



Ljudisolering i prefabricerade betongstommar

En fältmätning av luft- och stegljudsisolering

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

TOBIAS ENGQVIST, JESSICA ERIKSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Teknisk akustik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012
Examensarbete 2012:56

Ljudisolering i prefabricerade betongstommar

En fältmätning av luft- och stegljudsisolering

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

TOBIAS ENGQVIST, JESSICA ERIKSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Teknisk akustik Teknisk akustik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2012

Ljudisolering i prefabricerade betongstommar
En fältmätning av luft- och stegljudsisolering
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

TOBIAS ENGQVIST, JESSICA ERIKSSON

© TOBIAS ENGQVIST, JESSICA ERIKSSON, 2012

Examensarbete/Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2012:56

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för Teknisk akustik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Byggnad med prefabricerad betongstomme.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2012

Ljudisolering i prefabricerade betongstommar
En fältmätning av luft- och stegljudsisolering
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

TOBIAS ENGQVIST, JESSICA ERIKSSON
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Teknisk akustik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagsläget är det högaktuellt med en god ljudmiljö i byggnader då många boende rankar ljudmiljön till en av de viktigaste egenskaperna för välbefinnande i en bostad. I samarbete med Cowi AB i Skövde ska examensarbetet behandla ljudisolering i flerbostadshus med prefabricerad betongstomme. Examensarbetet ska undersöka luft- och stegljudsisoleringen utifrån en fältstudie mellan utvalda utrymmen, i tre olika byggnader. Resultatet ska jämföras med dagens övergripande funktionskrav som Boverkets byggregler, BBR ställer krav gällande skydd mot störande buller och ljud inom en bostad. För att säkerhetsställa en bra ljudmiljö i en byggnad hänvisar BBR till olika ljudklasser enligt Svensk standard SS 25267. Standarden används för mer utförlig vägledning vid projektering och utförande, där ljudklass C anges som minimikrav. Ibland vill byggherren skärpa kraven ytterligare genom att ställa krav på högre ljudklass i byggnaden enligt klass A eller B. Fältstudien ska även ge Cowi en indikation om hur deras konstruktioner hanterar ljudisoleringen i en byggnad och hur dessa byggnader står sig mot aktuella ljudklasser.

I rapporten behandlas enbart ljudmätningar i valda utrymmen och därmed kan inte ljudklassningen bestämmas för hela byggnaden. Fältmätningen sker enligt de standarder som gäller idag. Som ytterligare ett hjälpmedel används även beräkningar av ljudisolering enligt standard, med hjälp av mjukvaran Bastian, för att ge en indikation om hur väl några mätresultat överensstämmer med de beräknade samt att programmet ger en uppfattning om hur ljudtransmissionen sker mellan utrymmena.

Resultatet som erhållits vid fältstudien indikerar att både luft- och stegljudsisoleringen mellan de valda utrymmena uppfyller de bestämda ljudklasser enligt beställarens ljudkrav. Den vertikala stegljudsnivån mellan lägenheterna indikerar dessutom att två av flerbostadshusen uppfyller en högre ljudklass än minimikravet. Luftljudsisoleringen mellan de lägenhetsskiljande konstruktionerna som undersöks i fältstudien indikerar att resultatet uppfyller ljudklass C med goda marginaler i samtliga byggnader.

Nyckelord: fältstudie, luftljudsisolering, stegljudsisolering, prefabricerade betongstommar, luftljudsmätning, stegljudsmätning, akustik, ljudtransmission, reduktionstal, stegljudsnivån, ljudklasser.

Sound insulation in precast concrete buildings
A field measurement of airborne sound insulation and impact sound insulation
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
TOBIAS ENGQVIST, JESSICA ERIKSSON
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Applied acoustics
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In the current situation it is important with a good sound environment in buildings, because many residents rank the sound level to one of the main characteristics of well-being in a home. In collaboration with Cowi AB in Skövde this thesis deals with sound insulation in precast concrete buildings and it will investigate airborne sound insulation and impact sound insulation from a field study of selected areas in three different buildings. The result will be compared with the sound requirement from Boverkets byggregler, BBR. BBR makes demands regarding sound protections against noise and sound within a dwelling. To confirm a good sound environment in a building BBR refers to different sound classes, according to Swedish standard SS 25267. The standard is there for more detailed guidance when planning and executing, where the sound class C is given as a minimum. Sometimes the customer will tighten requirements further by requiring a higher sound class in a building with A or B. The field study will also provide Cowi with an indication of how the construction will handle the sound insulation of a building and how these buildings match the current sound classes. The report focuses exclusively on sound measurements in selected areas and the sound classification is not determined for the entire building. Field measurements and calculations will be made according to today's standards. In addition to of field measurements the sound insulations will also be calculated with help of a software called Bastian, which estimate sound insulation according to SS-EN 12354. The received results from the field study indicate that both airborne sound insulation and impact sound insulation between the selected areas meet the specific sound classes.

Key words: field measurement, airborne sound insulation, impact sound insulation, precast concrete building, sound classification, acoustics

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Mål	2
2 VAD ÄR LJUD?	3
2.1 Ljud eller buller?	4
2.2 Hur människan upplever ljud	4
2.2.1 Örats hörförmåga	5
2.3 Byggnadsakustiska begrepp	6
2.3.1 Bakgrundsljud	6
2.3.2 Direktljud	6
2.3.3 Efterklangstid	6
2.3.4 Egenfrekvens	6
2.3.5 Flanktransmission	7
2.3.6 Koincidensfrekvens	7
2.3.7 Ljuddämpning	7
2.3.8 Luftljud	8
2.3.9 Reduktionstal	8
2.3.10 Resonans	8
2.3.11 Stegljud	8
2.3.12 Stomljud	8
2.3.13 Överhörning	8
3 BETONG	9
3.1 Betongkonstruktioner	9
3.1.1 Risker med prefabricerade betongstommar	10
3.2 Prefabricerad grundstomme	10
4 LJUDISOLERING	11
4.1 Luftljudsisolering	11
CHALMERS Bygg- och miljöteknik, Examensarbete 2012:5656	III

4.1.1	Mätning av luftljudsisoleringen	11
4.1.2	Sammanfattningsvärde	13
4.1.3	Referenskurva för luftljudsisolering	13
4.1.4	Anpassningstermer	13
4.2	Stegljudsisolering	14
4.2.1	Mätning av stegljudsisolering	14
4.2.2	Sammanfattningsvärde	16
4.2.3	Referenskurva för stegljudsisoleringen	16
4.2.4	Anpassningstermer	17
5	LJUDKLASSER	18
5.1	Ljudklass A	19
5.2	Ljudklass B	20
5.3	Ljudklass C	20
5.4	Ljudklass D	21
5.5	Redovisning av ljudklassning	21
6	FÄLTSTUDIE	22
6.1	Flerbostadshus - Ellinor	23
6.1.1	Mätutförande Ellinor	24
6.2	Flerbostadshus Brf. Sjöporten	26
6.2.1	Mätutförande Sjöporten	26
6.3	Flerbostadshus Njord	28
6.3.1	Mätutförande Njord	29
7	MÄTRESULTAT	31
7.1	Ellinor	31
7.1.1	Sammanställning av mätresultat i Ellinor	33
7.2	Sjöporten	33
7.2.1	Sammanställning av mätresultat i Sjöporten	35
7.3	Njord	36
7.3.1	Sammanställning av mätresultat i Njord	38
7.4	Resultat jämfört mot ljudkraven	39
7.4.1	Ellinor	39
7.4.2	Sjöporten	40
7.4.3	Njord	41
8	BASTIAN	42
9	ANALYS	46
9.1	Ellinor	46
9.2	Sjöporten	46

9.3	Njord	46
10	DISKUSSION	48
11	SLUTSATS	50
	REFERENSER	51
	BILAGOR	52
	Bilaga 1	52
	Exempel på beräkningsgång till de vägda storheterna L'_{nw} och R'_w .	52
	Beräkningsgång till vägt reduktionstal R'_w för luftljudsisoleringen.	59
	Bilaga 2	65
	Bilaga 3	66
	Bilaga 3	67

Förord

Examensarbetet som omfattar 15 högskolepoäng har genomförts på avdelningen för Teknisk akustik på Chalmers tekniska högskola under vårterminen 2012. Rapporten har gjorts i samarbete med Cowi AB, Skövde.

Vi vill speciellt tacka vår handledare och examinator från Chalmers tekniska högskola, Jens Forssén, som har hjälpt oss under hela examensarbetet. Dessutom har han gett oss ett intresse för byggnadsakustik som var ett helt nytt ämne för oss innan vi påbörjade examensarbetet. Vi vill även tacka Börje Wijk, på avdelningen Teknisk akustik för all hjälp med lån av mätutrustningen.

Tack också till våra handledare på Cowi, Emil Larsson och Christer Johansson.

Ett stort tack till Henrik Karlén som gav oss skjuts till och från mätningen i Göteborg. Vi vill även tacka Johan Fredén för att han lånade ut sin bil till oss.

Tack också till Tornstaden för visningen av byggnaden i Göteborg och att de ordnade så att vi kunde genomföra mätningen under kvällstid. Tack riktas även till Hökerum Bygg och PEAB som varit väldigt tillmötesgående vid fältmätningarna i Mariestad och Jönköping.

Om inget annat anges är vi, Tobias Engqvist och Jessica Eriksson, skapare till fotografier och figurer.

Göteborg maj 2012

Tobias Engqvist & Jessica Eriksson

Beteckningar

A	Ekvivalenta absorptionsytan i mottagarrummet [m^2]
A_0	10 m^2 för bostad [m^2]
c	Ljudhastighet [m/s]
C_j	Spektrumsanpassningsterm för frekvensområde
$C_{I,50-2500}$	Spektrumanpassningsterm för stegljudsnivån, där I står för Impact och 50-2500 står för frekvensområdet
$C_{50-3150}$	Spektrumsanpassningsterm för luftljudsisolering, där 50-3150 står för frekvensområdet.
f	Ljudets frekvens [Hz]
L	Medelvärdet av ljudtrycksnivån [dB]
L_{avg}	Medelvärdet av ljudtrycksnivån som en funktion i Matlab [dB]
L_i	Värdet som tagits fram för spektrum nummer 1 i frekvens 50-3150 Hz
L_j	Uppmätta stegljudsnivån/lufttrycksnivån [dB]
L_m	Medelvärdet av ljudtrycksnivån i mottagarrummet [dB]
L'_n	Normaliserad stegljudsnivå som beräknats i fält [dB]
$L_{n,\text{sum}}$	Logaritmisk summering av stegljudsnivån för varje frekvensband [dB]
L'_{nT}	Standardiserad stegljudsnivå som beräknats i fält [dB]
L'_{nw}	Vägd normaliserad stegljudsnivå i fält [dB]
L_s	Medelvärdet av ljudtrycksnivå i sändarrummet [dB]
R	Reduktionstal för luftljudsisolering [dB]
R'	Reduktionstal för luftljudsisolering i fält [dB]
R_w	Vägt reduktionstal [dB]
R'_w	Vägt reduktionstal i fält [dB]
S	Skiljekonstruktionens yta/area [m^2]
T	Efterklangstid i mottagarrummet [s]
V	Mottagarrummets volym [m^3]
X_{Aj}	Används vid beräkning av anpassningsterm för luftljud
X_i	Ljudreduktionstalet R'_i , som avrundas till närmsta 0,1 dB. [dB]
λ	Ljudets våglängd [m]

1 Inledning

I detta kapitel beskrivs bland annat bakgrund, syfte och mål med examensarbetet.

1.1 Bakgrund

Många undersökningar påvisar att det i dagsläget är högaktuellt med en god ljudmiljö i byggnader. Över 80 procent av de boende i flerbostadshus anser att en god ljudmiljö är en av de viktigaste egenskaperna i en byggnad. För att få ett tyst boende är hälften beredda att betala en högre hyra. (Cementa AB, 2012).

Boverkets byggregler BBR ställer övergripande funktionskrav på utformningen av byggnader gällande skydd mot störande ljud och buller. För att säkerställa en bra ljudmiljö i en byggnad finns det olika ljudklasser enligt Svensk standard SS25267, som används för vägledning vid projektering och utförande (Boverket, 2008).

I samarbete med Cowi AB i Skövde ska examensarbetet behandla ljudisolering i flerbostadshus med prefabricerad betongstomme. Idag projekterar COWI bostadsstommarna enligt de krav som ställs i BBR föreskrifter i SS-EN 25267 gällande de fyra olika ljudklasser A, B, C och D. Klass C anger den miniminivå som tillämpas av myndigheter och klass D avser bland annat äldre byggnader. Ibland vill byggherren skärpa kraven ytterligare genom att ställa krav på högre ljudklass i byggnaden enligt klass A eller B.

1.2 Syfte

Examensarbetet undersöker hur ett antal olika knutpunktslösningar och konstruktioner påverkar ljudisoleringen mellan utvalda utrymmen och därmed ljudklassningen i byggnaden. För att få en uppfattning om hur god ljudisoleringen är i en byggnad genomförs en fältstudie i examensarbetet, där luft- och stegljudsisolering bestäms mellan utvalda utrymmen i tre olika byggnader med prefabricerad betongstomme.

De utrymmen som fältmätningen kommer undersöka är:

- Luftljudisolering horisontellt mellan två lägenheter
- Luftljudsisolering horisontellt mellan trapphus och lägenhet.
- Stegljudisolering vertikalt mellan två lägenheter.
- Stegljudsisolering horisontellt mellan trapphus och lägenhet.

1.3 Metod

En litteraturstudie har genomförts vad gäller ljud, ljudisolering, ljudklassning samt beräkningsvägar. Laborationer och studiebesök har givit goda förberedelser inför fältmätningarna av luft- och stegljudisolering. Resultaten från fältmätningar kommer att behandlas med hjälp av handberäkningar och datorberäkningar. Resultatet av luft- och stegljudsisoleringen kommer delvis att jämföras med ljudberäkningar enligt SS-EN 12354.

1.4 Avgränsningar

Ljudklassningen sker enbart för utvalda utrymmen gällande luft- och stegljudsisolering och därmed inte hela byggnaden. I rapporten behandlas enbart byggnadens ljudisolerande förmåga utifrån hur de inre ljudstörningarna påverkar ljudkraven.

Fältmätning sker enbart i byggnader med prefabricerade betongstommar.

Under fältstudien och vid beräkningar följs följande SS - EN- standarder 140-4, 140-7, 140-14, 717-1, 717-2. Svensk standard SS 25267:2004. Om avvikelser förekommer på grund av otillräckliga förutsättningar görs noggranna noteringar om detta.

I examensarbetet används mätutrustning som är lånad av Teknisk akustik på Chalmers tekniska högskola. Det finns ingen garanti för att utrustningen fungerar till 100 procent eftersom den inte är kalibrerad enligt Sveriges Tekniska Forskningsinstitut rekommenderade intervall.

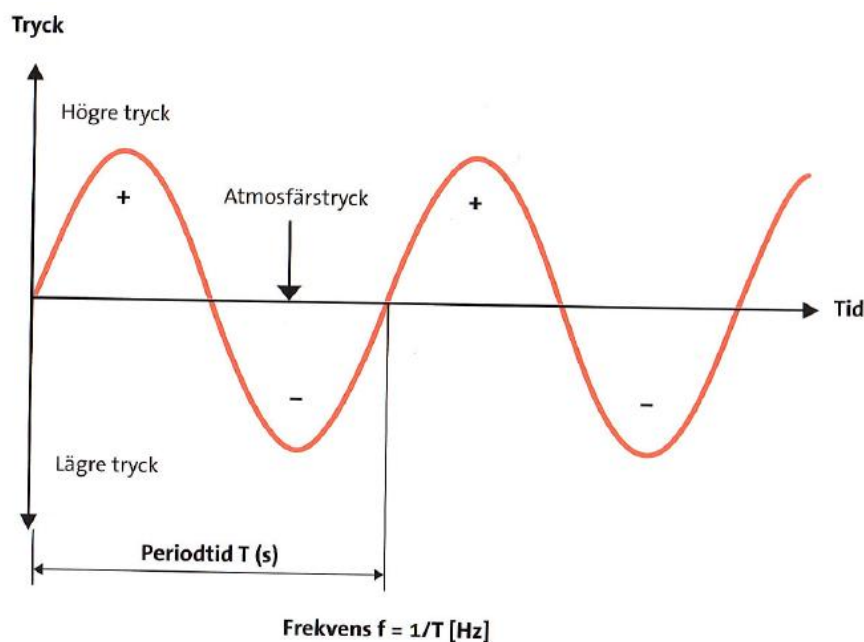
1.5 Mål

Målet med examensarbetet är att få ett resultat av luft- och stegljudsisolering för olika utrymmen. Examensarbetet och resultatet önskar att ge Cowi och övriga aktörer insikt i ljudkraven, ljudmätningar samt kunna ge en indikation om hur de olika prefabricerade betongstommarna motsvarar kraven för aktuella ljudklasser i en byggnad.

2 Vad är ljud?

Ljud är vågrörelser som utbreder sig i form av täthets- och tryckvariationer i ett elastiskt medium, vanligen i luft men också i en vätska eller fast kropp. För att alstra ljud behövs en ljudkälla och det som vi människor uppfattar som ljud är de tryckvariationer som sätter vårt hörselorgan, trumhinnan i svängningar.

Genom att ljudet har olika styrka och olika frekvenssammansättning kan vi skilja på olika typer av ljud (Johansson, 2002).



Figur 2.1 En våglängd (Johansson, 2002).

Ljudets frekvens som har enheten hertz (Hz) är ett mått på tonhöjden. Låg frekvens ger bastoner medan hög frekvens ger diskanttoner. Ljudets styrka anges i pascal [Pa] och bestäms av tryckvariationernas amplitud, se Figur 2.1. Ljudets våglängd anges i meter [m] och ljudets utbredningshastighet, dvs. ljudhastigheten, anges i meter per sekund [m/s]. Sambandet mellan dessa kan beskrivas enligt ekvation (2.1) (Johansson, 2002).

$$c = f \cdot \lambda \quad (2.1)$$

där

c = ljudhastighet (m/s)

f = ljudets frekvens (Hz)

λ = ljudets våglängd (m)

Ljudhastigheten varierar beroende av material och temperatur. Nedan visas vanliga material med dess ljudhastighet.

Luft vid -10 °C $c = 325$ m/s

vid +20 °C $c = 343$ m/s

vid +200 °C $c = 435$ m/s

Stål	$c = 5\,200\text{ m/s}$
Vatten	$c = 1\,450\text{ m/s}$
Tegel	$c = 3500\text{ m/s}$

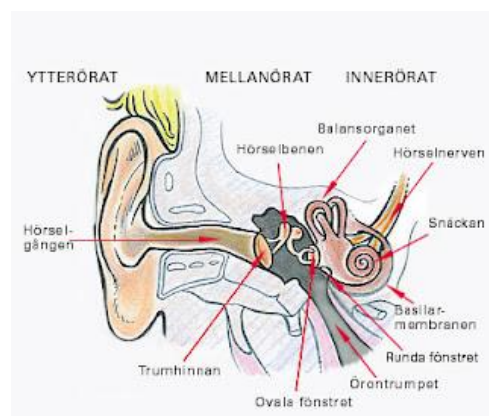
Ljudet delas in i tre kategorier, infraljud, hörbart ljud samt ultraljud. Infraljud är ett ljud med en frekvens under 20 Hz, medan ultraljud är ett ljud med en frekvens över 20 000 Hz (Johansson, 2002).

2.1 Ljud eller buller?

Människan påverkas alltid av ljud på en mängd olika sätt. Buller kallas det ljud som inte är önskvärt. Därför kan olika människor uppfatta samma ljud olika (Andersson, 1998). Nästan alla människor håller med om att buller är ett ljud som försvårar en arbetsuppgift, ett ljud som kan vara skadligt för hörseln eller som försvårar upptäckten av viktiga ljud samt att föra en konversation i normal ljudnivå (Johansson, 2002). Bullret finns överallt: I hemmet, på arbetsplatsen, i matbutiken och i sporthallen. Det finns både inre och yttre bullerkällor. Exempel på inre källor är grannar och vattenbrus i ledningar. Yttre bullerkällor kan vara trafikbuller från både bilar och flygplan. En bostads ljudmiljö avgörs av byggnadens ljudisolerande förmåga från buller inifrån och utifrån byggnaden (Andersson, 1998). Buller är oftast en sammansättning av toner och brus (ljud som innehåller alla frekvenser med en slumpartad styrkefördelning) med olika frekvenser med olika styrka. Bullret kan delas in i de tre olika ljudkaraktärerna kontinuerligt buller, fluktuerande buller samt impulsartat buller. Kontinuerligt buller har en frekvens- och styrkesammansättning som inte varierar med tiden. De flesta buller är dock fluktuerande, dvs. att frekvens- och styrkesammansättning varierar med tiden. Mycket kortvariga ljud, exempelvis skott och slag, tillhör kategorin impulsartade buller (Johansson, 2002).

2.2 Hur människan upplever ljud

Örat är ett invecklat sinnesorgan som kan ta emot och transformera ljudintryck. Det kan även bestämma ljudets karaktär och varifrån ljudet kommer ifrån. Hörselorganet är uppbyggt av ytterörat med hörselgång, mellanörat med ledmekanism, innerörat se Figur 2.2 (Andersson, 1998)

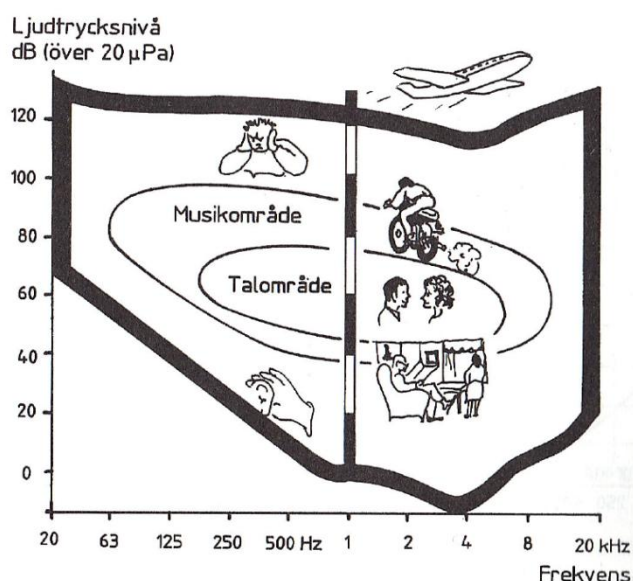


Figur 2.2 Örats uppbyggnad (Tamminen, 2012).

Tryckvariationerna som når örat förs via ytterörat och hörselgången fram till trumhinnan, där mellanörats ledsystem, hammaren, städet och stigbygeln, omvandlar vågorna till rörelse. Dessa överförs sedan som vibrationer till ovala fönstret och sedan vidare till vätskan i innerörat. I vätskan omvandlas ljudvågorna till rörelse. Därefter omvandlar hårcellerna i snäckan rörelsen till bioelektriska impulser. Det finns cirka 15 000 hårceller i örat och olika sorters ljud påverkar olika delar av hårcellsmassan. Nervimpulserna förs via nervtrådar till hjärnans olika omkopplingsstationer. (Andersson, 1998).

2.2.1 Örats hörförmåga

Unga människor utan hörselskador kan uppfatta ljud med frekvenser mellan 20 Hz upp till 20 000 Hz. Örats känslighetsområde ligger mellan 0-120 dB, se Figur 2.3 (Andersson, 1998).



Figur 2.3 Örats hörselgränser (Andersson, 1998).

Om ett öra träffas samtidigt av två eller fler ljud av olika styrka, så kommer eventuellt det starkare ljudet att "kväva" de svagare ljuden. Detta kallas för maskering (Andersson, 1998). Den mest märkbara effekten av buller på en arbetsplats är att det försämrar möjligheten att föra ett samtal på en normal ljudnivå. En allvarigare effekt av buller kan vara att möjligheten att höra varningssignaler försämrats (Johansson, 2002). Förskjutningen av den undre hörgränsen varierar beroende på om det maskerade ljudet utgörs av en ren ton eller av ett band med viss bredd. Örat tar hänsyn till de påverkade ljudens närhet på frekvensskalan. På grund av detta kommer buller som sprids över ett stort frekvensområde uppfattas som starkare än ett buller av samma energi som är fördelat över ett smalare frekvensområde. Det område, där detta kan uppstå, kallas "Kritiskt band" (Andersson, 1998).

Vanligtvis brukar äldre människors känslighet minska mer för höga toner än för låga, det vill säga att de har svårare att höra höga toner. Tonens frekvens påverkar hur väl det mänskliga örat uppfattar de svagaste tonerna. Hörsejtröskel kallas den lägsta ljudtrycksnivån som vid olika frekvenser ger upphov till hörsel förnimmelse. Örats

känslighet är beroende av ljudets frekvens. För att bestämma förändringen som sker så gjordes ett försök på personer i åldrarna 18-25 år. Under försöket fick försökspersonerna växelvis lyssna på två rena toner. Den ena frekvensen var 1000 Hz och den andra tonen var av en annan frekvens. Sedan justerades tonernas nivåer så att försökspersonerna uppfattade dem som jämnstarka. Dessa resultat ligger nu som underlag för örats känslighetskurva för rena toner.

Faktorer som påverkar möjligheten att uppfatta tal i en bullrig miljö:

- Sammanhängande meningar är lättare att höra än enstaka ord eller siffror.
- Om lyssnaren kan se talarens läppar förbättras uppfattningen.
- Vilken dialekt talaren har.
- Om hörselskydd används. Används hörselskydd av talaren vid en låg ljudnivå så ökar talaren röststyrkan något, däremot blir det motsatt effekt vid högre bullernivåer.
- Bullrets nivå och frekvensfördelning. Det blir till exempel en kraftig maskeringseffekt inom talområdet om bullret är starkt.
- Avstånd till talaren.

(Johansson, 2002)

2.3 Byggnadsakustiska begrepp

I detta avsnitt beskrivs olika akustiska begrepp som berörs i examensarbetet.

2.3.1 Bakgrundsljud

Ljudtrycksnivån som fås av till exempelvis installationer, trafikbuller och ventilationer samt andra bakomliggande ljudkällor, vid mätning i ett ”tyst” rum (SS-EN ISO 140-4, 1998).

2.3.2 Direktljud

Ljudtransmissionen mellan utrymmen kan ske genom direktljud vilket innebär att ljudet överförs rakt igenom väggar och bjälklag (Cementa AB, 2012).

2.3.3 Efterklangstid

Efterklangstid, T_{60} , är ett mått på den tid det tar för ljudtrycksnivån att sjunka 60 dB sedan ljudkällan stängts av. Efterklangstid bestäms bland annat av rummets volym, inredning, mängd ljudabsorbenter och deras placering (Andersson, 1998).

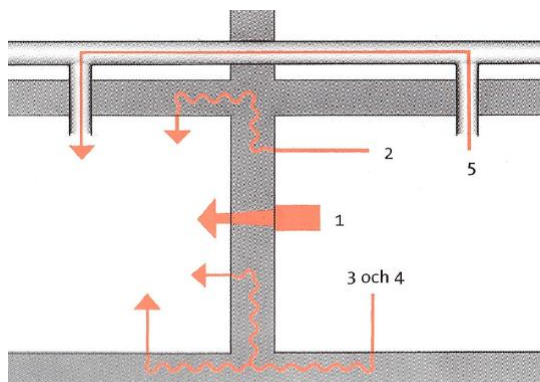
2.3.4 Egenfrekvens

Med egenfrekvens avses ofta den lägsta resonansfrekvensen för en balk eller en skiva. Resonanser infaller dock även för högre frekvenser. De beror av konstruktionens

tvärsnitt (vikt, styvhet), spännvidd, belastning samt inspänningsförhållanden mot angränsande konstruktioner (Svensk betong, 2012).

2.3.5 Flanktransmission

Flanktransmission innebär att ljudet tar en "omväg" till anslutande utrymme, se Figur 2.4, det vill säga att ljudet överförs genom till exempel anslutande väggar och bjälklag förbi den avskiljande konstruktionen till mottagarutrymmet. Med väl utformade knutpunkter kan flanktransmission minimeras. Ett dåligt exempel på när flanktransmission blir påtaglig är när lätta konstruktioner med låg ljudisolering går obrutna förbi en lägenhet eller anslutande konstruktion. (Gyproc saint-gobain, 2012).



Figur 2.4 Ljudöverföringsvägar i en byggnad (Johansson, 2002).

2.3.6 Koincidensfrekvens

Med detta menas den frekvens där böjvåglängden i en väggskiva överensstämmer med ljudvåglängden i luft. Vid koincidens minskar väggens luftljudisolerande förmåga (Svensk Byggtjänst, 1983).

2.3.7 Ljuddämpning

Ljuddämpning kan tillämpas både vid källan, på spridningsvägen eller vid mottagaren för att störningen ska minskas eller elimineras helt.

Genom att använda stomljudsisolering av installationer eller stegljuddämpande golvbeläggningar på bjälklagen kan bullret dämpas vid källan.

Även längs spridningsvägen kan bullret dämpas. Hur detta ska göras beror på konstruktionstypen och bullrets frekvenssammansättning. Effektivast dämpas lågfrekvent buller med tunga konstruktioner. Alltså ger enkelkonstruktioner av betong bättre ljudisolering vid låga frekvenser än lätta "dubbelkonstruktioner".

Genom att ljudet absorberas i rumsytornas material kan även ljudet dämpas hos mottagaren. För att hindra ljudutstrålningen ytterligare kan "enkelkonstruktioner" tilläggsisoleras. Tilläggsisolering av "dubbelkonstruktioner" kan ge en försämrad ljudisolering om den utförs felaktigt, detta på grund av att resonansfenomen kan uppstå (Cementa AB, 2012).

2.3.8 Luftljud

Ljudvågor som alstras och överförs direkt i luften kallas luftljud. Exempel på luftljud är tal och ljud från högtalare. När en konstruktion är otät kan luftläckage uppstå vilket är förödande för ljudisoleringen. Luftläckaget kan räknas vara försumbart vid ett korrekt utförande (Cementa AB, 2012).

2.3.9 Reduktionstal

Reduktionstalet, R , används som ett måttal för skiljekonstruktionens förmåga att reducera ljud som når via luften. För att få fram reduktionstalet mäts ljudnivåskillnaderna mellan mottagarrummet och sändarrummet, som sedan korrigeras med mottagarrummets ljudabsorptionsförmåga samt skiljekonstruktionens area. (Andersson, 1998).

2.3.10 Resonans

Resonans innebär att ett ljud eller en vibration förstärker sig själva. Oftast blir förstärkningen vid resonansen kraftig, därför skall vibrations- och bullerkällor undvikas vid resonansfrekvensen. Resonansen kan i vissa fall utnyttjas positivt för att isolera två system ifrån varandra genom att lägga resonansfrekvensen lägre än störfrekvensen från bullerkällan (Gyproc saint-gobain, 2012).

2.3.11 Stegljud

Stegljud är en av de vanligaste typerna av stomljud. Det uppstår vanligtvis i bostäder vid snabb gång, barnlek eller när möbler flyttas (Boverket, 2008).

2.3.12 Stomljud

Stomljud uppkommer genom att ljud alstras och transmitteras/överförs in i byggnadens konstruktioner i form av vibrationer. Stomljud kan till exempel uppkomma av vibrationer från fläktar och installationer. Den vanligaste typen av stomljud är stegljud dvs. ljud som uppkommer när människor går på ett golv (Cementa AB, 2012).

2.3.13 Överhörning

Överhörning kallas den del av den indirekta ljudtransmissionen som sker mellan utrymmen. Överhörning av ljudtransmission sker exempelvis via ventilationskanaler (Gyproc saint-gobain, 2012).

3 Betong

Betongkonstruktioner, eller tunga konstruktioner som de också kallas, dämpar lågfrekventa ljud med hjälp av sin vikt och styvhet. Betongkonstruktioner som utförs riktigt ger generellt sett en mycket god ljudisolering (Cementa AB, 2012).

Betongkonstruktioner hamnar ej heller i resonanstillstånd vid hörbara frekvenser (Cementa AB, 2012). Läs mer om hörbara frekvenser i Kapitel 2.2.1.

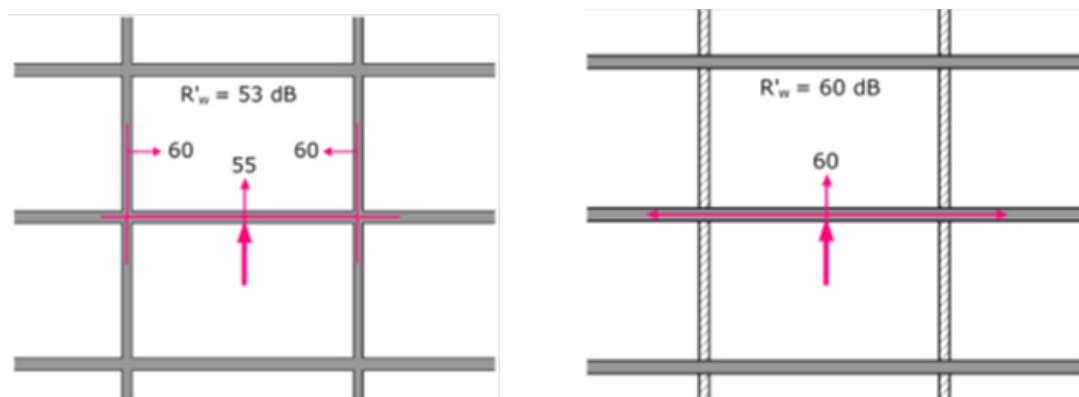
Byggnadsakustik är viktigt för att klara myndighetskrav samt att det ska vara en behaglig miljö att vistas i. De främsta faktorerna som bestämmer en byggnads ljudisolering är:

- byggnadens stomsystem
- mellanväggarnas konstruktion
- mellanbjälklagets konstruktion
- golvbeläggningen
- fasadens utformning och utförande
- rummens bredd, höjd och längd
- byggnadens djup och längd
- överhörning via installationer

(Svensk betong, 2012)

3.1 Betongkonstruktioner

Moderna betongkonstruktioner kan, i kombination med lämplig golvbeläggning, ge goda förutsättningar för bostäder att nå en hög ljudklass. Om betongbjälklag dessutom har stora spännvidder med ett gynnsamt förhållande mellan styvhet och massa ger det goda förutsättningar för vertikalt och horisontell ljudisolering. Se Figur 3.1. Stora spännvidder innebär att ljudisoleringen av ljudenergin blir fördelad på större ytor vilket ökar ljudisoleringen (Svensk betong, 2012).



Figur 3.1 En jämförelse mellan byggnader med betongväggar med korta spännvidder och en byggnad med lätta väggar med stora spännvidder (Svensk betong, 2012).

3.1.1 Risker med prefabricerade betongstommar

I hus med prefabricerad betongstomme är luftläckage genom otätheter och springor en kritisk faktor för ljudisoleringen. Vid tätningar mellan elementen är det viktigt att utfyllanden blir tillräcklig för att undvika luftläckage. För att säkerställa tät konstruktion kan en åtgärd vara att mjukfoga vinklarna mot anslutande väggar och bjälklag. Våningsplan, viloplan och trapplöp (trapphuset) ska utformas på sådant vis att dessa delar ej kommer i oavsiktlig styvkontakt med stommen. Vanligast sker detta genom att plan och trappor skyddas av fiberduk och gummibeklädnader. Det är också viktigt att betongbruk inte kortsluter öppna fogar vilket försämrar ljudisoleringen (Boverket, 2008).

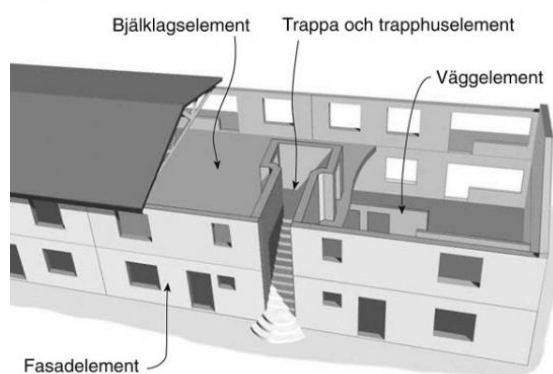
3.2 Prefabricerad grundstomme

Prefabricerade betongelement utgör stommen till flerbostadshusen som undersöks i examensarbetet. Med prefabricering går det snabbt och enkelt att montera stommen eftersom alla element är förtillverkade i fabrik, se Figur 3.2.

Grundstommen som undersöks i fältstudien utgörs av prefabricerade sandwichytterväggar med en bärande inre betongskiva, med isolering emellan och en yttre fasadskiva. Fasadskivan kan varieras med olika ytor och färger. Den inre betongskivan varierar i de byggnader som undersöks med en tjocklek från 110 mm till 150 mm. De bärande betonginnerväggarna är 200 mm tjocka och bjälklagen varierar i tjocklek mellan 230 mm till 250 mm.

Övriga betongelement, till exempel balkong, kan anpassas efter aktuell byggnad. Även förtillverkade trappor kan tillverkas och anpassas efter byggnaden.

Vid vissa typer av byggnader används betongpelare- och balksystem och i andra fall kan ett bärande väggsystem vara lämpligast eller en kombination av båda systemen. Val av stomsystem är helt beroende på byggnadstyp och utformning (UBAB Ulricehamns Betong AB, 2012).



Figur 3.2 Illustrationsbild med olika prefabricerade betongelement som utgör stommen.

4 Ljudisolering

Ljudisolering är ett samlingsnamn för luft- och stegljudsisolering. I detta kapitel beskrivs de två begreppen.

4.1 Luftljudsisolering

Luftljudsisolering är byggnadens (eller ett provobjekts, till exempel vägg eller bjälklag) förmåga att reducera luftburet ljud mellan två utrymmen. Luftljudisoleringen kan bestämmas i färdig byggnad eller i ett laboratorium. Mättalet benämns som reduktionstal och betecknas R . Reduktionstalet bestäms i 19 standardiserade frekvensband och av praktiska skäl begränsas alla dessa värden till ett sammanfattningsvärde något som benämns som vägt reduktionstal och betecknas R_w . Det vägda värdet jämförs sedan mot aktuellt ljudkrav (SS-EN ISO 717-1, 1996).

För att skilja på värden som är uppmätta i laboratorium eller i fält används primtecken på storheterna. När ett primtecken används på till exempel R' innebär det att värdet är uppmätt i fält. Oftast gäller att $R'_w < R_w$ då flanktransmission medför en sämre ljudisolering i fält jämfört med mätning i laboratorium (Boverket, 2008).

4.1.1 Mätning av luftljudsisoleringen

Mätning av luftljudsisolering i fält görs enligt standard SS-EN ISO 140-4:1998. Vid mätning av reduktionstalet placeras en eller flera högtalare i ett sändarrum som skapar en hög ljudtrycksnivå i form av ett vitt brus. I examensarbetet har en rundstrålande högtalare använts. Det krävs att den står i minst 2 olika positioner.



Figur 4.1 Rundstrålande högtalare och mikrofon som använts i fältmätningarna.

Det krävs minst 1 meters avstånd mellan den rundstrålande högtalaren och mikrofonpositionerna och minst 0,5 m mellan mikrofonpositionerna och rummgränserna. Figur 4.1 visar mikrofonen som använts i examensarbetet.

Ljudtrycksnivån i mottagarrummet bör vara minst 6 dB (men helst 10dB) över bakgrundsljudet i samma rum. Om bakgrundsljudet är högre görs korrigering enligt SS-EN 140-4.

Medelvärdet av ljudtrycksnivån mäts med hjälp av mätinstrument i både sändarrummet och mottagarrummet. Antingen används en enkel mikrofon som flyttas från position till position, eller genom att använda fixerade mikrofoner. En annan variant är att använda sig av en "svepande mikrofonrörelse". Det behövs minst 5 fasta mikrofon positioner och en svepande mikrofonrörelse. Minsta antalet mätningar när ljudkällan används för fasta positioner är 10 stycken. Minst antal mätningar då en svepande mikrofon används är två stycken. Tiden för mätningarna ska vara minst 6 sekunder för fasta positioner och minst 30 sekunder för en svepande rörelse. Vid mätning i utökat frekvensområde ned till om med 50 Hz krävs det att varje mätning sker i minst 15 sekunder. Mätningen genomförs i 1/3 oktav band dvs. 19 stycken standardiserade frekvensband mellan 50 till 3150 Hz för att det ska gå att jämföra de uppmätta värdena mot aktuella ljudkraven (SS-EN ISO 140-4, 1998).

Medelvärdet av ljudtrycksnivåerna bestäms enligt ekvation 4.1.

$$L = 10 \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10}\right) \quad (4.1)$$

där,

n är antal mätningar

L_j är den uppmätta lufttrycksnivån

Ljudtrycksnivån som uppmätts mellan rummen korrigeras därefter genom att bestämma mottagarrummets volym och efterklangstid samt skiljekonstruktionens area. På så sätt blir reduktionstalet oberoende av provobjektets area och mottagarrummets akustiska egenskaper (SS-EN ISO 140-4, 1998).

Efterklangstid definieras som den tid det tar för ljudet att sjunka 60 dB i varje frekvens.

Därefter bestäms reduktionstalet R' enligt följande:

$$R' = L_s - L_m + 10 \log \frac{S}{A} \text{ db} \quad (4.2)$$

$$A = \frac{0,16 V}{T}, \text{ Sabines formel} \quad (4.3)$$

där

R' – Reduktionstalet som beräknas i fält (dB)

L_s – Medelvärdet av ljudtrycksnivå i sändarrummet (dB)

L_m – Medelvärdet av ljudtrycksnivån i mottagarrummet (dB)

S – Skiljekonstruktionens yta/area (m^2)

A – Ekvivalenta absorptionsytan i mottagarrummet (m^2)

V – Mottagarrummets volym (m^3)

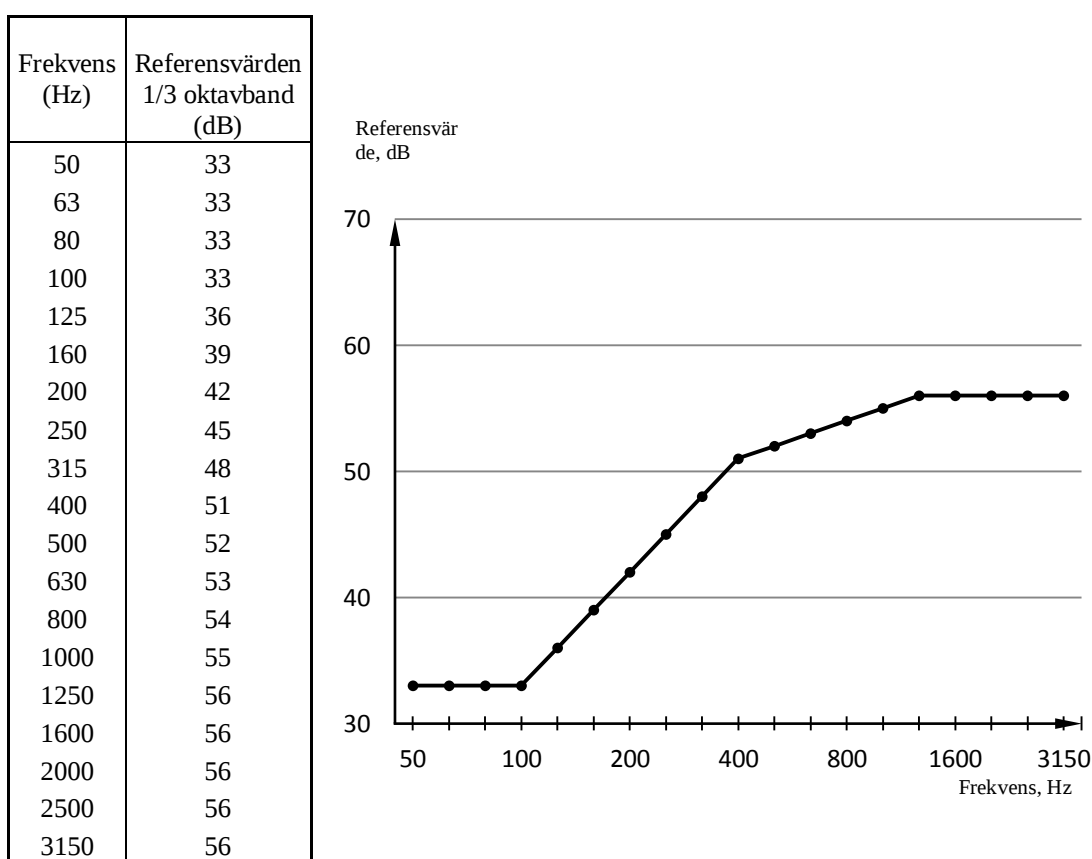
T – Efterklangstiden i mottagarrummet (s)

Kommentar: Vid förskjutna rum är skiljeytan, S , den som delas mellan de båda utrymmena. Om $S < 10 \text{ m}^2$ vid förskjutna skall detta redovisas i testrapporten. S bestäms då genom $\max(S, V/7,5)$ (SS-EN ISO 140-4, 1998).

4.1.2 Sammanfattningsvärde

Av praktiska skäl slås de uppmätta reduktionstalen, R' ihop till ett sammanfattningsvärde som benämns som ett vägt reduktionstal och betecknas som R'_w . Enligt EN-ISO 717-1 jämförs de uppmätta reduktionstalen mot en referenskurva, se Figur 4.2. Referenskurvan/referensvärdena flyttas i steg om 1 dB mot mätkurvan/mätvärdena tills summan av ogynnsamma avvikelser är så stor som möjligt men dock ej större än 32 dB för 1/3-oktavband. En ogynnsam avvikelse vid en speciell frekvens inträffar när resultatet av mätningar är mindre än referensvärdet. När kurvan har flyttats enligt ovan tillvägagångssätt erhålls R'_w som det värde i dB vid 500 Hz på referenskurvan (SS-EN ISO 717-1, 1996).

4.1.3 Referenskurva för luftljudsisolering



Figur 4.2 Referenskurvan för luftljudsisolering enligt SS-EN ISO 717-1.

4.1.4 Anpassningstermer

Kraven som ställs på luftljudsisoleringen enligt SS 25267:2004 uttrycks i vägt reduktionstal, R'_w , eller som vägt reduktionstal med en spektrumanpassningsterm,

$R'_w + C_{50-3150}$. Anpassningstermen lades till för att skärpa kravet på luftljudsisoleringen vid de låga frekvenserna. Där 50-3150 Hz avser frekvensområdet. Vanliga källor till basljud (lågfrekvent ljud) i bostäder är ljud från tv och stereo. Anpassningstermen, $C_{50-3150}$, är normalt -2 dB för tunga konstruktioner. För lätta konstruktioner blir anpassningstermen lägre, det vill säga ett lägre reduktionstal och därmed sämre ljudisoleringsförmåga för konstruktionen (Boverket, 2008).

4.2 Stegljudsisolering

Stegljudsisolering anger byggnadens förmåga att reducera stegljud det vill säga ljud som uppkommer till följd av steg eller slag/stötar mot byggnadsstomme i angränsade utrymme, se Figur 4.3 (SS-EN ISO 717-2, 1996). Till skillnad från luftljudsisolering som är högre ju större ljudnivåskillnaderna är mellan två utrymmen ger konstruktioner med hög stegljudsisolering en låg stegljudsnivå.

Mätetalet som anger stegljudsisolering benämns som normaliserad stegljudsnivå, L'_n eller vägd standardiserad stegljudsnivå, L'_{nT} . En begränsningsregel används för att korrigera uppmätta stegljudsnivåer för mottagarummets efterklangstid. När begränsningsregeln tillämpas på stegljudsnivån där volymen är större än 31 m³ för mottagarummet motsvaras den normaliserad stegljudsnivå av den standardiserad stegljudsnivå enligt SS-EN ISO 140-7. I SS 25267 används av praktiska skäl enbart L'_{nw} .

Dimensionering utan hänsyn till begränsningsregeln ger ett resultat på den säkra sidan dvs. högre ljudisolering. I stora rum ger lättnaden ca 3-5dB (SS-EN ISO 717-2, 1996). På samma sätt som reduktionstalet vägs stegljudsnivå ihop till ett sammanfattningsvärde något som benämns som vägt stegljudsnivå och betecknas L'_{nw} (Boverket, 2008).



Figur 4.3 Illustrationsbild

4.2.1 Mätning av stegljudsisolering

Mätning av stegljudsnivån i fält görs enligt standard SS-EN ISO 140-7:1998. Vid mätning av stegljudsnivån användes en stegljudsapparat som skall uppfylla samtliga krav enligt SS-EN ISO 140-6 och -7. För att påvisa att stegljudsapparaten uppfyller

kraven skall ett kalibreringsintyg från tillverkaren finnas. Stegljudsapparaten, se Figur 4.4, är en mekanisk konstruktion som är uppbyggd av sex cylindrar som, med en massa på 600 gram styck. Vid mätning faller cylindrarna mot golvet för att åstadkomma slag som skapar stegljud.



Figur 4.4 Standardiserad stegljudsapparat som använts i examensarbetet.

Vid mätning av stegljudsnivån krävs minst fyra positioner för stegljudsapparaten i sändarrummet och stegljudsapparaten måste stå minst 0,5 m från väggen. Mätningen skall påbörjas först när ljudnivån, som skapas av stegljudsapparaten, är jämn. För att fånga upp stegljudsnivån kan antingen minst sex fasta mikrofonpositioner användas eller så kan endast en enkel mikrofon, som flyttas mellan minst fyra positioner, användas. I examensarbetet användes en mikrofon, se Figur 4.1, som flyttades mellan fyra olika positioner. Mikrofonpositionerna måste vara minst 0,7 m från varandra och minst 0,5 m från väggen. Mätningen genomförs i 1/3 oktav band dvs. 19 stycken standardiserade frekvensband mellan 50 till 3150 Hz för att det ska gå att jämföra de uppmätta värdena mot aktuella ljudkraven (SS-EN ISO 140-7, 1998).

Medelvärdet av stegljudsnivåerna bestäms enligt ekvation 4.4.

$$L = 10 \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10}\right) \quad (4.4)$$

där,

L_j – uppmätt ljudtrycksnivå i alla positioner

n – antal mätningar

Ljudtrycksnivån som uppmätts mellan rummen korrigeras därefter genom att mottagarummets volym och efterklangstid bestäms. På så sätt blir reduktionstalet oberoende av provobjektets area och mottagarummets akustiska egenskaper (SS-EN ISO 140-7, 1998).

Den normaliserade ljudtrycksnivån, L'_n , bestäms enligt ekvation 4.5

$$L'_n = L + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (4.5)$$

$$A = \frac{0,16 V}{T} \quad (4.6)$$

där,

L_i – medelvärdet av stegljudsnivåerna (dB)

A – ekvivalent absorptions area (m^2)

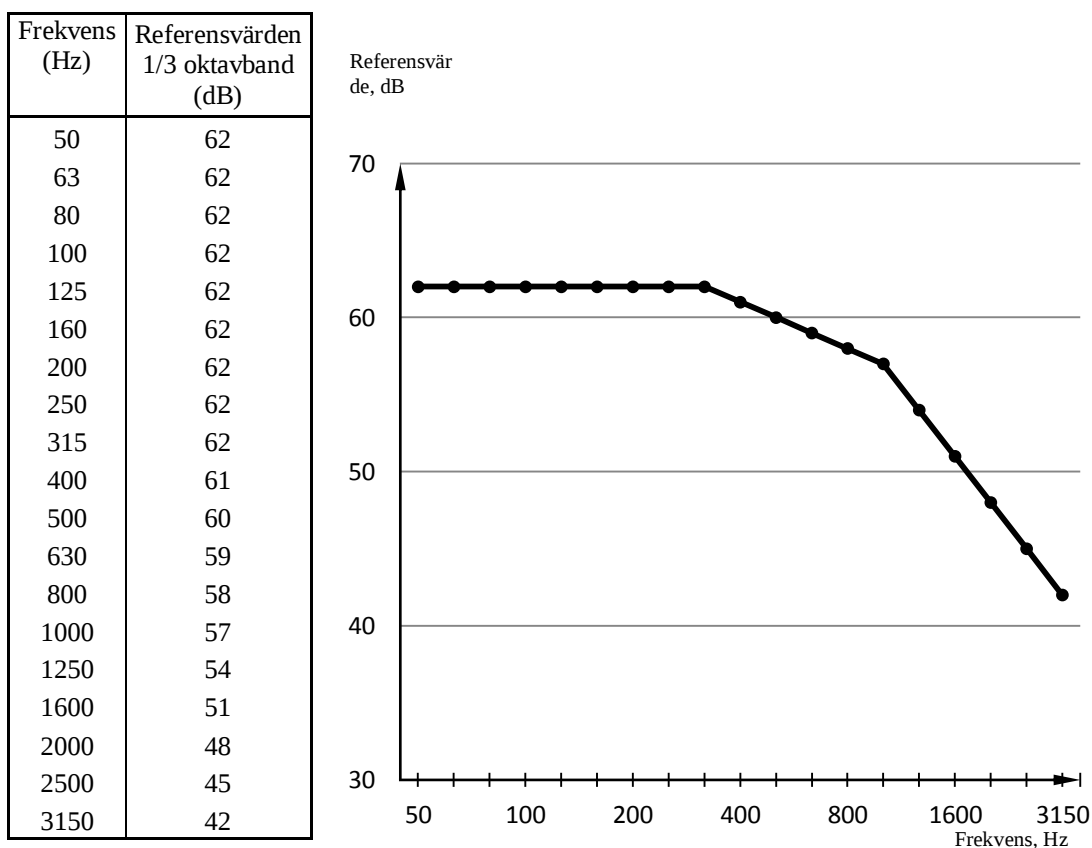
A_0 – $10 m^2$

V – volym i mottagarrummet (m^3)
(SS-EN ISO 140-7, 1998)

4.2.2 Sammanfattningsvärde

På samma sätt som med reduktionstalet R' vägs stegljudsnivåerna L'_n till ett sammanfattningsvärde. Detta värde benämns som en vägd normaliserad/standardiserad stegljudsnivå och betecknas som L'_{nw}/L'_{nTw} . Enligt EN-ISO 717-2 jämförs de uppmätta stegljudsnivåerna mot en referenskurva, se Figur 4.5. Referenskurvan/referensvärdena flyttas i steg om 1 dB mot mätkurvan/mätvärdena tills summan av ogynnsamma avvikelser är så stor som möjligt men dock ej större än 32 dB för 1/3-oktavband. En ogynnsam avvikelse vid en speciell frekvens inträffar när resultatet av mätningar är större än referensvärdet. Efter att flyttat kurvan enligt ovanstående tillvägagångssätt erhålls L'_{nw} som det värde i decibel vid 500 Hz på referenskurvan. Enbart referensvärdet i oktavbanden får jämföras med resultatet av mätningarna av de oktavband som används vid fältmätningen (SS-EN ISO 140-7, 1998).

4.2.3 Referenskurva för stegljudsisoleringen



Figur 4.5 Referenskurvan för stegljudsnivån enligt SS-EN ISO 717-2, 1996.

4.2.4 Anpassningstermer

Stegljud som alstras vid barnlek, snabb gång eller när möbler flyttas är vanligt förekommande i bostäder. En del bjälklag uppfyller de krav som ställs i SS 25267 på stegljudsnivåer med god marginal men de har istället otillräcklig isolering mot dunsar (lågfrekvent ljud). Genom att lägga till en så kallad spektrumanpassningsterm $C_{I,50-2500}$ på L'_{nw} utökas de krav som ställs vid just dessa lågfrekventa ljuden, enligt (SS-EN ISO 717-2, 1996). I termen $C_{I,50-2500}$ står I för Impact och 50-2500 avser frekvensområdet. Se uträkningsexempel av spektrumanpassningsterm i Bilaga 1. Spektrumanpassningstermen avrundas till närmaste heltal dB (SS-EN ISO 717-2, 1996).

5 Ljudklasser

Svensk standard, SS 25267 delar in ljudkraven för färdigställda bostäder i de fyra klasserna A, B, C och D. Det finns även en standard, SS 25268 som gäller för lokaler exempelvis vårdlokaler, hotell och kontor. De olika ljudkraven är valda så att det ska medföra stora kvalitetsskillnader mellan de fyra klasserna. A motsvarar den högst ställda ljudklassen och C motsvarar minimikraven enligt Boverkets föreskrifter. Det vill säga att ljudklass C, som medför att mer än 80% av de boende/brukarna inte känner sig störda av ljudet i byggnaden, bör tillämpas som lägsta krav vid nybyggnationer och ombyggnationer. Dock kan ljudklassen D tillämpas i undantagsfall av ombyggnationer, men då skall andra väsentliga kvaliteter tillvaratas. Ett följdkrav som då kan ställas är att rum för sömn och vila i första hand skall ges god ljudisolering, även vardagsrum som kan användas för sömn och vila bör inräknas. Ljudklass D godtas av byggnadsnämnden först efter en ljudutredning som visar på tekniska eller ekonomiska faktorer som medför att ljudklass C är orimligt att kräva. Om ljudklass D önskas bör en bedömning göras där ökningen av andel missnöjda boende/brukare kan medföra eventuella hyresnedsättningar.

Idag är ljudklass B ett vanligt mål för bostäder och lokaler, där boende/brukare normalt ger ljudmiljön ett bra betyg. Ljudklass B har betydligt bättre ljudförhållanden än ljudklass C. För att uppnå ljudklass A krävs mycket goda ljudförhållanden.

Vid val av ljudklass bör förväntningarna från boendena/brukarna värderas. Dock är detorealistiskt att dimensionera för 100 procent nöjda kunder.

Parametrarna som ingår i de olika ljudklasserna är:

- Efterklangstid och rumsakustik utformning
- Stegljudsisolering
- Luftljudsisolering
- Lufttrycksnivå från tekniska installationer inomhus
- Lufttrycksnivå utanför bostaden och på uteplats (till exempel från trafik, industrier)
- Isolering mot yttre ljudkällor

Eftersom det finns flera olika parametrar att ta hänsyn till vid ljudklassningen bör man inte ”hoppa” mellan ljudklasserna. Eftersom påföljden kan bli att vissa störande ljud, exempelvis vattenspolning, blir tydligare i en tystare byggnad än i en byggnad med jämnt buller. Därmed kan det bullret uppfattas som mer störande (Boverket, 2008).

Följande bör uppmärksammas i samtliga ljudklasser i bostäder:

- En vanlig störkälla inom och i nära anslutning till bostaden är lågfrekvent buller från fläktar och kompressorer. Därför erfordras normalt särskilda åtgärder för att isolera mot dessa stomljud och luftburna ljud.
- Riktlinjer och råd, 1978:5, mot fläkt- och kompressorbuller samt industribuller utomhus har givits av Statens Naturvårdsverk (SNV). SNV har även givit ut publikationerna 1975:6 och allmänna råd 1981:2 för buller från motorsport- och bilprovsningsbanor samt buller från skjutbanor.

- Beräkningsanvisningar av den sammanvägda ljudisoleringen mot yttre källor ges i SS_EN 12354-3. Den högsta noggrannheten ges normalt vid dimensionering i tredjeoktavband.

En ljudklassning skall alltid åtföljas av datumangivelse eftersom ljudklassningen kan ändras med tiden. Kringliggande trafik kan komma att ändras, åldrandet och slitaget på materialet i byggnaden kan medföra sämre ljudisolerandeegenskaper (Svensk standard SS 25267, 2004).

För att bestämma den slutliga ljudklassningen av byggnaden skall verifieringen ske enligt BBR utgåva 3, med antingen mätningar och beräkningar eller något av dessa två alternativ. Vid mätning i byggnaden skall medelvärdet av samtliga mätningar inom en bostad uppfylla det krävda värdet. Vissa värden för enskilda mätningar måste även uppfyllas (Boverket, 2007).

5.1 Ljudklass A

Tabell 5.1 Några ljudkrav i ljudklass A (Svensk standard SS 25267, 2004).

Utrymme	Lägsta luftljudsisolering (dB)		Högsta stegljudsnivå (dB)	
	R'_{w}	$R'_{w} + C_{50-3150}$	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{1, 50-2500}$
Från utrymme utanför bostad till utrymme i bostad	-	61	48	48
- dock från loftgång och trapphus/korridor eller gemensam balkong/altan/terrass till bostad	-	61	54	54

5.2 Ljudklass B

Tabell 5.2 Några ljudkrav i ljudklass B (Svensk standard SS 25267, 2004).

Utrymme	Lägsta luftljudsisolering (dB)		Högsta stegljudsnivå (dB)	
	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{I, 50-2500}$
Från utrymme utanför bostad till utrymme i bostad	-	57	52	52
- dock från loftgång och trapphus/korridor eller gemensam balkong/altan/terrass till bostad	-	57	58	58

5.3 Ljudklass C

Tabell 5.3 Några ljudkrav i ljudklass C (Svensk standard SS 25267, 2004).

Utrymme	Lägsta luftljudsisolering (dB)		Högsta stegljudsnivå (dB)	
	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{I, 50-2500}$
Från utrymme utanför bostad till utrymme i bostad	-	53	56	56
- dock från loftgång och trapphus/korridor eller gemensam balkong/altan/terrass till bostad	-	53	62	62

5.4 Ljudklass D

Tabell 5.4 Några ljudkrav i ljudklass D (Svensk standard SS 25267, 2004).

Utrymme	Lägsta luftljudsisolering (dB)		Högsta stegljudsnivå (dB)	
	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{I, 50-2500}$
Från utrymme utanför bostad till utrymme i bostad	49	-	60	-
- dock från loftgång och trapphus/korridor eller gemensam balkong/altan/terrass till bostad	49	-	66	-

5.5 Redovisning av ljudklassning

Redovisningen av ljudklassningen kan ske på två olika sätt enligt SS 25267:2004. I denna rapport använder vi dock inget av alternativen på grund av att alla ljudmätningar som krävs för att ljudklassa en hel byggnad ej har utförts.

I alternativ ett redovisas endast ett krav för hela byggnaden, det vill säga endast den lägsta klass som uppfyllts av samtliga konstruktioner. Alternativ två redovisar alla olika ljudkrav som byggnaden uppfyller.

6 Fältstudie

Fältstudien utfördes utav examensarbetare Tobias Engqvist och Jessica Eriksson. Mätningarna utfördes enligt SS-EN ISO 140-4/7/14. Mätningarna utfördes i tre olika flerbostadshus med prefabricerad betongstomme under perioden 1 mars till och med den 20 mars 2012.

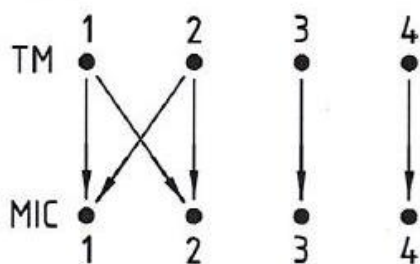
Mätutrustning som har används i examensarbetet redovisas i Tabell 6.1. Utrustningen är lånad från avdelningen teknisk akustik på Chalmers tekniska högskola.

Tabell 6.1 Typ av mätutrustning.

Utrustning	Modell	Serie nr.	Märke
Högtalare	Rundstrålande	-	Eltorn Kub 1
Mikrofon	2260	2124636	Brüel & Kjær
Stegljudsapparat	3204	250826	Brüel & Kjær
Förstärkare	310	-	NAD electronics LTD

Mätning av stegljudsisolering i fält

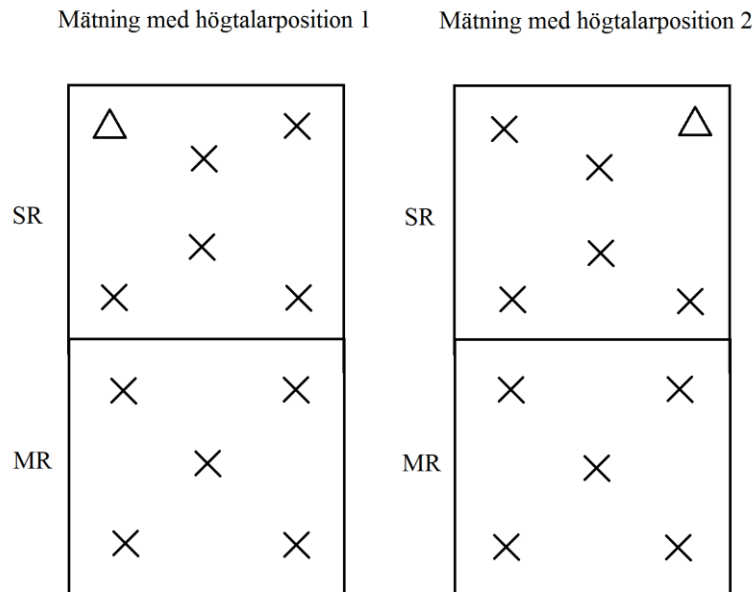
För att fastställa stegljudsnivå krävs minst sex stycken olika mätningar enligt ISO 140-7. I examensarbetet genomfördes samtliga stegljudsmätningar mellan de fyra olika stegljudsapparatpositionerna (TM) och de fyra olika fasta mikrofonpositionerna (MIC) enligt Figur 6.1 (SS-EN ISO 140-14, 2004).



Figur 6.1 Illustration som visar mätningarna mellan stegljudsapparaten och mikrofonen.

Mätning av luftljudsisolering i fält

För att fastställa luftljudsisoleringen i examensarbetet genomfördes 10 stycken mätningar i sändarrummet och 10 stycken mätningar i mottagarrummet. Fem stycken fasta mikrofonpositioner i de båda rummen samt två olika positioner för den rundstrålande högtalaren i sändarrummet, krävs för att ge 10 stycken mätningar.



Figur 6.2 Illustrationsbild över principiell placering vid horisontell mätning av luftljudsisolering. Där X symboliserar en fast mikrofonposition och Δ symboliserar den rundstrålande högtalaren. SR står för sändarrum och MR står för mottagarrum.

6.1 Flerbostadshus - Ellinor

Den första fältmätningen skedde kvällstid den 1 mars 2012 i en byggnad vid namn Ellinor, se Figur 6.3. Ellinor ligger i Eriksberg i Göteborg och är ett fjortonvåningshus med totalt 50 lägenheter. Ljudkravet som ställs på Ellinor är ljudklass B, det vill säga att ljudmiljön i byggnaden skall uppfylla en högre ljudklass än minimikravet enligt BBR.



Figur 6.3 Flerbostadshus, Ellinor i Göteborg.

6.1.1 Mätutförande Ellinor

Luftljudsisolering, Ellinor.

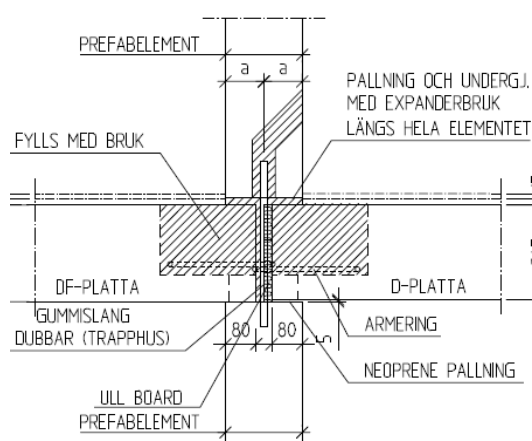
Luftljudsisoleringen mäts enligt följande:

- En horisontell mätning av luftljudsisolering mellan *trapphus* – *sovrums* i plan 3. Denna mätning avser också att ge en indikation om hur väl knutpunktsanslutning hanterar luftljudsisoleringen, se Figur 6.4, mellan utrymmena.
- En horisontell mätning mellan sovrums kunde ej genomföras då endast en lägenhet var komplett.

Stegljudsnivå, Ellinor.

Stegljudsnivå mäts enligt följande:

- En vertikal mätning av stegljudsnivå mellan två *sovrums* från plan 4 till plan 3, där betongbjälklaget är 250 mm tjockt. Golvbeläggningen på bjälklaget består av en 2 mm underlagsfoam och 14 mm ekparkett.
- En horisontell mätning av stegljudsnivå mellan *trapphus* – *sovrums*. Golvbeläggning saknas i trapphuset vid mättillfället. Golvbeläggning kommer utgöras av en stegljuddämpande matta med klinker. Denna mätning avser också att ge en indikation om hur väl knutpunktsanslutning, se Figur 6.4, hanterar stegljudsnivå mellan utrymmena.



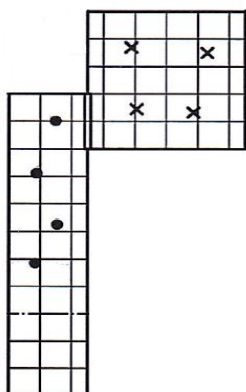
Figur 6.4

I Bilaga 2 finns en planritning över plan 3 Ellinor som visar vilka rum i byggnaden mätningarna skedde mellan.

Volymen i mottagarrummet (Sovrum) är $36,556 \text{ m}^3$ och skiljekonstruktionens area är $3,9 \text{ m}^2$. Efterklangstid mäts enligt SS-EN 140-4/-7. Läs mer i Bilaga 1 om hur beräkningsgången ser ut från uppmätt värde till de vägda storheterna L'_{nw} och R'_w .

Uppställning av mätutrustningen vid mätning av stegljudsnivån, Ellinor.

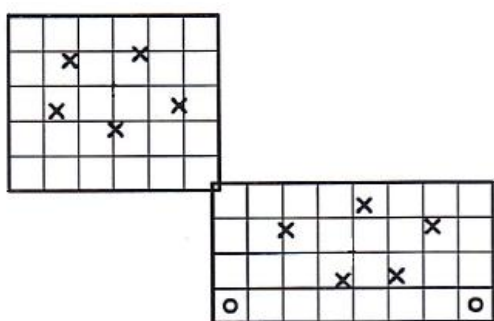
Vid mätning av stegljudsnivån mellan trapphuset och sovrummet i Ellinor användes ett uppställningssätt enligt SS-EN ISO 140-14. Placering av de fyra mikrofonpositionerna och de fyra stegljudsapparatspositionerna kan ses i Figur 6.5.



Figur 6.5 Uppställningssätt vid horisontell mätning av stegljudsnivån mellan trapphuset och sovrummet i Ellinor. x symboliserar en fast mikrofonposition i sovrummet och • symboliserar en positioner där stegljudsapparaten står i trapphuset (SS-EN ISO 140-14, 2004).

Uppställning av mätutrustningen vid mätning av luftljudsisolering, Ellinor.

Vid mätning av luftljudsisoleringen mellan trapphuset och sovrummet i Ellinor användes ett uppställningssätt enligt SS-EN ISO 140-14. Placering av de tio olika mikrofonpositionerna och de två högtalarpositionerna kan ses i Figur 6.6. Sammanlagt utfördes 20 mätningar.



Figur 6.6 Uppställningssätt vid horisontell mätning av luftljudsisoleringen mellan trapphuset och sovrummet i Ellinor. x symboliserar en fast mikrofonposition i sovrummet och ^o symboliserar en högtalarposition.

6.2 Flerbostadshus Brf. Sjöporten

Den andra fältmätningen skedde under eftermiddagen 12 mars 2012 i Mariestad. Byggnaden vid namn Sjöporten ska uppfylla ljudklass C, vilket är minimikravet enligt BBR.



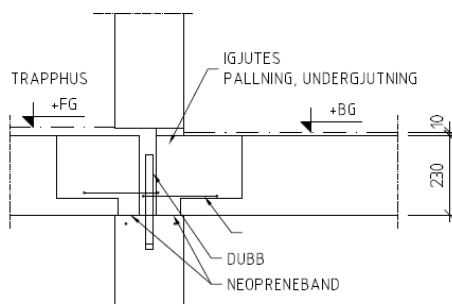
Figur 6.7 Flerbostadshuset, Sjöporten i Mariestad.

6.2.1 Mätutförande Sjöporten

Luftljudsisolering, Sjöporten.

Luftljudsisoleringen mäts enligt följande:

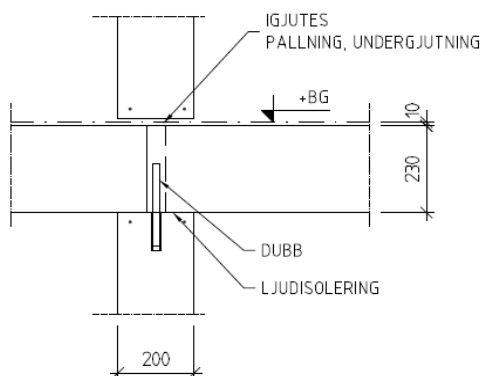
- En horisontell mätning av luftljudsisolering mellan *trapphus* – *sovrums* i plan 2. Denna mätning avser också att ge en indikation om hur väl knutpunktsanslutning hanterar luftljudsisoleringen, se Figur 6.8.



Figur 6.8 Princip koppling mellan homogena bjälklagsplattor vid trapphus.

- En horisontell luftljudsisoleringsmätning mellan *sovrums* – *sovrums*, där den lägenhetsskiljande betongväggen är 200 mm. Golvbeläggning mellan sovrums består av 2 mm underlagsfoam och 14 mm ekparkett. Mätning avser att ge

indikation hur bra den lägenhetsskiljande väggen, enligt Figur 6.9, reducerar luftljudet mellan utrymmena.



Figur 6.9 Princip koppling mellan homogena bjälklagsplattor på innervägg.

Stegljudsnivån, Sjöporten.

Stegljudsnivån mäts enligt följande:

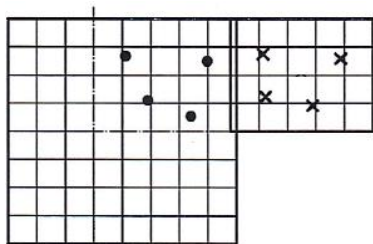
- En vertikal stegljudsnivåmätning mellan två *sovrums* från plan 3 och plan 2, där betongbjälklaget är 230 mm tjockt. Golvbeläggningen på bjälklaget består av en 2 mm underlagsfoam och 14 mm ekparkett.
- En horisontell stegljudsnivåmätning mellan *trapphus* och *sovrums* i plan 3. Denna mätning avser också att ge en indikation om hur väl knutpunktsanslutning hanterar stegljudsisoleringen, se Figur 6.8 ovan.

I Bilaga 3 finns en planlösning över plan 2 i Sjöporten som visar vilka rum mätningarna skedde mellan.

Volymen i mottagarrummet (sovrums) är $35,49 \text{ m}^3$ och skiljekonstruktionens area mellan trapphuset och sovrums är $2,3 \text{ m}^2$, medan skiljekonstruktionens area mellan de båda sovrums är $3,9 \text{ m}^2$. Efterklangstid mäts enligt SS-EN 140-4/-7.

Uppställning av mätutrustningen vid mätning av stegljudsnivån, Sjöporten.

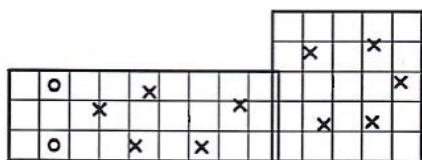
Vid mätning av stegljudsnivån mellan trapphus och sovrums i Sjöporten användes ett uppställningssätt enligt SS-EN ISO 140-14. Placering av de fyra mikrofonpositionerna och de fyra stegljudsapparatpositionerna kan ses i Figur 6.10.



Figur 6.10 Uppställningssätt vid horisontell mätning av stegljudsnivån mellan trapphuset och sovrummet i Sjöporten. x symboliserar en fast mikrofonposition i sovrummet och • symboliserar en positioner där stegljudsapparaten står i trapphuset (SS-EN ISO 140-14, 2004).

Uppställning av mätutrustningen vid mätning av luftljudsisolering, Sjöporten.

Vid mätning av luftljudsisoleringen mellan trapphuset och sovrummet i Sjöporten användes ett uppställningssätt enligt SS-EN ISO 140-14. Placering av de tio olika mikrofonpositionerna och de två högtalarpositionerna. kan ses i Figur 6.11. Sammanlagt 20 mätningar.



Figur 6.11 Uppställningssätt vid horisontell mätning av luftljudsisoleringen mellan trapphuset och sovrummet i Sjöporten. x symboliserar en fast mikrofonposition i sovrummet och ° symboliserar en högtalarposition.

6.3 Flerbostadshus Njord

Den tredje och sista fältmätningen skedde under eftermiddagen/kvällen i byggnaden Njord i Jönköping den 20 mars 2012. UBAB har gjort konstruktionsritningarna och byggnaden ska uppfylla ljudklasskravet C.



Figur 6.12 Flerbostadshus, Njord i Jönköping.

6.3.1 Mätutförande Njord

Luftljudsisolering, Njord.

Luftljudsisoleringen mäts enligt följande:

- En horisontell mätning av luftljudsisolering mellan *trapphus* och *sovrums* i plan 2. Denna mätning avser också att ge en indikation om hur väl knutpunktsanslutning hanterar luftljudsisoleringen, se Figur 6.8.
- En vertikal stegljudsnivåmätning mellan två *sovrums* från plan 3 och plan 2, där betongbjälklaget är 230 mm tjockt. Golvbeläggningen på bjälklaget består av en 2 mm underlagsfoam och 14 mm ekparkett.

Stegljudsnivå, Njord

Stegljudsnivå mäts enligt följande:

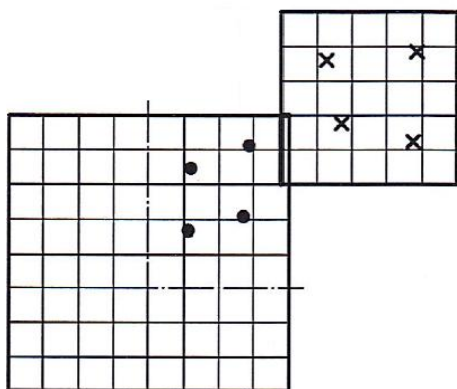
- En vertikal stegljudsnivåmätning mellan två *sovrums* från plan 3 och plan 2, där betongbjälklaget är 230 mm tjockt. Golvbeläggningen på bjälklaget består av en 2 mm underlagsfoam och 14 mm ekparkett.
- En horisontell stegljudsnivåmätning mellan *trapphus* – *sovrums*, där betongbjälklaget i sovrummet respektive trapphuset är 230 mm och den lägenhetsavskiljande betongväggen är 200 mm.

I Bilaga 4 finns en planritning över plan 2 i Njord med markeringar där de olika mätningarna har genomförts.

Skiljekonstruktionens area mellan de båda sovrummen är $3,9 \text{ m}^2$ och skiljekonstruktionens area mellan trapphuset och sovrummet är $5,0 \text{ m}^2$. Volymen av sovrummet som används som mottagarutrymme vid mätning av luftljudsisoleringen samt stegljudsnivå mellan två sovrum är $38,532 \text{ m}^3$, medan sovrummet som används vid mätning av stegljudsnivå mellan trapphuset och sovrummet är $37,518 \text{ m}^3$.

Uppställning av mätutrustningen vid mätning av stegljudsnivå, Njord.

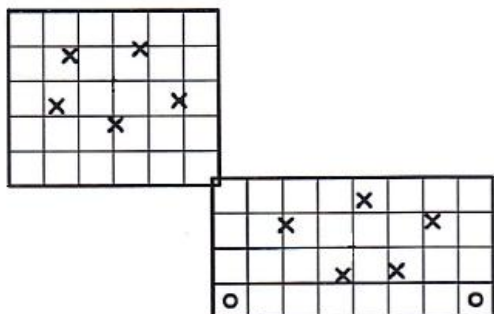
Vid mätningar av stegljudsnivå Njord användes ett uppställningssätt enligt SS-EN ISO 140-14. Placering av de fyra mikrofonpositionerna och de fyra stegljudsapparatspositionerna kan ses i Figur 6.13.



Figur 6.13 Uppställningssätt vid horisontell mätning av stegljudsnivån mellan trapphuset och sovrummet i Njord. x symboliserar en fast mikrofonposition i sovrummet och • symboliserar en positioner där stegljudsapparaten står i trapphuset (SS-EN ISO 140-14, 2004).

Uppställning av mätutrustningen vid mätning av luftljudsisolering, Njord.

Vid mätning av luftljudsisoleringen mellan trapphuset och sovrummet i Njord användes ett uppställningssätt enligt SS-EN ISO 140-14. Placering av de tio olika mikrofonpositionerna och de två högtalarpositionerna. kan ses i Figur 6.14. Sammanlagt 20 mätningar.



Figur 6.14 Uppställningssätt vid horisontell mätning av luftljudsisoleringen mellan trapphuset och sovrummet i Njord. x symboliserar en fast mikrofonposition i sovrummet och ^o symboliserar en högtalarposition.

7 Mätresultat

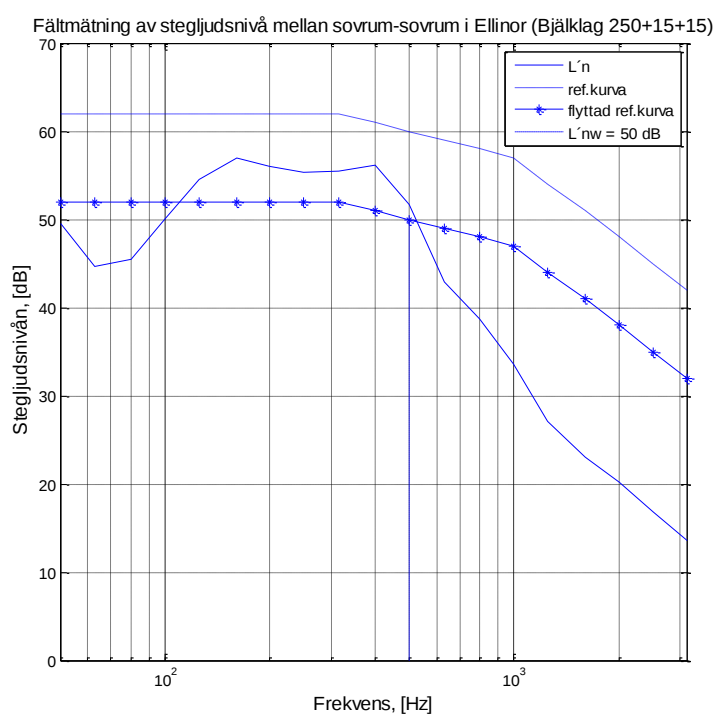
Mätresultatet presenteras med hjälp av diagram för att få en överblick över hur de vägda storheterna, reduktionstalet R'_w och stegljudsnivån L'_{nw} , varierar över hela frekvensområdet.

Referenskurvan är flyttad enligt SS-EN 717-1/2 vilket ger de vägda storheterna som jämförs mot ljudkraven. I slutet på varje avsnitt redovisas samtliga värden i respektive byggnad i tabell.

7.1 Ellinor

Frekvens (Hz)	L'_n (dB)
50	49,5
63	44,7
80	45,4
100	50,1
125	54,5
160	57
200	56
250	55,4
315	55,4
400	56,1
500	51,7
630	42,9
800	38,7
1000	33,5
1250	27
1600	23,1
2000	20,1
2500	16,8
3150	13,6

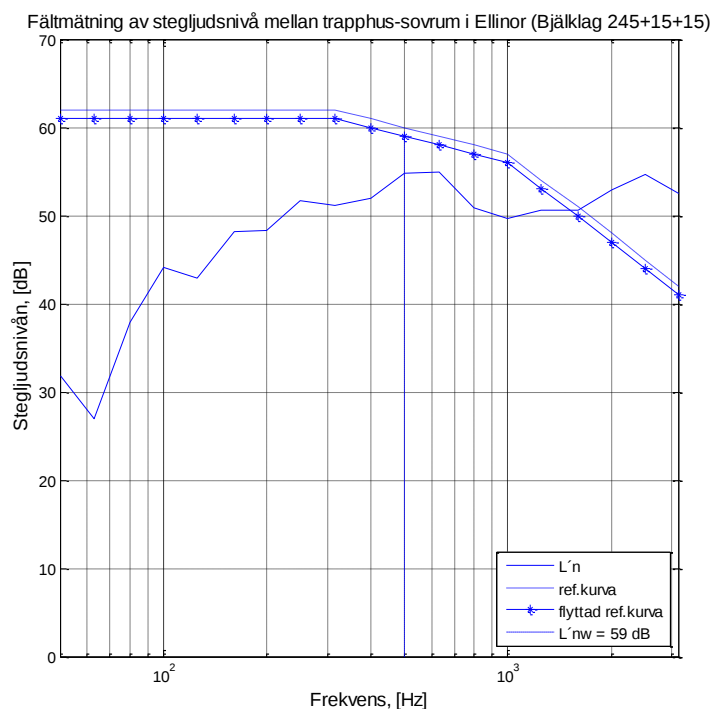
Volym (m3)	36,556
------------	--------



Figur 7.1 Diagram över den vertikala stegljudsnivån mellan sovrum-sovrum i Ellinor för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	L'n (dB)
50	31,8
63	27,0
80	37,9
100	44,1
125	42,9
160	48,2
200	48,3
250	51,7
315	51,1
400	52,0
500	54,8
630	55,0
800	50,9
1000	49,6
1250	50,6
1600	50,6
2000	52,9
2500	54,6
3150	52,4

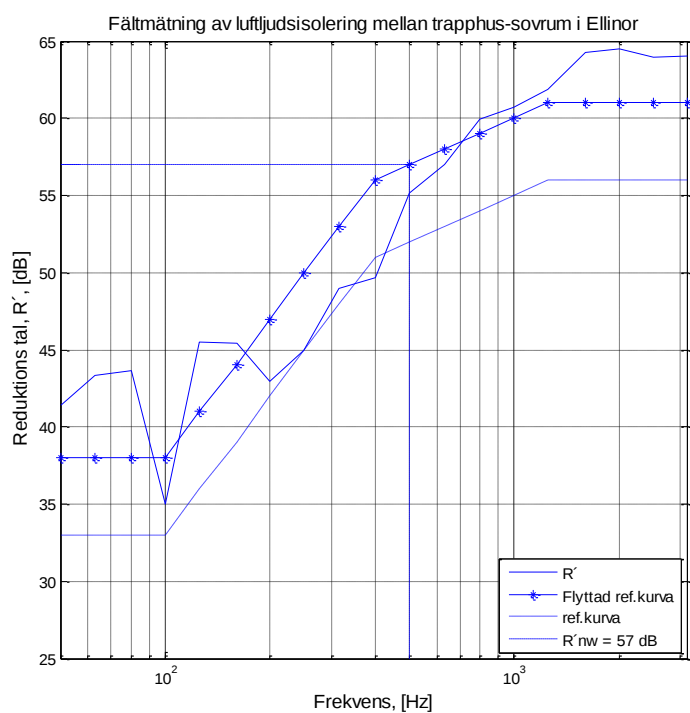
Volym (m ³)	36,556
-------------------------	--------



Figur 7.2 Diagram över den horisontella stegljudsnivån mellan trapphus-sovrum i Ellinor för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	R' (dB)
50	41,4
63	43,3
80	43,7
100	35,0
125	45,5
160	45,4
200	43,0
250	45,0
315	48,9
400	49,6
500	55,1
630	57,0
800	59,9
1000	60,7
1250	61,9
1600	64,3
2000	64,5
2500	63,9
3150	64,1

Volym (m ³)	36,556
Skiljearea (m ²)	10,14



Figur 7.3 Diagram över den horisontella luftljudsisoleringen mellan trapphus-sovrum i Ellinor för en tredjedels oktavband.

7.1.1 Sammanställning av mätresultat i Ellinor

I Tabell 7.1 redovisas de uppmätta storheterna R'_w och L'_{nw} med och utan anpassningsterm från fältmätningen i Ellinor.

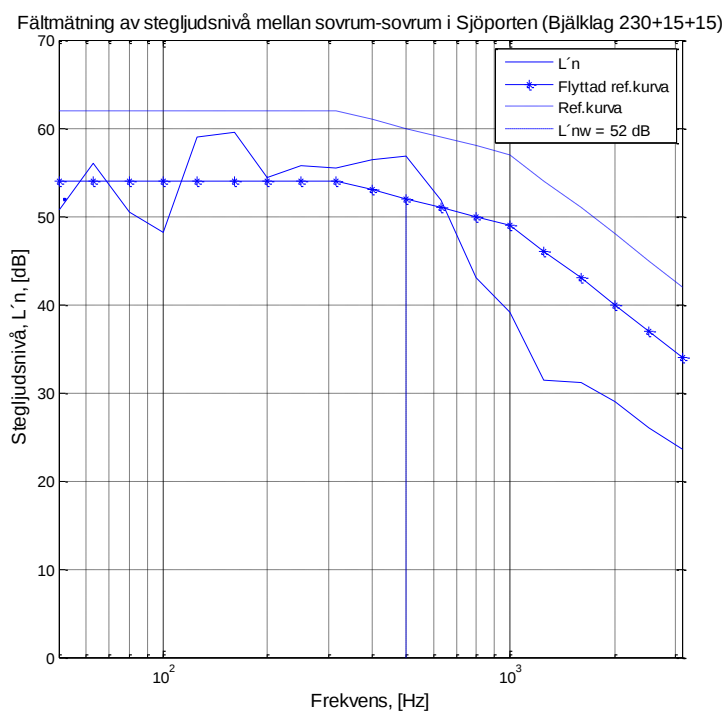
Tabell 7.1 Sammanställning av mätresultaten i Ellinor.

Utrymme	Mätresultat stegljudsnivå (dB)			Mätresultat luftljudsisolering (dB)		
	L'_{nw}	$C_{1,50-2500}$	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	R'_w	$C_{50-3150}$	$R'_w + C_{50-3150}$
Sovrum – sovrums vertikalt	50	-1	49	-	-	-
Trapphus – sovrums horisontalt	59	-11	48	57	-1	56

7.2 Sjöporten

Frekvens (Hz)	L'_n (dB)
50	50,7
63	55,9
80	50,5
100	48,1
125	59,0
160	59,5
200	54,4
250	55,7
315	55,5
400	56,4
500	56,8
630	51,9
800	43,0
1000	39,1
1250	31,4
1600	31,2
2000	29,0
2500	26,0
3150	23,6

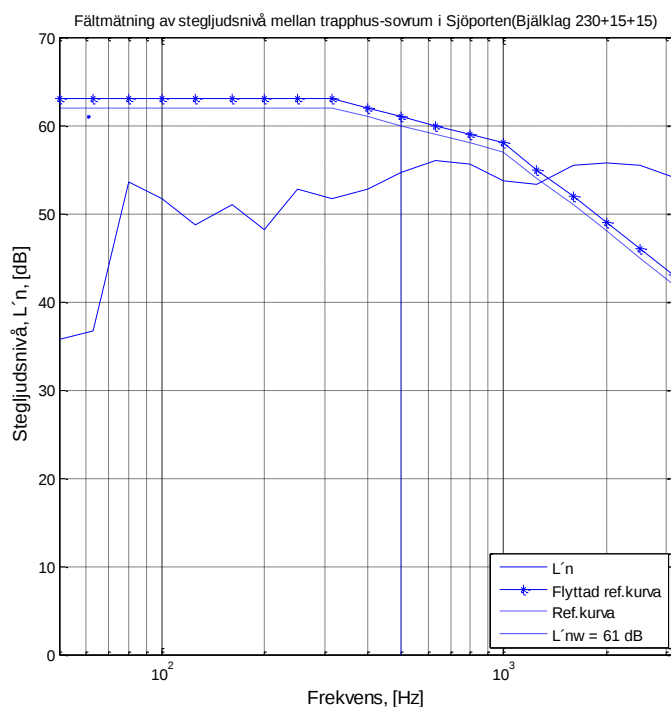
Volym (m3)	35,49
------------	-------



Figur 7.4 Diagram över den vertikala stegljudsnivån mellan sovrums-sovrums i Sjöporten för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	L'n (dB)
50	35,8
63	36,6
80	53,6
100	51,8
125	48,7
160	51,0
200	48,1
250	52,7
315	51,7
400	52,8
500	54,7
630	56,1
800	55,6
1000	53,7
1250	53,3
1600	55,5
2000	55,8
2500	55,5
3150	54,1

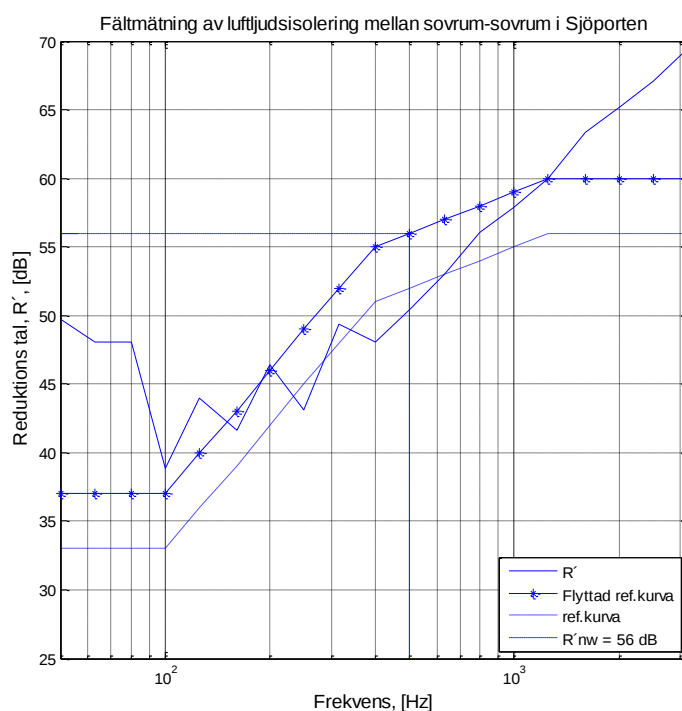
Volym (m ³)	35,49
-------------------------	-------



Figur 7.5 Diagram över den horisontella stegljudsnivån mellan trapphus-sovrums i Sjöporten för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	R' (dB)
50	49,7
63	48,0
80	48,1
100	38,8
125	44,0
160	41,7
200	46,4
250	43,1
315	49,4
400	48,1
500	50,4
630	53,0
800	56,1
1000	57,9
1250	59,9
1600	63,4
2000	65,2
2500	67,1
3150	69,4

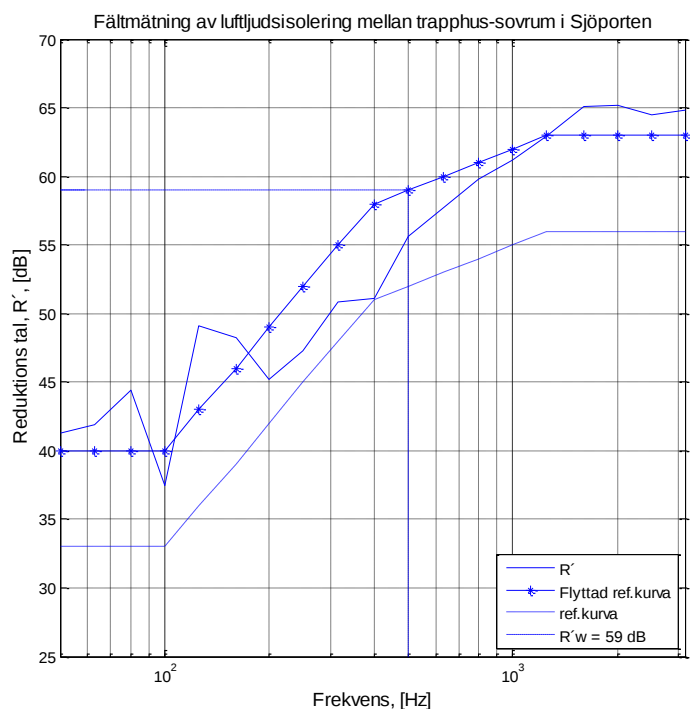
Volym (m ³)	35,49
Skiljearea (m ²)	10,14



Figur 7.6 Diagram över den horisontella luftljudsisoleringen mellan sovrums-sovrums i Sjöporten för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	R' (dB)
50	41,3
63	41,9
80	44,4
100	37,5
125	49,1
160	48,3
200	45,2
250	47,3
315	50,9
400	51,1
500	55,6
630	57,7
800	59,8
1000	61,2
1250	62,9
1600	65,0
2000	65,2
2500	64,5
3150	64,8

Volym (m ³)	35,49
Skiljearea (m ²)	5,98



Figur 7.7 Diagram över den horisontella luftljudsisoleringen mellan trapphus-sovrum i Sjöporten för en tredjedels oktavband.

7.2.1 Sammanställning av mätresultat i Sjöporten

I Tabell 7.2 redovisas de uppmätta storheterna R'_w och L'_{nw} med och utan anpassningsterm från fältmätningen i Sjöporten.

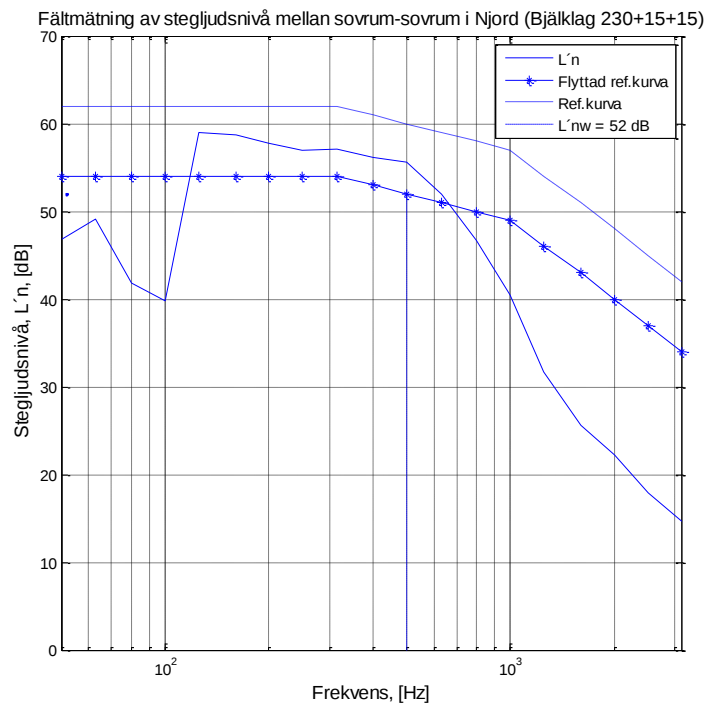
Tabell 7.2 Sammanställning av mätresultaten i Sjöporten.

Utrymme	Mätresultat stegljudsnivå (dB)			Mätresultat luftljudsisolering (dB)		
	L'_{nw}	$C_{1,50-2500}$	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	R'_w	$C_{50-3150}$	$R'_w + C_{50-3150}$
Sovrum – sovrum vertikalt	52	-1	51	-	-	-
Sovrum – sovrum horisontellt	-	-	-	56	-1	55
Trapphus – sovrum horisontellt	61	-10	51	59	-2	57

7.3 Njord

Frekvens (Hz)	L'n (dB)
50	46,8
63	49,1
80	41,8
100	39,8
125	58,9
160	58,7
200	57,8
250	57,0
315	57,1
400	56,2
500	55,6
630	51,9
800	46,6
1000	40,5
1250	31,6
1600	25,6
2000	22,2
2500	18,0
3150	14,7

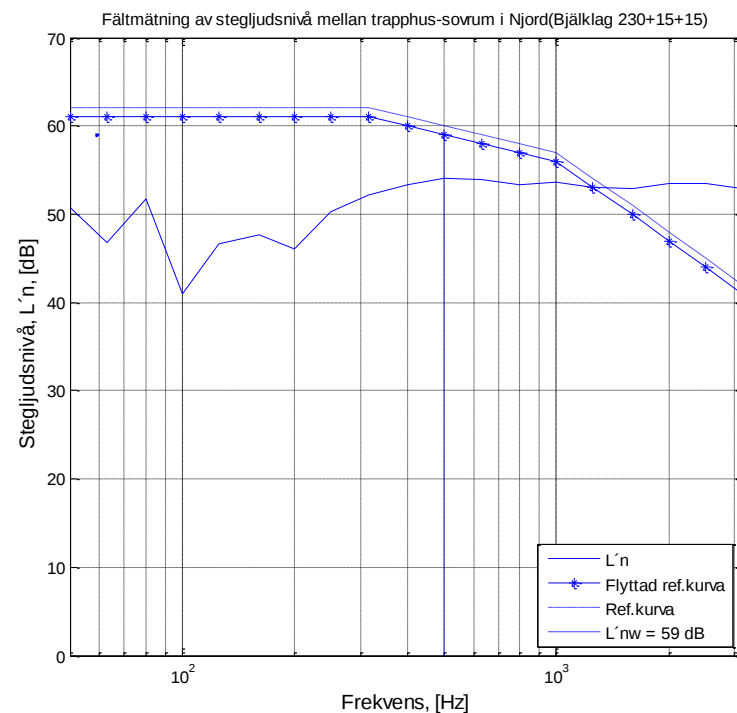
Volym (m ³)	38,532
-------------------------	--------



Figur 7.8 Diagram över den vertikala stegljudsnivån mellan sovrum-sovrum i Njord för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	L'n (dB)
50	50,7
63	46,7
80	51,7
100	41,0
125	46,6
160	47,6
200	46,0
250	50,2
315	52,2
400	53,3
500	54,0
630	53,8
800	53,3
1000	53,7
1250	53,0
1600	52,8
2000	53,4
2500	53,5
3150	53,0

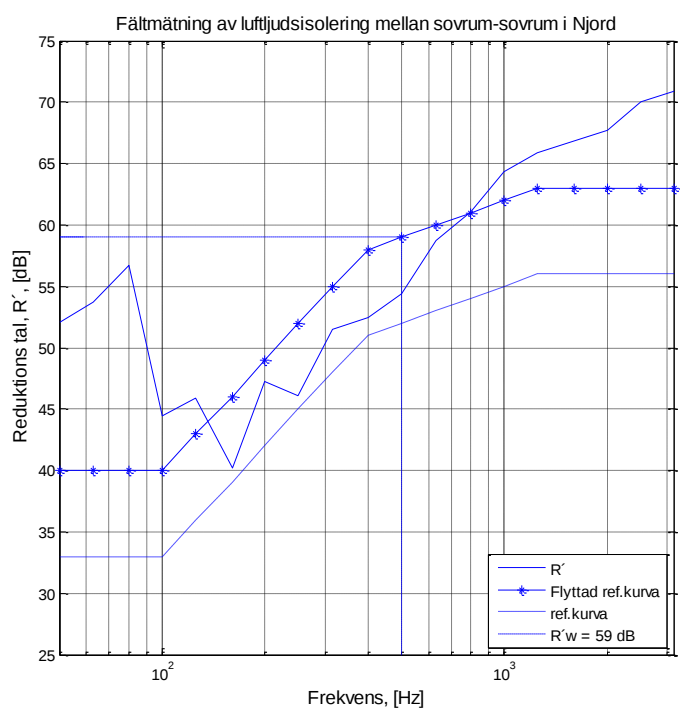
Volym (m ³)	37,518
-------------------------	--------



Figur 7.9 Diagram över den horisontella stegljudsnivån mellan trapphus-sovrum i Njord för en tredjedels oktavband.

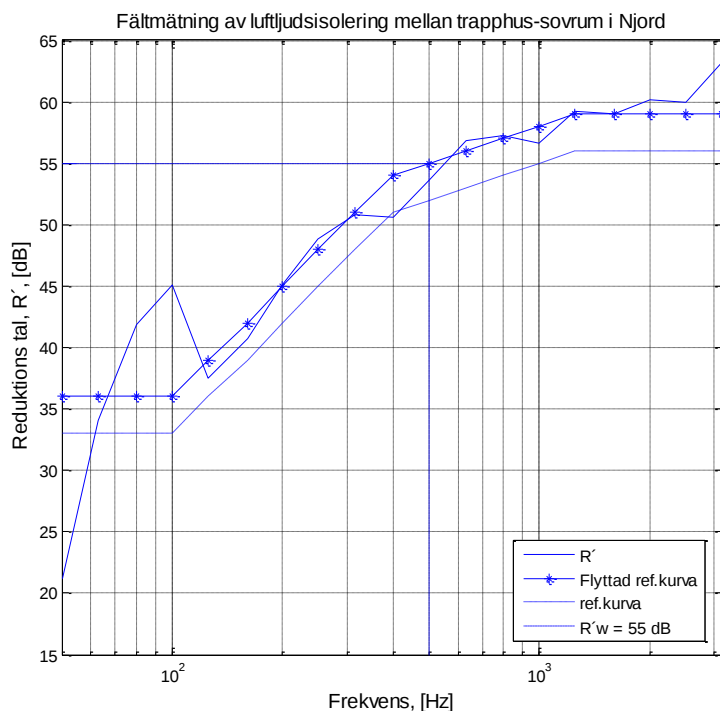
Frekvens (Hz)	R' (dB)
50	52,0
63	53,7
80	56,7
100	44,5
125	45,9
160	40,2
200	47,3
250	46,1
315	51,5
400	52,4
500	54,4
630	58,7
800	61,0
1000	64,3
1250	65,9
1600	66,9
2000	67,7
2500	70,0
3150	70,9

Volym (m ³)	38,532
Skiljearea (m ²)	10,14



Figur 7.10 Diagram över den horisontella luftljudsisoleringen mellan sovrums-sovrums i Njord för en tredjedels oktavband.

Frekvens (Hz)	R' (dB)
50	21.2
63	34.0
80	41.9
100	45.1
125	37.5
160	40.7
200	45.1
250	48.9
315	50.8
400	50.6
500	53.6
630	56.9
800	57.3
1000	56.7
1250	59.2
1600	59.0
2000	60.2
2500	60.0
3150	63.1
Volym (m ³)	37,518
Skiljearea (m ²)	5,0024



Figur 7.11 Diagram över den horisontella luftljudsisoleringen mellan trapphus-sovrum i Njord för en tredjedels oktavband.

7.3.1 Sammanställning av mätresultat i Njord

I Tabell 7.3 redovisas de uppmätta storheterna R'_w och L'_{nw} med och utan anpassningsterm från fältmätningen i Njord.

Tabell 7.3 Sammanställning av mätresultaten i Njord.

Utrymme	Mätresultat stegljudsnivå (dB)			Mätresultat luftljudsisolering (dB)		
	L'_{nw}	$C_{1,50-2500}$	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	R'_w	$C_{50-3150}$	$R'_w + C_{50-3150}$
Sovrum – sovrums vertikalt	52	-1	51	-	-	-
Sovrum – sovrums horisontellt	-	-	-	59	-2	57
Trapphus – sovrums horisontellt	59	-10	49	55	-1	54

7.4 Resultat jämfört mot ljudkraven

SS 25267 ställer krav på att den lägsta luftljudsisoleringen och den högsta stegljudsnivån med eller utan anpassningsterm (SS 25267, 2004).

7.4.1 Ellinor

Mätresultatet i Ellinor jämförs mot ljudkraven i ljudklass B i Tabell 7.4 för luftljudsisoleringen och Tabell 7.5 för stegljudsnivån.

Tabell 7.4 Jämförelse mellan luftljudsisoleringen i Ellinor och kraven i ljudklass B.

Utrymme	Mätresultat Luftljudsisolering (dB)		Ljudklass B Luftljudsisolering (dB)		Uppfyller krav
	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	
Trapphus – sovrums (horisontellt)	57	56	–*	57	EJ OK
Anm. *	Krav finns ej, utan då gäller storhet med anpassningsterm.				

Tabell 7.5 Jämförelse mellan stegljudsnivån i Ellinor och kraven i ljudklass B.

Utrymme	Mätresultat Stegljudsnivå (dB)		Ljudklass B Stegljudsnivå (dB)		Uppfyller krav
	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	
Sovrum – sovrums (vertikalt)	50	49	52	52	OK
Trapphus – sovrums (horisontellt)	59	48	58	58	EJ OK

7.4.2 Sjöporten

Mätresultatet i Sjöporten jämförs mot ljudkraven i ljudklass C i Tabell 7.6 för luftljudsisoleringen och Tabell 7.7 för stegljudsnivån.

Tabell 7.6 Jämförelse mellan luftljudsisoleringen i Sjöporten och kraven i ljudklass C.

Utrymme	Mätresultat Luftljudsisolering (dB)		Ljudklass C Luftljudsisolering (dB)		Uppfyller krav
	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	
Sovrum – sovrums (horisontellt)	56	55	-*	53	OK
Trapphus – sovrums (horisontellt)	59	57	-*	53	OK
Anm. *	Krav finns ej, utan då gäller storhet med anpassningsterm.				

Tabell 7.7 Jämförelse mellan stegljudsnivån i Sjöporten och kraven i ljudklass C.

Utrymme	Mätresultat Stegljudsnivå (dB)		Ljudklass C Stegljudsnivå (dB)		Uppfyller krav
	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	L'_{nw}	$L'_{nw} + C_{1,50-2500}$	
Sovrum – sovrums (vertikalt)	52	51	56	56	OK
Trapphus – sovrums (horisontellt)	61	51	62	62	OK

7.4.3 Njord

Mätresultatet i Njord jämförs mot ljudkraven i ljudklass C i Tabell 7.8 för luftljudsisoleringen och Tabell 7.9 för stegljudsnivån.

Tabell 7.8 Jämförelse mellan luftljudsisoleringen i Njord och kraven i ljudklass C.

Utrymme	Mätresultat		Ljudklass C		Uppfyller krav
	Luftljudsisolering (dB)		Luftljudsisolering (dB)		
	R' _w	R' _w + C ₅₀₋₃₁₅₀	R' _w	R' _w + C ₅₀₋₃₁₅₀	R' _w + C ₅₀₋₃₁₅₀
Sovrum – sovrums (horisontellt)	59	57	-*	53	OK
Trapphus – sovrums (horisontellt)	55	54	-*	53	OK
Anm. *	Krav finns ej, utan då gäller storhet med anpassningsterm.				

Tabell 7.9 Jämförelse mellan stegljudsnivån i Njord och kraven i ljudklass C.

Utrymme	Mätresultat Stegljudsnivå (dB)		Ljudklass C Stegljudsnivå (dB)		Uppfyller krav
	L' _{nw}	L' _{nw} + C _{L,50-2500}	L' _{nw}	L' _{nw} + C _{L,50-2500}	L' _{nw} / L' _{nw} + C _{L,50-2500}
Sovrum – sovrums (vertikalt)	52	51	56	56	OK
Trapphus – sovrums (horisontellt)	59	49	62	62	OK

8 Bastian

Kort om Bastian

Luft- och stegljudsisolering beräknas i mjukvaran Bastian enligt SS-EN 12354- 1-3. Bastian är godkänt att använda enligt SS 25267 för att bestämma ljudklassningen i en byggnad. I detta examensarbete används Bastian huvudsakligen som ett hjälpmedel för att ge en indikation om hur de simulerade värdena stämmer med fältmätningen samt att de ger en grundläggande förståelse hur ljudtransmissionen sker mellan utrymmena. Ljudberäkningarna enligt SS-EN 12354 är genomförda utan byggnadsakustik erfarenhet i programvaran. Dock finns en litteraturstudie och praktiska övningsexempel som bakgrund.

Reduktionstal och stegljudsnivå

När indata matats in i Bastian fås resultatet av reduktionstalet och stegljudsnivån. De kan fås med olika vägda sammanfattningsvärden. Reduktionstalet kan presenteras som vägd, normaliserad eller standardiserad. Stegljudsnivån kan redovisas som vägd eller standardiserad. I Bastian redovisas även reduktionstal respektive stegljudsnivå för varje element i den sammansatta konstruktionen. Även den andel ljudenergi i procent som går via varje element redovisas. Utifrån detta finns möjlighet att se om något elements ljudisolering måste åtgärdas och om problem med flanktransmission förekommer. Om skiljeelementets reduktionstal är mer än tre decibel högre än vad det vägda reduktionstalet är finns det risk för flanktransmission.

Byggnadselement

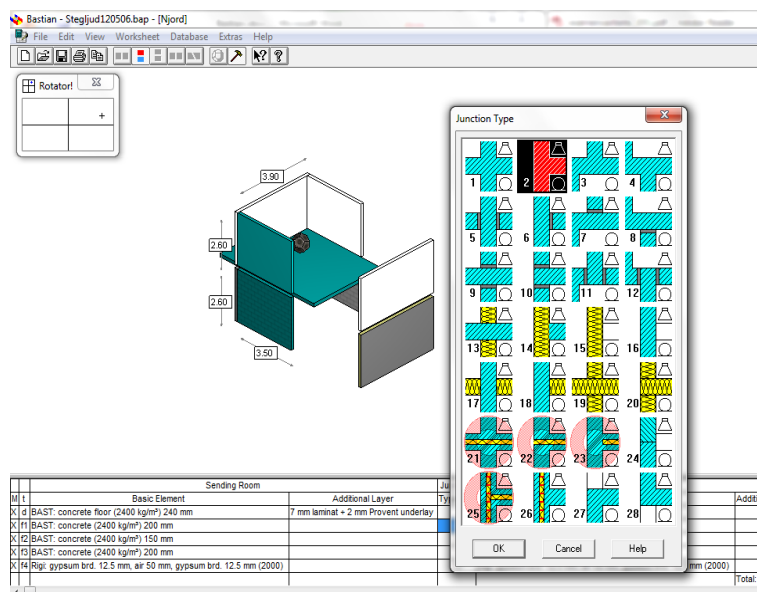
I Bastian finns en europeisk element - databas bestående av ca 1600 byggnadselement av olika karaktärer:

- Bas element -golv, tak och väggar
- Beläggningsmaterial på golv, tak och väggar
- Insatta element -dörrar och fönster
- Små element -ventilationsluckor m.m.
- Ljudkällor

Om element saknas i databasen kan egna element läggas in. När ett nytt väggelement ska läggas in i databasen behövs värden för luftljudsreduktion i varje tredjedelsoktav, ytvikten, den kritiska frekvensen, interna förluster och tjockleken på elementet. Vid införing av ett nytt bjälklag behövs samma parametrar och stegljudsnivån i varje 1/3-oktav. Även beläggningsmaterial som parkett kan läggas in i databasen genom att föra in luftljuds- och stegljudsförbättringen för golvbeläggningen.

Behandling i Bastian

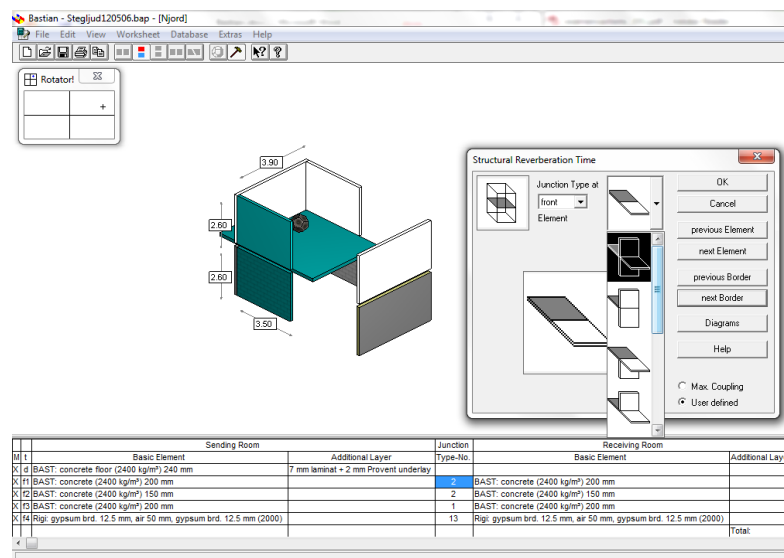
Rummen simuleras genom att bestämma rummens längd, bredd och höjd. Kopplingarna mellan de olika elementen kan antingen göras styva 1, 2, 3, 4 eller elastiska 5, 6, 7, 8 enligt Figur 8.1. Eftersom det är svårt att avgöra om sammankopplingarna är styva eller flexibla i konstruktionen genomförs beräkningarna som styva.



Figur 8.1 Visar vilka knutpunkter som kan väljas mellan element i Bastian.

Sammankoppling mellan homogena element

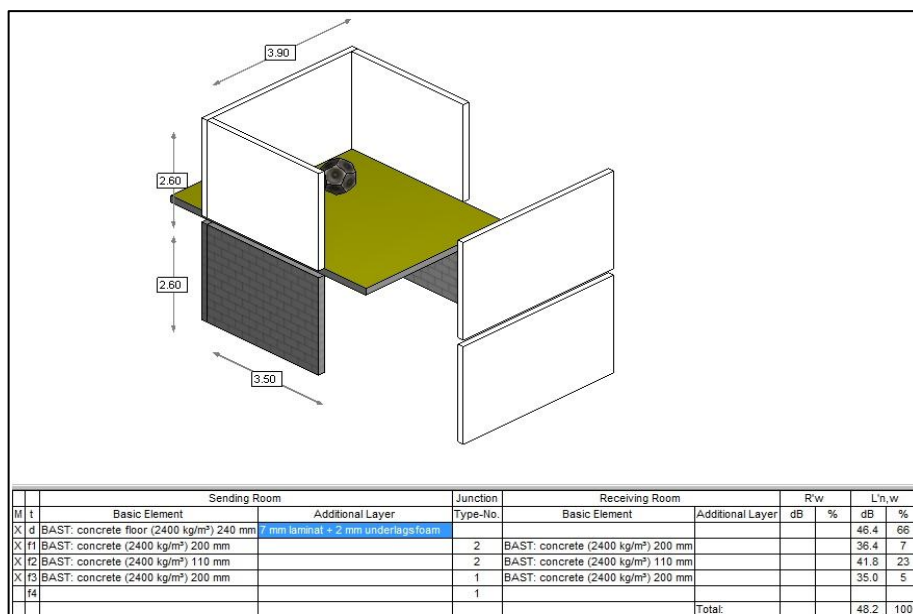
I Bastian väljs sammankopplingen mellan homogena element i Structural Reverberation Time, efterklangstid. Eftersom både golv, tak och väggar är homogena ska kopplingarna göras för de element åt alla håll de angränsar till andra rum i byggnaden. Kopplingarna kan väljas enligt Figur 8.2.



Figur 8.2 Visar hur olika sammankopplingar sker av homogena element mellan andra rum i byggnaden.

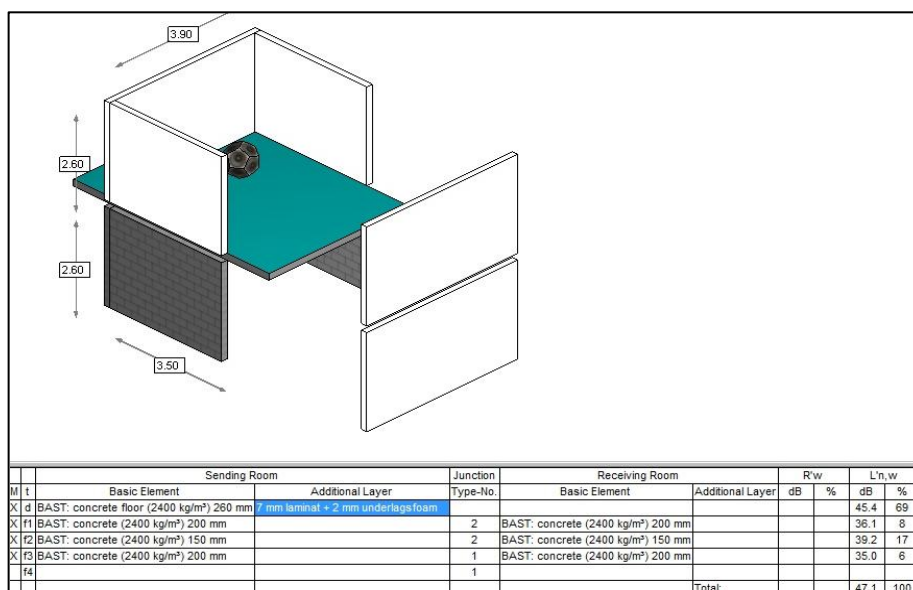
Resultat

De beräkningar som genomförts i Bastian presenteras nedan enligt Figur 8.3, 8.4 och 8.5. Eftersom grundstommen är densamma i Njord och Sjöporten har en ljudberäkning genomförts utifrån den vertikala stegljudsnivån med inställningar enligt Figur 8.3.



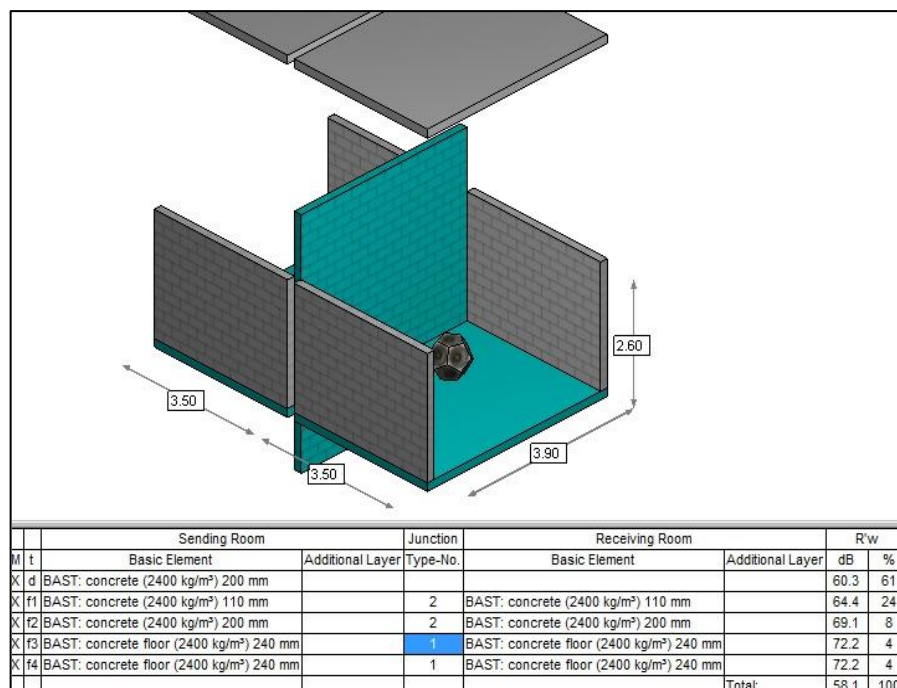
Figur 8.3 Ljudberäkning avser vertikal stegljudsnivån med konstruktionen i Sjöporten och Njord.

Stegljudsnivån med anpassningsterm: $L'_{nw} + C_{150-2500}$ ger 50 dB.



Figur 8.4 Ljudberäkning avser vertikal stegljudsnivån med konstruktionen i Ellinor.

Stegljudsnivån med anpassningsterm: $L'_{nw} + C_{150-2500}$ ger 49 dB.



Figur 8.5 Ljudberäkningen avser horisontell luftljudsisolering med konstruktionen i Sjöporten och Njord.

Luftljudsisolering med anpassningsterm: $R'_w + C_{50-3150}$ ger 55 dB.

Analys

Beräkningarna av den vertikala stegljudsnivån visar att konstruktionen i Ellinor ger en lägre stegljudsnivå än konstruktionen i Sjöporten och Njord, vilket även resultatet i fältstudien visar. Beräkningen av den horisontella luftljudsisoleringen ger ett resultat som visar att de uppmätta resultatet i fält verkar rimliga då ljudklass C uppfylls i både beräkningar och i fält.

Viktigt att tänka på är att det finns oerhört många faktorer som spelar in på de beräknade värdena och det uppmätta. Som till exempel tas enbart den inmatade data med vid beräkning och i verkligheten finns det fler aspekter att ta hänsyn till bland annat luftläckage som kan uppkomma vid dåligt utförande.

9 Analys

I detta kapitel analyseras mätresultaten utifrån fältstudien med de ljudkrav som ställs enligt SS 25267.

9.1 Ellinor

Den *vertikala stegljudsnivån i fält* ger ett resultat som är två decibel lägre än den högsta tillåtna stegljudsnivån enligt ljudklass B i SS 25267, vilket innebär att ljudkravet uppfylls. Även de ljudberäkningarna som genomförts enligt SS-EN 12354 indikerar ett lågt värde på stegljudsnivån, vilket också uppfyller ljudkravet i klass B.

Den *horisontella stegljudsnivån i fält mellan trapphus och sovrums* ger ett resultat som är 2 decibel högre än den högsta tillåtna stegljudsnivån enligt ljudklass B i SS 25267, vilket innebär att kravet ej uppfylls. Hänsyn måste tas till att trapphuset ej var färdigställt då bland annat golvbeläggning saknades. Resultatet ger ändå en mycket god indikation att med lämplig golvbeläggning enligt SS 25267 att ljudkravet kommer uppfyllas.

I Ellinor genomfördes ej en *horisontell mätning av luftljudsisoleringen i fält mellan två lägenheter* eftersom endast en lägenhet var helt färdigställd.

Den *horisontella luftljudsisoleringen i fält mellan trapphus och sovrums* ger ett resultat som är 1 decibel lägre än den lägsta tillåtna luftljudsisoleringen enligt ljudklass B i SS25267. Vilket innebär att kravet ej uppfylls. Resultatet ger ändå en mycket god indikation att kravet i ljudklass B kommer uppfyllas då trapphuset är färdigställt.

9.2 Sjöporten

Den *vertikala stegljudsnivån i fält* ger ett resultat som är 4 decibel lägre än den högsta tillåtna stegljudsnivån enligt ljudklass C i SS 25267, vilket innebär att kravet uppfylls. Resultatet uppfyller även kravet för ljudklass B, dock utan marginal.

Den *horisontella stegljudsnivån mellan trapphus och sovrums* ger ett resultat som är 1 decibel lägre än den högsta tillåtna stegljudsnivån enligt ljudklass C i SS 25267. Vilket innebär att kravet uppfylls.

Den *horisontella luftljudsisoleringen i fält mellan två lägenheter* ger ett resultat som är 2 decibel högre än den lägsta tillåtna luftljudsisoleringen enligt ljudklass C i SS25267, vilket innebär att kravet uppfylls.

Den *horisontella luftljudsisoleringen i fält mellan trapphus och sovrums* ger ett resultat som är högre än den lägsta tillåtna luftljudsisoleringen enligt ljudklass C i SS25267, vilket innebär att kravet uppfylls. Resultatet uppfyller även kravet för ljudklass B, dock utan marginal.

9.3 Njord

Den *vertikala stegljudsnivån i fält* ger ett resultat som är 4 decibel lägre än den högsta tillåtna stegljudsnivån enligt ljudklass C i SS 25267, vilket innebär att kravet uppfylls. Resultatet uppfyller även kravet för ljudklass B, dock utan marginal.

Den *horisontella stegljudsnivån i fält mellan trapphus och sovrum* ger ett resultat som är 3 decibel lägre än den högsta tillåtna stegljudsnivån enligt ljudklass C i SS 25267, vilket innebär att kravet uppfylls.

Den *horisontella luftljudsisoleringen mellan sovrummen* ger ett resultat som är 4 decibel högre än den lägsta tillåtna luftljudsisoleringen enligt ljudklass C i SS25267, vilket innebär att kravet uppfylls. Resultatet uppfyller även kravet för ljudklass B, dock utan marginal.

Den *horisontella luftljudsisoleringen mellan trapphus och sovrum* ger ett resultat som är en decibel högre än den lägsta tillåtna luftljudsisoleringen enligt ljudklass C i SS25267, vilket innebär att kravet uppfylls.

10 Diskussion

Den största problematiken i examensarbetet är att vi inte tidigare har någon byggnadsakustisk erfarenhet. Detta har inneburit att vi dels har spenderat mycket tid på att sätta oss in i alla standarder och dels att lära oss hantera mätutrustning genom laborationer för att möjliggöra en bra grund för fältstudierna. I efterhand känns det som att vi har lyckats åstadkomma flera intressant resultat och teorier som kan användas i framtiden för kommande ljudundersökningar gällande betongkonstruktioner. I och med att vi saknar den byggnadsakustiska erfarenheten innebär det att vi inte vill lämna några konkreta slutsatser om hur korrigeringar kan genomföras i konstruktionerna, gällande förbättringar eller förenklingar. Istället delar vi de tankar vi har om konstruktionerna utifrån fältstudien och de ljudberäkningar som genomförts enligt SS-EN 12354 samt den teori vi lärt oss under examensarbetets gång. Beräkningarna, som genomförts enligt SS-EN 12354 med hjälp av Bastian, visar att stegljudsnivån och luftljudsisoleringen stämmer ganska väl överens med de uppmätta resultatet i betongkonstruktionerna. Nedan diskuteras mer ingående om resultatet, där även jämförelse görs gentemot beräkningar och teorier som vi studerat under examensarbetet.

Den vertikala stegljudsnivån i samtliga byggnader ger väldigt bra resultat, där kraven uppfylls med marginal. Resultaten ger också en indikation om att konstruktionen i Ellinor, där bjälklaget är 20 mm tjockare, uppfyller en bättre stegljudsisolering på två decibel jämfört med Sjöporten och Njord. Golvbeläggningen är likvärdig i samtliga byggnader vilket är avgörande för att resultaten kan jämföras. Ljudberäkningarna enligt SS-EN 12354 ger också låga värden på stegljudsnivån, vilket tyder på att resultaten i fält verkar rimliga. Beräkningarna indikerar också att flanktransmission mellan anslutande konstruktioner i samtliga byggnader inte är direkt avgörande för den vägda stegljudsnivån eftersom den största delen av ljudenergin går genom bjälklaget.

Hur knutpunktsanslutningen ser ut mellan trapphus och lägenheten är delvis avgörande vid den horisontella stegljudsmätningen där transmissionsvägen huvudsakligen sker igenom just denna knutpunkt. En iakttagelse som har gjorts i Bastian, gällande den horisontella stegljudsberäkningen, visar att om bjälklagen i knutpunktsanslutningen mellan trapphus och lägenhet kan brytas helt, ger detta en markant förbättring av stegljudsnivån in till angränsade utrymmen. Men även om stegljudet kan dämpas vid källan i form av en stegljudsdämpande beläggning förbättras resultatet markant. Vid projektering känns det därför lika viktigt att en bra golvbeläggning ska användas för att inte "förstöra" för en bra knutpunktsanslutning. I SS 25267 finns det rekommendationer om lämpliga golvbeläggningar. Enligt fältstudien uppfylls ljudkraven enligt ljudklass C i både Sjöporten och Njord, gällande den horisontella stegljudsnivån, vilket ger en indikation om att knutpunkten fungerar bra trots att ingen stegljudsdämpning används. I Ellinor genomfördes mätningen utan golvbeläggning eftersom trapphus ej var färdigställt men ändå uppfylls ljudklass C. Bjälklaget är 15 mm tjockare i trapphuset jämfört med de övriga byggnaderna.

Fältmätningen av den horisontella luftljudsisoleringen ger en indikation om att den prefabricerade betongväggen på 200 mm ger en bra luftljudsisolering där ljudklass C uppfylls med marginal i samtliga mätningar. För att säkerställa att konstruktionen ska uppfylla en högre ljudklass krävs möjligen tilläggsisolering av konstruktionen, en bra dämpning i trapphuset och att flanktransmission minimeras mellan anslutande konstruktioner. En iakttagelse från ljudberäkningarna i Bastian visar att en större

andel av ljudenergin går igenom den inre betongskiva i sandwichväggen som används vid Sjöporten och Njord som är 110 mm tjock, än den på 150 mm som används i Ellinor. Vad som kan vara bra att tänka på, om en högre ljudklass ska uppnås, kan vara att bryta den inre betongskivan vid skiljekonstruktionen för att minska flanktransmission.

11 Slutsats

De slutsatser som kan dras av undersökningar och fältstudien är att:

- Fältstudien indikerar att samtliga vertikala stegljudsnivåer uppfyller ljudklass B.
- Stegljudsnivåerna mellan trapphus och sovrum i Sjöporten och Njord uppfyller ljudklass C. Mätningen i Ellinor indikerar att stegljudsnivån vid färdigställning kommer uppfylla ljudklass B.
- Luftljudsisoleringen mellan den lägenhetsskiljande konstruktionen i samtliga utrymmen uppfyller ljudklass C med goda marginaler.
- De betongkonstruktioner som undersöks i fältstudien påvisar att det finns bra förutsättningar att uppfylla goda ljudförhållanden i byggnaderna.

Referenser

- Andersson, J. (1998) *Akustik & Buller*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Boverket (2007) *Bostäder och nya ljudkrav*. Karlskrona: Boverket september 2007, 31 sid.
- Boverket (2008) *Bullerskydd i bostäder och lokaler*. Karlskrona: Boverket november 2008.
- Cementa AB (2012) *Sunt byggande med betong ger God ljudmiljö*. <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/07CA8480-C326-44D6-9D97-1564CEF6A3FA/0/SuntbyggandemedbetonggerGodljudmilj%C3%B6.pdf> (2012-03-15)
- Johansson, B. (2002) *Buller och bullerbekämpning*. 4. Danagård: Danagårds Grafiska AB, 49-58 sid.
- Simmons akustik & utveckling (2012) *Bastian* TM. <http://www.simmons.se/oversiktpasvenska.html> (2012-4-24)
- SS-EN ISO 140-4 (1998) *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and building elements- Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms*. Upplaga 2. Genève: International Organization for Standardization
- SS-EN ISO 140-7 (1998) *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and building elements- Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors*. Genève: International Organization for Standardization
- SS-EN ISO 140-14 (2004) *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and building elements- Part 14: Guidelines for special situations in the field* Genève: International Organization for Standardization
- SS-EN ISO 717-1 (1996) *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and building elements – Part 1: Airborne sound insulation*. Upplaga 2. Genève: International Organization for Standardization
- SS-EN ISO 717-2 (1996) *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and building elements – Part 2: Impact sound insulation*. Upplaga 2. Genève: International Organization for Standardization
- Svensk betong (2012) *Bygga med prefab*. <http://www.svenskbetong.se/bygga-med-prefab.html> (2012-04-24)
- Svensk Byggtjänst (1983) *Akustik i rum och byggnader*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst
- Svensk standard SS 25267 (2004) *Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder*. Upplaga 3.
- Tamminen, R. (2012) *Örats funktion och ljud*. <http://horselskadade.ifokus.se/articles/4d714517b9cb46222705a12a-orats-funktion-och-ljud> (2012-02-22)
- UBAB Ulricehamns Betong AB (2012) <http://www.ubab.com/>
- Gyproc saint-gobain (2012) *Gyproc Handbok* 8. Kapitel 4.1. <http://www.gyproc.se/files/Gyproc/Library/Handbook/SE/HB8-4.1.pdf> (2012-03-15)

Bilagor

Bilaga 1

Exempel på beräkningsgång till de vägda storheterna L'_{nw} och R'_w .

Nedan presenteras beräkningsgången från mätresultat i tersband till de vägda storheterna som ska uppfylla ljudkraven. Beräkningarna för de vägda storheterna har beräknats enligt SS -EN ISO 140-7 och 717-2 med hjälp av beräkningsprogrammet MATLAB.

Beräkningsgång till vägd stegljudsnivå, L'_{nw}

För att få en noggrannare inblick hur beräkningar genomförts i examensarbetet beskrivs dessa i olika steg från steg 1 till och med steg 4. I steg 4 erhålls den vägda storheten L'_{nw} som ska jämföras mot ljudkraven.

Steg 1

I Tabell 1 finns samtliga uppmätta stegljudsnivåer, i 1/3 oktavband (50 – 3150 Hz), mellan sovrummen i Ellinor. Mätningarna och beräkningar har genomförts enligt ISO SS EN 140-7/140-14 och 717-2. Läs mer i Kapitel 6.1.1 om mätutförandet i Ellinor.

Tabell 1 *Uppmätta stegljudsnivåer mellan sovrum i Ellinor.*

Frekvens (Hz)	Mätning 1 (dB)	Mätning 2 (dB)	Mätning 3 (dB)	Mätning 4 (dB)	Mätning 5 (dB)	Mätning 6 (dB)
50	43.8	53.1	50.5	50.6	52.7	43.2
63	50.3	44.7	44.8	44.7	42.3	41.8
80	50.9	41.2	44.3	43.4	40.7	39.3
100	46.1	46.7	44.0	51.5	50.1	43.2
125	53.4	52.8	47.9	48.9	54.4	56.3
160	55.6	54.1	54.5	55.2	55.0	57.5
200	52.8	57.7	54.5	54.2	54.7	56.7
250	54.9	54.4	53.0	56.3	55.0	51.7
315	54.4	54.8	55.5	55.8	54.4	55.2
400	54.9	54.6	55.5	55.8	55.4	56.1
500	54.4	51.2	52.3	49.5	50.9	50.0
630	40.9	40.0	43.5	44.4	42.2	38.4
800	37.1	37.5	38.8	41.0	39.2	37.8
1000	31.6	33.3	35.6	35.1	33.7	31.5
1250	25.5	26.1	27.6	27.7	28.2	23.9
1600	21.6	21.9	23.3	24.8	23.9	21.3
2000	19.0	18.5	19.7	20.3	20.1	20.1
2500	15.8	15.2	16.3	17.3	17.3	15.6
3150	12.1	12.4	13.0	13.8	13.6	12.0

Steg 2

Dessa sex mätresultat läggs ihop till ett medelvärde av stegljudsnivån enligt ekvation 1 i SS-EN 140-7:

$$L = 10 \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10}\right) \quad (1)$$

där,

n är antal mätningar

L_j är den uppmätta stegljudsnivån (dB)

I MATLAB sker uträkningen med hjälp av följande funktion:

```
L_avg = 10*log10((1/6)*((10.^(L1_eq2_p1m1/10)))+(10.^( L1_eq2_p1m2/10)))+(10.^(  
L1_eq2_p2m1/10)))+(10.^( L1_eq2_p2m2/10)))+(10.^( L1_eq2_p3m1/10)))+(10.^(  
L1_eq2_p4m1/10))));
```

där,

$L_{avg} = L$

L1_eq2_p1m1 till och med L1_eq_p4m1 = Uppmätta stegljudsnivåer i alla tersband för varje mätning. Totalt sex mätningar.

Steg 3

Medelvärde L_{avg} korrigeras därefter med hänsyn till mottagarrummets volym och efterklangtid genom att beräkna en ekvivalent absorptionsarea enligt Sabines formel. (Korrigerings görs för att det ska vara möjligt att mäta i omöblerade rum för att sedan i efterhand kompensera mätvärdet för inverkan av till exempel möbleringen.)

Sabines formel: $A = \frac{0,16 V}{T}$ (2)

där,

A - Ekvivalent absorptions area (m^2)

V- Mottagarrummets volym (m^3)

T - Eterklangtid i mottagarrummet, se Tabell 2. (s)

Tabell 2 Efterklangstid och volym för sovrum i Ellinor.

Frekvens (Hz)	Efterklangstid, T (s)	Volym (m ³)
50	0,71	36,556
63	0,75	
80	0,57	
100	0,36	
125	0,43	
160	0,41	
200	0,51	
250	0,47	
315	0,53	
400	0,49	
500	0,58	
630	0,47	
800	0,59	
1000	0,61	
1250	0,54	
1600	0,57	
2000	0,52	
2500	0,52	
3150	0,49	

Steg 4

Därefter beräknas den normaliserade stegljudsnivån L'_n i fält enligt ekvation 3 i SS-EN 140-7:

$$L'_n = L_{avg} + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (3)$$

där,

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

Tabell 2 Resultat av L'_n .

Frekvens (Hz)	L'_n (dB)
50	49,6
63	44,7
80	45,4
100	50,1
125	54,5
160	57,0
200	56,0
250	55,4
315	55,4
400	56,1
500	51,7
630	42,9
800	38,7
1000	33,5
1250	27,1
1600	23,1
2000	20,1
2500	16,8
3150	13,6

Steg 4

I Tabell 3 redovisas de uträknade normaliserade stegljudsnivåerna för varje frekvens. För att erhålla den vägda storheten L'_{nw} jämförs L'_n -värdena mot en referenskurva enligt SS-EN 717-2.

Referenskurvan/referensvärdena flyttas i steg om 1 dB mot mätkurvan/mätvärdena tills summan av ogynnsamma avvikelser är så stor som möjligt men dock ej större än 32 dB för 1/3-oktavband. En ogynnsam avvikelse vid en speciell frekvens inträffar när resultatet av mätningar är större än referensvärdet. Efter att flyttat kurvan enligt ovan tillvägagångssätt erhålls L'_{nw} som det värde i dB vid 500 Hz på referenskurvan. Se markering i Tabell 4.

Tabell 3 Uträkning av vägda stegljudsnivån L'_{nw}

Frekvens (Hz)	L'_n (dB)	Referenskurva	Flyttad ref kurva	Avvikelse
50	49,6	62	52	-2,4
63	44,7	62	52	-8
80	45,4	62	52	-6,6
100	50,1	62	52	-1,9
125	54,5	62	52	2,5
160	57,0	62	52	5
200	56,0	62	52	4
250	55,4	62	52	3,4
315	55,4	62	52	3,4
400	56,1	61	51	5,1
500	51,7	60	50	1,7
630	42,9	59	49	-6
800	38,7	58	48	-9,3
1000	33,5	57	47	-13,5
1250	27,1	54	44	-16,9
1600	23,1	51	41	-17,9
2000	20,1	48	38	-17,9
2500	16,8	45	35	-18,2
3150	13,6	42	32	-18,4
			Flyttad 10 steg	$\sum$ avvikelse = 25,1

Anpassningstermen $C_{I, 50-2500}$ beräknas enligt SS-EN 717-2. Kravet i SS-25267 innehåller den vägda stegljudnivån med och utan anpassningsterm eftersom som en negativ $C_{I, 50-2500}$ -term skulle innebära en lägre stegljudsnivå och därmed kanske en högre ljudklass.

Anpassningstermen beräknas enligt ekvation 4.

$$C_{I,50-2500} = L_{n,sum} - 15 - L'_{n,w} \quad (4)$$

där

$L'_{n,w}$ - vägd normaliserad stegljudsnivå i fält (dB)

$L_{n,sum}$ - logaritmisk summering av stegljudsnivån för varje frekvensband
som beräknas enligt ekvation 5. (dB)

$$L_{sum} = 10 \lg \sum_{i=1}^k 10^{L_j/10} \quad (5)$$

där

k – frekvensband 50-2500 (Hz)

L_j - uppmätt stegljudsnivå (dB)

Tabell 4 Beräkning för anpassningsterm $C_{I,50-2500}$

Frekvens	L'_n	Referenskurva	Flyttad ref kurva	Avvikelse
50	49,6	62	52	-2,4
63	44	62	52	-8
80	45,4	62	52	-6,6
100	50,1	62	52	-1,9
125	54,5	62	52	2,5
160	57	62	52	5
200	56	62	52	4
250	55,4	62	52	3,4
315	55,4	62	52	3,4
400	56,1	61	51	5,1
500	51,7	60	50	1,7
630	43	59	49	-6
800	38,7	58	48	-9,3
1000	33,5	57	47	-13,5
1250	27,1	54	44	-16,9
1600	23,1	51	41	-17,9
2000	20,1	48	38	-17,9
2500	16,8	45	35	-18,2
3150	13,6	42	32	-18,4
	$L'_{n,sum,50-2500} = 64,0$		$L'_{nw} = 50$ $C_{I,50-2500} = 64-15-50 = -1\text{dB}$	

Beräkningsgång till vägt reduktionstal R'_w för luftljudsisoleringen.

För att få en noggrannare inblick hur beräkningar genomförts i examensarbetet beskrivs dessa i olika steg från steg 1 till och med steg 4. I steg 4 erhålls den vägda storheten R'_w för luftljudsisolering som ska jämföras mot ljudkraven.

Steg 1

I Tabell 6 och Tabell 7 finns samtliga uppmätta luftljudsnivåer, i 1/3 oktavband från 50-3150 Hz, mellan sovrummen i Sjöporten. Mätningar och beräkningar har genomförts enligt SS EN 140-4/140-14 och 717-1. Läs mer i Kapitel 4.1.1 om mätutförande för luftljudsisolering.

Tabell 6 Uppmätta luftljudsnivåer i sändarrummet (sovrum 1)

Frekvens (Hz)	Mät. 1 (dB)	Mät. 2 (dB)	Mät. 3 (dB)	Mät. 4 (dB)	Mät. 5 (dB)	Mät. 6 (dB)	Mät. 7 (dB)	Mät. 8 (dB)	Mät. 9 (dB)	Mät. 10 (dB)
50	81,2	74,9	81,8	78,6	67,9	76,9	71,1	80,8	73,6	80,1
63	73,6	71,6	79	75,1	72,9	78,1	65,7	80,4	73,2	76,1
80	76,1	76,4	79,1	78,9	78,4	78,7	79	85	82,8	80,4
100	70,8	77,1	74,6	70	76,9	78,2	78,6	76,2	82,6	76,4
125	92,4	92,5	94,4	86,4	90,1	88,5	84,1	90,4	88,6	88
160	96	92,3	94,1	94,3	92,6	92,7	92,5	94,2	94,7	92,4
200	97,5	93,1	91,3	95,8	94,1	93,9	93,6	97,8	97,1	91,7
250	96,7	97,5	94,4	92,9	98,9	95,3	95,3	99,5	96,1	94,6
315	95,2	95,3	94,3	93,5	95,9	95,9	95,2	96,2	93,6	95,1
400	96,5	93,2	93,5	94,7	96,1	92,6	94,7	93,2	94,6	93
500	93,7	93,8	93	92,4	91,4	91,4	94,3	95,4	92,5	92
630	92,7	90,7	92	91,1	90,8	91,3	92,8	90,3	92,2	91,2
800	93	93,2	90,7	91,8	91,8	91,4	91	90,8	93,3	90,3
1000	93,8	93,6	92,2	92,4	93,4	92,2	93,5	92,8	93	92,1
1250	91,2	92,3	91,3	91,6	91,8	90,7	92	90,9	91,5	91,5
1600	92,3	90,2	91,4	90,7	90,9	90,3	90,9	90,9	91	89,8
2000	90,9	90,1	89,8	90,5	90	89,6	89,9	89,9	89,8	89
2500	90	89,3	89,3	89	89,2	89	88,9	88,6	89,1	88,5
3150	90,3	91	89,7	89,7	89,7	90,1	90	89,7	90,3	89,5

Tabell 7 Uppmätta luftljudsnivåer i mottagarrummet (sovrum 2)

Frekvens (Hz)	Mät. 1 (dB)	Mät. 2 (dB)	Mät. 3 (dB)	Mät. 4 (dB)	Mät. 5 (dB)	Mät. 6 (dB)	Mät. 7 (dB)	Mät. 8 (dB)	Mät. 9 (dB)	Mät. 10 (dB)
50	33	29,9	35,6	29,4	24,5	33,7	29,3	35	30,1	22,5
63	31,8	28,8	30,2	27,6	26,8	31,6	27,4	32,6	29,9	27,1
80	27,4	37,1	30,7	32,1	34,8	32,1	37,4	36,7	35	37,3
100	38,5	42,3	36,1	30,5	42,5	39,8	44,1	41	34,3	44,3
125	52	48,9	54,4	52,1	51,3	49,6	47,5	50,3	48,8	45,5
160	58,3	51,7	57,1	56,8	56,1	55,2	50,8	53,9	55,6	52,6
200	51,2	52,3	52,8	49,2	53,2	51,4	52,9	53,1	51,7	54,7
250	52,9	55,7	54,1	53	52,5	53,4	60,7	59,6	57,7	54,6
315	50	49,6	50,4	47,5	48,7	48,2	48,4	48,3	49,7	49,1
400	47,8	50,4	47,4	51	49,2	48,2	48,3	48,6	46	48
500	45,8	46,1	46,2	46,2	45,4	43,7	44,1	42,7	45,1	45,9
630	41,6	40,6	40,1	40,3	40,9	39,5	40,8	38,8	40,1	40,2
800	37,6	38,4	37,4	38,1	37,2	36,3	37,2	37,2	37,8	38,3
1000	37,7	38,6	37,4	37,1	37,8	37,8	37,1	37,8	37,6	36,7
1250	34,5	33,5	34,1	34,7	34	33,9	34,2	34,4	35	33,5
1600	30,4	30	30,6	31,2	30,4	29,4	30,1	29,3	29,5	29,8
2000	27,3	27	27,7	27,2	26,9	25,8	27,1	26,5	26,5	26,9
2500	24,4	23,9	24,8	23,8	23,5	23,3	24,3	23,5	24,4	23,6
3150	23,4	22,9	22,7	22,6	22,7	22,2	22,6	22,4	22,3	22,6

Steg 2

Alla uppmätta värden i sändarrummet läggs ihop till ett medelvärde enligt ekvation 6 i SS-EN 140-4.

$$L = 10 \lg\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10}\right) \quad (6)$$

där,

n är antal mätningar

L_j är den uppmätta lufttrycksnivån (dB)

På samma sätt enligt ovan läggs de uppmätta värden i mottagarrummet ihop till ett medelvärde.

Steg 3

Därefter bestäms reduktionstalet R' genom ekvation 7 och Sabines formel.

$$R' = L_s - L_m + 10 \log \frac{S}{A} \quad (7)$$

$$\text{Sabines formel, } A = \frac{0,16 V}{T} \quad (8)$$

där

R' – Reduktionstalet som beräknas i fält (dB)

L_s – Medelvärdet av ljudtrycksnivå i sändarrummet (dB)

L_m – Medelvärdet av ljudtrycksnivån i mottagarrummet (dB)

S – Skiljekonstruktionens yta/area (m^2)

A – Ekvivalenta absorptionsytan i mottagarrummet (m^2)

V – Mottagarrummets volym (m^3)

T – Efterklangstiden i mottagarrummet, se Tabell 8. (s)

Tabell 8 Efterklangstid, volym och skiljekonstruktionens area för mätningen av luftljudsisolering mellan sovrum i Sjöporten.

Frekvens (Hz)	Efterklangstid, T (s)	Volym (m ³)	Skiljekonstruktionens area (m ²)
50	1.15	35.49	10.14
63	0.88		
80	1.12		
100	1.04		
125	1.62		
160	1.29		
200	1.42		
250	1.32		
315	1.36		
400	1.13		
500	1.06		
630	0.91		
800	0.94		
1000	1.12		
1250	1.14		
1600	1.12		
2000	1.00		
2500	0.98		
3150	0.97		

Steg 4

I Tabell 9 redovisas de uträknade reduktionstalen R' för varje frekvens. För att erhålla den vägda storheten R'_w jämförs R' -värdena mot en referenskurva enligt SS EN 717-1.

Referenskurvan/referensvärdena flyttas i steg om 1 dB mot mätkurvan/mätvärdena tills summan av ogynnsamma avvikelser är så stor som möjligt men dock ej större än 32 dB för 1/3-oktavband. En ogynnsam avvikelse vid en speciell frekvens inträffar när resultatet av mätningar är mindre än referensvärdet. Efter att flyttat kurvan enligt ovan

tillvägagångssätt erhålls L'_{nw} som det värde i dB vid 500 Hz på referenskurvan. Se markering i Tabell 9.

Tabell 9 Beräkningsexempel för att erhålla R'_w

Frekvens (Hz)	R' (dB)	Referenskurva	Flyttat kurva	Avvikelse
50	49,7	33	37	12,7
63	48	33	37	11
80	48,1	33	37	11,1
100	38,8	33	37	1,8
125	44	36	40	4
160	41,7	39	43	-1,3
200	46,4	42	46	0,4
250	43,1	45	49	-5,9
315	49,4	48	52	-2,6
400	48,1	51	55	-6,9
500	50,4	52	56	-5,6
630	53	53	57	-4
800	56,1	54	58	-1,9
1000	57,9	55	59	-1,1
1250	59,9	56	60	-0,1
1600	63,4	56	60	3,4
2000	65,2	56	60	5,2
2500	67,1	56	60	7,1
3150	69,4	56	60	9,4
			Flyttad 4 steg	$\sum$ avvikelse = 29,4<32

Anpassningstermen $C_{50-3150}$ beräknas ur ekvation 9, enligt SS-EN 717-1.

$$C_{50-3150} = X_{Aj} - R'_w \quad (9)$$

där

R'_w – vägt reduktionstal (dB)

X_{Aj} – beräknas fram enligt ekvation 10 (dB)

$$X_{Aj} = -10 \lg \sum 10^{(L_{i1}-X_i)/10} \quad (10)$$

där

L_{i1} – värdet som tagits fram för spektrum nummer 1 i frekvens 50-3150 Hz

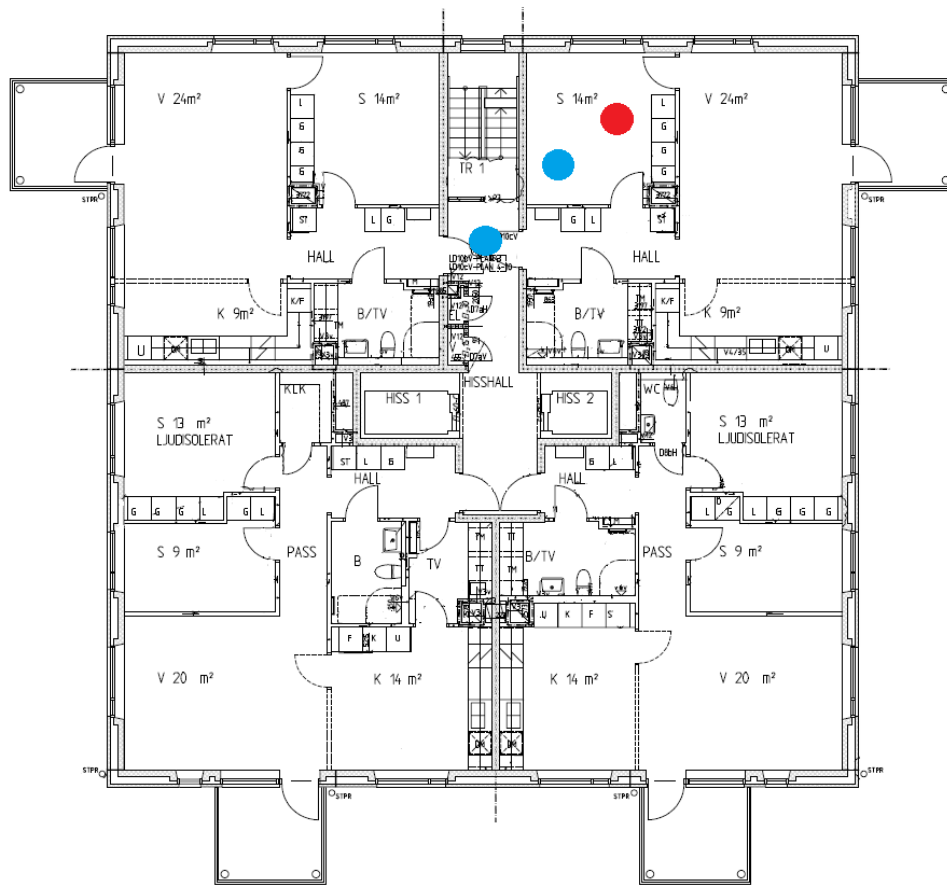
X_i – ljudreduktionstalet R'_i , som avrundas till närmsta 0,1 dB.

Tabell 10 Beräkning för anpassningsterm $C_{50-3150}$

Frekvens (Hz)	R_i (dB)	Ref.kurva (dB)	Flyttad ref.kurva (dB)	Avvikelse (dB)	Spektrum no.1 (dB)	$L_{i1}-R'_i$ (dB)	$10^{(L_{i1}-R'_i)/10}$ (dB)
50	49,7	33	37	12,7	-40	-89,7	1,07E-09
63	48	33	37	11	-36	-84	3,98E-09
80	48,1	33	37	11,1	-33	-81,1	7,76E-09
100	38,8	33	37	1,8	-29	-67,8	1,66E-07
125	44	36	40	4	-26	-70	1,00E-07
160	41,7	39	43	-1,3	-23	-64,7	3,39E-07
200	46,4	42	46	0,4	-21	-67,4	1,82E-07
250	43,1	45	49	-5,9	-19	-62,1	6,17E-07
315	49,4	48	52	-2,6	-17	-66,4	2,29E-07
400	48,1	51	55	-6,9	-15	-63,1	4,90E-07
500	50,4	52	56	-5,6	-13	-63,4	4,57E-07
630	53	53	57	-4	-12	-65	3,16E-07
800	56,1	54	58	-1,9	-11	-67,1	1,95E-07
1000	57,9	55	59	-1,1	-10	-67,9	1,62E-07
1250	59,9	56	60	-0,1	-9	-68,9	1,29E-07
1600	63,4	56	60	3,4	-9	-72,4	5,75E-08
2000	65,2	56	60	5,2	-9	-74,2	3,80E-08
2500	67,1	56	60	7,1	-9	-76,1	2,45E-08
3150	69,4	56	60	9,4	-9	-78,4	1,45E-08
					Summa= 3,53E-06		
					$-10 \lg 3,53 \cdot 10^{-6} = 54,52$		
					$C_{50-3150} = 55-56 = -1 \text{ dB}$		

Bilaga 2

Planlösning över plan 3 i Ellinor.



- Vertikal mätning av stegljudsnivån mellan sovrum-sovrum i Ellinor.
- Horisontell mätning av stegljudsnivån och luftljudsisoleringen mellan trapphus-sovrum i Ellinor

Bilaga 3

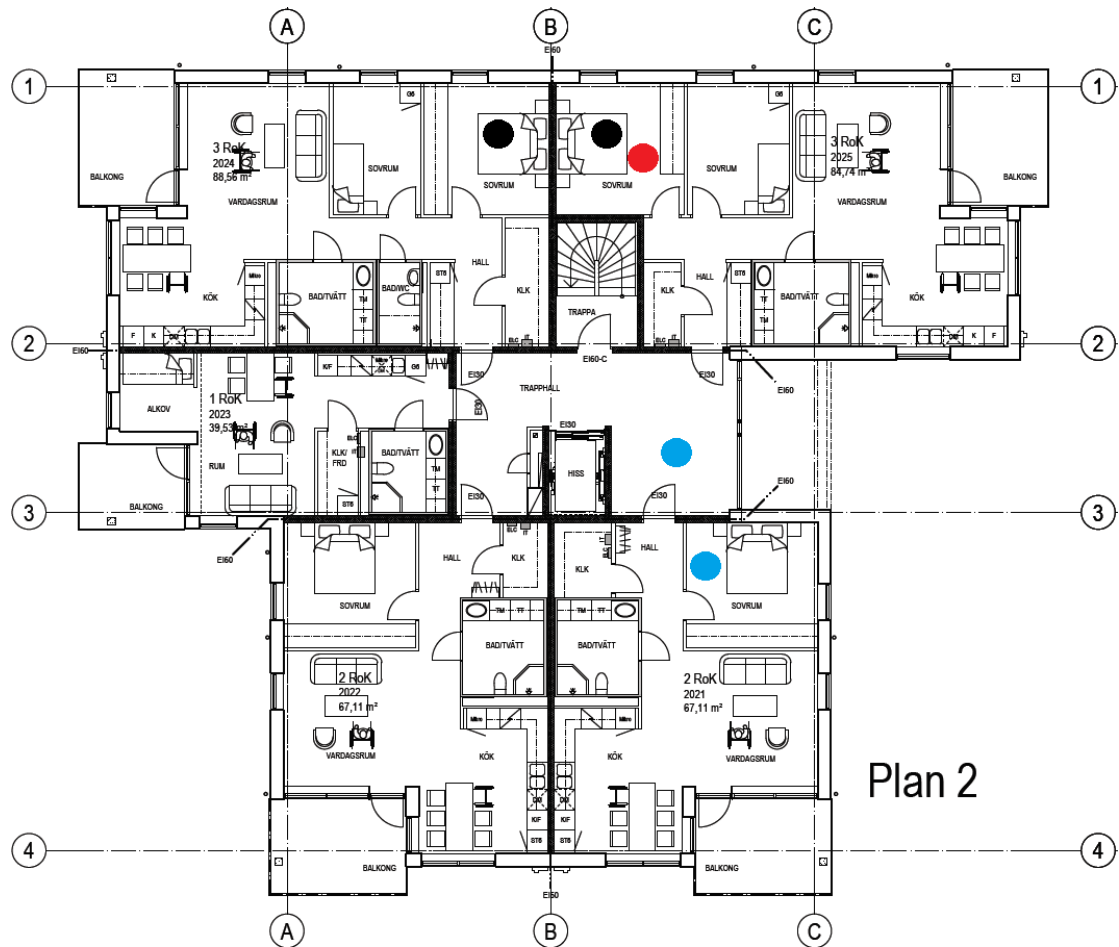
Planlösning över plan 2 i Sjöporten.



- Horisontell mätning av luftljudsisoleringen mellan sovrum-sovrum i Sjöporten.
- Vertikal mätning av stegljudsnivån mellan sovrum-sovrum i Sjöporten.
- Horisontell mätning av stegljudsnivån och luftljudsisoleringen mellan trapphus-sovrum i Sjöporten.

Bilaga 3

Planlösning över plan 2 i Njord



- Horisontell mätning av luftljudsisoleringen mellan sovrums-sovrums i Njord.
- Vertikal mätning av stegljudsnivån mellan sovrums-sovrums i Njord.
- Horisontell mätning av stegljudsnivån och luftljudsisoleringen mellan trapphus-sovrums i Njord.