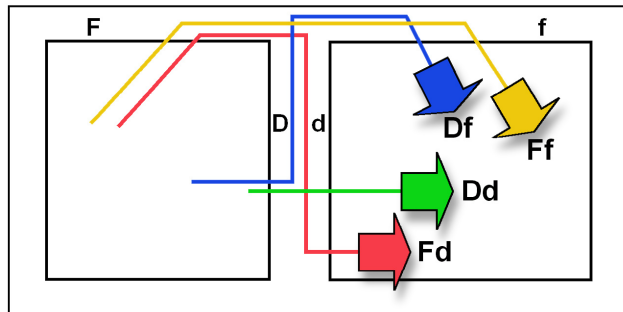




**LUND**  
UNIVERSITY



# BERÄKNINGSSTANDARD FÖR LJUDISOLERING

MARGOT HANSSON

Engineering  
Acoustics

*Master's Dissertation*



*Department of Construction Sciences*  
Engineering Acoustics

ISRN LUTVDG/TVBA--06/5036--SE (1-105)  
ISSN 0281-8477

# BERÄKNINGSSTANDARD FÖR LJUDISOLERING

Examensarbete utfört av  
MARGOT HANSSON

Handledare  
Jonas Brunskog, Avd. f. teknisk akustik  
Torbjörn Wahlström, WSP akustik

Copyright © 2006 by Engineering Acoustics, LTH, Sweden.  
Printed by KFS I Lund AB, Lund, Sweden, March 2006

For information, address:  
Division of Engineering Acoustics, LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.  
Homepage: <http://www.akustik.lth.se>



## Förord

Examensarbetet omfattar 20 högskolepoäng och har genomförts på avdelningen för Teknisk Akustik, LTH, samt på WSP Akustik, Malmö.

Tack för det enorma stödet och engagemanget från mina handledare Jonas Brunskog, TeknD Teknisk Akustik LTH, och Torbjörn Wahlström, WSP Akustik Malmö. Stort tack till Fredric Janson, examensarbetare, som hjälpt mig med mätning i V-huset, LTH, och diskussion kring examensarbetet. Tack riktas även till Robert Månsson, forskningsingenjör Teknisk Akustik LTH, för hjälp med mätutrustning, datorer och utvecklande samtal.

Med hjälp av WSP Akustik har mätningar kunnat användas i mitt examensarbete. Tack till personalen på WSP Akustik för gemenskapen jag tagit del av. Jag vill speciellt tacka Frank och Kerstin som jag utfört mätningar med.

Stort tack riktas även till Eddy Gerretsen som svarat på frågor och hjälpt mig i beräkningar av standard EN 12354 och Christian Simmons som gjort det möjligt för mig att använda Bastian och svarat på frågor angående programmet och EN 12354. Jag vill även tacka Avdelning Byggnadsmekanik, LTH, som lånade ut lokaler för mätning.

Tack till min familj och kompisar som stöttat och hjälpt mig på alla möjliga vis.



## Abstract

The purpose of this Master Thesis is to observe how well the standard EN 12354, the computer program Bastian, and field measurements agree with each other. Calculations on two different objects, where one object contained four different constructions, were compared with data from field measurements. The restrictions of EN 12354-1&2 and Bastian were evaluated from this. The areas of application were also evaluated to see if measurements can be replaced with calculations that are conveyed in SS 25267.

A new standard, EN 12354, was delivered in the year 2000. It estimates the acoustic performance of buildings from the performance of elements. This was due to the effects of a new testing standard in laboratories in Germany. Earlier, the laboratories were built as two rooms to get a total value of the sound insulation of the building including the flanking transmission. Today, the sound insulation is measured through a building element to get the lab value. In EN 12354-1&2, the lab value is used to get the total value of the airborne and impact sound insulation. The elements vibration reduction index,  $K_{ij}$ , has to be known due to the standard.  $K_{ij}$  can be counted when the vibration field in the element diffuse and there is no significant decrease in vibration with the distance across the element. This restricts the calculations to monolithic elements. To understand the standard, a hand calculation of airborne sound insulation was performed. A comparison with the calculation of the same object in Bastian gives a difference of around 2 dB. This is acceptable since there's an insecurity of the calculations.

Bastian is a computer program that is used as a calculation tool to EN 12354 1-3, where part 3 deals with airborne sound insulation against outdoor sound. The Bastian database contains about 1600 constructions. In-depth experience in the areas of building construction and building materials is necessary to handle Bastian. If an element or additional layer is missing in the database, it's possible to enter a new one.

According to the field measurements, when compared with the calculations in Bastian on the object, EN 12354 performs well for homogeneous elements. The calculations also show that Bastian is a good calculating tool according to the standard and also on double elements. The more layers in the calculations, the harder it is to approximate a value. Bastian can be used as a control tool before the measurement, but it is not suitable as said in SS 25267 to use calculations instead of measurements.





## Sammanfattning

Examensarbetets syfte var att se hur standarden EN 12354-1&2, databeräkningsprogrammet Bastian och praktiska mätningar överensstämmer med varandra. Beräkningar på två olika objekt där det ena objektet bestod av fyra olika konstruktioner jämfördes med mätresultat. Utifrån detta utvärderas EN 12354-1&2 och Bastians begränsningar. Användningsområdet analyserades för att se om mätningar kan ersättas med beräkningar vilket går bra enligt SS 25267.

År 2000 utkom en ny standard, EN 12354, för bestämning av akustiska egenskaper hos byggnader utgående från egenskaper hos byggnadselement. Standarden tillkom då provningsstandarderna för laboratorier ändrades. Tidigare var laboratorier i Tyskland uppbyggda för att få byggnadsliknande flanktransmission men ändrades till att endast mäta ljudisoleringen av byggnadselementet. Med hjälp av EN 12354-1&2 kan där efter ett värde för luft- respektive stegljudsisolering mellan rum i en byggnad beräknas. För att beräkningen ska genomföras måste elementens vibrationsreduktionstal,  $K_{ij}$ , vara känt.  $K_{ij}$  kan beräknas då ljudfältet är diffust och vibrationsnivåhastigheten inte klingar av för mycket i materialet per längdenhet. Detta begränsar beräkningarna till homogena element. För att förstå standarden utfördes ett handberäkningsexempel på luftljudsisolering enligt EN 12354-1. Vid jämförelse med samma objekt beräknat i Bastian skiljde reduktionstalen på 2 dB, vilket kan anses nära eftersom en viss osäkerhet för beräkningar finns.

Bastian är ett dataprogram som kan användas som beräkningsverktyg till EN 12354-1-3, där del 3 behandlar luftljudsisolering mot utomhusljud. Bastians databas består av cirka 1600 element och beläggningsmaterial. För att kunna använda Bastian fullt ut krävs erfarenhet inom byggnadsteknik och byggnadsmaterial. Då ett element eller beläggningsmaterial saknas kan det föras in som nytt material i databasen.

De uppmätta reduktionstalen och stegljudsnivåerna för objekten jämförda med beräkningarna visar att EN 12354-1&2 fungerar bra som beräkningsstandard för homogena element men att användningsområdet blir väldigt begränsat. Beräkningarna visar även att Bastian fungerar bra som beräkningsverktyg enligt EN 12354-1&2 samt på dubbelväggskonstruktioner som studerats i arbetet. Ju fler skikt som finns med i beräkningarna desto svårare blir approximationen. Bastian kan användas innan mätning som kontrollverktyg men anses inte lämplig att användas istället för mätning, vilket motstrider SS 25267.



# Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Syfte .....	1
1.3	Metod .....	2
1.4	Avgränsningar .....	2
2	Luftljudsisolering .....	3
2.1	Mätning av luftljudsisolering .....	3
2.2	Sammanfattningsvärde .....	4
2.3	Anpassningsterm .....	5
2.4	Krav på luftljudsisolering .....	5
2.5	Noggrannhet .....	6
3	Stegljudsisolering .....	7
3.1	Mätning av stegljudsisolering .....	7
3.2	Sammanfattningsvärde .....	8
3.3	Anpassningsterm .....	9
3.4	Krav på stegljudsisolering .....	9
3.5	Noggrannhet .....	10
4	SS-EN 12354 Byggakustik .....	11
4.1	EN 12354-1: Luftljudsisolering mellan rum i byggnader .....	11
4.1.1	Noggrannhet .....	12
4.1.2	Begränsningar .....	12
4.1.3	Beräkningsgång .....	14
4.1.3.1	Resultat av handberäkningen .....	15
4.1.4	Beläggingsmaterial .....	15
4.2	EN 12354-2: Stegljudsisolering mellan rum i byggnader .....	16
4.2.1	Noggrannhet .....	16
4.2.2	Begränsningar .....	17
4.2.3	Beräkningsgång .....	17
5	BASTIAN® .....	19
5.1	Bakgrund till Bastian .....	19
5.2	Hur används Bastian .....	19
5.3	Element databas .....	19
5.4	Reduktionstal och stegljudsnivå .....	20
5.5	Dubbelväggskonstruktioner i EN 12354 och Bastian .....	20
6	Bastianberäkningar jämfört med mätningar .....	23
6.1	Kv. Kurorten .....	23
6.1.1	Beskrivning .....	23
6.1.2	Behandling i Bastian .....	25
6.1.2.1	Knutpunktstyp .....	25
6.1.2.2	Sammankoppling av homogena element .....	26
6.1.2.3	Materialval .....	27
6.1.2.3.1	Väggar .....	27
6.1.2.3.2	Bjälklag .....	27
6.1.3	Resultat .....	31
6.1.3.1	R1 .....	31
6.1.3.2	L1 .....	33
6.1.3.3	R2 .....	35

6.1.3.4 L3 .....	37
6.1.3.5 L4 .....	39
6.1.4 Analys .....	41
6.2 Byggnadsmekanik.....	43
6.2.1 Beskrivning.....	43
6.2.2 Behandling i Bastian.....	44
6.2.2.1 Knutpunktstyp.....	44
6.2.2.2 Sammankoppling av homogena element.....	44
6.2.2.3 Materialval .....	45
6.2.2.3.1 Bjälklag.....	45
6.2.2.3.2 Flankerande väggar.....	45
6.2.2.3.3 Skiljeväggen .....	45
6.2.3 Resultat .....	47
6.2.3.1 Skiljevägg Spenncon .....	47
6.2.3.2 Egen skiljevägg, 70 mm lättbetong, 45 mm luft, 100 mm lättbetong.....	49
6.2.4 Analys .....	53
7 Diskussion och slutsatser.....	55
7.1 Diskussion.....	55
7.2 Slutsatser .....	56
8 Referenslista.....	57

## **Bilagor**

Bilaga 1. Akustiska begrepp

Bilaga 2. Ordlista EN 12354

Bilaga 3. Handberäkning av luftljudsisolering enligt EN 12354-1

Bilaga 4. Enkel användningsmanual för BASTIAN®

Bilaga 5. Bestämning av kritisk frekvens,  $f_c$ , för 185 mm HDF pågjuten med 65 mm Anhydrit

Bilaga 6. Beräkning av dubbelkonstruktion av vägg i lättbetong

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

En stor andel människor som bor i flerfamiljshus störs av ljud från sina grannar. Därför är det viktigt att luft- och stegljudsisolering beräknas eller mäts antingen innan eller efter det att byggnaden har färdigställts. Det finns myndighetskrav på ljudisoleringen i SS 25267:2004.

I projekteringsstadiet av en byggnad kan en akustisk expert kopplas in för att fastställa en ljudklass enligt SS 25267. Dimensioneringen sker via beräkningar eller genom tidigare erfarenheter. Då byggnaden är färdigställd kan en kontroll mot myndighetskrav eller projekteringskrav utföras. Tidigare var det endast tillåtet att validera ljudisoleringen via mätning, men när SS 25267 kom år 2004 blev det även tillåtet att verifiera genom beräkning enligt EN 12354-1&2. Om kontroll kan göras via beräkning istället för mätning kan mycket tid och pengar sparas.

Samtidigt som EN 12354 togs fram utvecklades även olika databeräkningsprogram för sammansatta konstruktioner. Det program som fått störst spridning är Bastian som bygger på EN 12354 del 1-3 som behandlar luftljuds-, stegljuds- och fasadisolering. Enligt SS 25267 är det alltså tillåtet att verifiera ljudisolering genom beräkning i Bastian.

Det pågår mycket diskussioner bland akustiker om säkerheten av att endast verifiera med beräkningar av t.ex. programtypen Bastian och flera olika läger har uppstått. Examensarbetet initierades för att studera överensstämmelsen mellan mätningar och beräkningar av olika konstruktionstyper. Vid examensarbetets start togs en mängd olika konstruktionstyper, vanliga vid byggnation, fram. Då det snabbt visade sig att beräkningarna uppvisade betydande avvikelser från mätningarna gav det snabbt en indikation på EN 12354 och Bastians begränsningar. Ofta sätts oerfarna medarbetare vid dataprogram eftersom datavana finns. Databeräkningar ifrågasätts sällan och därför var det av intresse att se om Bastian förbehållslöst och okritiskt kan användas.

## 1.2 Syfte

Uppgiften är att se hur EN 12354, Bastian och fältmätningar överensstämmer med varandra. Utifrån detta ska följande utvärderas

- EN 12354 och Bastians begränsningar och användningsområden.
- Enligt SS 25267 fungerar validering av luftljud- och stegljudsisolering både med mätning och med beräkning. Är EN 12354-1&2 så säkra att mätning ej behöver utföras?

### **1.3 Metod**

En litteraturstudie har genomförts vad gäller luftljuds- och stegljudsisolering. Handberäkningar enligt EN 12354-1, luftljudsisolering, har utförts i Excel för att sedan jämföras med Bastian. Olika fältmätningar av luft- och stegljudsisolering har utförts för att sedan jämföras med simulationer och beräkningar i Bastian.

### **1.4 Avgränsningar**

Arbetet begränsar sig till EN 12354-1&2 som består av luftljuds- och stegljudsisolering. Objekten som valts vid jämförelse av beräkning och mätning är begränsade till två olika objekt där ena objektet varierar med fyra olika konstruktioner. I arbetet har ingen hänsyn tagits till dörrar och fönster.

## 2 Luftljudsisolering

Luftljudsisolering är ett mått på hur mycket en byggnadskonstruktion hindrar ljud att sprida sig från ett utrymme till ett annat [19]. Den mäts som ett reduktionstal och beror på egenskaper hos byggnadsdelarna i rummen. Bra luftljudsisolering ger ett högt reduktionstal.

### 2.1 Mätning av luftljudsisolering

Mätning av luftljudsisoleringen i fält görs enligt standard SS-ISO 140-4 [11]. I sändarrummet placeras en högtalare som avger vitt eller rosa brus, bredbandigt brus. Vid mätningarna i examensarbetet har en rundstrålande högtalare med vitt brus använts. Högtalare med riktat ljud kan också användas men då måste högtalaren stå i flera positioner och antalet mätpunkter måste ökas. Ljudet bör vara så högt att ljudet i mottagarrummet överskrider bakgrundsljudet med 10 dB. Då detta inte uppfylls måste en till högtalare användas. Ljudtrycksnivån mäts med hjälp av ett mätinstrument i både sändar- och mottagarrummet. Alla mätvärden görs för varje 1/3-oktav frekvens mellan 50 till 3150 Hz. Antingen mäts nivån med minst fem jämnt utspridda fixa positioner av mikrofonen eller med en svepande rörelse i minst en position. Den svepande rörelsen ska vara stor och inte ha en radie på mindre än 0,7 meter. Tiden för mätningarna ska vara minst 6 sekunder för varje fix position respektive minst 30 sekunder för varje svepande rörelse. Bakgrundsljudet mäts upp i mottagarrummet. Det ska sedan dras bort från den uppmätta ljudtrycksnivån så att inte irrelevanta ljud utifrån påverkar mätningen. Irrelevanta ljud kan komma från ventilationer, installationer eller överhöring via rör. Medelvärde för ljudtrycksnivån räknas sedan ut för varje frekvens. Efterklangstiden mäts upp i mottagarrummet genom att ljud från högtalaren byggs upp i rummet, ljudet stängs av och mätinstrumentet räknar tiden det tar för ljudet att sjunka 60 dB för varje frekvens. Vid ett stort rum används oftast pistolskott för att alstra tillräckligt med ljud i rummet.

Därefter räknas reduktionstalet,  $R$ , ut enligt följande

$$R = L_s - L_m + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) \text{ (dB)}$$

$$A = \frac{0,16V}{T_{60}} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$R = L_s - L_m + 10 \log\left(\frac{ST_{60}}{0,16V}\right) \text{ (dB)}$$

där

$R$  – Reduktionstalet

$L_s$  – Ljudtrycksnivån i sändarrummet (dB)

$L_m$  – Ljudtrycksnivån i mottagarrummet (dB)

$S$  – Skiljekonstruktionens yta/area (m<sup>2</sup>)

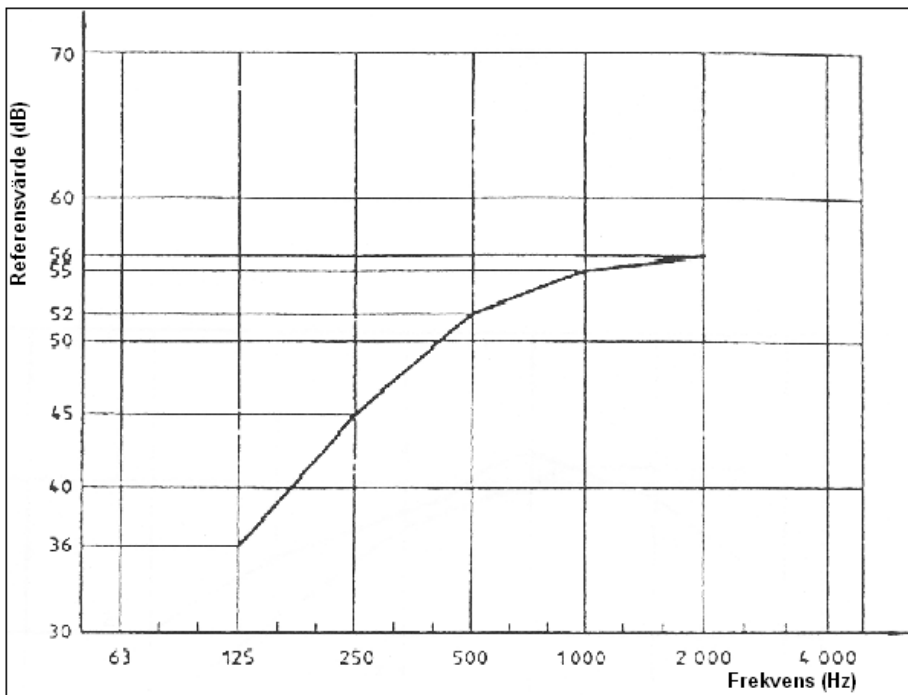
$A$  – Absorptionsytan/arean i mottagarrummet (m<sup>2</sup>)

$V$  – Mottagarrummets volym (m<sup>3</sup>)

$T_{60}$  – Efterklangstiden i mottagarrummet (s)

## 2.2 Sammanfattningsvärde

De olika reduktionstalen till frekvenserna ska sedan sättas ihop till ett sammanfattningsvärde, vägt reduktionstal i byggnad,  $R'_w$ . Reduktionstalen som fås vid mätning i de olika frekvenserna jämförs enligt EN ISO 717-1 mot en referenskurva [3]. Referenskurvan syns i figur 2.1 och som tabellform i tabell 2.1. 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 och 10 dB för 1/1-oktavband. Ogynnsam avvikelse innebär att referensvärdet ligger över mätvärdet. De antal steg som referensvärdena flyttats adderas eller subtraheras från referenskurvans värde vid 500 Hz och det sammansatta värdet fås.



Figur 2.1. Referensvärdeskurva för luftljudsisolering.



**Tabell 2.1.** Referensvärden för luftljudsisolering

Frekvens (Hz)	Referensvärden (dB)	
	1/3-oktavband	1/1-oktavband
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

### 2.3 Anpassningsterm

Anpassningsterm eller korrektionsfaktor som det även kallas, används för att anpassa och korrigera ljudtrycksnivån till olika bullerkällor enligt standard EN ISO 717-1. Det finns två olika anpassningstermer  $C$  och  $C_{tr}$ .  $C$  tar hänsyn till tal, musik, radio, tv, lekande barn och tåg och bilar med hög hastighet medan  $C_{tr}$  tar hänsyn till diskotekmusik samt tåg och bilar med låg hastighet. I Sverige används  $C_{50-3150}$  och i övriga Europa används  $C_{100-3150}$ , där siffrorna står för frekvensområdet. I Sverige tas det mer hänsyn till de lägre frekvenserna än i övriga Europa. För uträkning av anpassningsterm se bilaga 2.

### 2.4 Krav på luftljudsisolering

Enligt SS 25267 kan kraven på luftljudsisolering på bostäder delas in i 4 olika klasser, ljudklass A, B, C och D, se tabell 2.2. [17]. Ljudklass A har de högsta kraven, dessa är ofta svåra att uppnå. Vid nybyggnation och renovering eftersträvas ljudklass B. I äldre bostäder räcker oftast kraven från ljudklass C. Ljudklass D måste ibland användas på särskilda byggnader, t.ex. K-märkta. Enligt BBR ska krav för ljudklass C uppfyllas vid nybyggnation.

**Tabell 2.2.** Krav på vägt reduktionstal mellan bostad och utrymmen utanför lägenhet.

Ljudklass A	Ljudklass B	Ljudklass C	Ljudklass D
$R'_{w+C_{50-3150}}$	$R'_{w+C_{50-3150}}$	$R'_{w+C_{50-3150}}$	$R'_w$
<b>61 dB</b>	<b>57 dB</b>	<b>53 dB</b>	<b>49 dB</b>

### 2.5 Noggrannhet

En studie av mätningar av luftljudsisolering har gjorts i Storbritannien och visat att identiska mätningar inte ger samma reduktionstal [8]. Standardavvikelsen är cirka 2 dB och varierar mest i de låga frekvenserna. Mätningarna visade att spridningen av mätningarna beror på arbetsutförandet av konstruktionen. Liknande resultat fås i Nordtestprojekt 04030 [16].

Mätningarna utfördes på enkla betongkonstruktioner. Vid mer komplexa element och konstruktioner lär standardavvikelsen bli större. Eftersom standardavvikelsen är 2 dB är det vanligt att mätningarna håller sig i detta intervall men avvikelsen kan bli större.

### 3 Stegljudsisolering

Stegljudsnivå är ett mått på hur stor ljudtrycksnivå som uppkommer i angränsande rum vid slag mot bjälklag med en standardiserad hammarapparat [19]. Ju lägre stegljudsnivå desto bättre isolering.

#### 3.1 Mätning av stegljudsnivå

Mätning av stegljudsnivå i fält görs enligt SS-ISO 140-7 [12]. Metoden kan användas på golv både med och utan beläggning. Istället för högtalare som används vid luftljudsisoleringsmätningar används en standardiserad hammarapparat. Den består av fem stålcyllindrar som lyfts upp och släpps mot golvet i tät och bestämd takt, se figur 3.1.



Figur 3.1. Bild på hammarapparat.

Ljudtrycksnivån mäts med hjälp av ett mätinstrument i mottagarrummet. Alla mätvärden görs för varje 1/3-oktav frekvens mellan 50 till 3150 Hz. Hammarapparaten ska vinklas 45° mot golvbjälkar och regler och ställas på minst fyra olika positioner med ett avstånd på 0,5 meter från väggarna. Vid fixa mätpunkter i mottagarrummet ska fyra mätpunkter användas. Minst sex mätningar ska utföras och alla fyra positioner av hammarapparaten måste vara representerade. Vid svepande rörelse av mikrofonen ska det ske minst ett svep vid varje position av hammarapparaten. Bakgrundsljudet i mottagarrummet mäts med mätinstrumentet. Det ska sedan dras bort från den uppmätta ljudtrycksnivån så att inte irrelevanta ljud utifrån påverkar mätningen. Efterklangstiden mäts upp i mottagarrummet genom att ljud från en högtalare byggs upp i rummet, ljudet stängs av och mätinstrumentet räknar tiden det tar för ljudet att sjunka 60 dB för varje frekvens. Vid ett stort rum används oftast pistolskott för att alstra tillräckligt med ljud i rummet.

Därefter räknas stegljudsnivån,  $L_n$ , ut enligt följande

$$L_n = L_m + 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right)$$

$$A = \frac{0,16V}{T_{60}}$$

$$L_n = L_m + 10 \log \left( \frac{0,016V}{T_{60}} \right)$$

där

$L_n$  – Stegljudsnivån (dB)

$L_m$  – Ljudtrycksnivå i mottagarrummet (dB)

$A$  – Absorptionsarea i mottagarrummet ( $m^2$ )

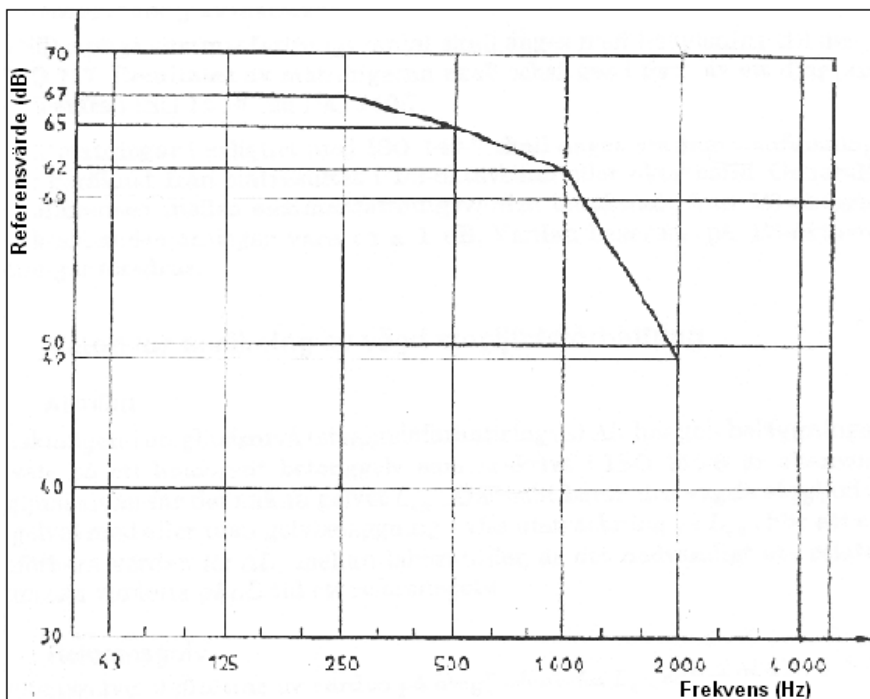
$A_0$  – Ekvivalent referens absorptionsarea,  $10 m^2$

$V$  – Mottagarrummets volym ( $m^3$ )

$T_{60}$  – Efterklangstiden i mottagarrummet (s)

### 3.2 Sammanfattningsvärde

De olika stegljudsnivåerna till frekvenserna ska sedan sättas ihop till ett sammanfattningsvärde, vägd stegljudsnivå i byggnad,  $L'_{n,w}$ . Värdena som fås vid mätning i de olika frekvenserna jämförs enligt ISO 717-2 mot en referenskurva [4]. Referenskurvan syns i figur 3.2 och som tabellform i tabell 3.1. 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 och 10 dB för 1/1-oktavband. Ogynnsam avvikelse innebär att mätvärdet ligger över referensvärdet. De antal steg som referensvärdena flyttas adderas eller subtraheras från referenskurvas värde vid 500 Hz och det sammanfattande värdet har fått för 1/3-oktavband. Vid beräkning av 1/1-oktavband ska det sammanfattande värdet reduceras med 5 dB.



Figur 3.2. Referensvärdeskurva för stegljudsnivå.

**Tabell 3.1.** Referensvärden för stegljudsnivå

Frekvens (Hz)	Referensvärden (dB)	
	1/3-oktavband	1/1-oktavband
100	62	
125	62	67
160	62	
200	62	
250	62	67
315	62	
400	61	
500	60	65
630	59	
800	58	
1000	57	62
1250	54	
1600	51	
2000	48	49
2500	45	
3150	42	

### 3.3 Anpassningsterm

Anpassningsterm eller korrektionsfaktor,  $C_i$ , läggs till sammanfattningsvärdet för att ta hänsyn till den ovägda stegljudsnivån för att representera ett typiskt stegbuller. I Sverige används  $C_{i,50-2500}$  och i övriga Europa används  $C_{i,100-2500}$ , där siffrorna står för frekvensområdet. I Sverige tas mer hänsyn till de lägre frekvenserna än övriga Europa.  $C_i$  beräknas enligt standard EN ISO 717-2.

### 3.4 Krav på stegljudsnivå

Kraven på stegljudsnivå delas precis som luftljudsisolering in i fyra olika klasser enligt SS 25267, ljudklass A, B, C och D, se tabell 3.2 [17]. Ljudklass A har de högsta kraven och dessa är ofta svåra att uppnå. Vid nybyggnation och renovering eftersträvas ljudklass B. I äldre bostäder räcker oftast kraven från ljudklass C. Enligt BBR ska krav för ljudklass C uppfyllas vid nybyggnation.

**Tabell 3.2.** Krav mellan lägenhet och utrymmen utanför lägenhet. Högsta värde för vägd normaliserad stegljudsnivå,  $L'_{n,w}$  eller  $L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$  dB.

Ljudklass A	Ljudklass B	Ljudklass C	Ljudklass D
$L'_{n,w}$ och $L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$	$L'_{n,w}$ och $L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$	$L'_{n,w}$ $L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$	$L'_{n,w}$
48 dB	52 dB	56 dB	60 dB

### 3.5 Noggrannhet

I en studie från Storbritannien har noggrannheten av stegljudsmätningar undersökts [9]. Mätningar som gjorts på konstruktioner med exakt samma förutsättningar visade en standardavvikelse på 2 dB. Störst avvikelse sker i de låga frekvenserna. Spridningarna av mätningarna beror på arbetsutförandet av konstruktionen. Liknande resultat fås i Nordtestprojekt 04030 [16].

Mätningarna utfördes på enkla betongkonstruktioner med liten volym. Vid komplexare konstruktioner och element och större volymer beräknas standaravvikelsen skilja mer.

## 4 SS-EN 12354 Byggakustik

### – Bestämning av akustiska egenskaper hos byggnader utgående från egenskaper hos byggnadselement

Europastandarden EN 12354 gäller som svensk standard. Standarden har blivit framtagen av den Europeiska kommittén för standardisering, CEN, tekniska kommitté 126, TC 126 under ledning av professor Eddy Gerretsen. Den skapades på uppdrag av EU-kommissionen efter att provningsstandarder och laboratorier i Tyskland gjorts om. Laboratorier var tidigare uppbyggda för att få byggnadsliknande flanktransmission som gav ett slags realistiskt värde i en byggnad. Provningsstandarden ändrades och laboratorierna byggdes så att endast byggnadsdelens ljudisolering mättes. Därmed behövdes en beräkningsstandard som kopplar ihop beräkningsdata för enskilda byggnadselement till ett värde som motsvarar ljudisolering mellan rum i en byggnad. Standarden är avsedd för akustiska experter, men kan ge stommen till utveckling av tillämplade dokument och verktyg för andra användare inom byggsektorn.

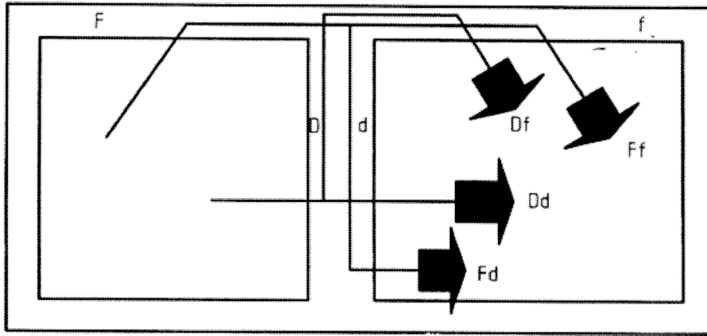
Standarden består av 6 olika delar

1. Luftljudsisolering mellan rum
2. Stegljudsisolering mellan rum
3. Luftljudsisolering mot utomhusljud
4. Ljudtransmission från inomhus till utomhus
5. Ljudtrycksnivå i rum beroende på teknisk utrustning och installationer
6. Ljudabsorption i utrymmen i byggnader

Mitt examensarbete omfattar del 1 och 2, luft- respektive stegljudsisolering mellan rum. I bilaga 2 finns en ordlista till EN 12354.

#### 4.1 EN 12354-1: Luftljudsisolering mellan rum i byggnader

EN 12354-1 beskriver principerna över beräkningsgången, förteckning av storheter och definerar dess tillämpning och begränsning av luftljudsisoleringen mellan intilliggande rum [5]. I standarden finns två olika beräkningsmodeller, en detaljerad och en förenklad. Båda är för beräkning i byggnader men kan användas vid andra liknande system. Modellerna bygger på att ljudets väg från sändar- till mottagarrum går via skiljeelementet samt de flankerande elementen, se figur 4.1. Antagandet om ljudvägarna baseras på att transmissionsvägarna kan anses självständiga och att ljud- och vibrationsfält uppför sig statistiskt. Elementvalet beror på om vibrationsreduktionstalet,  $K_{ij}$ , är känt, vilket går att räkna ut för homogena och lätta dubbelkonstruktions element enligt EN 12354-1.



Figur 4.1. Ljudets transmission från sändarrum till mottagarum vid horisontell beräkning.

#### 4.1.1 Noggrannhet

Noggrannheten av beräkningar beror på många olika faktorer;

- Exaktheten av indata
- Modellering
- Typ av element och knutpunkter
- Yrkesskicklighet och erfarenhet

Eftersom det är första versionen av standarden finns det för få beräkningar jämförda med fältmätningar för att göra en uppskattning av den säkerhetsmarginal som behövs på beräkningsmodellerna. Men på liknande beräkningsmodeller för homogena element är standardavvikelsen 1,5-2,5 dB för den detaljerade beräkningsmodellen. Likartade resultat fås i Nordtestprojekt 04030 [16].

Vid komplicerade situationer och element med osäker indata rekommenderas variation av indata för att få en bra noggrannhet av beräkningen. Detta kräver bra byggnadsteknisk erfarenhet.

#### 4.1.2 Begränsningar

Enligt EN 12354-1

- Modellen kan endast användas för kombinationer av element där vibrationsreduktions-talet,  $K_{ij}$ , är känt.
- Modellen är endast applicerbar på enkla strukturelement som har samma strålnings-egenskaper på båda sidor.
- Modellen beräknar endast ljudtransmission mellan angränsande rum.
- Tillskottet från sekundär transmissionsväg som berör mer än en knutpunkt är försummad. Detta är delvis kompenserat genom vibrationsreduktionstalen,  $K_{ij}$ , så länge de är baserade på fältmätningar. Men det kan ge en underskattning av flanktransmissionen. Sekundär ljudtransmissionsväg kan bli viktig vid beläggingsmaterial på stora ytor.



- Vid stora bjälklag, där lätta väggar står på bjälklaget, kan bjälklaget inte anses som självständigt element. Beräkningar vid dessa betingelser får anses som grovt uppskattade.

För att vibrationsreduktionstalet,  $K_{ij}$ , ska kunna beräknas måste enligt mätningstandarden för laboratorium, EN ISO 10848-1 [6]

- Kopplingen mellan element  $i$  och  $j$  vara vek.
- Vibrationsfältet i elementet vara diffust.

Enligt EN ISO 10848-1 går  $K_{ij}$  ej att beräkna eller mäta då

- Elementen är starkt kopplade.
- Elementets vibrationsnivåhastighet klingas av för mycket per meter innan knutpunkten nås.
- Låg modalöverlappning och lågt modantal per frekvens förekommer.

För homogena element är vibrationsreduktionstalet känt eftersom ljud- och vibrationsfältet är diffust. Med diffust ljud- och vibrationsfält menas att vibrationerna sprids jämt över hela elementet och att alla vågutbredningsriktningar är lika sannolika.  $K_{ij}$  går därmed att beräkna eller mäta. Lätta element har olika vågutbredningsegenskaper i olika riktningar vilket gör att fältet inte är diffust och därmed är  $K_{ij}$  svårt att beräkna och mäta.

Elementets vibrationsnivåhastighet får inte klingas av för mycket per meter innan knutpunkten nås, då sänks vibrationsreduktionstalet vilket inte fungerar med teorin för flanktransmission enligt EN 12354 [18]. Då lätta konstruktioner oftast har hög avklingning går de ej att beräkna enligt EN 12354.

EN 12354 tar inte hänsyn till återkopplingen av vibrationsenergin från mottagarsida till sändarsida. Om vibrationsenergin är i samma storleksordning på både sändar- och mottagarsida blir beräkningarna fel. Därför måste kopplingen vara vek så att inte  $K_{ij}$  blir för litet.

Om det är låg modalöverlappning och lågt modantal per frekvens kan inte systemet anses som SEA-system, Statistical Energy Analysis, vilket EN 12354 är en enkel variant av. SEA-system innebär att det förekommer många och täta resonanser. Detta förekommer i de höga frekvenserna. Därför blir beräkningarna ofta bättre i de höga frekvenserna.

Enligt begränsningarna för EN 12354 går det alltså inte att beräkna ljudisoleringen för lätta dubbelkonstruktioner trots att det står att så kan göras i kapitel 4.1. Följes begränsningarna så kan endast ljudisoleringen för homogena element beräknas.

### 4.1.3 Beräkningsgång

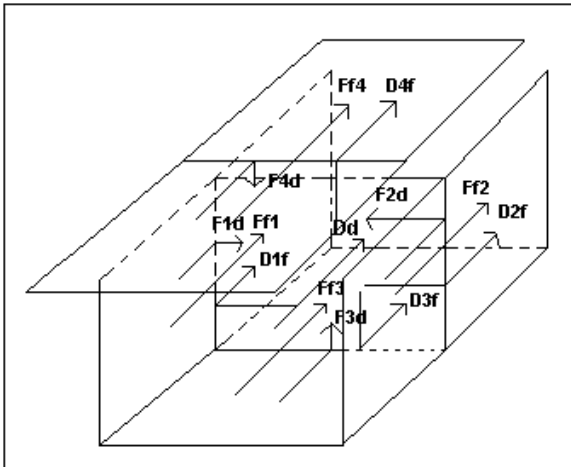
För att få bättre förståelse om vad som sägs i standarden har ett beräkningsexempel utförts, se bilaga 3. Beräkningen bygger på den detaljerade modellen. Beräkningarna har utförts med hjälp av ett exempel som finns som bilaga till EN 12354-1, Annex H, samt genom hjälp av Eddy Gerretsen.

Beräkningssättet kan stolpas upp i fyra olika punkter,

1. Beräkning av varje konstruktionsdels reduktionstal i laboratorium,  $R_{lab}$
2. Beräkning av varje konstruktionsdels insituvärden och vibrationsnivåskillnad vid knutpunkter,  $\overline{D}_{v,ij,situ}$
3. Beräkning av reduktionstalet i fält,  $R_{situ}$ , med hjälp av efterklangstiden
4. Bestämning av direkt och flankerande ljudtransmission

Beräkningarna leder till reduktionstal för luftljudets alla vägar, se figur 4.2, i alla frekvenser, där

- Dd** – Ljudet från sändarrum via skiljeelement till mottagarrum
- Df** – Ljudet går från sändarrum till skiljekonstruktion till flankerande element till mottagarrum
- Fd** – Ljudet går från sändarrum till flankerande element till skiljekonstruktion till mottagarrum



**Figur 4.2.** Luftljudets vägar från sändarrum till mottagarrum.

För att få ut sammanfattningsvärdet, det vägda reduktionstalet, och C-korrekturen måste standard EN ISO 717-1 sedan användas. Se uträkningar i bilaga 3.

#### 4.1.3.1 Resultat av handberäkningen

Det vägda reduktionstalet med C-korrektion för handberäkningen blev

$$R'_{w+C50-3150} = 55 + (-2) = \mathbf{53 \text{ dB}}.$$

Vid beräkning av samma objekt i Bastian blev det vägda reduktionstalet med C-korrektion

$$R'_{w+C50-3150} = 57,4 + (-2) = \mathbf{55,4 \text{ dB}}.$$

Beräkning av Eddy Gerretsen i hans program BASaid, Building Acoustic Simulation, ger

$$R'_{w+C50-3150} = 52 + (-1) = \mathbf{51 \text{ dB}}.$$

Anledningen till att olika resultat fås beror antagligen på olika indata, som är beroende från vilket laboratorium som lab-värdena tas ifrån. Bastian räknar i 1/3-oktavband, tersband, medan mina och Gerretsens beräkningar är i 1/1-oktavband.

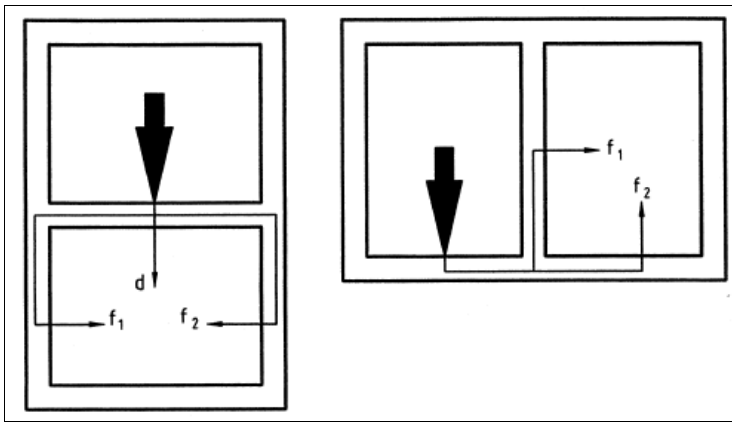
Med tanke på att mätningar har en standardavvikelse, säkerhetsmarginal, på cirka 2 dB är beräkningarna ändå relativt nära varandra. Handberäkningarna gjordes för att få bättre förståelse av standarden.

#### 4.1.4 Beläggningsmaterial

Golvbeläggning, väggbeklädnad och innertak är olika beläggningsmaterial som kan läggas på elementen. Luftljudsförbättringen av beläggningsmaterial är olika för direkt transmission och flanktransmission och beror på underlaget. Därför bör beräkningarna för båda transmissionsvägarna ske i laboratorium på samma element som finns i fältsituationen. Det finns ännu ingen standard för detta.

## 4.2 EN 12354-2: Stegljudsisolering mellan rum i byggnader

EN 12354-2 beskriver principerna över beräkningsgången, förteckning av storheter och definierar dess tillämpning och begränsning av luftljudsisoleringen mellan intilliggande rum [6]. I standarden finns två olika beräkningsmodeller, en detaljerad och en förenklad. Båda är för beräkning i byggnader men kan användas vid andra liknande system. Modellerna bygger på att ljud som uppkommer mot bjälklag och väggar fortplantar sig genom stommen, se figur 6.1. Antagandet om ljudvägarna baseras på att transmissionsvägarna kan anses självständiga. Det baseras även på att ljud- och vibrationsfält uppför sig statistiskt så att stegljudsnivån kan hållas genom att addera all transmitterad energi från varje väg.



Figur 6.1. Stegljudets transmission från sändar- till mottagarrum, vertikalt och horisontellt.

### 4.2.1 Noggrannhet

Noggrannheten av beräkningar beror på många olika faktorer;

- Exaktheten av indata
- Modeller
- Typ av element och knutpunkter
- Yrkesskicklighet och erfarenhet

Efter erfarenhet från liknande detaljerade beräkningsmodeller på homogena element har en säkerhetsmarginal kunnat förutses. För vertikala beräkningar är standardavvikelsen 2 dB och för horisontella 3 dB. Snarlika resultat fås i Nordtestprojekt 04030 [16].

Det är bra att variera indata, speciellt vid komplicerade situationer och svåra elementval, för att få ett mått på noggrannheten. Detta kräver bra byggnadsteknikerfarenhet.

### 4.2.2 Begränsningar

Samma begränsningar som för luftljudsisolering, se kapitel 4.1.2.

Stegljudsförbättringen för golvbeläggningar,  $\Delta L$ , bestämd enligt EN ISO 140-8 på massiva golv, kan ej tillgodoräknas då golvet läggs på eftergivliga brädgolv eller lätta kompositgolv.

### 4.2.3 Beräkningsgång

Beräkningen av stegljudsnivån följer i stort sett beräkningsgången för luftljudsisoleringen då stegljudet från flankerande element beror på luftljudet. Formler från EN 12354-1 & 2 används vid beräkning.

1. Beräkning av varje konstruktionsdels reduktionstal i laboratorium,  $R_{lab}$ , samt bjälklaget stegljudsnivå,  $L_{n,lab}$
2. Beräkning av varje konstruktionsdels insituvärden och vibrationsnivåskillnad vid knutpunkter,  $\overline{D_{v,ij,situ}}$
3. Beräkning av reduktionstalet i fält,  $R_{situ}$ , med hjälp av efterklangstiden
4. Bestämning av direkt och flankerande ljudtransmission

I punkt 4 skiljer sig beräkningarna från luftljudsisolering

stegljudsnivån vid direkt transmission (genom bjälklaget)

$$L_{n,d} = L_{n,situ}$$

stegljudsnivån från flankerande element

$$L_{n,ij} = L_{n,situ} + \frac{R_{i,situ} - R_{j,situ}}{2} - \overline{D_{v,ij,situ}} - 10 \log \sqrt{\frac{S_i}{S_j}}$$

*Beräkningarna är för konstruktioner utan beläggingsmaterial.*

Stegljudnivån för vertikal respektive horisontell beräkning är

$$L'_n = 10 \log(10^{L_{n,d}/10} + \sum_{j=1}^k 10^{L_{n,ij}/10}), \quad L'_n = 10 \log \sum_{j=1}^k 10^{L_{n,ij}/10} \quad \text{där}$$

$k$  – antalet element (4 stycken)

För att få ut sammanfattningsvärdet (vägda stegljudsnivån) och C-korrekturen måste standard EN ISO 717-2 sedan användas.



## 5 BASTIAN®

Bastian är ett dataprogram som utför beräkningar på luftljuds- och stegljudsisolering i byggnader samt luftljudsisolering mot utomhusljud [15]. Den bygger på europastandarden EN 12354 del 1-3. Bastian tar i beaktning alla ljudtransmitterade element och system inklusive skilda och flankerade element, beläggningsmaterial, fönster och dörrar men även luftljud som transporteras via ventilation och installationer.

### 5.1 Bakgrund till Bastian

Provningslaboratorier för ljudisolering var i Tyskland tidigare uppbyggda av sammansatta konstruktioner för att få byggnadsliknande flanktransmission som gav ett slags realistiskt värde i en byggnad. Provningsstandarderna ändrades och laboratorierna byggdes så att endast en byggnadsdels ljudisolering mättes. I och med detta gjordes den nya beräkningsstandardEN 12354 som kopplar ihop data för enskilda byggelement till ett värde som motsvarar ljudisoleringen mellan två rum i en byggnad. Samtidigt som CEN utvecklade EN 12354 gjordes BASTIAN som ett beräkningsverktyg. Utvecklingen skedde på Isover, Ladenburg Tyskland, under ledning av ingenjör Heinrich Metzen och utkom ungefär samtidigt som EN 12354 år 2000. Utöver Bastian finns det några andra program som bygger på EN 12354, bland annat franska Acoubat, men de har inte spridits i lika stor utsträckning som Bastian. Antalet licenser i Europa för Bastian uppskattas till att vara 500 idag, varav 100 i Norden. För tillfället behandlar Bastian enbart del 1-3 av EN 12354 men arbete pågår med att föra in de senast färdigställda delarna 5 & 6.

### 5.2 Hur används Bastian

Luft- och stegljudsisolering kan beräknas enligt olika modeller i Bastian. Precis som i standard EN 12354- 1-3 kan antingen en detaljerad eller en förenklad modell göras för ljudisoleringen. Andra modeller är Craik och Fischer där efterklangstiden för tunga element räknas på annat sätt än enligt EN 12354.

En förenklad användarmanual finns i bilaga 4.

### 5.3 Element databas

Databasen är europeisk och består av cirka 1600 byggnadselement av de olika karaktärerna

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

Cirka 400 av elementen är vanliga nordiska byggnadselement som har utvecklats i samarbete mellan danska Delta Akustik & Vibration och Simmons akustik & utveckling ab. Den nordiska databasen uppdateras varje kvartal.

Vid saknad av element i databasen är Bastian uppbyggt så att egna element kan föras in och tas bort. Då 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 plus stegljudsnivån i varje 1/3-oktav. Även nya beläggingsmaterial kan läggas in i databasen genom att föra in luftljuds- och stegljudsförbättringen.

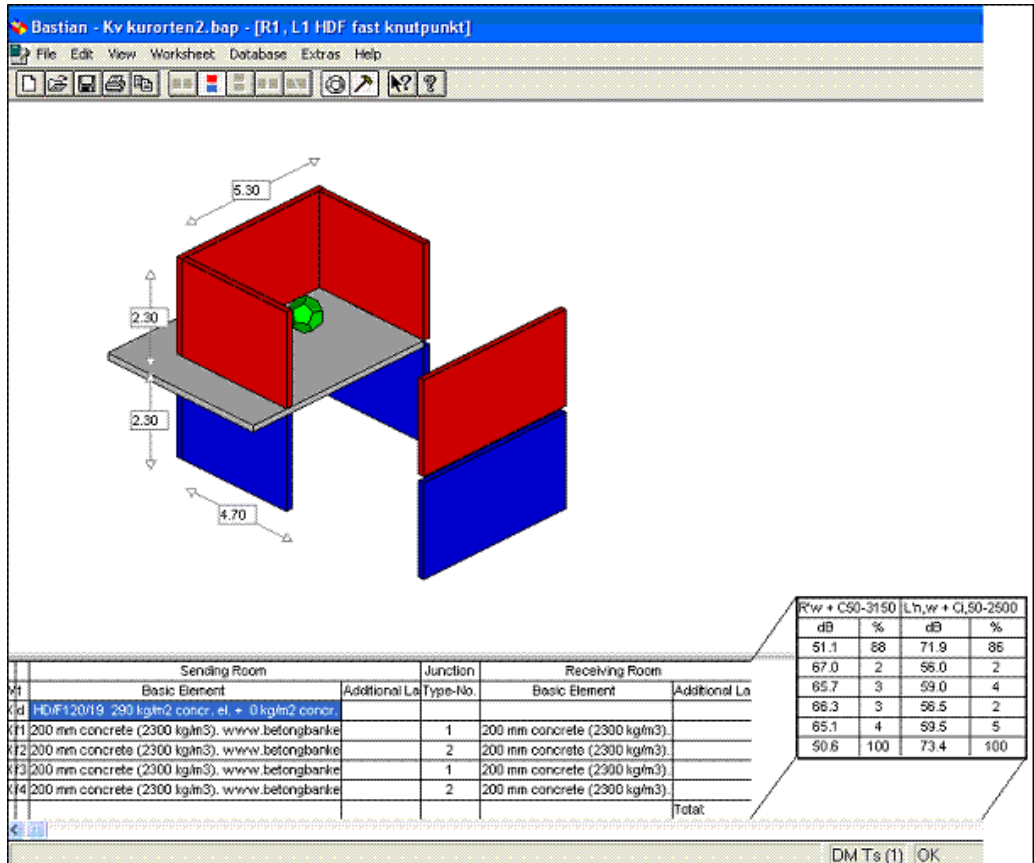
#### **5.4 Reduktionstal och stegljudsnivå**

Då indata matats in i Bastian fås resultatet av reduktionstalet och stegljudsnivån. De kan fås i olika vägda sammanfattningsvärden och med eller utan olika korrektionsfaktorer. Reduktionstalet kan presenteras som vägt, normaliserat eller standardiserat och stegljudsnivån som vägt eller standardiserat. För varje element visas dess reduktionstal respektive stegljudsnivå som fås i den sammansatta konstruktionen. Även andel ljudenergi som går via varje element redovisas, se figur 5.1. Detta gör det lätt att se om något elements ljudisolering måste åtgärdas och om problem med flanktransmission förekommer. Om skiljeelementets reduktionstal är mer än 3 decibel högre än vad det vägda reduktionstalet är finns det risk för flanktransmission.

#### **5.5 Dubbelväggskonstruktioner i EN 12354 och Bastian**

EN 12354 behandlar endast knutpunkter för enkelväggskonstruktioner. I Bastian har det gjorts möjligt att föra in dubbelväggskonstruktioner genom en enkelväggsapproximation. Det bygger på att väggen fästs in elastiskt mot bjälklagen och beter sig mer som en regelvägg än en massiv vägg. Lösningen är endast tillfällig i väntan på mer underlag från standarden.





**Figur 5.1.** Färdigberäknad konstruktion i Bastian med varje elements reduktionstal/stegljudsnivå och andel ljudöverföring markerat samt sammanfattningsvärdet av reduktionstalet/ stegljudsnivån.



## 6 Bastianberäkningar jämfört med mätningar

För att kontrollera hur lika beräkningar i Bastian och EN 12354-1&2 blir jämfört med mätningar har mätningar på utvalda objekt utförts för att sedan beräknas i Bastian.

Valet av objekt var inte så lätt. Första objektet jag gjorde beräkningar på var en träkonstruktion vilket inte stämde alls med begränsningarna enligt EN 12354 där objektet måste vara homogent. Detta visar att standarden från början var svår att läsa och förstå. Dessutom behövdes ytterligare en standard, prEN ISO 10848-1, för att utesluta element med hög avklingning, se kapitel 5.1.2. Därefter hittades ett objekt med Hdf-bjälklag, men eftersom de var upplagda både på väggar och på pelare gick det inte heller att beräkna enligt EN 12354. Försök på ett gammalt sparkroppsbjälklag, bjälklag med olika skikt, gick heller inte att beräkna. Trots dessa missöden fick jag en bättre förståelse av standarden.

Då det stod klart att endast homogena konstruktioner kunde beräknas enligt EN 12354 valdes beräkningar och mätningar på Kvarter Kurorten i Skövde och på konferenslokalen i V-huset på LTH. På Kv. Kurorten gjordes mätningar med olika beläggingsmaterial på Hdf-bjälklag. För övrigt består väggarna av homogena betongelement. Det kändes intressant att titta på hur Hdf-bjälklag och beläggingsmaterial behandlas i Bastian. I konferenslokalen och angränsade rum är alla element förutom skiljeväggen homogena. Från början trodde jag att även skiljeväggen var homogen men den visade sig vara en dubbelvägg. Det blev ändå intressant att räkna på den eftersom Bastian hittat en tillfällig väg att räkna på dubbelkonstruktioner trots att EN 12354 inte behandlar konstruktionen.

### 6.1 Kv. Kurorten

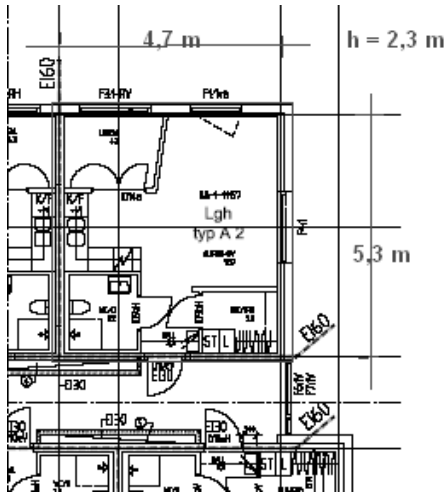
Kv. Kurorten är en nybyggnation i Skövde som bland annat består av studentlägenheter. Mätningen utfördes i oktober 2005 av Torbjörn Wahlström, WSP, med olika beläggingsmaterial på bjälklaget.

#### 6.1.1 Beskrivning

Grundkonstruktionen består av 200 mm tjocka betongväggar som är upplagda på 185 mm tjocka håldäcksbjälklag, Hdf-bjälklag, se figur 6.1.1. Alla mätningar är vertikala och rummen ligger på våning 2 respektive 3 på gaveln så att två sidor vetter ut mot gatan, se figur 6.1.2.



**Figur 6.1.1.** Håldäcksbjälklag, Hdf-bjälklag. [19]



Figur 6.1.2. Ritning över lägenhetstyp som använts vid mätningar på kvarter Kurorten.

På grundkonstruktionen mättes både luftljuds- och stegljudsisolering. Övriga konstruktioner bestod av 65 mm pågjuten Anhydrit på Hdf-bjälklaget med eller utan beläggningar, se tabell 6.1.1. På dessa konstruktioner mättes antingen luftljudsisoleringen eller stegljudsnivån. De olika konstruktionerna har fått passande namn för att lättare kunna skriva om dem i texten. *R* står för utförda luftljudsmätningar på objektet och *L* för utförda stegljudsmätningar på objektet. Anhydrit är en gipsflytmasa med densiteten  $1900 \text{ kg/m}^3$ . Vid mätningarna var flanktransmission märkbar.

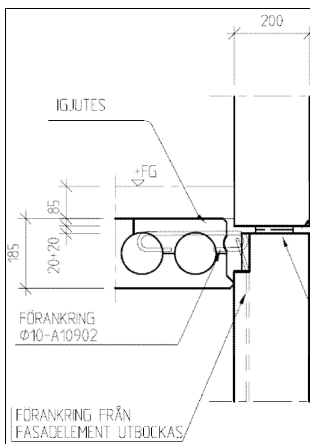
Tabell 6.1.1. Förteckning över de olika konstruktionerna på Kv. Kurorten och vilken mätning som utförts.

Konstruktion	Byggnadsmaterial	Mätningar	
		luftljud	stegljud
1	185 HDF	R1	R2
2	185 HDF 65 Anhydrit	R2	
3	185 HDF 65 Anhydrit, soundblock matta 8 laminat		L3
4	185 HDF 65 Anhydrit whisperings plate 8 laminat		L4

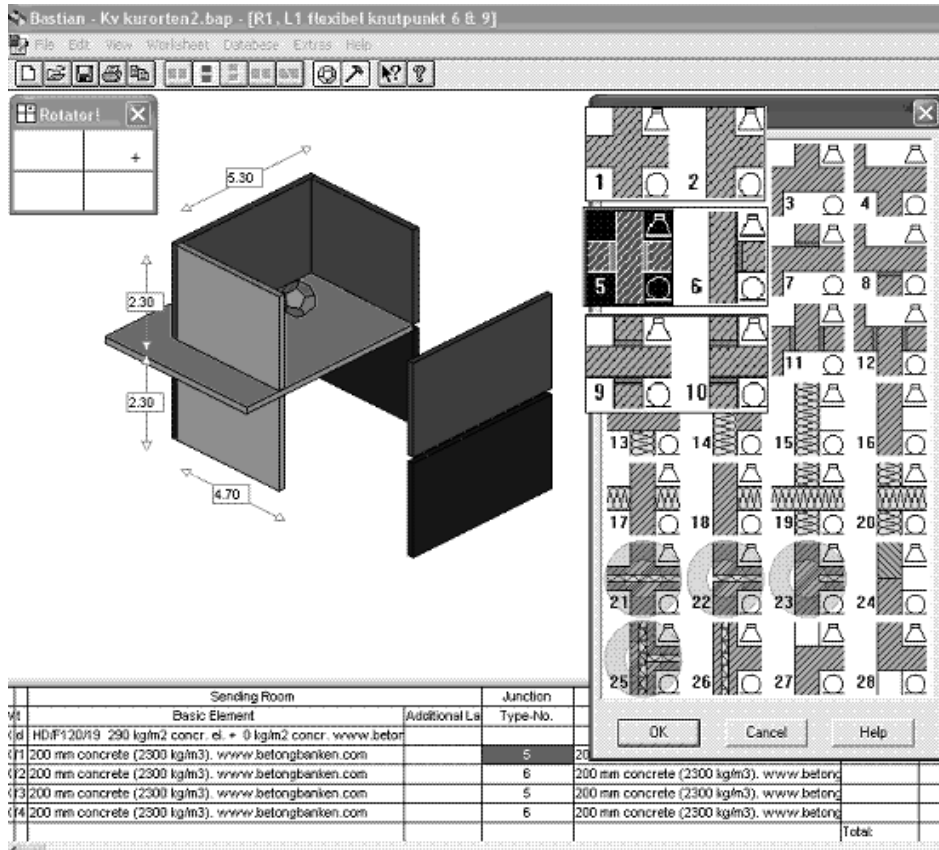
## 6.1.2 Behandling i Bastian

### 6.1.2.1 Knutpunktstyp

Rummen simuleras i Bastian genom att sätta ut längden på golv, tak och väggar. Valet av knutpunktssammankoppling är lite svårare. Vilken knutpunktstyp är lämplig att använda vid Hdf-bjälklag och hur behandlas en sammankoppling enligt figur 6.1.3? Här krävs byggnadsteknisk erfarenhet. Antingen utförs beräkningarna med styv eller flexibel knutpunktssammankoppling. Vid styv knutpunkt används knutpunktstyp 1 eller 2 i Bastian medan knutpunktstyp 5, 6, 9 eller 10 väljs vid flexibel knutpunkt, se figur 6.1.4. Enligt Simmons akustik & utvecklings ab är den mest passande beräkningen något mitt emellan de två fallen. I det här fallet där väggarna är genomgående ska knutpunktstyp 5 och 6 väljas vid flexibel knutpunkt.



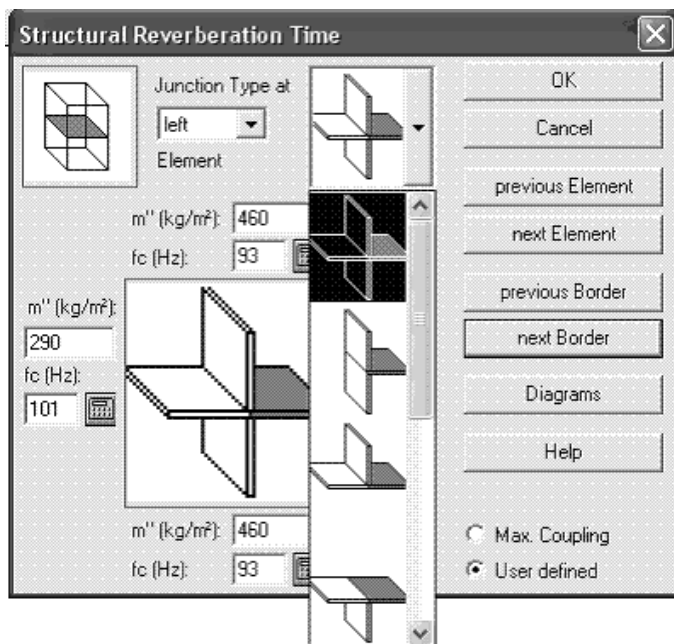
**Figur 6.1.3.** Hdf-bjälklagets infästning i ytterväggen på Kv. Kurorten. Vilken knutpunktstyp ska användas i Bastian?



**Figur 6.1.4.** Val av knutpunktstyp. Vid Hdf-bjälklag är verkligheten någonstans mittemellan de två fallen av styv knutpunkt, typ 1 eller 2, och flexibel knutpunkt, typ 5, 6, 9 eller 10.

### 6.1.2.2 Sammankoppling av homogena element

Konstruktionens sammansättning av homogena element väljs i Structural Reverberation Time, efterklangstid. Även om bjälklaget är ett Hdf-bjälklag räknas det som homogent element i Bastian. Då både golv, tak och väggar är homogena ska alla kopplingar mellan dessa element väljas att visas i dialogrutan, t.ex. åt de håll där rummen gränsar till andra rum i byggnaden skall kopplingen i figur 6.1.5 väljas.



**Figur 6.1.5.** Bild över koppling mellan homogena element. Visar sammankoppling mellan två homogena element.

### 6.1.2.3 Materialval

#### 6.1.2.3.1 Väggar

Efter det att knutpunktstyper och sammankoppling av elementen har valts kan lämpliga alternativ på byggnadsmaterial väljas. Från Bastians databas väljs 200 mm tjocka betongväggar som material på alla väggar.

#### 6.1.2.3.2 Bjälklag

Materialvalet av bjälklaget varierar för de olika konstruktionerna och därför går nu varje konstruktion igenom var för sig.

##### Konstruktion 1

Bjälklaget som enbart består av 185 mm HDF kan väljas direkt i Bastian. *HD/F120/19 290 kg/m<sup>2</sup> concr. el. + 0 kg/m<sup>2</sup> concr.* väljs med ytvikt  $m'' = 290 \text{ kg/m}^2$  och kritisk frekvens  $f_c = 101 \text{ Hz}$ .

##### Konstruktion 2

Bjälklaget består av en pågjutning av 65 mm Anhydrit, gipsflytmasa, på den 185 mm höga Hdf:en. Då inget lämpligt material hittades i Bastians databas gjordes beräkningar i Insul<sup>1</sup> där Hdf och Anhydrit bakas ihop till ett element. Därefter förs reduktionstal, stegljudsnivå, ytvikt och kritisk frekvens in i Bastian. Då ett nytt bjälklag ska skapas i Bastians databas måste både reduktionstalen och stegljudsnivån föras in i Bastian.

I Insul beräknades reduktionstalen genom att göra en vägg av 125 mm betong med densiteten  $2340 \text{ kg/m}^3$  som motsvarar vikten av ett 185 mm Hdf-bjälklag med

<sup>1</sup> Insul är ett tvådimensionellt beräkningsprogram för luft- eller stegljudsisolering för ett element.

densiteten  $1570 \text{ kg/m}^3$ . Utanpå placeras ett 65 mm tjockt betonglager med samma densitet som Anhydrit,  $1900 \text{ kg/m}^3$ .

För att beräkna stegljudsnivån görs i Insul ett 177 mm tjockt betonglager som motsvarar ytvikten av 185 mm Hdf och 65 mm Anhydrit. Ytvikten sätts till  $414 \text{ kg/m}^2$  då  $1570 \text{ kg/m}^3 * 0,185 \text{ m}_{HDF} + 1900 \text{ kg/m}^3 * 0,065 \text{ m}_{Anhydrit} = 414 \text{ kg/m}^2$ . Den kritiska frekvensen sätts till 121 Hz, för uträkning se bilaga 5. Införd data i Bastian från Insul syns i figur 6.1.6.

**Construction Data**

Element Type: monolithic floor Country: S

Construction Name: 185 HDF 65 Anhydrit margot

Joint Description:

Supplementary Informations:

Sketch-File:

Parameters (dB) at Frequency f (Hz) as separating element

f	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400		
R	43.0	44.0	45.0	46.0	46.0	46.0	47.0	45.0	46.0	49.0	+1	-1
Ln	54.0	61.0	62.0	62.0	64.0	64.0	65.0	67.0	68.0	74.0	+1	-1

f	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
R	51.0	54.0	56.0	59.0	61.0	65.0	66.0	68.0	70.0	71.0	73.0
Ln	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	71.0	70.0	68.0	67.0

Single-Numbers (dB):  
 Rw (C; C100-5000; Ctr,100-5000; C50-5000; Ctr,50-5000) = 56 (-1; -3; 0; -3; 0; -4)  
 Ln,w (C; C1,50-2500) = 78 (-10; -10)

Material Data  
 m<sup>1</sup> (kg/m<sup>2</sup>): 414  
 m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>): 0  
 fc,1 (Hz): 121  
 fc,2 (Hz): 0  
 Eta\_int: 0.006

Geometry Data  
 h\_lab (m): 0.00  
 l\_lab (m): 0.00  
 S\_F,lab (m<sup>2</sup>): 0.00  
 S\_L,lab (m<sup>2</sup>): 0.00  
 d (m): 0.18

OK Cancel Print Help

**Figur 6.1.6.** Införd data från Insul till Bastian av 185 mm HDF och 65 mm Anhydrit.

### Konstruktion 3

Bjälklaget består av en pågjutning av 65 mm Anhydrit på den 185 mm höga Hdf-plattan. Ovanpå ligger 8 mm laminat med en soundblockmatta under. Mattan sitter ihop med laminatet och är gummiliknande. Precis som i R2 används Insul för att ta fram reduktionstal och stegljudsnivåer för Hdf:en och Anhydriten som sedan skrivs in i Bastian. Soundblockmattan och laminatet verkar som beläggingsmaterial. Tillgång till en stegljudsförbättrings-kurva från Pergo finns vilket gör att beläggingsmaterialet kan föras in som ett nytt material i databasen, se figur 6.1.7. Stegljudsförbättrings-utförandet är gjort i laboratorium på en 150 mm tjock betongplatta.



**Construction Data**

Element Type: dry floating floor construction Country: S

Construction Name: Pergo laminat + soundblock matta margot

Joint Description:

Supplementary Informations:

Sketch-File:

Parameters (dB) at Frequency f (Hz) as separating element

f	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	
DeltaR	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	+1 -1
DeltaL	2.7	1.8	2.5	1.7	2.8	1.4	2.9	4.8	5.1	5.8	+1 -1

f	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
DeltaR	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DeltaL	8.6	12.8	18.1	20.9	28.0	33.9	38.4	43.5	47.4	52.3	55.1

Single-Numbers (dB):  
DeltaRw (C; Ctr; C100-5000; C50-5000; Ctr.50-5000) = 1 (0; 0; 0; 0; 0; 0)  
DeltaLw (Ci,Delta; Ci,Delta,50-2500) = 18 (-10; -10)

Material Data

m<sup>1</sup> (kg/m<sup>2</sup>): 0      fc 1 (Hz): 0  
m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>): 0      fc 2 (Hz): 0  
Eta\_int: 0.000

Geometry Data

h\_lab (m): 0.00      S\_f,lab (m<sup>2</sup>): 0.00  
L\_lab (m): 0.00      S\_l,lab (m<sup>2</sup>): 0.00  
d (m): 0.01

OK Cancel Print Help

Figur 6.1.7. Inskriften data för Pergo 8 mm laminat med soundblock matta i Bastian.

#### Konstruktion 4

Även här består bjälklaget av en pågjutning av 65 mm Anhydrit på den 185 mm höga Hdf:en. Beläggningsmaterialet består av en whispering plate och 8 mm laminat. Whispering plate kan liknas vid pressat papp. I Bastian finns några beläggningsmaterial som passar bra in. Tre olika beläggningsmaterial från Bastians databas har använts och lagts ovanpå det egengjorda elementet av Hdf och Anhydrit..

#### L4 Aprobo decibel 1

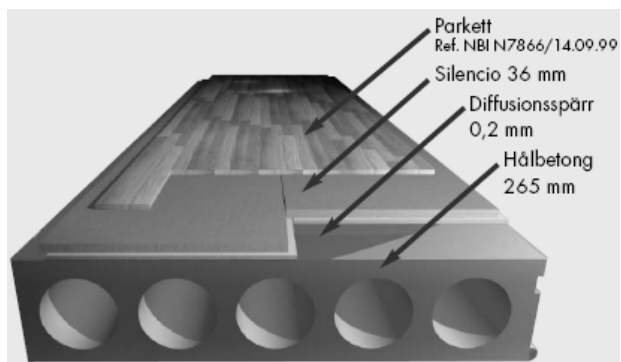
3 mm Aprobo decibel 1, 8 mm limmad massiv mosaikparkett, där Aprobo decibel 1 är en undelagsmatta av gummi. Stegljudsförbättringen med Aprobo är enligt Bastians databas  $\Delta L_w + C_{i,50-2500} = 6$  dB.

#### L4 Forbo LamiLoc Sordino 10 (inkl impact sound layer)

Som är ett laminatgolv som består av en kärna i HDF-board med en ljuddämpande baksida och på ovansidan ett mönsterskikt och ett ytlager. Stegljudsförbättringen med Forbo Lamiloc är enligt Bastian  $\Delta L_w + C_{i,50-2500} = 8$  dB.

#### L4 Hunton Silencio 06, laminat/parquet 07

Konstruktionen består av 2 mm diffusionspärr, 6 mm Silencio och 7 mm laminat. Figur 6.1.8 visar Silencio 36 som är konstruerad på samma sätt som Silencio 06 fast med tjockare Silencio och parkett. Silencio är en träfiberskiva. Stegljudsförbättringen med Hunton Silencio 06 är enligt Bastian  $\Delta L_w + C_{i,50-2500} = 8$  dB.

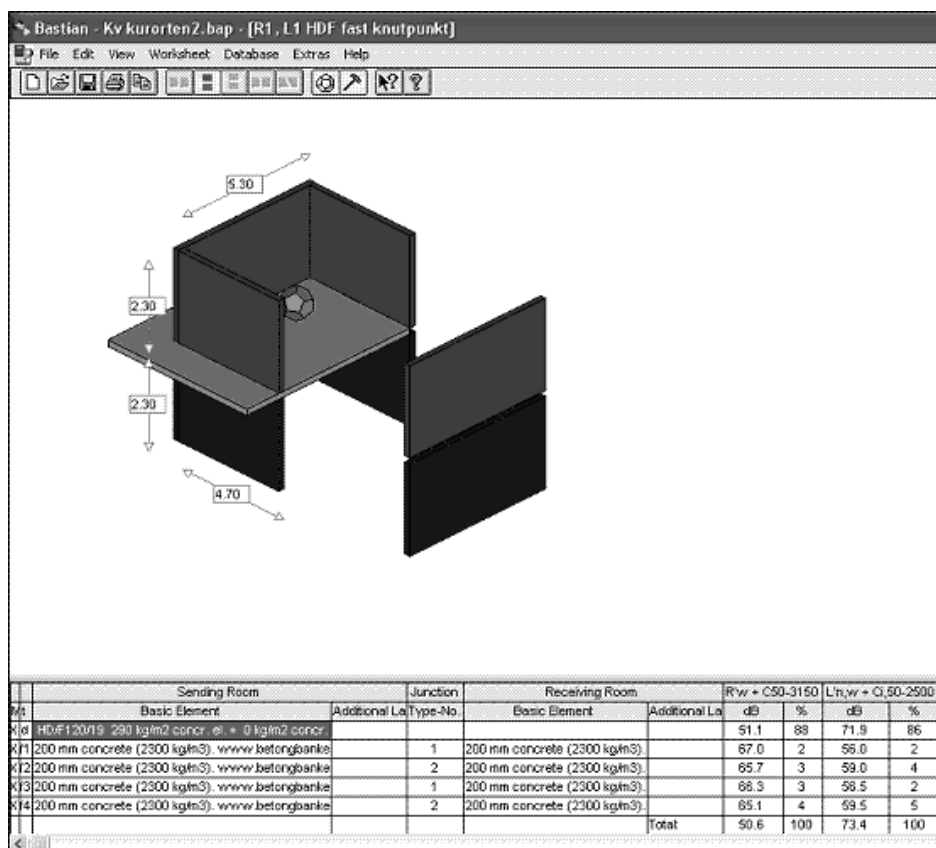


**Figur 6.1.8.** Konstruktion av Hunton Silencio 36 på Hdf-bjälklag. [20]

### 6.1.3 Resultat

#### 6.1.3.1 R1

I figur 6.1.9 syns beräkningarna i Bastian för luftljudsisolering och stegljudsnivå för konstruktion 1, 185 mm Hdf-bjälklag. I tabell 6.1.2 ses resultaten av de vägda reduktionstalen med *C*-korrektur av mätningen och beräkningarna i Bastian. Både fast och flexibel knutpunkt finns presenterat.



Figur 6.1.9. Beräkning i Bastian på konstruktion 1.

Tabell 6.1.2. Resultaten av reduktionstalen med *C*-korrektur för konstruktion 1.

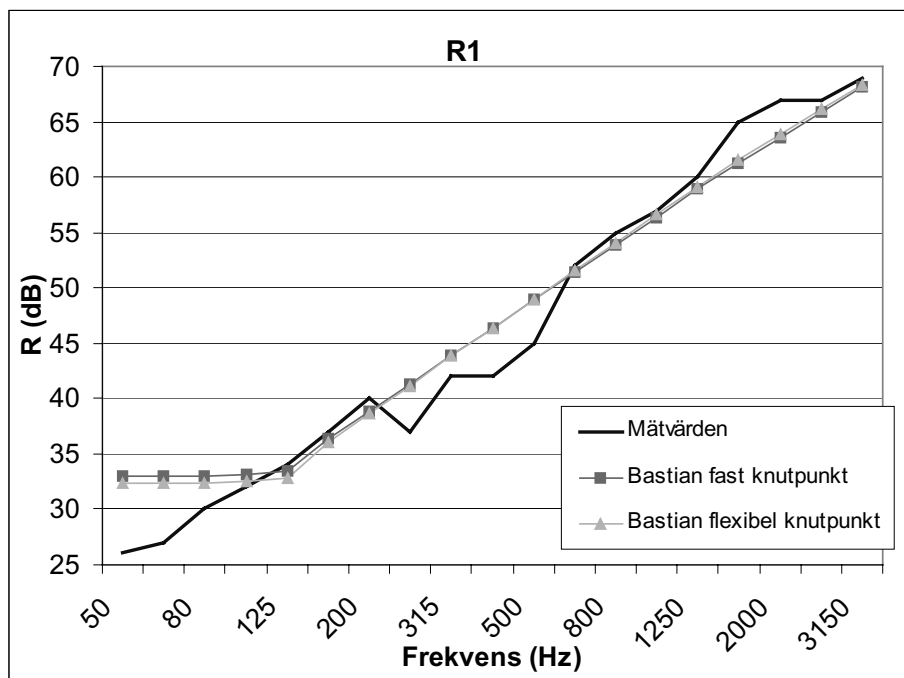
R1 185 HDF		R'w+C <sub>50-3150</sub> (dB)
<b>Mätvärde</b>		<b>49</b>
<b>Bastian</b>	Fast knutpunkt	<b>50,6</b>
	Flexibel knutpunkt	<b>50,5</b>

Tabell 6.1.3 visar reduktionstalen för de olika elementen i den sammansatta konstruktionen 1 med fasta respektive flexibla knutpunkter. Även andel ljudeffekt som går via varje element visas och de vägda reduktionstalen. Värdena kommer från beräkningarna i Bastian.

Figur 6.1.10 visar reduktionstalskurvorna för mätvärdena och beräkningarna i Bastian. Både fast och flexibel knutpunkt visas.

**Tabell 6.1.3.** Reduktionstal och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen vid fasta respektive flexibla knutpunkter.

R1	fasta knutpunkter		flexibla knutpunkter	
	$R'_w + C_{50-3150}$		$R'_w + C_{50-3150}$	
	dB	%	dB	%
bjälklag	51,1	88	51,2	84
vägg	67	2	63,9	5
vägg	65,7	3	65,7	3
vägg	66,3	3	63,2	5
vägg	65,1	4	65,1	3
<b>Totalt</b>	<b>50,6</b>	<b>100</b>	<b>50,5</b>	<b>100</b>



**Figur 6.1.10.** Reduktionstalskurvan vid mätning på Kv. Kurorten på konstruktion 1 jämfört med kurvorna för beräkningarna av fast respektive flexibel knutpunkt i Bastian.

## 6.1.3.2 L1

I tabell 6.1.4 ses resultaten av sammanfattningsvärdet av stegljudsnivån med C-korrektion av mätningen och beräkningarna på konstruktion 1 i Bastian. Tabell 6.1.5 visar stegljudsnivån för de olika elementen och hur stor del av ljudeffekten som går via varje element. Både fast och flexibel knutpunkt finns presenterat.

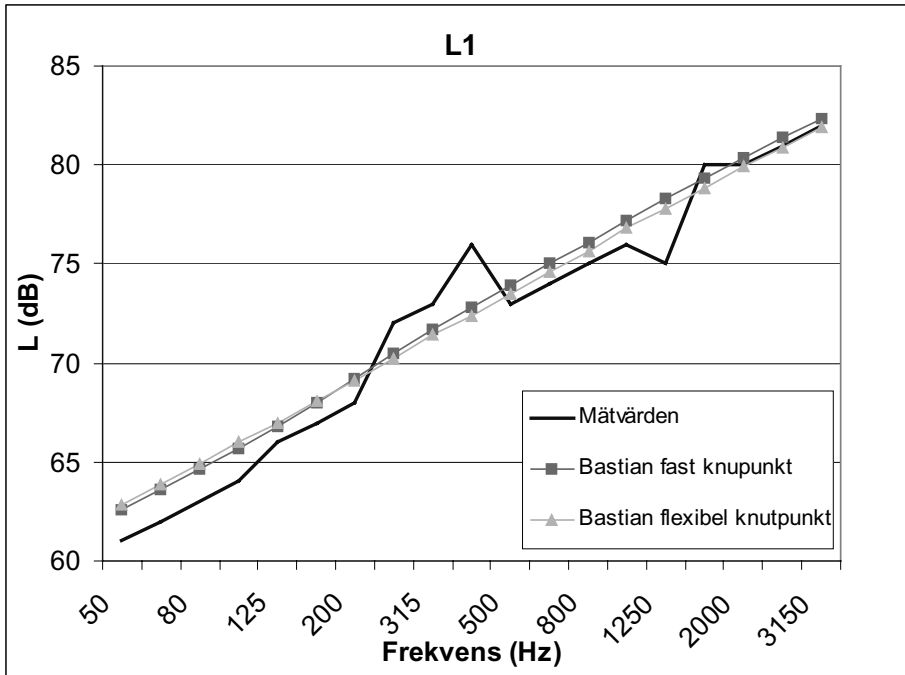
**Tabell 6.1.4.** Resultaten av stegljudsnivåerna med C-korrektion för konstruktion 1.

<b>L1 185 HDF</b>		<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math> (dB)</b>
<b>Mätvärde</b>		<b>73</b>
<b>Bastian</b>	Fast knutpunkt	<b>73,4</b>
	Flexibel knutpunkt	<b>72,9</b>

**Tabell 6.1.5.** Stegljudsnivå och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen vid fasta respektive flexibla knutpunkter.

<b>L1</b>	fasta knutpunkter		flexibla knutpunkter	
	<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math></b>		<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math></b>	
	<b>dB</b>	<b>%</b>	<b>dB</b>	<b>%</b>
bjälklag	71,9	86	71,9	96
vägg	56	2	51,6	1
vägg	59	4	51,6	1
vägg	56,5	2	52,1	1
vägg	59,5	5	52,1	1
<b>Totalt</b>	<b>73,4</b>	<b>100</b>	<b>72,9</b>	<b>100</b>

Figur 6.1.11 visar stegljudsnivåkurvorna för mätvärdena och beräkningarna i Bastian för konstruktion 1. Både fast och flexibel knutpunkt visas.



**Figur 6.1.11.** Stegljudsnivåkurvan vid mätning på Kv. Kurorten på konstruktion 1 jämfört med kurvorna för beräkningarna av fast respektive flexibel knutpunkt i Bastian.

## 6.1.3.3 R2

Tabell 6.1.6 visar resultaten av sammanfattningsvärdena av reduktionstalen med C-korrektion av mätningen och beräkningarna i Bastian för konstruktion 2. Tabell 6.1.7 visar reduktionstalen för de olika elementen och hur stor andel av ljudeffekten som går via varje element. Både fast och flexibel knutpunkt finns presenterat.

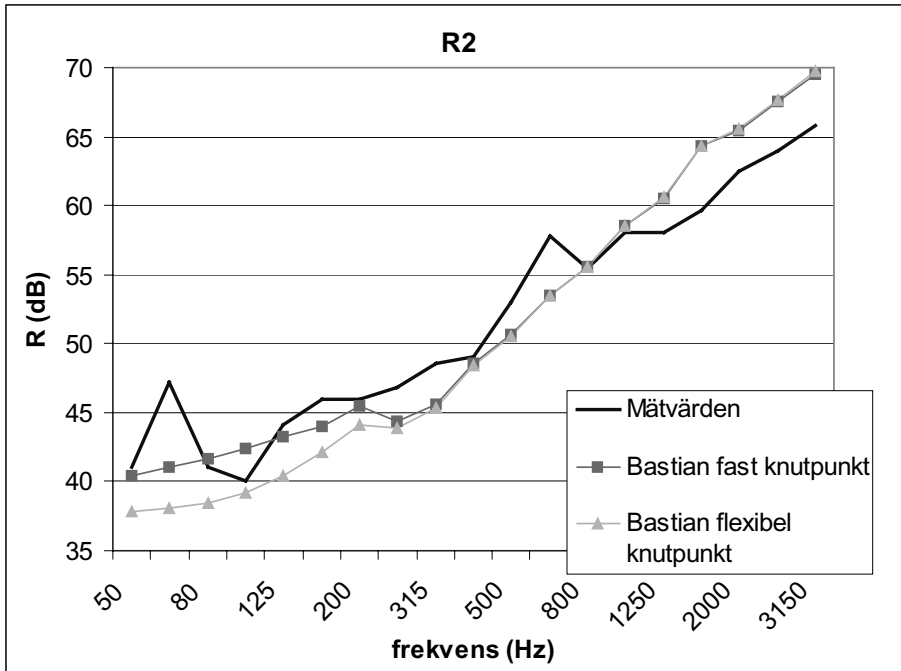
Tabell 6.1.6. Resultaten av reduktionstalen med C-korrektion för konstruktion 2.

<b>R2 185 HDF, 65 Anhydrit</b>		$R'_w + C_{50-3150}$ (dB)
<b>Mätvärde</b>		<b>56</b>
<b>Bastian</b>	Fast knutpunkt	<b>54,2</b>
	Flexibel knutpunkt	<b>53,8</b>

Tabell 6.1.7. Reduktionstal och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen vid fasta respektive flexibla knutpunkter.

<b>R2</b>	fasta knutpunkter		flexibla knutpunkter	
	$R'_w + C_{50-3150}$		$R'_w + C_{50-3150}$	
	dB	%	dB	%
bjälklag	55,9	81	55,2	71
vägg	69,4	4	64,7	8
vägg	67,9	5	66,6	5
vägg	68,7	4	63,9	10
vägg	67,2	6	65,9	6
<b>Totalt</b>	<b>54,2</b>	<b>100</b>	<b>53,8</b>	<b>100</b>

Figur 6.1.12 visar reduktionstalskurvorna för mätningen och beräkningar i Bastian för fast respektive flexibel knutpunkt för konstruktion 2.



**Figur 6.1.12.** Reduktionstalskurvan vid mätning på Kv. Kurorten på konstruktion 2 jämfört med kurvorna för beräkningarna av fast respektive flexibel knutpunkt i Bastian.



## 6.1.3.4 L3

I tabell 6.1.8 ses resultaten av sammanfattningsvärdena av stegljudsnivåerna med C-korrektion av mätningen och beräkningarna på konstruktion 3 i Bastian. Tabell 6.1.9 visar stegljudsnivån för de olika elementen och hur stor del av ljudeffekten som går via varje element. Både fast och flexibel knutpunkt finns presenterat.

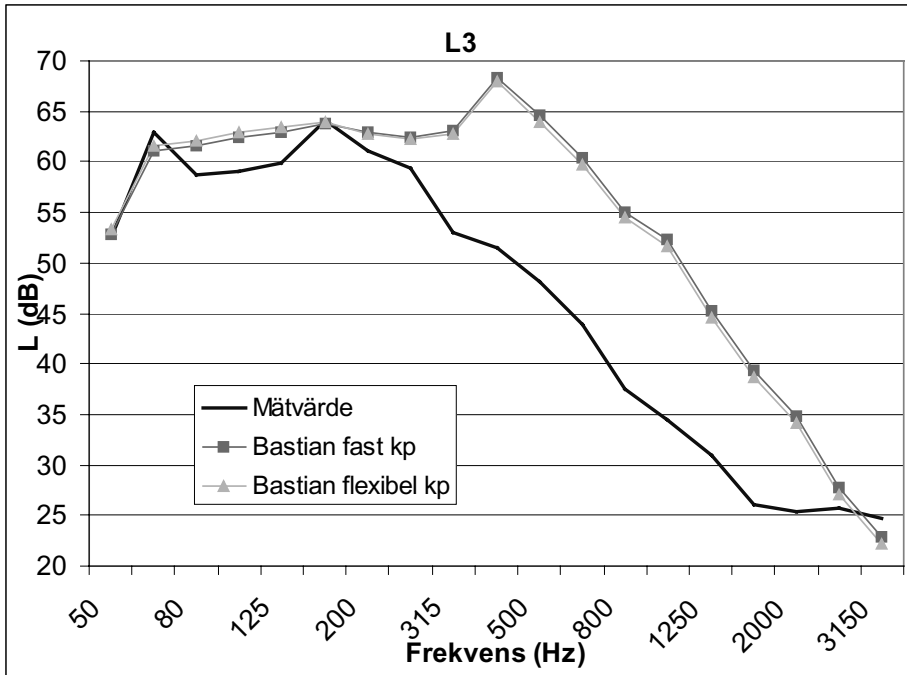
**Tabell 6.1.8.** Resultaten av stegljudsnivåerna med C-korrektion för konstruktion 3.

<b>L3 185 HDF, 65 Anhydrit, 8 Laminat m Soundblockskiva</b>		
		<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math> (dB)</b>
<b>Mätvärde</b>		<b>55</b>
<b>Bastian</b>	Fast knutpunkt	<b>59,6</b>
	Flexibel knutpunkt	<b>59,5</b>

**Tabell 6.1.9.** Stegljudsnivå och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen vid fasta respektive flexibla knutpunkter.

<b>L3</b>	fasta knutpunkter		flexibla knutpunkter	
	$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$		$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$	
	<b>dB</b>	<b>%</b>	<b>dB</b>	<b>%</b>
bjälklag	58,1	73	58,1	75
vägg	45,7	4	46,9	6
vägg	48,7	8	46,9	6
vägg	46,2	5	47,5	7
vägg	49,2	9	57,5	7
<b>Totalt</b>	<b>59,6</b>	<b>100</b>	<b>59,5</b>	<b>100</b>

Figur 6.1.13 visar stegljudsnivåkurvorna för mätvärdena och beräkningarna i Bastian för konstruktion 3. Både fast och flexibel knutpunkt visas.



**Figur 6.1.13.** Stegljudsnivåkurvan vid mätning på Kv. Kurorten på konstruktion 3 jämfört med kurvorna för beräkningarna av fast respektive flexibel knutpunkt i Bastian.

## 6.1.3.5 L4

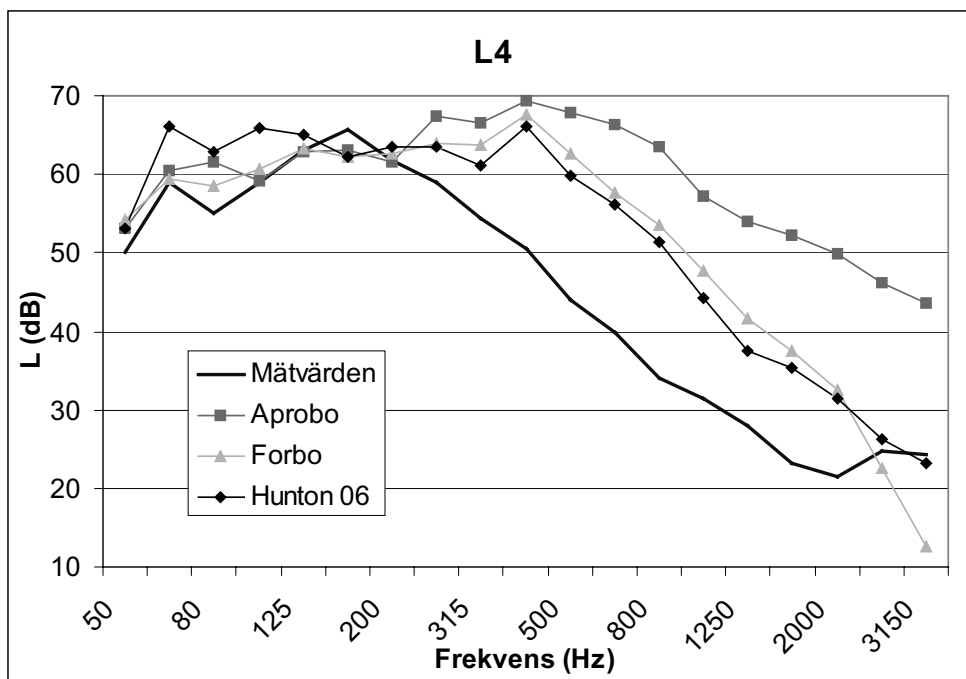
Tabell 6.1.10 och figur 6.1.14 visar stegljudsnivåerna respektive stegljudskurvorna för mätningen av konstruktion 4 jämfört med beräkningen för de tre beläggingsmaterialen i Bastian. Alla Bastianberäkningar är räknade på flexibla knutpunkter. I tabell 6.1.11 ses stegljudsnivån för de olika elementen och hur stor del av ljudet som går via varje element för konstruktionerna för de tre beläggingsmaterialen vid flexibla knutpunkter. Figur 6.1.15 jämför mätkurvan på konstruktion 4 med beräkningar i Bastian på beläggingsmaterialet Hunton Silencio 06 med både fast och flexibel knutpunkt.

**Tabell 6.1.10.** Resultaten av vägda stegljudsnivåerna med C-korrektion för konstruktion 4.

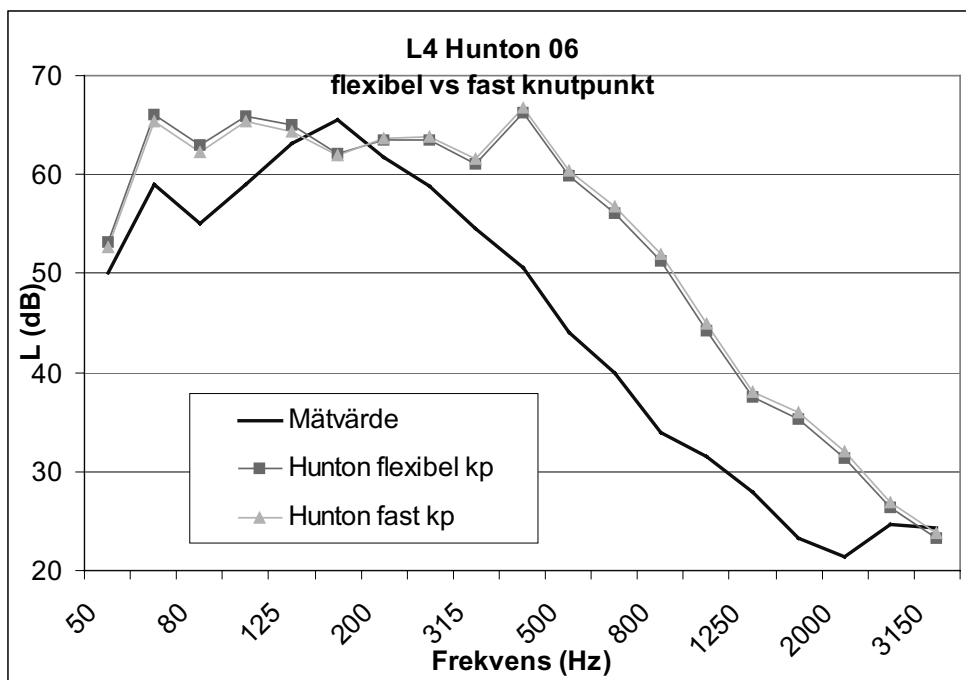
<b>L4 185 HDF, 65 Anhydrit, whisperingsplate, 8 laminat</b>		<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math> (dB)</b>
<b>Mätvärde</b>		<b>55</b>
<b>Bastian</b>	Aprobo	<b>61,3</b>
	Forbo Lamiloc	<b>58,9</b>
	Hunton Silencio 06	<b>58,8</b>

**Tabell 6.1.11.** Stegljudsnivå och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen vid de tre olika beläggingsmaterialen.

<b>L4</b>	<b>Aprobo</b>		<b>Forbo lamiloc</b>		<b>Hunton Silencio 06</b>	
	<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math></b>		<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math></b>		<b><math>L'_{n,w}+C_{i,50-2500}</math></b>	
	<b>dB</b>	<b>%</b>	<b>dB</b>	<b>%</b>	<b>dB</b>	<b>%</b>
bjälklag	60	82	57,7	79	57,4	66
vägg	47,1	4	45,5	5	48,2	8
vägg	47,1	4	45,5	5	48,2	8
vägg	47,6	5	46,1	5	48,7	9
vägg	47,6	5	46,1	5	48,7	9
<b>Totalt</b>	<b>61,3</b>	<b>100</b>	<b>58,9</b>	<b>100</b>	<b>58,8</b>	<b>100</b>



**Figur 6.1.14.** Stegljudsnivåkurvan vid mätning på Kv. Kurorten jämfört med kurvorna för beräkningarna av de tre olika beläggingsmaterialen i Bastian med flexibel knutpunkt.



**Figur 6.1.15.** Mätkurvan av stegljudet för konstruktion 4 jämfört med fast och flexibel knutpunkt för Hunton Silencio 06.

### 6.1.4 Analys

Resultaten av sammanfattningsvärdena av Bastianberäkningarna med fast och flexibel knutpunkt skiljer sig inte mer än någon tiondels decibel, se tabell 6.1.2, 4, 6, 8 och 10. Kurvorna ligger också väldigt nära, se figur 6.1.10-13 och 15. Värdenas närhet gör det enkelt att uppskatta ett medelvärde för konstruktioner med Hdf-bjälklag. Notera dock att den fasta och flexibla knutpunkten för beräkning av R2, se figur 6.1.12, skiljer något i de låga frekvenserna. Detta verkar inte spela så stor roll då sammanfattningsvärdena endast skiljer 0,4 dB. Vad det gäller val av knutpunktstyper krävs det byggnadsteknisk erfarenhet för att kunna välja rätt.

Bastianberäkningarna kan anses väl approximerade i materialval, knutpunkter och sammankoppling eftersom det finns en osäkerhet för beräkningarna, se kapitel 5.1.1 och 5.2.1. Standardavvikelsen för luftljudsisolering är cirka 1,5-2,5 dB och stegljudsisolering ligger på cirka 3 dB vid horisontell mätning. Beräkningarna för konstruktion 1 och 2, se tabell 6.1.2, 4, 6 och figur 6.1.10-11, är nära mätvärdena men även approximationen för konstruktion 3 och 4, se tabell 6.1.8, 6.1.10 samt figur 6.1.13-14, kan anses rimlig. Det finns även en standardavvikelse för mätningarna, se kapitel 3.5 och 4.5, som är på cirka 2 dB både för luft- och stegljudsisolering. Detta gör att alla utförda beräkningar i Bastian kan anses vara tillförlitliga.

Den större skillnaden mellan beräkningar och mätningar på konstruktionerna 3 och 4 jämfört med konstruktionerna 1 och 2 beror på att konstruktionerna 3 och 4 är mer komplexa. Svårare konstruktioner och fler skikt i beräkningen leder till sämre approximation. Det kan också bero på att den uppmätta stegljudsförbättringen i laboratorium för beläggningsmaterialen i Bastian inte har utförts med samma underlag som i mätningen. Anledningen kan även vara att mätningar av stegljudsförbättringen för beläggningsmaterialen i Bastians databas har gjorts i fält. Enligt EN 12354 bör de utföras i laboratorium.

Den egengjorda konstruktionen av Hdf-plattan och Anhydriten fungerar bra i Bastianberäkningarna, se konstruktion 2 tabell 6.1.6 och figur 6.1.12. Detta visar att det fungerar bra att lägga in nya element i databasen. Utförandet är lätt och programmet är användarvänligt.

Eftersom den egengjorda kombinationen av Hdf och Anhydrit fungerar bra som approximation på konstruktion 2 måste det vara beläggningsmaterialet på konstruktion 3 som gör att beräkningens stegljudsnivå och kurva skiljer sig från mätningens. Det kan bero på att underlaget för beläggningsmaterialet inte var samma i mätningens lokaler som i laboratoriet. Men det kan även bero på att konstruktionen blir komplex med de två skikten.

Mätvärden och beräkningar blir mer lika vid jämförelse av sammanfattningsvärde än vid jämförelse av kurvorna, jämför tabeller med kurvor i kapitel 6.1.3. Det är bra att beräknings-sammanfattningsvärdena kommer så nära mätvärdena eftersom endast sammanfattningsvärdet visas vid beräkning i Bastian och jämförs med myndighetskraven.

Anledningen till att beräkningskurvorna skiljer sig mot mätkurvorna beror på att fler detaljer, t.ex. koincidens, visas i mätkurvorna. Reduktionstalskurvorna och stegljuds-

kurvorna gjorda i Bastian för konstruktion 1, d.v.s. då bjälklaget endast består av Hdf-plattan är raka medan mätkurvorna inte är lika perfekta, se figur 6.1.10 och 6.1.11. Dipparna i mätkurvorna visar var koincidens uppstår och där våglängden passar ihop med periodiciteten. Detta tar inte Bastian i beaktning utan Hdf-bjälklagen i Bastian verkar vara baserade på masslagen. Bastianberäkningarna hade förmodligen blivit bättre om laborationsvärdena för Hdf-platta hade förts in i databasen. Men eftersom beräkningsvärdena är så nära mätvärdena spelar det ingen större roll.

Det kan vara intressant att notera att oavsett vilken riktning Hdf-plattan ligger i rummet så simuleras det alltid som ett homogent element i Bastian eftersom Bastian och EN 12354 bara räknar på homogena element. I verkligheten när plattorna är parallella mot skiljeväggen minskar flanktransmissionen och ljudisoleringen ökar jämfört med om plattorna är vinkelräta mot väggen. Detta beror bland annat på att fogarna mellan plattorna dämpar ljudöverförelsen. Detta kommer inte med i beräkningarna men ger ändå en rimlig approximation i Bastian och EN 12354 1-2.

Vid utförandet av mätningarna var flanktransmissionen märkbar. Men i beräkningarna från Bastian verkar flanktransmissionen inte vara så stor. Detta framgår genom att titta på skiljebjälklagets reduktionstal/stegljudsnivå jämfört med det totala reduktionstalet/stegljudsnivån i tabellerna 6.1.3, 5, 7, 9 och 11. Flanktransmissionen görs sig märkbar vid cirka 3 dB försämring av reduktionstalet/stegljudsnivån. På konstruktion 1, se tabell 6.1.3 och 6.1.5, har reduktionstalet sjunkit med 0,5-1 dB och stegljudsnivån har ökat med 1-1,5 dB. Reduktionstalet för konstruktion 2, se tabell 6.1.7, försämras med nästan 2 dB och stegljudsnivån för konstruktion 3, se tabell 6.1.9, ökar med ca 1,5 dB precis som för de olika golvbelägningarna i konstruktion 4, se tabell 6.1.11. Vilket visar på att flanktransmissionen inte till fullo framkommer enligt EN 12354 och Bastian. Detta kan bero på att EN 12354-1 inte tar hänsyn till det sekundära tillskottet från ljudtransmission som berör mer än en knutpunkt, vilket kan ge en underskattning av flanktransmissionen, se kapitel 5.1.2. Men det är ändå bra att varje elements ljudtransmission kan ses. Det gör det enkelt att se vilken konstruktionsdel som kan behöva åtgärdas.

I efterhand vid diskussion med Christian Simmons, återförsäljare av Bastian i Sverige, har jag istället för det Insul-beräknade bjälklaget för 185 mm Hdf och 65 mm Anhydrit testat en konstruktion från Bastians databas. Konstruktionen består av samma Hdf-element som i konstruktion 1 fast med en pågjutning av 90 kg/m<sup>2</sup> betong. Beräkningarna för konstruktion 3 och 4 kommer då närmare värdena för mätningarna medan beräkningarna för konstruktion 2 kommer lite längre från mätvärdet. Detta visar att det krävs stor erfarenhet vid val av material.

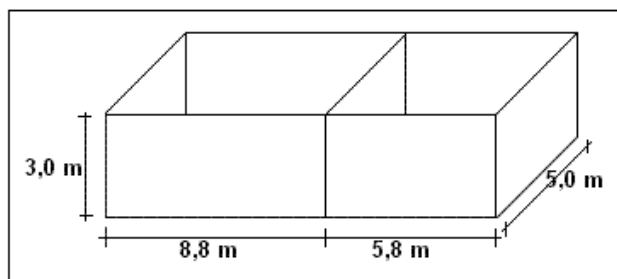
## 6.2 Konferenslokal V-huset

Luftljud- och stegljudsisolering mättes mellan två rum på 4:e våningen i Väg- och vattenhuset på LTH. Mätningen utfördes av Fredric Janson och Margot Hansson den 30 november 2005 med hjälp av Teknisk Akustiks mätutrustning. Huset är byggt i slutet av 1960-talet och består av homogena konstruktionsdelar. Eftersom standard EN 12354 endast behandlar homogena element kändes valet av mätningsslokaler bra samtidigt som konstruktionen är relativt lätt att simulera i Bastian.

### 6.2.1 Beskrivning

Konstruktionen är uppbyggd sådan att bjälklaget består av 340 mm betong med parkettgolv på papp ovanpå. Fasadväggen består av 400 mm tegel med puts på insidan och väggen ut till korridoren av 660 mm tegel med puts på båda sidor.

En dubbelkonstruktion av två lättbetongväggar med luftspalt emellan står löst på betongbjälklaget och har slitsar mot övre bjälklaget. Detta för att väggen inte ska bli bärande och ge longitudinalvågsresonans som ökar flanktransmissionen vertikalt. Då det inte gick att utläsa på ritningar skiljeväggens utseende och material har konstruktionen antagits med råd från lättbetongtillverkare H+H Celcon, Rolf Ekefjärd, samt genom möjlig måttmätning på väggen och på väggspåren på liknande vägg på institutionen för Teknisk Akustik. Konstruktionen är cirka 220 mm bred och antas bestå av två lättbetongväggar med tjockleken 70 respektive 100 mm med en luftspalt på 45 mm och en densitet på  $\rho=500 \text{ kg/m}^3$ . Vid noggrannare titt på dubbelväggskonstruktionen på Teknisk akustik går inte väggarna hela väggen upp till övre bjälklaget/taket. Glipan är mellan 0,5-1 cm stor. Om inte tätningen mellan väggen och bjälklaget är väl utförd kommer luftljudsisoleringen bli låg och stegljudsnivå hög i de höga frekvenserna. För längdmått på rummen se figur 6.2.1.



**Figur 6.2.1.** Mått på mätlokalerna. Mottagarum till vänster och sändarrum till höger.

Mätningen skedde mellan en konferenslokal och ett kontor där kontoret var sändarrummet. I konferensrummet som verkade som mottagarum togs alla stolar bort för att minska absorptionsmaterialen. I kontoret var halva skiljeväggen täckt av pärmar, merparten av dessa togs ned medan all möblering fick stå kvar. Under bord och stolar fanns lösa linoleummattor som vid stegljudsmätningar veks undan där hammarapparaten ställdes.

## 6.2.2 Behandling i Bastian

### 6.2.2.1 Knutpunktstyp

Rummen simuleras i Bastian genom att sätta ut längden på golv, tak och väggar. Då elementen är homogena och skiljeväggen består av en separerad dubbelvägg väljs en fast T-knutpunkt för separerade väggar, se figur 6.2.2. Enligt EN 12354 kan endast ljudisoleringen beräknas för homogena element men i Bastian har en temporär lösning gjort det möjligt att beräkna tunga dubbelväggar, se kapitel 6.5.

Sensing Room				Junction		50-3150		
M	d	Basic Element	Additional Layer	Type-No.		Rw	Ctr	STC
X	d	2*100 Lättbkg m 45 luftspalt margot						
X	f1	680 tegel margot		23	680 tegel margot	63.1	3	
X	f2	400 tegel margot		23	400 tegel margot	56.2	12	
X	f3	350 bkg 25 inoleum margot		23	350 bkg 25 inoleum margot	63.8	2	43.1
X	f4	350 bkg 25 inoleum margot		23	350 bkg 25 inoleum margot	63.8	2	
					Total	47.0	100	45.4
								100

**Figur 6.2.2.** Val av knutpunktstyp. Nr 23 fast T-knutpunkt där skiljevägen består av en separerad dubbelvägg.

### 6.2.2.2 Sammankoppling av homogena element

I Structural Reverberation Time, efterklangstid, väljs sammankopplingen mellan elementen. Eftersom väggarna består av tegel och lättbetong och bjälklagen av betong räknas alla sammankopplingar som homogena och ska därför väljas som sammankopplade vid val i dialogrutan.



### 6.2.2.3 Materialval

#### 6.2.2.3.1 Bjälklag

Ett betongbjälklag på 340 mm och med en densitet av  $2300 \text{ kg/m}^3$  valdes. Som beläggningmaterial valdes en 14 mm parkett med korksmulepapp under. Båda materialen finns i Bastians databas.

#### 6.2.2.3.2 Flankerande väggar

Vid val av de flankerande tegelväggarna har jag gjort beräkningar både med egengjorda väggar med indata från Insul och färdiga väggar från Bastians databas, se tabell 6.2.1 och 6.2.2. De redan befintliga väggarna i Bastian uppfyller inte riktigt tjockleken på måtväggarna medan de egengjorda väggarna endast består av tegel och ingen puts. Det var intressant att se om de gav liknande resultat.

**Tabell 6.2.1.** Byggnadsmaterial på ytterväggen i mätlokalen samt de två olika konstruktionerna som simulerats i Bastian.

Yttervägg		tjocklek (mm)
Mätvägg	400 mm tegel inkl. puts på insidan	400
Egenjord vägg mha Insul	400 mm tegel ( $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ )	400
Bastians databas	375 mm tegel, 20 mm puts (1,5 sten, $m = 600 \text{ kg/m}^2$ , $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ ) SBUF YV-VI	395

**Tabell 6.2.2.** Byggnadsmaterial för innerväggen i mätlokalen samt de två olika konstruktionerna som simulerats i Bastian.

Innervägg		
Mätvägg	660 mm tegel inkl puts på båda sidor	660
Egenjord vägg mha Insul	660 mm tegel ( $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ )	660
Bastians databas	9 puts, 600 tegel, 9 puts (2 sten, ytvikt $960 \text{ kg/m}^2$ , $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ ) SBUF LGHV-IV, (=HJV-III, YV-VI)	618

#### 6.2.2.3.3 Skiljeväggen

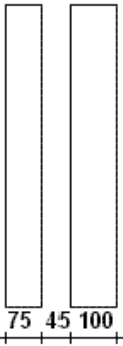
Knutpunkter för dubbelväggskonstruktioner behandlades inte i EN 12354. Men i Bastian har en temporär lösning gjort det möjligt via en enkelväggsapproximation, se under kapitel 6.5. Denna bygger på att de två elementen är identiska. Endast ett materials data för ytvikt och kritisk frekvens kan vara med i beräkningen. Men eftersom de är samma vid identiska väggar medför det inga problem.

Jag har valt att testa två olika dubbelväggskonstruktioner på skiljeväggen. Den ena kommer från Bastians databas och den andra konstruktionen har gjorts med både handberäkning och Insulberäkning för att sedan föras in i Bastian.

I Bastians databas är den närmsta konstruktionen Spenncon Acotec som består av två lättbetongväggar med tjocklek 92 respektive 68 mm med en luftspalt på 30 mm och

densiteten  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ . Dessa väggar är inte identiska. På ytvikten och den kritiska frekvensen är i Bastian den tunna skivans materialdata införd.

Dubbelkonstruktionen som räknats förhand och i Insul består av 75 mm lättbetong, 45 mm luftspalt och 100 mm lättbetong, se figur 6.2.3. I fortsättningen kommer väggen att kallas ”Egen skiljevägg”. Densiteten för lättbetongväggarna är  $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$ . För att se handräkningarna av reduktionstalen se bilaga 6. Resultaten på reduktionstalen för de olika frekvenserna som fås från handräkningen och Insulberäkningen förs in i Bastian. Som ytvikt och kritisk frekvens skrivs den smalaste konstruktionens data in. Interna randförlusten,  $\eta_{\text{int},lbtg} = 0,015$ , och konstruktionens tjocklek,  $d = 0,22 \text{ m}$ , förs också in.



**Figur 6.2.3.** Dubbelkonstruktionen ”Egen skiljevägg” som beräknats förhand och i Insul.

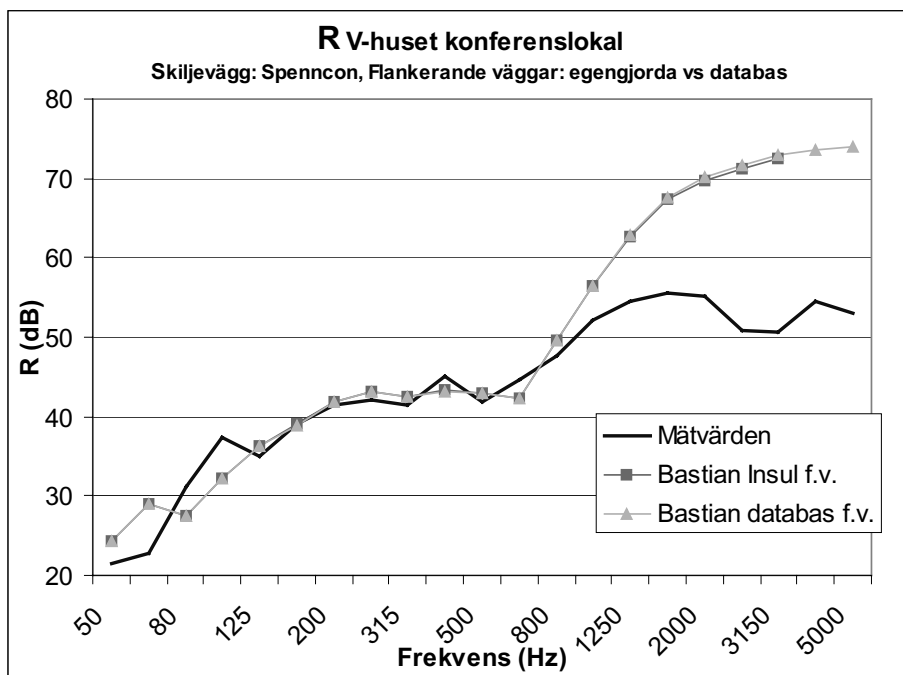
## 6.2.3 Resultat

### 6.2.3.1 Skiljevägg Spenncon

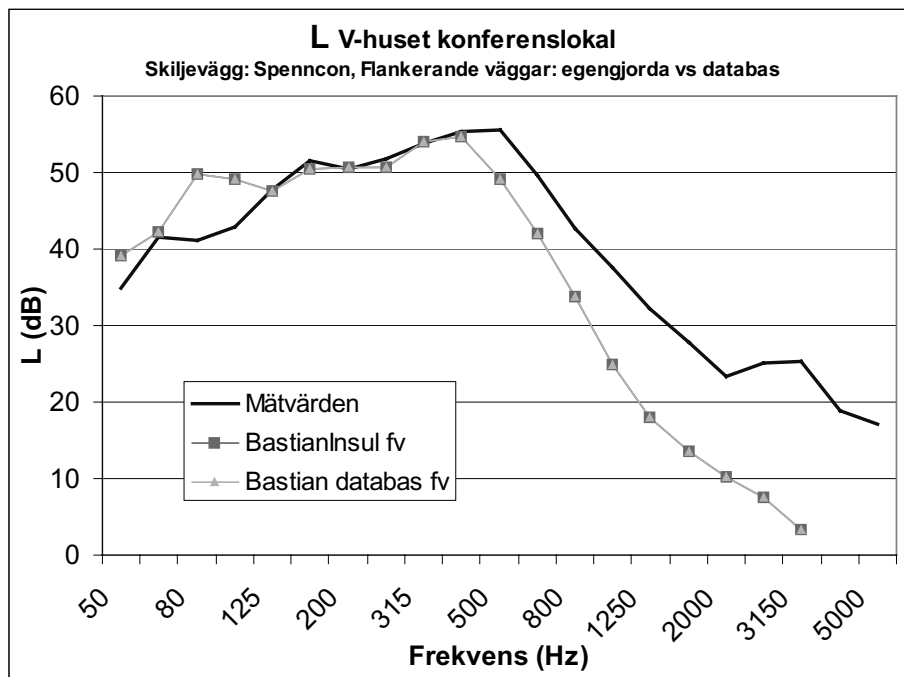
I tabell 6.2.3 och figur 6.2.4 och 6.2.5 ses resultaten från luftljuds- och stegljudsmätningen på skiljeväggen Spenncon från Bastians databas. Två beräkningar har gjorts med olika flankerande väggar. Den ena beräkningen/kurvan representerar egengjorda väggar där värdena för de flankerande tegelväggarna räknats ut i Insul och sedan förts in i Bastian. Den andra beräkningen/kurvan har de flankerande tegelväggar valts direkt i Bastians databas.

**Tabell 6.2.3.** Resultaten av de vägda reduktionstalen och stegljudsnivåerna med *C*-korrektion för mätningar och Bastianberäkningar på V-huset.

V-huset Spenncon skiljevägg			
		$R'_w+C_{50-3150}$ (dB)	$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$ (dB)
<b>Mätvärde</b>		<b>48</b>	<b>47</b>
<b>Bastian</b>	Egengjorda flankerande väggar i Insul	<b>48,8</b>	<b>46,2</b>
	Flankerande väggar från Bastians databas	<b>47,8</b>	<b>46,2</b>



**Figur 6.2.4.** Reduktionstalskurvorna simulerade med egengjorda flankerande ytterväggar respektive väggar från Bastians databas jämförda mot reduktionstalskurvan från mätningen.



**Figur 6.2.5.** Stegljudsnivåkurvorna simulerade med egengjorda flankerande ytterväggar respektive väggar från Bastians databas jämförda mot stegljudskurvan från mätningen.

Tabell 6.2.4 visar reduktionstal och stegljudsnivå för varje element i konstruktionen med Spenncon som skiljevägg och flankerande väggar från Bastians databas. Bredvid reduktionstalet syns andel transmitterad ljudeffekt från varje element och sist syns det vägda reduktionstalet och stegljudsnivån.

**Tabell 6.2.4.** Reduktionstal respektive stegljudsnivå och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen samt sammanfattningsvärdet för reduktionstalet och stegljudsnivån.

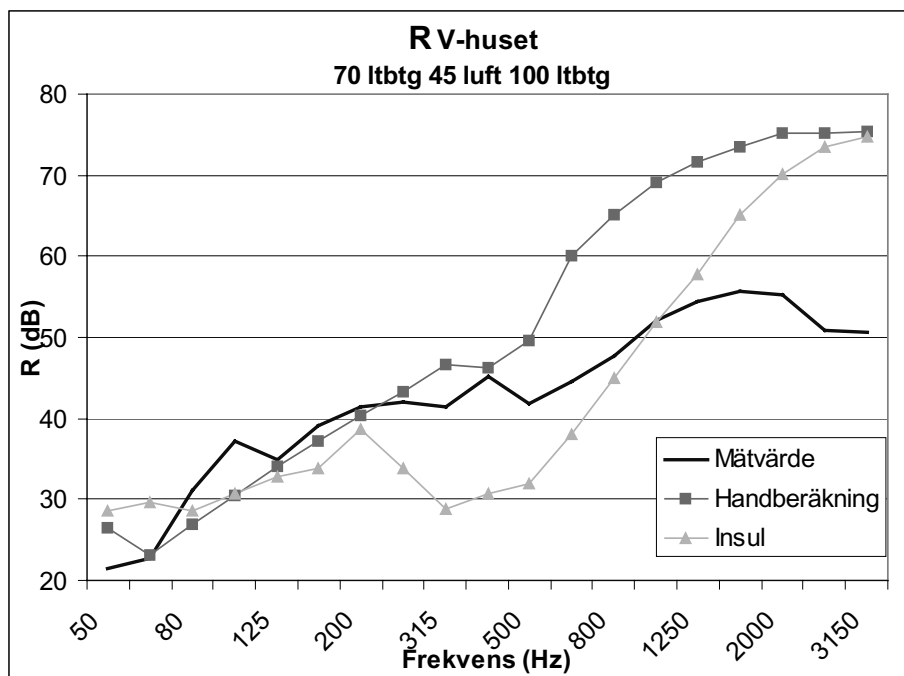
V-huset	$R'_w+C_{50-3150}$		$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$	
	dB	%	dB	%
Spenncon	49,1	93	40,5	27
9 puts, 600 tegel, 9 puts	72,0	0	0	0
375 tegel, 20 puts	67,1	1	0	0
340 btg, parkett	63,1	4	44,8	73
340 btg, parkett	66,1	2	0	0
<b>Totalt</b>	<b>47,8</b>	<b>100</b>	<b>46,2</b>	<b>100</b>

## 6.2.3.2 Egen skiljevägg, 70 mm lättbetong, 45 mm luft, 100 mm lättbetong

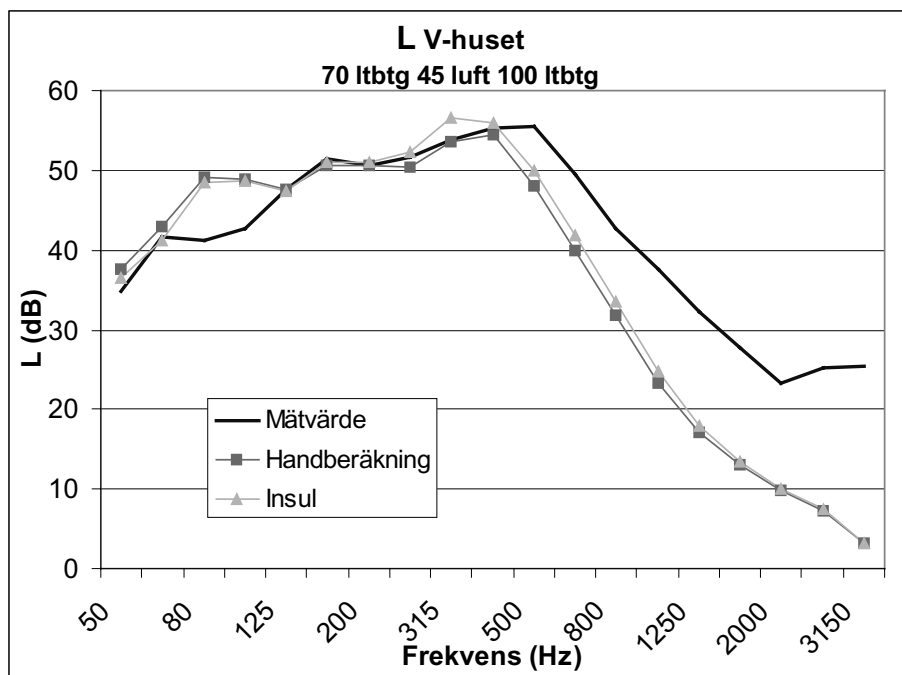
I tabell 6.2.5 och figur 6.2.6 och 6.2.7 ses resultaten från luftljuds- och stegljudsmätningen jämfört med de två Bastianberäkningarna. Bastianberäkningarna består av en handberäkning och en insulberäkning av skiljeväggen där data från beräkningarna sedan förts in i Bastian. Skiljeväggen består av 70 mm lättbetong, 45 mm luft och 100 mm lättbetong. Som flankerande väggar har tegelväggarna från Bastians databas valts.

**Tabell 6.2.5.** Resultaten av de vägda reduktionstalen och stegljudsnivåerna med *C*-korrektion för mätningar och Bastianberäkningar.

V-huset skiljevägg			
		$R'_w+C_{50-3150}$ (dB)	$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$ (dB)
<b>Mätvärde</b>		<b>48</b>	<b>47</b>
<b>Bastian</b>	Handberäkning	<b>50,6</b>	<b>45,9</b>
	Insulberäkning	<b>39,3</b>	<b>46,8</b>



**Figur 6.2.6.** Reduktionskurvorna för mätvärde, handberäkning och Insulberäkning.



Figur 6.2.7. Stegljudskurvorna för mätvärde, handberäkning och Insulberäkning.

I tabell 6.2.6 ses reduktionstal och stegljudsnivå för varje element i konstruktionen med handberäknad skiljevägg och flankerande tegelväggar från Bastians databas. Även andel ljudeffekt som transmitteras via varje element och det vägda reduktionstalet och stegljudsnivån syns. Samma gäller för tabell 6.2.7 fast med skiljeväggen beräknad i Insul.

**Tabell 6.2.6.** Reduktionstal respektive stegljudsnivå och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen samt sammanfattningsvärdet för reduktionstalet och stegljudsnivån vid handberäknad skiljevägg.

V-huset	$R'_w + C_{50-3150}$		$L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$	
	dB	%	dB	%
Handberäkning				
70 lbtg, 45 luft, 100 lbtg	51,1	89	38,5	19
9 puts, 600 tegel, 9 puts	73,4	1	0	0
375 tegel, 20 puts	67,3	2	0	0
340 btg, parkett	63,1	6	44,9	81
340 btg, parkett	66,3	3	0	0
<b>Totalt</b>	<b>50,6</b>	<b>100</b>	<b>45,9</b>	<b>100</b>

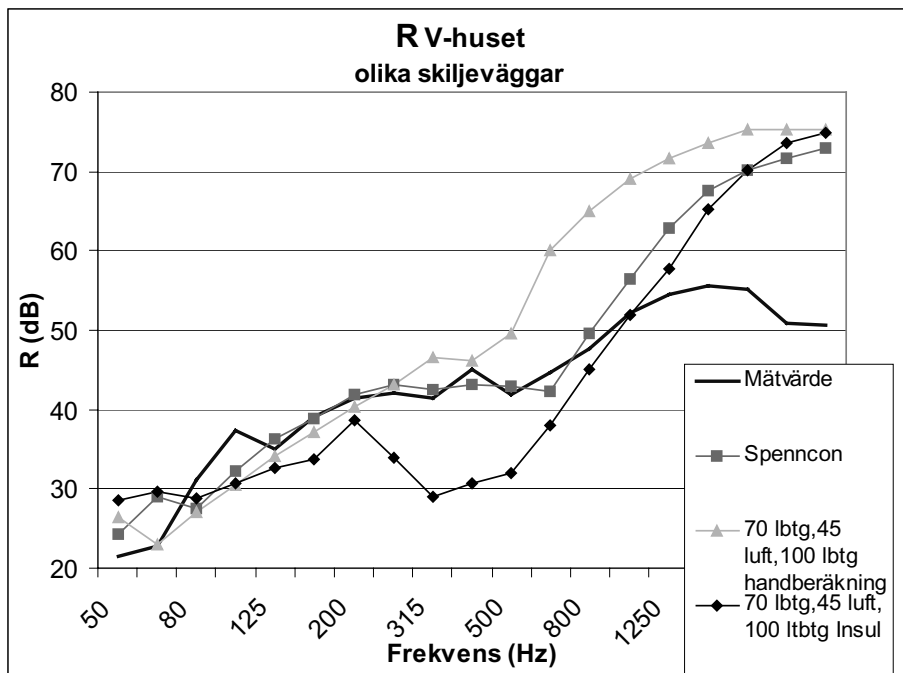
**Tabell 6.2.7.** Reduktionstal respektive stegljudsnivå och andel transmitterad ljudeffekt för de olika elementen samt sammanfattningsvärdet för reduktionstalet och stegljudnivån för den Insulberäknade skiljeväggen.

V-huset	$R'_w+C_{50-3150}$		$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$	
	dB	%	dB	%
Insul				
70 ltbtg, 45 luft, 100 ltbtg	39,3	99	41,2	28
9 puts, 600 tegel, 9 puts	72,3	0	0	0
375 tegel, 20 puts	66,0	0	0	0
340 btg, parkett	62,1	1	45,4	72
340 btg, parkett	65,3	0	0	0
<b>Totalt</b>	<b>39,3</b>	<b>100</b>	<b>46,8</b>	<b>100</b>

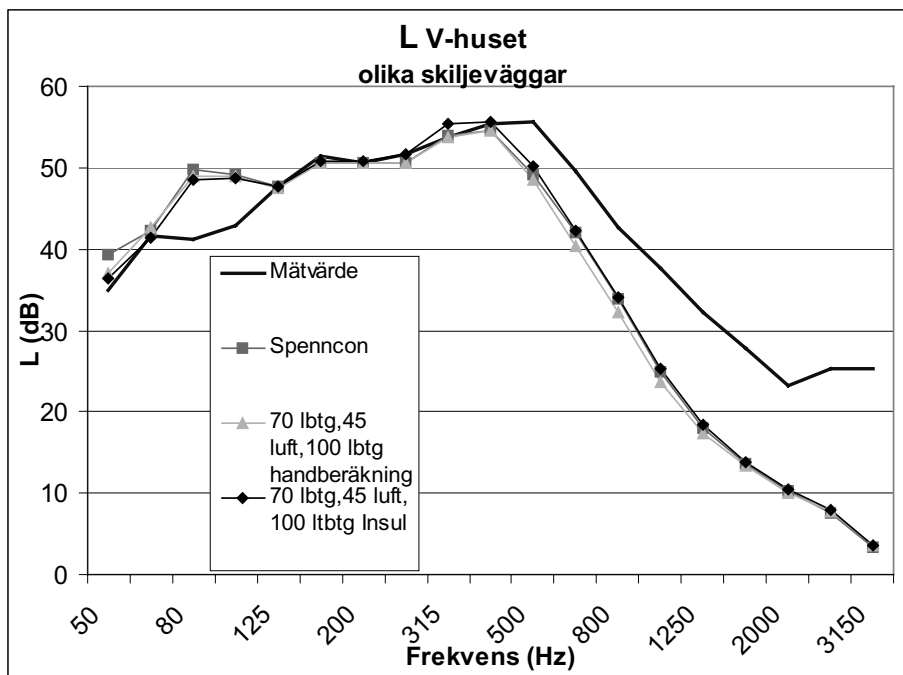
I tabell 6.2.8 och figur 6.2.8 och 6.2.9 ses resultaten från luft- och stegljudsmätningen jämfört med Bastianberäkningarna för de tre olika skiljeväggarna. De olika skiljeväggarna är Spenncon, direkt från Bastians databas, beräkningar på egen skiljevägg både för hand och i Insul som sedan förts in i Bastian. De flankerande tegelväggarna är från Bastians databas.

**Tabell 6.2.8.** Resultaten av de vägda reduktionstalen och stegljudsnivåerna med *C*-korrektion för mätningar och Bastianberäkningar med de tre olika skiljeväggarna.

V-huset skiljevägg		$R'_w+C_{50-3150}$ (dB)	$L'_{n,w}+C_{i,50-2500}$ (dB)
<b>Mätvärde</b>		<b>48</b>	<b>47</b>
<b>Bastian</b>	Spenncon	<b>47,8</b>	<b>46,2</b>
	Handberäkning	<b>50,6</b>	<b>45,9</b>
	Insulberäkning	<b>39,3</b>	<b>46,8</b>



**Figur 6.2.8.** Reduktionskurvan för utförd mätning jämförd med kurvorna från Bastianberäkningar med olika skiljeväggar.



**Figur 6.2.9.** Stegljudsnivåkurvan för utförd mätning jämförd med kurvorna från Bastianberäkningar med olika skiljeväggar.



### 6.2.4 Analys

I figur 6.2.4 går reduktionstalskurvorna för beräkningarna av de olika flankerande väggarna knappt att skilja på och i figur 6.2.5 är stegljudsnivåkurvorna identiska. Samma gäller för resultaten i tabell 6.2.3 där stegljudsnivån är exakt samma. Detta gör att de färdiga konstruktionerna för tegelväggarna i Bastians databas kan användas även om de inte stämmer exakt i byggnadsmaterial eller storlek. Detta visar att erfarenhet av byggnadsmaterial och deras akustiska betydelse behövs. Bastians databas innehåller många användbara byggnadselement och oftast kan en snarlik konstruktion väljas.

Det är stora skillnader mellan handberäkningarna och Insulberäkningarna av konstruktionen med egen skiljevägg både vad det gäller reduktionstalskurvorna, se figur 6.2.6, och sammanfattningsvärdet av reduktionstalen i hela konstruktionen, se tabell 6.2.5. Detta kan bero på att Insul tar alltför stor hänsyn till resonansen i hålrummet jämfört med vad som görs i handberäkningsmetoden.

Eftersom skiljeväggens konstruktion har antagits och möjligheten till springläckage mellan tak och skiljevägg finns är det lite klurigt att göra bedömning hur Bastianberäkningarna fungerar jämfört med de mätta ljudkurvorna. Om hänsyn inte tas till springläckaget verkar Spenncon Acotec vara den skiljevägg som approximeras bäst, se tabell 6.2.8. Men om hänsyn tas till springläckaget måste mätningens vägda reduktionstal,  $R'_w + C_{50-3150} = 48$  dB, vara reducerat några decibel jämfört med Bastianberäkningarna och handberäkningen av egna skiljeväggen med  $R'_w + C_{50-3150} = 50,6$  dB passar bäst.

Vid granskning av reduktionstalskurvorna och stegljudsnivåkurvorna i figurerna 6.2.4-9 syns springläckaget mellan skiljeväggen och taket tydligt. Vid cirka 500 Hz planas reduktionstalskurvan för mätningen ut jämfört med Bastianberäkningarna och stegljudsnivåkurvan ökar fortfarande lite jämfört med Bastianberäkningarna innan den böjer av. Både reduktionstalen och stegljudsnivåerna försämras i de högre frekvenserna. Det kan vara bra att använda Bastian som verktyg innan mätning görs i fält. Detta ger en uppskattning av den väntade ljudisoleringen och en vaksamhet om mätvärdet är rimligt. Om inte beräkning stämmer med mätning är risken stor att byggnadstekniska fel finns.

Det är bra att Bastian visar andelen transmitterat ljud för varje element. Detta gör det enkelt att se vilken del av konstruktionen som måste förbättras. Det kan vara intressant att se att nästintill allt transmitterat ljud, 99 %, går via skiljeväggen i Insulkonstruktionen i tabell 6.2.7. Då skiljekonstruktionen har bättre reduktionstal som i den handberäknade skiljeväggen blir flanktransmissionen större och endast 89 % av ljudet går via skiljeelementet, se tabell 6.2.6. Beräkningen med Insul-konstruktionen ger en indikation på att skiljeelementet måste förbättras. Reduktionstalet för skiljekonstruktionen får dock ej vara så högt att flanktransmission blir märkbar.



## 7 Diskussion och slutsatser

### 7.1 Diskussion

Det finns vissa begränsningar i EN 12354-1&2. Den största är att vibrationsreduktionstalet,  $K_{ij}$ , måste vara känt för att flanktransmission genom elementet ska kunna behandlas. Begränsningarna utvecklas mer genom att mätningstandarden prEN 10848-1 säger att ljudfältet måste vara diffust och att vibrationerna inte får klinga av för snabbt i materialet. Detta medför att beräkningarna enbart kan utföras på homogena element. Alltså går det inte enligt standarden att beräkna luft- och stegljudsisolering för lätta element eller dubbelkonstruktioner, vilket gör användningsområdet begränsat. I Bastian går man runt problemet genom att göra approximationer för dem. I beräkningen för konferenslokalen i V-huset där jag använt approximationen för dubbelkonstruktioner, kapitel 6.2, fungerar det bra. Approximationerna är bara tillfälliga lösningar tills standarden utvecklas mer.

Enligt första kapitlet i EN 12354 är standarden ämnad för akustiska experter, vilket jag instämmer i då jag hade svårt att hitta en röd tråd för beräkningsgången när jag började sätta mig in i problematiken. För att utföra mitt handberäkningsexempel i kapitel 5.1.3.1 fick jag ta hjälp av ett beräkningsexempel som fanns som bilaga till standarden. Exemplet beräkningsgång var mycket komprimerat och därmed svårt att följa. Tack vare stor hjälp från Eddy Gerretsen, en av utvecklarna till EN 12354, samt min handledare Jonas Brunskog kunde jag till slut få rätt på mina beräkningar.

Eftersom standarden enbart behandlar homogena element fick mina första beräkningsobjekt kasseras. Detta gav en insikt av hur begränsat användningsområdet för standarden är. För att kunna utföra en beräkning från EN 12354-1&2 krävs det att alla element är homogena. Men det går att utföra beräkningar i Bastian trots att ett element, i mina två beräkningsfall skiljeelementet, inte är homogent.

Även om Bastianberäkningarna skiljer några decibel mot mätningarna i resultatkapitlen 6.1.3 och 6.2.3 finns det en osäkerhet för beräkningarna på cirka 3 dB, se kapitel 5.1.1 och 5.2.1, och för mätningar på cirka 2 dB, se kapitel 3.5 och 4.5. Detta gör att objekten som jag har beräknat i Bastian jämfört med utförda mätningar har god approximation. Därför anser jag att Bastian är ett bra verktyg att beräkna luft- och stegljudsisolering enligt EN 12354-1&2 för de fall jag har studerat. Detta trots att Hdf-bjälklaget på Kv. Kurorten och den dubbla lättbetongväggen i konferenslokalen i V-huset inte stämmer med begränsningarna i EN 12354 om homogena element.

I kapitel 5.1.3.1 skiljer min utförda handberäkning enligt EN 12354-1 på några decibel jämfört med samma beräkning i Bastian och i Eddy Gerretsens beräkningar, men eftersom det finns en säkerhetsmarginal på några decibel för beräkningar är det inga problem.

Överlag är sammanfattningsvärdena för beräkningar i Bastian och mätningar närmare varandra än vad kurvorna är. Detta beror mycket på att detaljeringsgraden är högre för mätkurvorna än beräkningskurvorna. Jämförs mätkurvan med Bastianberäkningen för Hdf-bjälklag, se t.ex. figur 6.1.10, är mätkurvan mycket mer detaljerad. Hdf-bjälklagen i Bastian verkar vara baserade på masslagen. Det hade blivit bättre resultat i Bastian om laborativvärdena för en Hdf-platta hade förts in i databasen.

Men eftersom de vägda beräkningsvärdena är så nära mätvärdena spelar det ingen större roll.

Det kan vara bra att använda Bastian som ett kontrollverktyg innan mätningar utförs. Om skillnaden är stor mellan beräkning och mätning kan det beror på utförandefel, t.ex. springläckage som verkar vara fallet i mätningen på konferenslokalen i V-huset. Däremot känns det inte lämpligt att använda beräkningar enligt EN 12354-1&2 istället för mätning vilket är berättigat enligt SS 25267. Olämpligheten baseras på att EN 12354-1&2 och Bastian förutsätter att konstruktionerna är perfekta vilket är omöjligt i verkligheten. Dessutom går det bara att göra beräkningar på homogena konstruktioner.

Vid mer ingående iakttagelse av Bastianberäkningarna, se kapitel 6.1.3 och 6.2.3, så fungerar programmet mycket bra vid enkla konstruktioner så länge material och konstruktion är kända. Ju fler skikt i beräkningarna ger desto svårare approximation. Bastians databas innehåller många användbara byggnadselement men erfarenhet av byggnadsmaterial och konstruktioner behövs. Oftast får ett snarlikt element väljas istället för den sökta. Vid fall då elementet inte finns i databasen är det lätt att föra in ett nytt så länge materialdata finns.

Det är bra att andelen transmission via varje element beräknas. Denna information visar om det finns flanktransmission och om någon byggnadsdel behöver åtgärdas.

Då indata för beräkningar i Bastian är osäkra kan flera beräkningar göras med olika material och knutpunkter. Därefter kan det sämsta resultatet väljas för att vara på säkra sidan.

### 7.2 Slutsatser

- EN 12354-1&2 fungerar bra som standard för beräkning av luft- och stegljudsisolering i byggnader för homogena konstruktioner, men ej för lätta dubbelkonstruktioner till skillnad mot vad som sägs i EN 12354-1&2.
- Användningsområdet för EN 12354-1&2 är därför mycket begränsat.
- Bastian är ett bra verktyg för beräkningar av luft- och stegljudsisolering enligt EN 12354-1&2, men även för approximerade dubbelkonstruktioner liknade de som studerats i examensarbetet.
- Enligt SS 25267 är det tillåtet att använda beräkning enligt EN 12354-1&2 istället för mätning. Detta anser jag olämpligt.
- Bastian kan användas som kontrollverktyg innan mätning.

## 8 Referenslista

- [1] Brunskog, J., Holmberg, D., Johansson, A.-C., Nilsson, E., Sjökvist, L.-G.: 2005 Grundläggande akustik, Tredje upplagan, TVBA-3116, Lund
- [2] Burström, Per Gunnar: 2001 Byggnadsmaterial, Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper, Studentlitteratur, ISBN 91-44-01176-8, Lund
- [3] Byggstandardiseringen: 1996 SS-EN ISO 717-1 Byggakustik- Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggnadsdelar – Del 1: Luftljudsisolering, SIS
- [4] Byggstandardiseringen: 1996 SS-EN ISO 717-2 Byggakustik- Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggnadsdelar – Del 1: Stegljudsisolering, SIS
- [5] CEN: 2000 SS EN 12354-1 Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Impact sound insulation between rooms
- [6] CEN: 2000 SS EN 12354-2 Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms
- [7] CEN: 2004 prEN ISO 10848-1 Acoustics – Laboratory measurements of flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms – Part 1: Frame document (ISO/DIS 10848-1:2004)
- [8] Craik, Robert J. M., Steel, John A.: 1989 The Effect of Workmanship on Sound Transmission through Buildings: Part 1- Airborne Sound, Applied Acoustics 27, 57-63, ISSN 0003-682X/89, Edinburgh, Storbritannien
- [9] Craik, Robert J. M., Evans, D. Ian: 1989 The Effect of Workmanship on Sound Transmission through Buildings: Part 2- Structure-borne Sound, Applied Acoustics 27, 57-63, ISSN 0003-682X/89, Edinburgh, Storbritannien
- [10] Cremer, Heckl, Ungar: 1988 Structure-Borne Sound, Second edition, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1973 & 1988, ISBN 0-387-18241-1
- [11] ISO 140-4: 1998 Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements, Part 4: Field measurement of airborne sound insulation between rooms, Second Edition
- [12] ISO 140-7: 1998 Acoustics – Measurements of sound insulation in buildings and of building elements, Part 4: Field measurement of impact sound insulation of floors, Second Edition
- [13] Johanneson, P., Vreblad, E. & B.: 1988 Byggformler och tabeller, Sjätte upplagan, Esselte Studium AB, Uppsala, ISBN 91-24-35343-4
- [14] Kristensen, Jörgen, Rindel, Jens Holger: 1989 Byggningsakustik, Teori och praktik, SBI-Anvisning 166, Statens Byggeforskningsinstitut, ISBN 87-563-0736-5

- [15] Metzen, Heinrich A.: 2003 Bastian User Manual for Version 2.1, Saint-Gobain Isover G+H AG
- [16] Simmons, Christian: 2005 Final report of project 04030: Reproducibility of measurements with ISO 140 and calculations with EN 12354, Report SAU NT-04030
- [17] SIS: 2004 SS 25267:2004, Byggakustik –Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder, Utgåva 3
- [18] Sjökvist, L.-G.: 2004 Flanking transmission in lightweight buildings, TVBA-3125, Engineering Acoustics, LTH, Lund
- [19] Åkerlöf, Leif: 2001 Byggnadsakustik en praktisk handbok, Elanders Svenskt Tryck AB, Stockholm

### **Bildreferenser**

- [19] [http://www.reklamhusetgammelgarden.se/illustrationer\\_tekniska\\_forslund\\_-contiga.html](http://www.reklamhusetgammelgarden.se/illustrationer_tekniska_forslund_-contiga.html)
- [20] <http://www.hunton.no/nor/pictures/sve/produkter/silencio/silencio.pdf>

## Bilaga 1. Akustiska begrepp

### Bakgrundsljud

Ljudtrycksnivå som fås i ett tyst rum av bland annat ventilation, installationer, överhörning och andra bakomliggande ljudkällor.

### Efterklangstid, $T_{60}$ eller $T_s$ (s)

Den tid det tar för ljudet i ett rum att sjunka 60 decibel. Är ett mått på hur mycket det ekar i ett rum. Bestäms av rummets volym och de absorberande ytornas egenskaper. Vanligt med en efterklangstid på 0,5 sekunder i bostad medan uppemot 2 sekunder i stora konsertsalar.

### Flanktransmission

Ljud som ej överförs via skiljekonstruktionen utan via flankerande väggar och bjälklag. För att minska flanktransmission är det viktigt att flankerade väggar i sig har bra luft- och stegljudsisolering och att knutpunkterna där konstruktionerna möts är bra utförda.

### Homogena element

Kan även kallas för tunga element. Material som räknas hit kan t.ex. kan vara betong, lättbetong eller tegel.

### Koincidens

Ljudet går rakt genom väggen eftersom infallande ljud har samma våglängd som väggens karakteristiska böjvåglängd.

### Kritisk frekvens, $f_c$ (Hz)

Lägsta frekvens för bygnadsdelen då koincidens kan inträffa.

### Lätta element

Hit räknas regelväggar som kan bestå av gips eller trä.

### Masslagen

Konstruktionens reduktionstalskurva beror enbart på elementets vikt, vilket leder till en rak kurva.

$$R_0 = 20 \log \frac{\pi f m'}{2 \rho c}$$

### Reduktionstal, $R$ (dB)

Mått på luftljudisoleringen. Ljudet transporteras i luften via element till intilliggande rum. Relationen mellan den infallande och transmitterade ljudeffekten mot ett element.

**Resonansfrekvens,  $f_0$  (Hz)**

Då en yttre krafts svängningar som påverkar konstruktionen kommer i samma svängning som konstruktionens egenfrekvens fås en hög amplitudökning och resonans uppstår.

**Rosa brus**

Jämn fördelning av energin i alla frekvensband.

**Stegljudsnivå,  $L$  (dB)**

Mått på stegljudsisoleringen. Stegljud är ljud som går via stommen. T.ex. när någon går och det hörs i rummet bredvid. Mäts genom att en standardiserad hammarapparat hamrar på golvet.

**Vibrationsreduktionsindex,  $K_{ij}$  (dB)**

Alternativt knutpunktsisolering. Visar hur mycket svängningarna avtar över en knutpunkt. Vid homogena väggar bestäms knutpunktsisoleringen av massförhållandet.

**Vitt brus**

Signal som sänds ut med slumpmässigt ljud över alla frekvenser. Ger vid längre mätperiod en konstant amplitud.

**Överhöring**

Oönskat ljud som läcker in i rum. Kan gå via ventilationssystem, otäta undertak och läckage vid dåligt gjorda konstruktionsanslutningar eller genomföringar av rör.



## Bilaga 2. Ordlista EN 12354

$a_i$  – ekvivalent absorptionslängd av element  $i$

$\overline{D}_{v,ij,situ}$  [dB] – vibrationsnivåskillnad vid knutpunkter mellan element  $i$  och  $j$

$K$  – Vibrationsreduktionstal, knutpunktsdämpning

$K_{ij}$  - Vibrationsreduktionstal för varje transmissionsväg  $ij$  vid en knutpunkt

$l_k$  – längden av randen  $k$  på ett element

$lab$  – laborations värde

$R$  [dB] – reduktionstal för ett element

$R_{ij}$  [dB] – reduktionstal för ett flankerande element

$situ$  – fält-värde

$T_s$  [s] – efterklangstid

$\alpha_k$  - absorptionskoefficient för böjvågor vid kant  $k$  av ett element

$\eta$  - förlustfaktor

$\eta_{tot}$  - total förlustfaktor

$\eta_{int}$  - intern förlustfaktor

$\sigma$  - strålningsfaktor

$\tau$  - transmissionsfaktor

ljudeffektförhållande mellan den totala ljudeffekten i mottagarrummet jämfört med den infallande ljudeffekten från sändarrummet

$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$  - summan av beräkningselementets omgivande elements

absorptionskoefficienten multiplicerat med längden för deras rand tillsammans med beräkningselementet

---



## Bilaga 3. Handberäkning av luftljudsisolering enligt EN 12354-1

För att förstå standard EN 12354-1 utfördes ett räkneexempel m.h.a. dataprogrammet Excel. I denna bilaga finns information och beräkningar hur exemplet har beräknats. I EN 12354-1 finns en bilaga, Annex H, där viss information till ett räkneexempel finns som räknats enligt den detaljerade modellen. Tillvägagångssättet i Annex H har följts i så stor utsträckning som möjligt med hjälp från professor Eddy Gerretsen, ledaren av utvecklingen av EN 12354. Alla formler kommer från EN 12354-1 och under kapitlet om sammanfattningsvärdet och anpassningsterm kommer formlerna även från EN ISO 717-1.

### Tillvägagångssätt

EN 12354-1:

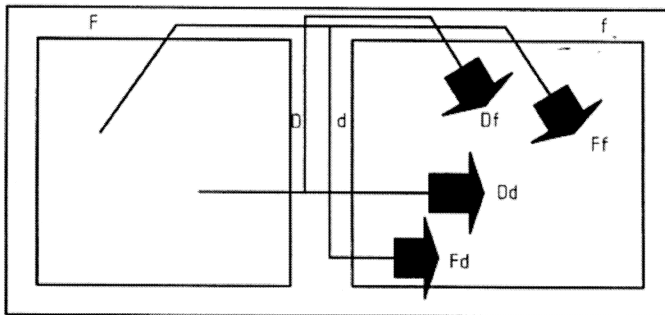
1. Beräkning av varje konstruktionsdels direkta reduktionstal i laboratorium,  $R_{lab}$
2. Beräkning av varje konstruktionsdels insituvärden och vibrationsnivåskillnad vid knutpunkter,  $\overline{D}_{v,ij,situ}$
3. Beräkning av reduktionstalet i fält,  $R_{situ}$ , med hjälp av efterklangstiden  
Redigering av lab-värden till insitu-värden med avseende på efterklangstid
4. Bestämning av direkt och flankerande ljudtransmission

SS ISO 717-1:

1. Uträkning av sammanfattningsvärdet,  $R'_{w,tot}$ , och anpassningsterm,  $C$

### Ljudets olika vägar

Ljudet transmitteras på olika sätt till intilliggande rum. I figur 1 ses de olika vägarna där  $D$  innebär att ljudet från sändarrummet transporteras via skiljekonstruktionen och  $F$  via flankerande väggar.  $d$  innebär att ljudet kommer in i mottagarrummet från skiljekonstruktionen och  $f$  från flankerande väggar.



Figur 1. Ljudets väg från sändar- till mottagarrum.

## Val av frekvens

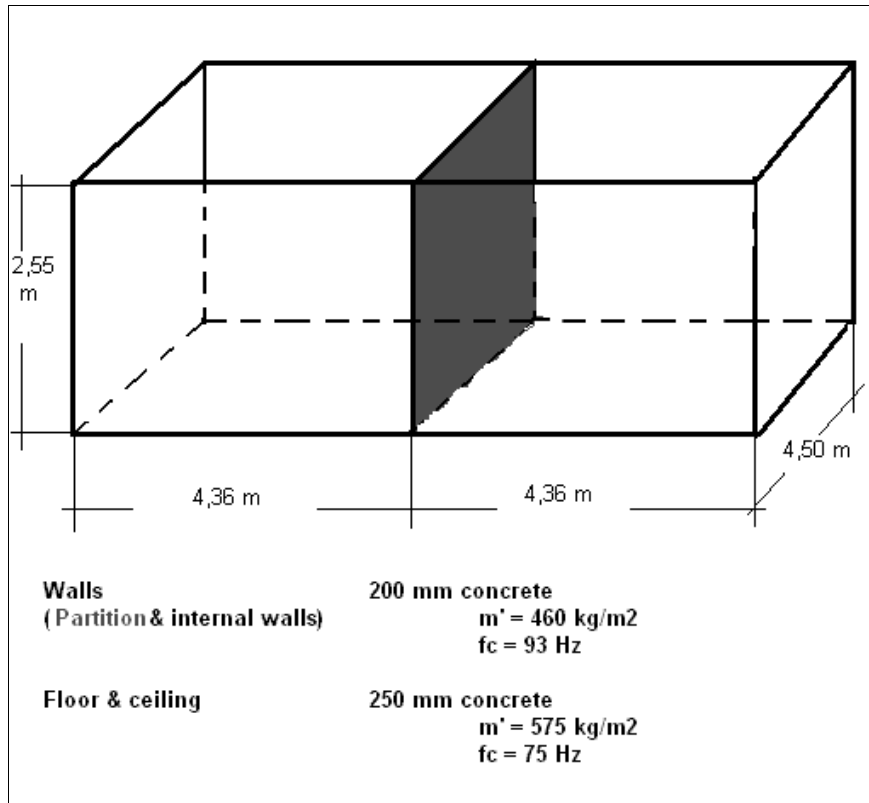
Alla beräkningar är räknade för mittfrekvensen i varje oktavband. För att vara helt korrekt ska det egentligen räknas för varje frekvens. Men enligt EN 12354 är det tillräckligt med en frekvens från varje oktavband, se tabell 1, vilket sparar arbete. I exemplet i Annex H används lägsta frekvensen i varje oktavband vid vissa beräkningar. Enligt Eddy Gerretsen beror det på att det vid tillfället inte fanns några andra mätvärden att använda sig av då EN 12354-1 utvecklades.

**Tabell 1.** Frekvenstabell där mittfrekvensen av varje oktavband är fetmarkerad.

<b>Frekvens (Hz)</b>
100
<b>125</b>
160
200
<b>250</b>
315
400
<b>500</b>
630
800
<b>1000</b>
1250
1600
<b>2000</b>
2500
3150
<b>4000</b>
5000

## Objekt

Beräkningarna görs på ett objekt där alla väggar består av 200 mm betong och bjälklag av 250 mm betong. Mått, ytvikt och kritisk frekvens syns i figur 2.



Figur 2. Beräkningsobjektets egenskaper.

### Fasta konstanter

$$\rho_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Luftens densitet

$$c_0 = 340 \text{ m/s}$$

Ljudets hastighet i luft

## 1. Beräkning av varje konstruktionsdels direkta reduktionstal i laboratorium, $R_{lab}$

### Reduktionstalet

$$R = -10 \log \tau \text{ dB} \quad (\text{B.1 EN 12354-1})$$

### Transmissionsfaktor

$$\tau = \left( \frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2f \eta_{tot}} \quad f > f_c \quad (\text{B.1})$$

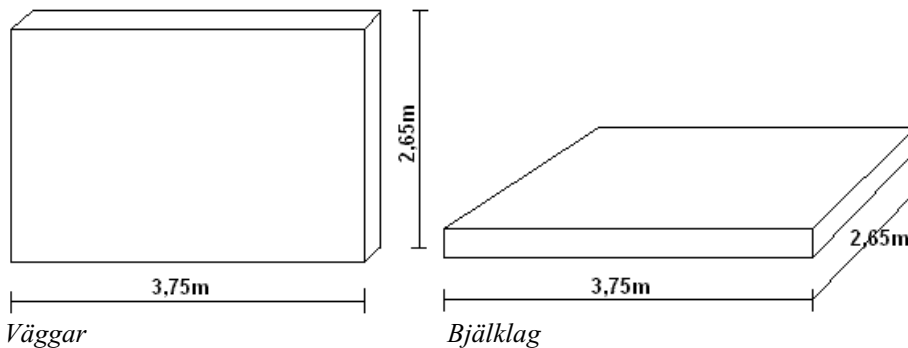
### Totala förlustfaktorn

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f * f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k \quad (\text{C.1})$$

För strålningsfaktorn,  $\sigma$ , och  $\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab}$  se vidare.

### Laborationsvärde

Vid beräkning av lab-värden används byggnadsdelar från ett certifierat ISO 140-1 lab. I detta exempel är byggnadsdelarna från laboratoriet TNO Delft. I figur 3 visas måtten på laboratoriebetongelementen.



**Figur 3.** Laboratoriebetongelement i TNO Delft.

### Uträkning av strålningsfaktorn, $\sigma_{lab}$

#### Väggarna

Strålningsfaktorn,  $\sigma_{lab}$ , ger samma värde på skiljeväggen som på flankerande väggar eftersom laborieväggen har samma dimensioner för alla väggar.

$$f_c = 93 \text{ Hz}$$

Enligt Annex B:

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left( \frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{340^2}{4 * 93} \left( \frac{1}{3,75^2} + \frac{1}{2,65^2} \right) = 66,35 \text{ Hz} \quad (\text{B.3a})$$

$$f_{11} > fc/2 = 46,5\text{Hz}$$

$f > f_c$  eftersom frekvensområdet sträcker sig från 125 Hz.

$$\begin{aligned} \text{om} \quad & \sigma_1 < \sigma_3 \text{ är } \sigma = \sigma_1 \\ \text{annars är} \quad & \sigma = \sigma_3 \quad (\sigma \leq 2,0) \end{aligned} \quad (\text{B.3c})$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} \quad \sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (\text{B.3a})$$

**Tabell 2.**  $\sigma_{lab}$  för väggarna.

f	$\sigma_{1,lab}$	$\sigma_{3,lab}$	$\sigma_{lab}$
125	1,9764	0,9612	<b>0,9612</b>
250	1,2619	1,3594	<b>1,2619</b>
500	1,1084	1,9225	<b>1,1084</b>
1000	1,0500	2,7188	<b>1,0500</b>
2000	1,0241	3,8450	<b>1,0241</b>
4000	1,0118	5,4376	<b>1,0118</b>

### Bjälklagen

$$f_c = 75\text{Hz}$$

Enligt Annex B:

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left( \frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{340^2}{4 * 75} \left( \frac{1}{3,15^2} + \frac{1}{3,15^2} \right) = 77,67\text{Hz}$$

$$f_{11} > fc/2 = 37,5\text{Hz}$$

$f > f_c$

$$\begin{aligned} \text{om} \quad & \sigma_1 < \sigma_3 \text{ är } \sigma = \sigma_1 \\ \text{annars är} \quad & \sigma = \sigma_3 \quad (\sigma \leq 2,0) \end{aligned} \quad (\text{B.3c})$$

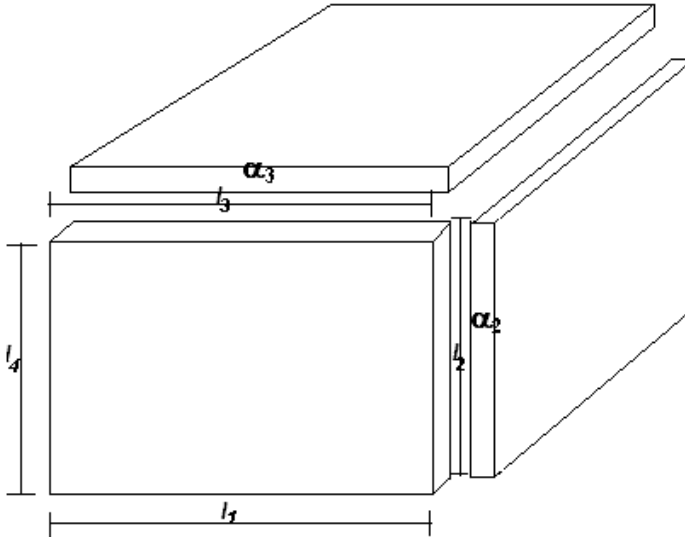
$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}} \quad \sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (\text{B.3a})$$

**Tabell 3.**  $\sigma_{lab}$  för bjälklagen.

f	$\sigma_{1,lab}$	$\sigma_{3,lab}$	$\sigma_{lab}$
125	1,5811	0,9537	<b>0,9537</b>
250	1,1952	1,3487	<b>1,1952</b>
500	1,0847	1,9074	<b>1,0847</b>
1000	1,0398	2,6975	<b>1,0398</b>
2000	1,0193	3,8148	<b>1,0193</b>
4000	1,0095	5,395	<b>1,0095</b>

Uträkning av  $\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab}$  enligt Annex C.

Varje element omges av fyra element. Absorptionskoefficienten,  $\alpha_k$ , för varje omgivande element multipliceras med randens längd,  $l_k$ , och adderas ihop för att få  $\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab}$ , se figur 4.



**Figur 4.** Där  $\alpha_k$  är absorptionskoefficienten för böjvågor från element k som är sammankopplat med beräkningselementet och  $l_k$  är längden av randen för de sammankopplade elementen.

Då laborativärdet beräknas antas de omgivande elementen vara av samma slag som beräkningselementet/laborativelementet.

#### Uträkning av absorptionskoefficienten, $\alpha_k$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha)$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[ \frac{2\sqrt{X\Psi}(1+X)(1+\Psi)}{X(1+\Psi)^2 + 2\Psi(1+X^2)} \right]^2$$

$$X = \sqrt{\frac{31,1}{f_c}} \quad \Psi = 44,3 \frac{f_c}{m'} \quad (C.4)$$

$f_c$  (Hz) – byggnadsdelens kritiska frekvens

$m'$  (kg/m<sup>2</sup>) – byggnadsdelens vikt/m<sup>2</sup>



**Väggarna**

Blir samma för skiljevägg och övriga väggar eftersom de har samma  $f_c$  och  $m'$ .

$$X = \sqrt{\frac{31,1}{93}} = 0,5783 \qquad \Psi = 44,3 \frac{93}{460} = 8,9563$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[ \frac{2\sqrt{X\Psi}(1+X)(1+\Psi)}{X(1+\Psi)^2 + 2\Psi(1+X^2)} \right]^2 = 0,2584$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = \mathbf{0,1917}$$

**Bjälklagen**

$$X = \sqrt{\frac{31,1}{75}} = 0,6439 \qquad \Psi = 44,3 \frac{75}{575} = 5,7783$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \left[ \frac{2\sqrt{X\Psi}(1+X)(1+\Psi)}{X(1+\Psi)^2 + 2\Psi(1+X^2)} \right]^2 = 0,2920$$

$$\alpha_k = \alpha(1 - 0,9999\alpha) = \mathbf{0,2067}$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab} \quad \mathbf{Väggarna}$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab} = 2 * (2,65 * 0,1917) + 2 * (3,75 * 0,1917) = 2,4538$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab} \quad \mathbf{Bjälklagen}$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab} = 2 * (3,15 * 0,2067) + 2 * (3,15 * 0,2067) = 2,6044$$

**Utträkning av den totala förlustfaktorn  $\eta_{tot,lab}$** 

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f} * f_c} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k \quad (\text{C.1})$$

**Väggarna**

$$\eta_{int,btg} = 0,006 \qquad S_{lab} = 2,65 * 3,75 = 9,9375$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab} = 2,4538$$

$$\eta_{tot,lab}(f = 125\text{Hz}) = 0,006 + \frac{2 * 1,2 * 340 * 0,9612}{2\pi * 125 * 460} + \frac{340}{\pi^2 * 9,9375\sqrt{125 * 93}} * 2,4538 = 0,08707$$

(C.1)

**Tabell 4.**  $\eta_{tot,lab}$  för väggarna.

f	$\sigma_{lab}$	$\eta_{tot,lab}$
125	0,9612	0,08707
250	1,2619	0,06321
500	1,1084	0,04607
1000	1,0500	0,03419
2000	1,0241	0,02587
4000	1,0118	0,02002

### Bjälklagen

$$\eta_{int} = 0,006$$

$$S_{lab} = 3,15 * 3,15 = 9,9225\text{m}^2$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,lab} = 2,6044$$

$$\eta_{tot,lab}(f = 125\text{Hz}) = 0,006 + \frac{2 * 1,2 * 340 * 0,9537}{2\pi * 125 * 575} + \frac{340}{\pi^2 * 9,9225\sqrt{125 * 75}} * 2,6044 = 0,10111$$

(C.1)

**Tabell 5.**  $\eta_{tot,lab}$  för bjälklagen.

f	$\sigma_{lab}$	$\eta_{tot,lab}$
125	0,9537	0,10111
250	1,1952	0,07311
500	1,0847	0,05318
1000	1,0398	0,03925
2000	1,0193	0,02946
4000	1,0095	0,02257

### Uträkning av reduktionstalet $R_{lab}$

$$R = -10 \log \tau \text{ dB}$$

$$\text{Transmissionsfaktorn } \tau = \left( \frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c \quad (\text{B.1})$$

### Väggarna

$$\tau_{lab}(125\text{Hz}) = \left( \frac{2 * 1,2 * 340}{2\pi * 125 * 460} \right)^2 \frac{\pi * 93 * 0,9612^2}{2 * 125 * 0,08707} = 6,32756 * 10^{-5}$$

$$R_{lab}(125\text{Hz}) = -10 \log(6,32756 * 10^{-5}) = 41,99\text{dB}$$

**Tabell 6.**  $R_{lab}$  för väggarna.

<b>f</b>	<b><math>\sigma_{lab}</math></b>	<b><math>\eta_{tot,lab}</math></b>	<b><math>\tau_{lab}</math></b>	<b><math>R_{lab}</math></b>
125	0,9612	0,08707	6,32611E-05	<b>41,99</b>
250	1,2619	0,06321	1,87738E-05	<b>47,26</b>
500	1,1084	0,04607	2,48412E-06	<b>56,05</b>
1000	1,0500	0,03419	3,75480E-07	<b>64,25</b>
2000	1,0241	0,02587	5,90073E-08	<b>72,29</b>
4000	1,0118	0,02002	9,30364E-09	<b>80,31</b>

**Bjälklagen**

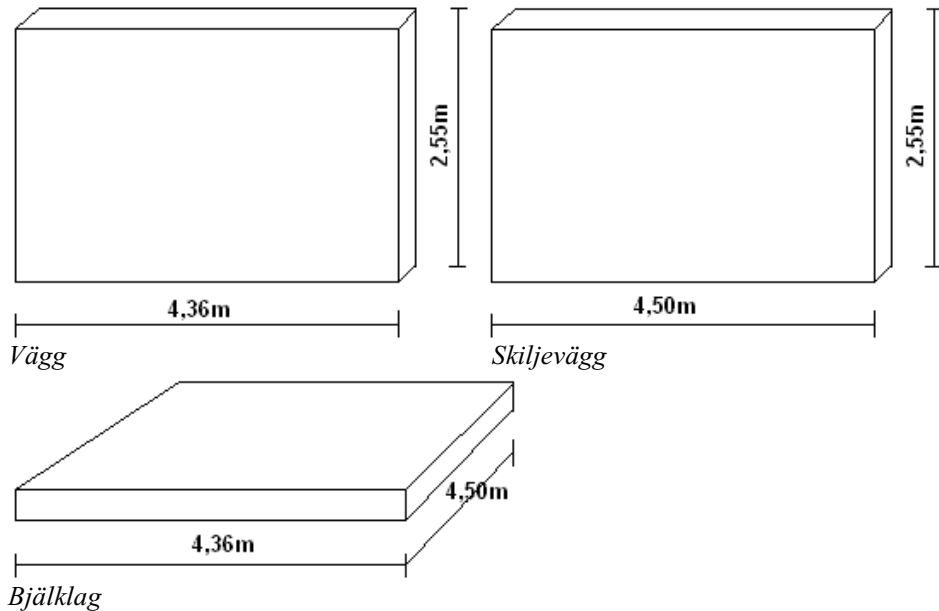
$$\tau_{lab}(125Hz) = \left( \frac{2 * 1,2 * 340}{2\pi * 125 * 575} \right)^2 \frac{\pi * 75 * 0,9537^2}{2 * 125 * 0,10113} = 2,76745 * 10^{-5}$$

$$R_{lab}(125Hz) = -10 \log(2,76745 * 10^{-5}) = 45,58dB$$

**Tabell 7.**  $R_{lab}$  för bjälklagen.

<b>f</b>	<b><math>\sigma_{lab}</math></b>	<b><math>\eta_{tot,lab}</math></b>	<b><math>\tau_{lab}</math></b>	<b><math>R_{lab}</math></b>
125	0,9537	0,10111	2,7680E-05	<b>45,58</b>
250	1,1952	0,07311	7,51537E-06	<b>51,24</b>
500	1,0847	0,05318	1,06372E-06	<b>59,73</b>
1000	1,0398	0,03925	1,65549E-07	<b>67,81</b>
2000	1,0193	0,02946	2,64940E-08	<b>75,77</b>
4000	1,0095	0,02257	4,24001E-09	<b>83,73</b>

## 2. Beräkning av varje konstruktionsdels insitivärden och vibrationsnivåskillnaden vid knutpunkter, $\overline{D}_{v,ij,situ}$



Figur 5. Elementen i beräkningsexemplet.

### Uträkning av strålningsfaktorn $\sigma_{situ}$ .

Sker på samma sätt som vid  $\sigma_{lab}$  fast med de riktiga längdmåtten på elementen i beräkningsexemplet, se figur 4. Alltså beräknas strålningsfaktorn på alla element, skiljeväggen, de flankerande väggarna och bjälklagen.

#### Skiljeväggen

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left( \frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{340^2}{4 \cdot 93} \left( \frac{1}{4,5^2} + \frac{1}{2,55^2} \right) = 63,14 \text{ Hz} \quad (\text{B.3a})$$

$$f_{11} > f_c / 2 = 46,5 \text{ Hz} \\ f > f_c$$

$$\begin{array}{ll} \text{om} & \sigma_1 < \sigma_3 \text{ är } \sigma = \sigma_1 \\ \text{annars är} & \sigma = \sigma_3 \quad (\sigma \leq 2,0) \end{array} \quad (\text{B.3c})$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c / f}} \quad \sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f (l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (\text{B.3a})$$

**Tabell 8.**  $\sigma_{situ}$  för skiljeväggen.

<b>f</b>	<b><math>\sigma_{1,situ}</math></b>	<b><math>\sigma_{3,situ}</math></b>	<b><math>\sigma_{situ}</math></b>
125	1,9764	1,0089	1,0089
250	1,2619	1,4268	1,2619
500	1,1084	2,0178	1,1084
1000	1,0500	2,8535	1,0500
2000	1,0241	4,0355	1,0241
4000	1,0118	5,7071	1,0118

**Flankerande väggar**

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left( \frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{340^2}{4 * 93} \left( \frac{1}{4,36^2} + \frac{1}{2,55^2} \right) = 64,14 Hz$$

$$f_{11} > fc/2 = 46,5 Hz$$

$$f > f_c$$

$$\begin{array}{ll} \text{om} & \sigma_1 < \sigma_3 \text{ är } \sigma = \sigma_1 \\ \text{annars är} & \sigma = \sigma_3 \quad (\sigma \leq 2,0) \end{array} \quad (B.3c)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}}$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (B.3a)$$

**Tabell 9.**  $\sigma_{situ}$  för flankerande väggar.

<b>f</b>	<b><math>\sigma_{1,situ}</math></b>	<b><math>\sigma_{3,situ}</math></b>	<b><math>\sigma_{situ}</math></b>
125	1,9764	0,9988	0,9988
250	1,2619	1,4125	1,2619
500	1,1084	1,9976	1,1084
1000	1,0500	2,8251	1,0500
2000	1,0241	3,9953	1,0241
4000	1,0118	5,6501	1,0118

**Bjälklagen**

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left( \frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) = \frac{340^2}{4 * 75} \left( \frac{1}{4,36^2} + \frac{1}{4,50^2} \right) = 39,30 Hz$$

$$f_{11} > fc/2 = 37,5 Hz$$

$$f > f_c$$

$$\begin{array}{ll} \text{om} & \sigma_1 < \sigma_3 \text{ är } \sigma = \sigma_1 \\ \text{annars är} & \sigma = \sigma_3 \quad (\sigma \leq 2,0) \end{array} \quad (B.3c)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c / f}} \quad \sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (\text{B.3a})$$

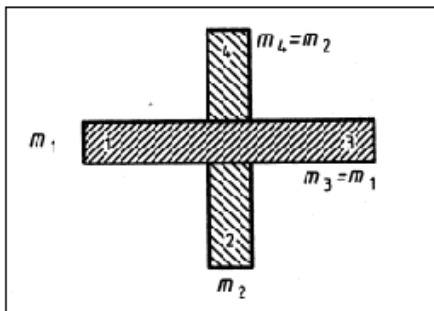
**Tabell 10.**  $\sigma_{situ}$  för bjälklagen.

f	$\sigma_{1,situ}$	$\sigma_{3,situ}$	$\sigma_{situ}$
125	1,5811	1,1310	1,1310
250	1,1952	1,5995	1,1952
500	1,0847	2,2620	1,0847
1000	1,0398	3,1989	1,0398
2000	1,0193	4,5240	1,0193
4000	1,0095	6,3979	1,0095

### Beräkning av vibrationsnivåskillnad vid knutpunkter, $\overline{D_{v,ij,situ}}$

Skillnaden mellan vibrationsnivån från det ljudexciterade elementet  $i$  till mottagande element  $j$  i en knutpunkt.

$$\overline{D_{v,ij,situ}} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} * a_{j,situ}}} \text{ dB}; \quad \overline{D_{v,ij,situ}} \geq 0 \text{ dB} \quad (21)$$



**Figur 6.** Styv X-knutpunkt.

Vid styv X-knutpunkt, se figur 6, som förekommer i alla knutpunkter i beräkningsobjektet är vibrationsreduktionstalet för varje transmissionsväg  $ij$  vid en knutpunkt,  $K_{ij}$ :

$$\begin{aligned} K_{13} &= K_{Ff} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 \\ K_{12} &= K_{Fd} = 8,7 + 5,7M^2 \\ K_{23} &= K_{Df} = 8,7 + 5,7M^2 \end{aligned} \quad (\text{E.3})$$

$$\text{där } M = \log \frac{m'_{\perp i}}{m'_i} \quad (\text{E.2})$$

**Ekvivalent absorptionslängd av element  $i$ ,  $a_i$ :**

$$a_{i,situ} = \frac{2,2\pi^2 S_i}{c_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}} \quad \text{där } S_i \text{ är arean för element } i \text{ och } f_{ref} = 1000\text{Hz} \quad (22)$$

**Efterklangstiden**

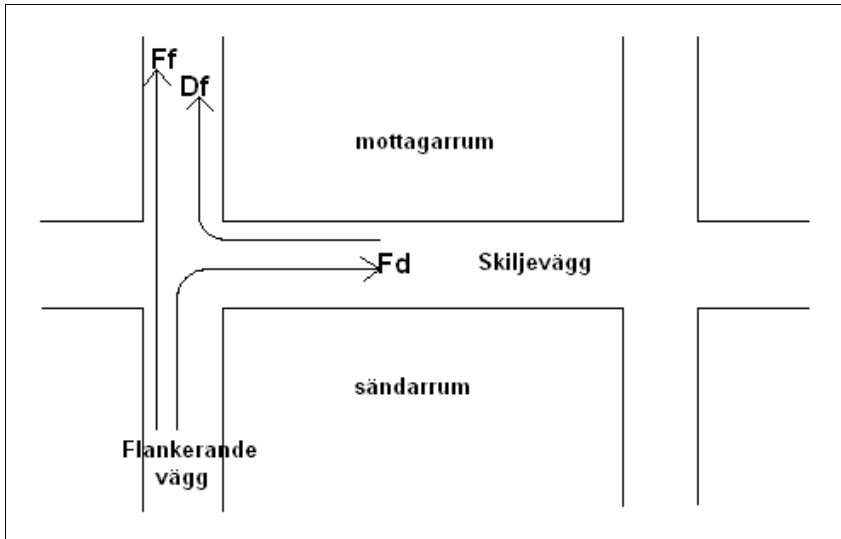
$$T_{s,situ} = \frac{2,2}{f\eta_{tot,situ}}$$

**Totala förlustfaktorn**

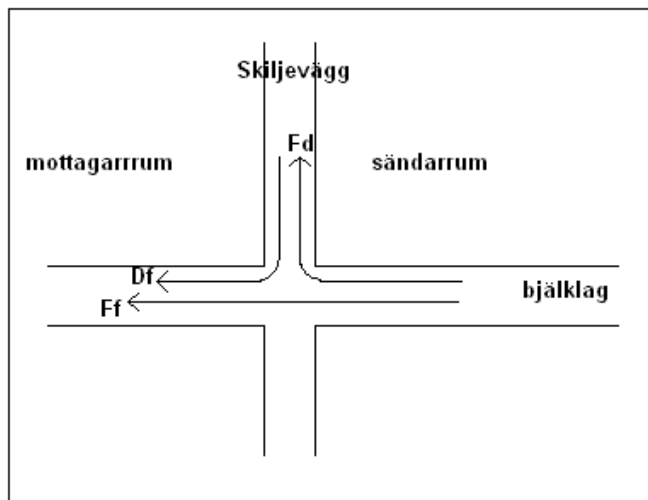
$$\eta_{tot,situ} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{f^* f_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,situ} \quad (C.1)$$

**Absorptionskoefficient för böjvågor vid kant  $k$  av ett element,  $\alpha_k$** 

$$\alpha_{k,situ} = \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10} \quad (C.2)$$



**Figur 7.** Ljudets vägar vid knutpunkten mellan skiljevägg och flankerande vägg.



**Figur 8.** Ljudets vägar vid knutpunkten mellan skiljevägg och bjälklag.

**Skiljeväggen**

$$S_F = S_f = S_s = 2,55 * 4,50 = 11,475m^2$$

$$M_{(skiljevagg=sv,vagg)} = \log \frac{460}{460} = 0 \quad \Rightarrow \quad K_{Ff} = 8,7 \quad K_{Fd} = 8,7$$

$$K_{Df} = 8,7$$

$$M_{(sv,bjkl)} = \log \frac{575}{460} = 0,09691 \quad \Rightarrow \quad K_{Ff} = 10,41 \quad K_{Fd} = 8,75$$

$$K_{Df} = 8,75$$

$$\alpha_{k,situ(sv,vagg)} = 3 * \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-8,7/10} = 0,1234$$

$$l_{sv,vagg} = 2,55m$$

$$\alpha_{k,situ(sv,bjkl)} = \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-10,41/10} + \sqrt{\frac{75}{1000}} * 10^{-8,75/10} + \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-8,75/10} = 0,1050$$

$$l_{sv,bjkl} = 4,50m$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,situ} = 2 * 2,55 * 0,1234 + 2 * 4,50 * 0,1050 = 1,5743$$

$$\eta_{tot,situ}(125Hz) = 0,006 + \frac{2 * 1,2 * 340 * 1,0089}{2\pi * 125 * 460} + \frac{340}{\pi^2 * 11,475 * \sqrt{125 * 93}} * 1,5743 = 0,05211$$

$$T_{s,situ}(125Hz) = \frac{2,2}{125 * 0,05211} = 0,3377$$

$$a_{i,situ}(125Hz) = \frac{2,2\pi^2 * 11,475}{340 * 0,3377} \sqrt{\frac{1000}{125}} = 6,1378$$

**Tabell 11.** Situ-värden för skiljeväggen.

<b>f</b>	<b><math>\sigma_{situ}</math></b>	<b><math>\eta_{tot,situ}</math></b>	<b><math>T_{s,situ}</math></b>	<b><math>a_{situ}</math></b>
125	1,0089	0,05211	0,3377	6,1378
250	1,2619	0,03842	0,2290	6,4002
500	1,1084	0,02854	0,1542	6,7209
1000	1,0500	0,02179	0,1010	7,2556
2000	1,0241	0,01710	0,0643	8,0588
4000	1,0118	0,01382	0,0398	9,2063



**Flankväggarna**

$$S_F = S_f = 2,55 * 4,36 = 11,118m^2$$

$$M_{(vägg,sv)} = \log \frac{460}{460} = 0 \quad \Rightarrow \quad K_{Ff} = 8,7 \quad K_{Fd} = 8,7$$

$$K_{Df} = 8,7$$

$$M_{(vägg,bjkl)} = \log \frac{575}{460} = 0,09691 \quad \Rightarrow \quad K_{Ff} = 10,41 \quad K_{Fd} = 8,75$$

$$K_{Df} = 8,75$$

$$\alpha_{k,situ}(vägg,sv) = 3 * \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-8,7/10} = 0,1234$$

$$\alpha_{k,situ}(vägg,bjkl) = \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-10,41/10} + \sqrt{\frac{75}{1000}} * 10^{-8,75/10} + \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-8,75/10} = 0,1050$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,situ} = 2 * 2,55 * 0,1234 + 2 * 4,36 * 0,1050 = 1,5449$$

Här räknas det med att väggen på andra sidan av den flankerande väggen har samma egenskaper som skiljeväggen.

$$\eta_{tot,situ}(125Hz) = 0,006 + \frac{2 * 1,2 * 340 * 0,9988}{2\pi * 125 * 460} + \frac{340}{\pi^2 * 11,118 * \sqrt{125 * 93}} * 1,5449 = 0,05265$$

$$T_{s,situ}(125Hz) = \frac{2,2}{125 * 0,05265} = 0,3343$$

$$a_{i,situ}(125Hz) = \frac{2,2\pi^2 * 11,118}{340 * 0,3343} \sqrt{\frac{1000}{125}} = 6,0073$$

**Tabell 12.** Situ-värden för de flankerande väggarna.

f	$\sigma_{situ}$	$\eta_{tot,situ}$	$T_{s,situ}$	$a_{situ}$
125	0,9988	0,05265	0,3343	6,0073
250	1,2619	0,03882	0,2267	6,264
500	1,1084	0,02882	0,1527	6,5758
1000	1,0500	0,02199	0,1000	7,1002
2000	1,0241	0,01724	0,0638	7,8693
4000	1,0118	0,01392	0,0395	8,9876

**Vibrationsnivåskillanden vid knutpunkter**

$$D_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} * a_{j,situ}}}$$

Vibrationsnivåskillnaden då ljudet går förbi skiljeväggen via flankerande vägg,  $F_f$  i figur 7:

$$\overline{D_{v,Ff,situ}}(125\text{Hz}) = 8,7 - 10 \log \frac{2,55}{\sqrt{6,0073 * 6,0073}} = 12,4214$$

Vibrationsnivåskillnaden då ljudet antingen går via skiljeväggen till flankerande vägg eller från flankerande vägg till skiljeväggen,  $Fd$  och  $Df$  i figur 7:

$$\overline{D_{v,Fd,situ}}(125\text{Hz}) = \overline{D_{v,Df,situ}}(125\text{Hz}) = 8,7 - 10 \log \frac{2,55}{\sqrt{6,0073 * 6,1378}} = 12,4681$$

**Tabell 13.** Vibrationsnivåskillnaden mellan skiljevägg och flankerande vägg.

f	$D_{v,Ff,situ}$	$D_{v,Fd,situ}$	$D_{v,Df,situ}$
125	12,4214	12,4681	12,4681
250	12,6031	12,6498	12,6498
500	12,8141	12,8615	12,8615
1000	13,1473	13,1943	13,1943
2000	13,5940	13,6456	13,6456
4000	14,1710	14,2232	14,2232

### Bjälklag

$$l_{Ff} = 4,50\text{m}$$

$$S_F = S_f = 4,50 * 4,36 = 19,62\text{m}^2$$

$$S_S = 2,55 * 4,50 = 11,475\text{m}^2$$

$$M_{(bjkl,sv)} = M_{(bjkl,vägg)} = \log \frac{460}{575} = -0,09691 \quad \Rightarrow \quad K_{Ff} = 7,10 \quad K_{Fd} = 8,75$$

$$K_{Df} = 8,75$$

$$\alpha_{k,situ(bjkl,sv)} = \alpha_{k,situ(bjkl,vägg)} = \sqrt{\frac{75}{1000}} * 10^{-7,10/10} + \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-8,75/10} + \sqrt{\frac{75}{1000}} * 10^{-8,75/10} = 0,1306$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,situ} = 2 * 4,50 * 0,1306 + 2 * 4,36 * 0,1306 = 2,3142$$

$$\eta_{tot,situ}(125\text{Hz}) = 0,006 + \frac{2 * 1,2 * 340 * 1,1310}{2\pi * 125 * 575} + \frac{340}{\pi^2 * 19,62 * \sqrt{125 * 75}} * 2,3142 = 0,05001$$

$$T_{s,situ}(125\text{Hz}) = \frac{2,2}{125 * 0,05001} = 0,3519$$

$$\alpha_{i,situ}(125\text{Hz}) = \frac{2,2\pi^2 * 19,62}{340 * 0,3519} \sqrt{\frac{1000}{125}} = 10,0709$$

**Tabell 14.** Situ-värden för bjälklagen.

<b>f</b>	<b><math>\sigma_{\text{situ}}</math></b>	<b><math>\eta_{\text{tot,situ}}</math></b>	<b><math>T_{\text{s,situ}}</math></b>	<b><math>a_{\text{situ}}</math></b>
125	1,1310	0,05001	0,3519	10,0709
250	1,1952	0,03675	0,2395	10,4633
500	1,0847	0,02747	0,1602	11,0610
1000	1,0398	0,02107	0,1044	12,0017
2000	1,0193	0,01661	0,0662	13,3835
4000	1,0095	0,01348	0,0408	15,3551

Vibrationsnivåskillnaden

$$\overline{D_{v,Ff,situ}}(125\text{Hz}) = 7,1 - 10 \log \frac{4,50}{\sqrt{10,0709 * 10,0709}} = 10,5986$$

$$\overline{D_{v,Fd,situ}}(125\text{Hz}) = \overline{D_{v,Df,situ}}(125\text{Hz}) = 8,75 - 10 \log \frac{4,50}{\sqrt{10,0709 * 6,1378}} = 11,1733$$

**Tabell 15.** Vibrationsnivåskillnaden mellan skiljevägg och bjälklag.

<b>f</b>	<b><math>D_{v,Ff,situ}</math></b>	<b><math>D_{v,Fd,situ}</math></b>	<b><math>D_{v,Df,situ}</math></b>
125	10,5986	11,1733	11,1733
250	10,7646	11,3472	11,3472
500	11,0058	11,574	11,5740
1000	11,3603	11,9175	11,9175
2000	11,8336	12,3821	12,3821
4000	12,4304	12,9696	12,9696

### 3. Beräkning av reduktionstalet i fält, $R_{situ}$ , med hjälp av efterklangstiden

$$R_{situ} = R_{lab} - 10 \log \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \text{ dB} \quad (19)$$

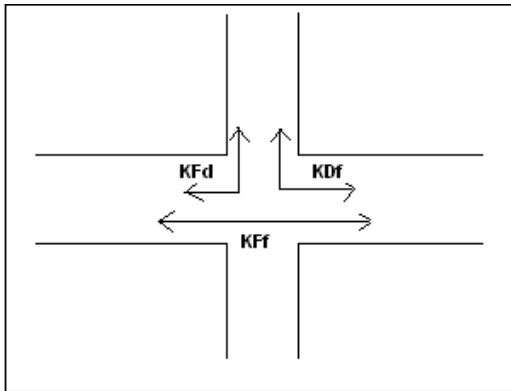
$$\text{där } T_{s,lab} = \frac{2,2}{f * \eta_{tot,lab}}$$

$$S_{lab} = 2,65 * 3,75 = 9,9375 m^2$$

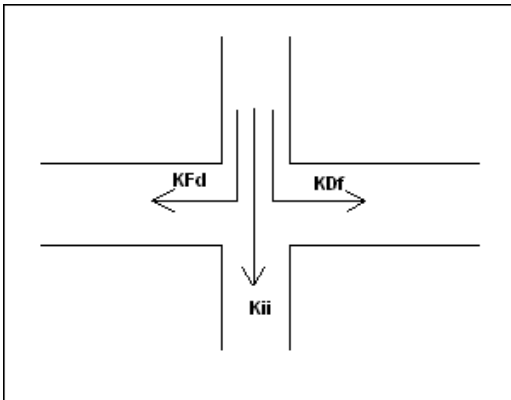
$$\sum l_k = 2 * 2,65 + 2 * 3,65 = 12,8 m$$

#### Vibrationsreduktionstalet $K_{ij}$

Beräkningarna av vibrationsreduktionstalet  $K_{ij}$  är annorlunda när man räknar på efterklangstiden jämfört med beräkning på vibrationsnivåskillnaden (omvandlingen från indata till insitu värden), se figur 9 och 10.



**Figur 9.** Ljudets väg vid beräkning av vibrationsreduktionstal då det ska användas vid vibrationsnivåskillnadsberäkning.



**Figur 10.** Ljudets väg vid beräkning av vibrationsreduktionstal vid beräkning av efterklangstiden.

Vid beräkning av efterklangstiden i fält ska vibrationsreduktionstalet,  $K_{ii}$ , beräknas som vinkelrät mot vibrationsreduktionstalet,  $K_{Fj}$ , vid beräkning av vibrationsnivåskillnad. Då blir

$M = \log \frac{m'_i}{m'_{\perp i}}$ . Detta kommer endast att påverka bjälklaget eftersom  $M$  för väggen blir

samma både vertikalt och horisontellt eftersom skiljevägg och vägg har samma  $m'$ ,

$$M = \log \frac{m'_{\perp i}}{m'_i} = \log \frac{m'_i}{m'_{\perp i}} = \log \frac{460}{460} = 0$$

### Skiljeväggen

Beräkning av  $T_{s,lab}$

$$T_{s,lab}(125\text{Hz}) = \frac{2,2}{125 * 0,08707} = 0,2021$$

$$R_{situ}(125\text{Hz}) = 41,99 - 10 \log \frac{0,3377}{0,2021} = 39,76$$

**Tabell 16.**  $T_{s,lab}$  och  $R_{situ}$  för skiljeväggen. Övriga parametrar är uträknade under kapitel 1 och 2.

f	$R_{lab}$	$\eta_{tot,lab}$	$T_{s,lab}$	$T_{s,situ}$	$R_{situ}$
125	41,99	0,08707	0,2021	0,3377	<b>39,76</b>
250	47,26	0,06321	0,1392	0,2290	<b>45,10</b>
500	56,05	0,04607	0,0955	0,1542	<b>53,97</b>
1000	64,25	0,03419	0,0643	0,1010	<b>62,29</b>
2000	72,29	0,02587	0,0425	0,0643	<b>70,49</b>
4000	80,31	0,02002	0,0275	0,0398	<b>78,70</b>

### Flankerande väggar

$$T_{s,lab}(125\text{Hz}) = \frac{2,2}{125 * 0,08707} = 0,2021$$

$$R_{situ}(100\text{Hz}) = 41,99 - 10 \log \frac{0,3343}{0,2277} = 39,80 \text{ dB}$$

**Tabell 17.**  $T_{s,lab}$  och  $R_{situ}$  för flankerande väggar. Övriga parametrar är uträknade under kapitel 1 och 2.

f	$R_{lab}$	$\eta_{tot,lab}$	$T_{s,lab}$	$T_{s,situ}$	$R_{situ}$
125	41,99	0,08707	0,2021	0,3343	39,80
250	47,26	0,06321	0,1392	0,2267	45,14
500	56,05	0,04607	0,0955	0,1527	54,01
1000	64,25	0,03419	0,0643	0,1000	62,33
2000	72,29	0,02587	0,0425	0,0638	70,53
4000	80,31	0,02002	0,0275	0,0395	78,74

**Bjälklagen**

$$T_{s,lab}(125\text{Hz}) = \frac{2,2}{125 * 0,10111} = 0,1741$$

$$\text{Nytt } M = \log \frac{575}{460} = 0,0969 \quad \Leftrightarrow \quad K_{ii} = 8,7 + 17,1M + 5,7M^2 = 10,41$$

$$K_{Fd} = K_{Df} = 8,7 + 5,7M^2 = 8,75$$

Samma  $\alpha_k$  för skiljevägg och flankerande vägg eftersom ytvikten är densamma.

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-10,41/10} + \sqrt{\frac{93}{1000}} * 10^{-8,75/10} + \sqrt{\frac{75}{1000}} * 10^{-8,75/10} = 0,1049$$

$$\sum_{k=1}^4 l_k \alpha_{k,situ} = 2 * 4,50 * 0,1049 + 2 * 4,36 * 0,1049 = 1,8588$$

$$\eta_{tot,situ}(125\text{Hz}) = 0,006 + \frac{2 * 1,2 * 340 * 1,131}{2\pi * 125 * 575} + \frac{340}{\pi^2 * 4,50 * 4,36 \sqrt{125 * 75}} * 1,8588 = 0,04175$$

$$T_{s,situ}(125\text{Hz}) = \frac{2,2}{125 * 0,04175} = 0,4216$$

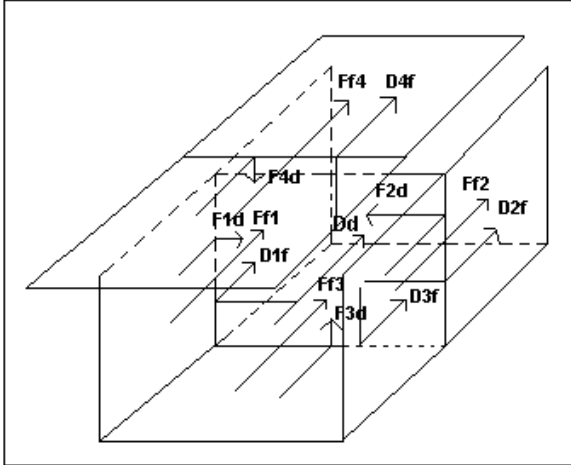
$$R_{situ}(125\text{Hz}) = 45,58 - 10 \log \frac{0,4216}{0,1741} = 41,74 \text{ dB}$$

**Tabell 18.**  $T_{s,lab}$ ,  $\sigma_{situ}$ ,  $\eta_{tot,situ}$ ,  $T_{s,situ}$  och  $R_{situ}$  för bjälklagen. Övriga parametrar är uträknade under kapitel 1 och 2.

f	R <sub>lab</sub>	$\eta_{tot,lab}$	T <sub>s,lab</sub>	$\sigma_{situ}$	$\eta_{tot,situ}$	T <sub>s,situ</sub>	R <sub>situ</sub>
125	45,58	0,10111	0,1741	1,1310	0,04175	0,4216	<b>41,74</b>
250	51,24	0,07301	0,1205	1,1952	0,03091	0,2847	<b>47,51</b>
500	59,73	0,05311	0,0828	1,0847	0,02334	0,1885	<b>56,16</b>
1000	67,81	0,03920	0,0561	1,0398	0,01815	0,1212	<b>64,46</b>
2000	75,77	0,02943	0,0374	1,0193	0,01454	0,0757	<b>72,71</b>
4000	83,73	0,02254	0,0244	1,0095	0,01202	0,0458	<b>81,00</b>

#### 4. Bestämning av direkt och flankerande ljudtransmission

Ljudet transmitteras på olika sätt till intilliggande rum. I figur 11 ses de olika vägarna där  $D$  innebär att ljudet från sändarrummet transporteras via skiljekonstruktionen och  $F$  via flankerande väggar.  $d$  innebär att ljudet kommer in i mottagarområdet från skiljekonstruktionen och  $f$  från flankerande väggar.



Figur 11. Ljudets olika vägar.

##### Reduktionstalet för direkt ljudöverföring via skiljeelementet

$$R_{Dd} = R_{situ}$$

##### Reduktionstalet med flankerande element

$$R_{ij} = \frac{R_{i,situ}}{2} + \Delta R_{i,situ} + \frac{R_{j,situ}}{2} + \Delta R_{j,situ} + \overline{D_{v,ij,situ}} + 10 \log \frac{S_s}{\sqrt{S_i * S_j}} \text{ dB} \quad (25a)$$

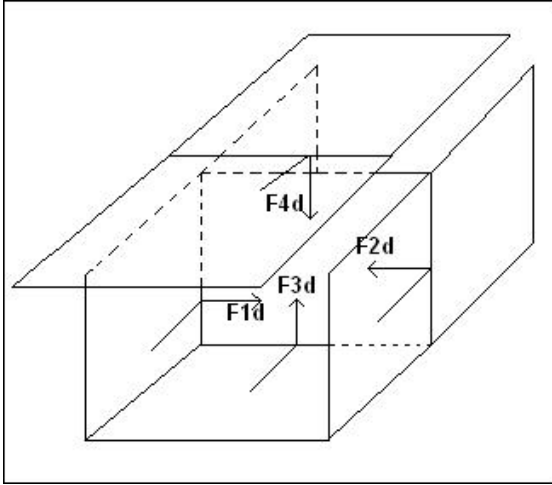
där

$\Delta R_{situ}$  - luftljudsisoleringens förbättring vid beläggning på elementen (dB) används ej i det här exemplet

$S_s$  - skiljeelementets area ( $m^2$ )

##### Skiljeväggen

$$R_{Dd}(125\text{Hz}) = 39,76\text{dB}$$



**Figur 12.** Ljudets överföring från flankerande element till skiljeelement.

$$R_{F1d} = R_{F2d} = R_{v\ddot{a}gg,sv}, \text{ se figur .12}$$

där  $sv$  = skiljevåg

$$R_{v\ddot{a}gg,sv}(125\text{Hz}) = \frac{39,80}{2} + \frac{39,76}{2} + 12,4681 + 10 \log \frac{4,50 * 2,55}{\sqrt{(4,36 * 2,55) * (4,50 * 2,55)}} = 52,32$$

dB

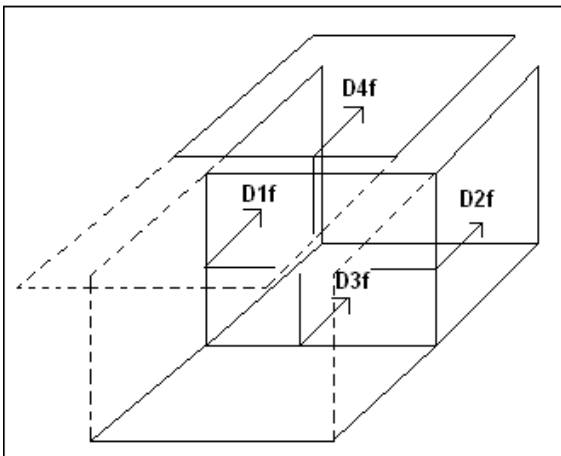
$$R_{F3d} = R_{F4d} = R_{bjkl,sv}, \text{ se figur 12.}$$

$$R_{bjkl,sv}(125\text{Hz}) = \frac{41,74}{2} + \frac{39,76}{2} + 11,1733 + 10 \log \frac{4,50 * 2,55}{\sqrt{(4,50 * 4,36) * (4,50 * 2,55)}} = 50,76$$

dB

### Väggar

$$R_{Df} = R_{sv,v\ddot{a}gg}$$



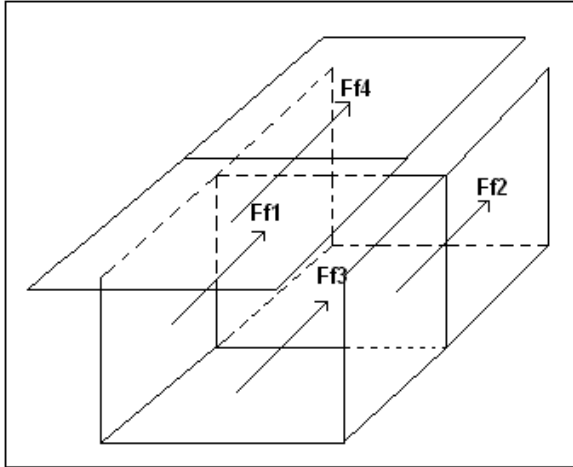
**Figur 13.** Ljudet överföring från skiljeelement till flankerande element.



$R_{D1f} = R_{D2f} = R_{sv,vägg}$ , se figur 13.

$$R_{sv,vägg}(125Hz) = \frac{39,76}{2} + \frac{39,80}{2} + 12,4681 + 10 \log \frac{4,50 * 2,55}{\sqrt{(4,50 * 2,55) * (4,36 * 2,55)}} = 52,32$$

dB



**Figur 14.** Ljudets överföring längs de flankerande elementen.

$R_{Ff1} = R_{Ff2} = R_{vägg,vägg}$ , se figur 14.

$$R_{vägg,vägg}(125Hz) = \frac{39,80}{2} + \frac{39,80}{2} + 12,4214 + 10 \log \frac{4,50 * 2,55}{\sqrt{(4,36 * 2,55)^2}} = 52,36 \text{ dB}$$

### Bjälklag

$R_{Df} = R_{sv,bjkl}$

$R_{D3f} = R_{D4f} = R_{sv,bjkl}$ , se figur 13.

$$R_{sv,bjkl}(125Hz) = \frac{39,76}{2} + \frac{41,74}{2} + 11,1733 + 10 \log \frac{4,50 * 2,55}{\sqrt{(4,50 * 4,36) * (4,50 * 2,55)}} = 50,76$$

dB

$R_{Ff3} = R_{Ff4} = R_{bjkl,bjkl}$ , se figur 14.

$$R_{bjkl,bjkl}(125Hz) = \frac{41,74}{2} + \frac{41,74}{2} + 10,5986 + 10 \log \frac{4,50 * 2,55}{\sqrt{(4,36 * 4,50)^2}} = 50,01 \text{ dB}$$

Tabell 19. Sammanställning av reduktionstalen för de olika frekvenserna.

Frekvens (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000
Skilje- vägg	$R_{Dd}$ (dB)	39,76	45,10	53,97	62,29	70,49	78,70
	$R_{F1d} = v,sv$	52,32	57,84	66,92	75,57	84,22	93,01
	$R_{F2d} = v,sv$	52,32	57,84	66,92	75,57	84,22	93,01
	$R_{F3d} = bjkl,sv$	50,76	56,49	65,47	74,13	82,82	91,65
	$R_{F4d} = bjkl,sv$	50,76	56,49	65,47	74,13	82,82	91,65
Vägg vänster	$R_{D1f} = sv,v$	52,32	57,84	66,92	75,57	84,22	93,01
	$R_{Ff1} = v,v$	52,36	57,88	66,96	75,61	84,26	93,05
Vägg höger	$R_{D2f} = sv,v$	52,32	57,84	66,92	75,57	84,22	93,01
	$R_{Ff2} = v,v$	52,36	57,88	66,96	75,61	84,26	93,05
Bjälklag golv	$R_{D3f} = sv,bjkl$	50,76	56,49	65,47	74,13	82,82	91,65
	$R_{Ff3} = bjkl,bjkl$	50,01	55,95	64,84	73,49	82,21	91,10
Bjälklag tak	$R_{D4f} = sv,bjkl$	50,76	56,49	65,47	74,13	82,82	91,65
	$R_{Ff4} = bjkl,bjkl$	50,01	55,95	64,84	73,49	82,21	91,10

## 5. Uträkning av sammanfattningsvärdet, $R'_{w,tot}$ , och anpassningsterm, $C$

För uträkning av sammanfattningsvärdet används ett reduktionstal för varje frekvens,  $R'$ . Det räknas ut genom att varje reduktionstal i frekvensen avlogaritiseras så att transmissionsfaktorn fås,  $\tau = 10^{R'/-10}$ . Därefter läggs alla transmissionsfaktorer ihop och logaritiseras. Heltal används.

$$R = -10 \log \tau \text{ (dB)} \quad \tau = 10^{R/-10}$$

$$\tau' = \tau_d + \sum_{f=1}^n \tau_f + \sum_{e=1}^m \tau_e + \sum_{s=1}^k \tau_s \quad (14)$$

$$R' = -10 \log \tau' \text{ (dB)}$$

$$R'(125\text{Hz}) = -10 \log(10^{40/-10} + 6 * 10^{52/-10} + 4 * 10^{51/-10} + 2 * 10^{50/-10}) = 37$$

**Tabell 20.**  $R'$  för varje frekvens. Reduktionstalen är avrundade till heltal.

Frekvens (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000
<b>Skiljevägg</b>	<b><math>R_{Dd}</math> (dB)</b>	40	45	54	62	70	79
	<b><math>R_{F1d}</math></b>	52	58	67	76	84	93
	<b><math>R_{F2d}</math></b>	52	58	67	76	84	93
	<b><math>R_{F3d}</math></b>	51	56	65	74	83	92
	<b><math>R_{F4d}</math></b>	51	56	65	74	83	92
<b>Vägg vänster</b>	<b><math>R_{D1f}</math></b>	52	58	67	76	84	93
	<b><math>R_{F1f}</math></b>	52	58	67	76	84	93
<b>Vägg höger</b>	<b><math>R_{D2f}</math></b>	52	58	67	76	84	93
	<b><math>R_{F2f}</math></b>	52	58	67	76	84	93
<b>Bjälklag golv</b>	<b><math>R_{D3f}</math></b>	51	56	65	74	83	92
	<b><math>R_{F3f}</math></b>	52	58	67	76	84	93
<b>Bjälklag tak</b>	<b><math>R_{D4f}</math></b>	51	56	65	74	83	92
	<b><math>R_{F4f}</math></b>	52	58	67	76	84	93
<b><math>R'</math></b>		<b>37</b>	<b>43</b>	<b>52</b>	<b>60</b>	<b>68</b>	<b>77</b>

Beräkning av sammanfattningsvärdet,  $R'_{w}$ , görs enligt standard SS-EN ISO 717-1. I det här fallet jämförs beräkningsvärdena av  $R'$  med referensvärden i standarden, se tabell 21. Referensvärdena flyttas i steg om 1 dB mot den uppmätta kurvan tills summan av ogynnsamma avvikelser är så stor som möjligt, dock ej större än 10 dB. Med ogynnsam avvikelse menas att mätvärdet ligger över referensvärdet. Det värde som referensvärdet har vid 500 Hz blir  $R'_{w}$ .

**Tabell 21.** Beräkning av sammanfattningsvärdet,  $R_w$ , enligt ISO 717-1.

f (Hz)	R' (dB)	$R_{ref}$ Referensmätvärde	$R_{ref} - R'$	$R_{ref} + 3 - R'$
125	37	36	-1	2
250	43	45	2	5
500	52	<b>52</b>	0	3
1000	60	55	-5	-2
2000	77	56	-11	-8
$\Sigma$			2	10
			<b><math>R'_w =</math></b>	<b>52+3=55</b>

Referensmätvärdena flyttas 3 dB uppåt och  $R_{ref} = 52$  dB vid 500 Hz. Detta gör att  $R'_w = 52+3 = 55$  dB.

Naturligtvis blir  $R'_w$  samma om varje ljudväg jämförs med referenskurvan och att dessa sedan avlogaritmiseras till transmissionsfaktorn, adderas och logaritmiseras, se tabell 22.

$$R'_{w,tot} = -10 \log(10^{57/-10} + 6 * 10^{70/-10} + 6 * 10^{68/-10}) = 55 \text{ dB}$$

**Tabell 22.** Resultat över beräkningar.

Frekvens (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000	$R'_w$
<b>Skiljevägg</b>	$R_{Dd}$ (dB)	40	45	54	62	70	79	<b>57</b>
	$R_{F1d}$	52	58	67	76	84	93	<b>70</b>
	$R_{F2d}$	52	58	67	76	84	93	<b>70</b>
	$R_{F3d}$	51	56	65	74	83	92	<b>68</b>
	$R_{F4d}$	51	56	65	74	83	92	<b>68</b>
<b>Vägg vänster</b>	$R_{D1f}$	52	58	67	76	84	93	<b>70</b>
	$R_{F1f}$	52	58	67	76	84	93	<b>70</b>
<b>Vägg höger</b>	$R_{D2f}$	52	58	67	76	84	93	<b>70</b>
	$R_{F2f}$	52	58	67	76	84	93	<b>70</b>
<b>Bjälklag golv</b>	$R_{D3f}$	51	56	65	74	83	92	<b>68</b>
	$R_{F3f}$	52	58	67	76	84	93	<b>68</b>
<b>Bjälklag tak</b>	$R_{D4f}$	51	56	65	74	83	92	<b>68</b>
	$R_{F4f}$	52	58	67	76	84	93	<b>68</b>
<b>R'</b>		<b>37</b>	<b>43</b>	<b>52</b>	<b>60</b>	<b>68</b>	<b>77</b>	<b>55</b>

**Anpassningsterm, C-korrektion**

Anpassningsterm är ett värde som läggs till vid värdering av sammanfattningsvärdet,  $R'_{w,tot}$  för att ta hänsyn till olika ljudspektra. Det finns två anpassningstermer, A-vägt skärt ljud och A-vägt stadstrafikbuller. Skillnaden är att olika ljudnivåer,  $L_{ij}$ , används.

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (\text{SS-EN ISO 717-1 (4.5)})$$

$$X_w = R'_{w,tot} = 55$$

$$X_{A_i} = -10 \log \sum 10^{(L_{ij} - X_i)/10} \quad \text{för } L_{ij} \text{ se tabell 23.}$$

**Tabell 23.**  $L_{ij}$ 

f (Hz)	Ljudnivå, $L_{ij}$ (dB)	
	Spektrum nr 1 för att beräkna C 1/1-oktav	Spektrum nr 2 för att beräkna C 1/1-oktav
125	-21	-14
250	-14	-10
500	-8	-7
1000	-5	-4
2000	-4	-6

$$X_{A1} = -10 \log \sum 10^{(-21-37)/10} + 10^{(-14-43)/10} + 10^{(-8-52)/10} + 10^{(-5-60)/10} + 10^{(-4-68)/10} = 53$$

$$C_1 = C = 53 - 55 = -2$$

$$X_{A2} = -10 \log \sum 10^{(-14-37)/10} + 10^{(-10-43)/10} + 10^{(-7-52)/10} + 10^{(-4-60)/10} + 10^{(-6-68)/10} = 48$$

$$C_2 = C_w = 48 - 55 = -7$$

$$\boxed{R'_w + C_{50-3150} = 55 - 2 = 53 \text{ dB}}$$

$$R'_w + C_w = 55 - 7 = 48 \text{ dB}$$

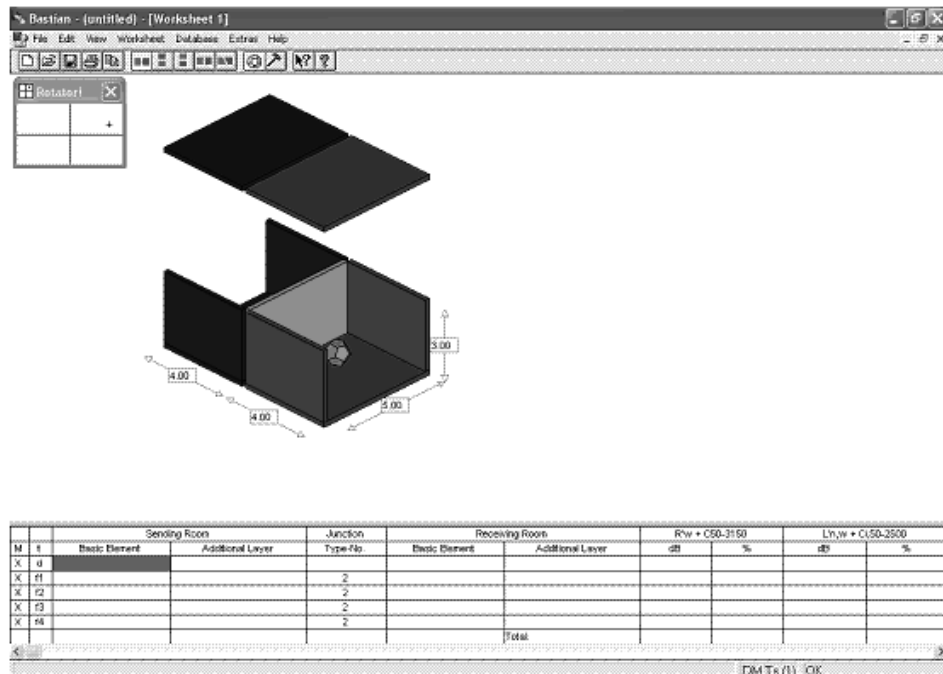
**Luftljudsisoleringen mellan rummen, det vägda reduktionstalet, med C-korrektion är**

$$\mathbf{R'_w + C_{50-3150} = 53 \text{ dB}}$$



## Bilaga 4. Enkel användningsmanual för BASTIAN®

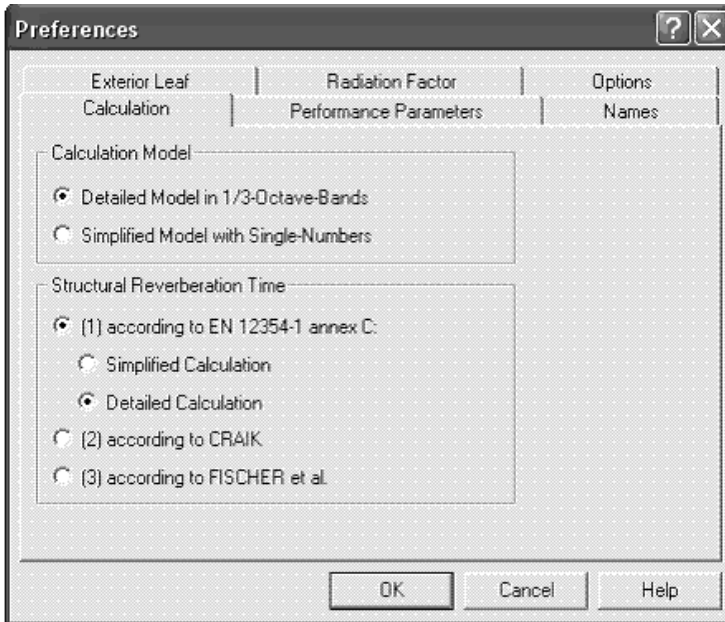
Nedan följer en kortfattad beskrivning om hur Bastian används. Programmet ser vid start ut som figur 1 visar.



Figur 1. Bastians utseende vid start.

- **Val av beräkningsmodell**

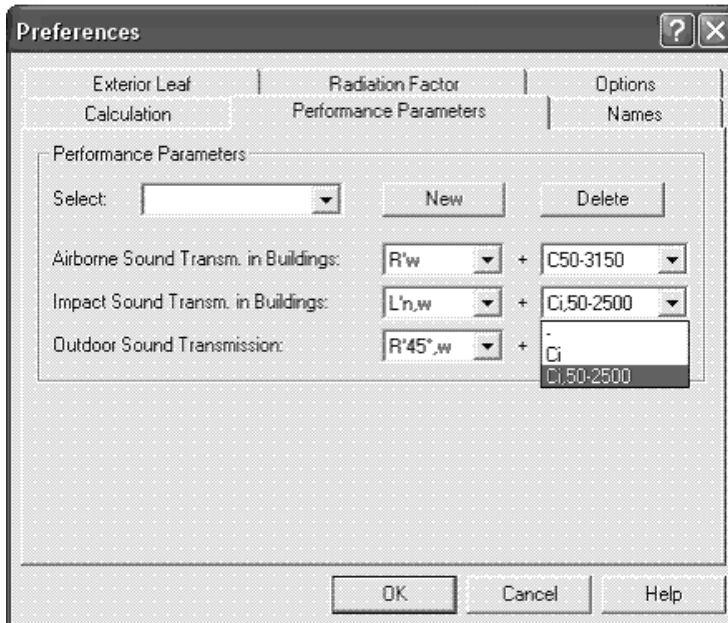
Programmet kan räkna efter olika beräkningsmodeller, se figur 2. Antingen genom en detaljerad modell eller en förenklad modell som båda baseras på standard EN 12354 eller enligt Craiks och Fischers metod där efterklangstiden räknas på annat sätt än EN 12354. Bastian är inställt på detaljerad modell från början som också är den modell som har använts i examensarbetet.



**Figur 2.** Val av beräkningsmetod. Visar grundinställningen med detaljerad modell enligt EN 12354

- **Val av sammanfattningsvärde och korrektionsfaktor**

Reduktionstalet kan väljas som vägt,  $R'_w$ , normaliserat,  $D_{n,w}$ , eller standardiserat,  $D_{nT,w}$ . Stegljudsnivån kan väljas som vägt,  $L'_{n,w}$ , och standardiserat,  $L'_{nT,w}$ . Korrektionsfaktorerna kan väljas mellan olika frekvensområden, se figur 3. Precis som vid val av beräkningsmodell måste detta väljas innan beräkningen börjar.

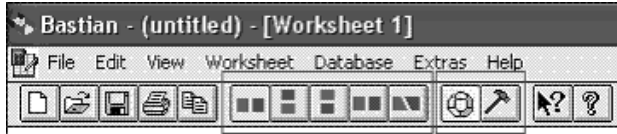


**Figur 3.** Val av korrektionsfaktor för luftljuds-, stegljuds- och fasadisolering.



Då inställningen för en korrektionsfaktor ändras måste ett nytt fönster, worksheet, öppnas för att inställningen ska gälla.

- **Val av beräkningstyp**



**Figur 4.** Symboler för de olika beräkningstyperna, för att välja vilken mätning som ska utföras.

Se figur 4.

I den inringade boxen står de olika symbolerna från vänster för

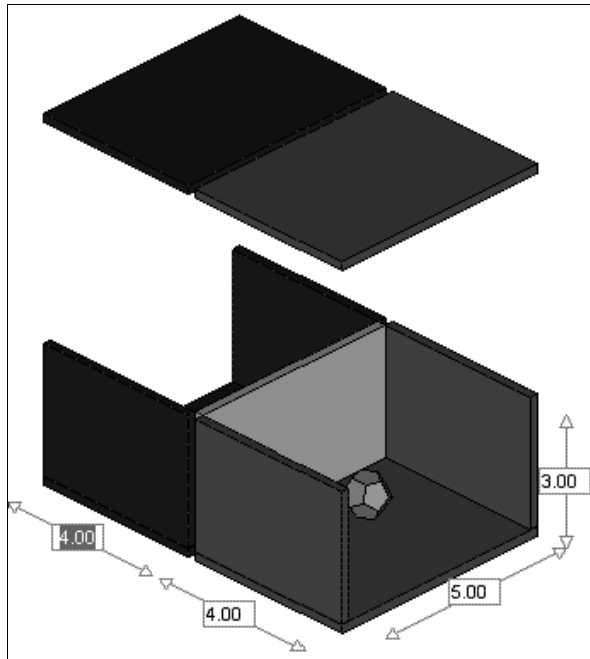
- horisontell luft-/stegljudsberäkning
- vertikal luft-/stegljudsberäkning med högtalaren på övre våningsplanet
- vertikal luft-/stegljudsberäkning med högtalaren på nedre våningsplanet
- fasadisolering
- fasadisolering med lutande fasad
  
- luftljudberäkning
- stegljudsberäkning

Det går bra att beräkna både luft- och stegljudsisoleringen samtidigt.

---

- **Rummets dimensioner**

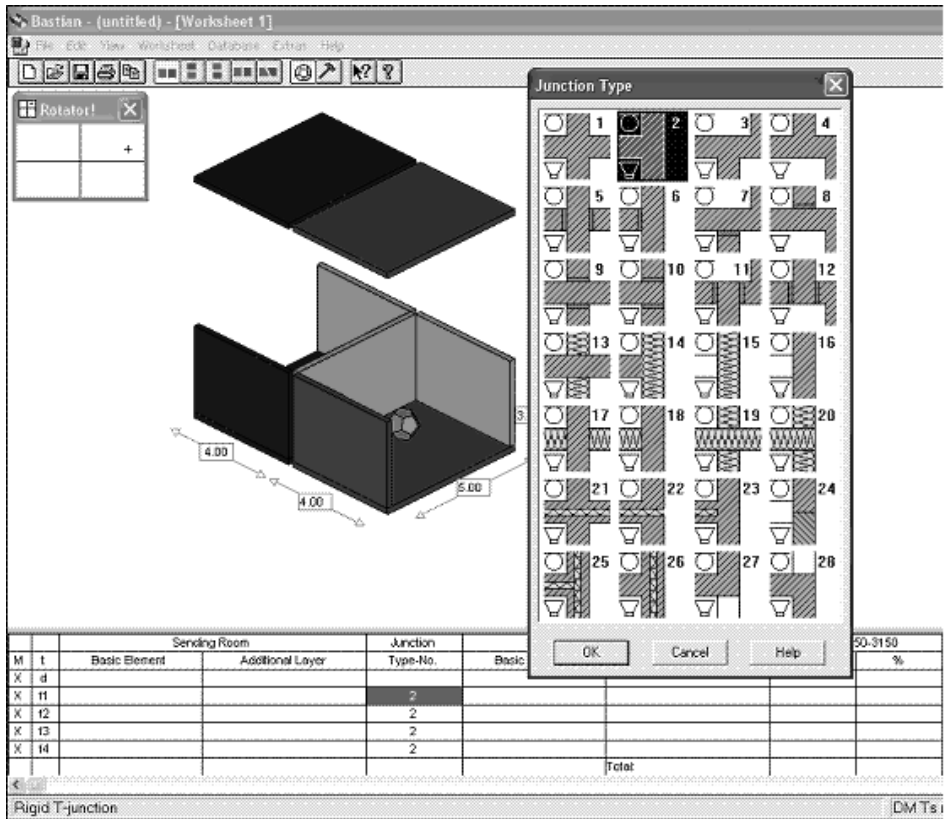
Rummet måttsätts genom att fylla i rutorna, se figur 5.



**Figur 5.** Måttsättning av objekt.

- **Val av knutpunkter**

Knutpunktstyperna mellan elementen sätts ut, se figur 6. Val finns mellan fasta knutpunkter, flexibla knutpunkter, knutpunkter med lättväggar och knutpunkter med dubbelväggskonstruktioner.



Figur 6. Val av knutpunktstyp.

- **Val av byggnadsmaterial i Construction chooser**

Genom att dubbelklicka i Basic Element rutorna för varje element fås databasen construction chooser upp där det går att välja mellan olika bjälklag och väggar, se figur 7.

The screenshot shows the 'Construction Chooser' dialog box in a software application. The dialog has a 'Country' dropdown set to 'SE', a 'Sort' dropdown set to 'abc', and a 'Sketch' button. The 'Elements' list contains 'monolithic wall'. Below this is a table of construction options:

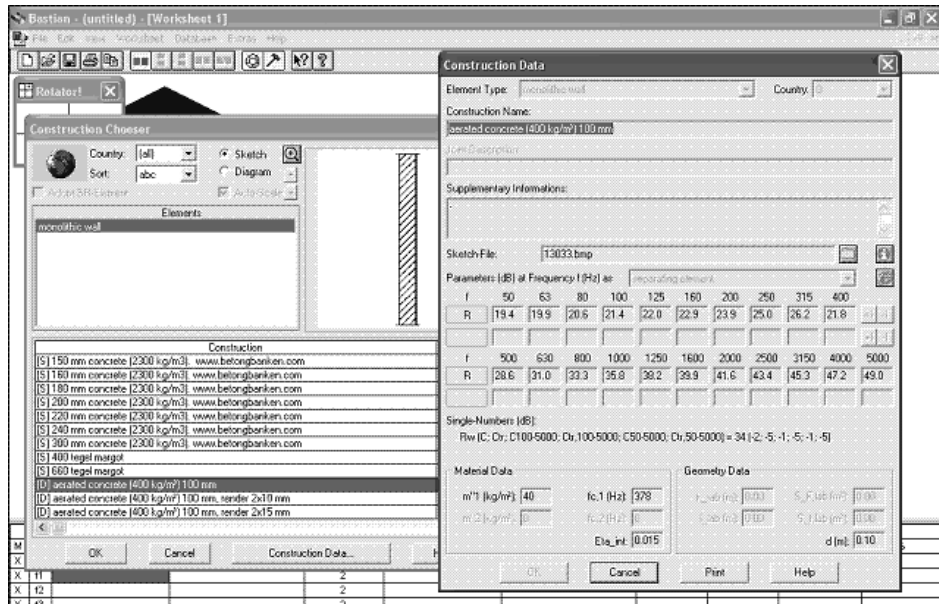
Construction	R <sub>w</sub> + C50-3150
[S] 150 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	52
[S] 160 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	53
[S] 180 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	55
[S] 200 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	57
[S] 220 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	59
[S] 240 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	60
[S] 300 mm concrete (2300 kg/m <sup>3</sup> , www.betongbanken.com)	64
[S] 400 tegel mangor	63
[S] 600 tegel mangor	71
[D] aerated concrete (400 kg/m <sup>3</sup> ) 100 mm	23
[D] aerated concrete (400 kg/m <sup>3</sup> ) 100 mm, tender 2x10 mm	25
[D] aerated concrete (400 kg/m <sup>3</sup> ) 100 mm, tender 2x15 mm	28

Below the dialog is a table showing the resulting construction data for a wall:

M	t	Basic Element	Additional Layer	Junction	Basic Element	Additional Layer	R' <sub>w</sub> + C50-3150	%	L <sub>n,w</sub> + C
X	d	100 mm concrete (2300 kg)					51.5	100	
X	i1			2					
X	i2			2					
X	i3			2					
X	i4			2					
					Total		51.5	100	

Figur 7. Construction Chooser, databasen där materialvalet sker.

Genom att välja Construction Data kan indata för reduktionstal/stegljudsnivå, ytvikt och kritisk frekvens för materialet ses, se figur 8.

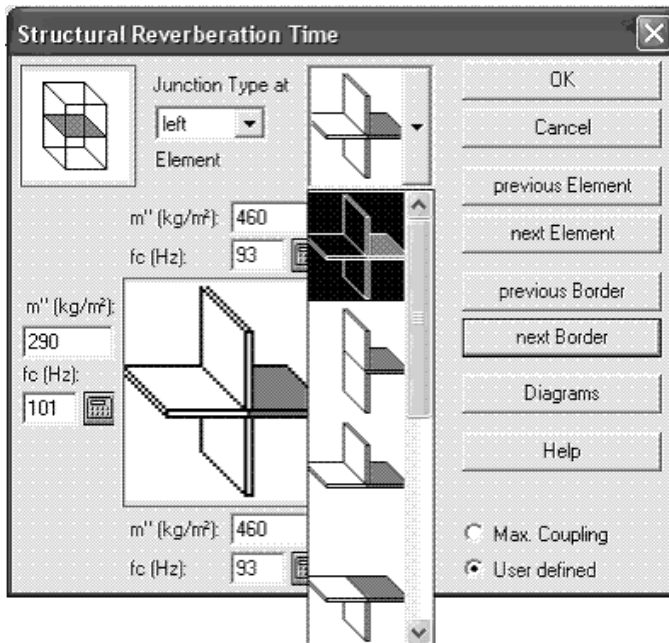


Figur 8. Construction Data med information om indata för elementet.

- **Eventuellt val av beläggingsmaterial på golv, tak och väggar**  
Går till på samma sätt som val av byggnadsmaterial genom att dubbelklicka i rutan för Additional Layer.

- **Structural reverberation time** Efterklangstid

Efterklangstiden används för att kompensera energiförlusterna längs tunga elements ränder (kanter). I dialogrutan för efterklangstiden, se figur 9, går varje element igenom för att ge information hur de är kopplade med de andra elementen. Genom att klicka på "users defined" går det att välja bland alternativen. Intelligenta element kan antingen finnas i rummet eller utanför. Endast tunga/homogena element ska visas sammankopplade.

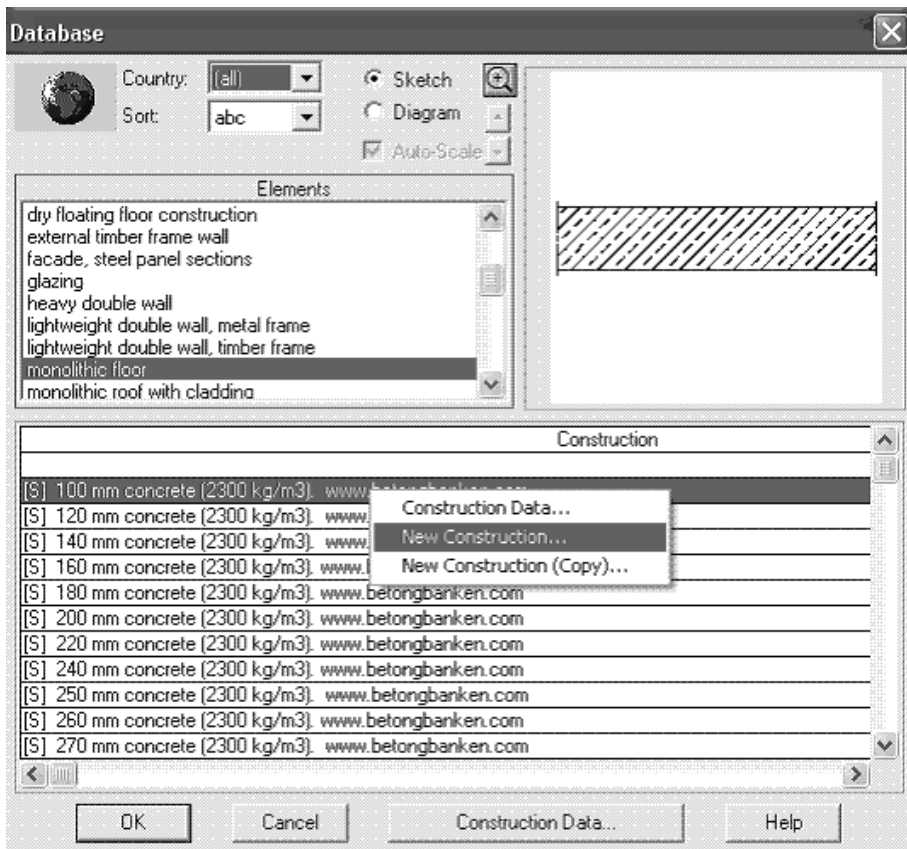


Figur 9. Val av elementens sammankoppling.

- **Nytt element i databasen**

Ena element och beläggningsmaterial kan skapas i Bastian. För att skapa ett nytt element gå in i Database i rullgardinsmenyn och klicka på Basic Elements och välj därefter avsett område. Högerklicka på något av elementen som visas i listan, se figur 10. Vid val av New Construction öppnas en ruta där reduktionstal, stegljudsnivå, ytvikt, kritisk frekvens, de interna randförlusterna och tjockleken på elementet kan fyllas i, se figur 11. Då konstruktionen är en vägg fylls inte stegljudsnivån i. Även bild över konstruktionen kan föras in.

När ett nytt beläggningsmaterial ska läggas in sker det precis som innan genom att välja Additional Layers i database och New Construction. I rutan som öppnas ska reduktionstalsförbättringen, stegljudsförbättringen och tjockleken föras in. Vid beläggningsmaterial på väggar fylls inte stegljudsförbättringen i.



**Figur 10.** Införande av ny konstruktion. Högerklicka på en konstruktion i databaslistan och välj New Construction.

**Construction Data**

Element Type:  Country:

Construction Name:

Joint Description:

Supplementary Informations:

Sketch-File:

Parameters (dB) at Frequency f (Hz) as

f	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400		
R	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+1	-1
Ln	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	+1	-1

f	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
R	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ln	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Single-Numbers (dB):

Material Data		Geometry Data					
m <sup>1</sup> (kg/m <sup>2</sup> ):	<input type="text" value="0"/>	fc,1 (Hz):	<input type="text" value="0"/>	h_lab (m):	<input type="text" value="0.00"/>	S_F,lab (m <sup>2</sup> ):	<input type="text" value="0.00"/>
m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> ):	<input type="text" value="0"/>	fc,2 (Hz):	<input type="text" value="0"/>	L_lab (m):	<input type="text" value="0.00"/>	S_f,lab (m <sup>2</sup> ):	<input type="text" value="0.00"/>
		Eta_int:	<input type="text" value="0.000"/>			d (m):	<input type="text" value="0.00"/>

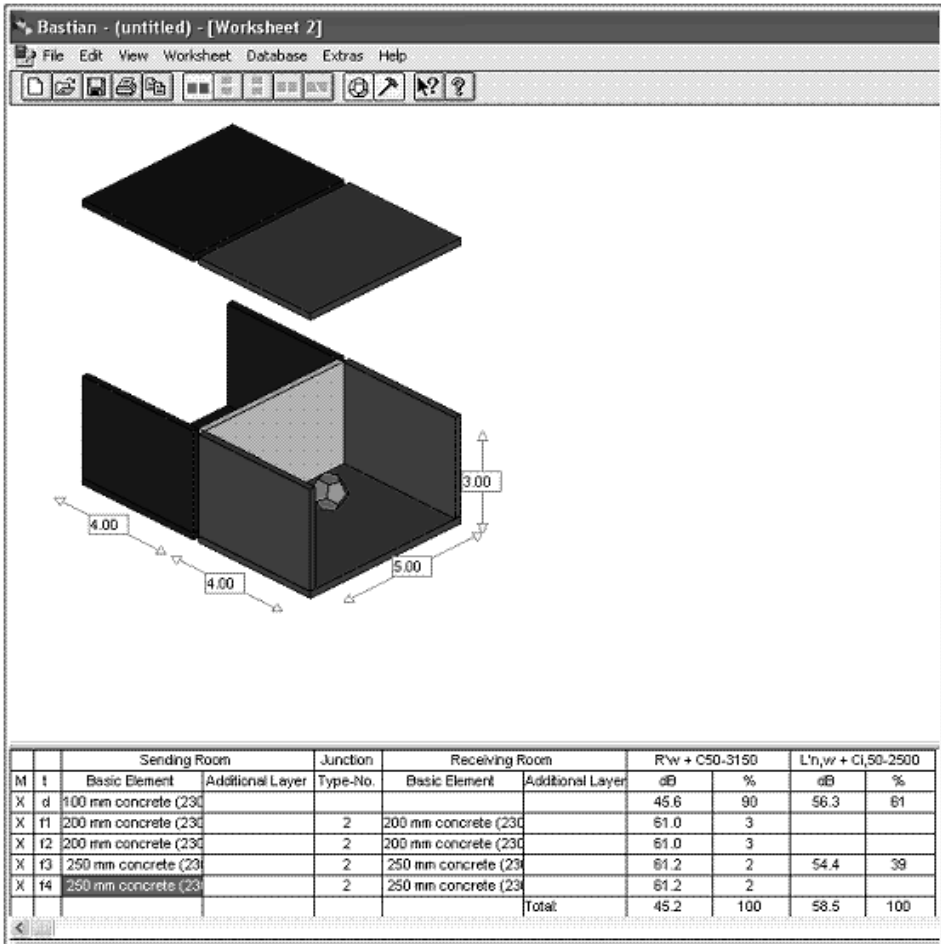
OK Cancel Print Help

Figur 11. Indata-box att föra in indata för nytt element.



- **Färdig konstruktion**

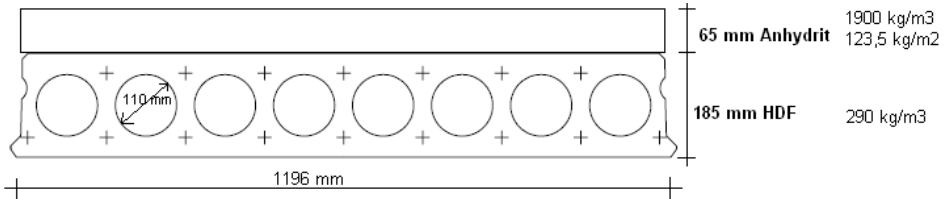
Då alla delmoment har genomförts fås reduktionstal och stegljudsnivå fram, se figur 12. Dessutom ses reduktionstalet/stegljudsnivån för varje element i den sammansatta konstruktionen och hur stor del av ljudenergin som transporteras via elementet.



Figur 11. Färdig och beräknad konstruktion.



## Bilaga 5. Bestämning av kritisk frekvens, $f_c$ , för 185 mm HDF pågjuten med 65 mm Anhydrit



Figur 1. 185 mm HDF pågjuten med 65 mm Anhydrit.<sup>1</sup>

$$n_{\text{hål}/m} = \frac{8 \text{ st.}}{1196 \text{ mm}} * 1000 \text{ mm} = 6,7 \text{ st.}$$

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m''}{B'}} \quad [9]$$

$$c = 340 \text{ m/s}$$

$$m''_{\text{HDF} + \text{Anhydrit}} = 290 + 124 = 414 \text{ kg/m}^2$$

$$B = E * I \quad [13]$$

$$E_{\text{btg}} = 20 - 35 \text{ GPa} \quad E_{\text{gips}} = 2 \text{ GPa} \quad [2]$$

Eftersom betongen är så pass mycket styvare än gipset behöver böjstyvheten,  $B$ , bara bero på  $E$ -modulen för Hdf-bjälklaget.

$E$ -modulen räknas fram genom baklängesberäkning i Bastian:

$$E = 20 \text{ GPa}$$

$$I = I_{\text{btg}} - I_{\text{hål}} \quad [13]$$

$$I_{\text{btg}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 * 0,185^3}{12} = 5,28 * 10^{-4}$$

$$I_{\text{hål}} = n_{\text{hål}} * \frac{\pi * d^4}{64} = 6,7 * \frac{\pi * 0,110^4}{64} = 0,48 * 10^{-4}$$

$$I = 5,28 * 10^{-4} - 0,48 * 10^{-4} = 4,8 * 10^{-4}$$

$$B = 20 * 10^9 * 4,8 * 10^{-4} = 9,6 * 10^6$$

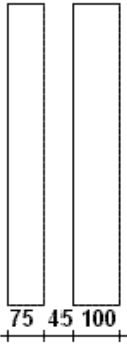
$$f_c = \frac{340^2}{2\pi} \sqrt{\frac{414}{9,6 * 10^6}} = 121 \text{ Hz}$$

<sup>1</sup> Mått på HDF från Skanska.



## Bilaga 6. Beräkning av dubbelkonstruktion av vägg i lättbetong

Dubbelkonstruktion med 75 mm lättbetong, 45 mm luftspalt och 100 mm lättbetong, se figur 1. Lättbetongens densitet är  $500 \text{ kg/m}^3$  vilket ger en ytvikt på  $38 \text{ kg/m}^2$  respektive  $50 \text{ kg/m}^2$ .



**Figur 1.** 75 mm lättbetong, 45 mm luftspalt och 100 mm lättbetong.

Reduktionstalet är:

$$R = \begin{cases} R_{(1+2)} = 20 \log(K_1 + K_2) & (f < f_0) \\ R_1 + R_2 + 20 \log\left(2n \frac{f}{f_d}\right) & (f_0 < f \leq f_d) \\ R_1 + R_2 + 20 \log(2n) & (f > f_d) \end{cases} \quad [14]$$

Där  $R_1$  och  $R_2$  är varje väggs reduktionstal. Dessa är tagna från konstruktionsdatan för elementen i Bastians databas.

$$K_1 = 10^{R_1/20}$$

$$K_2 = 10^{R_2/20}$$

$n = \frac{\rho c}{\rho_d c_d}$  är ett impedansförhållande mellan materialen i hålrummet. Eftersom hålrummet i

denna konstruktion enbart består av luft sätts  $n = 1$ .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho_d c_d^2}{d} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

$$f_d = \frac{c_d}{2\pi d}$$

$$\rho_{\text{luft}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{\text{luftspalt}} = 0,045 \text{ m}$$

$$c_d = c_{\text{luft}} = 340 \text{ m/s}$$

$$m_{\text{lbtg}} = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$f_0 = 60,1\text{Hz}$$

$$f_d = 1202,5\text{Hz}$$

Uträkning av dubbelkonstruktionens reduktionstal syns i tabell 1. Värdena förs in i Bastian tillsammans med interna randförlusten,  $\eta_{\text{int,libtg}} = 0,015$ , och den totala tjockleken,  $d = 0,22$  m.

Ytvikten och kritiska frekvensen tas ifrån den tunna skivan,  $m' = 38\text{kg/m}^2$  och  $f_c = 511\text{Hz}$ .

**Tabell 1.** Uträkning av reduktionstalen till dubbelkonstruktionen 75 mm lättbetong, 45 mm luft och 100 mm lättbetong.

f	R1	R2	R <sub>tot</sub>			R <sub>tot</sub>
			f < f <sub>0</sub>	f <sub>0</sub> < f < f <sub>d</sub>	f > f <sub>d</sub>	
50	20,3	20,8	26,5742			<b>26,6</b>
63	21,2	21,6		23,20568		<b>23,2</b>
80	22,2	22,5		27,18067		<b>27,2</b>
100	23,2	23,2		30,81887		<b>30,8</b>
125	24,2	23,8		34,35707		<b>34,4</b>
160	25,0	24,1		37,60127		<b>37,6</b>
200	25,5	24,9		40,83947		<b>40,8</b>
250	25,4	26,0		43,77767		<b>43,8</b>
315	26,6	27,1		48,08508		<b>48,1</b>
400	27,8	23,3		47,56007		<b>47,6</b>
500	21,7	30,3		50,39827		<b>50,4</b>
630	29,6	32,7		62,70568		<b>62,7</b>
800	31,9	35,1		69,48067		<b>69,5</b>
1000	34,3	37,6		76,31887		<b>76,3</b>
1250	36,8	40,0			82,8206	<b>82,8</b>
1600	39,5	41,7			87,2206	<b>87,2</b>
2000	41,2	43,5			90,7206	<b>90,7</b>
2500	43,0	45,3			94,3206	<b>94,3</b>
3150	44,8	47,2			98,0206	<b>98</b>
4000	46,7	49,1			101,8206	<b>101,8</b>
5000	48,6	51,0			105,6206	<b>105,6</b>