläggningar är viktigt, speciellt hos dem lägre frekvenserna (Tabell 5, intervju person 8).

Läraren hörs bättre om barnet inte sitter för nära killarna i klassen som bidrar till en hög ljudnivå (Tabell 5, Barn 2). Genom att även sitta nära läraren kan det bli enklare att höra vad som sägs och se på dess mun för att kunna läsa på läpparna (Tabell 5, Barn 1). För att få barnen att förstå att de väsnas kan en tavla, avformat som ett öra, sättas upp på väggen, som varnar för hög ljudnivå, genom att lysa gult eller rött (Tabell 5, barn 1).

Om barnen i klassen själva får höra vad barnet med CI hör när de visslar och väsnas in i mikrofonen som är kopplad till barnets CI, kan detta beteende minska. Dessutom hjälper det att sprida informationen till alla barn i klassen om hur barnet med CI hör och vilka svårigheter detta ger (Tabell 5, Mentor 1).

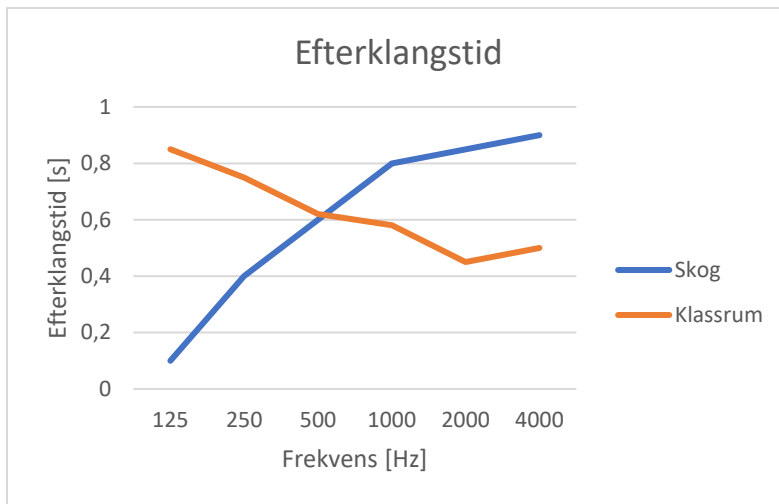
En intressant lösning på dessa problem var att utforma och använda material i ett klassrum som efterliknar den akustiska miljön i en skog (Tabell 5, intervju person 8 & intervju person 9).

### 3.2.3 Efterlikna skogen i klassrummet?

I en skog hörs tal väldigt bra. Enligt mätningar kan normalhögt tal, på 60 dB en meter från ljudkällan, höras på över 20 meters avstånd i en skog, även med en hög bakgrundsnivå. Detta är möjligt på grund av utformningen och materialen i skogen. Med höga, kala trädstammar som är beklädda med bark, reflekteras och diffuseras endast de höga frekvenserna. Diffusionen sker både i rummet och i tiden vilket gör det enklare för hjärnan att uppfatta dem. De låga frekvenserna, med dess långa våglängder, går runt stammarna och reflekteras aldrig tillbaka till mottagaren. Himlen reflekterar inte tillbaka något ljud och den mjuka marken, med mossor och barr, absorberar och sänker ytterligare ljudnivån och leder framförallt inga stegljud. Detta bidrar till att efterklangstiden på 2000 Hz, vid en mätning i en skog, var en sekund, medan efterklangstiden under 500 Hz var nära noll sekunder (Christensson, 2013).

Då konsonant-ljuden ligger omkring 2000 Hz förstärks dessa genom att hjärnan får längre tid att uppfatta dem, samtidigt maskeras dem inte av vokalljuden omkring 500 Hz, om man befinner sig i en skog. Detta bidrar till en bra taluppfattning, speciellt för barn med CI, som bland annat har svårare att urskilja tal i en bullrig miljö som ett klassrum (Tabell 5, intervju person 8 & intervju person 9).

Uppmätta efterklangstiden i en genomsnittlig skog och ett genomsnittligt klassrum hittas i Figur 19 (Christensson, 2013).



Figur 19. Efterklangstid i en genomsnittlig skog och i ett genomsnittligt klassrum. [19]

Dessa värden är uppmätta från en rad olika skogar och skolor runt om i Sverige och graferna visar ett genomsnittligt värde mellan dessa mätningar. Ett tydligt mönster kan här visas, klassrummens efterklangstidskurva är omvänt den kurva för skogar. I skogen uppfattades tal väl medan taluppfattningen i klassrummen var bristfällig (Christensson, 2013).

För övriga parametrar som definierar god taluppfattning, så som talöverföringsindexet ( $STI$  [-]) och taluppfattbarheten ( $C_{50}$  [dB]), kunde inga mätningar i en skog hittas för denna studie. Anledningen till avsaknaden av  $STI$  var en väldigt hög bakgrunds nivå från fågelkvitter, vilket gav ogiltiga resultat.  $C_{50}$  blir onaturligt högt då skogen saknar väggar, och de sena reflexerna blir då så pass nära noll, att resultatet blir omöjligt att jämföra med mätningar tagna inomhus (Tabell 5, intervju person 9).

### 3.2.4 Skogens egenskaper in till klassrummet

Då skogen visar dessa goda egenskaper kommer denna studies fokus ligga på att efterlikna skogens utformning och materialparametrar inne i ett klassrum för att förbättra taluppfattningen för barn med CI.

## 3.3 Sammanställning av riktvärden

I kapitel 2.5.1 beskrevs och sammanfattades de fem rumsakustiska parametrar som i simuleringen skall jämföras. I Tabell 6 visas även de riktvärden som är satta i denna studie för de klassrum som skall ge bäst förutsättningar för god taluppfattning hos barn med CI.

Tabell 6. Parametrar för taluppfattning, krav från Svensk Standard (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012), (Svensk Standard - SS 25268:2007+T1:2017, 2018) och resultat från finsk studie (Rantala & Eeva, 2015) samt riktvärden för denna studie.

Parameter	Krav från Svensk Standars	Finsk studie (Rantala & Eeva, 2015). Genomsnittsvärde / SA	Riktvärde
<b>Efterklangstid</b> <b>(<math>T_{60}</math> [s])</b>	125-, 250-, 500 Hz så kort som möjligt. 1-, 2, 4 kHz <0,50 s	0,55 s / 0,11 s	125-, 250-, 500 Hz så kort som möjligt samtidigt som 1-, 2-, 4 kHz är så långt som möjligt
<b>Taluppfattbarhet</b> <b>(<math>C_{50}</math> [dB])</b>	-	4,50 dB / 1,60 dB	Så högt som möjligt
<b>Definition</b> <b>(<math>D_{50}</math> [%])</b>	-	73,00% / 6,70%	Så högt som möjligt
<b>Ljudstyrka</b> <b>(<math>G</math> [dB])</b>	-	15,00 dB / 2,80 dB	Så lågt som möjligt
<b>Talöverföringsindex</b> <b>(<math>STI</math> [-])</b>	<0,75	0,74 / 0,04	Så högt som möjligt

## 4 Simulering

### 4.1 Introduktion

Som nämnts i kapitel 2.7 finns en rad praktiska hjälpmedel för att förbättra taluppfattningen för barn med CI, så som en radiosändare från talaren direkt till barnets implantat. Genom bland annat en rad intervjuer har det framgått att utöver dessa hjälpmedel krävs en god rumsakustik för att maximera taluppfattningen för dessa barn. Dessvärre har det visat sig att många klassrum i svenska skolor inte är anpassade för taluppfattning, då bland annat dess väggar, tak och golv bidrar till en ogästvänlig miljö, speciellt för barn med CI (Tabell 5, intervjuperson 6, 8 & 9). En ökande bakgrundsnivå från barn som överröstar varandra och ett eko som maskerar talets viktigaste information, konsonanterna, är båda exempel hur rummets utformning påverkar akustiken.

Barnen som sitter i klassrummet, speciellt barn med CI, måste därför använda en stor del av energin i hjärnan, som annars skulle användas till att minnas, för att endast uppfatta vad som sägs. Detta gör även barnen trötta och försvårar inlärningsprocessen (Tabell 5, intervjuperson 3).

I kapitel 2.5.1 beskrevs de ingående parametrarna som kan mätas för att beskriva taluppfattningen i ett rum. Kapitel 2.6 beskrev sedan hur ett rums utformning och materialval påverkade dessa parametrar. Slutligen beskrevs ett optimalt klassrum för taluppfattning i kapitel 3.2.3, ett klassrum som efterliknar skogens akustiska egenskaper.

I detta kapitel beskrivs sju klassrum som har simulerats i denna studie. Det första klassrummet, *referensklassrummet*, efterliknar ett typiskt utformat svenskt klassrum. I de övriga klassrummen, *klassrum 1–6*, har olika åtgärder tagits för att få så god taluppfattning som möjligt, genom att efterlikna skogens akustiska egenskaper.

### 4.2 Metod

Denna studies frågeställning lyder: "Hur får man förbättrad taluppfattning i ett klassrum med avseende på ett barn med CI?". Genom att samla in information från liknande studier, litteratur och genom att hålla intervjuer har följande metod valts för att ge frågeställningen ett svar.

Sju stycken simulationer har gjorts där fem parametrar beräknats och jämförts mellan simulationerna. Parametrarna är: efterklangstiden ( $T_{60}$ ), taluppfattbarheten ( $C_{50}$ ), definition ( $D_{50}$ ), ljudstyrkan ( $G$ ) och talöverföringsindexet ( $STI$ ). Därefter kan effekten av varje åtgärd hittas och det optimala klassrummet kan tas fram och frågeställningen besvaras. För att simulera och beräkna dessa parametrar användes programmet CATT-Acoustic.

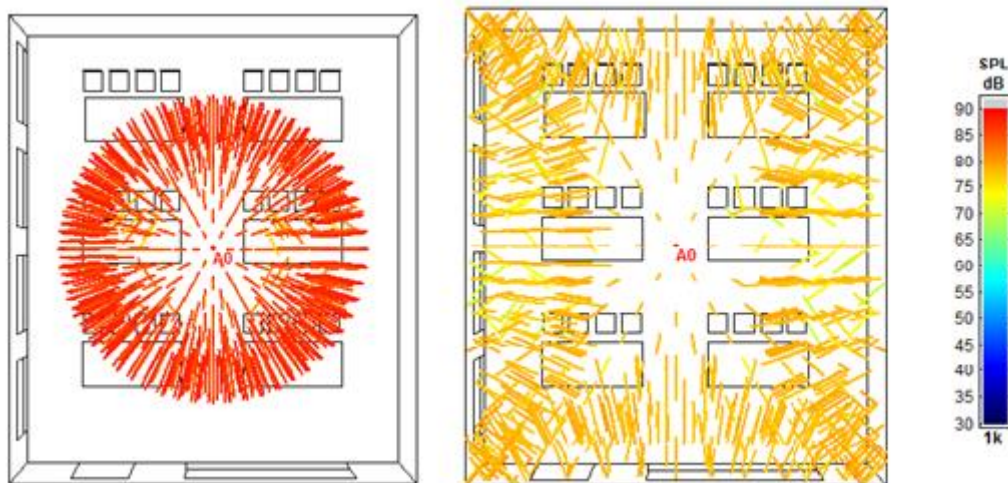
### 4.3 CATT-Acoustic

CATT står för "Computer Aided Theatre Technique" och togs fram år 1988 av Bengt-Inge Dalenbäck i Göteborg, Sverige, för att beräkna akustiska parametrar i bland annat teatrar och andra stora lokaler. I programmet kan ett rum simuleras genom att 2-dimensionella ytor sätts samman och till varje yta ansätts två materialparametrar: *absorptionsfaktor* ( $\alpha$  [-]) och *spridningsfaktor* ( $s$  [-]) (CATT-A, 2016).

I programmet används två beräkningsmodeller, den första tar snabbt fram efterklangstiden enligt bland annat Sabines formel. Dessa resultat används dock inte i denna studie, då modellen antar att rummet är ett idealt diffust ljudfält (där ljudtrycksenergin sprider ut sig jämt över hela rummet), vilket inte är fallet. Den andra modellen förkortas TUCT och står för "The Universal Cone Tracer", och används för att beräkna de fem rumsakustiska parametrarna (CATT-A, 2016).

#### 4.3.1 TUCT – Beräkningsmodell till CATT-Acoustic

TUCT beräknar rumsakustiska parametrar genom att skicka ut ett antal strålar (även kallade "Cones") från ljudkällan, över en satt tid, se Figur 20. Om en stråle möter en yta reflekteras, absorberas eller diffuseras den, beroende på satta parametrar på omnämnd yta. Varje stråle har en bestämd ljudtrycksnivå (SPL [dB]), när den sänds ut från ljudkällan, som avtar med avstånd och interaktion med rummets ytor. Varje ljudkälla har även en känd ljudeffektnivå ( $L_W$ ). Då strålen träffar en av mottagarna analyserar programmet dess SPL, tid från ljudkällan samt banan den tagit för att träffa mottagaren, för att slutligen kunna beräkna de rumsakustiska parametrarna som önskas (CATT-A, 2016).



Figur 20. Strålarnas placering efter 6 ms (till vänster) och 14 ms (mitten) från en rundstrålande ljudkälla centralt placerat i rummet. Färgskalan till höger visar ljudtrycksnivån för strålen. [20]

I Figur 20 **Fel! Hittar inte referenskälla.** visas strålarnas placering efter 6 ms (vänster) och efter 14 ms (mitten) från en rundstrålande ljudkälla centralt placerat i ett simulerat klassrum från CATT-Acoustic. Ljudkällan sänder i figuren ut SPL= 90 dB över oktavbandet 1000 Hz. I mitten av Figur 20 kan reflekterande strålar redan ses och ljudtrycksnivån har sänkts, vilket visas av färgen på strålarna, se skalan till höger i Figur 20.

#### 4.3.2 SketchUp – Modelleringsverktyg till CATT-Acoustic

SketchUp är ett 3D-modelleringsprogram. I denna studie har modellen från SketchUp ritats och sedan skickats till CATT-Acoustic för att simuleras och beräkna de rumsakustiska parametrarna. I SketchUp ansätts material på varje yta i rummet som sedan i CATT-Acoustic tilldelas absorptionsfaktorer och spridningsfaktorer (WSP, 2017).

#### 4.4 Placering av ljudkällor och mottagare vid beräkning i CATT-Acoustic

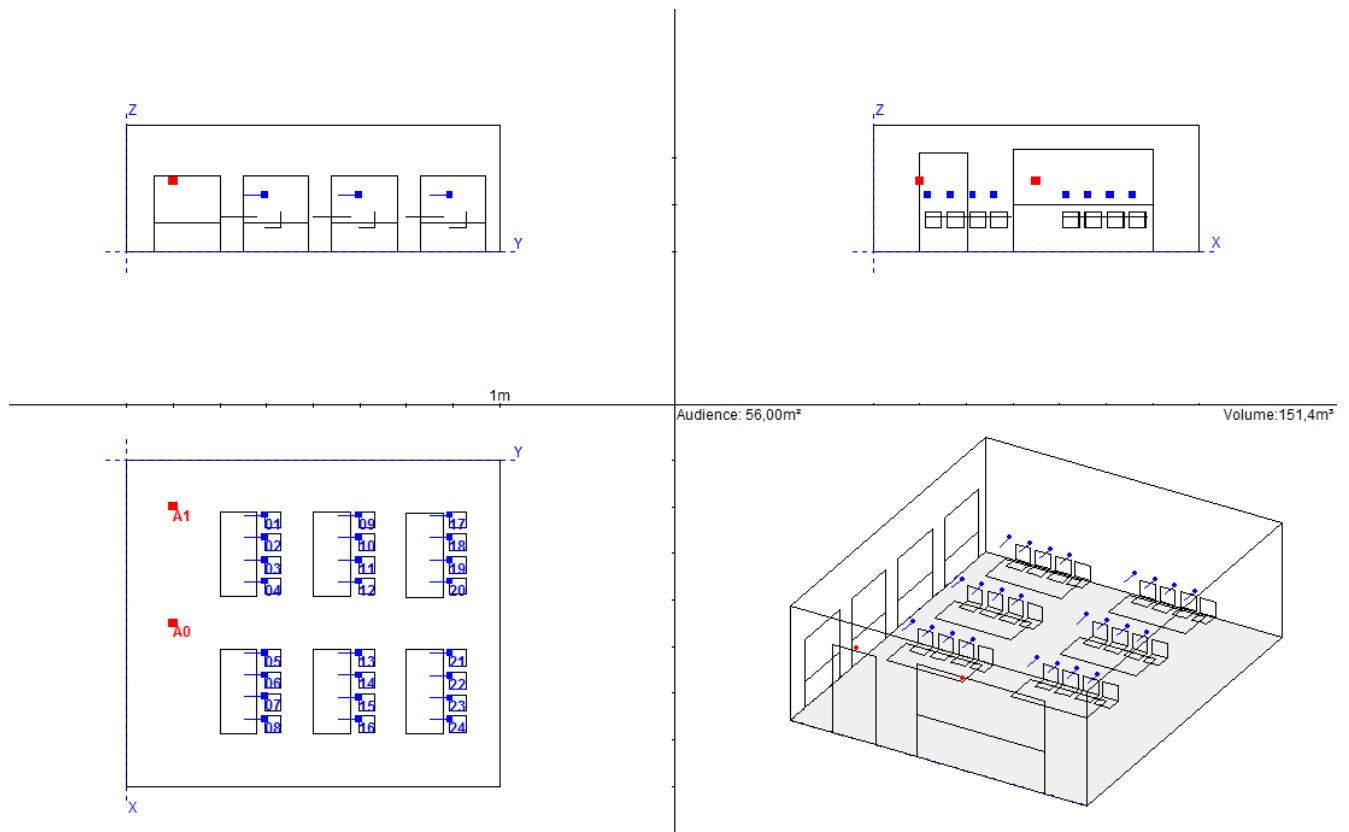
För att göra beräkningar måste mottagare ta emot ljud från en eller flera ljudkällor i rummet. Denna studie följer rekommendationerna från ISO-3382-1 "Mätningar av rumsakustiska parametrar – Samlingslokaler" (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009, 2009) och svensk standard 60268-16 "Objektiv bedömning av taluppfattning med hjälp av talöverföringsindex" (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012).

##### 4.4.1 Ljudkällor

För att beräkna  $T_{20}$ ,  $C_{50}$ ,  $D_{50}$  och  $G$  i simuleringsprogrammet placerad två ljudkällor ut i rummet, en centralt (A0) och en i hörnen (A1) längst fram i klassrummet, se Figur 21 (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-2:2008, 2008). Ljudkällorna sände ut ett rundstrålande ljud av vitt brus med SPL=94 dB (vitt brus har samma ljudtrycksnivå över alla frekvenser), som sedan stängs av.

Höjden på ljudkällorna var satt till 1,5 m för att undvika modifiering för lågfrekventa ljud. Avståndet mellan källorna var över 2 m från varandra och över 1 m från närmaste stora yta (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-2:2008, 2008).

En speciell högtalarinställning från simuleringsprogrammet användes för att efterlikna kvinnligt tal vid beräkning av STI. Ljudnivån sätts in som 60 dB en meter från högtalaren, som representerar normalt tal (CATT-A, 2016). Placeringen var den samma som A0 i Figur 21 (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012).



Figur 21. Placering av ljudkällor (i rött, A0 och A1) och mottagare (i blått, 01-24). [21]

#### 4.4.2 Mottagare

Mottagna är *omnidirektionella*, den mottar ljud från alla riktningar, och placerade på de 24 stycken platser barnens huvuden skulle befinna sig i klassrummet, se Figur 21. Höjden var satt till 1,2 m då detta en generell höjd på öronen hos en sittande lyssnare. Avståndet från mottagarna var över 2 m från varandra och över 1 m från närmaste stora reflekterande yta (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-2:2008, 2008).

För att minska mängden direktljud från ljudkällan skall mottagarna inte vara för nära någon ljudkälla. Ett minsta avstånd,  $d_{min}$ , kan beräknas, se Ekvation 21 (Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-2:2008, 2008).

$$d_{min} = 2 \cdot \sqrt{\frac{V}{c \cdot T}} \quad [\text{m}] \quad (21)$$

Där:

$V$  = Rummets volym [ $\text{m}^3$ ]

$c$  = Ljudets hastighet [ $\text{m/s}$ ]

$T$  = Uppskattad genomsnittlig efterklangstiden [ $\text{s}$ ]

Rummets volym är  $V = 151,2 \text{ m}^3$  (se kapitel 4.6), ljudets hastighet är  $c = 343 \text{ m/s}$  vid en temperatur på  $20^\circ\text{C}$  (enligt Ekvation 1), den uppskattade genomsnittliga efterklangstiden är ca  $T = 0,5 \text{ s}$ . Detta ger ett minsta avstånd:  $d_{\min} = 1,9 \text{ m}$ , vilket följs i denna studie.

Inga mottagare användes vid beräkning av STI, istället visas resultatet som en färgkarta över hela klassrummet, över höjden 1,2 m (CATT-A, 2016).

#### 4.5 Genomsnittligt svenskt klassrum

Nedan följer en beskrivning av ett genomsnittligt svenskt klassrum. Denna beskrivning används sedan till grund för de sju klassrum som har simulerats i denna studie, se kapitel 4.6.

##### ○ *Antal elever och klassrummets storlek*

Det genomsnittliga klassrummet i svenska grundskolor har utrymme att hålla 19st elever. Av de klassrummen med högst elevantal var det i genomsnitt 22st elever per klassrum. I årskurs 7–9 har ett klassrum 21st elever i genomsnitt (Utbildningsstatistiksenheten, 2014). För ett klassrum med 30 elever rekommenderas en golvyta på minst  $65 \text{ m}^2$ . Rumshöjden bör inte vara lägre än 2,7 m (Malmö Stad, 2013).

##### ○ *Fönsterstorlek och placering*

För att få in tillräckligt med dagsljus i klassrummet bör fönsterglasarean vara minst 10% av golvytan. Det bör även finnas tillgänglighet att se ut, så bröstningshöjden på fönstren bör inte vara högre än 0,7 m. (Malmö Stad, 2013).

##### ○ *Dörr och möblering*

Dörren in till klassrummet har ett standardiserat mått för en innerdörr ( $1 \times 2,1 \text{ m}^2$ ). Whiteboardtavlan tillsammans med borden och stolarna i ett typiskt svenskt klassrum kan hittas hos stora återförsäljare till skolor i Sverige.

##### ○ *Material på väggar, tak och golv*

Genom intervjuvar från två akustiker som tillsammans gjort rumsakustiska mätningar i svenska skolor (och skogar) under majoriteten av sina karriärer, har det framgått att ett vanligt klassrum i Sverige har hårda, stora, plana och parallella ytor. Formen beskrivs som "*en skolåda*". Typiska material på väggar är betong och gips. Golvet är ofta av linoleum eller liknande, som är enkelt att rengöra. I taket finns innertakplattor, ofta tunna. Dessa material tros vara valda främst för dess priser och inte dess akustiska egenskaper (Tabell 5, intervjuperson 8 & 9).

#### 4.6 Grunden för samtliga simulationer

Nedan följer en beskrivning av vad som är gemensamt för både referensklassrummet och klassrum 1-6. Dessa val är tagna för att efterlikna ett genomsnittligt svenskt klassrum.

##### ○ *Antal elever och klassrummets storlek*

För att få symmetri i klassrummet används sex bord med fyra stolar kring varje, vilket ger totalt 24 stycken platser. Detta följer ett ungefärligt genomsnitt av antalet elever i ett svenskt klassrum (Utbildningsstatistiksenheten, 2014). Om 30 stycken elever rekommenderades ha en golvyta på minst  $65 \text{ m}^2$  bör 24 stycken elever därmed ha en golvyta på minst  $52 \text{ m}^2$  (Malmö Stad, 2013). Ett simulerat klassrum med längden 8 m och bredden 7 m har en golvyta på  $56 \text{ m}^2$  och ligger därmed inom ramen för denna rekommendation. Höjden sätts även som rekommenderat till 2,7 m (Malmö Stad, 2013).



- *Fönsterstorlek och placering*

Om fyra stycken fönster med höjden 1,0 m och bredden 1,4 m finns i klassrummet blir fönsterglasarean 5,6 m<sup>2</sup> (10% av golvytan). Varje fönster sätts på bröstningshöjden 0,7 m och fönstren följer därmed samtliga rekommendationer (Malmö Stad, 2013).

- *Dörr och möblering*

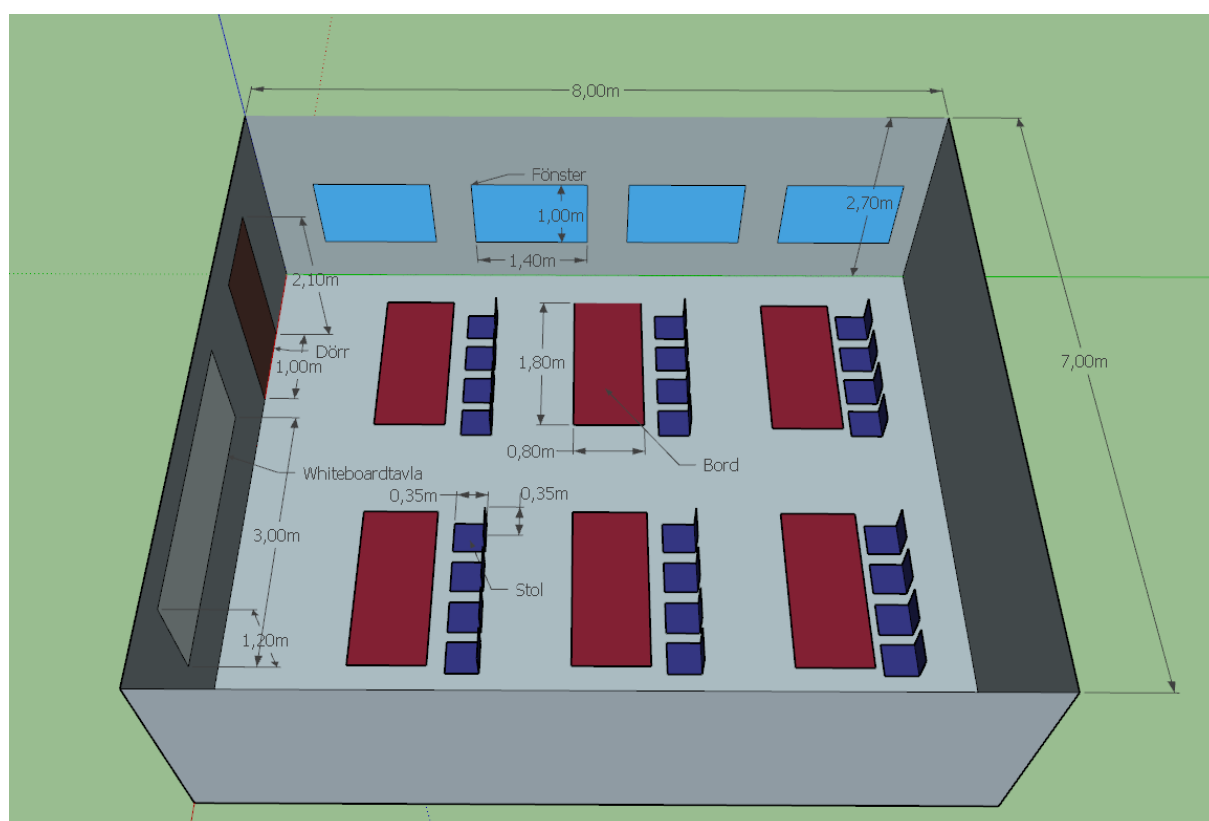
Whiteboardtavlan, stolarna och borden är tagna från ett stort svenskt företag som varit aktiva i över 40 år. Dörren in till klassrummet har ett standardiserat mått (1x2,1 m<sup>2</sup>).

- *Sammanställning*

En sammanställning av grunden för samtliga simulationer beskrivs i Tabell 7 och visas i Figur 22.

Tabell 7. Sammanställning av dimensioner för samtliga klassrum.

	Antal [st]	Höjd [m]	Bredd [m]	Längd [m]
<b>Klassrum</b>	1,0	2,7	7,0	8,0
<b>Fönster</b>	4,0	1,0	1,4	-
<b>Dörr</b>	1,0	2,1	0,9	-
<b>Whiteboardtavla</b>	1,0	1,2	3,0	-
<b>Bord</b>	6,0	0,8	0,8	1,8
<b>Stolar</b>	24,0	0,5	0,3	0,4



Figur 22. Modellen från SketchUp visar dimensioner för grunden till samtliga simulationer. [22]

#### 4.7 Materialparametrar för varje yta

Som tidigare nämnts skall varje yta i simulationen ha två materialparametrar: absorptionsfaktor och spridningsfaktor. Samtliga ytors materialparametrar i simulationen var tagna från WSP-materialdatabas (WSP, 2018). Detta valdes då det stora antalet materialparametrar som

databasen samlat in skapar en trovärdighet till studien, parametrar till över 1500st material. I denna databas har samtliga material tagits från respektive leverantörs labbresultat, som är utförda enligt Svensk Standards, för att beräkna absorptionsfaktorn (Svensk Standard - SS-EN ISO 354, 2003) och spridningsfaktorn (Svensk Standard SS-EN ISO 17487-1, 2012). Parametrarna är även anpassade för att sättas in direkt till CATT-Acoustic.

#### 4.7.1 Uppskattningsverktyg för spridningsfaktorn

CATT-Acoustic har ett inbyggt uppskattningsverktyg för spridningsfaktorn kallad "estimate(x)". Denna uppskattar spridningsfaktorn beroende på hur stora ojämnheter ytan av materialet har i meter (x [m]) (CATT-A, 2016). Programmet använder standardiserade beräkningar för att ta fram spridningsfaktorn (Svensk Standard SS-EN ISO 17487-1, 2012).

På samtliga väggar och tak i denna studie har ojämnheten satts till  $x=0,10$  m, detta för att ge realistiska värden i resultatdelen då väggarna i ett klassrum troligtvis är beklädda av hyllor och tavlor med mera och i taket finns lampor, luftkonditioneringsrör och eventuellt en projektor (CATT-A, 2016). Om inte denna ojämnhetsansats hade varje yta antagits vara helt slät.

#### 4.7.2 Materialparametrar för grunden till simuleringarna

I Tabell 8 beskrivs materialparametrarna till grunden för referensklassrummet och klassrum 1–6. Materialparametrarna är tagna från typiska material från WSP-databas och anses vara en god representation för ett verklighetstroget resultat (WSP, 2018).

Tabell 8. Materialparametrar till grunden för referensklassrummet och klassrum 1–6, typiska värden tagna för varje material från WSP-databas (WSP, 2018). Med absorptionsfaktor ( $\alpha$  [-]) och spridningsfaktor ( $s$  [-]).

Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
<b>Fönster</b>						
$\alpha$ [-]	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
$s$ [-]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Dörr</b>						
$\alpha$ [-]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
$s$ [-]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Whiteboardtavla</b>						
$\alpha$ [-]	0,23	0,11	0,9	0,01	0,01	0,03
$s$ [-]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Bord</b>						
$\alpha$ [-]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
$s$ [-]	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70
<b>Stolar</b>						
$\alpha$ [-]	0,17	0,23	0,23	0,22	0,19	0,18
$s$ [-]	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70

Här antogs absorptionsfaktorn för ett bord vara desamma som för en dörr och spridningsfaktorn hos ett bord vara densamma som för en stol. Dessa antagande fick tas då materialparametrar för bord saknades från WSP:s materialdatabas (WSP, 2018).

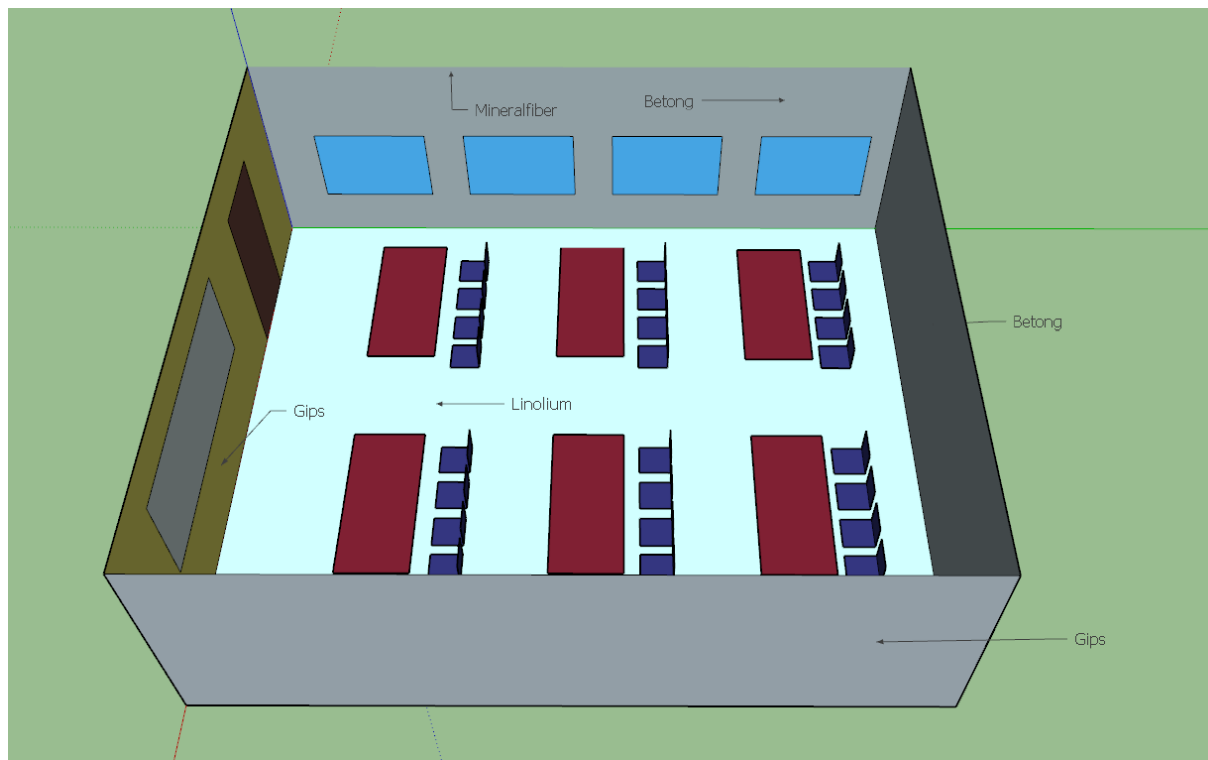
Då både bordet och dörren är gjorda i liknande material, och ett bord och en stol har en liknande utformning, med fyra ben och plana ytor, anses dessa antaganden inte påverka resultaten i denna studie på ett missvisande sätt.

## 4.8 Simulerade klassrum

Nedan följer en beskrivning av referensklassrummet och klassrum 1–6.

### 4.8.1 Referensklassrum

Detta klassrum hade två gipsväggar och två bärande väggar av betong. Golvet var av linoleum och takplattor av 20 mm växtfiber och plast. De två bärande väggarna valdes som kortsidan parallell mot whiteboardtavlan samt långsidan med fönster, se Figur 23.



Figur 23. Modell från SketchUp av referensklassrummet med ingående ytor och placeringar. [23]

I Tabell 9 visas materialparametrarna för ytorna i referensklassrummet. Materialparametrarna är tagna från typiska material från WSP-databas (WSP, 2018).

Tabell 9. Materialparametrar till referensklassrummet, typiska värden tagna för varje material från WSP-databas (WSP, 2018). Med absorptionsfaktor ( $\alpha$  [-]) och spridningsfaktor ( $s$  [-]).

Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
<b>Gipsvägg</b>						
$\alpha$ [-]	0,15	0,10	0,06	0,04	0,04	0,05
$s$ [-]	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)
<b>Betongvägg</b>						
$\alpha$ [-]	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
$s$ [-]	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)
<b>Golv</b>						
$\alpha$ [-]	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
$s$ [-]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
<b>Innertak</b>						
$\alpha$ [-]	0,20	0,30	0,50	0,60	0,90	0,90
$s$ [-]	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)

#### 4.8.2 Klassrum 1–6

Olika parametrar ändrades i dessa sex klassrum jämfört med referensklassrummet. Detta för att kunna mäta en förbättring av de rumsakustiska parametrarna beskrivna i kapitel 2.5.1 och på så sätt ge barn med CI en förbättrad taluppfattning i klassrummet. Mer specifikt varierade lutningen på väggarna samt placeringen av materialet på väggarna, som var av spaltpaneler och diffusorer. Dessa klassrum är tänkta att kunna byggas i ett redan befintligt klassrum i behov av förbättring, eller vid nybygge.

Nedan följer en beskrivning av de skillnader som simulerats jämfört med referensklassrummet, från väggarna, innertaket och golvet.

##### 4.8.2.1 Vägg

Nedan följer en beskrivning valet av väggar i klassrum 1–6. Samtliga väggar är täckta av spaltpaneler och diffusorer, med olika lutning och placering.

- *Spaltpanel*

Spaltpanelen valdes efter dess förmåga att absorbera de låga oktavbanden 125-, 250- och 500Hz och reflektera de högre oktavbanden, se Tabell 10. Den valda spaltpanelen har en resonansfrekvens på 250 Hz. Då ett isolerande skikt placeras bakom panelen ökar spannet hos denna absorberande effekt till 125- och 500 Hz, se Tabell 10. Detta förväntades bidra till att bland annat  $T_{20}$  vid oktavbanden 125-, 250- och 500Hz minskade relativt de högre oktavbanden och skulle detta ge en bättre taluppfattbarhet. Materialparametrar hittas i Tabell 10.

Tabell 10. Materialparametrar för spaltpanelen i klassrum 1–6, typiska värden tagna för varje material från WSP-databas (WSP, 2018). Med absorptionsfaktor ( $\alpha$  [-]) och spridningsfaktor ( $s$  [-]).

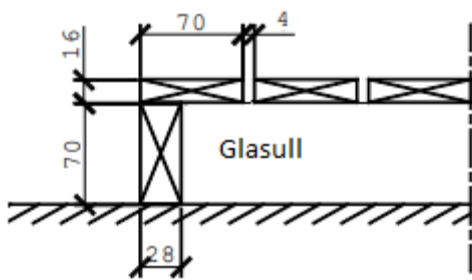
Spaltpanel						
Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$\alpha$ [-]	0,62	0,96	0,48	0,19	0,10	0,11
$s$ [-]	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)

För att få dessa materialparametrar valdes en spaltpanel vars dimensioner visas i Tabell 11.

Tabell 11. Dimensioner hos spaltpanel

Spaltpanel	
Höjd och bredd på brädor [mm]	16x70
Spaltbredd [mm]	4
Glasull bakom panelen [mm]	70
Densitet, glasull [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	14,5
Avstånd från vägg [mm]	70

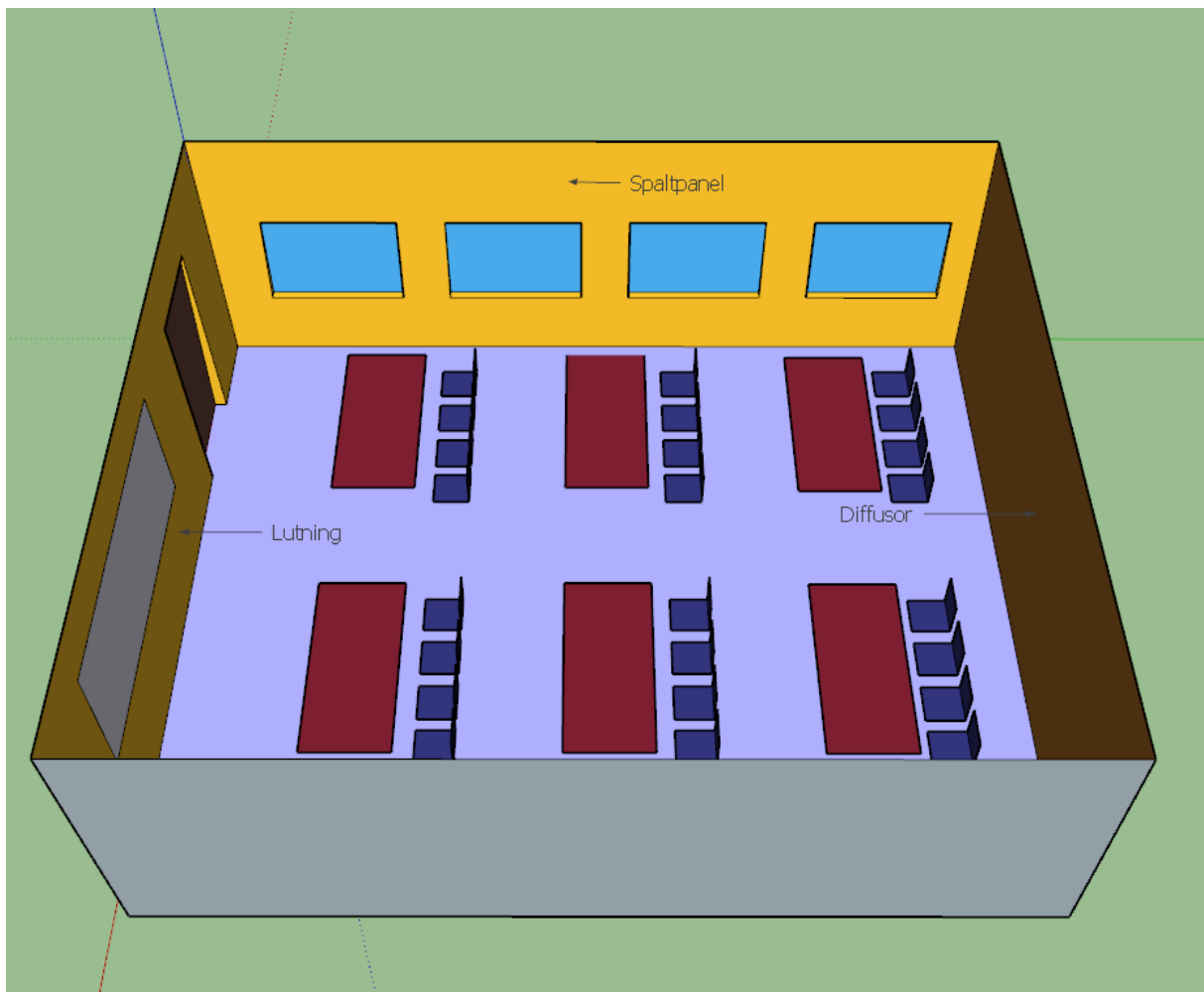
En grafisk beskrivning av detta hittas i Figur 24.



Figur 24. Dimensioner hos spaltpanel. [24]

○ Lutning

Spaltpaneler och whiteboardtavlan i klassrum 1–6 hade varierande lutning ( $\theta$  [°]) mellan  $\theta = 0^\circ$ ,  $2,5^\circ$ ,  $5^\circ$ , se Figur 25 och Figur 27. Anledningen till lutningen var att rikta alla reflektioner upp mot ett tak som absorberar samtliga oktavband i spannet 125–4000 Hz, vilket förväntades minska mängden sena reflexer samt att stående vågor och fladdereko skulle minska.



Figur 25. Modell från SketchUp på klassrum 2. Här visas lutningen av spaltpanel och whiteboardtavla samt placering hos diffusorer för klassrum 1-3. [25]

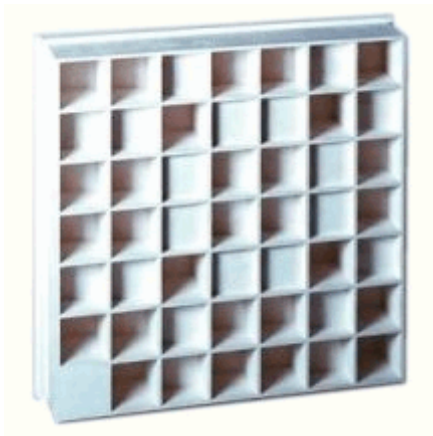
- Diffusorer

För att ytterligare efterlikna skogens goda effekt på taluppfattning användes diffusorer på väggarna. Ur materialdatabasen (CATT, 2018) valdes en diffusor med högst spridningsfaktor över oktavbanden 1000–4000 Hz, se Tabell 12.

Tabell 12. Materialparametrar för diffusorenar i klassrum 1–6, typiska värden tagna för varje material från WSP-databas (WSP, 2018). Med absorptionsfaktor ( $\alpha$  [-]) och spridningsfaktor ( $s$  [-]).

Diffusorer						
Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$\alpha$ [-]	0,14	0,12	0,14	0,20	0,09	0,12
$s$ [-]	0,10	0,15	0,42	0,89	0,92	0,92

Denna diffusor var av typen "Omniffusor FRG" som visas i Figur 26. Denna typ av diffusor sprider ljud från alla håll (Omni = Omnidirektionell) och är gjord av "Fiber Reinforced Gypsum" (FRG) vilket översätts till fiberförstärkt gips (RPG Europe, u.å).



Figur 26. Omniffusor FRG sätts upp på väggarna för att sprida dom högsta frekvenserna i klassrummet. [26]

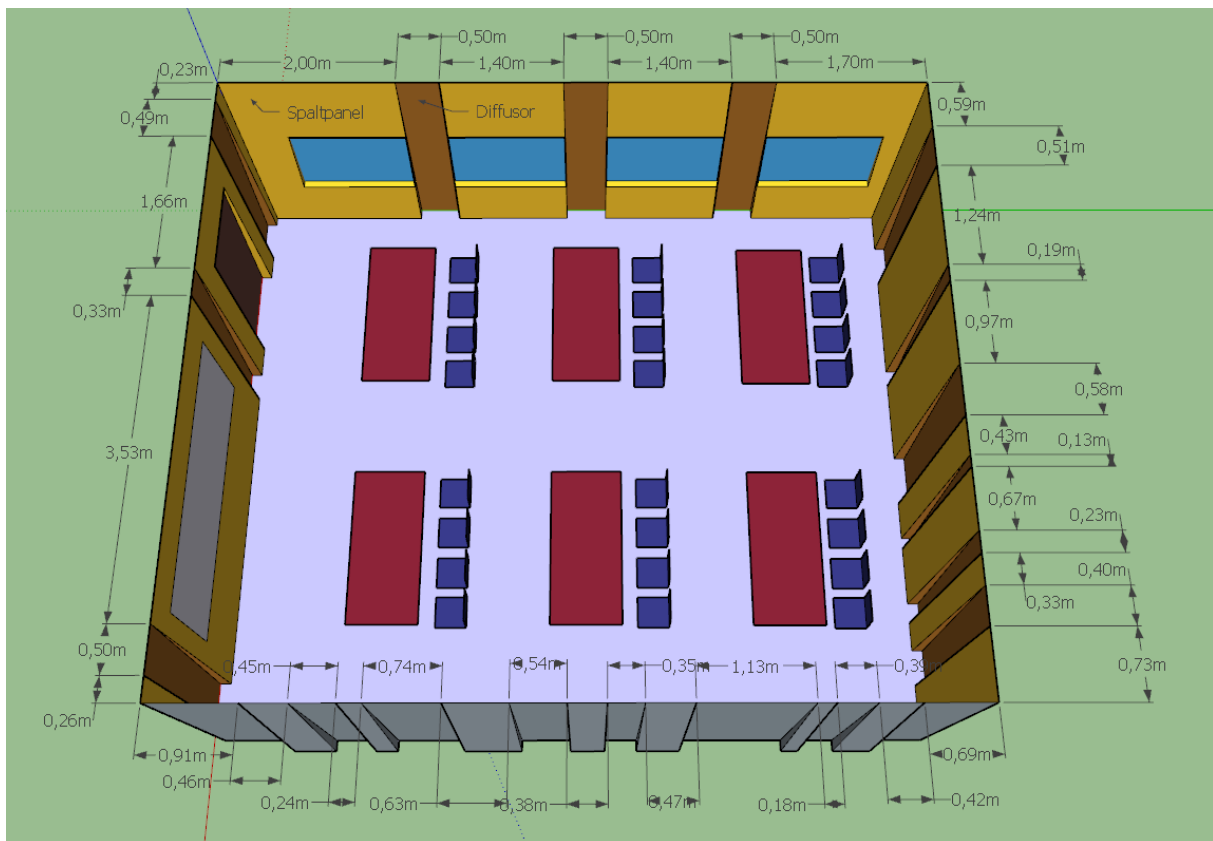
Spridningen hos de högre oktavbanden bidrar till att ljudvågorna lättare kan tas upp av hjärnan då tidsintervallen blir längre och antalet träffar blir fler. De flesta konsonantljud (som ligger mellan 1000–4000 Hz) är korta i tid och behöver denna effekt för att höras så bra som möjligt (Tabell 5, intervju person 8).

- Placering av diffusorer

Placeringen av dessa diffusorer kom att variera mellan klassrum 1–3 och klassrum 4–6. I klassrum 1–3 placeras diffusorerna på den bakre väggen, parallell väggen mot whiteboardtavlan, se Figur 25. Med denna placering kan direktljudet ostört ta sig från läraren till barnen innan den diffuserades bakom deras ryggar, vilket förväntas förbättra taluppfattningen för barn med CI (Tabell 5, intervju person 8 & 9).

I klassrum 4–6 placerades diffusorerna runt om i klassrummet, med olika avstånd från varandra och med olika bredd, se Figur 27. Detta valdes för att på ett så likt sätt som möjligt efterlikna en skog, med trädstammar av olika tjocklek och avstånd från varandra.

Anledningarna till att böjda diffusorer ej valdes (vilket ytterligare skulle likna en trädstam) var att materialparametrarna inte fanns på WSP-databas, men främst för att simuleringsprogrammet är känsligt och behöver så plana och enkla ytor som möjligt för att resultatet skall efterlikna verkligheten och vara trovärdigt (CATT-A, 2016).



Figur 27. Modell från SketchUp på klassrum 5. Här visas lutningen av spaltpanel och whiteboardtavla samt placering hos diffusorer för klassrum 4-5. [27]

○ *Innertak*

För att efterlikna en öppen himmel som inte reflekterar tillbaka något ljud valdes ett högabsorberande innertak av 150 mm träullit (blandning av träull, cement och vatten) med 120 mm överliggande stenull från WSP-databasen (WSP, 2018). Innertakets absorptionsfaktorer önskades vara så nära  $\alpha = 1,0$  vid samtliga oktavband, som möjligt, se Tabell 13.

Tabell 13. Materialparametrar för innertaket i klassrum 1–6, typiska värden tagna för varje material från WSP-databas (WSP, 2018). Med absorptionsfaktor ( $\alpha$  [-]) och spridningsfaktor ( $s$  [-]).

Innertak						
Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$\alpha$ [-]	0,90	0,95	0,85	0,95	0,90	0,90
$s$ [-]	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)	Est(0,1)

○ *Golv*

Golvet är helt beklätt med en mjuk och 10 mm tjock matta. Denna kommer absorbera en del ljudvågor men framförallt förväntas den bidra med att sänka stegljud och ljud från stolar och bord som dras (detta mäts dock inte i denna studie). Om dessa ljud försvinner från ett klassrum kommer barn med CI taluppfattning öka då dessa ljud täcker och stör talets väg från lärare/läarinna till barnet (Tabell 5, intervjuperson 6). Golvets materialparametrar hittas i Tabell 14.

Tabell 14. Materialparametrar för golvet i klassrum 1–6, typiska värden tagna för varje material från WSP-databas (WSP, 2018). Med absorptionsfaktor ( $\alpha$  [-]) och spridningsfaktor ( $s$  [-]).

Golv						
Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
$\alpha$ [-]	0,09	0,08	0,21	0,26	0,27	0,37
$s$ [-]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

En anledning till att sådana mattor sällan finns i svenska skolor idag är lärarnas och föräldrars okunskap om allergi och damm. Alla mattor går att få rent och damm sprids enklare i luften då det finns plana och hårda golv (Tabell 5, intervjuperson 6).

- *Bord och stolar*

Ett aktivt val att inte förändra materialen på varken stolar och bord under simulering av klassrum 1–6 har gjorts, detta diskuteras i kapitel 6.

- *Sammanfattning*

Samtliga simulerade klassrummens materialval, samt variation mellan varandra, sammanfattas i Tabell 15.

Tabell 15. Varierande lutning av spaltpanel och whiteboardtavlan samt placering av diffusorer för samtliga simuleringar.

Simulering	Väggar	Innertak	Golv	Lutning av spaltpanel och whiteboardtavla ( $\theta$ [°])	Placering av diffusorer
<b>Referensklassrum</b>	Betong och gips	20 mm växtfiber och plast	Linoleum	0,0	-
<b>Klassrum 1</b>	Spaltpanel och diffusorer	150 mm träullit + 120 mm stenull	Mjuk och 10 mm tjock matta	0,0	Bakre väggen
<b>Klassrum 2</b>	Spaltpanel och diffusorer	150 mm träullit + 120 mm stenull	Mjuk och 10 mm tjock matta	2,5	Bakre väggen
<b>Klassrum 3</b>	Spaltpanel och diffusorer	150 mm träullit + 120 mm stenull	Mjuk och 10 mm tjock matta	5,0	Bakre väggen
<b>Klassrum 4</b>	Spaltpanel och diffusorer	150 mm träullit + 120 mm stenull	Mjuk och 10 mm tjock matta	0,0	Uppdelat på samtliga väggar
<b>Klassrum 5</b>	Spaltpanel och diffusorer	150 mm träullit + 120 mm stenull	Mjuk och 10 mm tjock matta	2,5	Uppdelat på samtliga väggar
<b>Klassrum 6</b>	Spaltpanel och diffusorer	150 mm träullit + 120 mm stenull	Mjuk och 10 mm tjock matta	5,0	Uppdelat på samtliga väggar



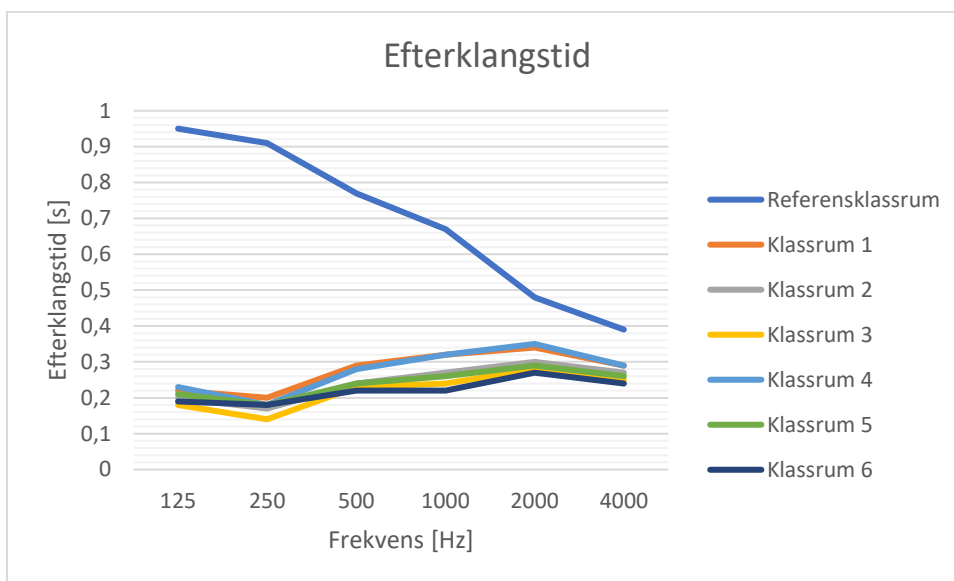
## 5 Resultat

I detta kapitel kommer resultaten från de sju simulationer som gjorts presenteras, från efterklangstiden ( $T_{20}$  [s]), taluppfattbarheten ( $C_{50}$  [dB]) och definition ( $D_{50}$  [%]) till ljudstyrkan ( $G$  [dB]) och slutligen talöverföringsindex ( $STI$  [-]).

I slutet av kapitlet visas även resultaten från den modanalys som även tagits fram från programmet Abaqus. Där visas exempel på de egenmoder med respektive egenfrekvens som tagits fram för klassrummet.

### 5.1 Efterklangstiden ( $T_{20}$ [s])

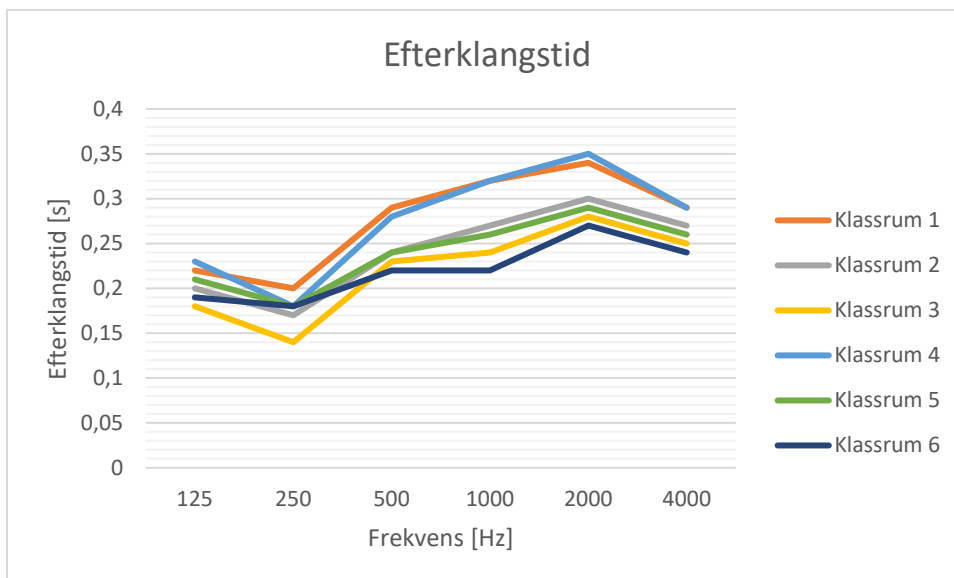
I Figur 28 visas resultatet för efterklangstiden från referensklassrummet och klassrum 1–6.



Figur 28. Resultat av efterklangstiden från referensklassrum och klassrum 1–6. [28]

Grafen för referensklassrummet kan här ses överstiga klassrum 1–6 efterklangstiden över samtliga oktavband. Detta intygar en förbättring för taluppfattningen, speciellt över de tre lägsta oktavbanden, där efterklangstiden i referensklassrummet nästintill femdubblats jämfört med klassrum 1–6.

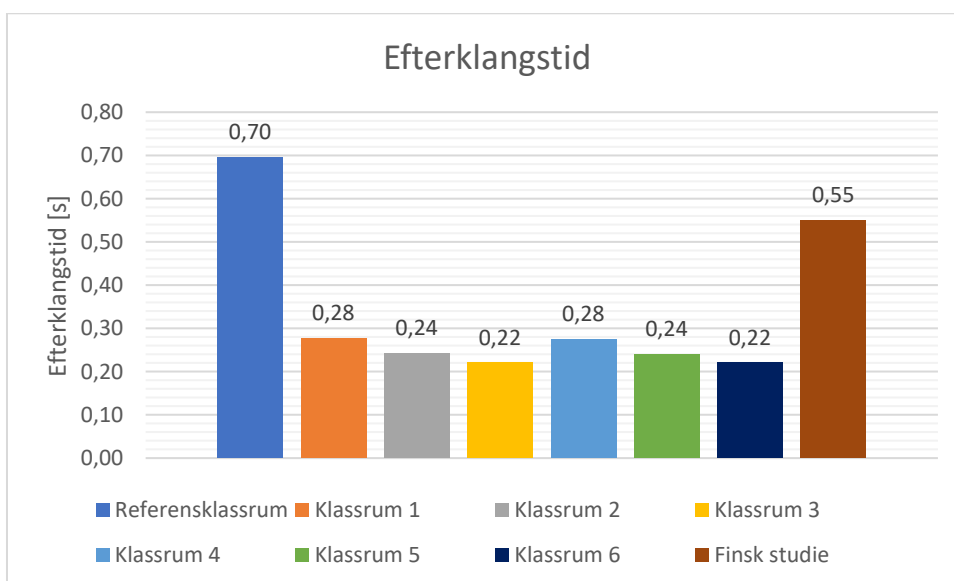
Figur 29 visas resultatet för endast klassrum 1–6 för att enklare kunna skilja mellan dem. Här har axeln för efterklangstiden skalats om.



Figur 29. Resultat av efterklangstiden från klassrum 1–6. [29]

Klassrum 1 och klassrum 4 visar här störst skillnad mellan de lägre och högre oktavbanden. Denna skillnad är dock inte så hög som önskats, vilket diskuteras vidare i kapitel 6. En tydlig dal kan även ses över oktavband 125 Hz, vilket tros härstamma från spaltpanelens resonansfrekvens vid detta oktavband.

Medelvärde över oktavband 125–4000 Hz mellan varje klassrum, samt hos den finska studien (Rantala & Eeva, 2015), visas i Figur 30. Medelvärde från simuleringarna är beräknat utifrån Ekvation 10.



Figur 30. Medelvärde av efterklangstiden från referensklassrummet, klassrum 1–6 och från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015). [30]

Här kan ett tydligt mönster ses, där efterklangstiden förkortas för varje ökning av lutning på spaltpanel och whiteboardtavla. Inget mönster kan däremot ses mellan klassrum med samma lutning men med olika placering på diffusorer (klassrum 1 och 4, 2 och 5 och klassrum 3 och 6), då efterklangstiden mellan dem är identisk.

Medelvärde från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) ligger ungefär i mitten mellan medelvärdet hos referensklassrummet och klassrum 1–6. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.

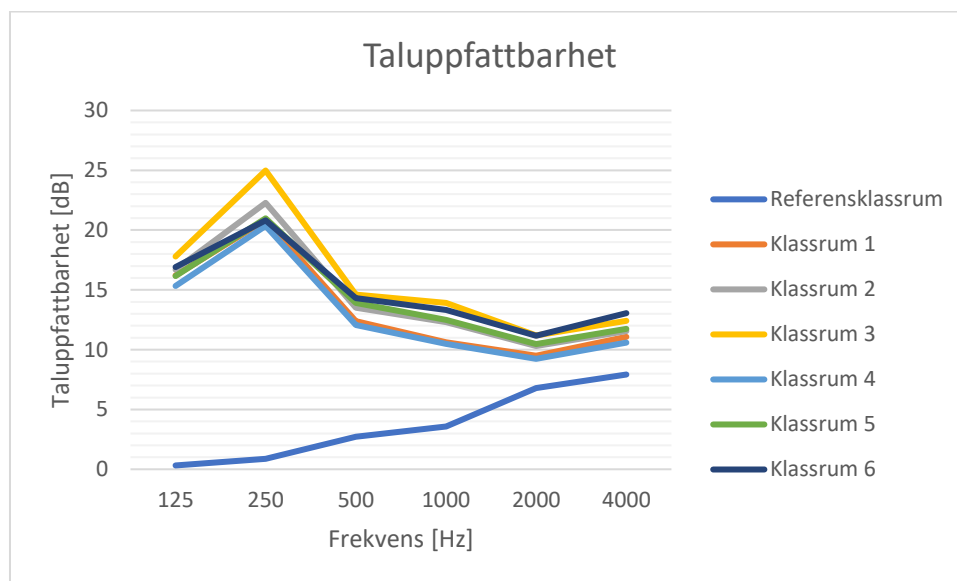
Medelvärdet hos efterklangstiden för varje klassrum hittas även i Tabell 16, tillsammans med resultatet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) samt differensen mellan varje värde och det kortast uppmätta värdet (som fanns från klassrum 6).

Tabell 16. Medelvärdet av efterklangstiden och differensen mellan den och den kortast beräknade efterklangstiden.

Resultat från	Medelvärde av efterklangstid ( $T_{20,m}$ [s])	Differens [s]
Referensklassrum	0,70	0,48
Klassrum 1	0,28	0,06
Klassrum 2	0,24	0,02
Klassrum 3	0,22	0,00
Klassrum 4	0,28	0,06
Klassrum 5	0,24	0,02
Klassrum 6	0,22	0,00
Finsk studie	0,55	0,33

## 5.2 Taluppfattbarhet ( $C_{50}$ [dB])

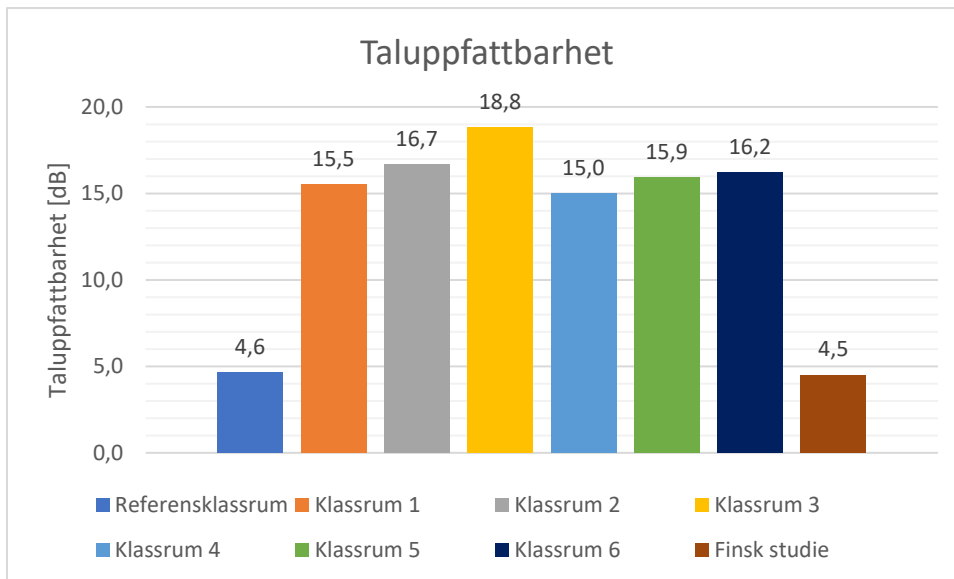
I Figur 31 visas resultatet för taluppfattbarheten från simuleringarna av referensklassrummet och klassrum 1–6.



Figur 31. Resultat av taluppfattbarheten från referensklassrum och klassrum 1–6. [31]

Grafen för referensklassrummet kan här ses understiga klassrum 1–6 taluppfattbarhet över samtliga oktavband. Detta intygar en förbättring för taluppfattningen mellan dem och det satta riktvärdet är uppnått. En tydlig pik kan även ses över oktavband 125 Hz, vilket tros härstamma från spaltpanelens resonansfrekvens vid detta oktavband.

Medelvärdet från varje klassrum över oktavbanden 125–4000 Hz samt hos den finska studie (Rantala & Eeva, 2015) visas i Figur 32. Medelvärdet är från simuleringarna beräknat utifrån Ekvation 11.



Figur 32. Medelvärde av taluppfattbarheten från referensklassrummet, klassrum 1–6 och från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015). [32]

Här kan ett tydligt mönster ses, där taluppfattbarheten ökar för varje ökning av lutning på spaltpanel och whiteboardtavla. Ett mönster kan även ses mellan klassrum med samma lutning men med olika placering på diffusorer (klassrum 1 och 4, 2 och 5 och klassrum 3 och 6), speciellt mellan klassrum 3 och klassrum 6. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.

Medelvärdet hos den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) och referensklassrummet för taluppfattbarheten är näst intill densamma. Detta visar att, med avseende på tidiga ljusreflexer inom 50 ms, att antagandet att den finska studien gav normala värden för klassrum med liknande dimension och att referensklassrummet var ett normalt klassrum var sant.

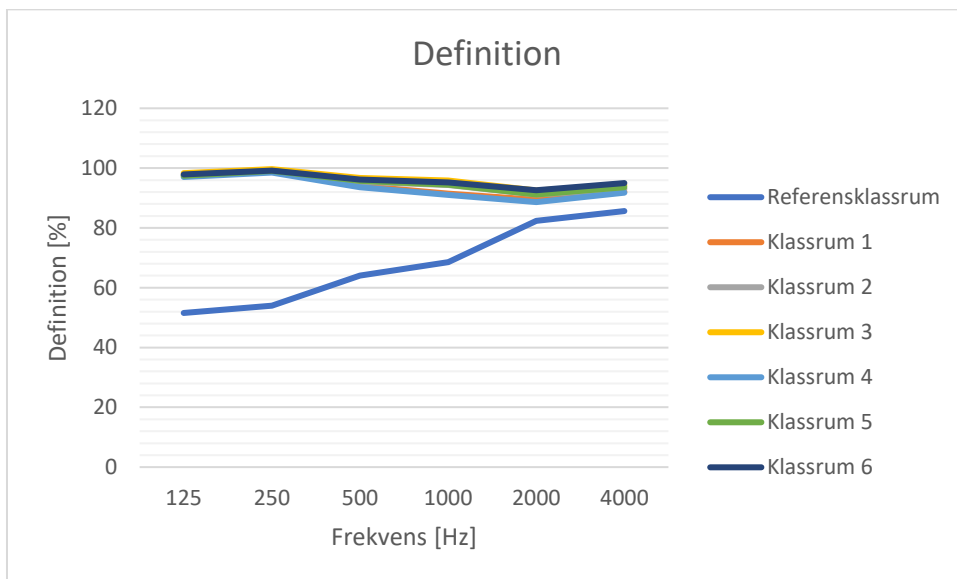
Medelvärdet hos taluppfattbarheten för varje klassrum hittas även i Tabell 17, tillsammans med resultatet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) samt differensen mellan varje värde och det högst uppmätta värdet (som fanns från klassrum 3).

Tabell 17. Medelvärdet av taluppfattbarheten och differensen mellan den och den högst beräknade taluppfattbarheten

Resultat från	Medelvärde av taluppfattbarhet ( $C_{50,m}$ [dB])	Differens [dB]
Referensklassrum	4,6	14,2
Klassrum 1	15,5	3,3
Klassrum 2	16,7	2,1
Klassrum 3	18,8	0,0
Klassrum 4	15,0	3,8
Klassrum 5	15,9	2,9
Klassrum 6	16,2	2,6
Finsk studie	4,5	14,3

### 5.3 Definition ( $D_{50}$ [%])

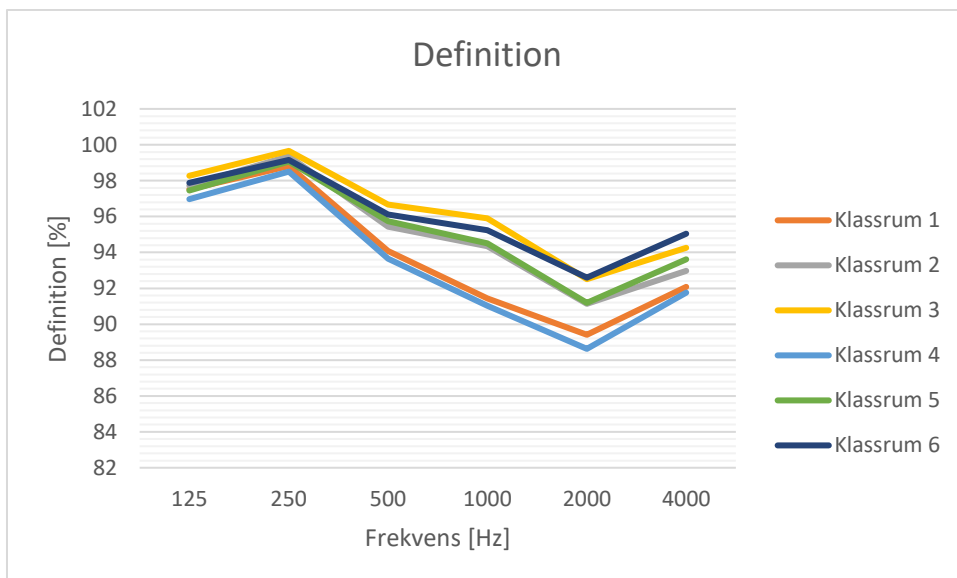
I Figur 33 visas resultaten för definitionen från simuleringarna av referensklassrummet och klassrum 1–6.



Figur 33. Resultat av definitionen från referensklassrum och klassrum 1–6. [33]

Grafen för referensklassrummet kan här ses understiga klassrum 1–6 definition över samtliga oktavband. Detta intygar en förbättring för taluppfattningen mellan dem och det satta riktvärdet är uppnått.

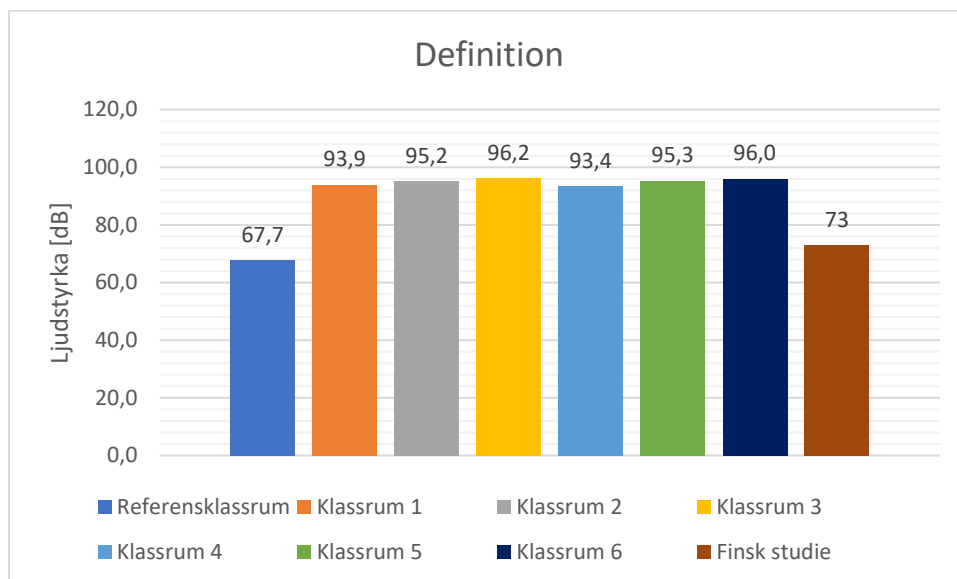
I Figur 34 visas resultatet för endast klassrum 1–6 för att enklare kunna skilja mellan dem. Här har axeln för definition skalats om.



Figur 34. Resultat av definitionen från klassrum 1–6. [34]

Graferna mellan klassrummen visar samma mönster som för taluppfattbarheten, vilket var väntat då ekvationerna bygger på samma ingångsvärden.

Medelvärdet från varje klassrum samt hos den finska studie (Rantala & Eeva, 2015) visas i Figur 35. Medelvärdet från simuleringarna är beräknat utifrån Ekvation 10.



Figur 35. Medelvärde av definitionen från referensklassrummet, klassrum 1–6 och från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015). [35]

Även här visas samma mönster som i Figur 32 för taluppfattbarheten.

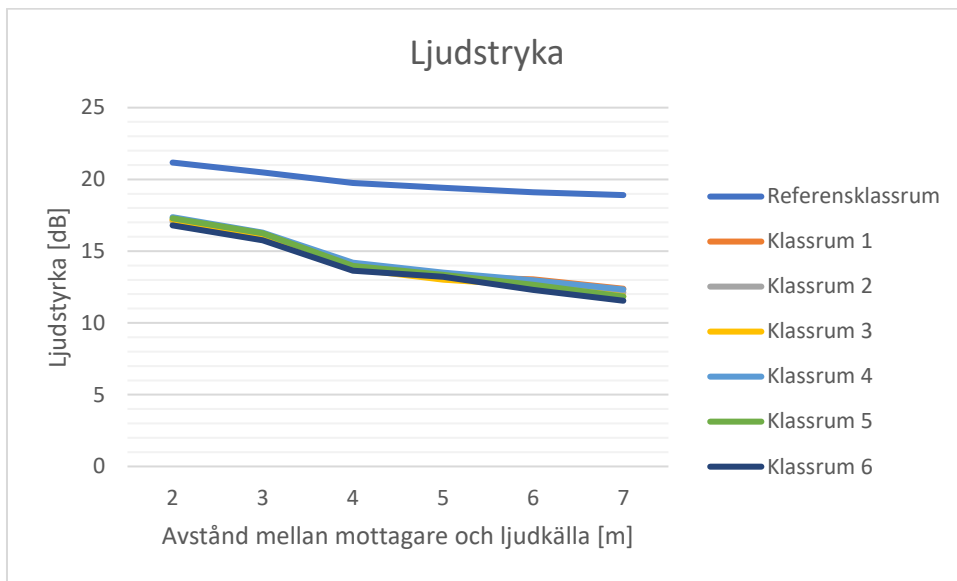
Medelvärdet hos definitionen för varje klassrum hittas även i Tabell 18, tillsammans med resultatet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) samt differensen mellan varje värde och det högst uppmätta värdet (som fanns från klassrum 3).

Tabell 18. Medelvärdet av definitionen och differensen mellan den och den högst beräknade definitionen.

Resultat från	Medelvärde av definition ( $D_{50,m}$ [%])	Differens [%]
<b>Referensklassrum</b>	67,7	28,5
<b>Klassrum 1</b>	93,9	2,3
<b>Klassrum 2</b>	95,2	1,0
<b>Klassrum 3</b>	96,2	0,0
<b>Klassrum 4</b>	93,4	2,8
<b>Klassrum 5</b>	95,3	0,9
<b>Klassrum 6</b>	96,0	0,2
<b>Finsk studie</b>	73	23,2

## 5.4 Ljudstyrkan ( $G$ [dB])

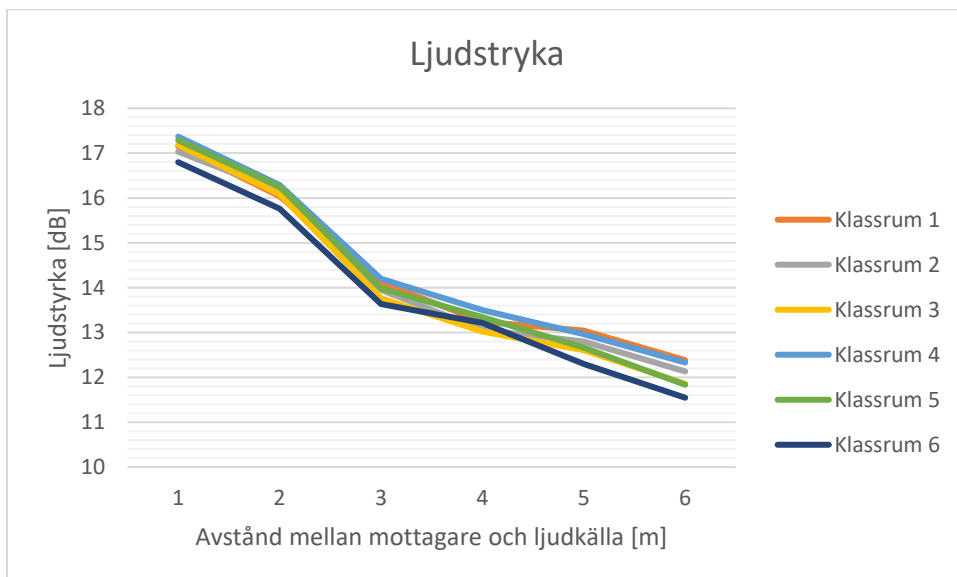
I Figur 36 visas resultaten för ljudstyrkan från simulationen av referensklassrummet och klassrum 1–6.



Figur 36. Resultat av ljudstyrkan från referensklassrum och klassrum 1–6. [36]

Grafen för referensklasrummet kan här ses överstiga klassrum 1–6 ljudstyrka över samtliga avstånd mellan mottagare och ljudkälla Detta intygar en förbättring för taluppfattningen mellan dem och det satta riktvärdet är uppnått.

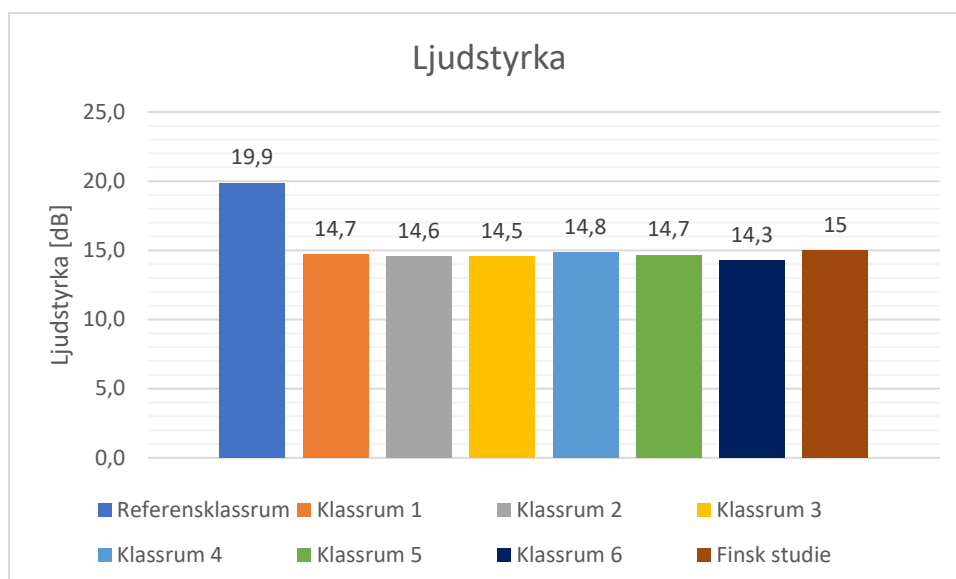
I Figur 37 visas resultatet för endast klassrum 1–6 för att enklare kunna skilja mellan dem. Här har axeln för ljudstyrkan skalats om.



Figur 37. Resultat av ljudstyrkan från klassrum 1–6. [37]

Ingen tydlig skillnad kan här avgöras mellan klassrum 1–6. Där emot visar grafen en tydlig sänkning av ljudstyrkan med avseende på avståndet mellan mottagare och ljudkälla, vilket var väntat.

Medelvärden från varje klassrum samt hos den finska studie (Rantala & Eeva, 2015) visas i Figur 38. Medelvärden från simuleringarna är beräknat utifrån Ekvation 11.



Figur 38. Medelvärde av ljudstyrkan från referensklassrummet, klassrum 1–6 och från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015). [38]

Skillnaden mellan klassrum 1–6 är näst intill obefintlig, då den lägsta hörbara skillnaden i decibel är 1 dB.

Skillnaden mellan medelvärdet hos den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) och referensklassrummet är relativt stort. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.

Medelvärdet hos ljudstyrkan för varje klassrum hittas även i Tabell 19, tillsammans med resultatet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) samt differensen mellan varje värde och det lägst uppmätta värdet (som fanns från klassrum 6).

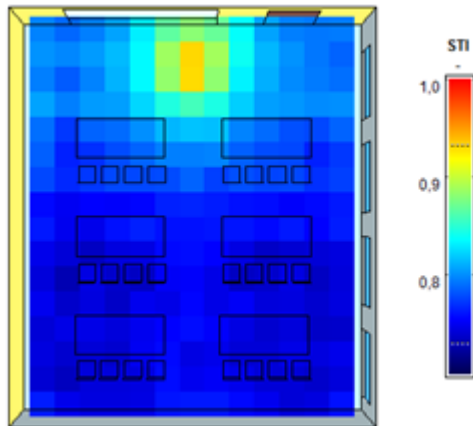
Tabell 19. Medelvärdet av ljudstyrkan och differensen mellan den och den lägst beräknade ljudstyrkan.

Resultat från	Medelvärde av ljudstyrka ( $G_m$ [dB])	Differens [dB]
Referensklassrum	19,9	5,6
Klassrum 1	14,7	0,4
Klassrum 2	14,6	0,3
Klassrum 3	14,5	0,2
Klassrum 4	14,8	0,6
Klassrum 5	14,7	0,4
Klassrum 6	14,3	0,0
Finsk studie	15	0,7



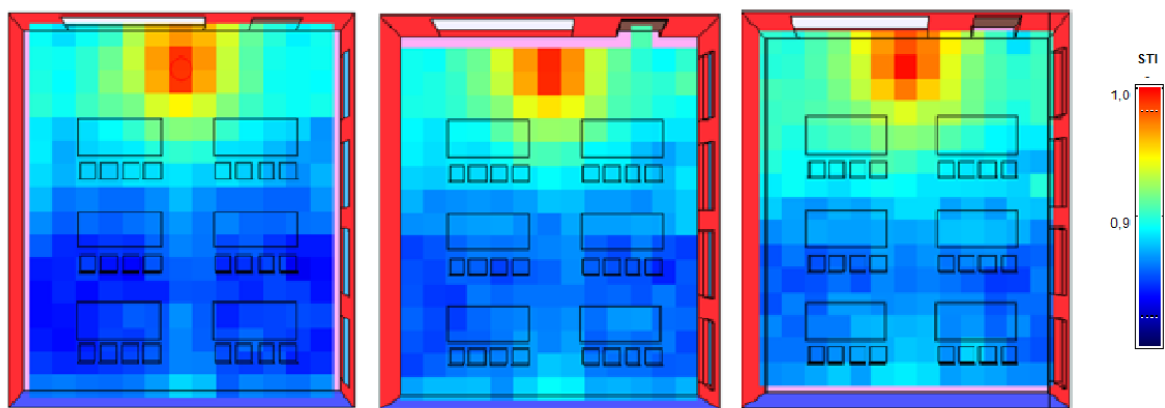
## 5.5 Talöverföringsindex ( $STI$ [-])

Resultatet av  $STI$  för en kvinnlig talare från referensklassrummet visas i Figur 39.



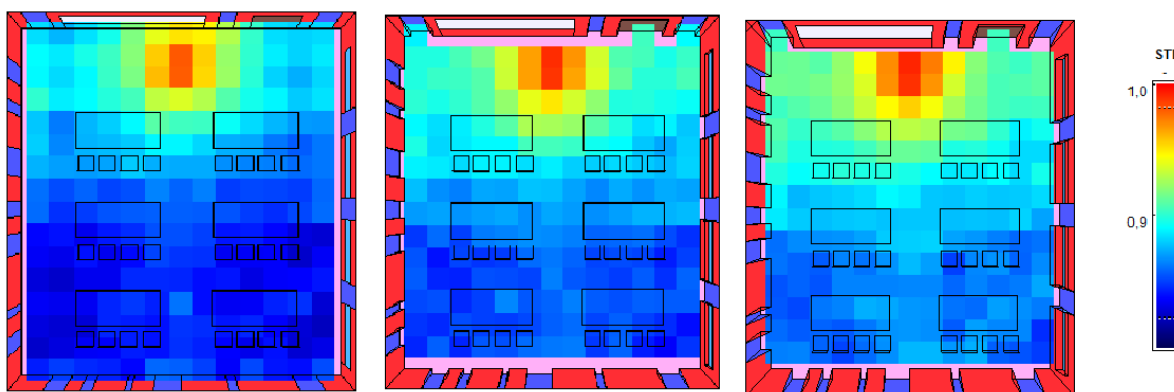
Figur 39. Resultat av  $STI$  från referensklassrum, visad som färgkarta. Se skala till höger i figuren. [39]

Vilket till största del är mörkblå och under  $STI=0,8$ . Resultatet av  $STI$  för en kvinnlig talare från klassrum 1–3 visas i Figur 40.



Figur 40. Resultat av  $STI$  från klassrum 1 (vänster), klassrum 2 (mitt) och klassrum 3 (höger), visad som färgkarta. Se skala längst till höger i figuren. [40]

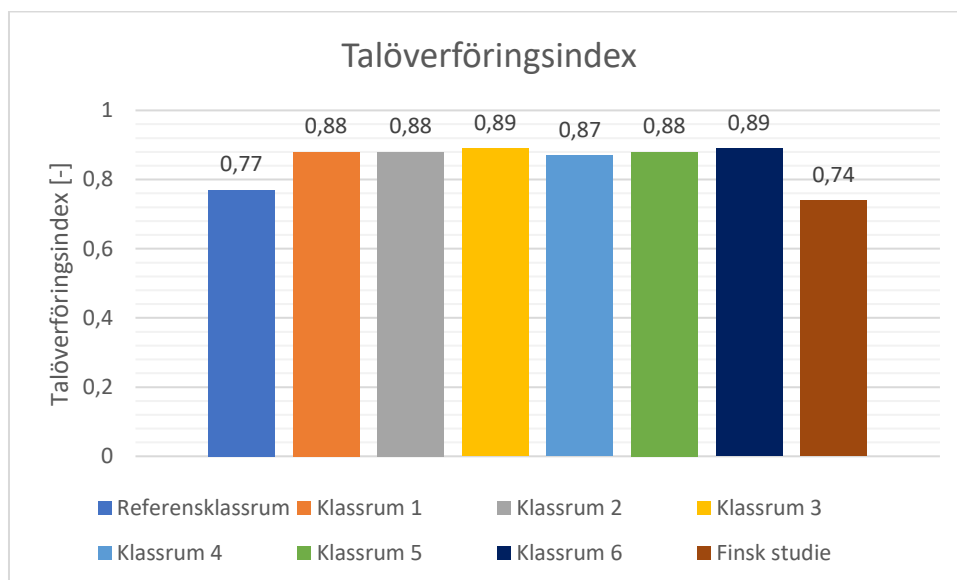
Figurerna visar ett visst avtagande av den mörkblå skalan och för varje ökning av lutningen på spaltpanel och whiteboardtavla ökar  $STI$ . Resultatet av  $STI$  från för en kvinnlig talare klassrum 4–6 visas i Figur 41.



Figur 41. Resultat av STI från klassrum 4 (vänster), klassrum 5 (mitt) och klassrum 6 (höger), visad som färgkarta. Se skala längst till höger i figuren. [41]

Liknande avtagande kan ses mellan klassrum 4–6 som mellan klassrum 1–3.

Medelvärdet av talöverföringsindex för en kvinnlig talare från varje klassrum samt hos den finska studie (Rantala & Eeva, 2015) visas i Figur 42. Medelvärdet från simuleringarna är beräknat utifrån CATT-Akustiks i TUCT (CATT-A, 2016).



Figur 42. Medelvärde av talöverföringsindex från referensklassrummet, klassrum 1–6 och från den finska studien. [42]

Här visas en ökning av talöverföringsindexet för en kvinnlig talare mellan referensklassrummet och klassrum 1–6, vilket intygar att taluppfattningen förbättrats mellan dem och att det satta riktvärdet är uppnått.

Här visas även, för första gången i denna studie, att det medelvärdet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) är lägre, och där med sämre för taluppfattningen, än referensklassrummets medelvärde. Detta diskuteras vidare i kapitel 6.

Medelvärdet hos talöverföringsindexet för varje klassrum hittas även i Tabell 20, tillsammans med resultatet från den finska studien (Rantala & Eeva, 2015) samt differensen mellan varje värde och det lägst uppmätta värdet (som fanns från klassrum 3).

Tabell 20. Medelvärdet av talöverföringsindex och differensen mellan den och det högst beräknade talöverföringsindexet.

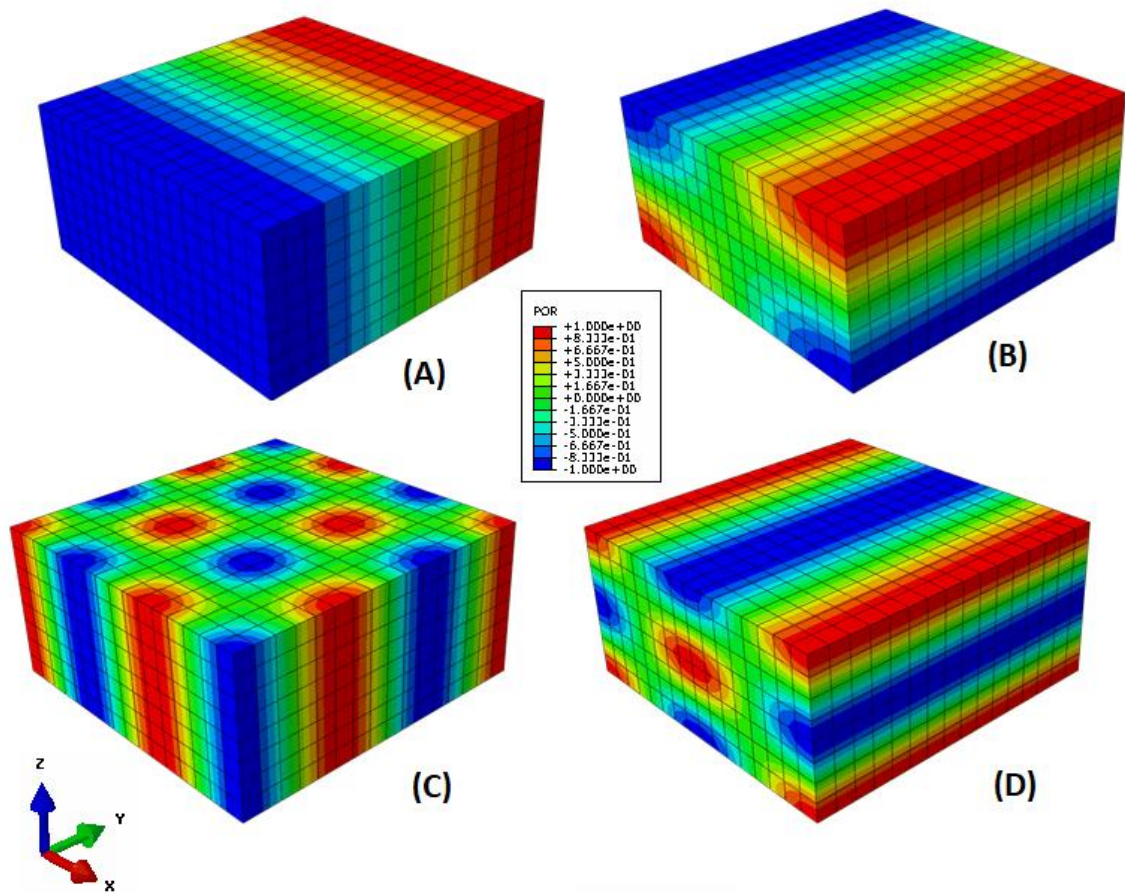
Resultat från	Medelvärde av talöverföringsindex ( $STI_m$ [-])	Differens [-]
Referensklassrum	0,77	0,12
Klassrum 1	0,88	0,01
Klassrum 2	0,88	0,01
Klassrum 3	0,89	0,00
Klassrum 4	0,87	0,02
Klassrum 5	0,88	0,01
Klassrum 6	0,89	0,00
Finsk studie	0,74	0,15

En relativt liten ökning visas även i Figur 42 och Tabell 20 mellan klassrum 1–3 och mellan klassrum 4–6. Skillnaden mellan klassrum med samma lutning med olika placering av diffusorer är obefintlig eller relativt liten.

## 5.6 Undersökning - modanalys

I undersökningen som rapporterats i detta kapitel utfördes en modalanalys av ett förenklat rum med den finita elementmetoden (FEM). Egenmoderna togs då fram genom att använda programmet Abaqus (3DS, u.å), och de första 50 egenmoderna extraherades från programmet. Modellen som användes i programmet hade samma dimensioner som de klassrum som även simuleras i denna studie från CATT-Acoustic (CATT, 2018), vilka var:  $L \times B \times H = 8 \times 7 \times 2,7 \text{ m}^3$ . För enkelhets skull ansågs väggarna vara helt reflekterande och inga möbler modellerades inne i rummet.

I Figur 43 visas exempel på fyra egenmodes och respektive egenfrekvens som togs fram i undersökningen. Färgskalan visar vart i rummet tryckskillnaden är som störst vid respektive egenfrekvens: röda och blåa områden visar den största skillnaden och gröna områden visar ingen skillnad. Detta medför att, om en ren ton med till exempel frekvensen 29 Hz (egenfrekvens för (A), se Figur 43) skulle ljuda i klassrummet, skulle den främre och bakre delen av klassrummet (i y-led) höra tonen som starkast och tonen skulle avta i styrka mot mitten av klassrummet, tills den knappt höras alls. En vidare diskussion kring detta visas i kapitel 6.1.



Figur 43. Fyra egenmoder skapade genom FEM i simuleringsprogrammet Abaqus. (A): 2a egenmoden,  $f = 29$  Hz, (B): 11e genmoden,  $f = 68$  Hz, (C): 36e egenmoden,  $f = 124$  Hz och (D): 46e egenmoden,  $f = 136$  Hz. Centralt i figuren visas POR-skalan (Proper Orthogonal Decomposition), som visar vart tryckskillnaderna är som störst. För att se övriga egenmoder från modellen, vänligen kontakta författaren. [43]

## 6 Diskussion och slutsats

I detta kapitel kommer resultaten från kapitel 5 att diskuteras, där eventuella frågor som kommit upp besvarats. Slutligen kommer svaret på studiens frågeställning: "Hur får man en förbättrad taluppfattning i ett klassrum med avseende på ett barn med CI?" besvaras. Dock börjar kapitlet med en diskussion och slutsats kring de nyligen presenterade egenmoderna för klassrummet.

### 6.1 Hur påverkas ett barn med CI av egenmoder?

Även om frekvenserna i lärarens/lärarinnans röst sannolikt inte kommer att excitera ett av de lägsta moderna i rummet (som i sin tur har mycket energi), eftersom "tal-frekvenserna" ligger ovanför (eller mycket nära) Schroeder-frekvens, kan rummets modala beteende vara en viktig aspekt att titta på. Bakgrundsbuller vid låga frekvenser, som ljud från pumpar, fläktar, HVAC-system med mera, som innehåller mer energi än höga frekvenser, kan skapa stora problem för barn med CI, då de kan maskera informerande ljud så som tal (Ljung, 2010). Om ett ljud som sänds ut med en distinkt ton, med en egenfrekvens för en av klassrummets egenmoder, kommer placeringen av ett barn med CI spela stor roll. Därför bör detta vara ett ämne som specifikt kan studeras för varje enskilt fall (rumsform, närvarande ljudkällor, med mera) vid utformning eller anpassning av klassrum till barn med CI, för att förbättra deras taluppfattning.

### 6.2 Möttes satta riktvärden?

Samtliga riktvärden möttes i denna studie med ett undantag: efterklangstiden över oktavband mellan 1 – och 4 kHz blev relativt korta för klassrum 1–6. Den maximala skillnaden mellan efterklangstiden över dessa höga oktavband och över de lägre oktavbanden hittades i klassrum 4 och var 0,17 sekunder. Då studien försökte efterlikna skogens akustiska egenskaper, kan detta jämföras med uppmätta värden från kapitel 3.2.3, där samma skillnad vara ca en sekund, vilket var en av anledningarna till den goda taluppfattningen i skogen.

En kompromiss fick tas mellan en lång efterklangstid över oktavbanden 1 – och 4 kHz eller oönskade resultat med avseende på riktvärdena över resterande fyra parametrar. Det var främst innertaket, med hög absorptionsfaktor över oktavbanden 1 – 4 kHz och en stor yta, som avgjorde denna kompromiss. Då studiens frågeställning var att avgöra vad som *förbättrar* taluppfattningen med avseende på barn med CI, valdes varje ytas material (så även innertaket) för att uppnå en så stor positiv *förbättring* mellan samtliga fem parametrar, genom att följa riktvärdena, över referensklassrummet och klassrum 1–6. Kompromissen blev sedermera att detta undantag till att samtliga riktvärden möttes, fick vara, och att resultatet för klassrum 1-6 fick anses vara mycket goda för taluppfattning med avseende på barn med CI.

Ett tillägg på att denna kompromiss valdes är att resultatet från efterklangstiden går miste om viktig information, nämligen tiden under vilket de första -5 dB sänks innan efterklangstiden börjar mätas efter att ljudkällan stängts av. Då taluppfattningen för alla människor, så även barn med CI, förbättras desto mer ljudreflexer som anländer till hjärnan inom 50 ms, spelar denna tid en viktig roll på hur ett klassrum förbättrar taluppfattning. Genom att ansätta ovannämnda innertak ökar däremot taluppfattbarheten ( $C_{50}$ ) och definitionen ( $D_{50}$ ) vilket visar just en ökning av tidiga mellan referensklassrummet och klassrum 1–6.

#### ○ *Bord och stolar*

Att inte mer absorberande bord och stolar valdes beror på att dessa främst absorberar höga frekvenser. Då ett riktvärde var att få så lång efterklangstid vid frekvenser över 500 Hz användes samma bord och stolar vid simulering av klassrum 1–6 som för referensklassrummet. Vid en

testsimulering med absorberande bord och stolar blev efterklangstiden för höga frekvensen kortare än för låga frekvenser, vilket direkt stred mot studiens riktvärde.

### 6.3 Störst förbättring av taluppfattning med avseende på barn med CI?

Störst förbättring av taluppfattningen, genom att studera skillnaden mellan de fem valda parametrarna, gavs från klassrum 3 och klassrum 6. Detta anses bero på att lutningen på spaltpanelerna och whiteboardtavlan var som högst i dessa klassrum.

Då klassrum 6 har nackdelen att vara mer komplicerad att bygga, då placeringen av diffusorerna är oregelbunden runt om hela klassrummets väggar, anses klassrum 3 vara det klassrum som i denna studie skulle valts för att ge barn med CI den bästa taluppfattningen som möjligt.

#### ○ *Lutande väggar eller placering av diffusorer?*

En skillnad märktes inom klassrum 1–3 och inom klassrum 4–6 för samtliga fem parametrar, desto större lutning, desto bättre värden med avseende på de satta riktvärdena för studien.

Resultaten från  $C_{50}$  och  $D_{50}$  visade även en skillnad mellan klassrum med samma lutning men med olika placering på diffusorer. Klassrum 1–3 hade då högre värden och att placera diffusorerna längst bak i klassrummet visade sig därför vara mer fördelaktigt. Detta gav ännu en anledning till att utse klassrum 3 till det klassrum som gav störst förbättring av taluppfattningen med avseende på barn med CI.

#### ○ *Finska studien (Rantala & Eeva, 2015)*

Då så pass lite information kunde tas från den finska studien, så som: hur mätningen var gjord, vilka materialparametrar ytorna i klassrummet hade och hur placeringen av möbler var, kommer slutsatsen och svaret på denna studies frågeställning till största grad endast studera värdena från de simulerade klassrummen.

Att använda resultatet från den finska studien valdes, som tidigare nämnt, för att kunna jämföra och ge en måttstock för normal storleksordning av parametrarna i ett klassrum med liknande dimensioner. Delvis användes detta även för att det inte fanns krav för  $C_{50}$ ,  $D_{50}$  och  $G$  i klassrum. Den finska studien bidrog till en rad fenomen som här beskrivs.

För efterklangstiden var värdet från den finska studien relativt mycket längre än från referensklassrummets. Detta anses bero på den noggrannhet som måste finnas mellan ett uppmätt och ett simulerat rum för att få liknande efterklangstid. Varken möblering eller val av material fanns att tillgå i den finska studien. Under simuleringen valdes så få detaljer som möjligt, med endast stolar och bord som möblering. En uppskattning av spridningsfaktorn ansattes därför på varje väggyta samt på innertaket för att tillgodose denna skillnad på detaljrikedom. Då en skillnad ändå fanns anses denna därför bero på materialvalet på väggarna, där någon form av absorbent, eller annan yta med hög absorptionsfaktor, troligtvis fanns under den finska studien, som sänkte efterklangstiden.

Ett annat fenomen visades under resultaten mellan medelvärdena för ljudstyrkan och de simulerade klassrummens medelvärden. Här var skillnaden mellan resultatet från den finska studien och från klassrum 1–6 näst intill obefintlig, medans skillnaden mellan den finska studien och referensklassrummet var relativt stort. Detta anses bero på att mätningen och framtagningen av detta medelvärde kan ha skilts mellan mätningen i ett verkligt rum och under simuleringen. Detta antagande anses trovärdigt då detta är den enda av de fem parametrarna som studerats i denna studie som detta fenomen hänt.

Slutligen gav resultatet från den finska studien ett lägre värde för talöverföringsindexet än från referensklassrummet. Detta var den första och enda gången i denna studie som ett mer fördelaktigt

värde tillgavs referensklassrummet över den finska studien med avseende på god taluppfattning. Anledningen till detta antas bero på att metoden som talöverföringsindexet togs fram på mellan studierna var olika. Då den totala bakgrundsivån var densamma under båda studierna förväntades ett mer likt talöverföringsindex mellan den finska studien och referensklassrummet.

Då samtliga resultat från klassrum 1–6 gav mer fördelaktiga värden på de fem parametrarna än från den finska studien (med ett undantag för ljudstyrkan, där de var lika), stödjer detta slutsatsen att dessa sex klassrum ger en förbättring för taluppfattningen med avseende på barn med CI.

#### 6.4 Hur får man en förbättrad taluppfattning i ett klassrum med avseende på ett barn med CI?

Ett klassrum skall utformas och ha material som får rummet att ha liknande de akustiska egenskaper som i en skog för att förbättra taluppfattningen med avseende på barn med CI. Detta har i denna studie visat sig ge bäst resultat genom att bygga ett klassrum med:

- Väggar av dels spaltpanel med 5° lutning upp mot innertaket. Spaltpanelen skall ha brädor med höjden 16 mm och bredden 70 mm och befinna sig 70 mm från bakomliggande vägg. En spaltbredd på 4 mm skall finnas och bakom panelen skall 70 mm av glasull, med densiteten 14,5 kg/m<sup>3</sup>, finnas.
- Whiteboardtavlan med 5° lutning upp mot innertaket.
- Vägg parallellt whiteboardtavlan skall vara av diffusorn "Omnifusor FRG", utan lutning.
- Högabsorberande innertak av 150 mm träullit och 120 mm överliggande stenull.
- Golvet täckt av en mjuk och 10 mm tjock matta.

Utöver dessa val skall även:

- Barnet med CI sitta så att lärarens/lärarinnans mun syns väl, för att enklare kunna läsa på deras läppar.
- Klassrummet vara väl upplyst.
- Barnet med CI sitta så långt ifrån bullriga ljudkällor som möjligt, så som dörrar, fönster och ventilationsanläggningar.
- Ventilationsanläggningarna vara väl dämpade, speciellt vid låga frekvenser.
- Ett FM-system finnas tillgängligt, med mikrofoner till så väl lärare som andra barn i klassen, och mikrofonen skall sitta så nära talarens mun som möjligt i ett headset.
- All information som yttras i klassrummet finnas nedskrivet, antingen på tavlan av läraren, eller på papper hos barnets med CI:s personliga medhjälpare.

#### 6.5 Trovärdighet

Då man skapar en modell av verkligheten måste man inse att många parametrar blir förenklade och att resultatet därför är en generalisering av vad som verkligen skulle visat sig vara sant i den verkliga världen. Därför är resultaten från varje modell (simulering) inte så trovärdig och skulle med högsta

sannolikhet skilja mot en mätning i ett verkligt klassrum med samma förutsättningar. Det som däremot är trovärdigt är skillnaden mellan resultaten, differensen, med andra ord förbättringen.

I denna studie har en förbättring av taluppfattningen önskats och visats. Trovärdigheten att, som i detta fall, klassrum 3 skulle anses ge bäst taluppfattning med avseende på barn med CI i verkligheten, av de sju klassrum som simulerats, är relativt hög enligt författaren. Detta då samtliga simulationer haft samma förutsättningar: de är skapade i samma program, med ingångsparametrar från samma databas och med en identisk placering av ljudkällor och mottagare samt identiska dimensioner och placering av möblering.



## 7 Förslag på fortsatt studie

Det skulle vara mycket intressant att bygga upp det ovan beskrivna klassrummet och göra mätningar på denna. Alternativt bygga ett större antal olika klassrum med likdanande eller andra icke beprövade utformningar och val av material till klassrummen. Det skulle även vara intressant att sätta barn med och utan CI i detta klassrum så att de själva får utvärdera det, till exempel genom en att fylla i en blankett med frågor om deras välmående och taluppfattning efter varje termin. Om det finns en majoritet av missnöjda barn kan justeringar av klassrummet göras.

## 8 Referenslista

- Acoustic Bulletin. (u.å). *Room acoustic description - RT, C50 and Strength/Gain*. Hämtat från <https://www.acousticbulletin.com/room-acoustic-descriptors-rt-c50-and-gain>. Hämtad [2018-04-02]
- Acoustic Fields. (den 26 2016). *Schroeder Frequency*. Hämtat från <https://www.acousticfields.com/schroeder-frequency/>. Hämtad [2018-04-01]
- Alshenqeti, H. (2014). *Interviewing as a Data Collection Method: A Critical Review*. Toronto: Sciedu Press .
- Arbetsmiljöverket. (2005). *Buller - Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna*. Stockholm: Elanders Gotab 47355.
- Brumm, H., & Zollinger, S. A. (den 23 08 2011). *Current Biology*. Hämtat från The Lombard Effekt: [http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(11\)00648-8?\\_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982211006488%3Fshowall%3Dtrue](http://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(11)00648-8?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982211006488%3Fshowall%3Dtrue). Hämtad [2018-04-22]
- Brunskog, J., Holmberg, D., Johansson, A.-C., Nilsson, E., & Sjökvist, L.-G. (2008). *Grundläggande Akustik* (Vol. 4). Lund: KFS I Lund AB.
- Calculator. (u.å). *Aritmetiskt medelvärde*. Hämtat från <https://www.calculat.org/se/medelv%C3%A4rde/aritmetiskt-medelv%C3%A4rde.html>. Hämtad [2018-04-20]
- CATT. (den 24 1 2018). *CATT-Acoustic*. Hämtat från CATT: <https://www.catt.se/>. Hämtad [2018-05-01]
- CATT-A. (2016). *Catt-A v9.1 - User's Manual*. Göteborg: CATT.
- Christensson, J. (2013). *Speech Intelligibility in Swedish Forests - an Example of Good Classroom Acoustics* . Hyllinge: Saint-Gobain Ecophon AB.
- Christensson, J. (den 02 03 2018). *Ljudskolan*. Hämtat från Så skapar man bra taluppfattbarhet: <http://www.ljudskolan.se/ljudfakta/vad-ar-taluppfattbarhet/>. Hämtad [2018-03-25]
- Cochlear implant help. (u.å). *Electrodes and Channels*. Hämtat från <https://cochlearimplanthelp.com/journey/choosing-a-cochlear-implant/electrodes-and-channels/>
- Cochlear. (u.å). *Cochlear - Hear now, and always*. Hämtat från Hörseldensättningsgrad: <http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/sv/home/understand/hearing-and-hl/what-is-hearing-loss-/degrees-of-hl>
- Cochlear. (u.å). *Cochlear - Hear now, and always*. Hämtat från Classroom positioning: <http://www.cochlear.com/wps/wcm/connect/in/home/support/excel-at-school/classroom-positioning>
- Cox, T. J., & D'Antonio, P. (2004). *Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, design and application*. London: Spon Press .

- Dr. Apple, C. L. (den 04 10 2001). *Manipulating with Decibels*. Hämtat från Averaging Decibels: <http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/manipula.htm>. Hämtad [2018-04-05]
- Eberts, S. (den 24 5 2016). *Living with hearingloss*. Hämtat från Ten reasons why hearing aids are not like glasses: <https://livingwithhearingloss.com/2016/05/24/ten-reasons-hearing-aids-are-not-like-glasses/>. Hämtad [2018-03-10]
- Ecophon. (den 07 03 2018). *Att generera och uppfatta tal*. Hämtat från <http://www.ecophon.com/sv/akustiklosningar/akustisk-kunskapsbank/grunderna-i-akustik/allt-om-ljud/Att-generera-och-uppfatta-tal/>. Hämtad [2018-04-01]
- Gellerstedt, L. C., & Bjarnason, S. (2015). *Vad var det jag inte hörde?* Tulleberg: Specialpedagogiska skolmyndigheten.
- Houtgast, T., & Steeneken, H. (2002). *Past, present and future of the Speech Transmission Index*. Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hörselboken. (den 22 07 2009). *Hörselboken - Hörselnedsättning - vad innebär det*. Hämtat från Hörselskador: <http://www.horselboken.se/faktadel/horselskador/>. Hämtad [2018-04-06]
- Hörselboken. (den 04 03 2016). *Hörselboken - Hörselnedsättning - vad innebär det*. Hämtat från Tekniska hjälpmedel - Cochlea implantat: <http://www.horselboken.se/faktadel/tekniska-hjalpmedel/cochlea-implantat/>. Hämtad [2018-04-06]
- Hörsellinjen. (u.å). *Hörsellinjen*. Hämtat från Fakta och råd - Hörsel och hörselskador: <https://horsellinjen.se/fakta-och-rad/horsel-och-horselskador/>. Hämtad [2018-04-06]
- Kleiner, M. (2000). *Audiotik och Akustik*. Göteborg: Institutionen för teknisk akustik .
- Kuttruff, H. (2009). *Room Acoustics*. Oxon: Spon Press.
- Ljung, R. (2010). *Room Acoustics and Cognitive Load when Listening to Speech*. Luleå: Department of Building, Energy and Environmental Engineering.
- Lundqvist, P. (2003). *Classroom noise - Exposure and subjective response among pupils*. Umeå: Solfjädern Offset AB.
- Malmö Stad. (2013). *Starta grundskola gymnasieskola - Lagkrav och miljöförvaltningens råd*. Malmö: Miljönämnden.
- Moore, B. C. (2003). *An Introduction to the Psychology of Hearing* (Vol. 5). San Diego: Academic Press.
- Mroz, M. (den 9 5 2017). *Healthy Hearing*. Hämtat från FM systems for people with hearing loss: <https://www.healthyhearing.com/help/assistive-listening-devices/fm-systems>. Hämtad [2018-03-25]
- Nordqvist, C. (den 1 9 2017). *Medical News Today*. Hämtat från Deafness and hearing loss: Causes, symptoms, and treatments: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/249285.php>. Hämtad [2018-03-25]
- Rantala, L., & Eeva, S. (2015). *Associations between classroom conditions and teacher's voice production*. Turku: Elsevier Ltd.

- RPG Europe. (u.å). *RPG FRG Omnidiffusors*. Hämtat från Acoustic GRP Products Ltd:  
<http://www.rpgeurope.com/products/product/frgomniffusor.html>. Hämtad [2018-04-01]
- Skolverket. (2016). *Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet 2011*. Mölnlycke: Elanders Sverige AB.
- SMIF. (u.å). *SMIF-Svenskt marknadsundersökningsföretag*. Hämtat från Barn och Ungdom - Lagar och Etik: <http://www.smif.se/barn-och-ungdom/>. Hämtad [2018-04-1]
- Stith, J., & Drasgow, E. (den 19 2015). Including Children with Cochlear Implants in General Education Elementary Classrooms. *TEACHING Exceptional Children Plus*, s. 13.
- Svensk Standard - SS 25268:2007+T1:2017. (2018). *Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen i byggnader - vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-1:2009. (2009). *Byggakustik - Mätning av rumsakustiska parametrar - Del 1:samlingslokaler*. Stockholm: Swedish Standard Institute.
- Svensk Standard - SS-EN ISO 3382-2:2008. (2008). *Byggakustik - Mätning av akustiska parametrar i rum - Del 2: Efterklangstid i vanliga rum*. Stockholm: Swedish Standard Institute.
- Svensk Standard - SS-EN ISO 354. (2003). *Byggakustik - Mätning av ljudabsorption i efterklangsrums*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Svensk Standard SS-EN 60268-16. (2012). *Ljudanläggningar - Del 16: Objektiv bedömning av taluppfattbarhet med hjälp av talöverföringsindex*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Svensk Standard SS-EN ISO 17487-1. (2012). *Akustik — Spridningsfaktor- del 1: Mätning av spridningsfaktor*. Stockholm: Swedish Standard Institute.
- Svensson, C., & Nilsson, E. (2008). *Optimum Room Acoustic Comfort (RAC) can be achieved by using a selection of appropriate acoustic descriptions*. Hyllinge: Saint-Global Ecophon AB.
- Utbildningsstatistiksenheten. (den 19 05 2014). *19 elever per klass i grundskolan*. Hämtat från Skolverket - Statistik och utvärdering: <https://www.skolverket.se/statistik-och-utvardering/nyhetsarkiv/nyheter-2014/19-elever-per-klass-i-grundskolan-1.219495>. Hämtad [2018-05-01]
- WSP. (2017). *CATT-acoustic och Sketchup - Introsuktion [Word-fil]*. Malmö: WSP Malmö.
- WSP. (2018). *AbsData\_V7.1 [Excel-fil]*. Malmö: WSP Malmö.

## 9 Referenslista – Figurer

(Samtliga figurer som författaren ej skapat själv är tillfrågade och godkända att få visas i denna rapport genom förfrågan via mail.)

- [1] Power-Point från kurs: VTAN01 Teknisk Akustik, LTH. Föreläsning 1.  
 [2] Power-Point från kurs: VTAN01 Teknisk Akustik, LTH. Föreläsning 1.  
 [3] Power-Point från kurs: VTAF01, Ljud i byggnad och samhälle, LTH. Föreläsning 2.  
 [4] Power-Point från kurs: VTAF01, Ljud i byggnad och samhälle, LTH. Föreläsning 2.  
 [5] Power-Point från kurs: VTAF01, Ljud i byggnad och samhälle, LTH. Föreläsning 2.  
 [6] Webb: <https://www.1177.se/Skane/Tema/Kroppen/Nervsystemet-och-sinnesorganen/Sinnen/>  
 - Hämtad [2018-03-09]  
 [7] Figur 7. Hörseltröskeln och området för <http://www.ljudskolan.se/ljudfakta/vad-arluppfattbarhet/>  
 - Hämtad [2018-03-09]  
 [8] Power-Point från kurs: VTAN01 Akustik, LTH. Föreläsning 1.  
 [9] Figur 9. Cochleaimplantat <http://www.vardhandboken.se/Texter/Horselnedsattning-och-rehabilitering/Cochleaimplantat/>  
 - Hämtad [2018-03-12]  
 [10] Figur 10. <http://www.ecophon.com/sv/akustiklosningar/akustisk-kunskapsbank/grunderna-i-akustik/allt-om-ljud/Att-generera-och-uppfatta-tal/>  
 - Hämtad [2018-03-12]  
 [11] Power-Point från kurs: VTAN01 Teknisk Akustik, LTH. Föreläsning 10.  
 [12] Power-Point från kurs: VTAN01 Teknisk Akustik, LTH. Föreläsning 5.  
 [13] (Svensk Standard SS-EN 60268-16, 2012)  
 [14] Webb: <http://www.sengpielaudio.com/calculator-roommodes.htm> - Hämtad [2018-05-30]  
 [15] Power-Point från kurs: VTAN01 Teknisk Akustik, LTH. Föreläsning 5.  
 [16] Power-Point från kurs: VTAN01 Teknisk Akustik, LTH. Föreläsning 5.  
 [17] Webb: <https://www.bergeneholm.no/en/inspiration/derfor-boer-du-velge-panel-i-taket>  
 Hämtad [2018-03-16]  
 [18] Figur 18 [http://aventalearning.com/content168staging/2008Physics/SectionB/unit7/html/section\\_4\\_page\\_6.html](http://aventalearning.com/content168staging/2008Physics/SectionB/unit7/html/section_4_page_6.html)  
 - Hämtad [2018-03-16]  
 [19] Figur 19. Efterklangstid i en genomsnittlig skog och i ett genomsnittligt klassrum i Excel. Värden hittade från (Christensson, 2013)  
 [20] Skapad av författaren i CATT-Acoustic  
 [21] Skapad av författaren i CATT-Acoustic  
 [22] Skapad av författaren i SketchUp  
 [23] Skapad av författaren i SketchUp  
 [24] Skapad av författaren i CAD  
 [25] Skapad av författaren i SketchUp  
 [26] Figur 26. Omnifusor FRG sätts upp på väggarna för att sprida dom högsta frekvenserna i klassrummet  
<http://www.doneo.com/mt/Product.aspx?prodID=2781&MainID=17>  
 - Hämtad [2018-05-03]  
 [27] Skapad av författaren i SketchUp  
 [28] - [39] Skapad av författaren i Excell. Värden tagna från CATT-Acoustic  
 [40] Skapad av författaren i CATT-Acoustic  
 [41] Skapad av författaren i CATT-Acoustic  
 [42] Skapad av författaren i Excell. Värden tagna från CATT-Acoustic  
 [43] Skapad av författaren i Abaqus <http://www.sengpielaudio.com/>



## Bilaga 1 - Intervjufrågor till intervjuperson 1–10

- 1) Vad heter du?
- 2) Vad är titeln på ditt jobb?
- 3) Vad jobbar du med just nu? Sitter du i något projekt eller liknande?
- 4) Det finns mycket positiv respons på dagens cochleaimplantat, speciellt för barn som får dem insatta i tidig ålder. Vad anser du är det bästa med ett cochleaimplantat i jämförelse med andra alternativ, så som en hörapparat?
- 5) Vad anser du är det största problemet ett barn med cochleaimplantat har under en skoldag med avseende på akustiken i deras klassrum?
- 6) Vad anser du kunna förbättra detta problem? Vad finns det för hjälpmedel?
- 7) Vad i ett klassrum tycker du skulle behöva en förbättring för att tillfredsställa CI-barnens behov?
- 8) Hur anser du man kan skapa en god miljö för taluppfattning i ett klassrum, för en elev med CI?
- 9) Vad anser du att man behöver i ett klassrum för att efterklina en utomhusmiljö så mycket som möjligt? Tillexempel en lövskog.
- 10) Vad forskas det på just nu inom detta område? Kommer det komma några stora framsteg inom kort tror du?
- 11) Hur påverkas barn med CIs läs- tal och skrivinlärning om man jämför med ett hörande barn?
- 12) Vad finns det för fördelar och nackdelar med att ett barn med CI går i en "normalhörande" klass?
- 13) Finns det någonting du vill lägga till? Något jag har glömt att fråga? Kanske som är mer anknutet till ditt yrke.

## Bilaga 2 - Intervjufrågor till barn 1 och 2

- 1) Vad heter du?
- 2) Hur gammal är du?
- 3) Vad tycker du bäst om att göra i skolan?
- 4) Hur gammal var du när du fick ditt implantat?
- 5) Har du någon favoritplats i klassrummet, i så fall vart och varför?
- 6) Tycker du det kan vara svårt att höra vad din lärare säger ibland?
- 7) Vad tycker du hjälper när du inte hör exakt vad din lärare säger? Finns det något hon/han kan göra som brukar göra det lättare för dig att höra?
- 8) Tycker du det kan vara svårt att höra vad dina kompisar säger ibland?
- 9) Finns det något du brukar göra för att höra dina kompisar bättre då? Eller något dom kan göra?
- 10) Vad tycker du bäst om att göra på fritiden?
- 11) Finns det rum i skolan som du tycker är värre att vara i än andra? Rum som gör det svårare för dig att höra vad alla säger?
- 12) Kan du känna dig trött eller få svårt att minnas vad din lärare säger om du har svårt att höra vad hen säger under en lektion?
- 13) Finns det någonting du vill lägga till? Något jag har glömt att fråga?



## Bilaga 3 - Intervjufrågor till mentor 1

- 1) Vad heter du?
- 2) Hur länge har du varit "BARNETS NAMNS" lärare?
- 3) I vilka ämnen undervisar du i?
- 4) Hur ser en vanlig dag ut i ditt klassrum?
- 5) Hur tycker du det går för "BARNETS NAMN" i skolan i allmänhet?
- 6) Vilka åtgärder har skolan tagit för att anpassa klassrummet för elever med CI?  
Vad finns det för hjälpmedel och metoder?
- 7) Tycker du att det saknas hjälpmedel, finns det något du skulle vilja ha i klassrummet?
- 8) Hur tycker du akustiken i ditt klassrum är? Hörs det mycket ekon? Finns det bullriga miljöer i närheten, så som vägar, fabriker eller korridorer med andra elever som pratar högt?
- 9) Vad finns det för fördelar och nackdelar med att ett barn med CI går i en "normalhörande" klass tycker du?
- 10) Hur tycker du att det fungerar med interaktionen med de andra barnen i klassen?  
Förstår dem situationen och hjälper till? Finns det barn som tvärt om förvärrar situationen för "BARNETS NAMN"?
- 11) Finns det någonting du vill lägga till? Något jag har glömt att fråga?

## Bilaga 4 – Blankett

### Anhållan om tillstånd för att ert barn kan delta i en intervju inom ramen för ett examensarbete vid Lunds Tekniska Högskola

Jag är ens student som utbildar mig till civilingenjör på Lunds Tekniska Högskola, med inriktning Akustik. Jag skriver ett examensarbete där jag studerar möjligheter att förbättra ljudmiljön i klassrum med avseende på barn med cochleaimplantat (CI).

För att få en bred bild av hur verkligheten i ett klassrum ser ut idag har jag valt att inte enbart läsa artiklar och intervjua professorer och forskare, utan även ta kontakt med barn med CI samt deras lärare.

Därför ber jag er om tillåtelse att hålla en intervju med ert barn. I intervjun kommer jag ställa frågor angående vad hen känner om klassrummet, sina lärare och kamrater med avseende på hörseln och hens taluppfattningsförmåga. Frågorna har jag skickat till skolans rektor, så att dessa finns tillgängliga.

Jag kommer inte att använda namn, utan kommer i mitt examensarbete hänvisa till intervjun via skolans namn samt datumet då intervjun togs.

Intervjun kommer att hållas på skolan den: .....

Ert barn kommer sitta med sin lärare och jag kommer, med eran tillåtelse, spela in intervjun och sedan transkribera den och använda som bilaga i mitt examensarbete.

Jag ber er därför skriva på nedan (prickade markörerna, text markerat med \*) och sätt ett kryss i den ruta som gäller för er del. Ta gärna en kopia men ge detta exemplar till rektorn på skolan.

Som vårdnadshavare **ger jag tillstånd** att mitt barn deltar i intervjun

Som vårdnadshavare **ger jag inte tillstånd** att mitt barn deltar i intervjun

\* Vårdnadshavare underskrift/er:

.....

.....

**Och sen en populärvetenskaplig text i egen utskrift**