

Utveckling av ljuddörr

- ökad kunskap, en förutsättning för lönsam och effektiv produktutveckling

Liisa Palomaa

Luleå tekniska universitet
Civilingenjörsprogrammet
Träteknik
Institutionen för LTU Skellefteå

Förord

Den här rapporten är resultatet av ett examensarbete utfört på uppdrag av Dooria Vännäs i syfte att utveckla ljuddörrar samt att öka företagets kunskap inom produktutveckling och ljudisolering. Examensarbetet avslutar min civilingenjörsutbildning vid Luleå tekniska universitet, institutionen i Skellefteå.

Ett stort tack till alla som har stöttat och hjälpt mig under arbetets gång. Jag vill tacka alla anställda på Dooria Vännäs för att de delat med sig av sin kunskap. Jag vill speciellt tacka mina handledare Olle Johansson och Mats-Olov Bäckström, Dooria Vännäs och Jan Nyström Luleå tekniska universitet. Till sist tack till min familj, vänner, alla klasskompisar och lärare som varit ett stöd under min utbildning.

Umeå 15/9 2007

Liisa Palomaa

Sammanfattning

Dooria är en av de ledande dörrtillverkarna i Norden. I fabriken i Vännäs tillverkas ett stort sortiment av innerdörrar för alla behov. Allt från dörrar med hårda säkerhetskrav gällande brand, ljud och inbrott till designdörrar för alla miljöer. Att ständigt förnya företagets utbud och skapa nya och bättre produkter är en överlevnadsfråga samtidigt som det är krävande och riskfyllt.

Examensarbetet var inriktat på att ta fram nya kostnads- och produktionseffektiva konstruktioner för ljuddörrar. En viktig aspekt med projektet var att tillhandahålla kunskap om ljud, ljudisolering och produktutveckling som Dooria Vännäs kan ha nytta av i framtida produktutvecklingsprojekt.

Under hela examensarbetets gång har information införskaffats från litteraturstudier, Internet och sakkunniga inom ljud. En grundlig analys över tidigare ljudprovningar, beräkningar för olika materials ljudreduktion samt framtagning av ljudintensitetskartor låg till grund för kunskapsinsamlandet.

Ljudintensitetskartorna som togs fram visade att problemen finns framförallt i dörrbladens nedre kant och i viss mån längs kanterna. Orsaken till det är med största sannolikhet tätningen mellan tröskel/karmar och dörrblad. Ljudintensitetskartorna, information från sakkunniga och överslagsberäkningar tyder på att det är en fördel om andelen ramträ minskas.

Efter en omfattande idégenerering togs flera konceptförslag fram. Dessa presenterades för alla inom projektgruppen på Dooria Vännäs för att få råd och tips för vilka konstruktioner som man skulle välja. Efter beslutet om vilka koncept som var de bästa påbörjades vidareutveckling av förslagen och detaljkonstruktionerna. Dörrbladen tillverkades på Dooria Vännäs och testades till sist på Statens Provningsanstalt i Borås.

Resultatet från ljudprovningarna visade precis som befarat att ramträet är en svag del i dörrbladet. Genom att minska andelen ramträ kunde reduktionstalet förbättras. Ingen av konstruktionerna klarade av ljudkravet, men provningarna visade ändå att det går att få fram en billigare och enklare konstruktion än vad Dooria Vännäs har i dagsläget. Tre av dörrbladen var mycket nära att klara av ljudkravet och rekommendationen blir därför att fortsätta att utveckla konstruktionerna. En extra list på gångjärnssidan lyfte bara medelvärde med 0,4dB, så ett lämpligt första steg är att hitta bättre tätningslistor.

Vad som blev uppenbart under projektets gång var att Dooria Vännäs måste arbeta mer systematiskt och målmedvetet när de bedriver produktutveckling. För att underlätta framtida projekt togs en modell fram för hur utvecklingsarbetet gällande ljuddörrar bör se ut med hänsyn till att produktutvecklingen ska bli mer effektiv och lönsam.

Dooria koncernen består av fem produktionsenheter, för att bli mer lönsamt bör samarbetet mellan de olika fabrikerna förbättras avsevärt. Utvecklingsarbetet måste bedrivas gemensamt för att dra ner på kostnaderna samt dra nytta av att Dooria är ett stort företag. En gemensam databas skulle möjliggöra att kunskaper och erfarenheter kunde utnyttjas av alla fem fabriker.

Abstract

Dooria is one of Scandinavia's leading manufacturers of interior and exterior doors. At the plant in Vännäs, Dooria manufactures a wide range of interior doors for all requirements. They can provide everything from doors with high security demands according to fire, noise and burglary to design doors for all environments. To constantly improve and renew the range of products is very important for the company in order to survive.

The aim of this final thesis was to develop more cost and production oriented constructions for acoustical doors. An important aspect with this project was to supply knowledge regarding sound, sound insulation and product development that Dooria Vännäs can benefit from in future product development projects.

During the whole project, information has been collected from literature studies, internet and experts in acoustics. A thorough-going analysis of earlier made noise tests, estimations for different materials noise reduction and a creation of noise intensity maps was the ground for the knowledge collection.

The sound intensity maps that were developed showed that the main problems were located in the lower parts of the door and to a certain extent the door sides. Information from experts in sound insulation, rough estimations and the sound intensity maps indicated that it should be an advantage if the share of the frame wood was decreased.

After an extensive brainstorming many proposals were produced. These were presented to the project group in order to get advices and help to choose which constructions that should be developed further. The chosen constructions were produced at Dooria Vännäs and were finally tested at Statens Provningsanstalt in Borås.

The result from the noise tests showed as expected, that the doorframe was a weak part in the doors. None of the constructions passed the sound test, but they showed that it should be possible to manufacture a cheaper and simpler construction than Dooria Vännäs is producing at the moment.

During the project it became obvious that Dooria Vännäs must work more systematic and more purposefully in their product development. To facilitate future projects, a model was developed to show how the future product development should be carried on to become more efficient and profitable.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	6
1.1 BAKGRUND	6
1.2 SYFTE	6
1.3 AVGRÄNSNINGAR	6
1.4 METOD	6
1.4.1 Datainsamlingsmetoder	6
1.5 FORSKNINGSMETOD	7
1.6 INNOVATIV PROBLEMLÖSNING	8
2. DOORIA VÄNNÄS AB	10
3. TEORI	11
3.1 ALLMÄNT OM LJUD	11
3.1.1 Ljudutbredning	11
3.1.2 Frekvens	11
3.1.3 Decibelbegreppet	14
3.1.4 Ljudintensitet	14
3.2 LUFTLJUDSISOLERING	14
3.2.1 Reduktionstal	14
3.2.2 Vägt reduktionstal	15
3.2.3 Ljudklassning	16
3.2.4 Ljudisoleringens principer	17
3.2.5 Överslagsberäkningar för ljudisolering	24
3.2.6 Dörrars ljudisolering	25
4. UTVÄRDERING LJUDPROVNINGAR	28
4.1 LJUDPROVNING	28
4.2 DÖRRKONSTRUKTIONER	28
4.2.1 VD9/VD95	28
4.2.2 VD:53/VD13	29
4.3 ANALYSENS UTFORMNING	29
4.3.1 Vikt	29
4.3.2 Ytskikt	30
4.3.3 Material i stommen	30
4.3.4 Absorbenter/vibrationsdämpare	34
4.3.5 Tjocklek på dörren	34
4.2.5 Variation	34
4.3 SLUTSATSER	35
5. LJUDINTENSITETS MÄTNINGAR	36
5.1 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT	36
5.2 RESULTAT	38
6. MATERIAL	43
6.1 RAM	43
6.2 LJUDBARRIÄR/STOMME	43
6.3 VIBRATIONSDÄMPNING	47
6.4 ABSORBENTER	48
6.5 MATERIALVAL	49
6.6 LJUDISOLERANDE DÖRRAR PÅ MARKNADEN	51
6.6.1 R_w 35 dB	51
6.6.2 R_w 40 dB	51
7. NY KONSTRUKTION	53
7.1 KONCEPTGENERERING	53
7.2 KONCEPTVAL	53

7.2.1 Utvalda dörrkonstruktioner	55
7.3 KOSTNADSJÄMFÖRELSE	55
8. RESULTAT FRÅN LJUDPROVNINGARNA.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
9. DISKUSSION OCH REKOMMENDATIONER.....	58
10. REFERENSER.....	59
 BILAGOR	 62

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Dooria koncernen är en av Nordens ledande dörrtillverkare. I Vännäs tillverkas ett stort sortiment av innerdörrar för alla behov. Allt från dörrar med hårda säkerhetskrav gällande brand, ljud och inbrott till designdörrar för alla miljöer. För att företaget även i framtiden ska kunna vara med och konkurrera med de bästa, så bedrivs ett kontinuerligt utvecklingsarbete för att ur olika aspekter förbättra de dörrar som redan tillverkas. De är i stort behov av att utveckla de ljudisolerade dörrarna för att kunna behålla certifikaten.

1.2 Syfte

Syftet är att ta fram nya kostnads- och produktionseffektiva konstruktioner för dörrar med ljudkrav $R'w35dB$ och $R'w40dB$. Dörrarnas tjocklek är 40 mm för $R'w35dB$ och 60 mm för $R'w40dB$. En annan viktig aspekt med examensarbetet är att utifrån hittills uppmätta data, litteratur, nya prover och analyser uppnå en fördjupad kunskapsnivå över ljudets beteende i dörrar.

1.3 Avgränsningar

Tänkbara material och konstruktioner utvärderas endast utifrån följande aspekter:

- Ljudisolering
- Produktion
- Limning
- Brand
- Ekonomi

Endast själva dörrbladet utreds, varför en utredning av hur valet av karm, tröskel och infästning påverkar ljudisoleringen ej ingår i detta examensarbete.

1.4 Metod

Denna del inleds med en beskrivning av vilka insamlingsmetoder för data som använts under examensarbetets utförande. Därefter redovisas vilken tillämpad forskningsmetod samt en beskrivning av innovativ problemlösning.

1.4.1 Datainsamlingsmetoder

Det finns två slags data, primärdata och sekundärdata. Primärdata är information som undersökaren själv inhämtar via t.ex. intervjuer, enkäter, och experiment. Sekundärdata är fakta som redan finns publicerat inom ämnet, t.ex. litteratur, rapporter statistik etc. Informationen i detta examensarbete består av både primär- och sekundärdata.

Litteraturstudie

För att kunna hitta lämplig konstruktion för ljudisolerande dörrar så krävs en stor förståelse för ljud och ljudisolering. Under hela examensarbetets gång har litteraturstudier gjorts för att öka kunskapen inom det specifika området.

Information från Internet

En stor del av informationen i detta examensarbete är inhämtat från Internet.

Information via kontaktpersoner

Som komplement till den information som hämtats ur litteratur och från Internet har kontakt med övriga projektdeltagare hållits under hela processen. En dialog har även förts med sakkunniga på avdelningen för ljud vid Luleå tekniska universitet, samt med personal från ljudprovningssavdelningen vid SP i Borås.

Observationer

Vid examensarbetets start utfördes ett studiebesök hos SP i Borås med syfte att dels inskaffa en större förståelse om ljud, dels för att se hur ljudprovningar går till.

Tidigare ljudprovningar

En sammanställning över tidigare ljudprovningar utfördes. Innan ny data insamlas bör man studera vilka data som redan finns och se om den kan nyttjas som källa för att identifiera styrkor och svagheter. Sörqvist (2004) skriver att förbättringsarbeten inte enbart kan grunda sig på åsikter och önskningar om aktuella processer, produkter och problem. För att förstå problemet, identifiera orsaker och slutligen fastställa lämpliga åtgärder krävs fakta.

Ljudintensitetsmätningar

Utan kunskap om var dörrrens svagaste länk finns är det svårt att förbättra konstruktionen. För att lösa detta problem togs ljudkartor för tre olika konstruktioner fram.

Konceptgenerering

Tankekartor är ett effektivt sätt att samla, bearbeta och strukturera idéer. Därför används denna metod i examensarbetets kreativa del.

Konceptval

Konstruktionsförslagen utvärderas utifrån flera kriterier.

Tillverkning av dörrar

Provelement tillverkades på fabriken i Vännäs.

Provning hos SP

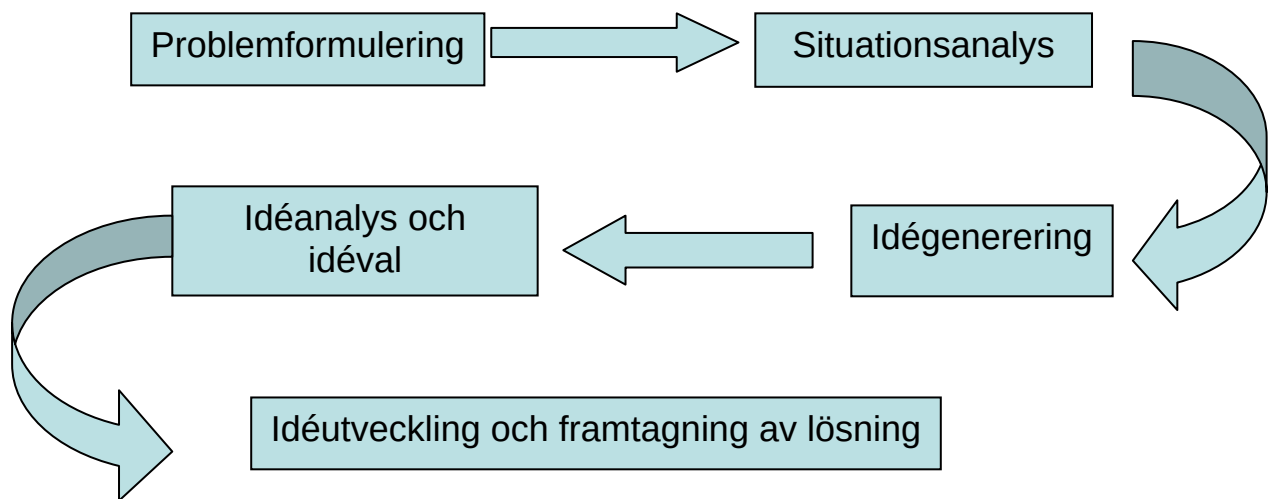
Slutligen testades de valda konstruktionerna hos SP i Borås.

1.5 Forskningsmetod

Det finns två olika forskningsmetoder, kvantitativ och kvalitativ. Kvantitativ forskning betyder att man strävar efter att beskriva data i siffror och avsikten är att genom en statistisk analys få förståelse och kunskap. Nackdelarna med detta är att det krävs stort underlag samt att det sällan ger någon djupare kunskap och förståelse av problemet. Kvalitativ forskning inriktar sig på ord som analysenhet och har ofta ett större djup, vilket bidrar till en djupare förståelse av problemet. Situation och problem bestämmer förutsättningarna för vilken typ av data som samlas in. (Denscombe 2000) Större delen av examensarbetet bygger på kvalitativ forskning, eftersom det saknades tillräckligt med underlag för att kunna dra statistiskt korrekta kvantitativa slutsatser. Kvalitativa analyser kan utföras på många olika sätt. Sörqvist (2004) beskriver en metod som han kallar jämförande analys och som visade sig passa bra i detta projekt. Vid jämförelser av olika processer, arbetsmoment och aktiviteter som har likvärdiga syften, finner man ofta att det bedrivs på olika sätt och med olika resultat. Detsamma gäller för produkter. Små skillnader i konstruktion eller i materialval kan ge helt olika egenskaper. Dessa skillnader kan utgöra en grund för att finna orsaker och lösningar.

1.6 Innovativ problemlösning

Enligt Sörqvist (2004) är det ofta en begränsning att enbart basera problemlösningen på analytiska och faktabaserade data. Den information som inhämtas grundas främst på befintliga erfarenheter och händelser. Analysen har problemet i centrum, varför andra alternativ och tankesätt lätt kan förbises. För att genomföra examensarbetet användes innovativ problemlösning som baseras på kreativitet och nytänkande som ett komplement till det analytiska angreppssättet. Risken för att låsa sig vid historiska skeenden och uppfattningar reduceras i och med att man tillåter sig att frigöra sig från referensramar och blicka utåt mot andra möjligheter. Kreativ problemlösning följer sällan ett strukturerat arbetssätt. Det finns trots det flera viktiga steg som bör följas för att öka chansen att en bra lösning identifieras. Figur 1 nedan visar en schematisk modell över hur den innovativa problemlösningsprocessen gick till.



Figur 1. Modell för innovativ problemlösning

1. *Problemformulering.* Första steget är att studera och definiera problemet. En skriftlig problemformulering tas fram, mål definieras och avgränsningar bestäms. Avsikten med detta steg är främst att uppnå samsyn samt att lägga en grund för fortsatt arbete. I det här examensarbetet är det utformandet av projektplanen som står för det här viktiga första steget.
2. *Situationsanalys.* Genomförs för att kunna beskriva nuläget vilket kan ligga till grund för vidareutveckling. Man vill förstå vilka förändringar som bidragit till en förbättring och vilka som lett till en försämring. Det är viktigt att förstå vad som behöver ske och varför. Analysen av tidigare ljudprovningar var en stor del av denna projekts situationsanalys.
3. *Idégenerering.* Det bästa är att ta fram ett stort antal olika förslag som angriper situationen från olika utgångspunkter. I den här fasen är nytänkande och kreativitet ledorden. Brainstorming och tankekartor är två vanliga och användbara tekniker att skapa nya uppslag till lösningar. Brainstorming genomförs vanligen av en grupp individer som samlas för att arbeta kring ett problem eller en uppgift. En grundtanke är att tanken ska få löpa fritt utan att bli avbruten. Metoden används inom många områden, bland annat produktutveckling och reklam. Konceptet för brainstorming är:

- Idéer får inte kritiseras innan de är färdiga.
- Spontanitet uppmuntras. Utgångspunkten är att alla förslag är bra förslag.
- Kvantiteten är viktig

Tankekartor är ett effektivt sätt att samla, strukturera samt utveckla tankar och idéer. Det börjar med att ett eller flera kärnord skrivs ned utifrån vilket man sedan kan skriva ned associationer i olika grupper som knyter an till kärnordet. I detta examensarbete användes tankekarta för att utveckla konceptförslagen.

4. *Idéanalys och idéval*. Förslagen som skapats skall sedan analyseras, studeras och testas. Avsikten är att välja ut de bästa och lämpligaste idéerna att basera lösningen på. Ibland kan det vara nödvändigt att utföra tester och experiment för att fastställa vad som fungerar. Mätningar och djupare analyser kan vara betydelsefulla för att på ett korrekt sätt värdera olika alternativ. Riskanalyser och kalkyler av exempelvis ekonomiska effekter kan utgöra ett viktigt moment då idéer ska väljas.
5. *Idéutveckling och framtagning av lösning*. Slutligen ska de utvalda idéerna vidareutvecklas och sammanställas till en fungerande lösning. Det sker ofta genom någon typ av pilotstudie eller prototypframtagning som testas under realistiska förhållanden. (Sörqvist 2004)

2. Doorla Vännäs AB

Doorla är en av de ledande dörrtillverkarna i Norden. Koncernen har idag fem produktionsanläggningar i drift och byggnationen av en sjätte anläggning i Årdal, Norge pågår. Varje produktionsenhet är specialiserad på en typ av dörrar. Egna säljbolag finns i Sverige, Norge och Storbritannien. Koncernen har under de senaste åren haft en stark tillväxt, fått ett ökat förtroende på markanden och ser en fortsatt expansion framför sig. Doorla Vännäs AB har 94 anställda och ligger i Vännäs, ca 30 km från Umeå. Där tillverkas ett stort sortiment av innerdörrar för alla behov. Allt från dörrar med hårda säkerhetskrav gällande brand, ljud och inbrott till designdörrar för alla miljöer. All produktion sker mot kundorder. Kontinuerligt utvecklingsarbete av tekniska lösningar och nya material krävs för att Doorla Vännäs ska kunna leverera konkurrenskraftiga dörrar för miljöer med speciella krav på prestanda och design.

3. Teori

I detta kapitel redovisas de teoretiska grundbegrepp som krävs för att erhålla en allmän förståelse för ljud och ljudisolering. Här redovisas även för de matematiska ekvationer som krävs för att kunna utföra överslagsberäkningar när det gäller ljudisolering.

3.1 Allmänt om ljud

3.1.1 Ljudutbredning

Med ljud avses täthets- och tryckvariationer som breder ut sig i ett elastiskt medium, vanligen luft. En bra illustration till detta fenomen är bilden av en sten som träffar en vattenyta och bildar cirkulära vågor som breder ut sig från centrum. Båda svängningsrörelserna uppstår genom en störning i mediets jämvikt. Den plana vattenytan och den stillastående luften. I bägge fallen är det energi som transporteras ut från källan, mediets partiklar rör sig inte med vågorna utan vibrerar endast i sitt medelläge. Sträckan som vågen rör sig under en vågrörelse kallas våglängden (λ) och beror på utbredningshastigheten (c) och frekvensen (f), enligt ekvation 3.1. (Åkerlöf 2001)

$$c = \lambda * f \quad (3.1)$$

c är ljudhastigheten (i luft ca 340 m/s vid rumstemperatur)

λ är våglängden i meter

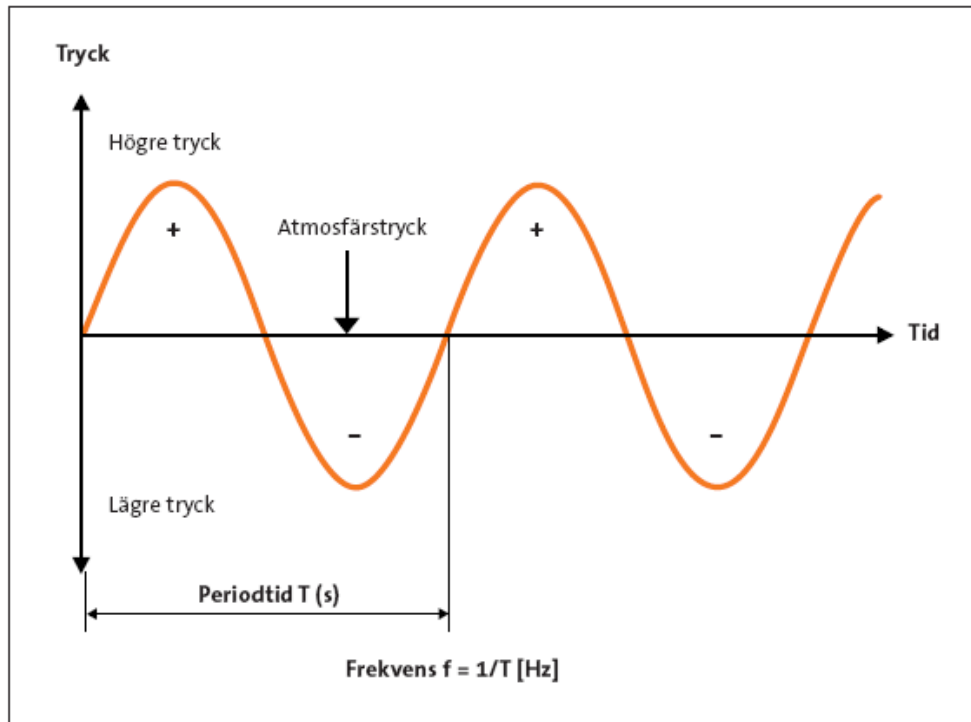
f är frekvensen i Hz, antalet svängningar per sekund

3.1.2 Frekvens

Tidsperioden T , är tidsintervallet mellan varje tryckmaximum. Oftast använder man sig av frekvensen f , enligt ekvation 3.2

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

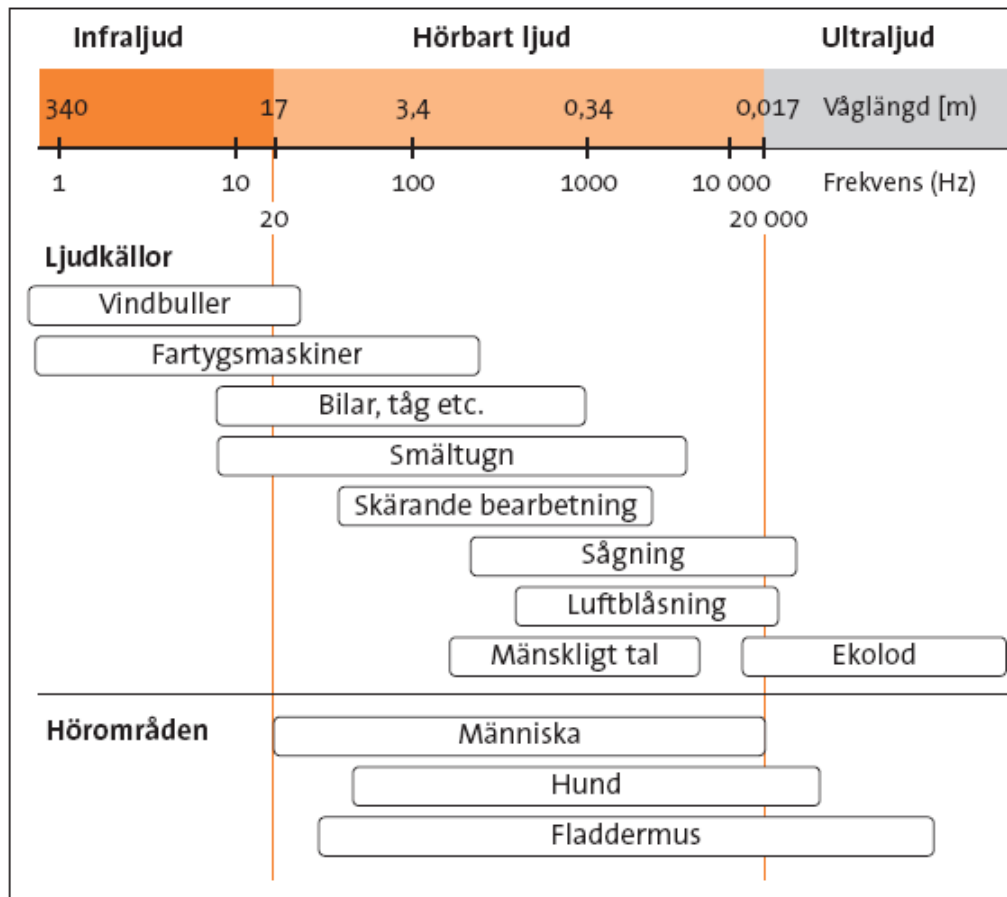
Figur två redogör för hur tryckvariationerna och tidsperioden ser ut för en ren ton.



Figur 2. Tidsperiod för ren ton. (Johansson 2002)

Frekvensen är ett viktigt begrepp vid framtagning av en ny ljudisolerande dörr eftersom egenskaperna hos materialet varierar vid olika frekvenser. Ljudet beter sig olika beroende om de är höga eller låga toner, dvs. beroende på vilken frekvens tonen har. Låga toner (låga frekvenser) beter sig nästan som en gas, de går runt hindren i dess väg vilket innebär att de är svårare att stoppa. Våglängden på lågfrekvent ljud varierar mellan 1,7 m (200Hz) och 17 m (20Hz). Höga toner däremot beter sig som ljus, om de träffar ett hinder t.ex. en pelare så bildas en ljudskugga. När höga toner träffar en hård yta t.ex. en dörr i stål, fungerar dörren som en spegel som reflekterar ljudvågen. Höga frekvenser kan riktas med hjälp av akustiskt reflekterande ytor och absorberas. Det enda sättet att påverka låga frekvenser är att absorbera dem. Ljud består sällan av rena toner utan är oftast sammansatt av långa och korta vågor.

Ljud kan uppdelas i hörbart-, infra- och ultraljud. Vi människor är kapabla att höra ljud i frekvensområdet 20 Hz till 20 kHz. Med infraljud avses ljud med frekvenser under 20 Hz och ljud med högre frekvens än 20 kHz räknas som ultraljud. Figur tre visar några olika källors frekvensområden. I figuren ser man också att en lång våglängd motsvarar en låg frekvens, medan en kort våglängd har en hög frekvens.



Figur 3. Olika ljudkällors frekvensområden. (Johansson 2002)

Frekvenserna för hörbart ljud har stor spännvidd, för att göra det mer praktiskt delas de in i intervall. De anges efter en logaritmisk skala som är indelad i oktavband eller oktaver. En oktav är ett frekvensintervall med förhållandet 2:1 mellan en övre och en nedre frekvensgräns. Oktavbanden är fastställda i internationell standard av ISO och benämns efter sina geometriska mitterfrekvenser, se figur 4. Centrumvärdet för varje oktavband beräknas enligt ekvation 3.3. (Johansson 2003)

$$f_{\text{mitt}} = \sqrt{f_{\text{undre}}} * \sqrt{f_{\text{övre}}} \quad (3.3)$$

f_{undre} = undre frekvensgräns för oktavbandet

$f_{\text{övre}}$ = övre frekvensgräns för oktavband

Gränsfrekvens för oktavband Hz										
22	44	88	176	352	704	1,4k	2,8k	5,6k	11,3k	22,6k
31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k	
Geometriska mitterfrekvenser för oktavband Hz										

Figur 4. Oktaver, deras undre och övre gräns samt centrumvärden.

3.1.3 Decibelbegreppet

Örats aktiva arbetsområde är mycket stort. Ljudtrycket vid en frekvens kan variera från den lägsta hörselgränsen på omkring 20 µPa till det högsta ett oskyddat öra kan tåla, ca 20 Pa. Intervallet motsvarar alltså ett spann av storleksordningen en miljon enheter. För att ljudtrycksnivå ska bli mer hanterbart används en logaritmisk skala. Inom akustiken används enheten decibel (dB) som nivåbegrepp. (Johansson 2003). Enheten decibel definieras enligt ekvation 3.4.

$$L_X = 10 \cdot \log \left(\frac{X}{X_0} \right) \quad (3.4)$$

X = den uppmätta storheten för ljudnivå (effekt, intensitet eller tryck)

X_0 = referensnivå uttryckt i samma enhet som X

Enligt ekvationen kan decibelnivån alltså beräknas för såväl ljudeffekts-, ljudintensitets- samt för ljudtrycksnivå. Ljudtrycksnivå är ett fysikaliskt och dimensionslöst mått på ljudets styrka, och definieras enligt ekvation 3.5.

$$L_p = 10 \cdot \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (3.5)$$

L_p = ljudtrycksnivån i dB

p = ljudtryckets effektivvärde i Pa

p_0 = referensljudtrycket 20 µPa ($2 \cdot 10^{-6}$)

Nu har ljudtrycksnivåskalan som tidigare omfattade 10^6 enheter reducerats till ca 120 enheter. Vid den undre hörbarhetsgränsen 20 µPa blir ljudtrycksnivån 0 dB och vid den mänskliga smärtgränsen 20 Pa får man 120 dB. (Andersson 1998)

3.1.4 Ljudintensitet

Ljudintensitet (I) är ett mått på flöde av ljudenergi, man tänker sig att en ljudvåg med en viss effekt (energi per tidsenhet) passerar genom en yta. Med denna storhet avses hur stor effekt, P , som passerar en viss area, A , vinkelrätt mot ljudvågens utbredningsriktning, dividerat med denna area. Då ytan kan ha olika orientering så är ljudintensiteten i allmänhet en vektorstorhet. Absolutbeloppet av ljudintensitetsvektorn kan användas som ett mått på ljudstyrkan. På så sätt kan ljudintensitet användas för att definiera ljudnivån i dB. (Elektronisk referens [1])

$$I = P/A \quad (3.6)$$

3.2 Luftljudsisolering

3.2.1 Reduktionstal

Luftljudsisolering hos en dörr är ett mått på hur mycket ljud dörren hindrar att fortplantas från ett utrymme till ett annat. Mätetalet för luftljudsisolering benämns reduktionstal (R) och mäts i dB. Ju högre R är desto bättre ljudisolering. Vid bestämmandet av en skiljekonstruktions reduktionstal måste alla andra ljudvägar vara eliminerade. Därför finns speciella laboratorier

som är konstruerade så att flanktransmissionsbidraget kan försummas. Med flanktransmission avses transmission via andra transmissionsvägar än direkt genom provobjektet. Reduktionstalet R är måttet på en byggnadsdels, (i det här fallet dörrens) isolering mot luftljud som mätts i laboratorium. Reduktionstalet R vid mätning i laboratorium bestäms enligt formel 3.7.

$$R = L_S - L_M + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) \quad (3.7)$$

L_S = medeltrycksnivån i sändarrummet (dB)

L_M = medeltrycksnivån i mottagarrummet (dB)

S = provöppningens fria area (m^2)

A = absorptionen i mottagarrummet (m^2 Sabine)

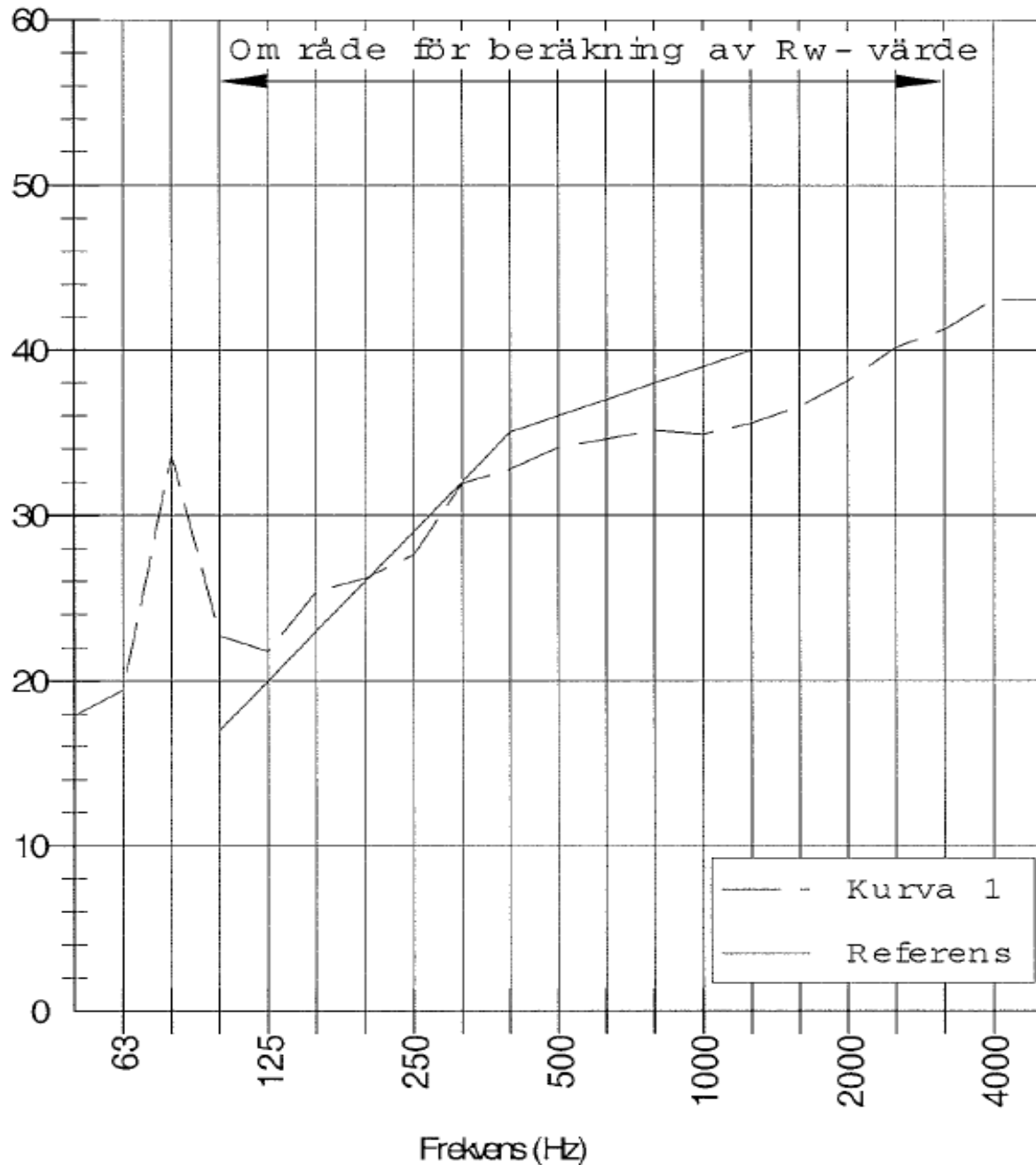
Om reduktionstalet exempelvis är 10 dB innebär det att endast en tiondel av det infallande ljudet kommer igenom dörren, är det 20 dB är det endast en hundraedel som kan passera osv. (Bodlund, 1979)

3.2.2 Vägt reduktionstal

För att med endast ett tal kunna beskriva luftljudsisoleringen mellan två utrymmen jämförs det uppmätta reduktionstalet med en referenskurva. På det sättet kan den vägda luftljudsisoleringen R_w beräknas. Vid beräkningen flyttas referenskurvan uppåt i steg om 1 dB mot den uppmätta kurvan för reduktionstal R tills följande villkor uppfyllts:

- Summan av avvikelserna på undersidan av referenskurvan vid de 16 mätfrekvenserna 100-3150 Hz får inte överstiga 32 dB.

Nu läses R_w -värdet av som referenskurvas värde vid 500 Hz. I figur 5 nedan skulle dörren som testats alltså få R_w -värdet 36 dB.



Figur 5. Beräkning av R_w . (SP Borås).

Anpassningstermerna ($C; C_{tr}$) och ($C_{50-5000}$; $C_{tr50-5000}$) kan läggas till R_w för att erhålla anpassningar till olika bullerspektra. När det gäller ljudkravet på dörrar görs idag ingen anpassning av spektrat. (Åkerlöf 2001)

3.2.3 Ljudklassning

I de flesta fall är dörrrens ljudisolering bättre än vad som anges i ljudklassen. En dörr som t ex är placerad i ljudklass 35 dB, har laboratoriemäts till minst 38 dB. Det är gjort för att säkerställa att de förväntade resultaten ska kunna uppnås även i praktiken. Ljudklassningen av dörrar förändrades 1998 från tabell 1 till tabell 2.

Ljudklass	Krav i laboratorium Minsta medelreduktionstal
25 dB	28 dB(ca $R_w = 29$ dB)
30 dB	34 dB (ca $R_w = 37$ dB)
35 dB	39 dB (ca $R_w = 43$ dB)

Tabell 1. Svensk ljudklassning av dörrar enligt SS 817306, före 1998 (Jonasson 1994)

Ljudklass	Krav i laboratorium Minsta R_w
R'_w 25 dB	≥ 27 dB
R'_w 30 dB	≥ 33 dB
R'_w 35 dB	≥ 38 dB
R'_w 40 dB	≥ 43 dB
R'_w 45 dB	≥ 48 dB
R'_w 50 dB	≥ 53 dB

Tabell 2. Ljudklassning av dörrar enligt SS 025267, nuvarande (Jonasson 1994)

R_w = viktat reduktionstal uppmätt i laboratorium. R'_w = viktat reduktionstal mätt i byggnad. En R_w 40 dB dörr som är klassad efter det nya ljudklassningssystemet svarar exempelvis mot en gammal 35 dB dörr. Den nya klassningen har framförallt två fördelar.

1. Den tidigare skillnaden mellan svensk, norsk och dansk klassning upphör.
2. Det går att klassa dörrar med högre ljudklass än tidigare. (Tidigare fanns bara ljudklassning upp till 35 dB) Detta behövs om man skall klara de nya kraven på ljudisolering direkt mellan trapphus och boningsrum. (Jonasson 1994)

Andra ljudklasstandarder

Ljudklassningen enligt SS025267 gäller för Sverige, Danmark och Norge. I USA och Storbritannien används något som kallas STC, Sound Transmission Control. STC beräknas på liknande sätt som R_w , men största skillnaden är att STC bestäms över frekvensintervallet 125-4000Hz. Ljudklasserna är inte delade i fem decibelintervall som för SS 025267, utan det går att få en konstruktion för varje enskild dB, t.ex. STC 37, STC 38 osv. Så en dörr som tillhör STC 35 är inte detsamma som en dörr som klarar av ljudklassen 35 dB enligt den svenska standarden. Den amerikanska ljudklassen innebär att om ljudet i sändarrummet exempelvis är 60 dB och 20 dB i mottagarummet, då har konstruktionen en STC av 40. Samma konstruktion i Sverige hade således enbart klassats som en R_w 35 dB dörr. (Elektronisk referens [2])

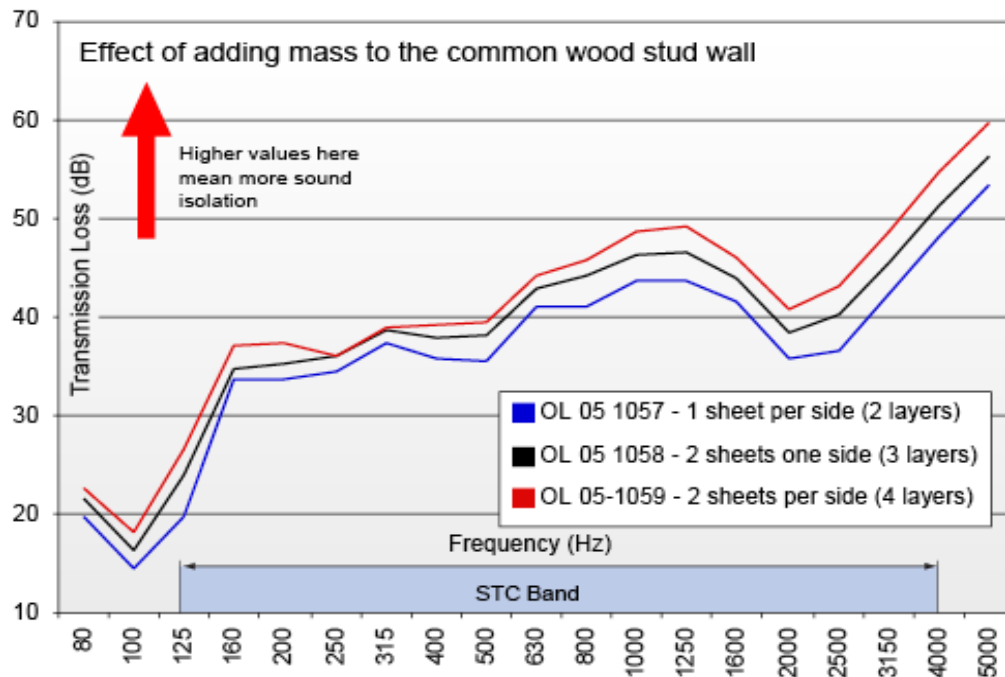
3.2.4 Ljudisoleringens principer

Det finns flera sätt att påverka ljudisoleringen. De kan sammanfattas i fem ledord.

1. Massa. (Ljudbarriär)
2. Absorption (Porösa material)
3. Mekanisk isärkoppling
4. Resonans (ljuddämpande material)
5. Tätning

Massa

Första principen gäller massan på konstruktionen. Massan hindrar transmissionen av ljudet effektivt. Det är svårare för ljudvågorna att sätta en tung konstruktion i rörelse än en lätt. För att öka prestationen krävs en stor ökning av massan. Reduktionstalet ökar med 6 dB vid en fördubbling av massan och med 6 dB per frekvensdubbling, se ekvation 3.8 i kapitel 3.2.5. Figur 6 nedan visar vilken påverkan ökning av massan har på reduktionstalet.



Figur 6. Effekten av massökning. (Elektronisk referens [2])

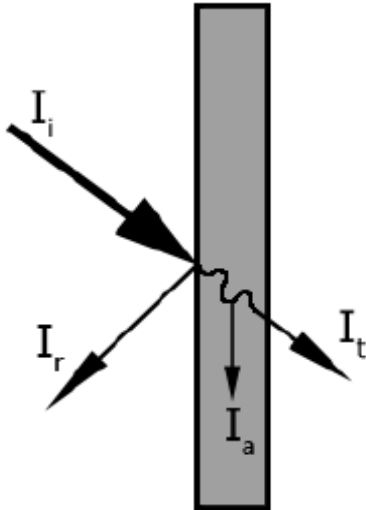
Genom att enbart öka vikten genom att öka antalet materiallager visar sig ha begränsad påverkan på reduktionstalet. För att öka ljudisoleringen krävs att man inte enbart ökar massan utan även förbättrar någon av de fyra andra principerna. Material som räknas till att öka massan är framförallt ljudbarriärer, såsom stålplåtar, HDF-skivor, gips, MLV-mass loaded vinyl m.m. (Elektronisk referens [2])

Absorption

När ljudet träffar en yta t.ex. en dörr, kommer en del av ljudenergin att reflekteras tillbaka, en del kommer att omvandlas till värmeenergi dvs. absorberas av dörren och en del att passera genom dörren, dvs. transmittas. (Mehta et al 1999) Eftersom summan av den reflekterade, transmittade och absorberade ljudet måste vara lika med den infallande energin gäller sambandet:

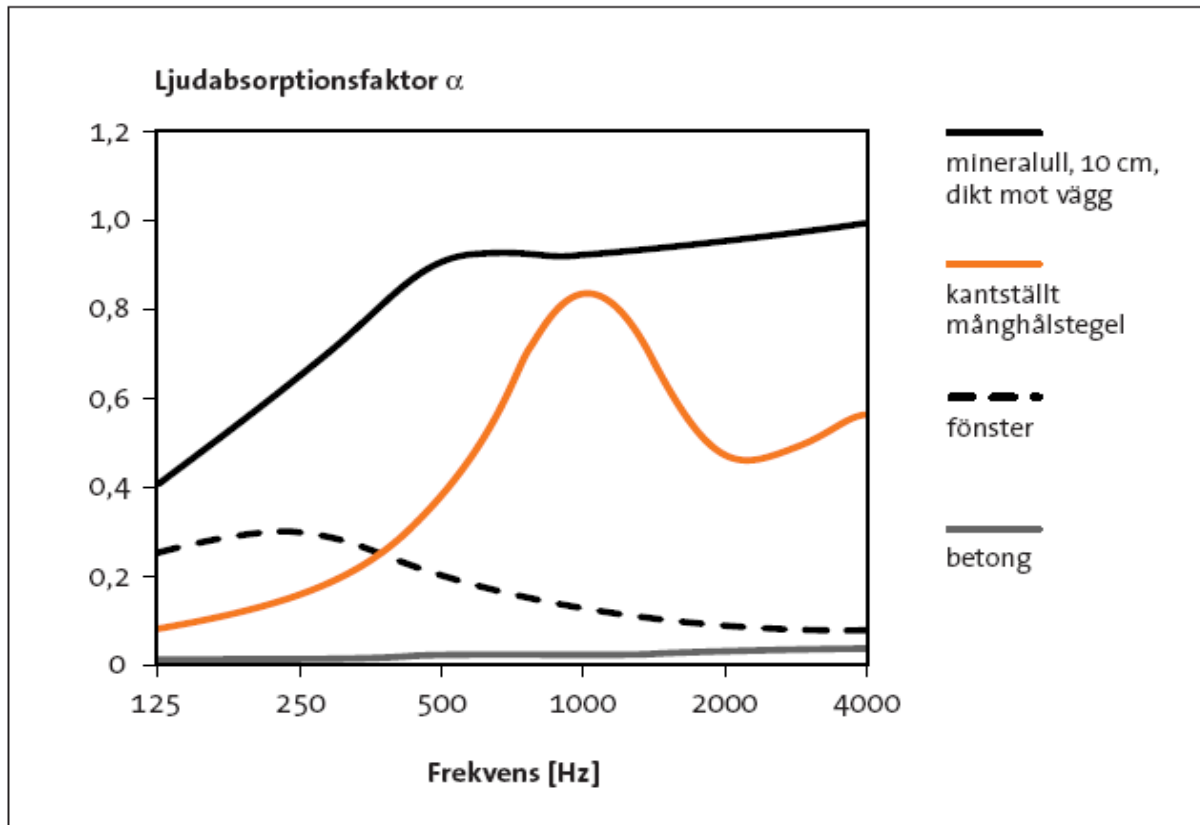
$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

ρ = det reflekterade ljudet
 τ = det transmittade ljudet
 α = det absorberade ljudet
1 = det infallande ljudet



Figur 7. Reflektion, transmission och absorption

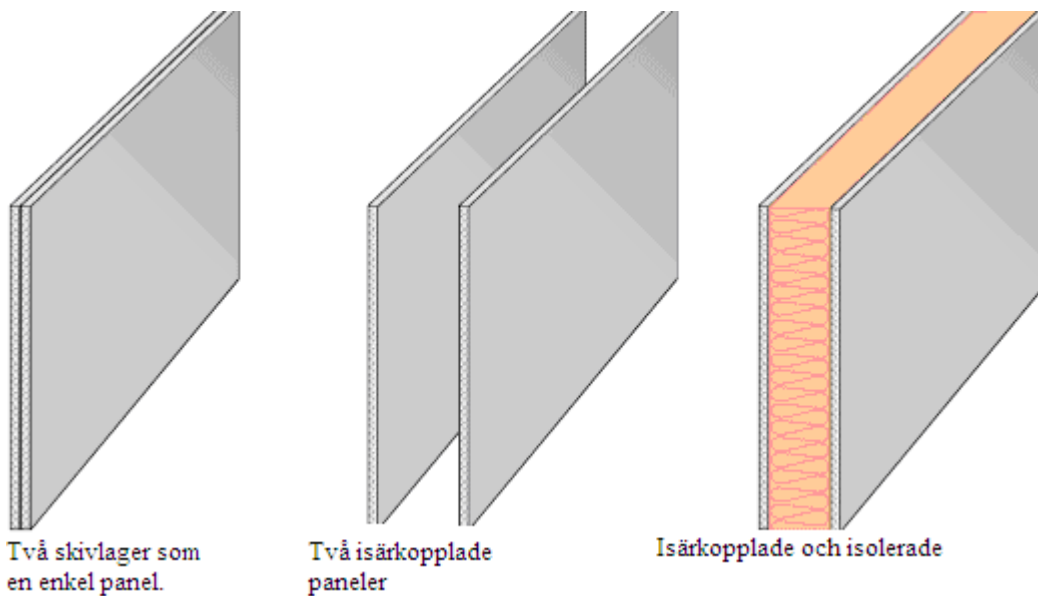
I figur 7 kommer ljudet in från vänster med en viss intensitet, I_i . En del reflekteras, I_r och resten går vidare in i dörren. Inne i dörren absorberas en del av intensiteten, I_a medan kvarvarande transmittteras genom dörren, I_t . Hur stor del av ljudet som kommer att absorberas av dörren beror på vilket material dörren är gjord av, hur konstruktionen är utförd samt och hur dörren är monterad. Absorptionsfaktorn α varierar mellan 0 och 1. Den är nära noll för hårda, tunga, styva ytor som exempelvis betong, kakel och putsad tegel. För porösa material såsom mineralull och vissa textilier är absorptionsfaktorn omkring 0,7-0,9. Porositeten är förhållandet mellan materialets luftvolym och dess totalvolym. Är ytans porositet låg hindras ljudet från att tränga in i materialet, är den däremot för hög går ljudet rakt igenom utan att det hindras av friktion och då absorberas heller inget ljud. I det första fallet reflekteras största delen av ljudet, i det andra fallet transmittteras ljudet. För att få så god ljudisolering som möjligt måste en kompromiss göras. Porerna bör inte vara isolerade från varandra utan ska vara åtkomliga för det infallande ljudet. Denna egenskap hos ett material kallas för materialets strömningsmotstånd. Högt strömningsmotstånd har "tätare" material som t.ex. porösa träfiberskivor. Lågt strömningsmotstånd har mjuka mattor och liknande. Det som är specifikt med porösa material är att absorptionen ökar med det infallande ljudets frekvens och med tjockleken på materialet. Till lågfrekvent ljud (<500-1000 Hz) används tjockare absorbent 30-50 mm tjock. Ska absorbenten brukas för att stoppa högfrekvent (>1000 Hz) ljud kan man använda en tunnare absorbent, 10-20 mm tjockt. Figur 8 nedan visar hur ljudabsorption är beroende av frekvensen för olika konstruktioner. (Johansson 2002).



Figur 8. Ljudabsorptionsfaktorns frekvensberoende för olika konstruktioner. (Johansson 2002)

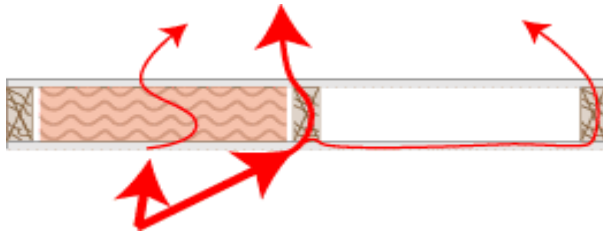
Mekanisk isärkoppling

Att koppla isär två sidor av en vägg mekaniskt innebär att det är svårare för ljudet att passera genom väggen. Här nedan visas ett enkelt exempel på vad som menas med att koppla isär två skivor hos en konstruktion.



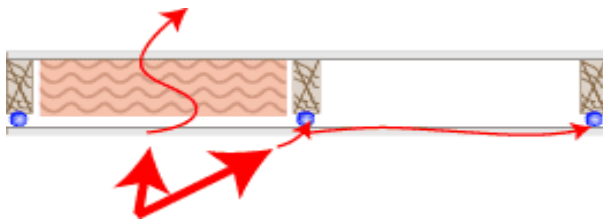
Figur 9. Skillnad mellan sammankopplade och isärkopplade konstruktioner. (Elektronisk referens [2])

I en väggkonstruktion finns det ställen som binder ihop hela konstruktionen. Styvheten hos träreglarna kopplar ihop de två sidorna hos en traditionell vägg. Som ett resultat av sammankopplingen kan ljudet lätt passera, se figur 10. Ljudet kan passera konstruktionen utan att passera isoleringen, med lägre reduktionstal som följd.



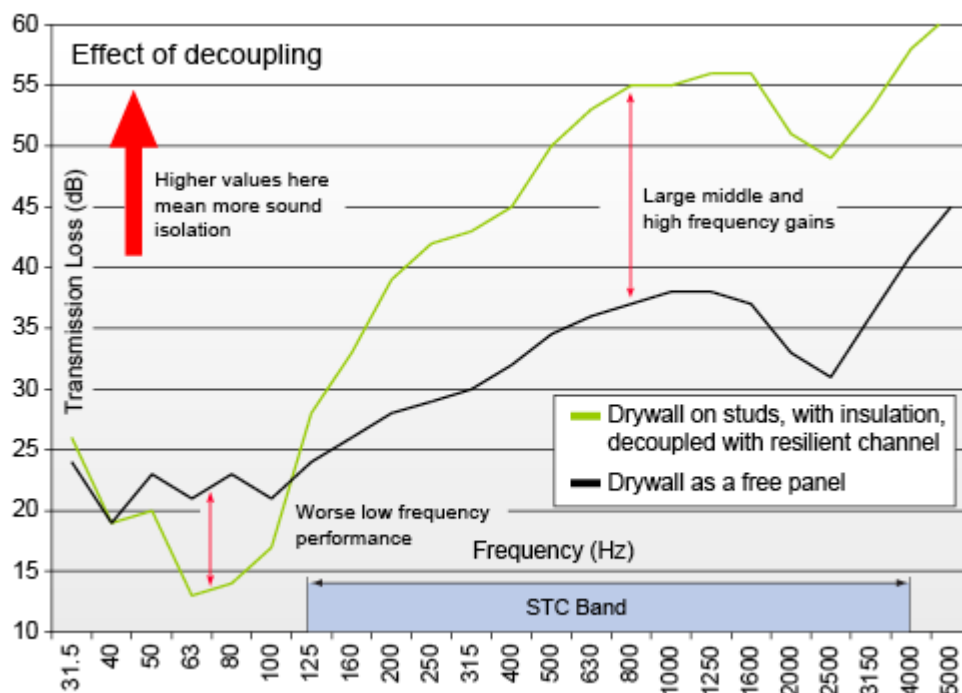
Figur 10. Konstruktion utan elastiska distanser. (Elektronisk referens[2])

Genom att tillsätta elastiska distanser får ljudet svårare att passera genom träreglarna och måste därmed gå igenom isoleringen där en stor del av ljudet kan förvandlas till värme. Figur 11 visar vad som händer med ljudet när man tillsätter elastiska distanser.



Figur 11. Konstruktion med elastiska distanser. (Elektronisk referens[2])

Isärkoppling är frekvensberoende. När två skivor skiljs åt skapas resonans och endast ovanför resonansfrekvensen bidrar isärkopplingen till att förbättra ljudisoleringen. Under resonansfrekvensen så försämras reduktionstalet som figur 12 visar. (Elektronisk referens [2])



*Figur 12. Skillnad mellan sammankopplad och icke sammankopplad väggkonstruktion.
(Elektronisk referens [2])*

Så länge som resonansen hamnar under 100 Hz påverkar det inte reduktionstalet för dörrkonstruktioner.

Resonans

Den tredje principen motarbetar de goda sakerna som görs av de tre första principerna genom att göra det enkelt för ljudet att sätta konstruktionen i rörelse. Frekvens är som sagt antalet svängningar fram och tillbaka som utförs under en sekund. Varje system har en frekvens som det helst vill svänga med, det kallas resonans- eller egenfrekvens. Vid de flesta frekvenser, bidrar vikten hos konstruktionen med motstånd. Ju tyngre konstruktionen desto svårare är den att sätta i rörelse. Resonansfrekvenser är kopplade till de frekvenser som själva dörren eller delar av dörren vill svänga med. Om man knackar på en dörr så är det resonansfrekvenserna man hör. Dessa är lätta att sätta i svängning, liten kraft in ger stor vibrationsamplitud och därmed även mycket ljud. Vid resonansfrekvensen sätts även en tung dubbelvägg lätt i rörelse. Eftersom en vibrerande konstruktion även vibrerar på andra sidan så ökar resonansen andelen ljud som transmittas. (Elektronisk referens [3])

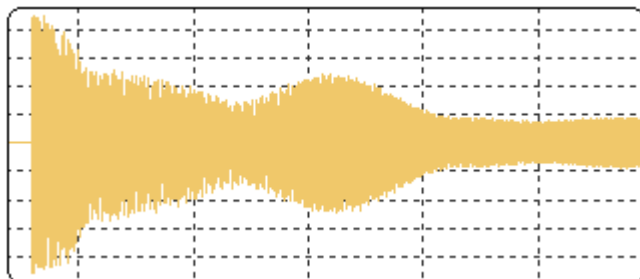
Det finns två sätt att hantera resonans.

1. Förflyttning av resonansen – Genom att sänka resonansfrekvensen hos en konstruktion genom att tillämpa principerna 1,2 och 3 kan fenomenet undvikas. Detta förutsätter att man lyckas sänka resonansfrekvensen så att den hamnar under 100 Hz, vilket ju är undre gränsen för var mätningarna görs.

2. Dämpning av resonansen – Det här innebär att resonansens magnitud reduceras och därmed minskas ljudet som passerar till andra sidan av konstruktionen.

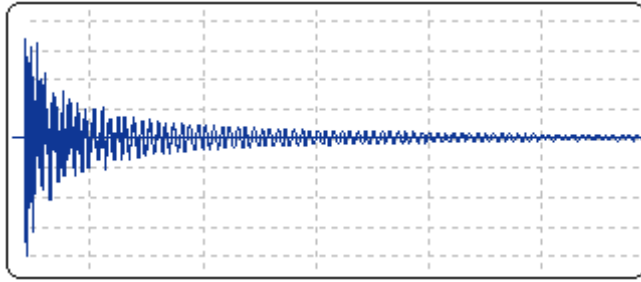
Med ljuddämpning menas i vilken grad som ett material kan bromsa vibrationer, d.v.s. ljud. Graferna nedan illustrerar olika grader av dämpning.

Första grafen är ett exempel på extremt dålig dämpning. Grafen visar responsen när man slår med en liten klubba på en skål gjord av stål. Dämpningen hos metaller, som ex stål är lägre än hos andra vanliga material.



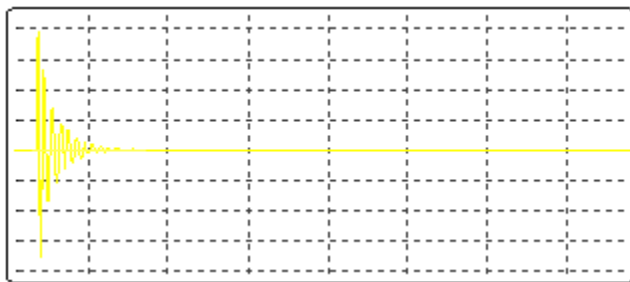
Figur 13. Dämpningsfaktor = 0,06 (Elektronisk referens [2])

I figur 14 nedan syns responsen för en fritt hängande bit av en vanlig enkelvägg med tjockleken 12 mm. Dämpningen är fortfarande dålig men är betydligt bättre än för stål exemplet ovan.



Figur 14. Dämpningsfaktor = 0,05 (Elektronisk referens [2])

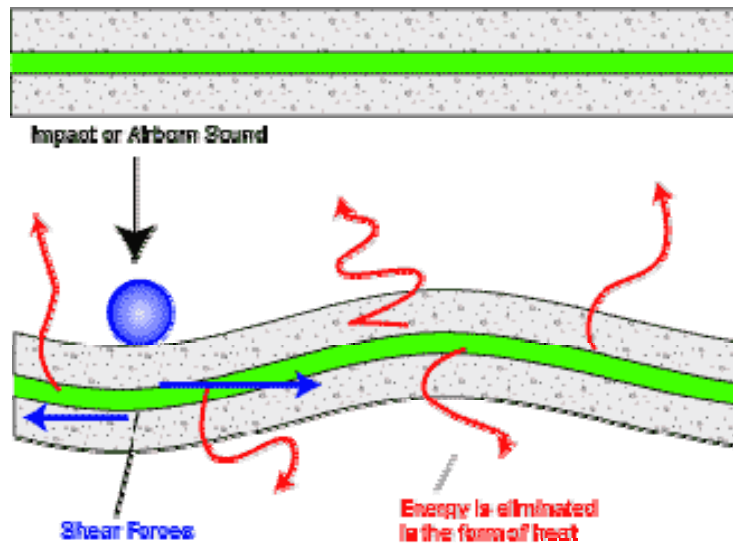
Nästa figur föreställer en konstruktion som består av två skivor med elastisk dämpning emellan.



Figur 15. Dämpningsfaktor = 0,1 (Elektronisk referens [2])

Dämpning innebär att rörelseenergin omvandlas till värme. För att höja dämpningen för en konstruktion så måste man tillsätta ett material som har hög dämpning. Nästan alla material med hög dämpning som används idag är viskoelastiska. Ett viskoelastiskt material beter sig som ett mellanting mellan elastiskt (som en studsboll) och visköst (som smör) material. Det finns i huvudsak två olika metoder att använda sig av viskoelastisk dämpning. Det ena är att tillsätta det viskoelastiska materialet på den konstruktion som ska dämpas. Ljuddämpningen sker då materialet blir sträckt respektive böjt, en del den energin som krävs för att sträcka/böja materialet förvandlas till värme. Det andra sättet som kallas påtvingad lagerdämpning är den mest förekommande inom byggbranschen. Det innebär att det dämpande materialet läggs mellan två skivor s.k. sandwichkonstruktion. Dämpningen sker då det mellanliggande viskoelastiska lagret blir utsatt för skjuvning (shear forces), se figur 16. (Elektronisk referens [2])

Constrained Layered Damping



Figur 16. Mekanisk ljuddämpning (Elektronisk referens [2])

Tätning

Det är viktigt att det är tätt mellan dörrblad och karm samt mellan dörrblad och tröskel. Annars är det helt meningslöst att göra de andra förbättringarna. Eftersom detta examensarbete endast omfattar själva dörrbladet kommer tätning inte att utredas.

3.2.5 Överslagsberäkningar för ljudisolering

Det går i viss mån att göra beräkningar på en konstruktions ljudisolerings förmåga. Nedan följer de ekvationer som kan nyttjas för att på ett teoretiskt sätt få ett närmevärde på en konstruktions ljudisoleringsförmåga.

Enkelkonstruktionen

För en enkelkonstruktion gäller den s.k. masslagen. Med enkelkonstruktion menas en enskiktskonstruktion, en skiva av gips, träfiber, glas, tegel etc. Reduktionstalet enligt masslagen:

$$R = 20 \lg \left(\frac{m}{10} \right) + 20 \lg \left(\frac{f}{100} \right) + 11 \text{ dB} \quad (3.8)$$

m = väggens areamassa (kg/m^2)

f = frekvensen (Hz)

Reduktionstalet ökar alltså med 6 dB med en fördubbling av massan och med 6 dB per frekvensdubbling. (Åkeröf 2001)

Dubbelkonstruktionen

En dubbelkonstruktion består av två enkelkonstruktioner med ett hålrum emellan. Luftavståndet är en viktig parameter eftersom det vid givna materialtjocklekar avgör var grundresonansen, f_0 hamnar. Grundresonansen är det fenomen som inträffar då kopplingen mellan delskikten via luftgapets luftfjädrar är störst. Ju större luftavstånd och ju tyngre delskikt desto mjukare blir luftfjädern och desto lägre kommer f_0 . Vid grundresonansen blir reduktionstalet ofta lågt medan det över f_0 blir betydligt högre än de skulle ha blivit för

motsvarande konstruktion med små luftgap (Jonasson 1994). Grundresonansfrekvensen beräknas enligt:

$$f_0 = 88 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2 \cdot d}} \quad (3.9)$$

m_1, m_2 = areamassorna för de bägge delskikten
 d = luftgapet (m)

Ståldörrar beter sig i bra fall som en dubbelkonstruktion. De har ytskikt av tunn plåt och mineralull som absorbent. Resultatet försämras dock om det pga. av brandklassning krävs mineralull med hög densitet t.ex. 150 kg/m^3 . Mineralullen kortsluter då luftgapet mellan plåtskikten. Dörren blir då för styv och fungerar nästan som en enkelkonstruktion med åtföljande lägre ljudisolering. Även trädörrar med porösa träfiberlameller kan akustiskt fungera som dubbeldörrar.



Figur 17. En dubbelkonstruktion består av två separata skikt med ett luftgap emellan, ett s.k. massa-fjäder-massa system.

Förklaringen till dubbelkonstruktionens goda ljudabsorption är att de enskilda skalens reduktionstal kan adderas, vilket är den mellanliggande absorbentens förtjänst. Ljudet reduceras först av skivan på sändarrumssidan. De ljud som ändå passerar första skivan går igenom absorbenten och träffar försvagat skiva nummer två. Nu reduceras ljudet ytterligare. Det ljud som inte går igenom skiva nummer två reflekteras tillbaka till hållrummet, där det successivt dör ut i ljudabsorbenten. (Jonasson 1994)

3.2.6 Dörrars ljudisolering

Det finns några överslagsberäkningar som kan användas för att få närmevärden på en dörrs ljudisolering. Som närmevärde på en dörrs medelreduktionstal kan formeln 3.10 utnyttjas.

$$R_m = 6 + 20 \lg(m) \quad (3.10)$$

m = dörrbladets area massa (kg/m^2)
Normalt bör man dra av 1-2 dB för läckage.

För R_w ser motsvarande närmevärde ut enligt ekvation 3.11

$$R_w = 7 + 21 \lg(m) \quad (3.11)$$

Ekvationen för dörrar har en begränsning jämfört med masslagen, det går inte att få fram en förväntad reduktionstalskurva. Detta för att ekvation 3.11 inte har något samband med specifika frekvenser. (Jonasson 1994)

Koincidensfrekvens

Ser man på masslagen borde det enklaste sättet att få en bra ljudisolering vara att välja ett material med hög area massa. Tyvärr är det inte så enkelt. Ett av de största problemen när det gäller ljudisolering är att vid en viss frekvens så minskar materialens ljudisolering. Denna avvikelse beror på ett fenomen som kallas koincidens och uppträder då den mot väggen infallande ljudvåglängden överensstämmer med väggens böjvåglängd. Vid denna frekvens anpassar sig materialets böjvågor lätt till luftens ljudvågor. Det får till följd att ljudet har lättare att passera materialet. Masslagen gäller enbart under koincidensfrekvensen. (Muntlig referens [1]) För en homogen skiva beräknas koincidensfrekvensen enligt:

$$f_c = \frac{K}{h} \text{ Hz} \quad (3.12)$$

h = skivans tjocklek (m)

K = materialkonstant

Några exempel på materialdata finns i bilaga 1. Koincidensfrekvensen kan även räknas ut med hjälp av:

$$f_c = 1,84 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{m}{B}} \text{ Hz} \quad (3.13)$$

B = böjstyvhets för materialet

För homogena skivor är $B = Eh^3/12$

där E = elasticitetsmodul $E \text{ N/m}^2$ och

h = skivans tjocklek

Materialets styvhet har en mycket stor påverkan på ljudisoleringsförmågan. Det är svårt att hitta ett material som uppfyller både villkoret för masslagen samt att böjstyvheten är låg. Böjstyvheten ökar med kvadraten för homogena material medan den bara fördubblas om två skivor läggs ovanpå varandra. Det innebär att koincidensfrekvensen för 2 x 3mm hellimmat svarar mot 1 x 6mm. 2 x 3mm olimmat har samma koincidensfrekvens som 1 x 3mm men med massan hos 6mm. Överslagsberäkningarna beskriver en medeldörrens ljudisolering. Dörrar är i regel akustiskt känsliga och komplicerade konstruktioner. Det innebär att synbarligen likvärdiga dörrar kan beroende på detaljutförandet, ha mycket olika reduktionstal. Den vanligaste orsaken till att dörren inte följer masslagen är att dörren är för styv. Det finns olika sätt att i praktiken minska en dörrs styvhet. Man kan punktlimma istället för att hellimma eller ha skivor inne i dörren som ligger löst. Ett exempel visas i diagram 1 nedan, där i princip samma dörr visas, ett är där fyllningen har limmats mot ytterskivan och ett där den är olimmad. Den olimmade dörren ligger 3dB högre än vad masslagen ger medan den limmade ligger 7 dB under.

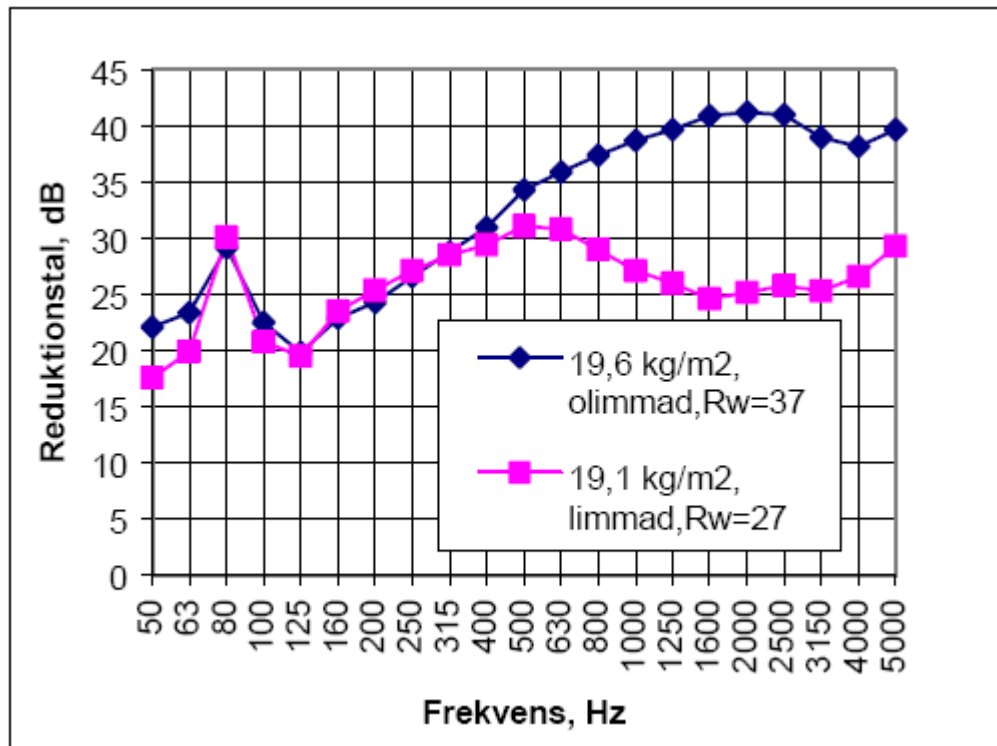


Diagram 1. Reduktionstalet hos limmad respektive olimmad dörr (Jonasson 1994)

Böjstyvhet är komplicerat. Löst liggande skikt får beräknas var för sig. I princip fås en liten försämring vid varje koincidensfrekvens. Det innebär att försvagningen av reduktionstalet pga. koincidens sprider sig över ett större frekvensområde samtidigt som den blir mindre djup än om konstruktionen endast har en koincidensfrekvens. Är skikten limmade måste böjstyvheten räknas för det nya hoplimmade skiktet vilket är mycket besvärliga. Här fås endast en koincidensfrekvens, men den påverkar reduktionstalet mycket eftersom "dalen" blir djupare.

Huvudproblemet är att förutsäga hur samverkan sker mellan olika sammanförda skivor. Exakt hur förändringen blir beror bl a på skivornas friktionskoefficient och sammanpressningskraften.

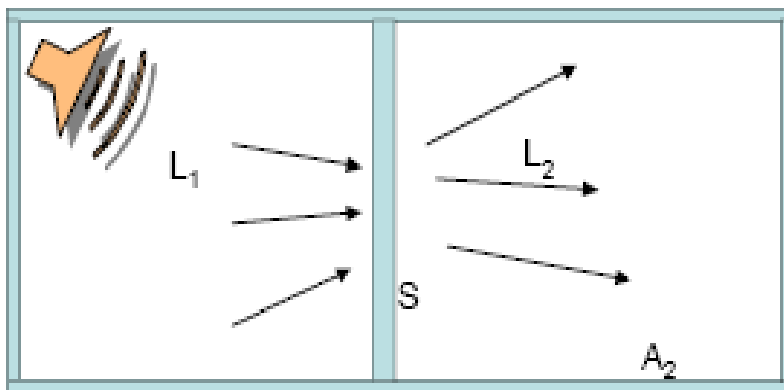
Det är svårare att ljudisolera för låga frekvenser än för höga, vilket medför att det är en stor fördel om koincidensen sker vid så hög frekvens som möjligt. Eftersom ljudtesterna för dörrar mäts i intervallet 100-3150 Hz är det optimalt om koincidensfrekvensen sker vid en högre frekvens än 3150 Hz. På grund av att en ljuddörr normalt består av flera olika skikt limmade mot varandra är det svårt att beräkna koincidensfrekvensen teoretiskt. (Jonasson 1994)

4. Utvärdering ljudprovningar

I detta kapitel redovisas sammanställning och analys över de ljudprovningar som gjorts på dörrar med tjockleken 40 mm, R_w 35 dB och tjocklek 60 mm tillhörande ljudklass 40 dB.

4.1 Ljudprovning

Ljudprovningarna har utförts av SP i Borås som är ett ackrediterat laboratorium. Det innebär att resultaten kan användas för typgodkännande och certifiering i Sverige och andra länder. SP har rätt att utföra tester för att se att certifieringen följs. En ljudprovning går i princip till enligt figur 18. Ljud alstras med högtalare i sändarrummet och mäts i angränsande rum, mottagarrummet. Skillnaden i ljudnivå är, efter vissa korrekationer, luftljudisoleringen för dörren. Mätningarna har utförts enligt svensk och internationell standard SS-EN ISO 140-3:95. Reduktionstalet R bestämdes enligt ekvation 3.7. Medelljudtrycksnivåerna fastställs med hjälp av roterande mikrofonstativ och en digital frekvensanalysator. I sändarrummet används en rörlig högtalare. Under mättiden som är 128 s rör sig högtalaren upp och ner längs en bana tvärs över rummet.



Figur 18. Princip för luftljudsprovningar. (Elektronisk referens [4])

En försvårande omständighet med analysen av de tidigare testerna är att dörrarna ibland endast är provade med tejptätning mellan dörrblad och karm, men ibland enbart testade utan tejptätning. Det går inte att jämföra ett resultat för en likvärdig dörr som är tejptätad med en icke tejptätad dörr. Anledningen till att dörrarna ibland provas tejptätade är för att fastställa hur mycket ljud som transmitterar in i mottagarrummet via enbart dörrbladet. För att dörren ska bli godkänd krävs att den klarar ljudklassen utan tejptätning.

4.2 Dörrkonstruktioner

Här följer en redogörelse över Doorias konstruktioner som klarat av ljudkraven för R_w 35 dB (tjocklek 40 mm) och R_w 40 dB. Beteckningarna avser Doorias egna konstruktioner.

4.2.1 VD9/VD95

Konstruktionen består i sin standardutförande av porös board tillsammans med tunna boardskivor. Konstruktionen klarar R_w 35dB och EI 30 (30 minuters brand). Sammanställningen över alla ljudprover för VD9 dörrarna redovisas i bilaga 2. VD95 är en arbetsbeteckning på VD9.

4.2.2 VD:53/VD13

VD 53 och VD13 är i princip samma konstruktion. Konstruktionen ska klara av R_w 40 dB. Standardstommen består av linspånplatta, tunna boardskivor och plåt. Sammanställningen över alla utförda ljudprovningar för VD53/VD13 dörrar finns i bilaga 3.

4.3 Analysens utformning

Dörrarna analyseras utifrån faktorer som tros ha påverkat ljudisoleringen hos tidigare konstruktioner. Analysen bygger dels på ljudprovningsskurvor, dels på ritningar. Exempel på ritning samt ljudprovningsskurva redovisas i bilaga 7 respektive 8. I många fall saknades dock antingen ljudprovningsskurvan eller ritningen. Därför är inte sammanställningarna i bilagorna 2 och 3 fullständiga. Slutsatserna är alltså enbart tagna på de dörrar som haft tillräckligt med information för just den egenskapen som undersöks. En ny ljudklassning kom 1998 vilket leder till att det är svårt att jämföra ljudprovningar gjorda innan 1998 med senare provningar.

4.3.1 Vikt

Som det gick att läsa i teoridelen bör dörrars ljudisolering följa areamassalagen, d.v.s. R_w ökar med vikten. För att se om teorin stämmer för de ljudprovningar Dooria Vännäs utfört diagram 2 och 3.

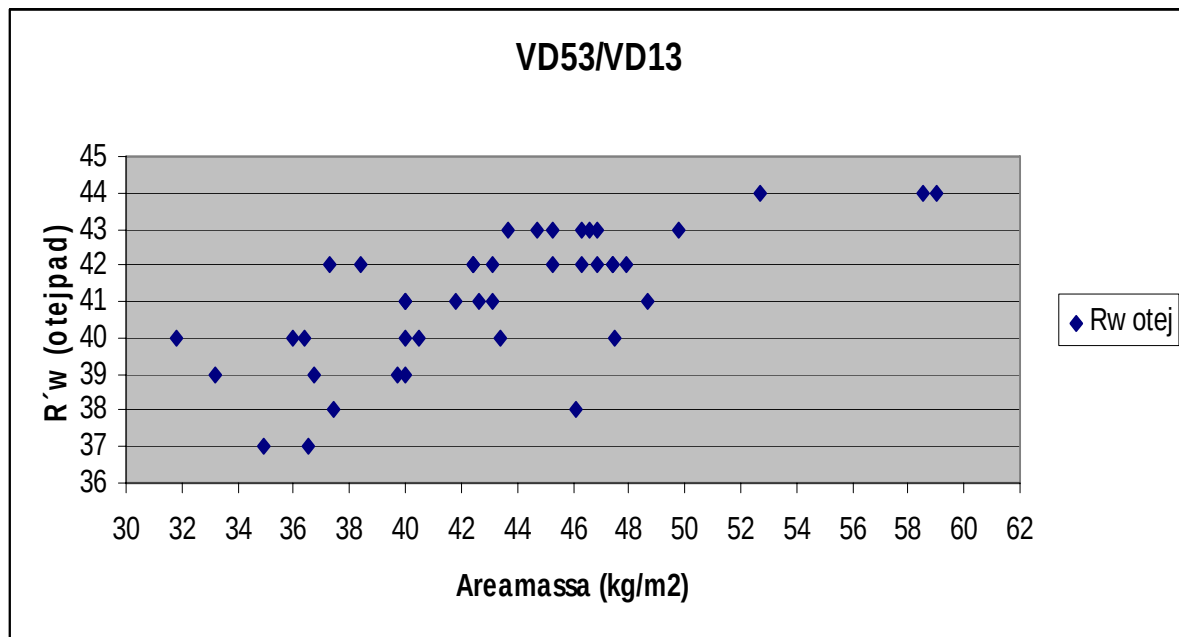


Diagram 2. R_w 's beroende av vikten på dörren.

Diagram 2 visar reduktionstalet för VD53/VD13 dörrar som funktion av vikten. Ljudprovningarna som redovisas i diagram 2 är utförda utan tejptätning mellan dörrblad och karm. Dörrarna följer masslagen relativt bra. De tre dörrarna som har R_w 44 är i själva verket specialdörrar med en tjocklek på 70 mm. Av de prover som gjorts på VD53/VD13 är det ingen dörr med areamassa mindre än 43 kg/m^2 som klarar av kravet för ljudklassen 40 dB.

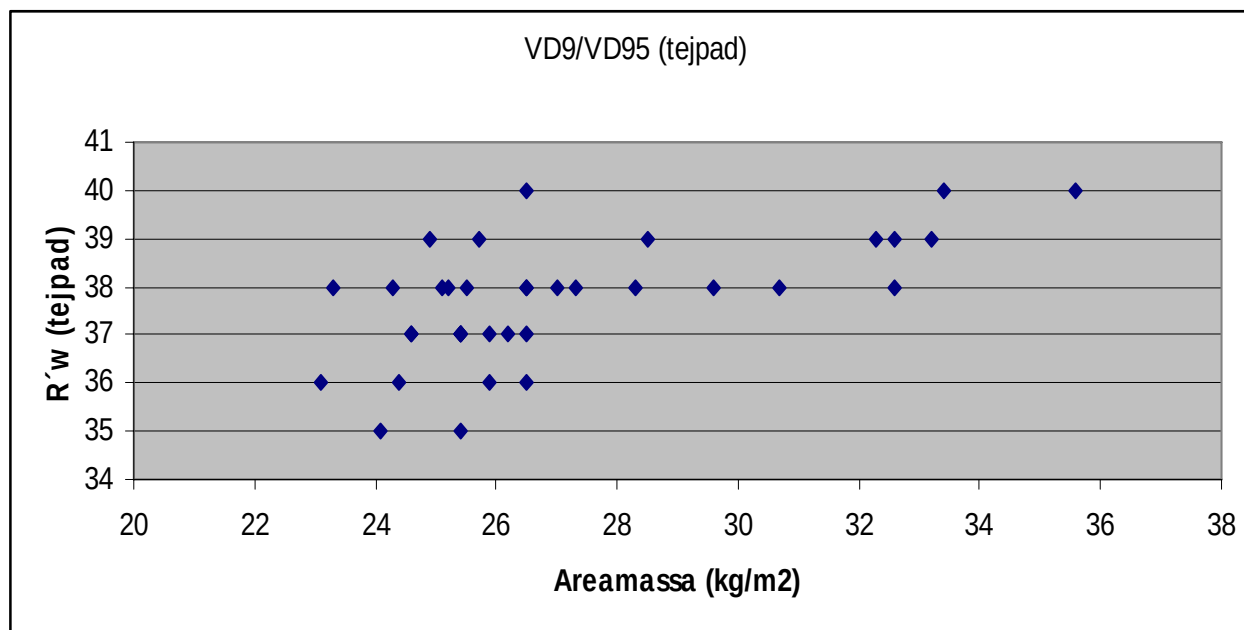


Diagram 3. R_w för VD9 som funktion av vikten.

Ljudprovningarna som redovisas i diagram 3 är utförda med tejptätning mellan dörrblad och karm. De flesta tester som utförts på VD9/VD95 dörrar är provade med tejptätning. VD9 dörrarna följer inte masslagen lika bra som VD13/VD53 dörrarna. De individuella avvikelserna är stora. Det är svårt att hitta en förklaring till skillnaden. Troligtvis så blir dörrarna mer lik en vägg ju tjockare dessa är. Masslagen är framtagna för väggkonstruktioner. Det som kan noteras är att alla dörrkonstruktioner som hade en areamassa på minst 28 kg/m^2 har ett reduktionstal på minst 38 dB. Spridningen är större i de fall dörren haft lägre areamassa. Här är det viktigt att komma ihåg att provningarna är utförda med tejptätning, d.v.s. ytterst få av dörrarna skulle klara av ljudklassens krav på 38 dB otejpat.

4.3.2 Ytskikt

Uteslutande har MDF/HDF-skivor använts som ytskikt. Enligt Olle Johansson som är produktansvarig verkar det inte spela någon roll för reduktionstalet om man väljer MDF- eller HDF-skivor. Vid tillverkning enligt typgodkännandena för de olika dörrkonstruktionerna har det ingen betydelse vilket av dessa boardskivor man väljer att ha som ytskikt. Som standard används 4mm tjocklek. I några av VD13 konstruktionerna har 4mm ytskivan bytts ut mot 6 mm ytskivor. Tabell 3 visar att reduktionstalet sjönk, troligtvis blev dörren för styv.

R _w tejp	kg/m²	Ytskikt	Papp	Boardskivor (st)	"Fyllning"	Plåt
42	38,4	HDF 4,3mm		5*4,3mm	10,5+19mm porös board	Nej
40	40,5	MDF 6mm	X	5*4,2mm	16+12mm porös board	Nej

Tabell 3. Ytskiktens påverkan på reduktionstalet

4.3.3 Material i stommen

Boardskivornas antal och tjocklek har varierat i de tidigare konstruktionerna. Det verkar som om det inte spelar någon större roll om dörren har 4-6 boardskivor i stommen. Men det är svårt att dra slutsatser eftersom de i flesta fall har fler variabler än antalet boardskivor varierats. De två första dörrarna i tabell 4 nedan har tre respektive fyra boardskivor.

Konstruktionen med 4 boardskivor klarade 2 dB mer. Däremot fanns ingen skillnad på om konstruktionen har 4 eller 5 boardskivor. Ersätts boardskivorna med enbart poröst material så sjunker däremot R_w drastiskt. Dörren blir för mjuk och lätt och ljudet kan då lätt transmitta genom dörrbladet. När de hårda boardskivorna i rad fem ersätts med en extra porösskiva (rad sex) försämrades ljudisoleringsförmågan med hela 6 dB. I de få fall gips har provats har det gett sämre resultat. Vid bägge provningarna användes endast en 13 mm gipsskiva och resten av fyllningen var porös träfiberskiva vilket innebär att dörren får låg ytvikt. Den låga vikten på dörren kombinerad med att endast en av sidorna har gips leder till att ljudet har lätt att passera dörren. Det här redovisas i tabell 4. Informationen är hämtad från provningarna av VD9.

Rw otejp	Rw tejp	kg/m ²	Papper	Ytskikt	Boardskivor	Absorbent	Plåt	Kommentar
36		30,2		4,3mm HDF	3*3,2mm	2*10mm por.skiv	2*0,7mm	Boardskivor, brasiliansk = extra hårda. Plåten mellan två boardskivor
38		35,6		4mm HDF	4*4mm	2*7mm por.skiv	2*0,7mm	Boardskivor, brasiliansk = extra hårda. Plåten i mitten
	37	25,4	X	4 mm MDF	4*3mm	2*9,5 mm por.skiv		
	37	24,6	X	4mm MDF	5*3mm	16 mm por.skiv		
	39	26,3		4,5mm HDF	3*3,2mm	2*10mm por.skiv	1mm	Stålplåt mellan två boardskivor
	33	23,6		4,5mm HDF		3*10mm por.skiv	1mm	Stålplåt i mitten. Spår i ramträ.
	32	22,5		4,5mm HDF	13mm gips	2*9mm por.skiv		Gips direkt mot ena sidan av ytskiktet
	33	22,7		4,5mm HDF	13mm gips	2*9mm por.skiv		Gips i mitten av fyllningen

Tabell 4. Boardskivors inverkan på reduktionstalet.

Plåt har hög densitet, 7800kg/m³ och bidrar därför till att öka vikten i dörrarna även vid tunna tjocklekar, se tabell 4. Som det framkom i diagram 2 och 3 är högre vikt generellt sett positivt för ljudisoleringsförmågan. Alla 19 VD13/VD53 dörrar innehållande plåt som testats har haft ett medelreduktionstal på minst 41 dB. Ingen av VD13/VD53 konstruktionerna utan plåt klarade av ljudkravet för klassen R_w 40 dB. I tabell 5 nedan syns hur viktigt det är att dörren inte blir för styv. Ljudprovet på dörren utan plåt men med papper har samma R_w -värde som dörren med 1*0,7mm plåt men utan papper. Papper läggs i för att limningen av de olika lagren inte ska bli för kompakt. Om plåtarnas placering i dörren går det inte att säga vilka konsekvenser det får. I de flesta tester som inkluderar plåt har plåten placerats på två olika sidor om dörren, i några fall har plåtarna placerats i mitten av dörren och i några prover är plåtarna på samma sida. Antalet plåtar har varierat med mellan 1-4 plåtar per dörr. Det bästa verkar vara att ha två stålplåtar per konstruktion. Som det syns av tabell 5 och 6 nedan ökar reduktionstalet med 1 dB när dörren har två stålplåtar jämfört med en.

Rw tejp	Vikt (kg)	Areamassa	Papper	Ytskikt	Boardskivor	Absorbent	Plåt
38	47,5	25,1	X	MDF 4mm	5	Porös board	
38	53,5	28,3		MDF 4mm	5	Porös board	1*0,7mm
39	61	32,3		MDF 4mm	5	Porös board	2*0,7mm

Tabell 5. Plåtens inverkan på reduktionstalet, VD9/VD95 konstruktion.

R'w	kg/m2	Ytskikt	Boardskivor	Absorbent	Plåt	
39	36,7	MDF 4mm	6*3,2mm	Linspånskiva 31,4mm		Ej stränglimmat
42	43,1	MDF 4mm	6*3mm	Linspånskiva 31,4mm	1mm	Stålplåten mellan två board
43	43,7	HDF 4mm	2+4*3mm	Linspånskiva 31,4mm	2*0,7mm	Plåt samma sida.
43	43,7	HDF 4,3mm	4*3mm+2*2,5	Linspånskiva 31,4mm	2*0,7mm	Stålplåt samma sida
43	45,4	MDF 4mm	5*3+1*2,5mm	Linspånskiva 31,4mm	2*1mm	Plåt på olika sidor. Delvis limfria
42	47,4	HDF 4mm	3+3*3,2	Linspånskiva 31,4mm	3*0,7mm	plåtarna är 2 på en sida en på den andra.
42	46,9	HDF 4mm	2+4*3,0	Linspånskiva 31,4mm	3*0,7mm	Alla plåtar på samma sida
43	49,8	HDF 4,3mm	5*3mm	Linspånskiva 31,4mm	4*0,7mm	Plåten ihoplimmad parvis. 2st vardera sida.

Tabell 6. Stålplåtens inverkan på reduktionstalet, VD13/VD53 konstruktion.

Hur avgörande det är att få lägre styvhet genom att undvika att hellimma de olika lagren visas än tydligare i tabell 6. Det är exempel från provningarna av VD3 dörrar. Denna konstruktion klarar av ljudklassen 25-30 dB, beroende på om det är hellimmat eller stränglimmat. VD3 konstruktionen har endast utretts sporadiskt för att få mer information om olika faktorer påverkan.

kg/m2	Papper	Fyllning	Rw otej	Kommentar
19	X	Linspånskiva 31,2mm	36	Lim=30mm innanför ramträ+50mm mellan papper
19		Linspånskiva 31,2mm	35	Endast ramträ+50mm sträng på fyllningen limmas
19,2		Linspånskiva 31,2mm	27	Hellimmat
23		Linspånskiva 31,2mm	33	2*0,5 Aluminiumplåt mellan HDF och fyllning
23	X	Linspånskiva 31,2mm	35	2*0,5 Aluminiumplåt mellan HDF och fyllning

Tabell 7. Limningens inverkan på reduktionstalet.

Kork i stommen har testats i ett fåtal dörrar med blandade resultat. I några fall ledde det till sämre medelreduktionstal medan det i vissa fall gav något bättre Rw. Eftersom det är fler faktorer än att boardskivorna är ersatta med kork som skiljde konstruktionerna, så är det svårt att dra några slutsatser om korkskivors påverkan på reduktionstalet av denna information. Några av proverna i tabell 8 är på VD9/VD95 och några på VD53/VD13.

Dörr	R'w tejp	Kg/m ²	Papper	Ytskikt	Skivor	Fyllning	Plåt
VD9	36 otejp	44	X	4mm MDF	kork 2*3mm	spånskiva 3*8,3mm	
VD9	35	45,5		4mm MDF	kork 2*3mm	spånskiva 3*8,3mm	
VD95	40	46,5		4,5mm HDF	3*3,2mm	2*10mm por.skiv	
VD13	43	84,5		3*4mm MDF	kork 2*3mm	spånskivor 13mm*3	2*1mm
VD13	43	94		4mm MDF	5*3mm	Linspånskiva 31,4	4*0,7
VD13	38	64			2*3mm korkskivor	3*14,7mm linspånskiva	

Tabell 8. Korkskivors inverkan på reduktionstalet.

Tabell 8 ovan visar än en gång att papper mellan skivorna har en positiv inverkan på reduktionstalet. De två VD9 dörrarna är likvärdiga förutom att den ena saknar papper mellan lagren.

Av de ritningar som fanns till förfogande har aluminium endast förekommit i 3 dörrar av VD9/VD95 och i inget för VD13/VD53. Enligt tabellen nedan är det ingen bra lösning att ersätta plåten med aluminium. Förklaringen till att aluminium har sämre ljudisolerande förmåga torde vara den till plåten förhållandevis låga densiteten. I ett fall är aluminium skivorna placerade på samma sida och i ett försök på olika sidor. I provet med aluminiumskivorna på samma sida var Rw 1 dB högre. Det är dock svårt att säga om det beror på att aluminiumet är på samma sida eller om 0,1mm ökning av aluminiumskivornas tjocklek var den bidragande orsaken.

R'w tejp	Vikt (kg)	Papper	Ytskikt	Boardskivor (st)	Absorbent	Aluminium
36	50		4mm MDF	5*3,2mm	Por.board 15mm	2*0,4mm två sidor
37	50		4mm MDF	5*3,2mm	Por.board 15mm	2*0,5mm samma sida
38	50	X	4mm MDF	5*3,2mm	Por.board 15mm	2*0,4mm två sidor

Tabell 9. Aluminiums inverkan på reduktionstalet.

En speciell spånskiva kallad Sauerland Spanplatte har testats i VD9 konstruktionen. Spånskivan tillverkas så att fibrerna blir orienterade vilket leder till att styvheten enligt leverantören ska minska. (Läs mer i kapitel 7, under rubriken Sauerland Spanplatte). Dörren med tjockleken 42mm klarade 37 dB och den med den vanliga tjockleken på 40mm uppnådde 36 dB.

Rw otej	kg/ m2	Papper	Ytskikt	Boardskivor (st)	"Fyllning"	Kommentar
36	23,3	X	MDF 4mm	sauerlandkork 2*3mm	Sauerlandspånskiva 3*8,3mm	

37	25,7		MDF 4mm	Se fyllning	Sauerland spån 3*11mm	OBS! 42mm Ramträ 33,4mm
37	25,4	X	MDF4mm	Se fyllning	Sauerlandspånskiva 3*11mm	Samma som ovan, men med papper
36	24,4		MDF 4mm	Se fyllning	Sauerlandspån. 2*10mm, 1*11mm	40mm Ramträ 33,4mm

Tabell 10. Spånskiva: Sauerland

4.3.4 Absorbenter/vibrationsdämpare

Nästan uteslutande så har antingen linspånskivor (densitet ca 330 kg/m³) eller porösa boardskivor (densitet ca 280 kg/m³) använts som absorbent i de tester som hittills utförts på VD9/VD95 och VD13/53. Det går inte utifrån tidigare tester att säga vilket som är att föredra. Det finns inga likvärdiga dörrar var den ena har linspånskiva som absorbent medan den andra har porös träfiberskiva. Ur produktions synpunkt är det bästa att välja spånskivor för de behöver inte putsas. Det som är värt att notera är att ett tillägg i form av en gummiplatta mellan stålplåtarna inte verkar leda till någon ökning av Rw. Även fastskum har provats, i ett fall med bra resultat medan de i det två andra testen inte tillförde något till ljudisoleringsförmågan. Eftersom vibrationsdämpande material som gummi och skum endast testats i ytterst få fall är det svårt att dra några slutsatser om dessa materials inverkan på reduktionstalet.

Dörr	Rw otejp	Ytvikt	Papper	Ytskikt	Boardskivor	Fast skum	Absorbent	Plåt	Gummi
VD9	39	26,5		HDF 4mm	5*3,2mm	5mm	porös board 11mm		
VD9	39	27		HDF 4mm	4-5*3,2mm		por.board 14,4mm		
VD9	36	24,3		HDF 4mm	4*3,2mm	5mm	Por.board 15mm		
VD13	42	47,9		HDF 4mm	5*3mm		31,4mm linspånskiva	3*0,7mm	3,2mm mellan plåt
VD13	42	46,9		HDF 4mm	2+4*3,0mm		31,4mm linspånskiva	3*0,7mm	
VD13	40	40,5	X	MDF 6mm	5*4,2mm		16+12mm porös board		
VD13	40	40	X	MDF 6mm	5*4,2mm	2*2mm	2*12mm porös board		

Tabell 11. Gummimattors och skums inverkan på reduktionstalet.

4.3.5 Tjocklek på dörren

Reduktionstalet kan ökas genom att öka tjockleken på dörren. I detta examensarbete är dock tjockleken begränsad för de två olika ljudklasserna. Det som kan göras och har gjorts i några av fallen är att öka tjockleken på dörrkonstruktionen några få mm så att dörren fortfarande kan räknas till samma typgodkännande. Ett tidigare test av VD9:an visar att en ökning av dörrbladets tjocklek med 2 mm gav 1 dB högre Rw, se tabell 10.

4.2.5 Variation

Bilagorna visar att även om likvärdiga konstruktioner testats kan resultatet bli helt olika. Ser man exempelvis på VD9 utan plåt- med tillsynes samma innehåll har provningarna varierat mellan 35 dB till 38 dB. Variationerna kan bero på det ingående materialets egenskaper eller på tillverkningen. Vid tillverkningen är det viktigt att se till att de olika lagren inte pressas

ihop för hårt så att det leder till att dörrens styvhet ökar. Dooria Vännäs bör undersöka vad som orsakar de stora variationerna.

4.3 Slutsatser

Utredningen av de utförda ljudprovningarna visade att följande faktorer påverkar reduktionstalet:

- Areamassa. Ökad vikt har generellt en positiv påverkan på reduktionstalet. Det verkar vara så att ju lättare dörren är desto större betydelse har dörrens konstruktion. Med det menas att när dörren är tyngre är det lättare att konstruera en dörr med högre ljudisolering. Utredningen visar dock att det är möjligt att tillverka dörrar med en relativt låg areamassa. Genom att tillsätta plåtskivor kan vikten ökas utan att tjockleken behöver ökas.
- Porositet. Det är viktigt att dörren varken blir för lätt/porös som sker om endast material med låg densitet används eller om den porösa fyllningen är direkt mot ytskivan. Ljudet har då lätt att passera dörren.
- Hög styvhet påverkar reduktionstalet negativt. De olika lagren får inte vara för hårt sammanpressade. Papper mellan ytskikt och fyllning är ett effektivt sätt att minska styvheten hos dörrbladet och därmed öka reduktionstalet.
- Många skikt är att föredra framför ett skikt. Oregelbundenhet såsom varierande densitet och tjocklek på de olika lagren verkar ha en positiv effekt på ljudisoleringen.

På grund av att flera faktorer varierades var det mycket svårt att dra några slutsatser utifrån de tidigare provningarna. Vid nya provningar är det viktigt att planera försöken så att endast en variabel ändras åt gången så långt det är möjligt. En annan försvårande omständighet var att dörrarna ibland var testade otejpat och ibland tejpat. Dokumentationen var bristfällig, det saknades många ritningar och de ritningar som fanns var ofta inte fullständiga. Det är viktigt att skriva vilken densitet och tjocklek alla delkomponenter har eftersom t.ex. spånskivor finns att få i densitetsspannet 300-700 kg/m³. Även om dörrkonstruktionen visat sig vara dålig, måste en dokumentation göras för att kunna dra slutsatser utifrån resultatet.

All typ av tillverkning är förknippad med variation vilket medför att när produkten skall sättas i produktion så uppstår en hel del problem när de funktionella kraven inte uppfylls. Även om dörren blivit godkänd i ett tidigare prov kan det innebära att en likadan konstruktion som tagits ut av SP, för att se att certifieringen följs inte uppfyller ljudkravet. Utredningen visar att Dooria Vännäs har stor variation när det gäller reduktionstalet hos likvärdiga konstruktioner. I en provning fick en vanlig VD9 utan plåt ett reduktionstal på 38 dB medan det i en annan provning blev hela 3 dB lägre. I ritningarna som fanns tillgängliga gick det inte att se någon som helst skillnad. Om dörrarna innehåller exakt samma material bör den enda rimliga förklaringen vara att antingen har något gått fel vid provningen eller så är det något i tillverkningen som inte stämmer. Materialet in, maskinerna eller den mänskliga faktorn är de mest troliga orsakerna till de stora variationerna. När ljudproverna görs fås ett heltal som resultat på reduktionstalet. En dörr med reduktionstalet 37 kan exempelvis klara 37,4 dB medan en dörr med reduktionstalet 38 endast behöver vara 0,2 dB bättre (37,6). Det är otroligt viktigt att tillverkningen är så noggrann som möjligt för att undvika att dörrkonstruktionen hamnar i den nedre gränsen. Dooria måste försöka minska variationen för att på så sätt förbättra lönsamheten och minska risken att konstruktionerna inte håller måttet.

5. Ljudintensitets mätningar

Innan en ny konstruktion kan tas fram är det viktigt att få fram mer kunskap om vilka delar i dörrkonstruktionen som är de svagaste länkarna. För att få större klarhet så gjordes ljudintensitetsmätningar för tre olika konstruktioner.

5.1 Tillvägagångssätt

Ljudkartorna bygger på ljudintensitetsmätningar som utfördes i skyddsrummet hos Dooria Vännäs av Roger Johnsson som är konsult på Ljud och vibrationsavdelningen vid LTU. Bakgrundsnivån mättes först för att se att den inte var för hög så att den riskerade att påverka mätningarna. Tre dörrar, en typgodkänd VD9 dörr, en modifierad VD9 samt en VD13 konstruktion testades, se tabell 12 för hur de var konstruerade.

Dörr	Ytskikt	Papper	Rambredd	Boardskivor	Absorbent	Plåt
Provdörr	HDF 4mm	X	40 mm	HDF 5*3,2mm	Por.board 15 mm	
VD9	HDF 4mm	X	110 mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board 15mm	2*0,7mm
VD13	HDF 4mm	X	110 mm	6*3mm HDF	Linspånskiva 31,4 mm >330kg/m ³	2*0,7mm

Tabell 12. Konstruktionsbeskrivning av Provdörr, VD9 och VD13.

Misstankar finns att en stor andel ramvirke leder till att reduktionstalet påverkas negativt. Som det gick att läsa i teorikapitlet kan en del av ljudet passera genom dörren via ramen utan att passera fyllningen. Ju större andel ram desto sämre borde det vara. Konstruktionen med den tunna ramen kallas provdörr, den saknade stålplåtar och vägde betydligt mindre än original VD9 konstruktionen.

Själva mätningarna går till så att man via en högtalare i det ena rummet sänder ut ett brus. För att mätningarna ska bli riktigt tillförlitliga ska ljudfältet i detta rum bli diffust. På andra sidan dörren mäts nu ljudintensiteten i nedan beskrivet rutmönster. Mätningarna gjordes nära dörren (5-10 cm avstånd) i ett rutmönster (6*13 mätpunkter) se figur 19 till 21. Ju tätare rutmönster desto bättre "bild" får man av ljudutstrålningen men den blir mer tidskrävande. Springan mellan dörrbladet och karmen tejpades på mottagarsidan med silvertejp.

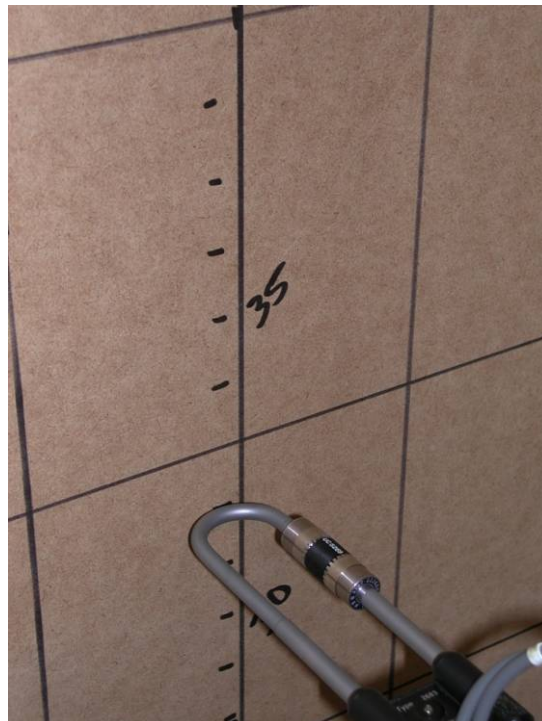


Figur 19. Ritning av rutmönster.



Figur 20. Ljudintensitetsmätning

Ljudintensiteten mättes även med kortare intervall från botten på dörrbladet till mitten. Detta för att tydligare se om det finns några skillnader i ljudutstrålning mellan ram och fyllning.



Figur 21. Ljudintensitetsmätningar, ram till mitten.

Mätningar av ljudnivåer gjordes för att se hur den modifierade ramen påverkade reduktionstalet. Det går inte att få ett helt korrekt R_w värde i och med att omständigheterna

inte är ideala, men tanken var att kunna använda mätvärdena som jämförelser mellan de olika konstruktionerna.



Figur 22. Ljudintensitetsmätning, VD13.



Figur 23. Ljudnivåmätning

<http://sv.wikipedia.org/wiki/Ljud> Utifrån dessa mätningar kan man sedan beräkna ljudkartorna. Det som fås fram är vilka delar/partier av dörren som strålar ljud vid olika frekvenser. Detta kan sedan ligga till grund för ett fortsatt arbete för att förbättra dörrarna då man mera exakt vet var problemet är.

5.2 Resultat

Ljudtrycksnivån i sändarrummet respektive mottagarrummet för de olika dörrarna visas i tabell 13. Alla tersband gick tyvärr inte att få fram då ljudintensitetsmätaren gått sönder och lagrade data gått förlorade. Vid jämförelse av ljudintensitetskartorna är det viktigt att komma ihåg att ljudnivån i sändarrummet inte är konstant. Redovisade data i tabell 13 är de värden som skrevs upp på plats i samband med att mätningarna gjordes. Mätningarna i mottagarrummet är medelvärden av 3 positioner medan värdena för sändarrummet endast är för en position och är därför inte lika säkra. Ju lägre ljudtrycksnivå i mottagarrummet desto bättre ljudisolerar dörrkonstruktionen. I tabellen kan man se att provdörren med smalare ram trots sin lägre vikt och enkla konstruktion inte är sämre än VD9. Precis som väntat är VD13 bäst.

Tersband		Nivå sändarrum		Nivå mottagarrum
		Provdörr	VD9	VD13
125 Hz	80 dB	52 dB	52 dB	51 dB
160 Hz				
200 Hz				
250 Hz	82 dB	53 dB	52 dB	49 dB

315 Hz
400 Hz
500 Hz 89 dB 52 dB 54 dB 50 dB
630 Hz
800 Hz
1000 Hz 85 dB 44 dB 43 dB 41 dB
1250 Hz
1600 Hz
2000 Hz 90 dB 43 dB 45 dB 39 dB
2500 Hz
3150 Hz
4000 Hz 84 dB 31 dB 33 dB 31 dB
5000 Hz
6300 Hz
8000 Hz 62 dB 13 dB 14 dB <10 dB

Tabell 13. Ljudtrycknivåmätningar

Ljudintensitetskartorna i bilagorna 4 och 5 visar hur mycket ljud som respektive dörrkonstruktion släpper igenom (strålar) vid olika frekvenser. Ljudintensitetsnivån redovisas med hjälp av färgskalan som finns till höger om ljudkartorna. I kartorna finns även isolinjer inritade som motsvarar 1 dBs steg. Kartorna visar vilka delar av dörren som är orsakerna till det ljud dörren släpper igenom vid de olika frekvenserna. De vita fält som syns i flertalet av kartorna betyder att ljudintensitetsnivån i dessa områden är lägre än det lägsta värdet på färgskalan, som visar nivån. För varje dörrkonstruktion framtog ett tersband från 100 Hz till 10 KHz. Den inritade svarta ramen motsvarar själva dörrbladet. På grund av utformningen av dörröppningen var det inte möjligt att mäta lika nära övre kanten på dörren som från underkanten. För varje dörr redovisas två omgångar ljudintensitetskarter. I bilaga 4 har alla kartor skalan 30-60 dB. Dessa kartor är bra att använda när man vill jämföra de olika dörrkonstruktionerna, eftersom alla kartor har samma skala går det att jämföra färgerna mellan dörrarna. Nackdelen med att ha samma skala är att vid vissa frekvenser består kartorna av många vita hål och ingen uppfattning fås om hur de olika delarna på dörren strålar ljud. För att kunna få en bättre uppfattning skapades en omgång med ljudkartor med olika skala.

I bilaga 5 har kartorna olika skala för att ge maximal dynamik i kartorna. I dessa kartor kan rött i ett fall motsvara 60 dB och för en annan karta 40 dB. Nivåskalan har anpassats så att maxnivån i figuren (avrundat till närmaste större 5-tal) stämmer överens med maxvärdet på färgskalan. Alla nivåskalor har fortfarande spannet 30 dB, men en karta kan ha skalan 25-55 dB medan en annan karta har skalan 10-40 dB. Kartorna med olika skala ger bättre information för en given frekvens men blir samtidigt svårare att använda för att jämföra de olika dörrarna.

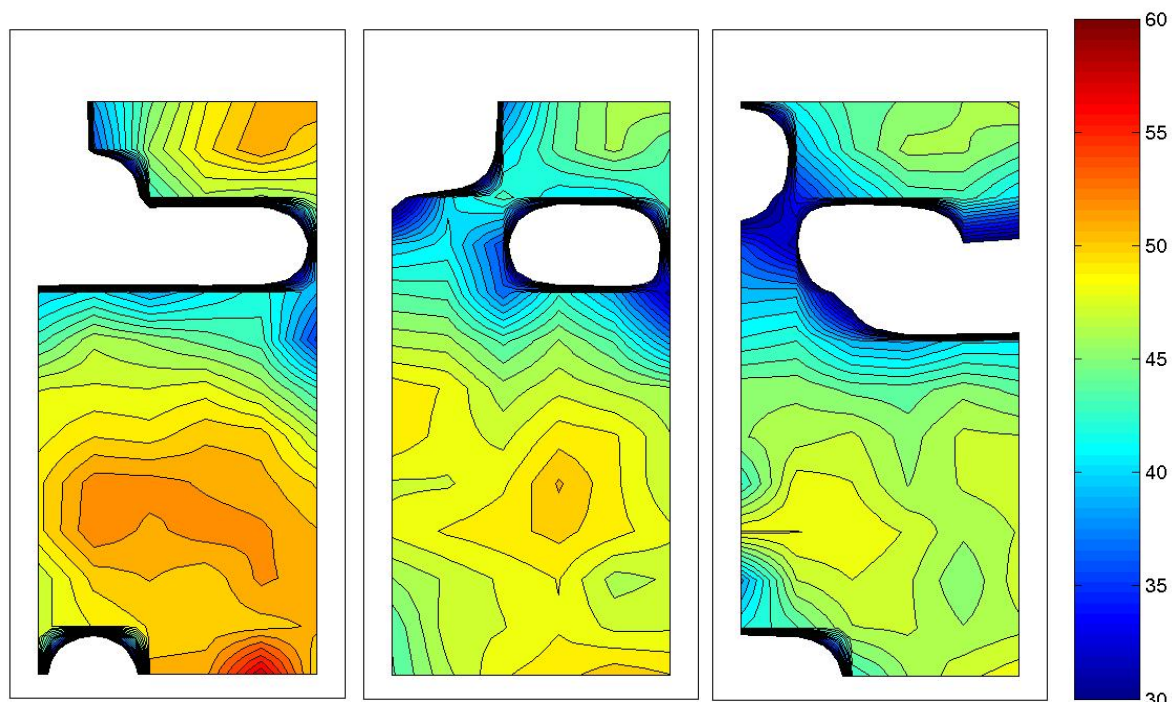
Som det framgick av tabell 13 så var nivån i sändarrummet inte konstant för de olika frekvenserna. Det är viktigt att komma ihåg att det inte är helt korrekt att jämföra de olika tersbanden rakt av. Detta pga. att det saknades information om ljudnivån för många av tersbanden som i sin tur ledde till att det inte var möjligt att anpassa ljudkartorna så att alla frekvenser hade samma ljudnivå i sändarrummet. Jämförs exempelvis tersbanden 100Hz och

200Hz verkar det som om dörrarna är mycket bättre vid den lägre frekvensen. Detta är inte helt sant utan beror förmodligen till största del på att ljudnivån i sändarrummet var lägre vid 100Hz än vid 200Hz. Eftersom nivån för frekvensområdet 400-4000 var ungefär densamma går det att jämföra intensitetsnivåerna direkt mellan dessa frekvenser. Under 400 Hz var nivån i sändarrummet lite lägre och över 4000 Hz mycket lägre. Vid jämförelser mellan de olika frekvenserna måste hänsyn tas till nivåskillnaderna i sändarrummet.

Mätningarna längs linjen (figur 21), från ramträet till mitten på dörren gav ingen mer information när det gäller betydelsen av ramens tjocklek.

Frekvensområdet upp till 400 Hz

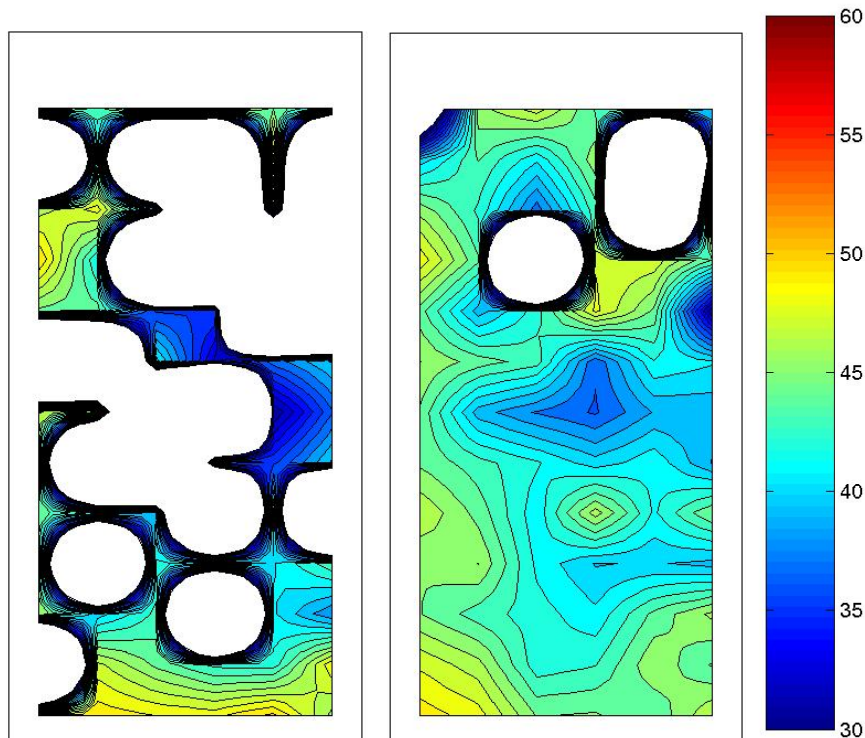
I detta område kan man anta att ljuddämpningen till största delen påverkas av dörrens vikt, vilket också syns tydligt när man jämför samma frekvens för provdörren, VD9 och VD13. Som exempel används tersband 160 Hz, se figur 24. För provdörren dominerar ljudstrålningen av ett område på dörrens nedre halva (ca 53 dB), samma område på VD9 är mindre och med lägre toppvärde (mindre rött). Motsvarande område hos VD13 som är en mycket tyngre och tjockare dörr har lägre nivå, ca 48 dB. Samma tendens gäller för alla tersband i detta frekvensområde. För att öka ljudisoleringen i frekvensområdet 100 Hz till 400 Hz krävs mera vikt och att undvika att koincidensfrekvensen hamnar här.



Figur 24. Intensitetskartor för tersband 160 Hz, från vänster provdörren, VD9 och VD13.

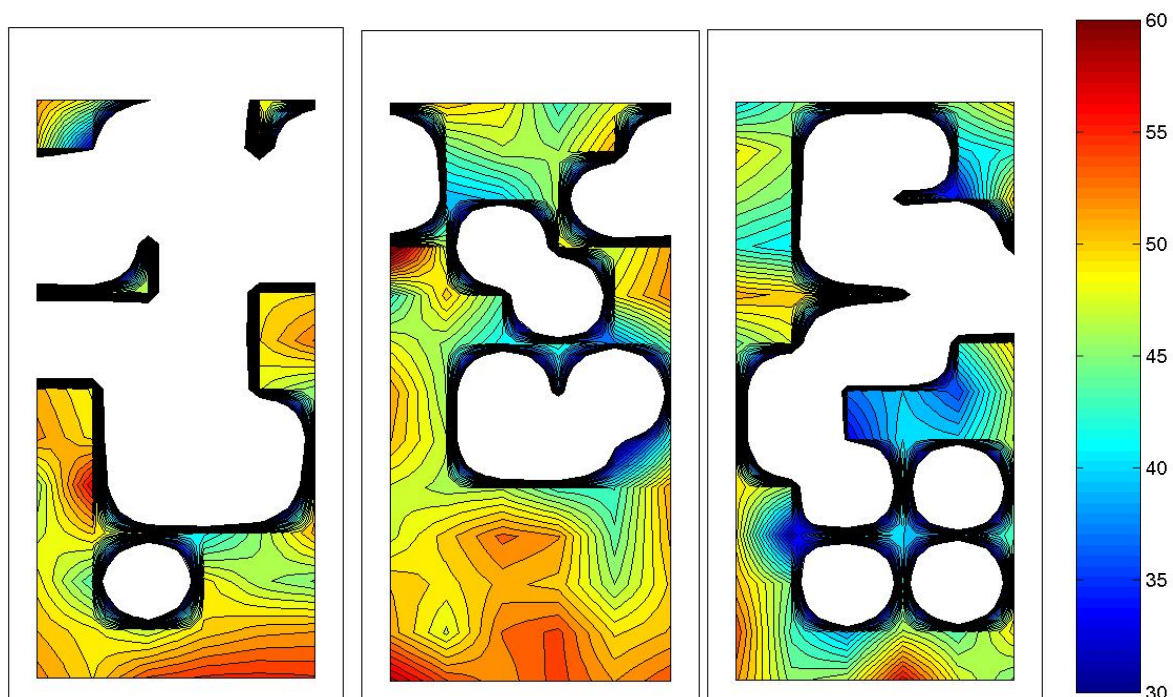
Frekvensområde 400-3150 Hz

För någon av dörrarna kan resonanser och koincidensfrekvensen misstänkas hamna i detta frekvensområde och visar sig då i form av kraftiga röda fält (hög ljudintensitet dvs. att dörren släpper igenom mycket ljud). Massan hos dörren är inte lika avgörande i detta frekvensområde, vilket syns tydligt vid en jämförelse mellan provdörr och VD9. För exempelvis 1000 och 1250 Hz är ljudintensiteten högre för VD9 än för provdörren, se figur 25.



Figur 25. Intensitetskartor för tersband 1000 Hz, från vänster provdörren och VD9.

Problemen finns framförallt i dörrarnas nedre kant och i viss mån längs kanterna. Figur 26 visar ett exempel på de tre dörrarna vid tersbandet 500Hz, samma skala. De vita områdena hamnar framförallt i mitten, d.v.s. där fyllningen är.



Figur 26. Intensitetskartor för tersband 500 Hz, från vänster provdörr, VD9 och VD13.

Generellt är nivåerna längs dörrbladets kanter lägre för provdörren än för VD9 vilket skulle kunna tyda på att den tunnare ramen är att föredra, se bilagorna. VD13 har minst problem med ljud längs kanterna, vilket har flera förklaringar. VD13 är tyngre, tjockare och stabilare

vilket gör denna konstruktion mindre känslig. Ju tjockare själva dörrbladet är, desto mindre känsligt är ramens inverkan på reduktionstalet.

Dörrens nedre del tycks vara det största problemet och en bidragande orsak borde vara tätningen mellan tröskeln och dörrbladet. Kanterna verkar vara generellt sämre än mittendelarna på dörrarna, vilket kan innebära att ramen är sämre på att isolera än fyllningen. På grund av att det inte gick att komma åt att mäta längs dörrbladets övre kant, går det inte att dra några slutsatser utifrån denna del av dörren.

Över 3150 Hz

Detta frekvensområde är det område som dörrarna tycks ha minst problem med och är inte med beräkningen av en dörrs reduktionstal. Därför behövs ingen större fokus på detta frekvensområde.

Sammanfattning

Jämförelserna av de olika ljudnivåmätningarna visade att provdörren med smalare ram trots sin lägre vikt och enklare konstruktion inte var sämre på att reducera ljud än en standard VD9 konstruktion. Ljudintensitetskartorna visar att en mer ljud läker ut vid kanterna än mitten på dörrbladet. Frågan är om det beror på träramen i dörrbladet, tätningen eller själva karmen. Nedre regionen av dörrkonstruktionerna var den känsligaste delen, troligtvis beror detta på tätningen mellan tröskel och dörrblad, alternativt att det är själva tröskeln som är dålig. Det gick inte att se om övergången mellan fyllning och karm påverkar ljudisoleringen.

6. Material

Här följer en studie av tänkbara ljudisolerande material som kan användas i den nya konstruktionen. De är indelade i undergrupperna; ram, ljudbarriär, ljuddämpare samt absorber. För att bestämma vilka material som kan vara att föredra nyttjades information från de olika leverantörerna och de tidigare ljudprovningarna. Utöver det så användes ekvationen för masslagen och för koincidensfrekvens för att veta vilka ljudbarriärer som är bäst med hänsyn till den teori som finns tillgänglig.

6.1 Ram

Idag används uteslutande massiv gran eller furu för ramkonstruktionen och för tillfället finns ingen anledning att omvärdera det. Furu och gran är det som finns att tillgå till ett överenskomligt pris. Det som kan vara fördelaktigt för reduktionstalet är att minska ner ramdimensionen, se beräkningar i kapitel 6.5.

6.2 Ljudbarriär/stomme

Boardskivor

Tillverkas av träflis eller spån. Träets naturliga bindemedel lignin fungerar som lim. Hårdboard (HDF- Hard Density Fiberboard) är en kompakt skiva med god hållbarhet. Den har en densitet mellan 850-1050 kg/m³. MDF- Medium Density Fiberboard är en medelhård träfiberskiva med en densitet på 600-850kg/m³. (Elektronisk referens [5])



Figur 27. HDF/MDF-skiva. (Elektronisk referens [5])

HDF/MDF skivor används i alla typgodkända VD9/VD95 och VD13/VD53 dörrar. Det är fördelaktigt att använda som ytskikt eftersom det finns att få i tunna tjocklekar och har en helt slät yta som är lätt att måla utan underarbete.

Spånskiva

Spånskivan är ett skivmaterial som består av träspån och lim sammanpressade under värmetillförsel och relativt högt tryck. Ett vanligt och förhållandevis billigt universalmaterial, som används vid t.ex. husbyggen. Om spånplattor ska användas som ljudbarriär bör densiteten vara > 500kg/m³ för att undvika att ljudet går rakt igenom dörren. Materialet är enkelt att arbeta med och kräver lite eller ingen putsning. (Saarman 1992)

Sauerland spånskiva

Sauerland Spanplatte är ett företag som specialiserat sig på att tillverka spånskivor för dörrtillverkare. Företaget bedriver egen forskning för att kunna få fram bra spånskivor för olika ändamål, däribland ljud. Skillnaden mellan en Sauerland spånskiva och en vanlig

byggspånskiva är att Sauerland skivan är mer flexibel och träspåna är orienterade så att ljudet kommer att gå tvärs träspåna. (Elektronisk referens [6])



Figur 28. Sauerland spånskiva VL, massiv. (Elektronisk referens [6])

Skivan är avsevärt dyrare än en vanlig spånskiva och ingen återförsäljare finns i Sverige. Vid tidigare tester av denna skiva klarade inte VD9 konstruktionen ljudkravet. Konstruktionen hade en stomme som bestod av Sauerland spånskiva 3*VL, se figur 29 nedan. Enligt leverantören ska det vara fullt möjligt att uppnå ljudkravet 35 dB med den begränsade tjockleken 40mm. Orsaken till att ljudkravet inte uppnåddes i tidigare tester är med största sannolikhet den breda ramen. I testerna som Sauerland Spanplatte gjort i sitt eget laboratorium har ramträ mycket mindre dimension.



Figur 29. Sauerland spånskiva 3*VL. (Elektronisk referens [6])

Plywood

Plywood är ett allmänt namn för skivor som har krysslimmats, det är ett skiktmaterial som består av hoplimmade fanér. Som träslag används oftast furu eller gran. I förhållande till sin vikt har plywood hög hållfasthet och styvhet. (Saarman 1992).

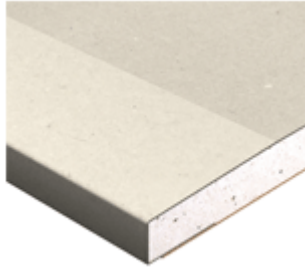


Figur 30. Plywood (Elektronisk referens [7])

Gips

Gipsskivor används i stor omfattning vid byggandet av ljudisolerande väggar. På leverantörernas Gyprocs och Norgips hemsidor går det att läsa att gipsskivor är ett bra val när det gäller såväl brand och ljud. Vid de två tidigare provningarna hade VD9 konstruktionerna endast en gipsskiva med tjockleken 13 mm och som absorberant användes porös board med densitet omkring 300 kg/m^3 . Vikten blev låg samtidigt som absorberanten var direkt mot ytskivan vilket enligt utredningen av de tidigare provningarna visat påverka reduktionstalet

negativt. Vid nya tester bör minst två gipsskivor användas. Norgrips har rekommendationer på att väggen ska ha en tjocklek på minst 70 mm för att klara ljudklassen 35-40 dB. Som absorberent rekommenderar de mineralull. Av det här att döma är det svårt att med enbart gipsskivor och en absorberent klara av ljudklassen 35 dB och samtidigt behålla tjockleken 40mm. Vid telefonkontakt med kundsupporten för Norgrips framkom det att det finns speciella akustikskivor som har en tjocklek på 6,5 mm. Vidare framgick det att så vitt de visste har de aldrig gjorts några tester med gips i ljudisolerade dörrar.



Figur 31. Gipsskiva (Elektronisk referens ([8]))

Isolermatta

Kan användas både som ljudbarriär och vibrationsdämpare. Den stora fördelen med att ljuddämpa med gummibaserade material är att det är tungt men samtidigt väldigt mjukt, d.v.s. låg styvhet. Som det framkom i analysen i kapitel 5 har det endast testats en gång tidigare. Provdörren hade en gummimatta med tjockleken 3,2 mm mellan två plåtar. Detta ledde inte till någon förbättring av R_w . Det är dock svårt att dra någon slutsats ur en enda provning. Många material som är gummibaserade är inte bra ur brandsynpunkt. Isolermattor (asfaltmattor, bitumenmattor) finns att få i många olika utföranden och har varierande densitet. De flesta isolermattor som finns på marknaden idag är självhäftande men pga. den stora tyngden behövs ofta också en mekanisk fastsättning. För en tillräcklig ljudisolering krävs oftast även en ljudabsorbent utanpå asfaltmattan. Detta för att gummit först suger åt sig ljudet och att det som ändå går igenom stoppas av ljudabsorbenten. Användningsområde idag är främst ljuddämpning av fordon (Elektronisk referens [9]).



Figur 32. Gummibaserad isolermatta (Elektronisk referens [8])

Gummikork

Det här materialet är framtaget för att användas i sandwich konstruktioner. Blandningen av kork och gummi är bra ur ljudisoleringssynpunkt, eftersom den kombinerar elasticiteten hos kork samtidigt som den är stabil och tung tack vare gummits egenskaper. Skivorna går att få i densitets intervall $635\text{--}890\text{ kg/m}^3$. (Elektronisk referens [10])



Figur 33. Gummikork (Elektronisk referens [10])

Aluminium

Används främst i ytterdörrarna som ett klimatskikt. I tidigare provningar har det visat sig att det är bättre att ha plåt än att ha aluminium med avseende på R_w värdet. Det beror främst på att aluminium har lägre densitet än plåt.

Stålplåt

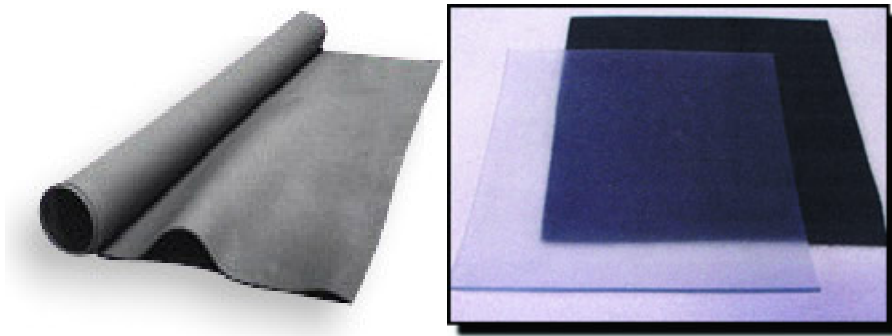
Stålplåt har hög densitet och bidrar därför till att öka massan och därmed även ljudisoleringen. Tack vare att det räcker med små tjocklekar har plåten trots den höga densiteten relativt låg böjstyvhet. Som det framgick i kapitel fem innehöll alla VD13/VD53 konstruktioner som klarade ljudkravet 40 dB stålplåt. Nackdelen är att plåt är dyrt, i t.ex. den typgodkända VD9 dörren står de två tunna plåten för 2/5 av den totala materialkostnaden. Ur bearbetningssynpunkt vore det bättre om stålplåt kunde undvikas. Om dörren exempelvis ska ha ett titthål krävs det att ett hål görs i stålplåten innan dörren limmas ihop. Det går inte att borra ett hål genom hela dörren när det finns stålplåt i den.

Bly

Bly användes tidigare som ljudbarriär i några av Doria Vännäs dörrar. pga. miljöskäl används det dock inte idag. Bly är ett mjukt material med mycket hög densitet och har tack vare det bra ljudisolerande förmåga.

MLV mass-loaded-vinyl

En vinylförening är alla organiska föreningar som innehåller en vinyl-grupp, $-\text{CH}=\text{CH}_2$. I USA är vinyl synonymt med PVC, polyvinyl klorid. Vinyl är världens mest mångsidiga plast. Mass loaded vinyl är en polymer med tillsatser av tunga metaller, det är ett bra material ur brandsynpunkt. (Elektronisk referens [11]) I USA är MLV vida känt som en utomordentlig ljudbarriär. Enligt informationen som finns tillgänglig är MLV en minst lika bra ljudbarriär som bly, detta tack vare den flexibiliteten i kombination med den höga densiteten. Hos de flesta leverantörer är det möjligt att få materialet i tjocklekarna 3mm respektive 6mm. Efter kontakt med Plastinformationsrådet i Sverige framkom det att de inte kände till materialet. Priset och tillgängligheten att få tag på material är två argument som talar emot MLV. Enligt de olika leverantörernas hemsidor ligger priset på ca 85 kr/m² vilket innebär att en skiva på 1*2 m skulle kosta 170 kr. (Elektronisk referens [12]) Jämförs priset med plåt är det nästan dubbelt så dyrt. Till detta tillkommer fraktkostnader. Den närmaste återförsäljaren finns i Storbritannien.



Figur 34. Mass loaded vinyl (Elektronisk referens [13] och [14])

Laminerat glas

Laminerat glas består av två glasskivor som är hoplimmade med en folie mellan. Ljudet reduceras genom att det flexibla mellanliggande foliet av PVC, polyvinyl butyral förvandlar en del av ljudet till värme. Vid ett tidigare test med laminerat glas gav det ett mycket sämre R_w värde än väntat. Orsaken tros vara att det inte fungerar i kombination med träskivorna. Även om det skulle vara möjligt att få en tillräckligt god ljudisolering är det inte möjligt ur den ekonomiska aspekten. En kvadratmeter laminerat glas ligger på ca 1500 kr/m².

6.3 Vibrationsdämpning

Ljuddämpning bidrar till ljudisoleringsförmågan på två sätt. Den reducerar resonans problemen genom att öka elasticiteten och den reducerar konstruktionens förmåga att introducera vibrationer.

Gummi

Se gummi avsnittet under ljudbarriärer för mer information.

Dämplim

Ett effektivt sätt att reducera vibrationer är att använda sig av lager-dämpning-lager system. I sådana konstruktioner läggs ett viskoelastiskt lager mellan två stela skivor. Viskoelastisk dämpning av resonanta vibrationer i skivmaterial såsom plywood-, gips- och spånskivor, ger en högre förlustfaktor för den färdiga produkten. Enligt leverantörerna ska användningsområdet vara brett. Som exempel nämns stomljuddämpning av golv i bussar, förbättring av reduktionstal för dörrar, motorrumsluckor, förbättrad stegljudsdämpning i bjälklag och trappor. (Elektronisk referens [9]) Nackdelen med att använda sig av dämplim är kostnaden samt att ett lämpligt sätt att tillverka sandwichkonstruktioner måste utvecklas. Enligt tillverkaren Swedac är åtgången av limmet 1 kg/m². Vid inköp av större mängder (155 kg och uppåt) hamnar kostnaden på 50 kr/kg. (Mailkontakt [3])



Figur 35. Dämplim DGA2.(Elektronisk referens [9])

6.4 Absorbenter

Linspånplattor

Idag har en stor del av Dooria Vännäs ljudisolerade dörrar linspånskivor som absorbenter. De är lätta att bearbeta, billiga och är bra ur brandsynpunkt. Eftersom densiteten ligger på ca 330kg/m^3 är materialet för kompakt för att kunna fungera som absorbent i en dubbelkonstruktion.

Porösa träfiberskivor

Hit räknas de träfiberskivor som har en densitet på ca 300 kg/m^3 . Ingår i grundkonstruktionen av VD9:an. Ett problem med detta porösa material är att densiteten och dimensionen är svår att hålla konstant. Om man tar en skiva längst upp från en pall och en som ligger längst ner kommer de mest troligtvis att ha olika egenskaper. Detta pga. skivorna längst ner har blivit ihop tryckta med en ökad densitet och lägre porositet som följd. Det krävs en hel del putsning för att få fram rätt tjocklek. Även för denna absorbent är densiteten för hög för att kunna skapa en dubbelkonstruktion.



Figur 36. Porös träfiberskiva (Elektronisk referens [5])

Mineralull

Mineralull är en gemensam beteckning för glasull och stenull. Materialet tillverkas av mineraliska råvaror (sten, sand etc.), som smälts och spinns till fibrer. Mineralull har goda ljudegenskaper samtidigt som det är fördelaktigt ur brandsynpunkt. Ljudabsorptionen är dock beroende av tjockleken hos isolerprodukten. (Elektronisk referens [15]) I dörrar speciellt för VD9 konstruktionen är tjockleken mycket begränsad. Om utrymmet inte tillåter en tjock absorbent är det därför bättre att välja en absorbent med högt strömningsmotstånd. Material med låg densitet har generellt sett lägre strömningsmotstånd än material med hög densitet. I VD13/VD53 konstruktionen kan det vara möjligt att uppnå ljudkravet 40 dB med mineralull som ljudabsorbent. Detta tack vare att dörren har större tjocklek. Om mineralull skall användas som ljudabsorbent bör valet falla på stenull eftersom den är bättre än glasull ur brandsynpunkt. Mineralull kan klia vid hudkontakt och Kemikalieinspektionen har därför

klassificerat fibrerna som irriterande för huden. Mineralull är inte hälsofarligt men bör enligt leverantörerna hanteras efter speciella föreskrifter. (Mailkontakt [2])

Kork (densitet ca 200kg/m³)

Kork är ett material bestående av korkekens bark. Analysen av tidigare provningar där kork varit en absorbent visade att det inte gick att dra några slutsatser. Detta berodde dels på att det var väldigt få fall och att flera faktorer varierades samtidigt. Kork är ett brännbart material och är därför inte optimalt att användas i konstruktioner som har brandkrav. (Elektronisk referens [16])

Skumplastmaterial

Ljudabsorptionen är bland annat beroende av att porerna är sammanbundna med varandra så att de är åtkomliga för det infallande ljudet. I skumplastmaterial är porerna mer isolerade från varandra än hos naturliga fibermaterial. Många plastmaterial är dåliga ur brandsynpunkt. (Andersson Johnny 1998). Det finns många leverantörer av luftljudsabsorbenter i skumplastmaterial. Huvudsakliga användningsområdet är fordon, maskiner och andra utrymmen där krav på olje- och vattentäthet erfordras. Prismässigt mycket dyrare än exempelvis porösa träfiberskivor. Enligt leverantörerna Swedac och Sontech är det möjligt att få luftljudsabsorbenter i skumplast som är brandsäkra och har mycket god luftljudsabsorption. (Elektronisk referens [9] och [17]) Blandskum (bonded foam) har testats i två VD9:or tidigare. Ena gången med mycket bra resultat, andra gången ingen förbättring (se kapitel 5). Det är ett skum som smälts ihop av flera olika skum med olika densitet till ett nytt skum.



Figur 37. Skummad polyuretanplast (Elektronisk referens [17])

Textiler

Används främst som ljudabsorbent där det finns krav på den estetiska biten, ex att minska ekot i en lokal genom att tillsätta textilmattor på väggarna. Eftersom absorbenten i det här fallet ska vara inne i konstruktionen finns det ingen anledning att betala mer för ett mer estetiskt tilltalande yttre.

6.5 Materialval

Den viktigaste egenskapen hos materialet i detta fall är förstås att den ska kunna tänkas klara av ljudkravet när den används i konstruktionen. För att få mer information om det beräknades R_w (enligt ekvation 4.11) samt koincidensfrekvensen (enligt ekvation 4.13) för ljudbarriärerna och ramträ, se tabell.

Det är viktigt att komma ihåg att det endast är en överslagsberäkning eftersom det inte går att säga hur konstruktionen i sig kommer att fungera. Det är mycket komplicerat att räkna ut koincidensfrekvensen för dörrkonstruktioner som har flera lager med olika material, men genom att använda nedanstående samband kan man få indikationer på vilka material som är att föredra. Värden för densitet och elasticitetsmodul som ligger till grund för beräkningarna är hämtade dels från bilaga 1 samt från leverantörerna av de olika materialen. I bilaga 1

varierar elasticitetsmodulen för många av materialen. Det som användes vid dessa beräkningar är ett medelvärde. För laminerat glas finns det totala R_w värden beroende på glastyp och tjocklek och är därför inte med i beräkningarna. Med tanke på priset är inte laminerat glas ett aktuellt alternativ.

Material	Densitet (kg/m^3)	Tjocklek (mm)	R_w	Koincidens- frekvens
HDF	900	3	13,8	7587
HDF	900	5*3	28,5	16963
HDF	900	15	28,5	1517
MDF	700	3	11,5	9732
Spånskiva	600	10	21	3343
Plywood	540	10	20,1	1552
Gips	700	10	22,5	2814
Gummi	2100	3	-	-
Gummikork	635	3	10,6	180291
Gummikork	966	3	14,4	129506
Aluminium	2700	1	13,8	12609
Bly	11000	1	26,6	50534
Plåt	7800	1	23,5	12588
MLV	1600	3	21,5	731526
Furu, längs fibrerna	470	31,4	9,1	130
Furu, tvärs fibrerna	470	31,4	9,1	911

Tabell 14. Teoretiska R_w värden och koincidensfrekvenser för olika ljudbarriärer.

Tjockleken för varje enskilt material i tabellen ovan, är vald efter vilken tjocklek som förväntas användas ifall materialet skulle ingå i en konstruktion. De tre första raderna visar fördelen av att ha flera, tunna lager jämfört med att ha ett lager. 3 mm HDF- och MDF skivor har relativt lågt R_w men koincidensfrekvensen hamnar högt. VD9:an som är godkänd består av bland annat 5 st hårdträfiber skivor (total tjocklek HDF/MDF skivor ca 15 mm) vilket ökar både R_w och koincidensfrekvensen avsevärt jämfört med enbart en 3 mm HDF-skiva. Används endast en skiva med tjockleken 15 mm blir reduktionstalet densamma men koincidensfrekvensen hamnar längre ner.

Plywood är det sämst lämpade materialet, R_w blev lågt samtidigt som koincidensfrekvensen hamnade långt nere. Gipsskivor har lite bättre R_w -värde än spånplattor, men koincidensfrekvensen hamnar lite lägre.

Beräkningarna bekräftar att aluminium är det sämsta alternativet när det gäller att öka massan för att ge en ökning av R_w och samtidigt höja koincidensfrekvensen. MLV har överlägset högsta koincidensfrekvensen men pga. den lägre densiteten är R_w lägre än för plåt och bly. Gummikorken har mycket låg styvhet men samtidigt relativt lågt reduktionstal.

Ramträ har lågt reduktionstal och koincidensfrekvensen hamnar extremt långt nere. Det här visar att det kan vara fördelaktigt att minska ner dörrbladets ram för att på sätt reducera ramens påverkan på reduktionstalet.

Enligt teorin är viskoelastiska material de bästa vibrationsdämparna, därför är dämplim mer intressant att testa än gummi.

Av absorbenterna kan kork, skumplast och textilier misstänkas ha låg brandsäkerhet samtidigt som priset är högre än för porösa träfiberskivor. Mineralull kan tänkas kunna fungera bra om man lyckas med att ta fram ett dörrblad som fungerar som en dubbelkonstruktion.

6.6 Ljudisolerande dörrar på marknaden

Här nedan följer en redovisning över de konkurrenter som har likvärdiga ljudisolerande dörrar. Med likvärdiga konstruktioner menas att de klarar av samma ljudklass och har samma tjocklek.

6.6.1 Rw 35 dB

Daloc har Skandinaviens bredaste sortiment av ljuddörrar. T25 är en konstruktion som är likvärdig med VD9/VD95. Dörrbladet är 41 mm tjockt och består av massiv spånskiva med träram runt om. Enligt produktbladet som finns tillgängligt på Dalocs hemsida passar T25 för utrymmen där kravet på ljudklassning är högt samtidigt som dörren måste vara brandskyddad. Den används precis som VD9/VD95 som innerdörr i offentliga miljöer som t.ex. skolor, kontor på sjukhus och vårdcentraler. Vikten är 55kg för en dörr i storlek 10*21, d.v.s. areamassan är ca 29,2 kg/m².



Figur 38. T25 konstruktion, Daloc.(Elektronisk referens [18])

Nordic Dörrfabrik AB har även de en dörrkonstruktion i ljudklassen Rw 35 dB samtidigt som tjockleken är begränsad till 40 mm. På företagets hemsida framgår det dock inte vad dörren är uppbyggd av. Det finns flera tillverkare av ljuddörrar som kan erbjuda dörrar i ljudklassen Rw 35 dB, men i de fallen är tjockleken >45 mm.

6.6.2 Rw 40 dB

Det finns endast en tillverkare i Sverige som kan tillhandahålla dörrar med tjocklek ca 60 mm och samtidigt uppfylla ljudkravet på 40 dB. Daloc tillverkar 6 olika dörrkonstruktioner som klarar av ljudklassen. Dörrbladet för alla sex dörrarna är 58 mm tjockt, med tjock överfals och består av 1 mm stålplåt med hellånga dolda kantprofiler och isolering av mineralull. Sammanfogning sker genom limning och nitning. Dörren fungerar förmodligen som en dubbelkonstruktion. Dörrarna väger mellan 75 och 115 kg beroende på vilken säkerhetsklass dörren tillhör. Figur nedan visar två exempel på Dalocs Rw 40 dörrar.

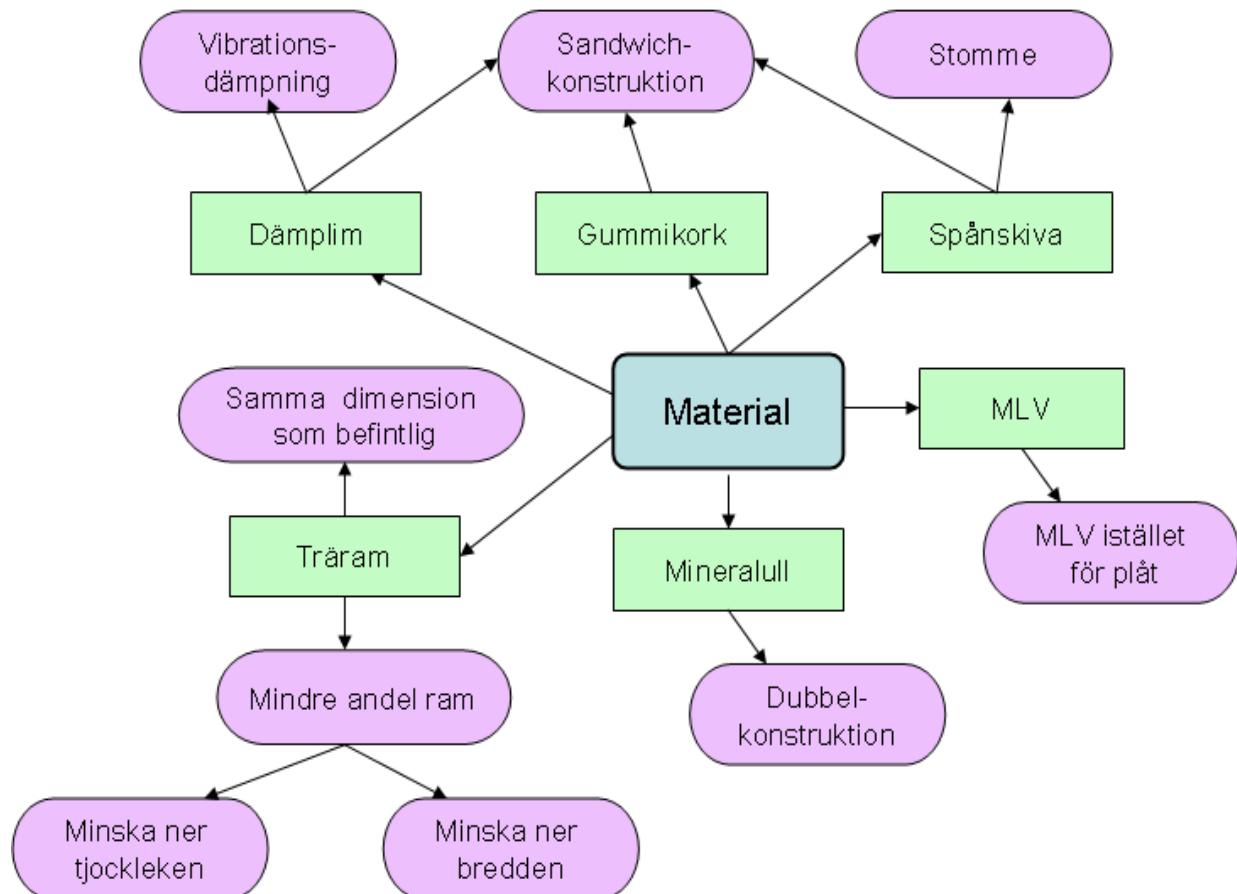


Figur 39. Branddörr S30 och säkerhetsdörr S63.(Elektronisk referens [18])

7. Ny konstruktion

7.1 Konceptgenerering

Vid det här laget har tillräckligt med kunskap och information insamlats för att kunna ta fram förslag till konstruktioner. För att få en överblick över vilka konstruktioner och material som är intressanta sammanställdes förslag i en tankekarta. Den läses inifrån och ut, dvs. med början i material.



Figur 40. Karta över tankegångar vid framtagande av förslag till konstruktioner.

7.2 Konceptval

Efter framtagande av de olika förslagen hölls ett möte med ledningsgruppen på Dooria Vännäs. Syftet var främst att diskutera förslagets för- och nackdelar samt att få respons på det hittills utförda arbetet. Efter mötet kunde åsikterna om de olika förslagen sammanfattas i tabell nedan.

Förslag	Kommentar/Omdöme
MLV	Bra ljudbarriär men dyr och svår att få tag i. Inga tillverkare eller leverantörer finns i Sverige. Ytterligare ett frågetecken är hur materialet ska fästas i de övriga lagren. Mest troligt bättre ljudbarriär än plåt.

Spånskivor densitet >500kg/m ³	Doorria Vännäs har inte provat någon konstruktion med stomme bestående av spånskivor med hög densitet. Stor risk att spånskivorna är för kompakta vilket innebär att de blir för styva och leder till att koincidensfrekvensen hamnar lågt. Det krävs flera lager av spånskivor för att ha en teoretisk chans att klara av ljudklassen. Spånskivor finns i tjocklekarna 6, 10, 12 16 och uppåt. Spånskivor är billiga, produktionsvänliga och enkla att anskaffa.
Sauerland spånskiva	Vid tidigare tester fattades det 2 dB från ljudkravet för VD9:an. Vid tillfället användes ramträ med bredden 110 mm. Om ramträet minskas ned kan det vara möjligt att klara av ljudklassen, även med bibehållen tjocklek. Troligtvis bättre än vanlig spånskiva.
Gipsskiva	Enligt beräkningarna i kapitel 7 är gipsskivor likvärdiga med spånskivor när det gäller ljudisolering. Bearbetningen innebär att det dammar mycket varför valet föll på spånskivor.
Gummikork	Har inte testats tidigare. Produktionsvänligt, ganska dyrt material.
Dämplim	Har inte testats tidigare. Enligt teorin ska viskoelastisk dämpning kunna fungera på ett mycket tillfredsställande sätt. Komlicerat ur produktionssynpunkt.
Mineralull	VD9 konstruktionen är prioritet ett, där är inte mineralull ett alternativ pga. den begränsade tjockleken på 40 mm. Vid framtagandet av en VD13 konstruktion där mineralull kan tänkas vara ett alternativ, måste en vidare utvärdering angående eventuella hälsorisker göras.
Minskad bredd på ramen	Bör leda till en förbättrad ljudisolering. Enklare att genomföra än förslaget minskad tjocklek på ramen
Minskad tjocklek på ramen	Borde ha positiv inverkan på reduktionstalet. Lite mer krävande ur produktionssynpunkt än att minska bredden på ramen. Leder till problem vid glasning och dragning av el pga. att dimensionen ändras.

Tabell 15. Projektgruppens åsikter om de första material/konstruktions förslagen

Det allra viktigaste med konstruktionen är självklart att den kan tänkas klara av ljudkravet. Alla ovanstående förslag tros kunna uppfylla kravet både för ljud- och brandklassning. Om alla förslag antas vara tillräckligt bra, är det bästa att ta fram en så billig och produktionsvänlig konstruktion som möjligt. Efter mötet beslutades att följande förslag skulle vidareutvecklas: Spånskivor, Sauerland, Dämplim och Minskad tjocklek på ramen då dessa förslag ansågs som de bästa alternativen.

Vid kontakt med Sauerland framkom det att det tyvärr inte var möjligt att få tag på Sauerland spånskivor inom tidsramen för examensarbetet. Företaget var mycket intresserat av att inleda ett samarbete för att på sikt få fram en konstruktion som uppfyller kraven för VD9.

Tidigare ljudprovningar var svåra att analysera pga. att dokumentationen var bristfällig, flera faktorer varierades samtidigt och ibland testades dörrbladen tejpade, ibland otejpade. Det krävs ett strukturerat och målmedvetet arbete för att lyckas utreda vad som påverkar reduktionstalet. För att underlätta utvecklingsarbetet togs en modell fram som med fördel kan användas vid utveckling av nya konstruktioner, se bilaga 6. Vid utförandet av detta examensarbete följdes modellen.

7.2.1 Utvalda dörrkonstruktioner

Dörrbladen tillverkades enligt ritningarna som finns i bilaga 7, i fabriken på Dörria Vännäs. Alla dörrarna har ytskikt av 4mm HDF och papper mellan ytskikt och fyllning.

Konstruktion	Ramträ, bredd	Stomme	Absorbent/Dämpning	Kommentar
VD9-01-001	60 mm, 120mm	5*3,2mm Boardskivor	Porös board	Likvärdig med VD9:an utan plåt. Ska ge svar på frågan hur stor påverkan dimensionen hos ramträ har på reduktionstalet.
VD9-01-002	60 mm,	5*3,2 mm Boardskivor	Porös board	Likvärdig med konstruktion nr 1, men med 60 mm både på lång- och kortsidor. Denna provning görs för att se hur reduktionstalet påverkas av att ta bort extra bredd uppe och nere.
VD9-02-001	60 mm, 120 mm	2*10 mm + 12mm spånskivorna		Ny konstruktion som kan användas som referensobjekt samtidigt som det finns en teoretisk chans att den klarar ljudkravet. Stor risk att dörrbladet blir för styvt.
VD9-02-002	60 mm, 120 mm	3*10 mm	Dämplim	Konstruktion testas för att se vilken påverkan dämpning med ett viskoelastiskt material har på reduktionstalet. Blir den bättre än konstruktion nr 3?
VD9-03-001	60 mm, 120 mm	2*10 mm spånskivorna, 4*3,2mm HDF		En av spånskivorna ersätts med 4 st HDF-skivor för att minska styvheten. Jämförs med konstruktion nr 3.

Tabell 16. Utvalda dörrkonstruktioner

Långsidornas ramträ valdes till 60 mm eftersom det är den minsta praktiskt möjliga dimension som kan användas vid montering av lås och gångjärn. För att kunna montera dörrstängare krävs att ramträet upptill är omkring 100 mm. Genom att ha samma bredd upp- och nertill förenklas produktionen i och med att man slipper ha kontroll vad som är uppe och nere på dörrbladet. Eftersom ramträet på långsidorna är 60 mm är det enklaste att ha dubbla bredder upp och nertill för att kunna använda samma material till hela ramen.

7.3 Kostnadsjämförelse

Det är svårt att ta fram exakta kostnader för de framtagna konstruktionerna eftersom de tillverkades med material som fanns tillgängligt på Dörria Vännäs och sågades/skarvades till passande storlek. Det som går att säga är att den billigaste dörrkonstruktionen är dörren med spånskivor. Det nuvarande typgodkännandet för VD9 är den överlägset dyraste alternativet. Detta beror till störst del på stålplåtarna som ökar kostnaden med ca 200 kr per dörr. Ju färre lager/arbetsmoment desto mer produktionsvänlig är dörren.

8. Resultat från ljudprovningarna

De fem olika dörrbladen testades på SP i Borås, alla med tejping mellan dörrblad och karm. I tabell 18 nedan visas resultaten från provningarna.

Konstruktion	Area-massa	Rw (dB)	Rmedel (dB)	Kommentar
VD9-01-001	25,4	39	36,1	Standard VD9, utan plåt, tunn ram
Tejptätad		37	33,2	
Normalt montage		37	33,6	
Normalt montage + extra list gångjärnssida				
VD9-01-002	24,6	39	35,7	Standard VD9, utan plåt, tunn ram
VD9-02-001	26,7	38	33,9	3*11 mm spånskiva
VD9-02-002	29,1	37	33,6	Som ovan men med dämplim
VD9-03-001	26,5	36	32,6	En av spånskivorna ersatt med två boardskivor

Tabell 17. Ljudprovningar VD9

Konstruktionen VD9-01-001 klarade 39dB och testades därför utan tejptätning. När tejptätningen togs bort klarade dock konstruktionen inte kravet och därför beslutades att testa med D-list. D-listen är en extra list som sätts på gångjärnssidan för att minska ljudläckaget. Trots tillägget av D-list uppfylldes inte ljudkravet. Som det syns av tabell ökade Rmedel med endast 0,4dB. Ljudprovningsskurvorna för VD9-01-001 redovisas i bilaga 8. Den första kurvan är från provningen som var tejptätad och den andra bilagan representerar testet som utfördes utan tejptätning. Jämförs kurvorna ser man att ljudprovningen utan tejptätning har en dal vid cirka 2000 Hz. Dalen är ett typiskt tecken på att läckage mellan dörrblad och karm/tröskel. Dalen vid ca 125 Hz som finns i båda ljudkurvorna orsakades förmodligen p.g.a. av att resonansen hamnade här. Det optimala hade varit om resonansen hamnat under 100 Hz.

Reduktionstalet påverkas inte positivt av att ta bort extra bredd uppe och nere. VD9-01-002 (60 mm ramträ både på kort- och långsidorna) fick samma Rw som VD9-01-001 vilket tyder på att det inte är ett hinder att ha extra bredd uppe och nere. Rmedel visar att konstruktionen med extra bredd uppe och nere är 0,4 dB bättre.

Konstruktionen med 3*11 mm spånskiva klarade 38 dB när den var tejptätad. I och med att konstruktionen består av helt vanliga byggspånskivor är det troligtvis möjligt att uppnå ljudkravet om byggspånskivorna ersätts med Sauerlands spånskivor eller om några små ändringar görs. Exempelvis om det skulle gå att få tag på 4*8mm byggspånskivor.

VD9-02-002 med dämplim fick ett sämre Rw än den med enbart spånskivor. Troligtvis blev dörren för styv, så att det som vinnas med ökad dämpning är mindre än det som går förlorat p.g.a. högre styvhet.

När en av spånskivorna ersattes med två boardskivor sjönk Rw med 2 dB. Förväntade resultatet hade varit att det förbättrat reduktionstalet. Svårt att veta anledningen till varför reduktionstalet försämrades.

Som det tidigare framkommit i såväl teorin delen samt i utvärderingen av tidigare ljudprovningar har vikten betydelse för en dörrs ljudisolerande förmåga. Konstruktionen är

mer förlåtande om areamassan är hög. Med hjälp av ekvation 3.8 kan ett approximativt värde för areamassan, m tas fram för de två olika ljudklasserna.

Den minsta areamassan, m som enligt teorin klara ljudklassen R_w 35 dB blir:

$$R_w = 7 + 21 \lg(m)$$

$$m = 30 \text{ kg/m}^2$$

Trots de låga areamassorna blev R_w -värdet relativt högt och visar att det är möjligt att konstruera ett dörrblad med lägre vikt än den befintliga VD9 konstruktionen.

9. Diskussion och rekommendationer

Målet med examensarbetet var att ge förslag på billigare och mer produktionsvänliga konstruktioner som kan tillämpas för ljuddörrar med ljudkrav 35dB och 40dB. I målet ingick även att öka kunskapsnivån över ljudets beteende i dörrar.

Att arbeta i ett riktigt projekt har varit väldigt intressant och lärorikt. Jag har fått lära mig att vara flexibel då inriktningar kan ändras och nya uppgifter som måste tas hänsyn till dykt upp med jämna mellanrum. Längs projektet gång har förutsättningarna ändrats, i början gavs mer eller mindre fria händer och längs vägen har fler avgränsningar tillkommit. Det var svårt att få en inblick och förståelse vad som påverkades av olika små ändringar i dörrbladskonstruktionen. Syftet var till en början att komma med nya konstruktioner både för VD9 och VD13 konstruktionerna. När det var dags att välja vilka dörrblad som skulle vidareutvecklas bestämdes dock att VD9 var prioritet nummer ett.

Ljudintensitetsmätningarna visade att alla tre provdörrar hade störst problem vid dörrens nedersta del. Om detta beror på dåligt tätning mellan dörrblad och tröskel, tröskelns utformning eller en kombination av dessa går inte att säga utifrån mätningarna. Vid mätningstillfället tätades alla dörrblad med silvertejp, både längs sidorna, uppe och längst ned. Tröskeln är annorlunda än resten av karmen och ger därmed en annan tätning och därmed annan ljuddämpning. Eftersom nedre delen av dörren var den överlägset svagaste partiet bör vidare undersökning av tröskeln/tätningen göras.

Rekommendationen till Dooria Vännäs är att fortsätta utveckla konstruktionerna som benämns VD9-01-001, VD9-01-002 och VD9-02-001. Ljudprovningarna visade att det fattades ytterst lite för att klara ljudkravet. Eftersom de nya dörrkonstruktionerna väger mindre, är mer produktionsvänliga (färre lager) samt är billigare, vore det en stor fördel om denna konstruktion kunde ersätta det tidigare typgodkännandet för VD9. D-listen lyfte bara medelvärdet med 0,4dB, så ett lämpligt första steg är att hitta bättre tätningslister.

Dooria Vännäs har gjort många ljudprovningar men dokumentationen och utvärderingarna har varit bristfälliga. Det var en försvårande omständighet när orsakerna till att dörrbladen inte klarade av ljudkravet utreddes. Det är viktigt att företaget arbetar med produktutveckling på ett planerat och strukturerat sätt. Allt bör planeras, analyseras och dokumenteras noggrant, så att kunskaperna och erfarenheterna tas till vara. Som hjälpmedel vid framtida utveckling av ljuddörrar kan mallen "Framtida ljudprovningar" (bilaga 6) med fördel användas.

10. Referenser

Tryckt litteratur

Andersson Johnny (1998) *Akustik & Buller*. AB svensk Byggtjänst, 4:e upplagan, Elanders Svenskt Tryck AB, Stockholm, ISBN: 91-7332-727-1

Bodlund Kaj (1979) *Dörrars luftljudsisolering*. Statens Provningsanstalt, Akustiklaboratoriet

Denscombe, M (2000). *Forskningshandboken: för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskapen*, Lund: Studentlitteratur. ISBN: 9144012802

Johansson Bengt (2002) *Buller och bullerbekämpning*. Arbetsmiljöverket, 4:e upplagan, Danagårds Grafiska AB, ISBN: 91-7464-414-9

Jonasson Hans (1994) *Luftljudsisolering*. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Mehta, M., Johnson, J., Rocafort, J. (1999) *Architectural Acoustics*. Prentice-Hall, ISBN: 0-13-793795-4

Saarman Endel (1992) *Träkunskap*. Sveriges Skogsindustrieförbund, Markaryds Grafiska, Markaryd, ISBN 91-7322-726-9

Sörqvist Lars (2004) *Ständiga förbättringar*. Studentlitteratur, Lund, ISBN 91-44-03598-5

Åkerlöf Leif (2001) *Byggnadsakustik*. AB svensk Byggtjänst, Elanders Svenskt Tryck AB, Stockholm, ISBN: 91-7332917-7

Internet

[1] Wikipedia <http://sv.wikipedia.org/wiki/Ljudintensitet> (läst 2007-03-23)

[2] Greenglue <http://www.greengluecompany.com/fivePrinciplesOfSoundproofing.php> (läst 2007-04-05)

[3] Nano Vidensbank <http://www.nanovidensbank.dk/sw19723.asp> (läst 2007-04-09)

[4] <http://www.ts.mah.se/utbild/by7100/Ljud.pdf> (läst 2007-04-13)

[5] Setra (läst 2007-04-19)

http://www.setragroup.se/upload/Dokument/Byggprodukter/Skivparmen_flik2_0504.pdf

[6] Sauerland Spanplatte <http://www.sauerland-spanplatte.de/cdrom/index.html> (läst 2007-05-25)

[7] Beijer http://www.beijerbygg.se/templates/BB_BygggradListItem.aspx?id=10741 (läst 2007-05-09)

[8] Gyproc

<http://www.gyproc.se/gyproc/content.nsf/documents/EA99E045449B7690C1256FFF0040A2E5?Opendocument&m=mmmb> (läst 2007-06-02)

[9] Swedac <http://www.swedac-acoustic.se/> (läst 2007-04-15)

[10] Industrikork <http://www.industrikork.se/> (läst 2007-04-16)

[11] Wikipedia <http://en.wikipedia.org/wiki/QuietRock> (läst 2007-04-23)

[12] Soundproofing <http://www.soundproofing.org/infopages/flooring.htm> (läst 2007-04-20)

[13] The natural handyman

<http://www.naturalhandyman.com/iip/infextra/infsoundproofingapts.html> (läst 2007-04-26)

- [14] Acoustical Surfaces, Inc. http://www.acousticalsurfaces.com/noise_barrier/vinylbar.htm
(läst 2007-05-03)
- [15] Isover <http://sg-isover.inforce.dk/sw207.asp> (läst 2007-04-17)
- [16] Eurokork <http://www.eurokork.se/teknik.html> (läst 2007-04-15)
- [17] Sontech <http://www.sontech.se/> (läst 2007-05-03)
- [18] Daloc <http://www.daloc.se/> (läst 2007-06-08)

Muntliga källor

Johansson Olle, produktchef, Doria Vännäs, löpande samtal februari-april 2007

Mats-Olof, reklamationsansvarig, Doria Vännäs, löpande samtal februari-augusti 2007

Per-Anders Doria Vännäs

Bengt-Åke Doria Vännäs

Övrig personal på Doria Vännäs, korta samtal 2007

Johnsson Roger, Universitetslektor, Luleå tekniska universitet, avdelningen för Ljud och vibrationer, löpande samtal maj-juni 2007

Kontakter via mail

- [1] Jonasson Hans SP Borås, löpande mailkontakt under våren 2007
- [2] Olsson Anders, Teknisk rådgivare på Paroc 2007-06-05
- [3] Aremyr Ingvar, Försäljare, Swedac 2007-07-10

Bilagor

- Bilaga 1 Materialdata
- Bilaga 2 Sammanställning VD9/VD95
- Bilaga 3 Sammanställning VD13/VD53
- Bilaga 4 Ljudintensitetskarter, samma skala
- Bilaga 5 Ljudintensitetskarter, olika skala
- Bilaga 6 Framtida ljudprovningar
- Bilaga 7 Ritningar
- Bilaga 8 Ljudkurvor
- Bilaga 9 Bilder från tillverkning av utvalda konstruktioner

Materialdata

BILAGA 1 sid 1 (1)

Material	Densitet ρ (kg/m ³)	Elasticitetsmodul E (N/m ²)	Förlustfaktor η	K (E, ρ)
Furu, gran				
Längs fiberriktningen	500	$9,8 \cdot 10^9$	-	14
Tvärs fiberriktningen	500	$0,2 \cdot 10^9$	-	100
Furu				
Längs fiberriktningen	400	$7,2 \cdot 10^9$	0,015	16
Plywood (3 faner)	540	$7,1 \cdot 10^9$	0,028	19
Porös träfiberskiva	220	$0,1-0,6 \cdot 10^9$	0,03	39-95
Byggplatta (hård träfiber)	550	$1,1-1,7 \cdot 10^9$	0,025	36-45
Byggplatta (hård träfiber)	1000	$3,8-5,9 \cdot 10^9$	-	26-33
Träspånskiva 10mm	700	$2,4-2,7 \cdot 10^9$	0,031	33-35
Kork	120-250	$0,025 \cdot 10^9$	0,13-0,17	140-200
Aluminium	2700	$6,6-7,2 \cdot 10^{10}$	0,0001-0,01	12-13
Betong	2300	$2,6 \cdot 10^{10}$	0,005-0,02	19
Bly	11000	$1,5-2 \cdot 10^{10}$	0,015-0,02	47-55
Gipsskiva med papp	840	$2,2-3 \cdot 10^9$	0,011-0,022	32-40
Gipsskiva (15-50mm)	650	$2,8 \cdot 10^9$	0,01-0,03	31
Glas	2500	$4,4-8,1 \cdot 10^{10}$	0,001-0,01	11-15
Stål	7800	$1,9-2,1 \cdot 10^{11}$	0,0001-0,02	12-13
Tegel	1900-2300	$1,4-2,4 \cdot 10^{10}$	0,01	18-26

Materialdata för några byggnadsmaterial.

Sammanställning VD9/VD95

BILAGA 2 sid 1 (4)

Rw tejp	Rw otej	Vikt(kg)	kg/m ²	Papper	Ytskikt	Boardskivor (st)	Fyllning	Plåt	Kommentar
40	38	63	33,4	X	MDF/HDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm(1+4)	Por.board 15mm 280	2*0,7mm	D-list- GODKÄND
	38	63	33,4	X	MDF/HDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board 15mm 280	2*0,7mm	D-list GODKÄND
39	38	61,5	32,6	X	MDF/HDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board	2*0,7mm	D-list, målad
	37	60	31,8	X	MDF/HDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board	2*0,7mm	D-list
38		56	29,6	X	MDF/HDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board	1*0,7mm	D-list
38		51	27	X	MDF/HDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board		2*0,5 Alu-plåt
38		51,5	27,3						
38		47,5	25,1	X	MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm(1+4)	Porös board		
38		53,5	28,3		MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Porös board	1*0,7mm	
39	36	61	32,3		MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Porös board	2*0,7mm	
36		50	26,5		MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board		Alu 2*0,4 två sidor
37		50	26,5		MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board		Alu 2*0,5 samma sida
38		61,5	32,6		MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board		Bly 1*1,0
38		50	26,5	X	MDF 4mm	MDF/HDF 5*3,1mm	Por.board		
	38	46,5	24,6	X		5*3m hård	porös skiva 16		D-list
	37	46,5	24,6	X		5*3mm hård	porös skiva 16		Samma som ovan, ej D-list
	37	46,5	24,6						Samma som ovan med plast!
37	36	48	25,4						
38		58	30,7	X	MDF 4mm	5*3mm hård	por. skiva 16, Hunton	1*0,7mm	
37		48	25,4	X	MDF 4mm	4*3mm hård	por skiva 2*9,5, Hunton		
36		49	25,9	X	MDF 4mm	4*3mm hård	por skiva 2*9,5, Hunton		
37		46,5	24,6	X	MDF 4mm	5*3m hård	por. skiva 16 Hunton		
37		46,5	24,6						
38	36	44	23,3	X	MDF 4mm	sauerlandkork 2*3mm	spånskiva 3*8,3mm		
35		45,5	24,1	X(en s)	MDF 4mm	5*3mm hård finsk	Porös träfib Hunton 1*16mm		
39	37	48,5	25,7		MDF 4mm	Se fyllning	Sauerland spån 3*11mm		OBS! 42mm Ramträ 33,4mm
37	37	48	25,4	X	MDF4mm	Se fyllning	Sauerlandspånskiva 3*11mm		
	37	55	29,1		MDF 4mm	4*3mm hård	por. 1*14,5mm		Asfaltmatta (durkmatta) 4,5mm, mellan fyllning och boardskivor
	38	55	29,1		MDF 4mm	4*3mm hård	por.1*14,5mm		Extra list gångjärnssida

Sammanställning VD9/VD95

BILAGA 2 sid 2(4)

Rw tejp	Rw otej	Vikt(kg)	kg/m ²	Papper	Ytskikt	Boardskivor (st)	Fyllning	Plåt	Kommentar
36		46	24,4	X	MDF4mm	Se fyllning	Sauerlandspån. 2*10mm, 1*11mm		
	36	46	24,4		MDF 4mm	Se fyllning	Sauerlandspån. 2*10mm, 1*11mm		
35	34	48	25,4						Stålkarm, ritning saknas
38	36	50	26,5		HDF 4mm	4*3*3 hård	15,6mm linspånskiva		
	38	65	34,4		HDF 4,3mm	5*3mm hård(polsk)	15mm por.board	2*0,7mm	VD9:6 0410 som enkeldörr!
	36								
40	39	50	26,5		HDF 4mm	5*3,2+ bonden foam5mm	porös board 11mm		
	39	51	27		MDF/HDF 4,3mm	4-5*3,2	por.board 14,4		Standard med D-list
40	39	50	26,5			4-5*3,2 hård board	por.board 14,4		Standard med D-list, 4plattjärn monterade
	39	51	27						Nedtyngd ram
	35	51	27			5*3,2 mm			Drevad mellan vägg o karm med 2 remsor glasull
	38	51	27			5*3,2 mm			Bottningslist, temakryl, foder runt gångjärnssida
40	39	50	26,5						
39	39	51	27						Nedtyngd karm
38	36	41	24,3		HDF 4mm	4*3,2mm, Foam 5mm	Por.board 15mm		
38	37	42,5	25,2						
	35	42,5	25,2						Gummitröskel
	36	42,5	25,2						Ektröskel
	35	43,6	25,9						
37	36	43,6	25,9						
	36	48	28,5						
37	36	49,5	26,2						
38	36	43	25,5						
	36	43	25,5			4*3,2mm	Linspån		
	36	35,5	21,1						
	37	40	23,7						

Sammanställning VD9/VD95

BILAGA 2 sid 3(4)

Rw tejp	Rw otejp	Vikt kg	Kg/m ²	Papper	Ytskikt	Boardskivor	Fyllning	Plåt	Kommentar
39	38	47	24,9		MDF 4mm	5*3,2mm 950	por.board 15mm 280kg/m3		Standard, anslagströskel i ek
	38	46,1	24,4		MDF 4mm	5*3,2mm 950	por.board 15mm 280kg/m3		gullfiberdrev mellan karm och vägg
36		46	24,4	X	MDF4mm	Se fyllning	Sauerlandspån. 2*10mm, 1*11mm		
36	36	43,7	23,1						
	36	45	23,8						
37	35	48	25,4		MDF 4mm	5*3mm >850	por.board 16mm		Provad med mekanisk tröskel
	36	48	25,4		MDF 4mm	5*3mm >850	por.board 16mm		Anslagströskel i ek
41	39	49,5	26,2		4,3mm HDF	4*3,2mm	2*9mm por.skiv		
40	39	46,5	24,6		4,5mm HDF	3*3,2mm	2*10mm por.skiv		
40	39	46,1	24,4		4,5mm HDF	3*3,2mm	2*10mm por.skiv		
42	40	60	31,8						
42	40	59,9	31,7						
41	39	50,5	26,7		4,5 HDF	4*3,2	2*9mm por.skiv		Plastlaminat 0,9mm mellan board.
40	39	50,7	26,8		HDF 4,5mm	4*3,2	2*9mm por.skiv		
34	33	49,1	26		HDF 4,5mm		3*10mm por.skiv	1,5mm	Stålplåten är i mitten! Spår i ramträ 3*11mm.
33	33	44,6	23,6		HDF 4,5mm		3*10mm por.skiv	1,0mm	Stålplåt i mitten! Spår i ramträ.
39	38	49,7	26,3		HDF 4,5mm	3*3,2mm	2*10mm por.skiv	1mm	Stålplåten mellan 2 boardskivor.
32		42,5	22,5		HDF 4,5mm	13mmgips	2*9mm por.skiv		Gips direkt mot ena sidan av ytskiktet
33		43	22,7		HDF 4,5mm	13mmgips	2*9mm por.skiv		Gips i mitten av fyllningen
36		39	20,6		HDF 4,5mm	12mm spånskiva	2*9mm por.skiv ca 280 kg/m		Bara en sida hade spånskiva!
37		36,5	19,3	X	HDF 4,5mm		3*10mm por.skiv		
39	38	40,9	21,6	X	HDF 4,5mm	3*3,2 spånskiva	2*10mm por.skiv		
39	37	40,8	21,6		HDF 4,5mm	3*3,2mm spånsk 550kg/m	2*9mm por.skiv		Spånskivan mellan fyllningen

Sammanställning VD9/VD95

BILAGA 2 sid 4(4)

Rw tejp	Rw otejp	Vikt kg	Kg/m ²	Papper	Ytskikt	Boardskivor	Fyllning	Plåt	Kommentar
39	38	48	28,5		HDF 4mm	4*4mm HDF	por.board 15,4mm		Ramträ gran m. 2 st sågspår2,5*16mm
38		47,6	28,2		HDF 4mm	4*4mm HDF	por.board 15,4mm		Ramträ gran m. 2 st sågspår2,5*16mm
40	38	60	35,6		HDF 4mm	4*4mmHDF	2*por.board (natur ull)7mm	2*0,7mm	2 st sågspår2,5*16mm. Stålplåten i mitten!extra list gångjärnsida
	35	52,2	31						
	38	59	35		HDF 4mm	4*4mm HDF	2*por.board (natur ull)7mm	2*0,7mm	2st sågspår2,5*16mm. Stålplåt mitten.
	35	47	27,9			4*3,2mm	por.board 15,4		Sågspår i ramarna.
	35	49	29,1						
39	38	56	33,2						
	36	51	30,2		HDF 4,3mm	3*3,2mm	2*10mm por.skiv	2*0,7mm	Stålplåtarna samma sida, mellan två boardskivor
	37	42	24,9		HDF 4,3mm	4*3,2mm	2*9mm por.skiv		Bättre än med plåt!
	36	53	31,5		HDF 4,3mm	4*4,3mm HDF(karlit)	2*por.boar(natur u) 12mm		51mm special
	38	49,5	29,4		HDF 4,3mm	3*3,2mm HDF(karlit)	1*31,4mm Linspånskiva		51mm special
35	34	67,5	35,7						Pardörr
35	33	67,5	45,6						Pardörr
37	36	47+19,5	24,9						Pardörr
	36	47+18,8	24,9						Pardörr
37		47+19,5	24,9						Pardörr
36		47+18,8	24,9						Pardörr

Sammanställning VD13/VD

BILAGA 3 sid 1(3)

Rw tejp	Rw otej	Vikt (kg)	kg/ m ²	Ytskikt	Pap per	Boardskivor (st)	"Fyllning"	Plåt	Kommentar
41	41	79	41,8						Stålkarm
42		66,5	39,5	HDF 4mm		2*HB 4mm	Paroc 337 40mm+HB3mm	2*1,05mm	Stålkarm Plåten går in en bit i karmen. Plåtarna på var sin sida
43		62,5	37,1	HDF 4mm		2*HB 4mm	por.board10,5+linspån31,4	1,05mm	Stålkarm
41		68,5	40,7	HDF 4mm		2*HB 4mm	3*porboard sammanlagt=40,5mm	2*1,05mm	Stålkarm. Plåten går in en bit i karmen, varsin sida
42		70,5	41,8	HDF 4mm		2*HB 4mm	Linspån31,4+por.board 9,5mm	2*1,05mm	Stålkarm Plåten går in en bit i karmen. Varsin sida
	40	60	31,8	MDF 6mm	X	1*3,2 HDF	Linspån31,4+16mm por.board		OBS 64mm
	42	87,5	46,3	HDF 4,3mm		11*3mm	17mm porös board 280kg/m3	0,7mm	
	42	89,5	47,4	HDF 4,3mm		11*3mm	17mm porös board 280kg/m3	2*0,5	Samma som dörr ovan men med 2*0,5plåt
43	43	82,5	43,7	HDF 4mm		2+4*3mm	Linspån31,4 >330kg/m3	2*0,7mm	Plåt samma sida.
	43	83	43,9	HDF 4mm		2+4*3mm	Linspån31,4 >330kg/m3	2*0,7mm	
43	43	82,5	43,7	HDF 4,3mm		4*3mm+2*2,5	Linspån31,4mm	2*0,7	Stålplåt samma sida
	42	70,5	37,3	MDF 4mm		1*3mm	Linspån46	2*1mm	Delvis limfria.
43	43	84,5	44,7	MDF 4mm		1*4mmMDF 2*korkskivor 3mm	spån31,4 13mm*3	2*1mm	Plåt på olika sidor, mellan boardskiva och fyllning, limfria
	43	85	45	MDF 4mm		1*4mm MDF 2*korkskivor 3mm	spån31,4 13mm*3	2*1mm	Plåt på olika sidor, mellan boardskiva och fyllning, limfria
43	43	85,5	45,3	MDF 4mm		5*3mm+1*2,5mm	linspån31,4?	2*1mm	Plåt på olika sidor. Delvis limfria
42	43	85,7	45,4	MDF 4mm		5*3mm+1*2,5mm	linspån31,4?	2*1mm	Plåt på olika sidor. Delvis limfria
	41	75,5	40						Lättare!
	41	81,5	43,1						
	41	75,5	40	MDF 4mm		2*3,2mm	Linspån31,4, porös board 11mm	2*1mm	Linspån31,4 på sidan, direkt mot MDFplåtarna på var sin sida om porös board

Sammanställning VD13/VD53

BILAGA 3 sid 2(3)

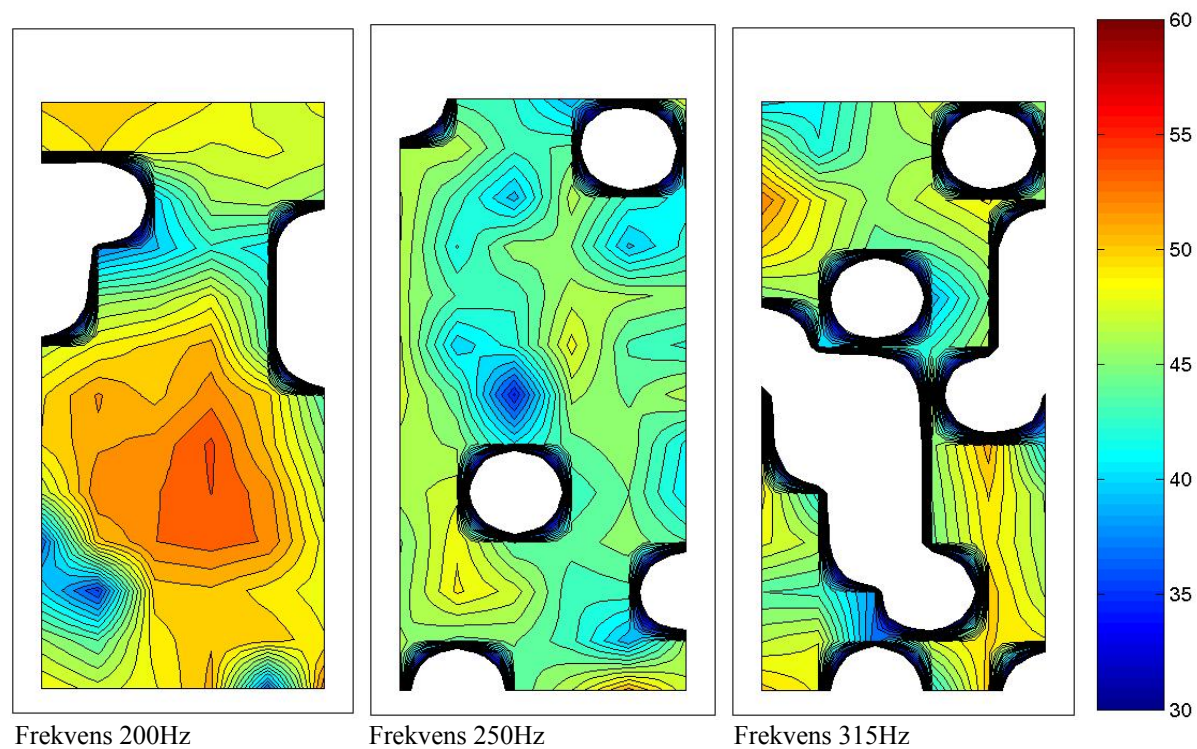
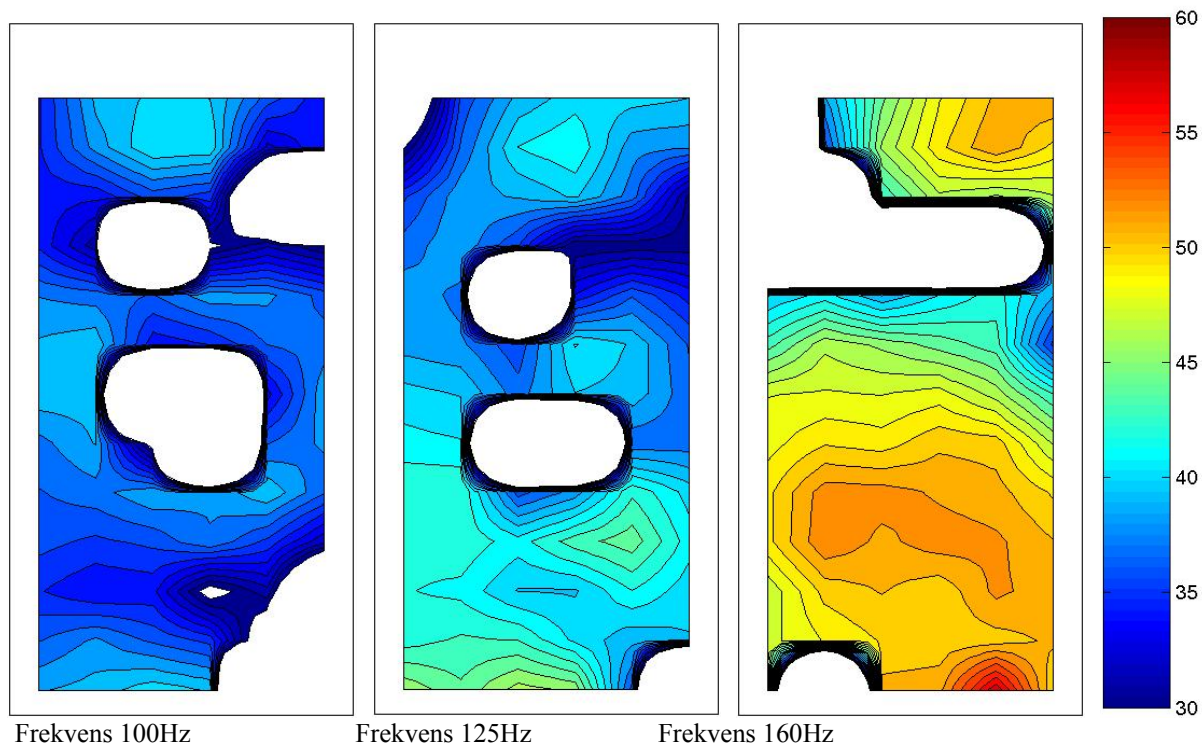
Rw tejp	Rw otej	Vikt (kg)	kg/ m ²	Ytskikt	Pap per	Boardskivor (st)	"Fyllning"	Plåt	Kommentar
	40	68	36						Stålkarm
	40	68,7	36,4	MDF 4mm		2*3mm hårdträ950	2*3mm kork180+3*13mm spånskiva		Som rad 15 men med kork= 1dB sämre! Delvis limfria
42	39	69,3	36,7	MDF 4mm		6*3,2mm	Linopan 31,4		Ej stränglimmat
42	39	70,2	37,2	MDF 4mm		6*3,2mm	Linopan 31,4		Ej stränglimmat
43	42	80	42,4						
43	42	80	42,4						
42	42	81	42,9						
41	39	75	39,7						
	39	76,2	40,3						
38	37	66	34,9						
40	40	82	43,4						
43	42	81,5	43,1	MDF 4mm		6*3mm	Linspånskiva 31,4	1mm	Stålblåten mellan två board
	42	79,8	42,2	MDF 4mm		6*3mm	Linspånskiva 31,4	1mm	Likadan dörr= -0,3dB i Rm
43	43	94	49,8	HDF 4,3mm		5*3mm	Linspånskiva 31,4	4*0,7	Tung. Plåten ihoplimmad parvis(stränglimmat) 2st vardera sida. Stor del limfri yta
	34	75	39,7						List Q-lon 3009! Värdelös!
42	42	85,5	45,3	MDF 4mm		5*3mm	porösa träfiberskivor 34mm	2*1mm	Stålblåterna går upp en bit i ramen. Olika sidor
41	41	80,5	42,6	MDF 6mm	X	6*4,2	2*12mm porös board		
41	41	81	42,9	MDF 6mm	X	6*4,2	2*12mm porös board		
40	40	76,5	40,5	MDF 6mm	X	5*4,2mm	16+12mm porös board		
41	39	75,5	40	MDF 6mm	X	5*4,2mm	2*13mm porös board+1*2mm foam		Special! Falsad dörr.
39	39	60,8	33,2	HDF 4,3mm	X	3*10mm i mitten	2*10 mm spånskiva på sidorna		Lätt och dålig!
	43	88,5	46,9	HDF 4mm		2+4*3,2mm	31,4 linspånplatta	2*0,7	stålplåtarna är mellan 2 HDF(de som är 2 på en sida)
42	42	72,5	38,4	HDF 4,3mm		5*4,3mm	10,5+19mm porös board		En av hårda boardskivorna i mitten
	43	88	46,6						OBS!70mm!
40	40	75,5	40	MDF 6mm	X	5*4,2mm	2*12mm porös board+2*foam2mm		Ingen förbättring med foam!

Rw tejp	Rw otej	Vikt (kg)	kg/ m ²	Ytskikt	Pap per	Boardskivor (st)	"Fyllning"	Plåt	Kommentar
	44	110,5	58,5	HDF 4mm		3+6*3,2mm	31,4linspånplatta	2*0,7	OBS!70mm!
	44	111,5	59	HDF 4mm		3+6*3,2mm	31,4 linspånplatta	2*0,7	OBS!70mm!
	44	99,5	52,7	HDF 4mm		2+4*3,2	31,4 linspånplatta	3*0,7	Tilläggsskiva/25,5kg)
	43	87,5	46,3	HDF 6mm	X	1+4*3,2	31,4linspånplatta	2*0,7	OBS64mm! Plåtarna på samma sida(på den sida där de är 2HDF)
42	42	89,5	47,4	HDF 4mm		3+3*3,2	31,4 linspånplatta	3*0,7	stålplåtarna är 2 på en sida en på den andra. "st ihoplimmat
	44	110,5	58,5	HDF 4mm		3+6*3,2mm	31,4linspånplatta	2*0,7	OBS!70mm!
	44	111,5	59	HDF 4mm		3+6*3,2mm	31,4 linspånplatta	2*0,7	OBS!70mm!
	44	99,5	52,7	HDF 4mm		2+4*3,2	31,4 linspånplatta	3*0,7	Tilläggsskiva/25,5kg)
	43	87,5	46,3	HDF 6mm	X	1+4*3,2	31,4linspånplatta	2*0,7	OBS64mm, plåtarna på samma sida(på den sida där de är 2HDF)
42	42	89,5	47,4	HDF 4mm		3+3*3,2	31,4 linspånplatta	3*0,7	stålplåtarna är två på en sida en på den andra. Ihoplimmat
	41	89	47,1	HDF 4mm		3+3*3,2	31,4 linspånplatta	3*0,7	Stålplåtarna är två på en sida en på den andra. Ihoplimmat
	42	88,5	46,9	HDF 4mm		2+4*3,0	31,4linspånskiva	3*0,7	Samma som nedan utan gummiplatta. Plåt alla på samma sida!
	42	90,5	47,9	HDF 4mm		5*3mm	31,4linspånskiva	3*0,7	gummimatta 3,2mm mellan plåtar! Plåt 2+1
	41	82	48,7						
	40	80	47,5						
	37	61,5	36,5						Väldigt låg areamassa o vikt!
	38	63	37,4						Väldigt låg areamassa o vikt!
39		89,5	47,4	HDF 4mm		5*3mm	3*11mm saulandskivor	2*0,7	4 av boardskivorna på samma sida, stålplåt samma sida
38		64	33,9	MDF 4mm	X	2*3mm kork	3*14,7mm sauland spånki		
39	38	87	46,1	HDF 4mm					
42	41			HDF 4,5mm		2*3,2mm	4*porös fiber 10mm den 225kg/m2	1*1,5	Special. Blyplåt 0,5mm +spår i ramträ

Ljudintensitetskartor, samma skala

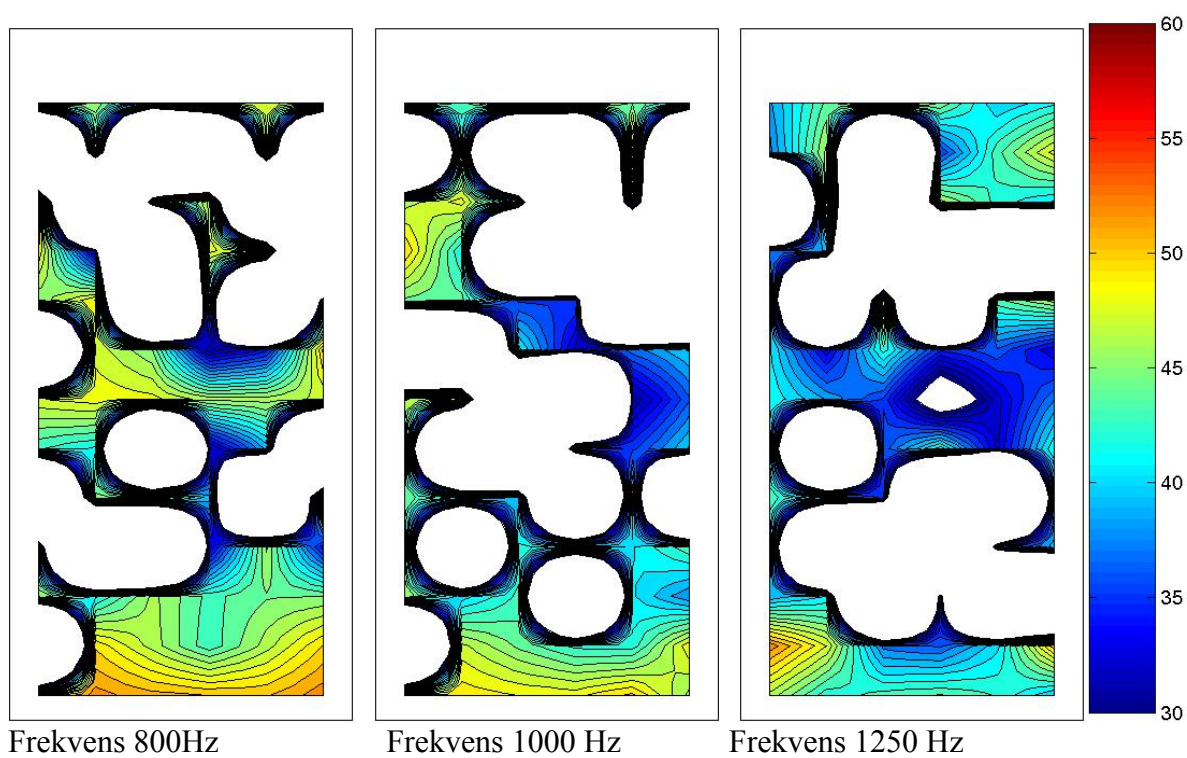
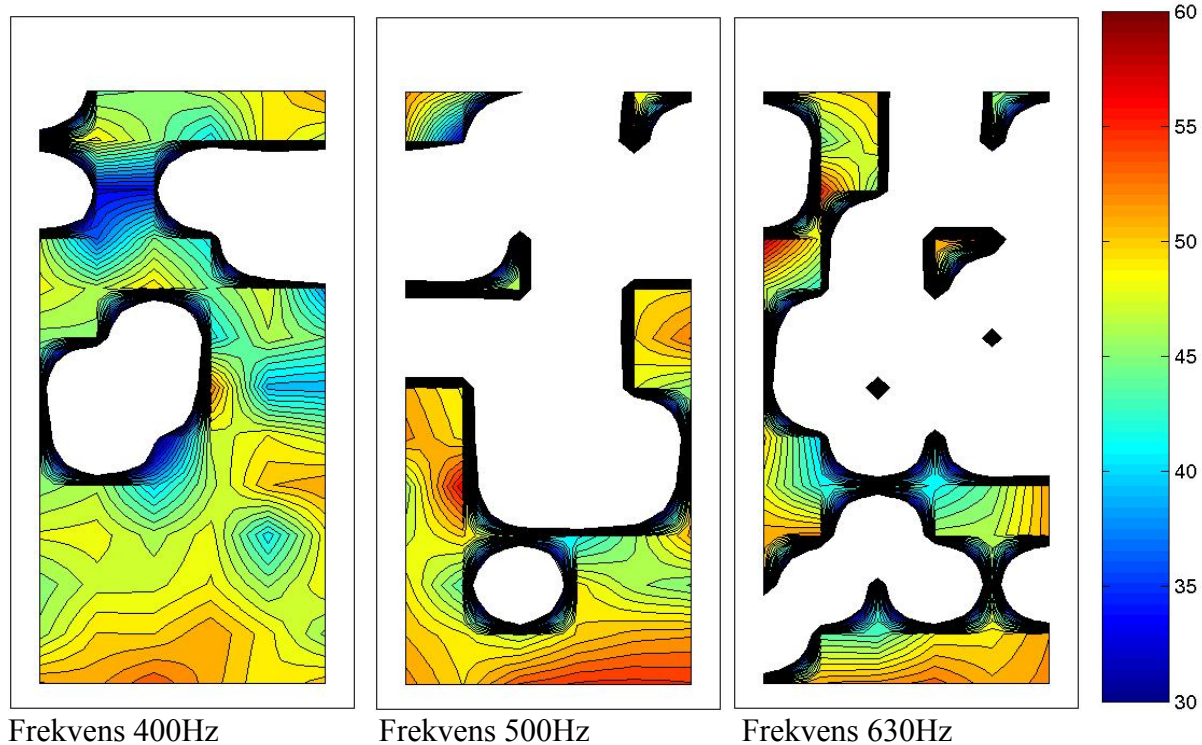
BILAGA 4 sid 1(9)

Provdörr Samma skala



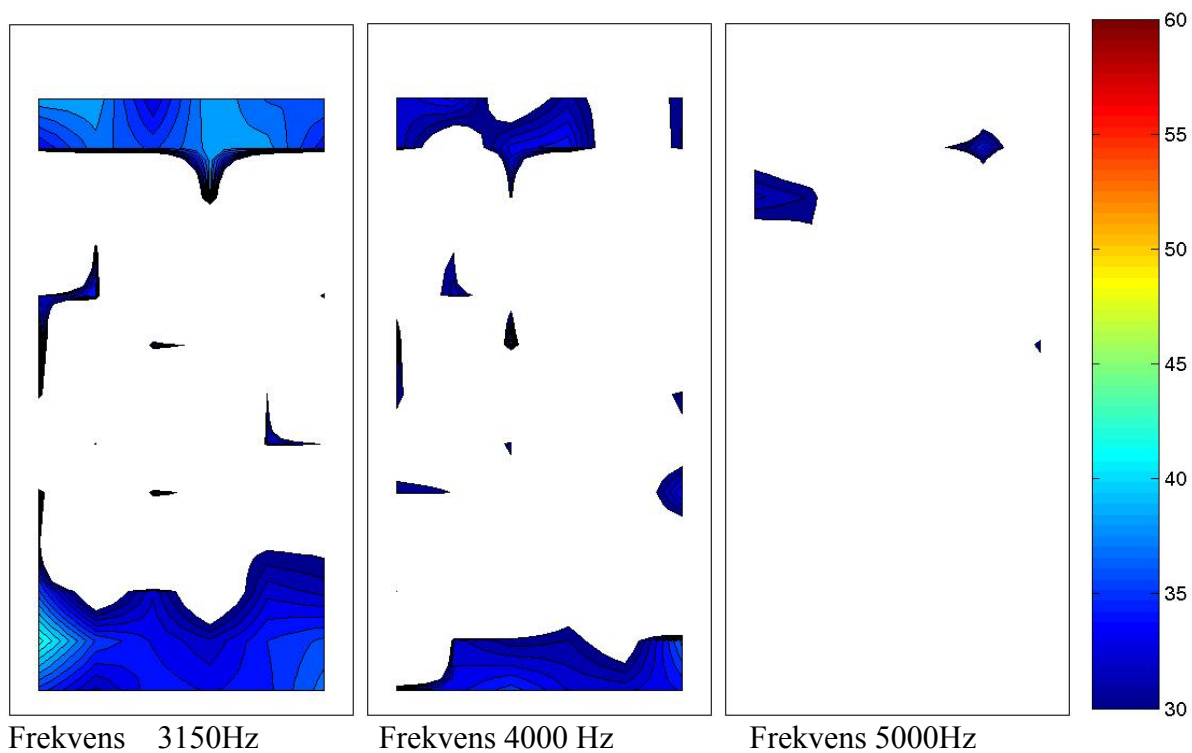
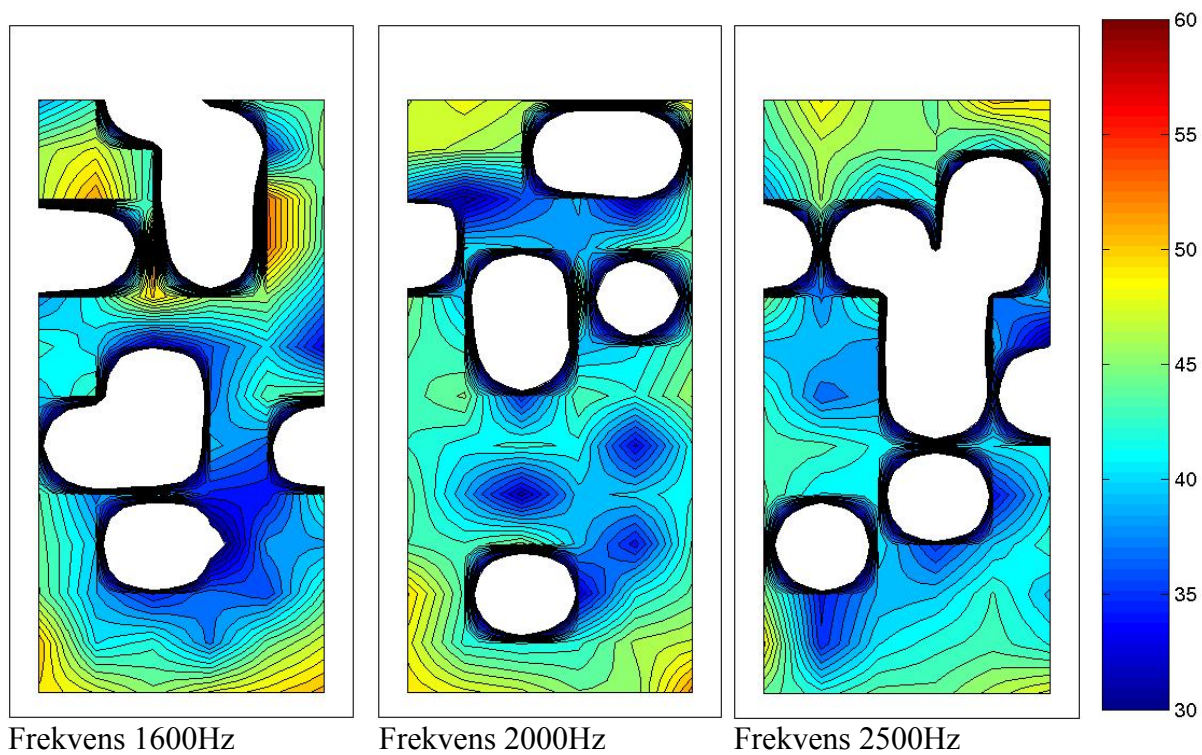
Provdörr Samma skala

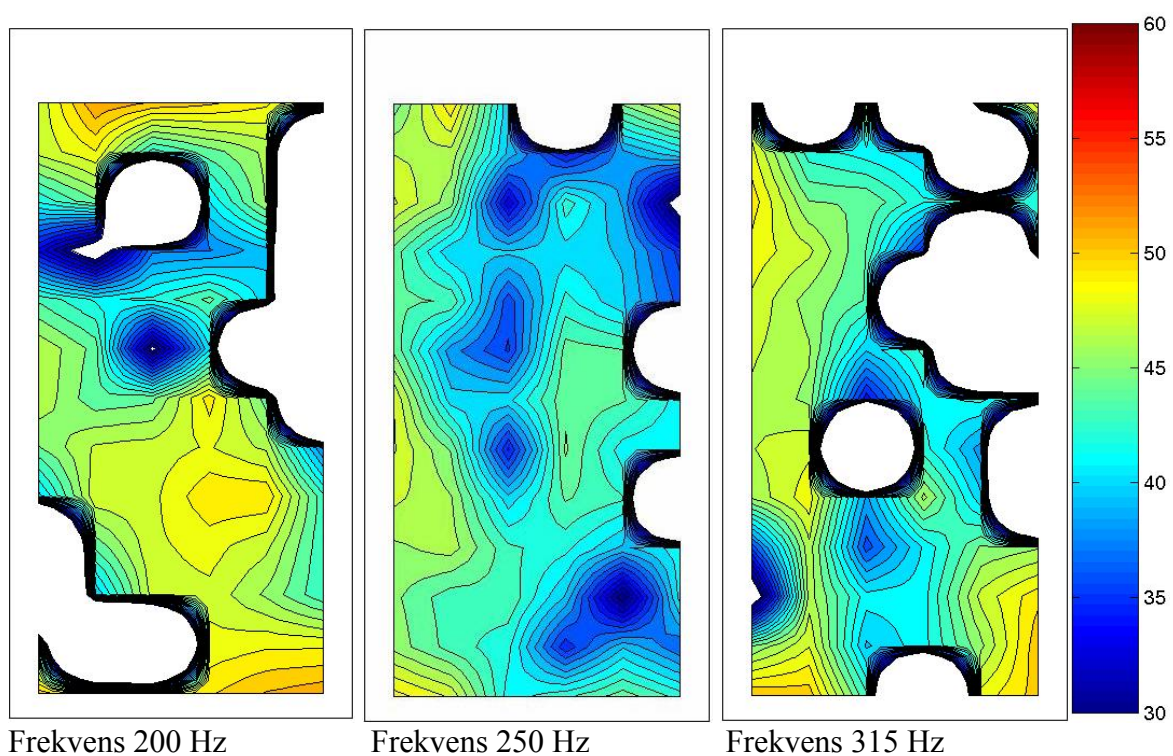
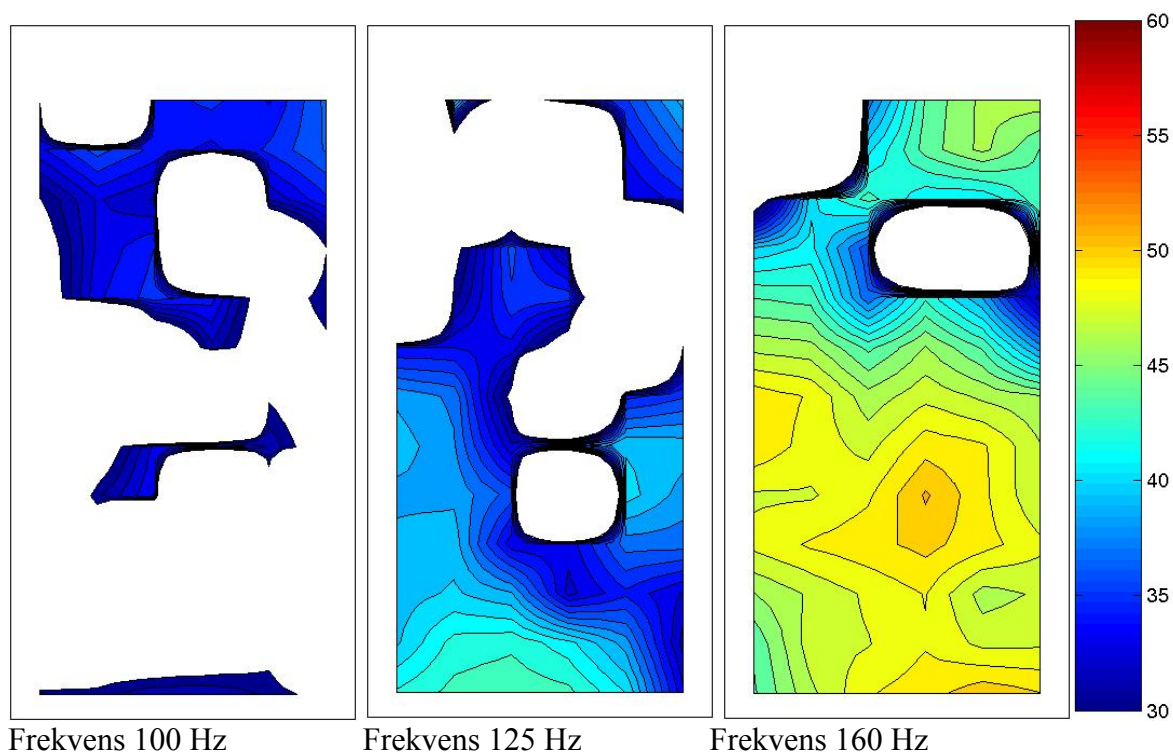
BILAGA 4 sid 2(9)

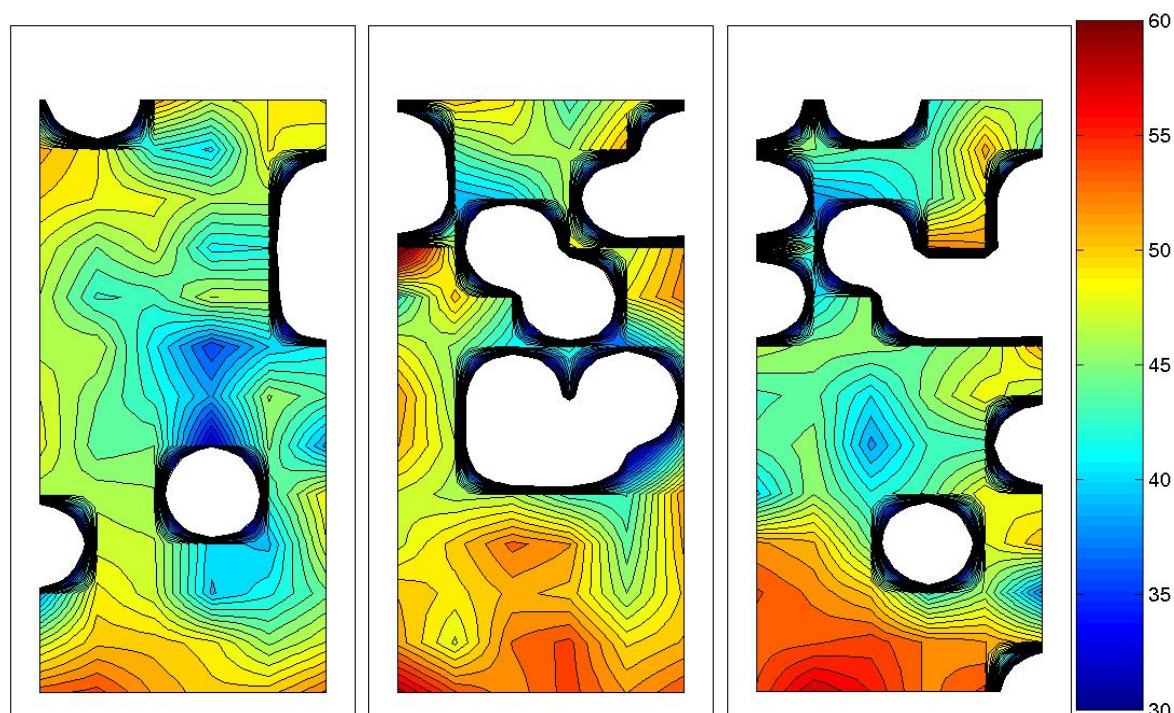


Provdörr samma skala

BILAGA 4 sid 3(9)



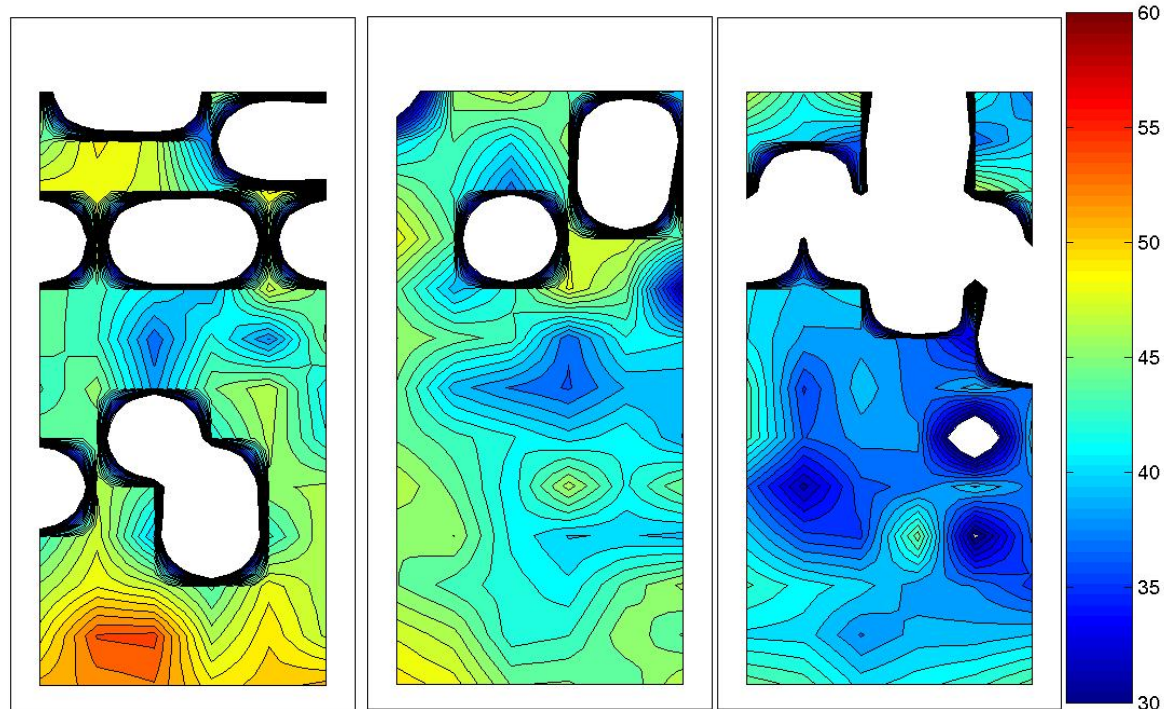




Frekvens 400

Frekvens 500 Hz

Frekvens 630 Hz



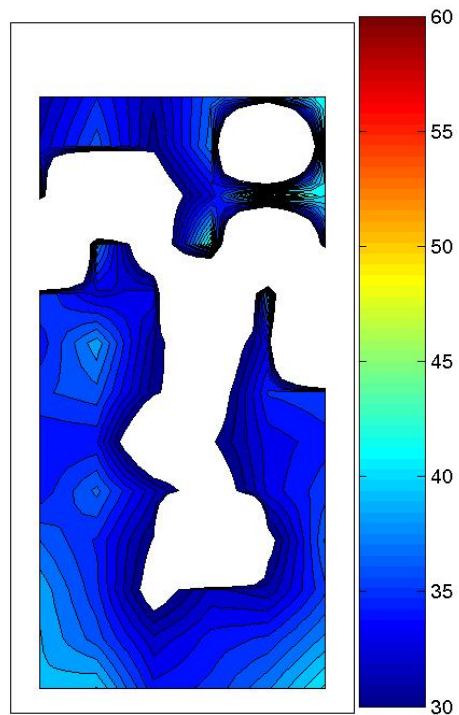
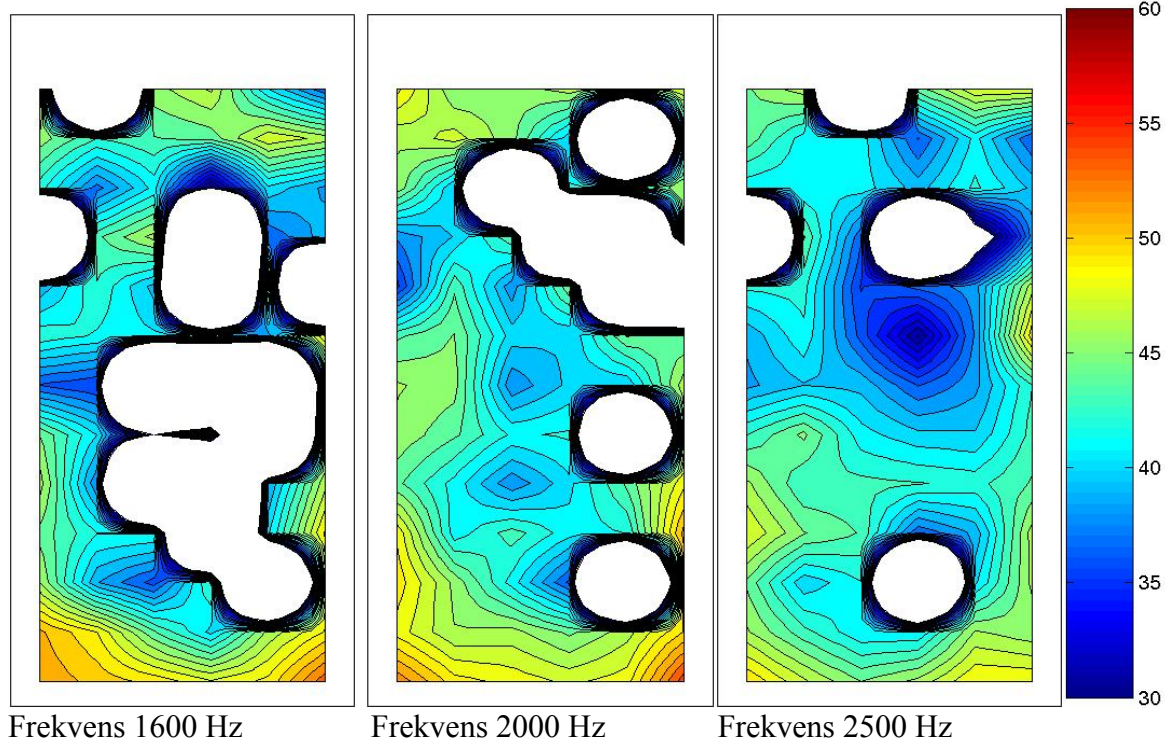
Frekvens 800 Hz

Frekvens 1000 Hz

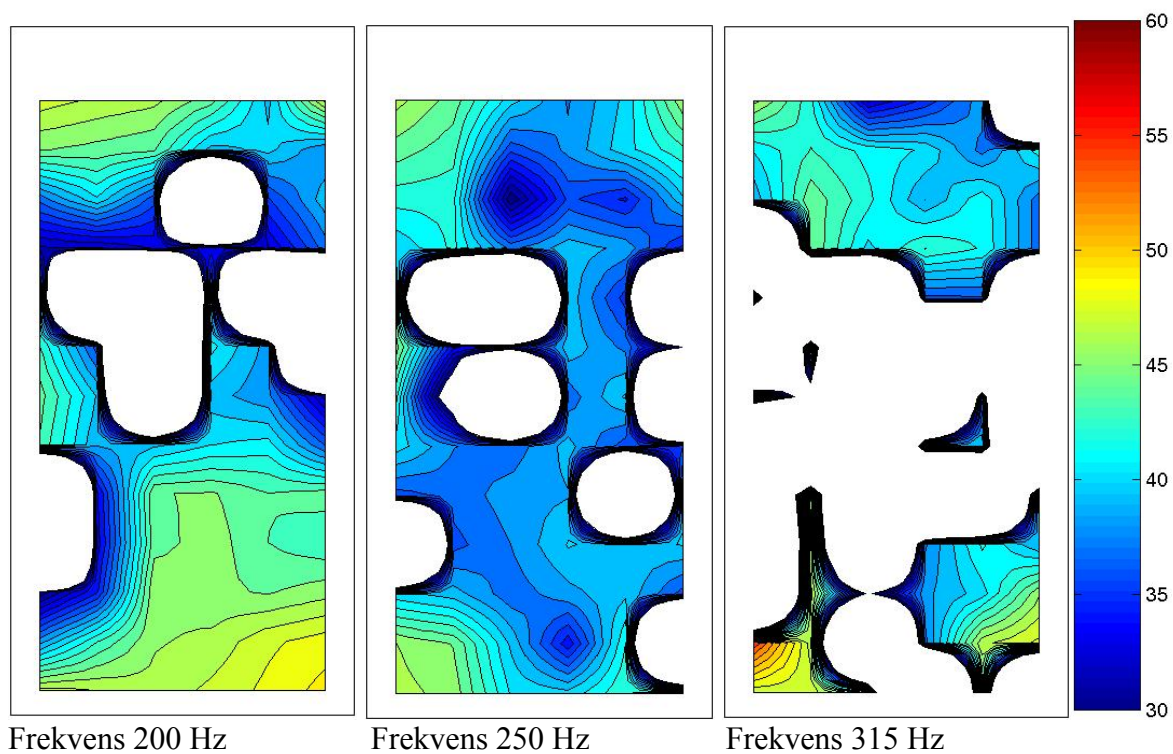
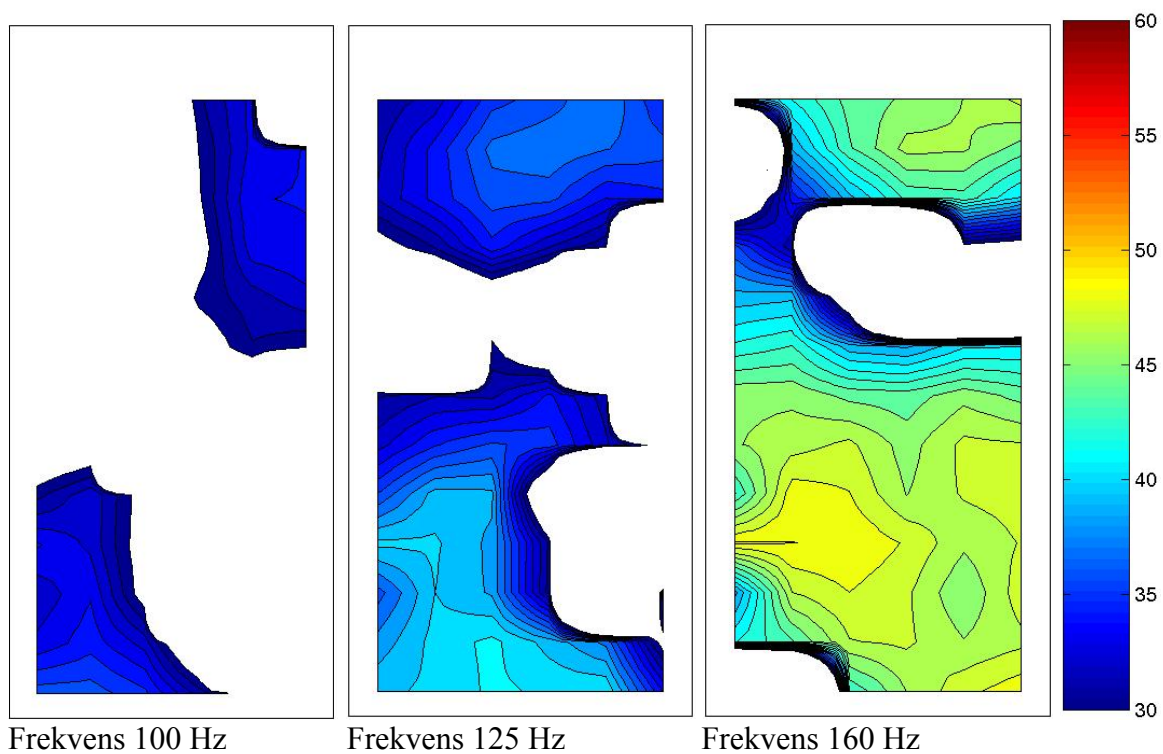
Frekvens 1250 Hz

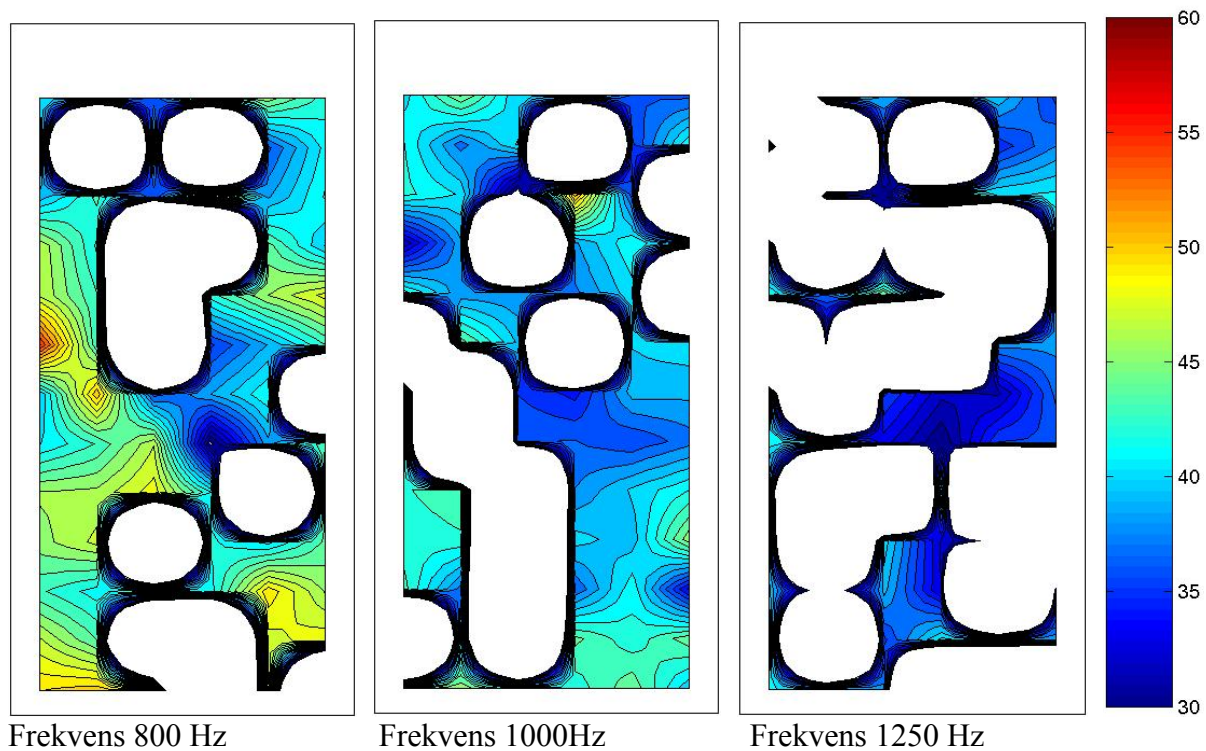
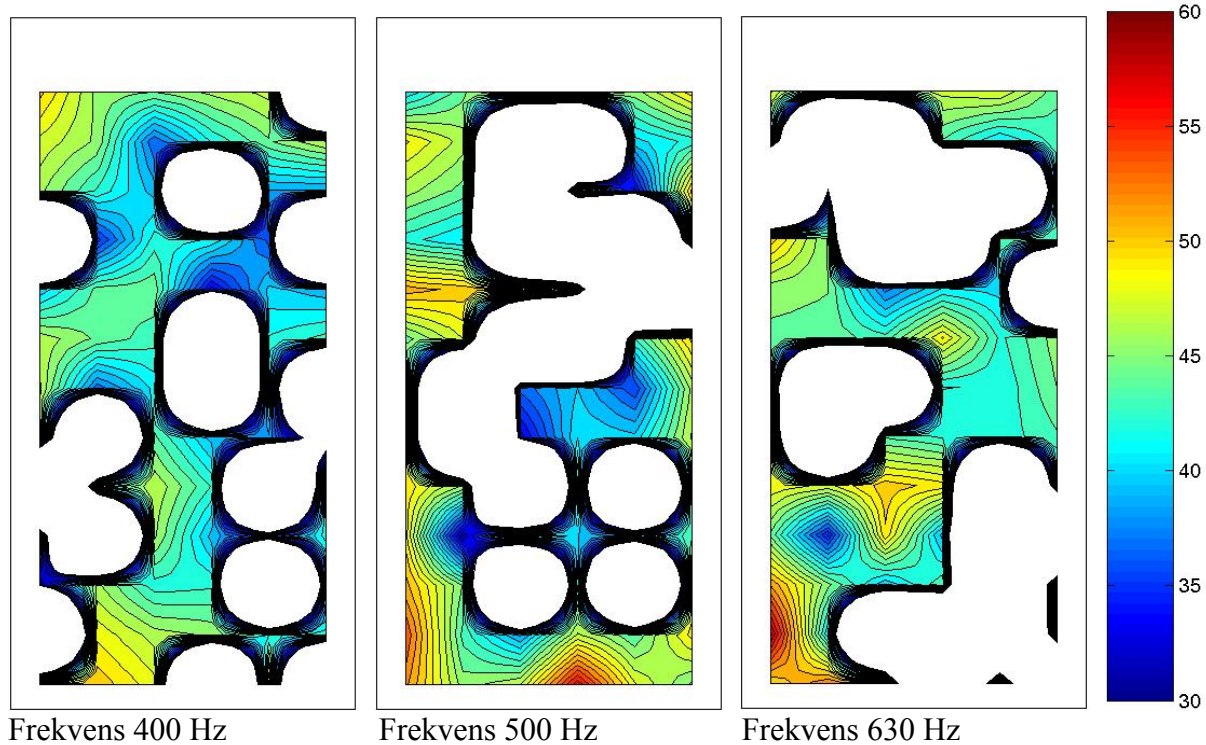
VD9 Samma skala

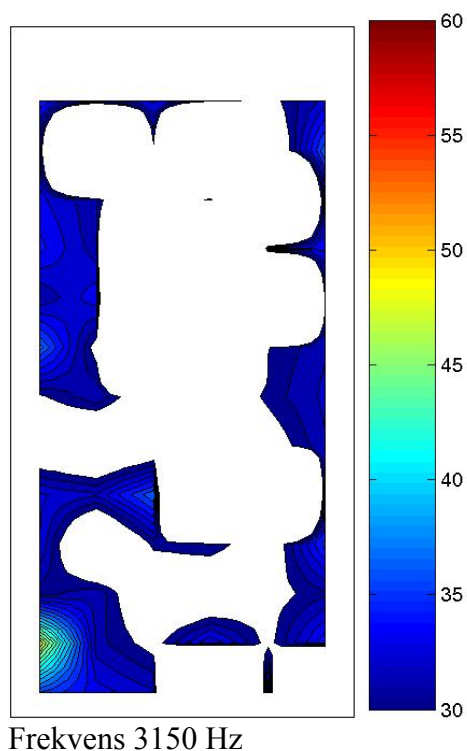
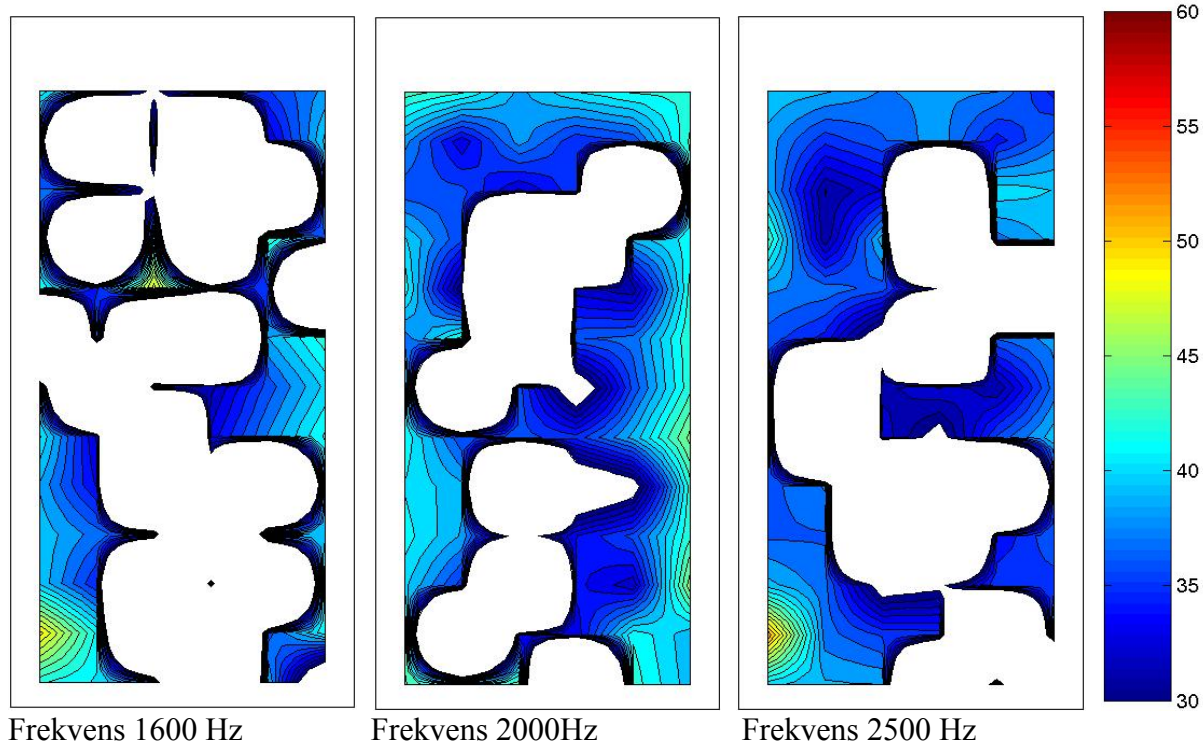
BILAGA 4 sid 6(9)



Frekvens 3150 Hz



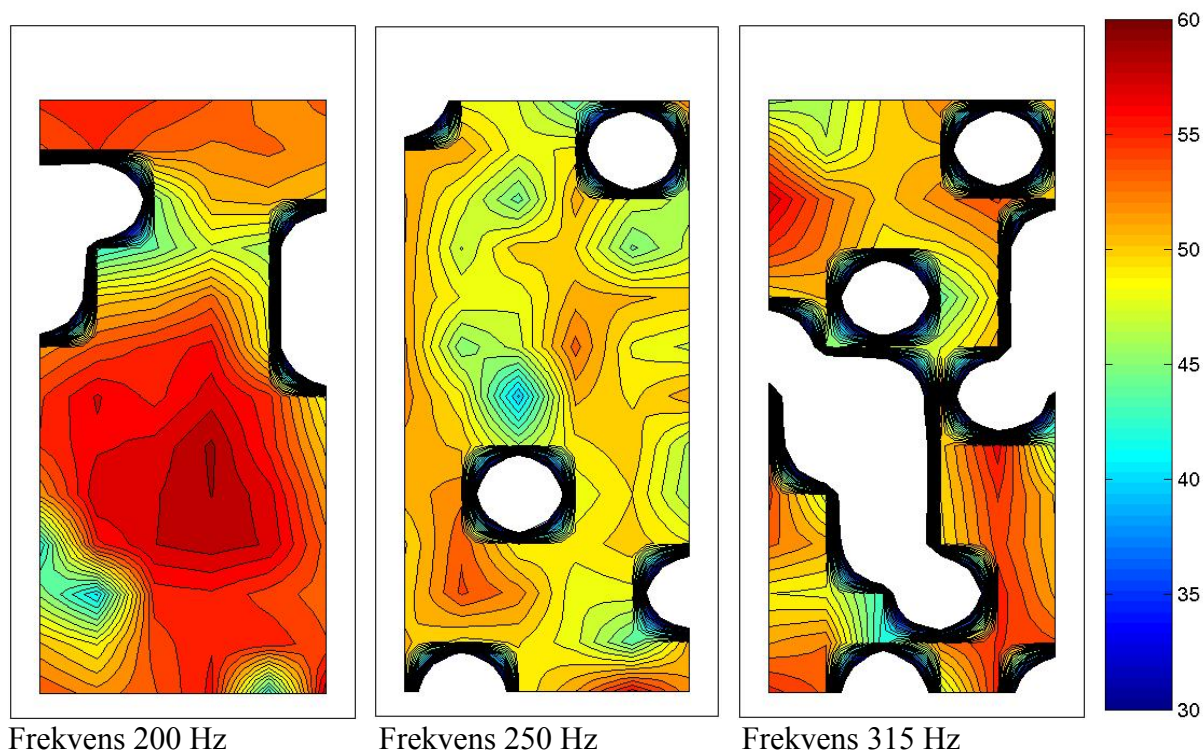
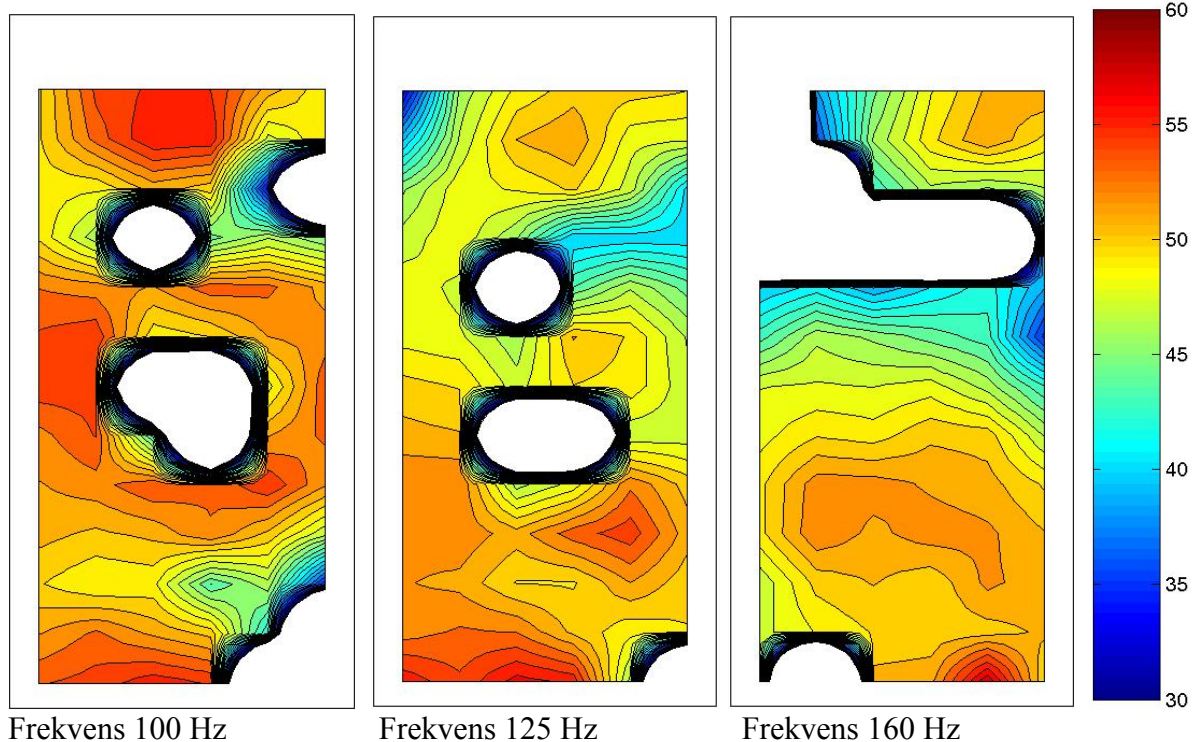


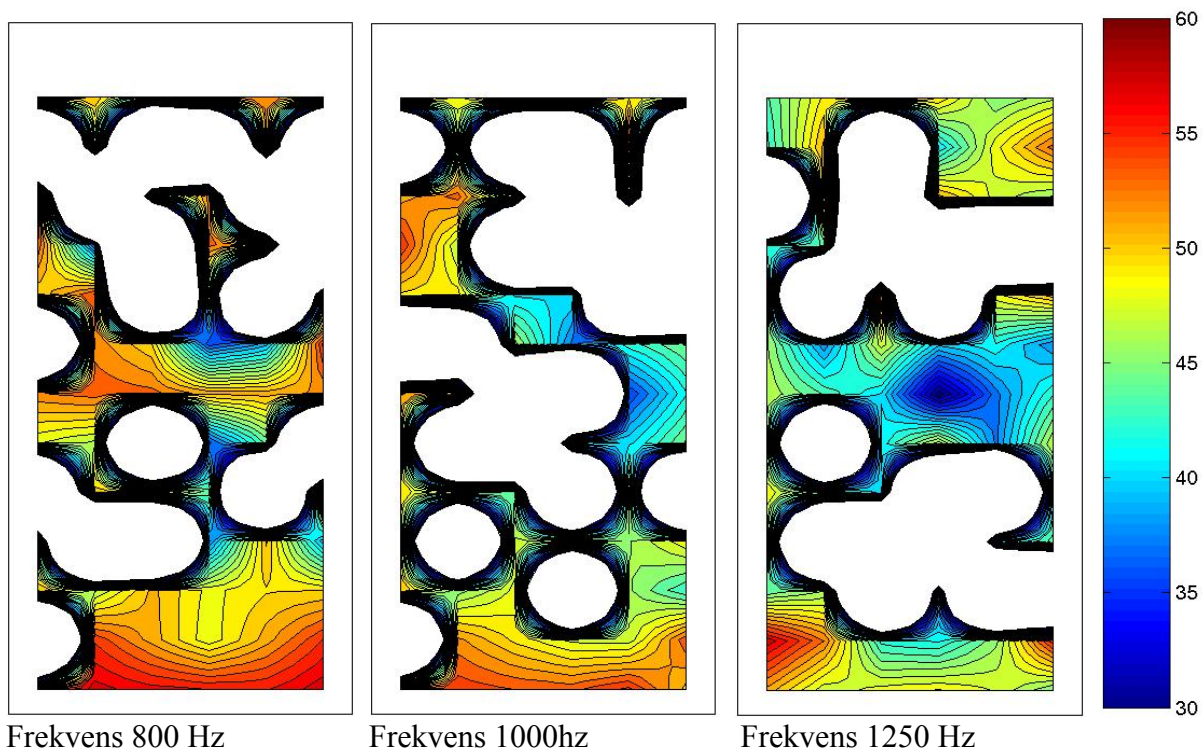
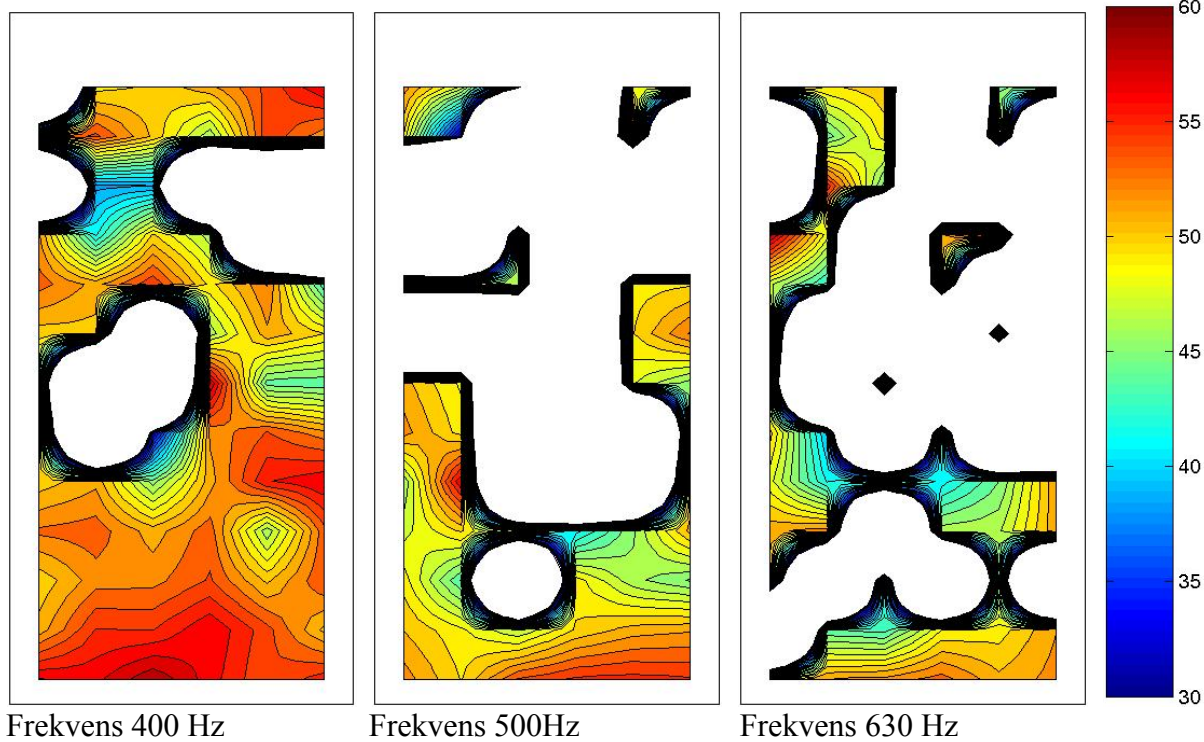


Ljudintensitetskartor, olika skala

BILAGA 5 sid 1(9)

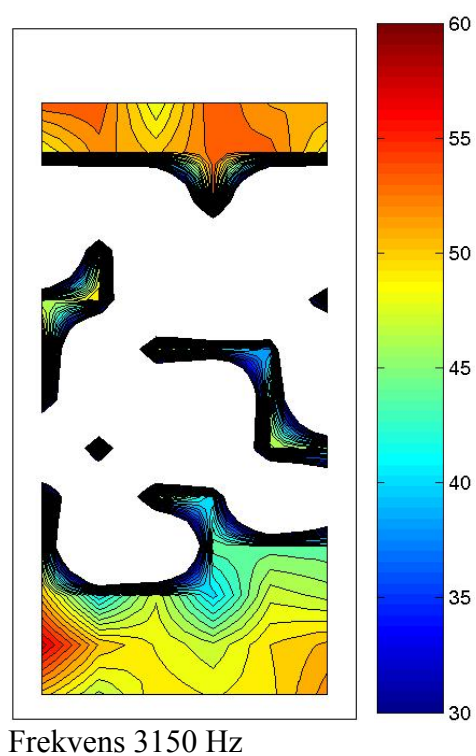
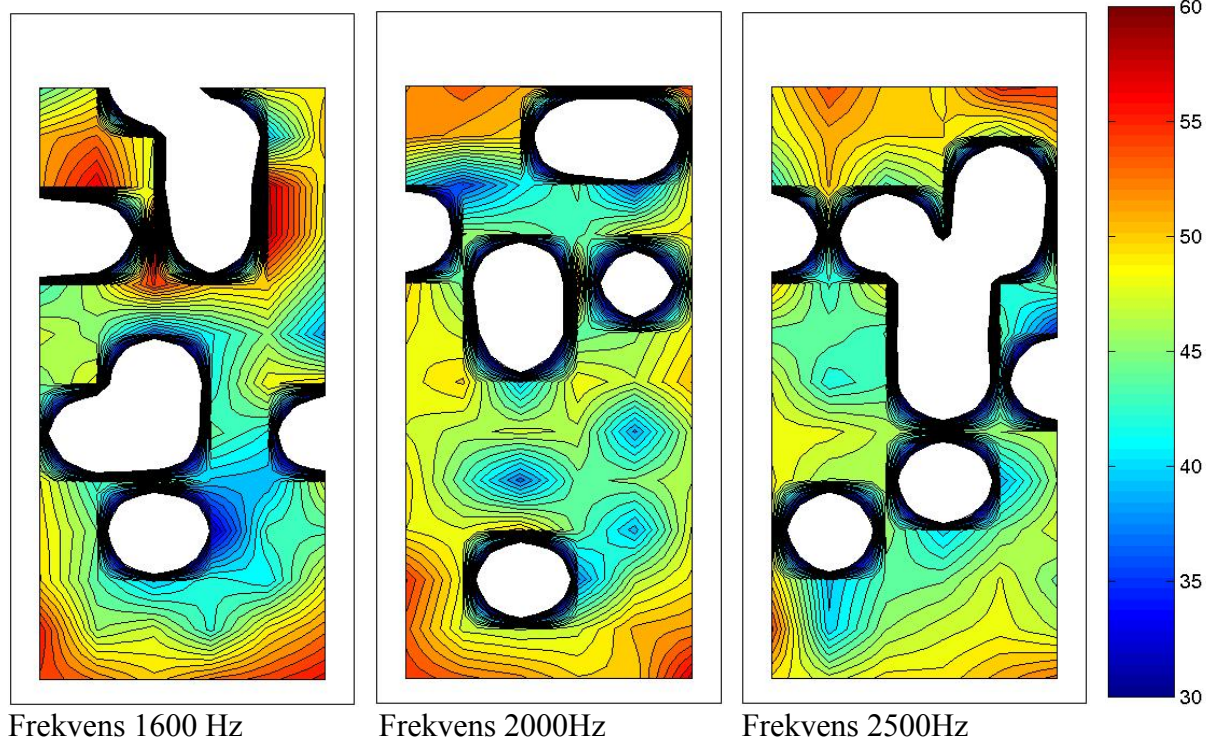
Provdörr, olika skala





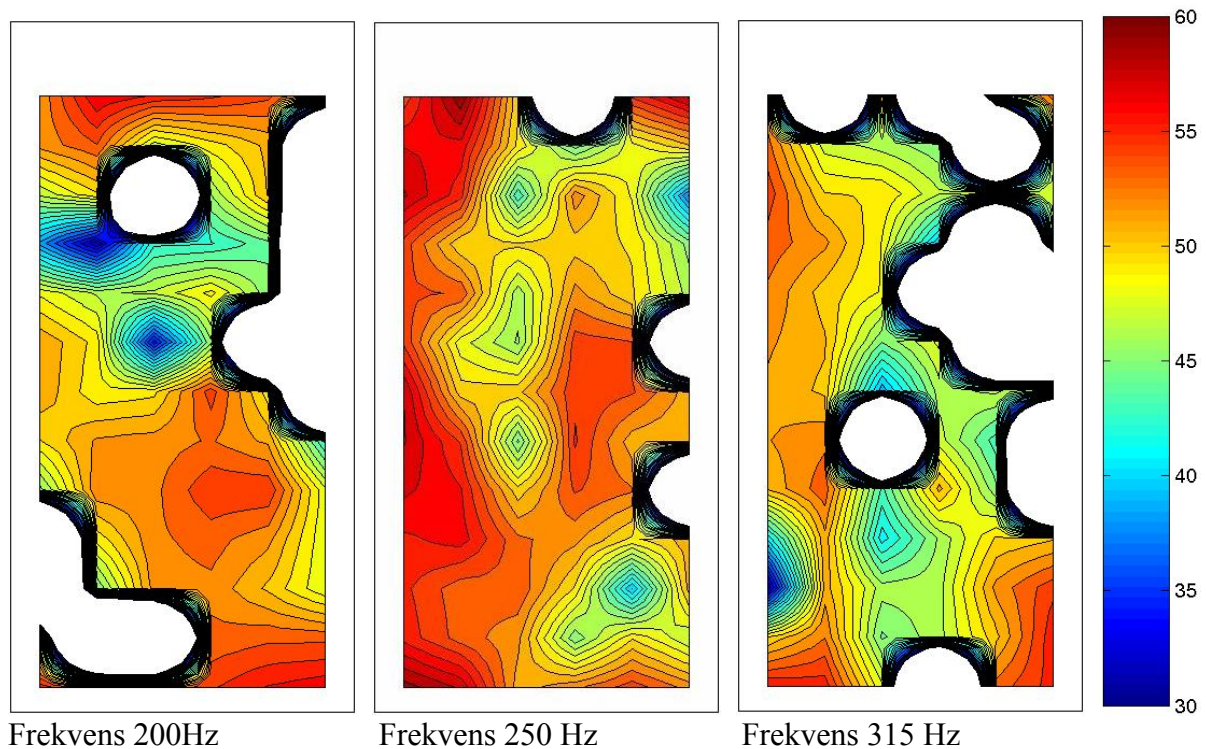
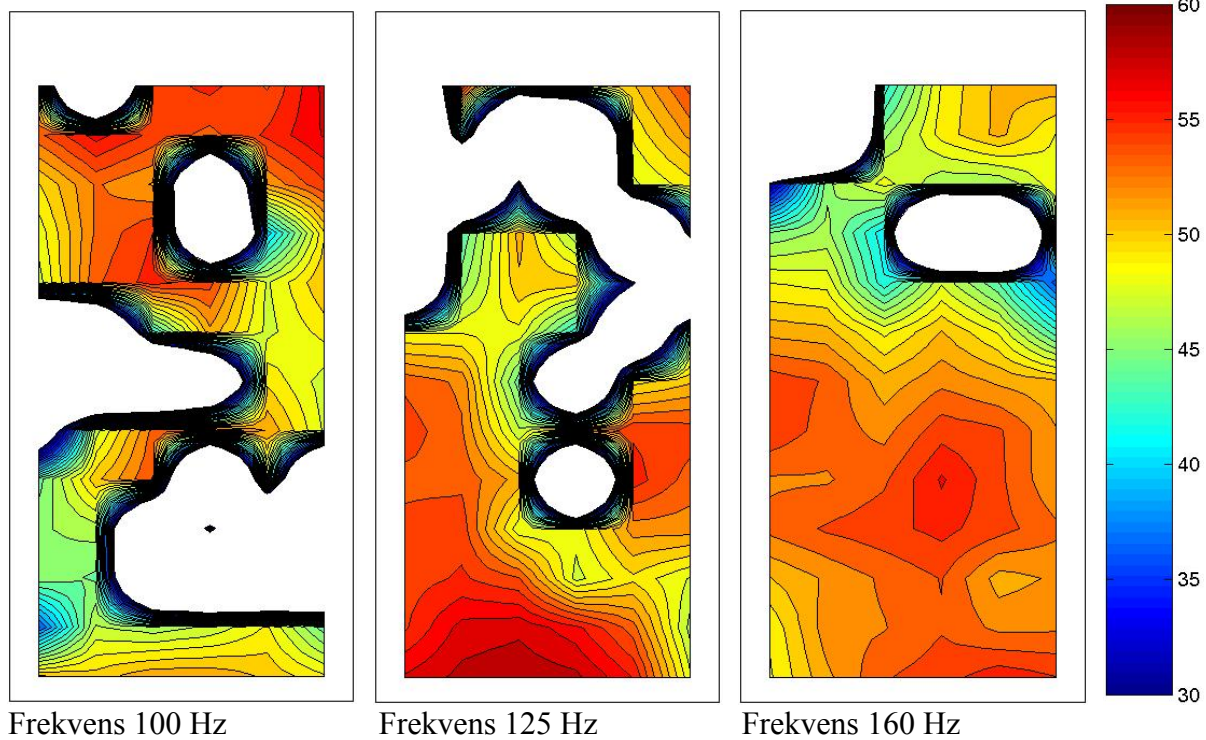
Provdörr, olika skala

BILAGA 5 sid 3(9)



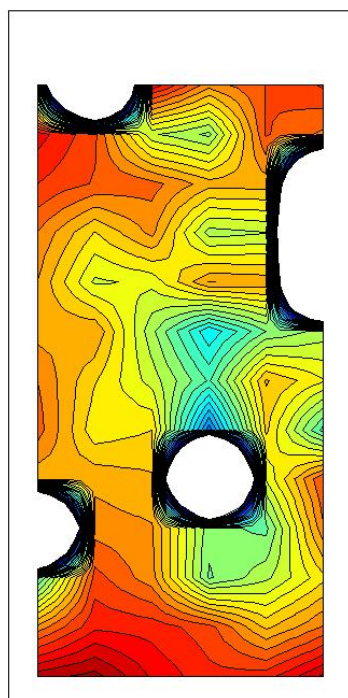
VD9, olika skala

BILAGA 5 sid 4(9)

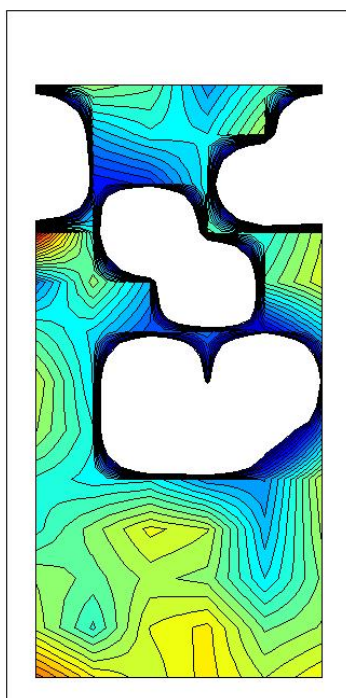


VD9, olika skala

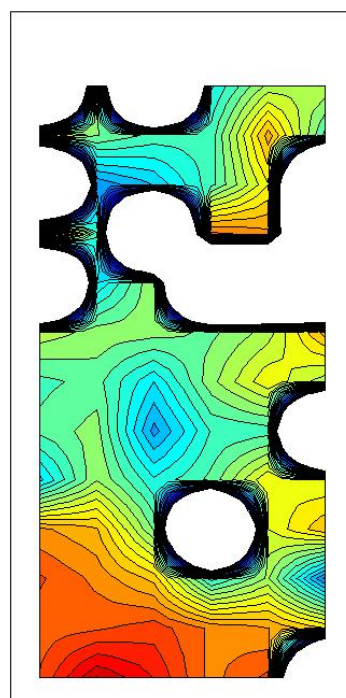
BILAGA 5 sid 5(9)



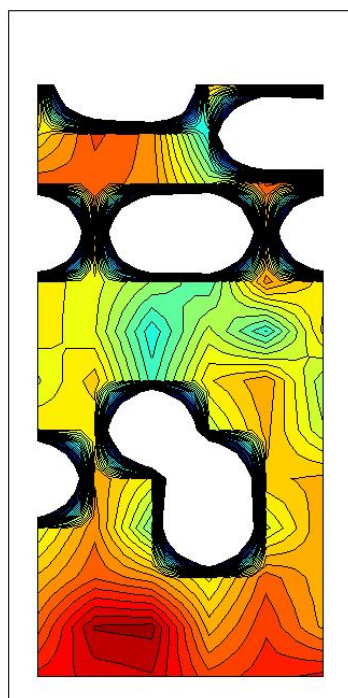
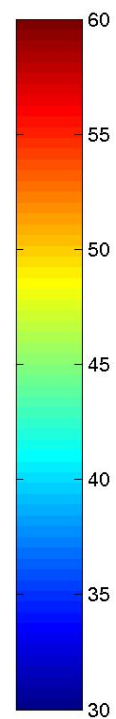
Frekvens 400Hz



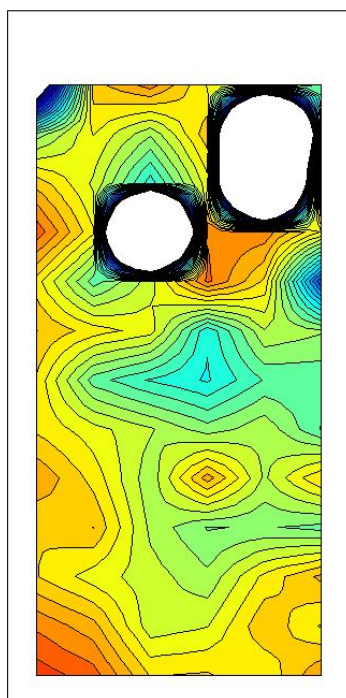
Frekvens 500Hz



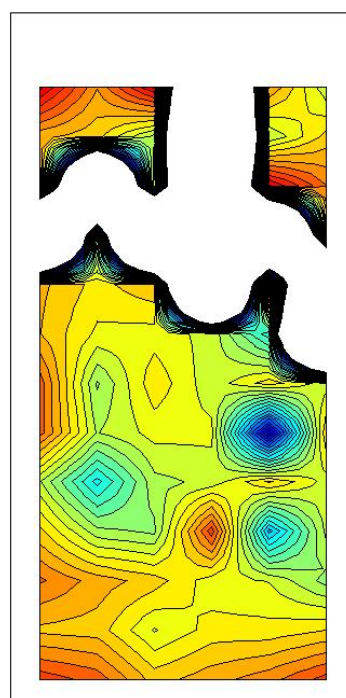
Frekvens 630 Hz



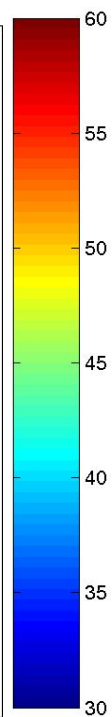
Frekvens 800 Hz



Frekvens 1000 Hz

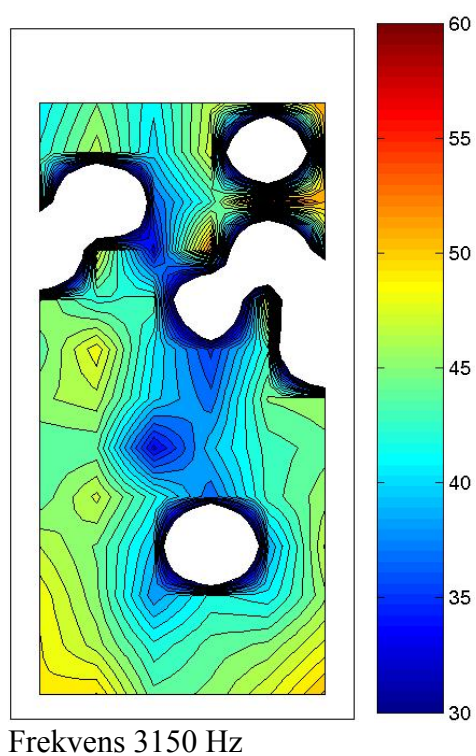
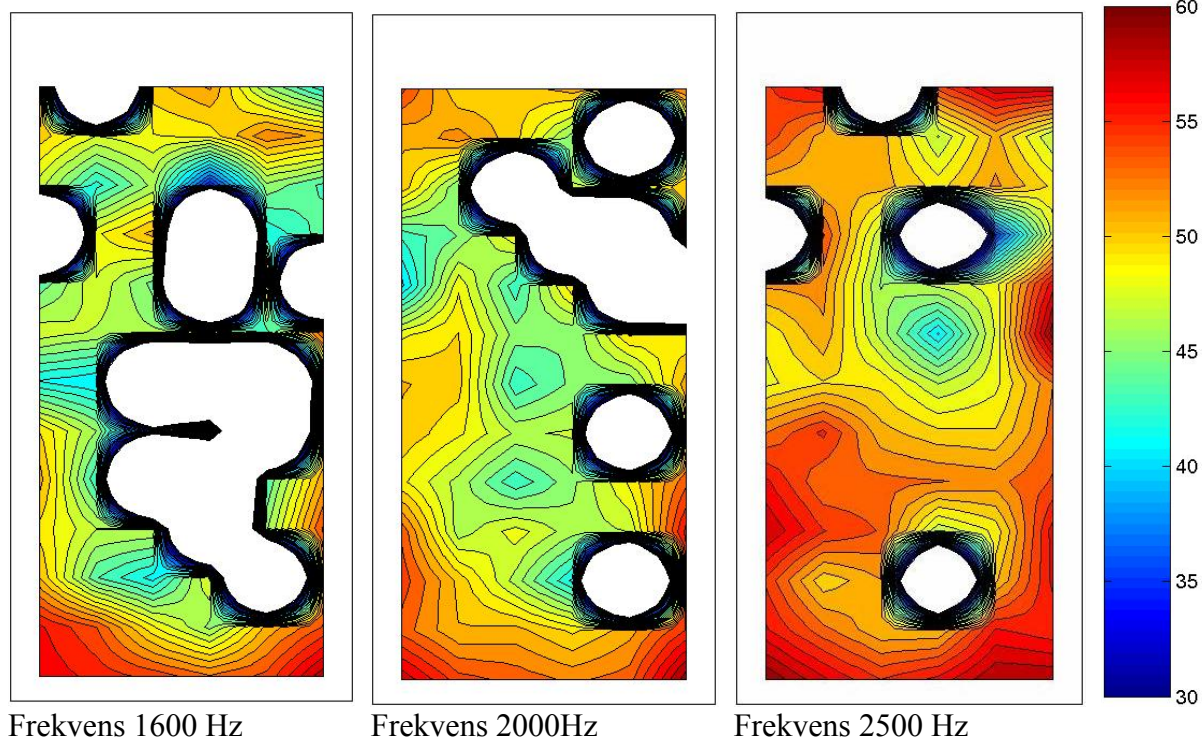


Frekvens 1250 Hz



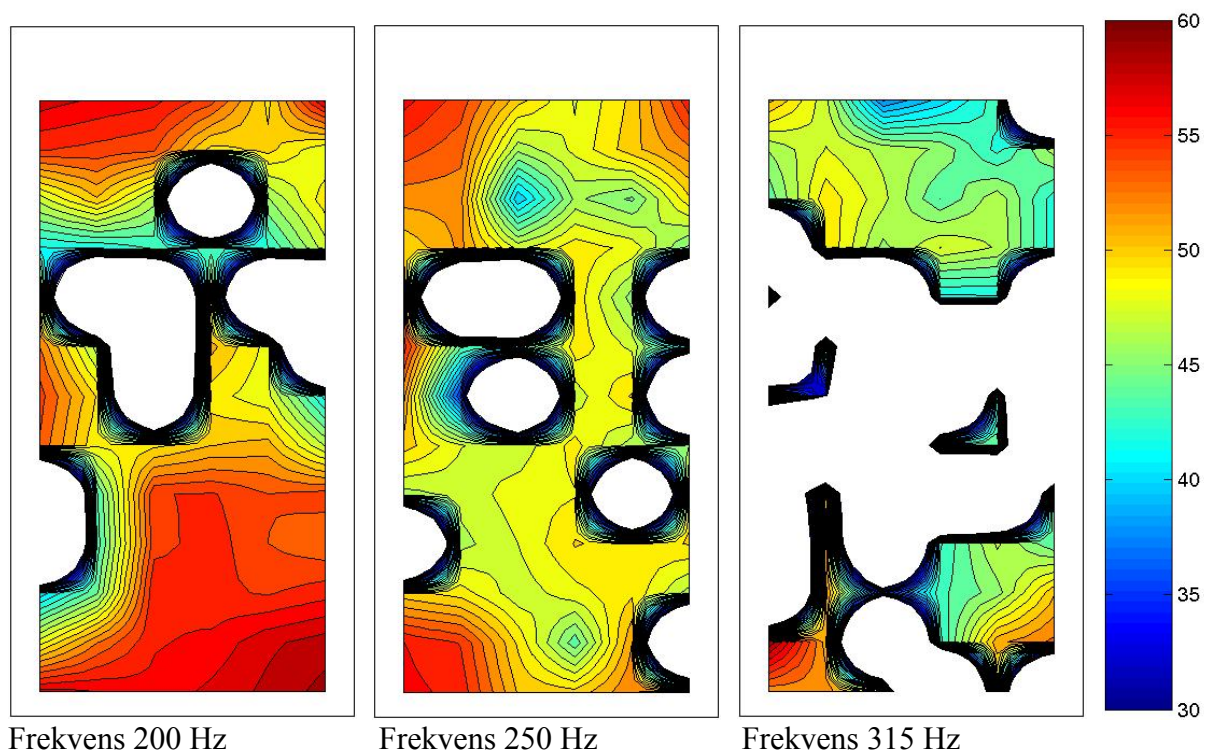
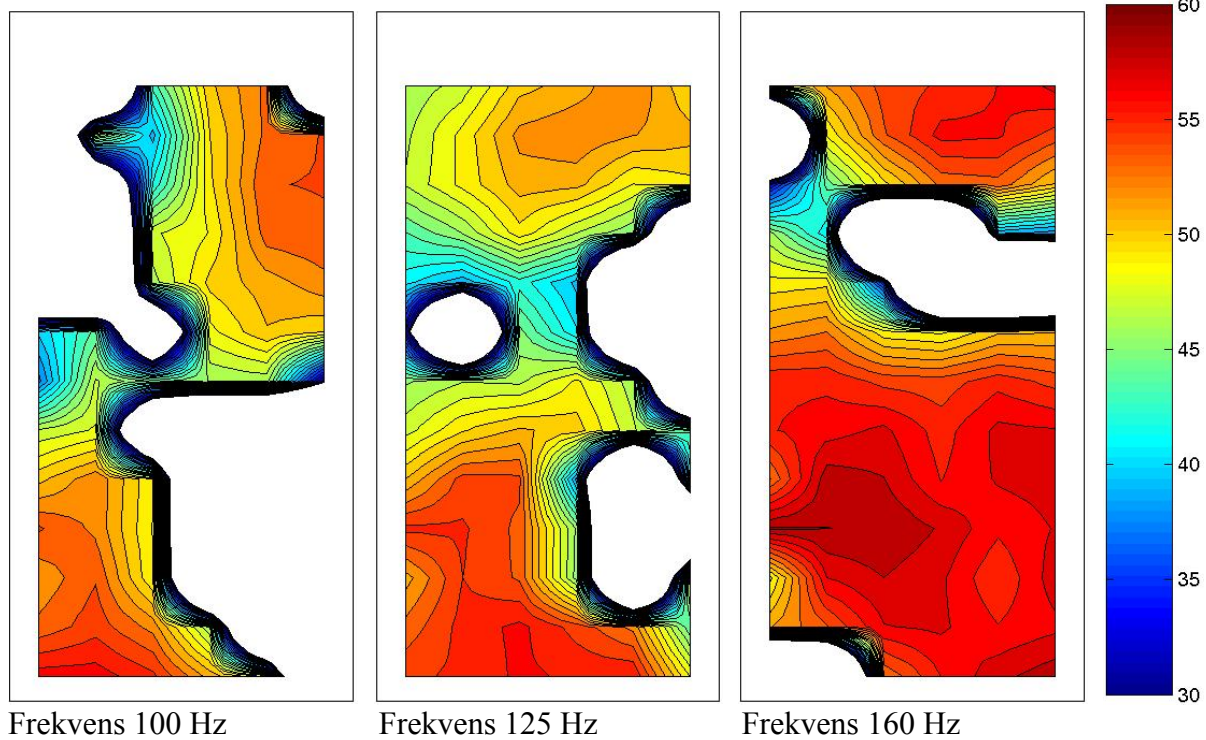
VD9, olika skala

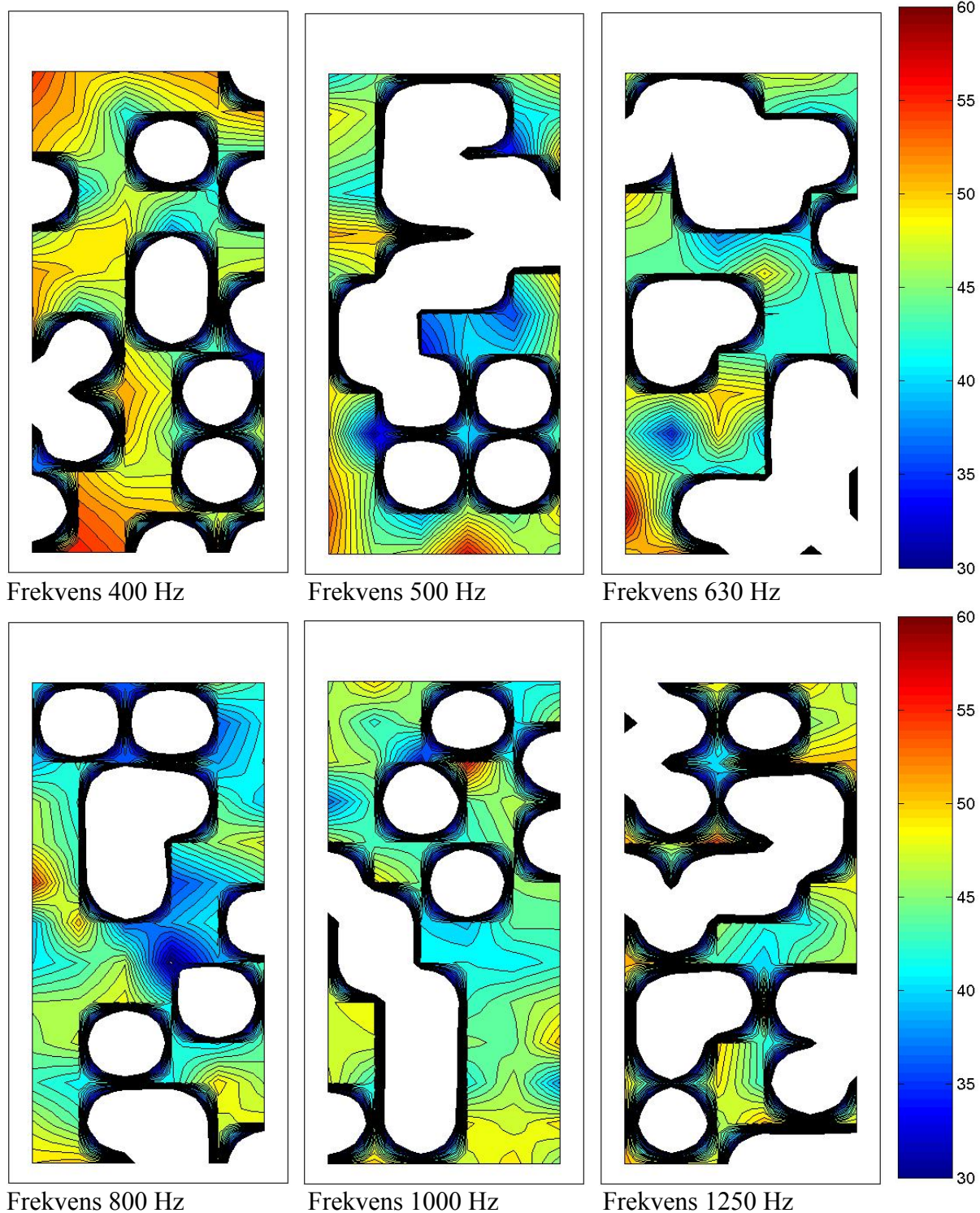
BILAGA 5 sid 6(9)



VD13, olika skala

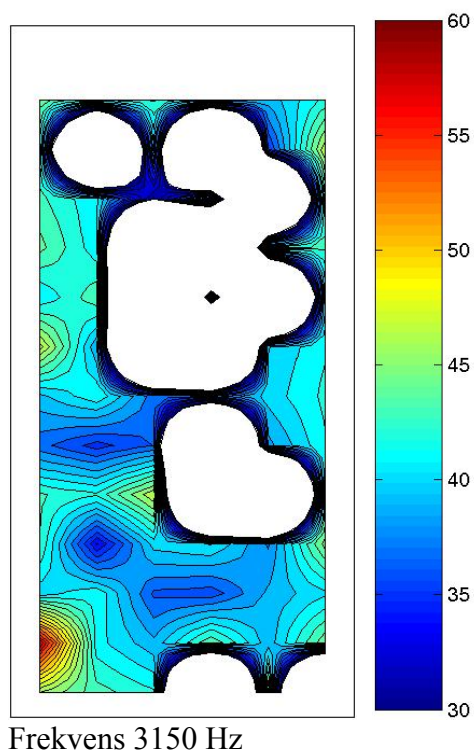
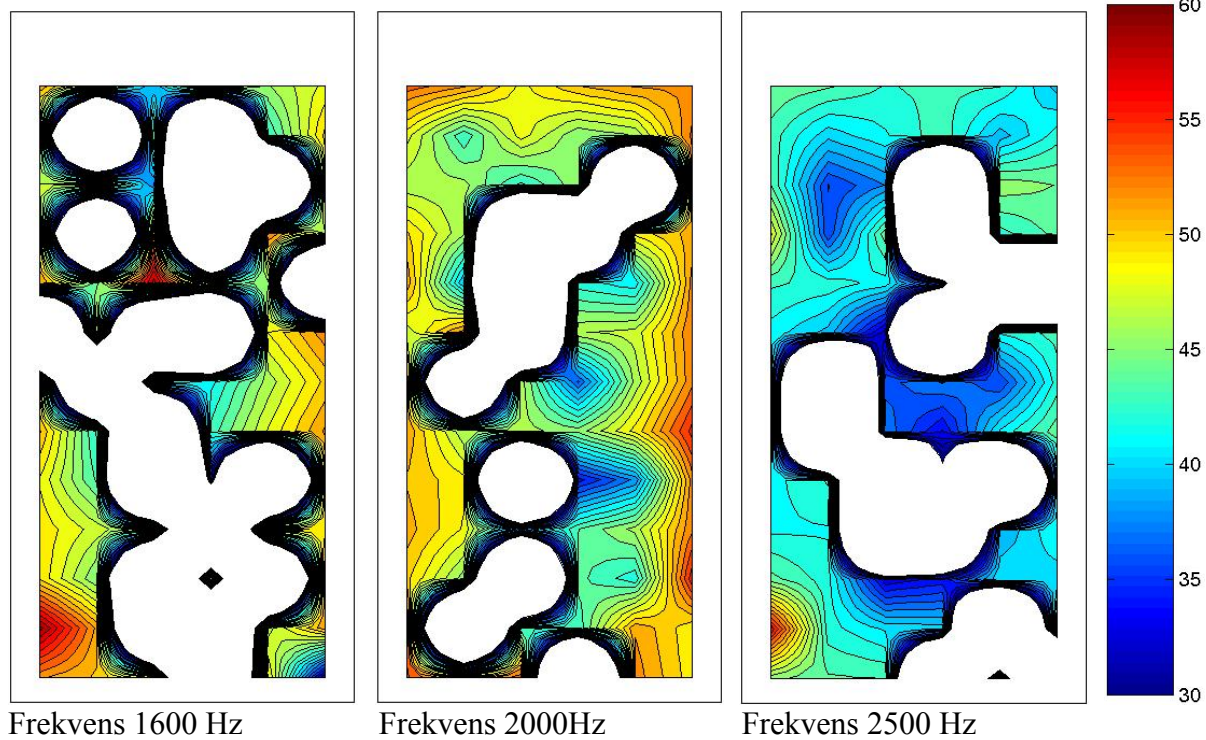
BILAGA 5 sid 7(9)





VD13, olika skala

BILAGA 5 sid 9(9)



Framtida ljudprovningar

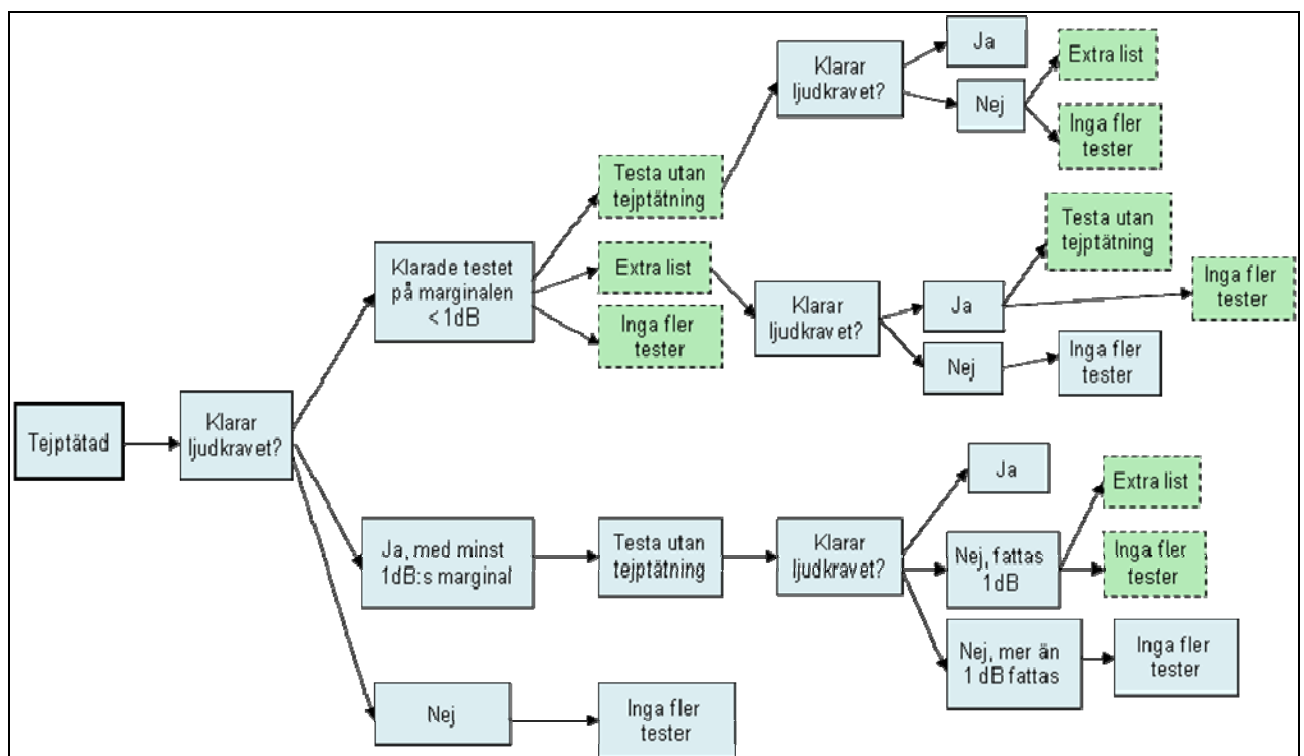
BILAGA 6 sid 1(2)

För varje nytt projekt ökar kunskaperna och erfarenheterna. Men om ingen genomgång utförs och dokumentation är bristfällig, glöms de dyrt förvärvade kunskaperna bort och allt arbete var till ingen nytta. Fördelarna med att ha en bra dokumentation är många.

- Det som är dokumenterat är möjligt att sprida både inom och utom organisationen.
- Företeelser som dokumenteras är tydligare än de som bara diskuterats.
- Det man dokumenterat kan man också följa upp och förbättra.
- Dokumentation fungerar dessutom som ett stöd för medarbetarna exempelvis vid nyanställningar.

Erfarenheterna bör på lämpligt sätt samlas och tillhandahållas i exempelvis en databas. Även om provningarna inte leder till några nya typgodkännanden är det viktigt att lära sig vad som inte fungerar och varför. Det är inte hållbart på längre sikt att göra tiotals provningar utan att ta med sig erfarenheterna till nästa projekt.

Det är viktigt att produktutvecklingen är planerad och strukturerad. Det räcker inte med att endast ha idéer och sedan tillverka dörrbladet och testa det. Här följer en schematisk bild över vilka steg som borde ingå vid framtagandet av ny konstruktion av dörrblad.



Figur 41. Schema ljudprovning

1. Gå igenom gamla provningar. Har en snarlik konstruktion tidigare testats och hur påverkades reduktionstalet av de olika faktorerna?
2. Gör överslagsberäkningar på reduktionstal och koincidensfrekvens för de tänkta materialen. (se ekvation 4.11 och 4.13)
3. Se till att ha en referens som den nya konstruktionens reduktionstal kan jämföras med, så att man vet om förändringarna leder till en förbättring.

BILAGA 6 sid2(2)

4. Så långt det är möjligt, ändra bara en faktor åt gången. Det kan verka lockande att prova en till synes optimal lösning, men eftersom ljudisolering i dörrar är mycket komplicerat är det på förhand svårt att veta vad som kommer att ske. Har flera faktorer ändrats är det omöjligt att veta vilken förändring som ledde till förbättringen/försämringen av reduktionstalet.
5. Gör noggranna, detaljerade ritningar med all information som krävs för att i ett senare skede kunna utvärdera resultaten. Se nedan vilken information som bör framgå i varje ritning.
6. Vid tillverkningen ska den projektansvarige vara med och se till att ritningarna följs till punkt och pricka.
7. Testa dörrbladet.
8. Utvärdera resultaten noggrant genom att analysera och jämföra med referensobjektet.
9. Dokumentera, spara ljudkurva samt ritning så att den är lätt att hitta vid senare behov.

Alla tester bör följa schemat i figur41 nedan för att reducera kostnaderna för varje enskild provning.

Varje ritning bör innehålla följande:

- Konstruktionens namn så att den går att länka ihop med rätt ljudkurva
- Alla väsentliga mått
- Materialinformation såsom densitet, materialsort och produktnamn.
- Det ska framgå i dokumentationen hur dörrbladet är limmat (punktlimmat eller hellimmat).

I ljudkurvan ska framgå om dörren är provad med andra förutsättningar än i normalfallet, exempelvis om någon extra list är tillsatt.

Det är viktigt att alla provningar alltid börjar med att dörrbladet testas tejpad. Om vissa av provningarna är testade med tejptätning och andra utan tejptätning försvårar det jämförandet av olika konstruktioners reduktionstal. Fördelen med att alltid testa tejptätad först är att det ger information hur bra själva konstruktionen är, ingen hänsyn behöver tas till läckage mellan dörrblad och karm. Efter att dörrbladet testats tejpad är det dags att gå vidare till nästa steg. Vid varje enskilt ljudprovningstillfälle ska den som utför testerna på SP i Borås ringa och fråga den projektansvarige på Doorria Vännäs hur han/hon ska gå tillväga efter att det första testet med tejptätning utförts. Om konstruktionen klarade testet precis på marginalen finns det tre alternativ, antingen testas dörrbladet utan tejptätning, inga fler tester görs eller så kan en extra list på gångjärnssidan läggas till innan dörrbladet testas utan tejptätning. Här är det svårt att alltid vara konsekvent, utan bästa möjliga scenario beror på omständigheterna. Bland annat beror beslutet på om konstruktionen är helt ny och testas i produktutvecklingssyfte eller på om dörrbladet testas för att få igenom ett typgodkännande. I det första fallet kanske dörrbladets endast testas för att jämföras med andra tänkta konstruktioner och kräver vidare utveckling innan det lönar sig att testa utan tejptätning. Generellt sett förloras mellan 1-2 dB om dörrbladet testas utan tejptätning jämfört med tejptätning. Så chansen att klara testet utan tejptätning är liten samtidigt som risken är stor att marginalerna är mycket små om konstruktionen trots allt skulle klara ljudkravet utan tejptätning. I det senare exemplet kan det vara värt att fortsätta försöken, antingen med att först testa utan tejptätning men utan extra list eller testa utan tejptätning men med extra list.

Ritningar

BILAGA 7 sid 1(1)

Rev.nr	Reviderat	Sign.	Datum
LJUDPROVNING 070827			
Ramträ T/B 60mm Sidor 60mm VD9-01-001 ANSLAGSSIDA Ramträ T/B 125mm Sidor 60mm VD9-01-002 ANSLAGSSIDA			
Ramträ T/B 125mm Sidor 60mm VD9-02-001 ANSLAGSSIDA Ramträ T/B 125mm Sidor 60mm VD9-02-002 ANSLAGSSIDA			
Ramträ T/B 125mm Sidor 60mm VD9-03-001 ANSLAGSSIDA			
Pos	Material/Benämning		
Dimension	Skala 1:2	Datum 070814	Godkänd av
DOORIA		Ritad av	Gen.tolerans
		Filnamn	
		G:\Ritning\ASP\Ljudprov\VD9	
Benämning		Ritningsnummer	
VD9		500668-10	

Ljudprovning

BILAGA 8 sid 1(2)



RAPPORT

Datum
2007-09-04

Beteckning
P703509

Sida
1 (1)

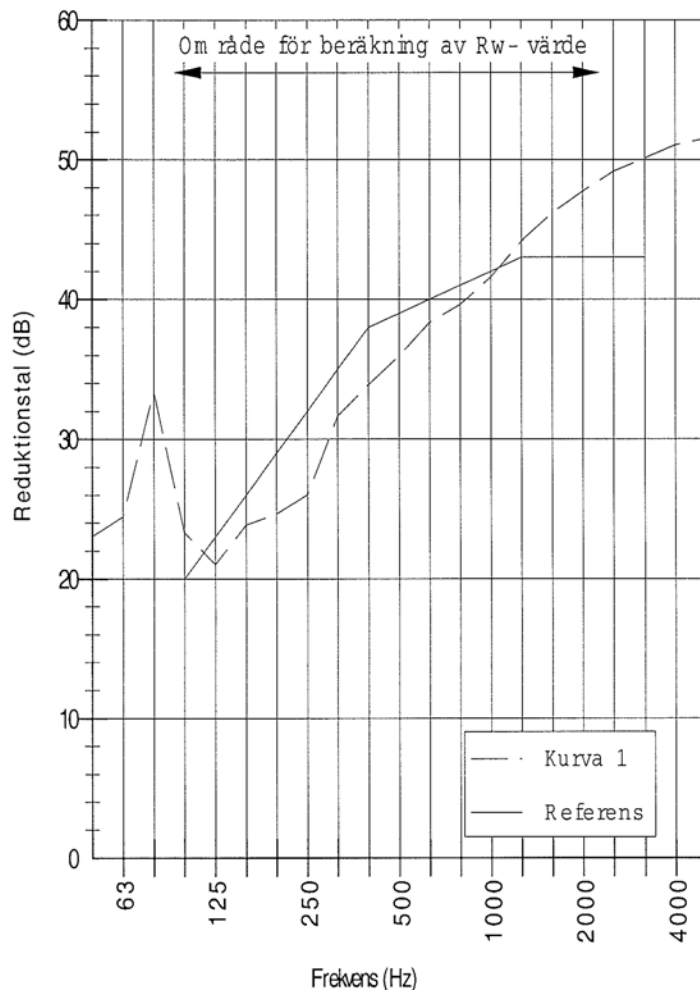
Bilaga 04

Bestämning av luftljudsisolering i laboratorium enligt SS EN ISO 140-3:95

Uppdragsgivare: Dooria Vännäs AB
Provobjekt: Dörr typ: VD9-01-001
Dörrbladets tjocklek och massa: 40 mm resp. 48 kg.
Dörrbladets areara massa: 25,4 kg/m²
Dörrbladets ytskikt: Board
Provöppningsarea samt modul: 2,15 m², M10*M21

Resultat: Kurva 1 - Tätat med tejp mellan dörrblad och karm
Kurva 2 - Referenskurva

Mätdatum: 2007-08-29



Frekvens (Hz)	Kurva 1 (dB)
50	23
63	24,5
80	33,4
100	23,3
125	21
160	23,8
200	24,7
250	26
315	31,6
400	33,9
500	35,9
630	38,4
800	39,6
1000	41,6
1250	44,1
1600	46,2
2000	47,8
2500	49,2
3150	50,1
4000	51,1
5000	51,5

Rw	39
(C; Ctr)	(-2;-6)
50-3150	(-2;-6)
50-5000	(-1;-6)
Rmedel	36,1
Sum. Avv.	28,5
Max. Avv.	6
Frekvens	250

Ljudprovning

BILAGA 8 sid 2(2)



RAPPORT

Datum
2007-09-04

Beteckning
P703509

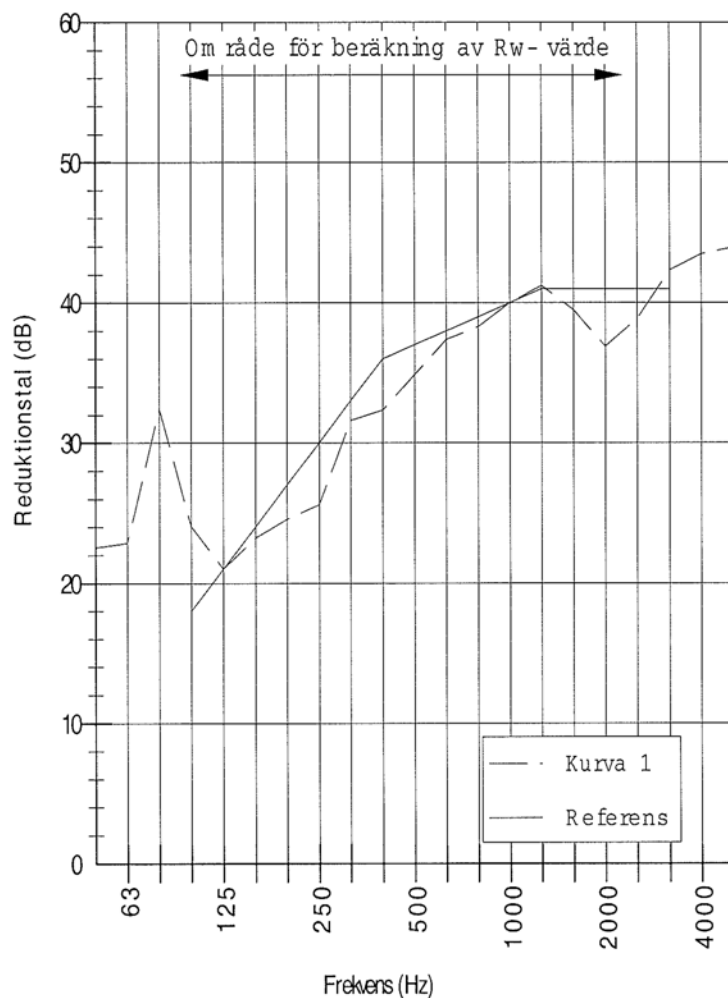
Sida
1 (1)

Bilaga 05

Bestämning av luftljudsisolering i laboratorium enligt SS EN ISO 140-3:95

Uppdragsgivare: Dooria Vännäs AB
Provobjekt: Dörr typ: VD9-01-001
Dörrbladets tjocklek och massa: 40 mm resp. 48 kg.
Dörrbladets areamassa: 25,4 kg/m²
Dörrbladets ytskikt: Board
Provöppningsarea samt modul: 2,15 m², M10*M21

Resultat:
Kurva 1 - Normalt montage och utan tejptätning
Kurva 2 - Referenskurva



Frekvens (Hz)	Kurva 1 (dB)
50	22,5
63	22,9
80	32,4
100	24,1
125	21
160	23,2
200	24,6
250	25,6
315	31,6
400	32,3
500	34,9
630	37,4
800	38,3
1000	40
1250	41,2
1600	39,5
2000	36,9
2500	38,8
3150	42,4
4000	43,5
5000	44

Rw	37
(C; Ctr)	(-1;-4)
50-3150	(-1;-5)
50-5000	(0;-5)
Rmedel	33,2
Sum. Avv.	23,9
Max. Avv.	4,4
Frekvens	250

Bilder från tillverkningen av utvalda konstruktioner



Tillverkning av dämplimskonstruktionen. Först tejpades kanterna för att undvika att limmet hamnar för långt ut på kanterna och leder till att limmet hamnar på sidan av spånskivan.



Dämplimmet spreds med limspridare (tandad spackel), till en tjocklek motsvarande 1kg/m².

BILAGA 9 sid 2 (3)



*VD9 fyllningar. Överst spånskiva konstruktionen, mitten standard VD9- ramträ 60*60mm och längst ned standard VD9- ramträ 60*120 mm.*



Tre pappers remsor lades på ytskivan innan fyllningen stoppades i. Detta för att minska styvheten i konstruktionerna.



Dörrbladen pressades i en varmpress.