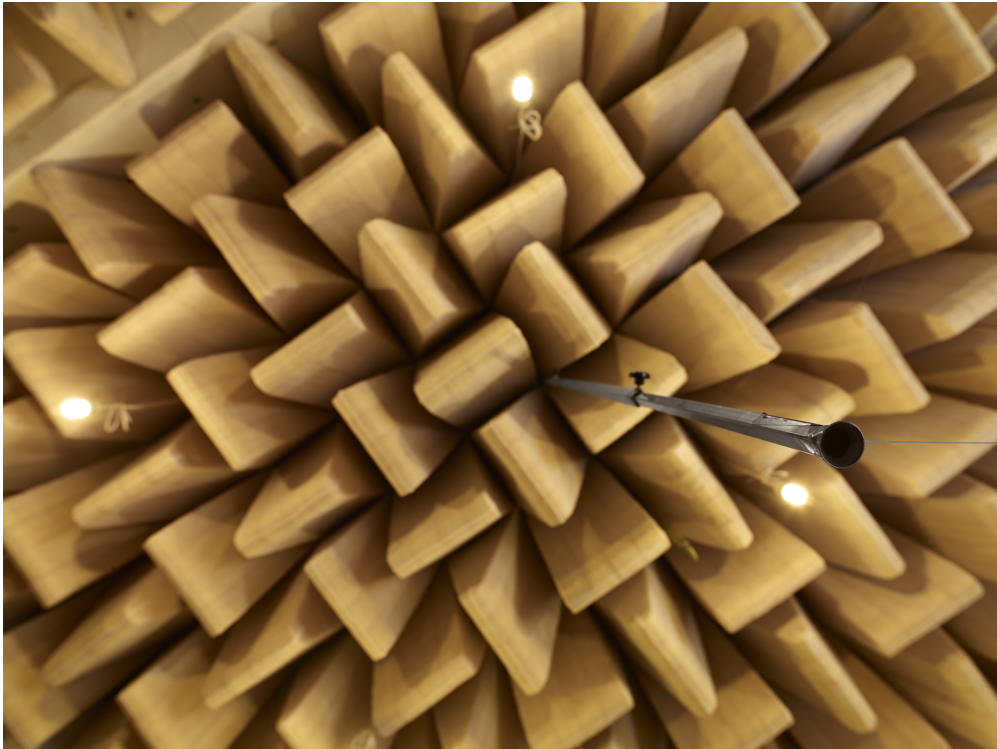




CHALMERS



Analys av mätmetoder för möbelljud

Förberedande arbete för standardisering av mätmetod

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Gustav Danielsson
Rikard Johansson

EXAMENSARBETE 2018

Analys av mätmetoder för möbelljud

Förberedande arbete för standardisering av mätmetod

GUSTAV DANIELSSON

RIKARD JOHANSSON



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Inst. för Material- och tillverknings teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2018

Analys av mätmetoder för möbelljud
Förberedande arbete för standardisering av mätmetod
Gustav Danielsson & Rikard Johansson

© GUSTAV DANIELSSON & RIKARD JOHANSSON, 2018

Handledare och Examinator: Håkan Wirdelius, Biträdande professor, avdelningen för Konstruktionsmaterial, Institutionen för industri- och materialvetenskap

Examensarbete 2018
Inst. för Material- och tillverknings teknik
Chalmers Tekniska högskola
SE-412 96 Gothenburg
Telephone +46 31 772 1000

Omslag: Halvekofritt rum hos Research Institutes of Sweden

Skriven i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2018

Analys av mätmetoder för möbelljud
Förberedande arbete för standardisering av mätmetod
Gustav Danielsson & Rikard Johansson
Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

För att utveckla mer skonsamma miljöer att vistas i är det viktigt att minimera mängden buller. Idag existerar ingen standardiserad möjlighet för att jämföra hur mycket ljud möbler ger ifrån sig då de utsätts för en kraft. Därför behöver marknaden en standard som kan ge ett måttetal för en bordskiva vilket skulle kunna jämföras.

Detta arbete syftar till att vara ett av många arbeten som leder till denna standard. Arbetet genomfördes på RISE Research Institutes of Sweden. Arbetet består av en omvärldsanalys som resulterade i en definition av en fallstudie. Denna fallstudien har sedan utvärderats i detta arbete.

I fallstudien användes en stegmaskin, en impulshammare, en shaker och en metallkula vilka testades i ett halvekofritt rum. Resultaten mättes upp med hjälp av accelerometrar och mikrofoner.

Resultatet blev att stegmaskinen sågs som lämpligast mätmetod. Vid standardisering krävs dock mer underlag för att välja en testmetod, då det är många faktorer som skall vägas in. En viktig faktor för valet av metod är hur lång tid mätningarna kommer att ta. Detta då kostnad för personal kommer vara störst andel av merkostanden. Utrustningskostnaden blir däremot relativt liten, då antalet mätningar antas vara många. Det är även viktigt att analysera om det är relevant att utveckla en helt ny produkt för denna mätning. Möjligtvis skulle en mindre hammarapparat kunna användas inom andra områden. Annars är kanske en mer specifik mätutrustning anpassad för denna tillämpning mer relevant att utveckla.

Sammanfattningsvis krävs mer arbete för att ta fram en standardiserad mätmetod. Detta arbete utgör en bra grund i strävan för en standardiserad mätmetod. Detta arbete tar inte fram någon ny metod men beskriver några av de som existerar för tillfället inom andra branscher. Metoderna modifierades för att passa till valt mätobjekt. Mätningarna har utförts, utvärderats och ställts emot varandra.

Nyckelord: Standard, SIS, möbelemission, RISE, ljud, möbler, bordskivor, buller, examensarbete.

Abstract

To develop more lenient environments it is important to minimize the amount of ambient noise. As it is today there is no solution to compare the amount of sound that furniture excites when they're prone to a force. Therefore the market and producers need a standardized way of comparing the amount of noise that, for example a table-top will make in a open environment.

The ambition of this thesis is that it will be a part among other theses leading to a standard way of measurement of tables. The thesis have been performed at RISE Research Institutes of Sweden. The work contains a business intelligence that will be the foundation of the case study that has been analyzed.

The case-study contained a tapping machine, a impulse hammer, a shaker and a steel pellet which were tested in a half anechoic room. The results were measured with accelerometers and microphones.

The result was that the tapping machine was considered the optimal method of the ones available, for standardization there would preferably be more supporting facts. There are many factors to be observed and compare their the importance of them. One thing that is very important is the amount of time needed to do the measurement, the reason for this is that the biggest cost is personnel. The amount of measurements is assumed to be many and therefore the cost of the device for the measurement will be less significant. It's also important to consider if it might be worth developing a new device that can be used for similar tasks, otherwise a simpler more specific device might be more relevant.

In summary, to come up with a standardized measurement method there is a bit more work needed, this thesis contains a solid foundation to continue working from. The thesis does not contain any new method but describes a couple that exist in other branches of industry. Some of the methods are modified to fit the chosen object. The measurements are carried out, evaluated and then compared to one another.

Keywords: standardization, SIS, exciting, RISE , furniture, ambient noise, environment, thesis.

Förord

Detta arbete genomfördes under våren 2018 på RISE Research Institutes of Sweden i Borås. Arbetet är sista momentet för utbildningen Maskiningenjör på Chalmers Tekniska Högskola.

Vi skulle vilja tacka alla som har hjälpt oss att genomföra detta arbetet. Speciellt skulle vi vilja tacka: Krister Larsson som har varit vår handledare på RISE. Jan Almqvist som har fått all logistik på RISE att fungera. Dag Glebe har stått för svar på många av de frågor vi haft. Johan Pettersson som hjälpt oss med mycket av det praktiska. Vi skulle även vilja tacka Johan Dahlgren för en bra intervju.

Vi vill även tacka Håkan Wirdelius från Chalmers Tekniska Högskola, som ställt upp som vår handledare och examinerator.

Gustav Danielsson & Rikard Johansson, Göteborg, Maj 2018

Innehåll

Figurer	xv
Tabeller	xvii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställningen	2
2 Teori	3
2.1 Mätvärden och definitioner	3
2.1.1 Ljud	3
2.1.2 Ljudtrycksnivå	3
2.1.3 Vägd ljudnivå	4
2.1.4 Frekvens	4
2.1.5 Egenfrekvens	4
2.1.6 Oktavband	4
2.1.7 Acceleration	4
2.1.8 Kraft	5
2.1.9 Dämpning	5
2.2 Exciteringsformer	6
2.2.1 Sfäriskt klot i gummi	6
2.2.2 Stegmaskin	7
2.2.3 Impulshammare	7
2.2.4 Shaker	8
2.2.5 Heavy Floor Impact Source (Bang Machine)	8
2.3 Mätmetoder	9
2.3.1 Mikrofon	9
2.3.2 Laser vibrometer	9
2.3.3 Accelerometer	9
2.4 Analysmetoder	10
2.4.1 Modalanalys	10
2.4.2 Resonant Acoustic Method	10
2.4.3 Resonant Ultrasound Spectroscopy	10
2.4.4 Analys för det sfäriska klotet	10
2.4.5 Analys för stegmaskinen	11
2.4.5.1 ISO 717-2	11

2.5	Standard	12
2.5.1	Definition av en standard	12
2.5.2	Arbetsprocessen	12
2.5.3	Tidsomfång	12
2.5.4	Innehåll	12
3	Metod	15
3.1	Omvärldsanalys	15
3.2	Intervju	15
3.3	Fallstudie	15
3.3.1	Valt objekt	15
3.3.2	Valt rum	16
3.3.3	Valda exciteringsmetoder	18
3.3.3.1	Metallkula	18
3.3.3.2	Stegmaskin	19
3.3.3.3	Impulshammare	19
3.3.3.4	Shaker	20
3.3.4	Uppmätning	21
3.3.4.1	Mikrofoner	21
3.3.4.2	Accelerometer	22
3.3.5	Datainsamling	24
3.3.5.1	Siemens LMS Scadas XS	24
3.3.6	Bearbetning av mätvärden	25
3.3.6.1	Datorprogram	25
3.3.6.2	Beräkning av medelljudtrycksnivå $\overline{L_P}$ och standardavvikelse	25
3.3.6.2.1	Metallkulan	25
3.3.6.2.2	Impulshammaren	25
3.3.6.2.3	Stegmaskin	25
3.3.6.2.4	Shaker	26
4	Resultat	27
4.1	Resultat från fallstudien	27
4.1.1	Metallkula	27
4.1.2	Stegmaskin	28
4.1.3	Impulshammare	29
4.1.4	Shaker	29
4.1.5	Jämförelse av de olika metoderna	29
4.1.5.1	Viktning	29
4.1.5.2	Sammanställning av medelljudtrycksnivån	29
5	Diskussion	31
5.1	Resultatdiskussion	31
5.1.1	Metallkulan	31
5.1.2	Stegmaskin	31
5.1.3	Impulshammaren	32
5.1.4	Shaker	32
5.2	Metoddiskussion	32
6	Slutsats	35

6.1	Svar på frågeställningarna	35
6.1.1	Vilka metoder finns idag som kan appliceras på en bordsskiva? . . .	35
6.1.2	Finns det några likheter hos dessa metoder och vilka är de i så fall?	35
6.1.3	Är metoderna repeterbara, reproducerbara och kostnadseffektiva? .	36
6.2	Utförandet av syftet	36
6.3	Rekommendationer för fortsatt arbete	37
Litteraturförteckning		39
A Bilaga 1 - Beräkningar		I
A.1	Metallkula	I
A.2	Stegmaskin	III
A.3	Impulshammare	V
A.4	Shaker	VII

Figurer

2.1	Kontaktkraft i varje oktavband för en gummiboll, där x-axeln är Octave band centre frequency och y-axeln är Impact force exposure level, $L_F E$. . .	7
3.1	Mätobejektet i det halvekofria rummet.	16
3.2	De olika bordsskivorna.	16
3.3	Halvekofritt rum	17
3.4	Uppbyggd kulbana i polyeten.	18
3.5	Konstruerad släppmekanism för kulan.	19
3.6	Använd stegmaskin, <i>Norsonic Tapping Machine Nor277</i>	19
3.7	Använd impulshammare, <i>PCB Piezotronics Impact hammar (PCB 086C04)</i>	20
3.8	Montering samt shaker, LDS V101 Permanent shaker.	20
3.9	Mikrofonernas uppställning.	21
3.10	<i>Brüel Kjaer</i> , type 4507.	22
3.11	<i>Brüel Kjaer</i> , type 4397.	23
3.12	Placering av accelerometrarna, på bilden används <i>Brüel Kjaer</i> type 4397.	23
3.13	Siemens LMS Scadas XS.	24
4.1	Resultat för mikrofon 1 för alla 15 försök	27
4.2	Jämförelser mellan de olika metoderna	29
A.1	Beräkningar metallkulan för dämpad skriva	I
A.2	Beräkningar metallkulan för odämpad skriva	II
A.3	Beräkningar stegmaskin för dämpad skriva	III
A.4	Beräkningar stegmaskin för odämpad skriva	IV
A.5	Beräkningar impulshammaren för dämpad skriva	V
A.6	Beräkningar impulshammaren för odämpad skriva	VI
A.7	Beräkningar shaker för dämpad skriva	VII
A.8	Beräkningar shaker för odämpad skriva	VIII

Tabeller

2.1	Kontaktkraft för en gummiboll i varje oktavband	6
2.2	Oktavband slagkraftsexponering med toleranser.	8
3.1	Samtliga sidors areor på rätblocket.	21
4.1	Medelvärde för de olika mikrofonerna på position 1 för den dämpade skivan	27
4.2	Medelljudtrycksnivåerna för position 1, 2 och 3	28
4.3	Uppmätta värden för stegmaskin på position 1 och 2 för dämpad skiva. . .	28
4.4	Medelvärde för stegmaskinen på position 1 och 2 för dämpad skiva. . . .	28
4.5	Sammanställning av medelljudtrycksnivån.	30

1

Inledning

På uppdrag av RISE Research Institutes of Sweden har ett arbete genomförts som syftar till att vara en del i processen för att ta fram en standardiserad mätmetod för ljudemission från möbler. Nedan behandlas bakgrunden, syftet och frågeställningen för arbetet. Även avgränsningar tas upp i detta kapitel.

1.1 Bakgrund

RISE Research Institutes of Sweden, vilket är Sveriges forskningsinstitut, jobbar för en hållbarare miljö och en mer konkurrenskraftig marknad. Företaget består av ett flertal sektioner som har expertis inom specifika områden. På hela RISE Research Institutes of Sweden jobbar det ungefär 2300 st anställda. På ljud- och vibrationssektionen arbetas det dagligen med kalibrering av ljud- och vibrationsmätutrustning.

RISE Research Institutes of Sweden arbetar med tester, både för dem själva och för företag som vill testa sina produkter. Arbetet som sker inom ljud- och vibrationsmätning används för produktutveckling samt för att säkerställa att krav och standarder följs.

För möbelljud finns det idag ingen standardiserad mätmetod för att se hur mycket ljud som möbler emitterar. I dagsläget genomförs det vissa tester på just detta dock utan riktlinjer för hur dessa tester skall gå till. Detta medför att testerna inte visar så mycket och att de olika aktörerna som genomför testerna inte kan jämföra dem då de kan vara utförda på olika sätt.

Ljud från möbler och likande föremål är en av de mest bidragande faktorerna för en sämre ljudmiljö på allmänna platser, som exempelvis skolor, arbetsplatser och restauranger. Saker som karaktäriserar dessa platser är mycket folk samt öppna ytor. Exempel på ljud som dessa kan vara en stol som dras över ett golv eller något som tappas på en bordskiva.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att sammanställa de metoder som nuvarande används för att mäta hur ljud emitterar från ett föremål. I dagsläget finns det ingen standard. Detta gör det svårt att jämföra produkter. Arbetet skall lägga en grund för ett arbete mot en standardiserad mätmetod för ljudemission från möbler. När sammanställning för nuvarande metoder gjorts skall även de flesta av dessa mätmetoderna prövas för att få fram en fallstudie.

1.3 Avgränsningar

För att arbetet skall vara genomförbart på avsatt tid har avgränsningar gjorts där det har valts att titta på bordsskivor, mer exakt ljudet som bordsskivor emitterar när en kropp kolliderar med ytan. Arbetet pekar inte heller ut en standardiserad mätmetod. Avgränsningen har gjorts för att arbetets tidsomfång skall passa in i ramen för ett examensarbete.

1.4 Precisering av frågeställningen

Frågeställningarna som ställs i arbetet är:

- Vilka metoder finns idag som kan appliceras på en bordsskiva?
- Finns det några likheter hos dessa metoder och vilka är de i så fall?
- Är metoderna repeterbara, reproducerbara och kostnadseffektiva?

2

Teori

I detta kapitel kommer metoder som används idag, alternativt har använts, att presenteras. Kapitlet är uppdelat så att först kommer olika exciteringsformer att presenteras i avsnitt 2.2. Därefter kommer de olika mätmetoderna att tas upp i avsnitt 2.3. Olika analysmetoder kommer att tas upp i avsnitt 2.4. Före detta kommer bakomliggande information att presenteras i avsnitt 2.1.

Arbetsprocessen för en standard och vad det är kommer att presenteras i 2.5. Detta för att få en mer klar bild av hur det går till när en metod blir standardiserad.

2.1 Mätvärden och definitioner

I detta avsnitt kommer förklaringar för bakomliggande kunskap att presenteras från avsnitt 2.1.1 till 2.1.9.

2.1.1 Ljud

Ljud uppkommer av tryckförändringar i luften. Detta kan ske på oändligt många olika sätt. Ett av många exempel är stämbanden hos människor som svänger när vi pratar, vilket skapar tryckförändringarna i luften (Ljudskolan, 2018).

På jorden finns det alltid ett atmosfärstryck, detta märks på trumhinnorna hos oss människor. Tryckförändringen blir högre alternativt lägre än atmosfärstrycket vilket uppfattas som ljud av örat. Storleken på tryckförändringen kallas för amplitud. Amplituden påverkar ljudnivån. En stor amplitud ger en hög ljudnivå. För en svängning eller en periodisk funktion är amplituden den maximala höjdskillnaden till medelvärdet (Nationalencyklopedin, 2018b).

2.1.2 Ljudtrycksnivå

Ljudtrycksnivå bestämmer hur högt ett ljud är. En hög ljudtrycksnivå kan orsaka bestående skador på hörseln. Decibel används för att mäta ljudtrycksnivå. Detta mäts genom elektrisk signalstyrka eller digitala signaler. Skalan är logaritmisk vilket leder till att en ökning med 10 dB medför att ljudtrycksnivån ökar avsevärt mycket mer. (Nationalencyklopedin, 2018f).

$$L_P = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (2.1)$$

Ljudnivån kan beräknas enligt ekvation 2.1 där p är uppmätt värde i pascal och p_0 är referensljudtrycket 2×10^{-5} Pa.

2.1.3 Vägld ljudnivå

Istället för att ange ljudnivå i dB anges den ofta i dBA, även kallat dB(A). Med detta menas att ljudnivån har viktats för att försöka anpassa ljudnivån till den varierande känsligheten i det mänskliga örat för olika ljudfrekvenser. Huvudsyftet med att väga ljudnivån är att de låga och höga frekvenserna inte ges lika mycket vikt som på en standardiserad decibelskala. Många standarder är angivna i dBA för att bättre representera upplevd ljudnivå (Veggeberg, 2008) gentemot en ovägd ljudskala. Det är därför vägd ljudnivå allmänt används för att beskriva yrkes- och miljöbuller.

Förutom A-vägd ljudtrycknivå så finns det B-, C- och D-vägd. Kurvorna A, B och C används för låga, medelstora och höga frekvensljud. D är speciellt för mätning av mycket högt flygplansbuller (LindosElectronics, 2018). Det finns även Z-vägd ljudnivå, vilket menar ej vägd frekvensnivå mellan 10 Hz och 20 kHz ± 1.5 dB.

2.1.4 Frekvens

Frekvens anger hur många gånger någonting sker inom ett specifikt tidsintervall. Enheten för frekvens är Hertz och förkortas Hz. 1 Hz motsvarar en händelse per sekund. En ung person kan vanligtvis höra ljud i intervallet 20 till 20000 Hz. I samband med högre ålder minskar möjligheten att höra de höga frekvenserna. Örat upplever olika frekvenser som olika höga, även om ljudnivån är samma. Därför kan olika vägningar användas för att anpassa mätvärdena. Frekvens kan gälla både ljud och vibrationer (Sjörs & Bager, 2018).

2.1.5 Egenfrekvens

Ett system kan ha en eller flera egenfrekvenser. Om systemet utsätts för yttre påverkan med samma frekvens som egenfrekvens kan resonans uppstå. Då resonans uppstår sker större svängningar som kan leda till stora skador på systemet. Det går att motverka resonans med hjälp av dämpning på systemet (Nationalencyklopedin, 2018d).

2.1.6 Oktavband

Oktavband är en uppdelning av centerfrekvenser mellan 31.5Hz och 16 kHz. Det finns även en indelning där oktavbanden delats upp i tredjedelar (Veggeberg, 2008). En dubblering sker vid varje steg mellan de standardiserade oktavbanden.

Oktavbandsanalys sorterar de olika energinivåerna, som ger möjlighet att se vilka frekvenser som förekommer. Det är viktigt att veta ljudets karaktär för att kunna åtgärda problem med exempelvis oönskade ljud.

2.1.7 Acceleration

Acceleration är förändring av hastighet sett till tid. SI-enheten för acceleration är $\left[\frac{m}{s^2}\right]$. Användning av en accelerometer ger möjlighet att mäta accelerationen (Nationalencyklopedin, 2018a). Vibrationerna hos bordet kan tas upp som acceleration, som även uppfattas som ljud.

2.1.8 Kraft

Kraft kan beskrivas som orsak till förändring hos ett system. Inom klassisk dynamik används Newtons lagar för att definiera kraft. Begreppet kraft är ett sammanfattande begrepp för alla händelser som påverkar en kropps rörelsemängd, mv . Enheten för kraft mäts i Newton (Nationalencyklopedin, 2018e).

2.1.9 Dämpning

För att ändra ett systems resonansfrekvens går det att använda dämpning. Detta används exempelvis för värmepumpar som står på dämpat material. Ett system kan ges kortare efterklang med hjälp av dämpning. Det beaktas då vibrationerna rör sig från exciteringspunkt till sammanhängande komponenter, t.ex. ben till en möbel. (Nationalencyklopedin, 2018c)

2.2 Exciteringsformer

För att skapa bland annat emission hos ett system kan energi tillföras, vilket ger upphov till en rörelse i systemet. Denna rörelse påverkar atomerna i systemet så att en vibration uppstår. En vibration är en svängningsrörelse i ett mekaniskt system kring ett jämviksläge (Olsson, 2018).

I avsnitt 2.2.1 till 2.2.5 kommer ett antal olika metoder att presenteras vilket ansätter en kraft till ett system på olika sätt. Dessa metoder bygger på samma teori och försöker att få samma resultat, dock med olika tillvägagångssätt. Vad som skiljer dem åt är också hur svängningsrörelsen som skapas ser ut. Detta när kraften ansätts, med andra ord vilket ljud den försöker att efterlikna.

2.2.1 Sfäriskt klot i gummi

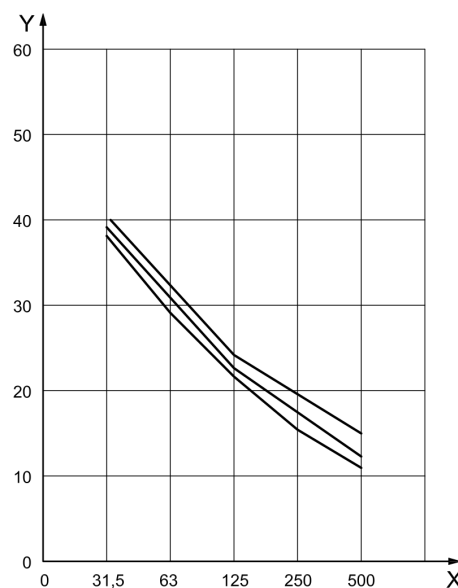
Ett gummiklot används för att simulera exempelvis barn som springer, hoppar eller vuxna som går inomhus i en lägenhet. Denna metoden används bland annat i Japan och Korea och är en standardiserad metod enligt ISO 16283-5:2015 (Jeong, 2015).

Materialvalet för klotet, gummi, har valts för att efterlikna den mer mjuka sammanstötningen mellan ytan och foten. Detta medför att ett mer lågfrekvent ljud erhålls jämfört med en stegmaskin vilket kan läsas om i avsnitt 2.2.2.

Gummibollen skall generera kontaktkraften i varje oktavband visat i tabell 2.1 och figur 2.1 (SIS, 2010) när den fritt släpps vertikalt på en höjd 100 ± 1 cm mätt från golvet till underkant på bollen.

Octave band centre frequency	Impact force exposure level, $L_F E$
Hz	dB re 1 N
31,5	$39,0 \pm 1,0$
63	$31,0 \pm 1,5$
125	$23,0 \pm 1,5$
250	$17,0 \pm 2,0$
500	$12,5 \pm 2,0$

Tabell 2.1: Kontaktkraft för en gummiboll i varje oktavband



Figur 2.1: Kontaktkraft i varje oktavband för en gummiboll, där x-axeln är Octave band centre frequency och y-axeln är Impact force exposure level, $L_F E$

2.2.2 Stegmaskin

En stegmaskin kan användas för att simulera en stor variation av olika lätta tunga nedslag, vilket ger upphov till en impuls hos materialet som angrips. Exempel på detta kan vara steg från en människa med skor som har hård sula eller ett objekt som tappas. Ett mätvärde kan fås fram genom att använda ett värderingssystem enligt ISO 717-2. Stegmaskinen passar även bra till att förutse ljudisolering när ISO 15712-2 används. (SIS, 2010)

En stegmaskin består vanligtvis av fem stycken hammare som är placerade i en linje. Varje hammarhuvud skall bestå av en massa på 500 ± 12 g som faller från en höjd 40 mm med en tolerans på $\pm 5\%$. Stegmaskinen är självdriven och tiden mellan slagen är (100 ± 20) ms. Ytan på hammaren, vilken kommer i kontakt med ytan som undersöks, är cylindrisk med en diameter på $(30 \pm 0,2)$ mm.

Värt att notera är att en stegmaskin ger upphov till ett starkare ljud än vad den försöker att efterlikna. Detta är dock inget problem då standarden är kalibrerad efter detta. Problematiken med detta kan vara att mätvärdena i exempelvis mottagarrummet inte direkt kan jämföras med en mätmetod, vilken ger ifrån sig en mer verklighetstrogen kontakt med ytan som undersöks.

En stegmaskin kan användas för att skapa ljud hos en bordsskiva. Detta görs via att stegmaskinen placeras på bordsskivan och körs under en viss tid. Ljudnivån mäts enligt ISO 10140-3 (Stadig & Larsson, 2016).

2.2.3 Impulshammare

En impulshammare mäter i samband med stöten mot en yta, kraften hos slaget. I hammaren lagras kraften som en funktion av tiden. Datan är användbar för att kopplas samman med andra instrument, så som en accelerometer eller en mikrofon. Det ger en möjlighet

att mäta det dynamiska svaret hos ytan som testas.

Hammaren är accelerationskompenserad. Detta för att undvika komplikationer med vibrationer efter kollisionen (PCB, 2018). För tillfället är användandet av impulshammare för mätning av ljud sällsynt. Med denna metod finns det goda möjligheter att titta på olika material då det endast är toppen hos hammaren som behövs bytas ut. Metoden förekommer vid oförstörande provning, exempelvis vid sökandet efter sprickor i ett material.

2.2.4 Shaker

En shaker eller vibrationsmaskin är en apparat som används för att påtvinga rörelser hos ett system. De kan användas vid uthållighetsprovning såväl som modalprovning.

Det finns flera olika sorters shakers. Vanligtvis används elektro- eller/och hydrodynamiska shakers. Vilken som är lämpligast, bestäms efter vilket frekvensområde som skall betraktas. Elektrodynamiska shakers kan vara fördelaktiga jämfört med hydrodynamiska shakers, då de kan skapa högre frekvenser. Frekvensen väljs efter vad som vill simuleras (Lang & Snyder, 2001).

2.2.5 Heavy Floor Impact Source (Bang Machine)

En Bang Machine består av ett gummidäck som släpps från en höjd på 0.9 m och är lämpad för tester i laborationer. Detta för att den kan ge mindre bestående skador på testytan och att den är inte så smidig att transportera gentemot en stegmaskin (Hopkins, 2007).

En Bang Machine kan användas för att efterlikna och då utvärdera isoleringsaspekten i mellan- och lågfrekvensområdena för ett golvs akustiska prestanda. Maskinen försöker efterlikna samma frekvensnivå som exempelvis ett barn som springer eller hoppar. I tabell 2.2 kan oktavbanden för en Bang Machine ses (RION, 2014).

Octave band centre frequency	Octave band impact force exposure level
Hz	dB
31,5	$47.0 \pm 1,0$
63	$40.0 \pm 1,5$
125	$22.0 \pm 1,5$
250	$11.5 \pm 2,0$
500	$5.5 \pm 2,0$

Tabell 2.2: Oktavband slagkraftsexponering med toleranser.

2.3 Mätmetoder

Nedan presenteras olika mätmetoder för att mäta det som har åstadkommits med någon av de metoderna som har presenterats i avsnitt 2.2.

2.3.1 Mikrofon

En mikrofon omvandlar ljud till elektriska signaler, den är en transducer eller en sensor. Alla mikrofoner kan i huvudsak delas in i två stycken huvudgrupper, dynamiska mikrofoner eller kondensatormikrofoner. Gemensamt för grupperna är att de omvandlar förändringar i lufttryck till elektriska signaler (Nationalencyklopedin, 2018g).

Mikrofoner används vid många olika tillfällen, allt från konserter där ljudsignalen går direkt till en högtalare till att låta ljudet registreras på någon typ av minne (till exempel ett USB). Mikrofoner kan vara konstruerade så att de tar upp ljud från bara en riktning alternativt tar upp ljud från alla olika riktningar.

2.3.2 Laser vibrometer

En laser vibrometer även kallad LDV är ett vetenskapligt instrument vilket mäter vibrationen hos en yta utan att vara i kontakt med den. LDV's laserstråle riktas mot ytan som skall undersökas. Frekvensen samt vibrationsamplituden extraheras från Doppler-skiftet hos den reflekterade laserstrålfrekvensen på grund av ytans rörelse. LDV's huvudsyfte är att den jämför en referensstråle med strålen som den skickar mot ytan som skall undersökas. Det blir ett två laserstrålars interferometri som mäter skillnaden i frekvens mellan referensstrålen och teststrålen. Utsignalen från en LDV är direkt proportionerlig mot mätobjektets hastighet längs laserstrålens riktning där utsignalen är en kontinuerlig analog spänning. (Lutzmann, Chris, Hill & van Putten, 2016)

Användningsområden för LDV är bland annat mäta vibrationen hos ytor som är svåra att komma åt, mäta på ytor som är för varma eller för små för att fästa en fysisk transducer. En transducer är en anordning som omvandlar en form av energi till en annan.

2.3.3 Accelerometer

En accelerometer är en apparat som mäter egenacceleration (Encyclopedia Britannica, 2018). Det är viktigt att accelerometern rör sig i en riktning. Problem kan uppstå vid vibrationer om rörelser sker i flera riktningar. Vid intresse av flera riktningar finns även accelerometrar som kan registrera riktningarna.

Accelerometern fästs vid den yta vid vilken rörelsen skall mätas. Rörelserna omvandlas med hjälp av en vikt i enheten där rörelsen hos vikten omvandlas till signaler. Vilken sorts apparat som används för att avläsa mätvärdena bestämmer om accelerometern är mekanisk eller elektromekanisk (Duffield & Ishihara, 2014).

2.4 Analyismetoder

I detta avsnitt presenteras metoderna för att analysera de resultat som har producerats med hjälp av exciteringsmetoderna i avsnitt 2.2 och mäts med hjälp någon av de mätmetoder som presenterats i 2.3.

2.4.1 Modalanalys

Denna metoden används för att avgöra hur ett system rör sig vid viss frekvens med hjälp av excitering. Den används för att förbättra strukturer inom industrier (Lang & Snyder, 2001). Modalanalys ger en möjlighet att se hur systemet beter sig dynamiskt. I samband med att säkerhetskrav från konsumenter och myndigheter blir hårdare, krävs precisa resultat. Simuleringar i datorer blir allt mer avancerade men är fortfarande inte tillräckliga som underlag för en fullständig bedömning.

Exempelvis inom fordonsindustrin påtvingas en rörelse hos ett system med en shaker. Rörelserna läses av med en accelerometer eller en laser vibrometer. Resultaten från mätningen analyseras med hjälp av modalanalys. Antingen görs det via single-input multiple-output(SIMO) eller multiple-input single output(MISO). Single input är då endast en exciteringsmetod används. Multiple är då flera exciteringsmetoder används, exempelvis hammare och shaker.

2.4.2 Resonant Acoustic Method

Då ett system utsätts för en påtvingad kraft, som medför ljudemission, kan resonansen analyseras. Resultaten från mätning med mikrofon eller accelerometer kan analyseras och jämföras med en referens.

Denna metod är relevant vid massproduktion, då det är lätt att jämföra artiklar med en referens som kvalitetstest för enheten. Metoden är effektiv för oförstörande provning, den ger möjlighet att se hur en struktur är utan att titta inuti, exempelvis en cementvägg eller flygplansvinge (Fokin, Ambati, Sun & Zhang, 2007).

2.4.3 Resonant Ultrasound Spectroscopy

Resonant ultrasound spectroscopy (RUS) innefattar analys av resonans hos solida material (Leisure & Willis, 1997). RUS är en laborationsteknik vilken mäter grundläggande materialegenskaper med elasticitet, vilket används i materialvetenskap. Metoden bygger på att alla material har en grundfrekvens vid vilket materialet vibrerar då det mekaniskt exciteras. Grundfrekvensen beror på testobjektets form, storlek och elasticitet som RUS använder sig av för att bestämma elastisk tensor för materialet.

Med RUS kan den fullständiga elastiska matrisen erhållas, även för relativt lågsymmetriska material, med ett RUS-spektrum på ett enda litet prov.

2.4.4 Analys för det sfäriska klotet

För det sfäriska klotet i gummi, vilket kan läsas om i avsnitt 2.2.1, mäts den maximala stegljudsnivån på ett antal olika positioner m . Denna nivå är $L_{i,F_{max},j}$ där j är platsen

som mäts på. Med $L_{i,F_{max},j}$ kan $L_{i,F_{max}}$ beräknas enligt ekvation 2.2 (SIS, 2015). $L_{i,F_{max}}$ är energimedelvärdet, vilket är ett entalsvärde som ger ett värde på exempelvis ett bjälklags isoleringsförmåga. Detta entalsvärde går att jämföra mellan olika bjälklag eller dylikt.

$$L_{i,F_{max}} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{L_{i,F_{max},j}}{10}} \right) \quad (2.2)$$

2.4.5 Analys för stegmaskinen

För en stegmaskin, vilket kan läsas om i avsnitt 2.2.2, mäts den ekvivalenta ljudnivån vilket är ett genomsnitt under ett visst tidsintervall. Stegljudsnivån som mäts upp är L_i och används i ekvation 2.3 där T är efterklangen i rummet och T_0 är efterklangsreferensen för rummet. L'_{nT} är den ekvivalenta ljudnivån för en position.

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log_{10} \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad (2.3)$$

För att få fram medelisoleringsförmågan hos ett bjälklag mäts den ekvivalenta ljudnivån L'_{nT} på m positioner på ett golv. Medelvärdet för isoleringsförmågan beräknas enligt ekvation 2.4 där $L'_{nT,j}$ är den ekvivalenta ljudnivån för position j .

$$L'_{nT} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{L'_{nT,j}}{10}} \right) \quad (2.4)$$

Detta värde går att jämföra mellan exempelvis olika bjälklag för att få ett mått på hur bra alternativt dålig isoleringsförmåga ett bjälklag har.

2.4.5.1 ISO 717-2

ISO 717-2 används vid mätning hos bjälklag eller golv. Med denna metod jämförs den uppmätta kurvan hos oktavbanden med en referenskurva. Beroende på hur kurvorna differentierar sig från varandra kan ett entalsvärde tas fram.

2.5 Standard

I intervjun som genomfördes den 12 april 2018 med Johan Dahlgren på SIS diskuterades det om bland annat tillvägagångssättet för att standardisera en metod och vad som är viktigt att ha med i en standard. I detta avsnitt kommer delar av detta att presenteras. Allt som presenteras i avsnitt 2.5.1 till 2.5.4 kommer från intervjun med Johan Dahlgren.

2.5.1 Definition av en standard

En standard är en lösning på ett återkommande problem. Det är till för att höja kvalitet, skapa rutiner och medföra att inte hjulet behövs uppfinnas på nytt. En standard behöver inte vara ett krav utan kan vara frivillig. Dock kan det vara obligatoriska referenser. Exempel på detta kan vara upphandlingar eller föreskrifter från myndigheter. En standard kan även leda till ökad säkerhet eller bättre miljö.

2.5.2 Arbetsprocessen

Arbetsprocessen för att standardisera en metod kan delas in i 9 delmoment där den första är att komma fram till idén. Idén kan komma från ett företag, en myndighet, CES eller ISO. När denna lämnas till SIS är idén så gott som klar och steg två kan påbörjas. I detta steget tas ett beslut av SIS om detta är en metod som kan gå vidare för granskning eller om den stöter på problem. Till exempel då det redan finns en standard eller om det saknas intresse på marknaden för en sådan metod. Får metoden ett godkännande börjar granskningen och steg 3 där en kommitté tillsätts av de som har ett intresse av detta. Standardförslaget går ut på remiss till berörda parter och intressenter. Är det en svensk standard går denna till svenska företag eller dylikt vilket påverkas och är det en internationell standard går den ut till medlemmar i CES och ISO. Kommentarer lämnas, vilka behandlas. Den reviderade versionen går sedan ut för omröstning. De som röstar är de berörda intressenterna. Omröstningen avgör om standarden godkänns eller inte. Om ett godkännande sker, verkställs standarden och tas i bruk.

2.5.3 Tidsomfång

Har ingen någon invändning på något kan en metod snabbt gå igenom processen och bli en standardiserad metod medan en metod som stöter på många problem kan vara i processen avsevärt mycket längre. Tidsomfånget för processen varierar mycket och kan vara allt från 1 till 3 år.

2.5.4 Innehåll

En standard är uppbyggd från samma mall och innehåller ungefär samma saker varje gång. Det kan skilja lite på hur mycket vikt som har lagts på de olika delarna. Ett av många exempel är SS-EN ISO 10893-4:2011, vilken är en ISO standard för oförstörande provning av rör. Uppbyggnaden för denna standard liknar det flesta andra som finns. Först tas ett scope upp. Efter det presenteras normativa referenser där det läggs fram vad standarden bygger på. Därefter förklaras termer och definitioner för att sedan följas av

allmänna krav. Själva testmetoden går igenom efter detta, där man kan se en standard som ett recept eller en algoritm som skall följas. Allt presenteras i ordningen som det skall genomföras. Utvärdering av indikationer som har gjorts under provet skall även vara med och efter det kommer vad som accepteras. Även hur en rapport skall skrivas tas upp i en standard.

3

Metod

I detta kapitel kommer tillvägagångssättet för arbetet att presenteras. Det kommer tas upp vilka metoder som valts, hur och varför de används, samt varför en omvärldsanalys, en intervju och en fallstudie har genomförts.

3.1 Omvärldsanalys

Med hjälp av en omvärldsanalysen har olika metoder utvärderats för excitering, mätning och analys. Innehållet i analysen består av metoder som används i andra delar av världen och andra branscher. Företag inom möbelindustrin har kontaktats för att samla information om hur de gör för att utvärdera sina produkter.

3.2 Intervju

För att få en mer klar bild av hur tillvägagångssättet ser ut för att standardisera en metod genomfördes en intervju med Johan Dahlgren. Johan är projektledare på Swedish Standards Institute, förkortat SIS. SIS är medlemmar i den europeiska standardiseringsorganisationen CEN, vilken i sin tur är med i den globala organisationen ISO. SIS är en ideell förening som jobbar med standardiseringen i Sverige. Den består av ett tvärsnitt av det svenska samhället med allt från myndigheter och företag till ideella organisationer.

3.3 Fallstudie

En fallstudie genomfördes då det ger bra möjligheter att samla in mycket data. Med hjälp av rådata kan arbetet fortsätta utan att behöva upprepa försöken. Anledningen till att just en fallstudie genomfördes är att metoderna skall utvärderas. Samtliga tester kommer att ha samma förutsättningar med testobjekt, mikrofonuppställning och rum, för att endast jämföra exciteringsmetoderna, då andra faktorer såsom exempelvis egenskaperna av ett rum inte kommer att variera. Att jämföra flera antal metoder ger möjlighet till gallring, för att hitta en effektiv mätmetod. Företag får även möjlighet att vara med och påverka arbetet mot en standardiserad metod. Vad som kommer mätas i fallstudien är ljudnivå med mikrofoner samt rörelse hos testobjektet med accelerometer. Kraftmätare mäter även kraften för de exciteringsmetoderna där detta är relevant.

3.3.1 Valt objekt

Möbelgruppen som valts att studera i denna fallstudie är bord. I fallstudien kommer en skiva med måtten 1200x620x25 [mm] (LxBxH), vilken ligger på ett metallunderrede med

höjden 900 [mm] och längden 2000 [mm] att representera den valda gruppen. Se figur 3.1 för uppställningen. Bordsskivan har valts då den liknar de bord som används i miljöer där buller och höga ljudnivåer kan förekomma, såsom ett klassrum. Underredet valdes för att minimera efterklang och kunna fokusera på bordsskivan.



Figur 3.1: Mätobjektet i det halvekofria rummet.

Testerna genomfördes med två olika variationer av bordsskivan. En försöksserie då bordsskivan är som den levererades och en då självhäftande Bitumen-plattor med måtten 500x400 [mm] applicerades på undersidan av bordet. Anledningen till att bitumenplattorna användes är att de gör bordsskivan dämpad, detta ger möjlighet att analysera hur uppmätta värden skiljer sig för de olika metoderna. Testerna med skivorna applicerade på undersidan kommer att gå under namnet dämpad bordsskiva. Se figur 3.2, där den vänstra är den odämpade skivan och den högra är den dämpade skivan.



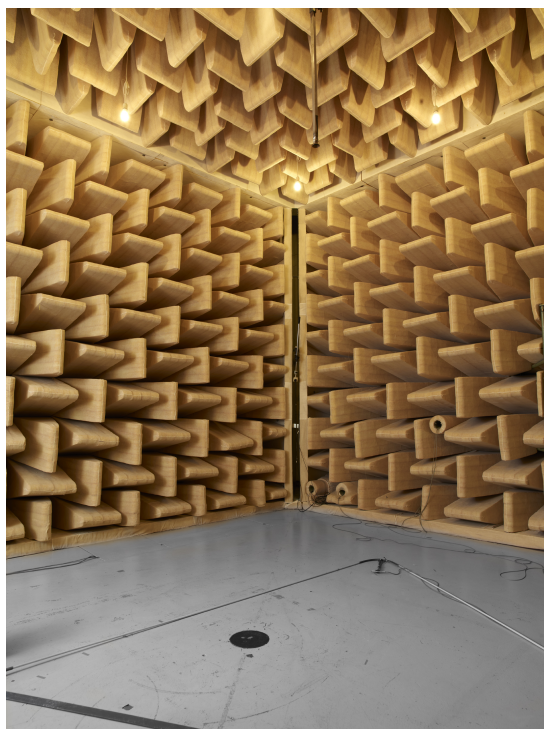
Figur 3.2: De olika bordsskivorna.

3.3.2 Valt rum

Hos RISE finns det flera rum att utföra mätningar i. Det finns bland annat ett rum som är halvekofritt och ett rum för efterklang. Vilket rum som används kan bero på vilken standard som följs eller vad som skall efterliknas. Rummen är motsatta poler på hur de reagerar på ljud där efterklangsrummet är konstruerat för att få ljudet att studsas länge

och mycket. Det halvekofria rummet skall absorbera energin som rör sig i luften. Mätningarna för detta arbete sker enbart i det halvekofria rummet. Dock hade arbetet lika gärna kunnat utföras i efterklangsrummet.

Det viktigaste är att förutsättningarna förblir oförändrade. Det halvekofria rummet har absorberingsmaterial på samtliga väggar och tak. Golvet är odämpat, varför rummet endast är halvekofritt, se figur 3.3. Ett halvekofritt rum simulerar en öppen yta där ljudet inte har väggar eller tak att studsas på, endast underlaget. Ett verkligt fall som skulle motsvara detta är att stå i mitten på en fotbollsplan. Halvekofria rummet kommer att absorbera mycket av energin från impulsen då den inte kommer studsas som i ett vanligt rum. Ett normalt rum skulle ligga någonstans mellan de två rummen.



Figur 3.3: Halvekofritt rum

3.3.3 Valda exciteringsmetoder

Förutom Bang Machine kommer samtliga exciteringsformer från 2.2 att genomföras i fallstudien. Anledningen till att Bang Machine utesluts är att den är för tung och skulle därför skapa en för stor impuls i bordet. Metoden bedöms inte heller verklighetstrogen. En alternativ metod till det sfäriska klotet kommer även att användas, vilken presenteras i avsnitt 3.3.3.1.

Det valdes att excitera på tre positioner på bordsskivan. Dessa var samma platser som valdes för att fästa accelerometrarna på, vilket kan läsas om i avsnitt 3.3.4.2.

3.3.3.1 Metallkula

Det sfäriska klotet i gummi, vilket presenteras i avsnitt 2.2.1, är för stort för en bordskiva och skulle då skapa en för stor impuls i bordsskivan. Denna stora impuls är något som inte går att överföra till ett verkligt fall. På grund av detta har istället en liten stålkula som väger 9,0 [g] släppts på bordsskivan. Detta gjordes med hjälp av en kulbana som byggdes ihop av polyeten. Kulans bana kan ses i figur 3.4. Kulan släpps från det högsta läget på banan. Därefter färdas kulan nedför banan för att få falla fritt innan den sammanstöter med bordet. Efter stöten flyger kulan fritt till uppsamlingskorgen. Detta medför att det kommer bli tyst både innan och efter stöten vilket underlättar att identifiera stöt samt efterklang.



Figur 3.4: Uppbyggd kulbana i polyeten.

Kulan släpptes på tre olika positioner på skivan, vilket upprepades 5 gången för varje position, för att få en bild av metodens repeterbarhet och hur mycket mätvärdena differentierar sig från varandra. För att vara säkra på att kulan skulle släppas på samma ställe på banan varje gång placerades en spik genom banan vilken kulan kunde luta mot. Detta medförde att kulan alltid släpptes från samma position på banan när spiken drogs bort vilket kan ses i figur 3.5.



Figur 3.5: Konstruerad släppmekansim för kulan.

3.3.3.2 Stegmaskin

Stegmaskinen, vilken presenteras i avsnitt 2.2.2, placerades på bordet och kördes under ett tidsintervall på 30s. Detta genomfördes på två olika positioner på bordet. Stegmaskinen som användes i fallstudien var en *Norsonic Tapping Machine Nor277* vilket kan ses i figur 3.6.



Figur 3.6: Använd stegmaskin, *Norsonic Tapping Machine Nor277*.

3.3.3.3 Impulshammare

Impulshammaren, vilken kan läsas mer om i avsnitt 2.2.3, som användes var en *PCB Piezotronics Impact hammer (PCB 086C04)*. Detta är en modell som har en inbyggd

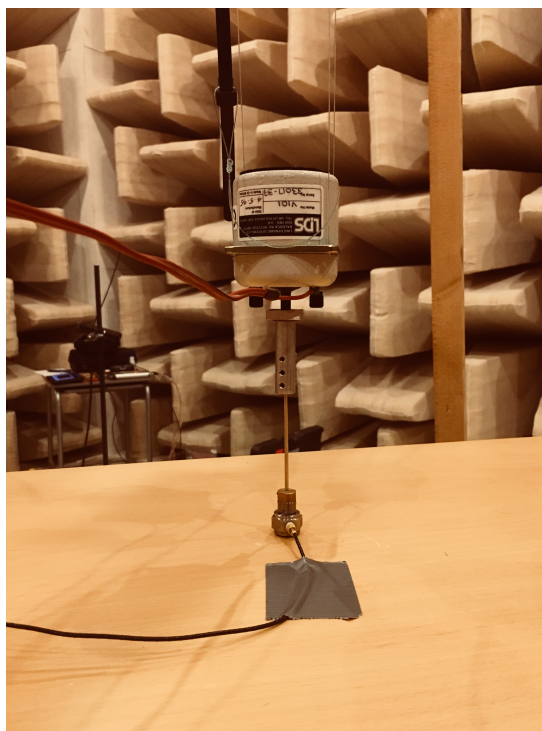
kraftmätare, vilken kan ses i figur 3.7. Impulshammaren slogs 5 gånger på tre olika positioner på bordet.



Figur 3.7: Använd impulshammare, *PCB Piezotronics Impact hammar (PCB 086C04)*.

3.3.3.4 Shaker

För att fästa shakern, limmades en bricka på bordsskivan. På brickan monterades kraftgivaren. För att koppla ihop kraftgivaren med shakern används en stinger. Shakern hängs upp i ställning för att undvika belastning på stinger, shaker och kraftgivare då shakern inte är aktiv. Använd modell av shaker för dessa tester var en LDS 101 från Brüel och Kjaer.



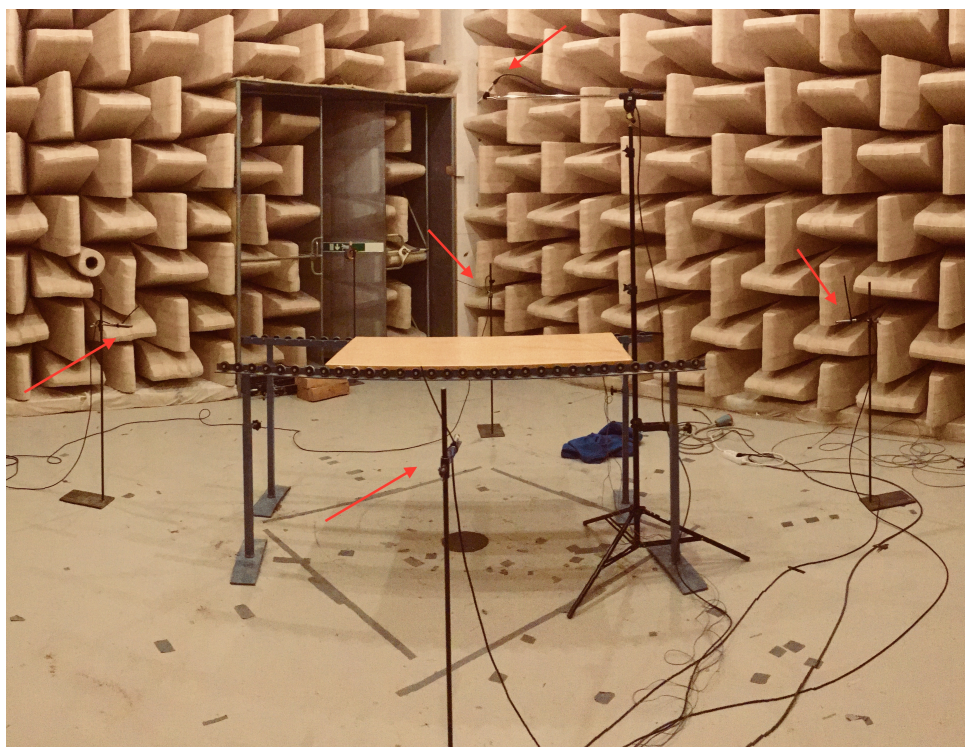
Figur 3.8: Montering samt shaker, LDS V101 Permanent shaker.

3.3.4 Uppmätning

För att mäta de olika vibrationerna och ljuden som skapades med de exciteringsformer som har presenterats i avsnitt 3.3.3 användes accelerometrar och mikrofoner, vilket kommer att presenteras i avsnitt 3.3.4.1 och 3.3.4.2. Accelerometerna och mikrofonerna mätte hur systemet betedde sig under försöken.

3.3.4.1 Mikrofoner

I fallstudien användes fem mikrofoner för att mäta upp ljudet i rummet från exciteringen. Dessa placerades på en meters avstånd från bordskanterna, en på varje sida av bordet samt en hängande rakt ovanför bordet. Placeringen medförde att en rätblockslukande ljudbild kunde mätas upp, se figur 3.9 för bild över mikrofonernas placering. Mikrofonerna numrerades ett till fem där ett är den närmaste i figur 3.9. Sedan går det ett vänstervarv med två till fyra och nummer fem är den som är placerad över bordet.



Figur 3.9: Mikrofonernas uppställning.

Arean på sidorna för rätblocket kan ses i figur 3.1, där den totala ytarean för rätblocket blir $30,5 \text{ m}^2$. S1 motsvarar sida ett, S2 sida två och så vidare.

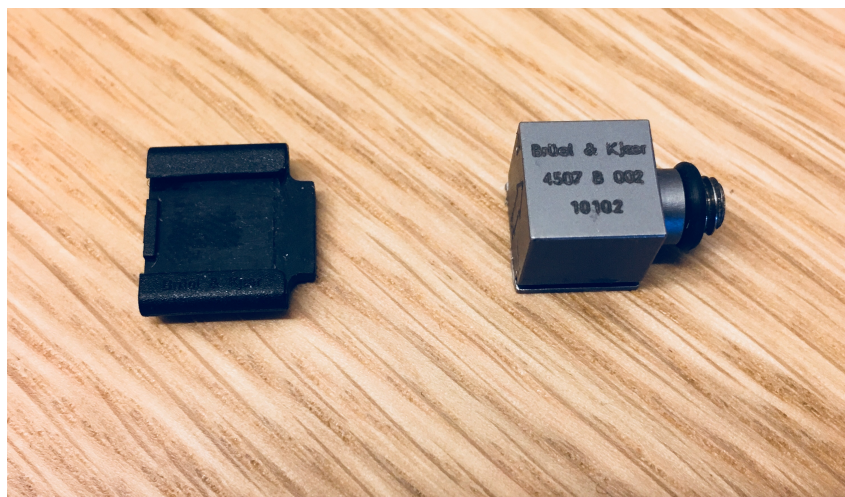
Sida	Area [m^2]
S1	6,1
S2	5,0
S3	6,1
S4	5,9
S5	8,4

Tabell 3.1: Samtliga sidors areor på rätblocket.

Mikrofonerna som användes vid testerna var fyra *Brüel Kjaer* frifältsmikrofoner type 4189 och en *Brüel Kjaer* type 2671. Dessa mikrofoner kopplas till en *Siemens Scadas XS*, vilket kan läsas om i avsnitt 3.3.5.1.

3.3.4.2 Accelerometer

Accelerometrar placeras på bordets undersida. Antalet som användes för mätningarna var tre. För de exciteringsformerna som gav en mindre impuls användes en accelerometer med en högre känslighet. För att fästa dem vid bordets yta används vax mellan ett plasthölje och bordet. Plasthöljet är gjort så att vax alternativt lim inte kommer i direkt kontakt med accelerometern. Modellen på accelerometrarna, som används vid dessa testerna, var *Brüel Kjaer* type 4507, vilket kan ses i figur 3.10. Denna modell mäter vibrationer i en riktning. Accelerometrarna kopplades till en *Siemens LMS Scadas XS*.



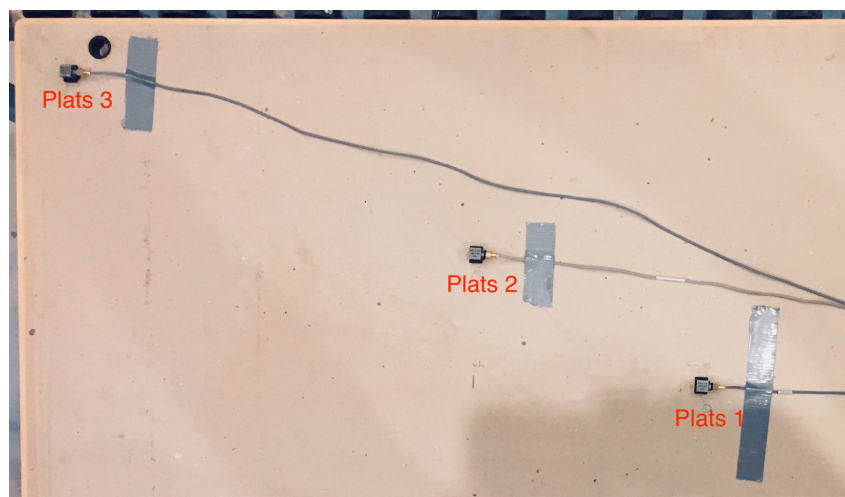
Figur 3.10: *Brüel Kjaer*, type 4507.

För de exciteringsformerna med en större impuls användes en accelerometer med mindre känslighet. Dessa var också av märket *Brüel Kjaer*, modellnamn type 4397, vilka kan ses i figur 3.11. Brickorna fästes med vax på bordsskivan. På brickorna monteras accelerometrarna.



Figur 3.11: *Brüel Kjaer*, type 4397.

De olika accelerometrarna placerades på samma positioner på undersidan av bordsskivan, position 1, 2 och 3. Plats ett valdes på mitten av bordsskivan, plats två på en tredjedel av längden och bredden på bordsskivan samt plats tre 50 [mm] från hörnet i både längs- och breddriktning. Två av placeringarna är medvetet placerade för att inte ligga på bordets symmetrilinjer, detta för att få mer variation hos mätpunkterna. Se figur 3.12 för placeringen av plats 1, 2 och 3.



Figur 3.12: Placering av accelerometrarna, på bilden används *Brüel Kjaer* type 4397.

3.3.5 Datainsamling

Samtliga mikrofoner och accelerometrar kopplades till *Siemens LMS Scadas XS* som kan läsas mer om i avsnitt 3.3.5.1.

3.3.5.1 Siemens LMS Scadas XS

En *Siemens LMS Scadas XS* är ett tolvkanaligt datainsamlingssystem för ljud- och vibrationstestning. Enheten är portabel och kan kopplas till en surfplatta eller en bärbar dator. Denna enhet omvandlar elektriska signaler till data som lagras på exempelvis hårddisk eller USB-minne. Se figur 3.13 för bild.



Figur 3.13: Siemens LMS Scadas XS.

3.3.6 Bearbetning av mätvärden

De värden som samlats in med systemet presenteras i avsnitt 3.3.5 utvärderades enligt avsnitt 3.3.6.1 till 3.3.6.2.

3.3.6.1 Datorprogram

Programvaran LMS Test.Express användes för att sammanställa de olika mätvärdena som erhålls från fallstudien. LMS Test.express är en programvara, vilket är en ljud-, hållbarhets- och vibrationsanalysator. Denna programvaran är kompatibel med ljudkortet som presenteras i avsnitt 3.3.5.1 som användes vid mätningarna.

För att kunna beräkna ett entalsvärde på medelljudtrycksnivån och standardavvikelsen för testerna användes kalkylprogrammet Microsoft Excel.

3.3.6.2 Beräkning av medelljudtrycksnivå $\overline{L_P}$ och standardavvikelse

För att kunna jämföra de olika metoderna i fallstudien räknades en medelljudtrycksnivå fram enligt ekvation 3.1 där i är antalet mikrofoner och S_i är arean mikrofon i mäter på de rätblock som presenterades i avsnitt 3.3.4.1.

$$\overline{L_P} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{S_{tot}} \sum_{n=1}^i S_i 10^{0,1 L_{Pi}} \right) \quad (3.1)$$

3.3.6.2.1 Metallkulan För testerna med metallkulan, vilket presenteras i 3.3.3.1, räknades medelvärde för varje mikrofon fram, för varje position som presenteras i avsnitt 3.3.4.2. Detta är det ljudtycket som är L_P i ekvationen 3.1. För metallkulan används L_P fast max A-vägd för mikrofonerna.

För att beräkna standardavvikelsen för metallkulan räknades medelljudtrycksnivån för varje mikrofon fram för varje enskilt upprepning. Standardavvikelsen togs sedan på alla de femton beräknade medelljudtrycksnivåer. Både medelljudtrycksnivån och standardavvikelsen blir ett entalsvärde som kan jämföras med andra test.

3.3.6.2.2 Impulshammaren För impulshammaren som presenteras i avsnitt 3.3.3.3 genomfördes analysen nästan på samma sätt som för metallkulan. Det enda som skiljde dem åt var att impulshammaren blev kraftoberoende då division med kraften gjordes enligt ekvation 3.2 där i representerar vilket slag det var. Kraften är Z-vägd.

$$L_P = L_{Pmax,i} - 20 \log_{10}(F_i) \quad (3.2)$$

3.3.6.2.3 Stegmaskin För testen med stegmaskinen, vilket kan läsas om i avsnitt 3.3.3.2, beräknas medelljudtrycksnivån med L_{eq} , vilket är samma sak som RMS. A-vägd ljudtrycksnivå användes för beräkningen av medelljudtrycksnivån.

På grund av att stegmaskinen kördes under 30 sekunder på plats 1 och plats 2 enligt figur 3.12 kan en standardavvikelse inte beräknas.

3.3.6.2.4 Shaker Den uppmätta kraften medför att shakern blir kraftoberoende genom att använda ekvation 3.2. Medelljudtrycksnivån beräknas på samma sätt som för stegmaskinen, med ekvation 3.1, dock utan medelvärden då den kördes på plats 2 en gång. På grund av att den kördes en gång kan ej en standardavvikelse beräknas. Här användes RMS A-vägd ljudtrycksnivå samt kraften var Z-vägd RMS.

4

Resultat

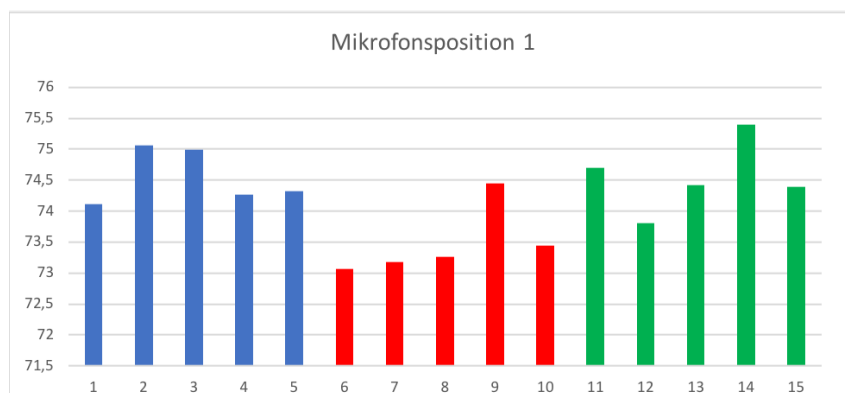
Detta kapitel behandlar resultatet för denna rapport. I avsnitt 4.1 presenteras resultatet från fallstudien.

4.1 Resultat från fallstudien

I detta avsnitt kommer resultaten från fallstudien att presenteras. Metoden för fallstudien kan läsas om i avsnitt 3.3. Resultaten kommer att presenteras i avsnitt 4.1.1 till 4.1.5.

4.1.1 Metallkula

Kulans alla 15 ljudtrycksnivåer för mikrofon 1, för den dämpade skivan, kan avläsas i figur 4.1 där blå, röd och grön representerar nedslagsposition 1, 2 respektive 3. Y-axeln visar dB(A) och x-axeln representerar vilket försök det är.



Figur 4.1: Resultat för mikrofon 1 för alla 15 försök

På samma sätt sammanställdes alla resultat för mikrofon 2 till 5. Medelvärdet för varje mikrofon beräknades till de värden som kan ses i tabell 4.1 vilket är för position 1. Detta gjordes även för position 2 och 3.

Mikrofon	Medelvärde dB(A)
Mic 1	74,6
Mic 2	70,1
Mic 3	77,7
Mic 4	76,7
Mic 5	74,1

Tabell 4.1: Medelvärde för de olika mikrofonerna på position 1 för den dämpade skivan

Medelljudtrycksnivåerna för varje position beräknas till värdena enligt tabell 4.2

	$\overline{L_P}$ [dB(A)]
Pos 1	75,5
Pos 2	73,9
Pos 3	74,5

Tabell 4.2: Medelljudtrycksnivåerna för position 1, 2 och 3

Medelvärde av de tre värdena i tabell 4.2 blir den totala medelljudtrycksnivån för den dämpade skivan. På samma sätt beräknas $\overline{L_P}$ för den odämpade skivan. Resultaten från de genomförda testerna visar på att skillnaden Δ mellan den odämpade och dämpade skivan var 6,22 dB(A). Standardavvikelsen för den dämpade och odämpade skivan blev 0,51 respektive 0,83. Alla beräknade värden och grafer kan ses i sin helhet i bilaga A.1.

4.1.2 Stegmaskin

Stegmaskinen placerades på bordet med den tredje hammaren över plats 1 och över plats 2, på dessa två positionerna kördes maskinen under 30 sekunder. Positionerna kan ses i figur 3.12. De uppmätta värdena för position 1 och 2 kan se i tabell 4.3.

	Position 1 (RMS A-vägd)	Position 2 (RMS A-vägd)
Mic 1	87,1	86,0
Mic 2	84,9	85,5
Mic 3	87,6	85,3
Mic 4	84,0	85,0
Mic 5	90,4	90,8

Tabell 4.3: Uppmätta värden för stegmaskin på position 1 och 2 för dämpad skiva.

Ett medelvärde för de olika mikrofonerna på positionerna beräknas till värdena i tabell 4.4.

	Medelvärde (RMS A-vägd)
Mic 1	86,6
Mic 2	85,2
Mic 3	86,5
Mic 4	84,5
Mic 5	90,6

Tabell 4.4: Medelvärde för stegmaskinen på position 1 och 2 för dämpad skiva.

Detta gjordes på samma sätt för den odämpade skivan. Med de medelvärden som fås i tabell 4.4 samt de medelvärden för den odämpade skivan blir resultat för Δ mellan den dämpade och den odämpade skivan 5,79 dB(A). Alla beräknade värden kan ses i sin helhet i bilaga A.2.

4.1.3 Impulshammare

Impulshammaren slogs på de tre positionerna vilket kan ses i figur 3.12 enligt vad som presenteras i avsnitt 3.3.3.3. Det kan ses att resultaten från de genomförda testerna visar att Δ mellan den dämpade och odämpade skivan blev 3,47 dB(A). Standardavvikelsen för den odämpade och dämpade skivan blev 1,56 respektive 0,38. Alla beräknade värden och grafer kan ses i sin helhet i bilaga A.3.

4.1.4 Shaker

Resultaten från de genomförda proverna visar att Δ mellan den odämpade och dämpade bordsskivan blev 26,25 dB(A). Alla beräknade värden kan ses i sin helhet i bilaga A.4.

4.1.5 Jämförelse av de olika metoderna

I detta avsnitt kommer en viktning att presenteras i avsnitt 4.1.5.1, där de olika metoderna jämförs. I avsnitt 4.1.5.2 kommer en sammanställning att presenteras mellan de olika entalsvärdena från fallstudien.

4.1.5.1 Viktning

Förutom fysiska mätningar genomfördes även observationer när de olika metoderna testades. Dessa analyser sammanställdes i en tabell vilket kan ses i figur 4.2 där även ett ideal har lagts in för jämförelse. En viktningssystem har använts från 1 till 5 där 5 är det bästa och 1 det sämsta. De olika kategorierna som observerades har även viktats med en skala på 1 till 5 där 1 representerade minst viktig och 5 viktigaste kategori.

	Viktning	Ideal	Metallkula	Stegmaskin	Impulshammare	Shaker
Förbredning	3	5	1	5	4	1
Användarvänlighet (hur simpel process)	4	5	3	5	4	2
Tidseffektivitet (hela processen)	5	5	2	5	4	3
Oförstörande provning	1	5	1	5	4	1
Repeterbarhet	5	5	3	4	3	4
Reproducerbarhet	5	5	1	5	4	4
Utrustningskostnad	2	5	5	3	3	3
Summa		125	56	116	93	73

Figur 4.2: Jämförelser mellan de olika metoderna

Från tabellen i figur 4.2 kan det ses att metallkulan fick lägst och stegmaskin högst summa jämfört med idealet. Metallkulans låga summa beror på dess svårighet att reproducera då det fanns svårigheter att ställa in banans nedslagsposition mellan försöken vilket kan läsas om i avsnitt 4.1.1.

4.1.5.2 Sammanställning av medelljudtrycksnivån

En sammanställning av medelljudtrycksnivån kan ses i tabell 4.5 där Δ är skillnaden i medelljudtrycksnivån mellan den odämpade och dämpade skivan i dB(A).

	Metallkula	Impulshammare	Shaker	Stegmaskin
$\Delta = \text{Odämpad} - \text{Dämpad}$	6,22	3,47	26,25	5,79

Tabell 4.5: Sammanställning av medelljudtrycksnivån.

5

Diskussion

I detta kapitel kommer resultatet från fallstudien att diskuteras i avsnitt 5.1. Metoden kommer även att utvärderas i avsnitt 5.2.

5.1 Resultatdiskussion

I detta avsnitt kommer resultatet från fallstudien att utvärderas i avsnitt 5.1.1 till 5.1.4.

5.1.1 Metallkulan

Metallkulan som släpptes i den uppbyggda kulbanan i polyeten, vilket skulle efterlikna metoden med det sfäriska klotet i gummi, visade sig vara svår att ställa upp. Svårigheter uppstod när banan skulle justeras för att träffa de olika positionerna 1, 2 och 3 som visas i figur 3.12. Detta medförde att kulans nedslagsposition varierade några *mm* mellan den dämpade och odämpade skivan. Dock var detta så lite att det ansågs vara acceptabelt för provningen.

Det observerades även att banan rörde sig i sidled när kulan släpptes med släppmekanismen vilket kan ses i figur 3.5. Detta kan bero på att materialet inte är glatt, vilket medför att friktion mellan kulan och kulbanan uppstår. Detta skulle då medföra att kulan inte rullar helt rakt ner utan slår emot kanterna. Det kan även bero på att spiken drogs bort på ett varierande sätt vilket kan medföra olika fall för kulan. Detta ansågs dock vara acceptabelt då nedslagspositionen inte varierade mer än någon *mm* mellan de olika upprepningarna på de olika positionerna. Standardavvikelsen antyder även att variationen mellan försöken var liten. Det ansågs att resultaten från metallkulan var rättvisa och acceptabla.

Efter proven var genomförda kunde nedslagspositionerna urskiljas på bordskivan. Med andra ord hade kulan skapat små defekter i bordskivan, vilket medför att metoden inte kan kategoriseras som helt oförstörande provning. Detta kan bero på att testskivan var av ett mjukare material och kulans radie var liten. Detta behöver inte betyda att andra bordskivor kommer uppträda på liknande sätt. För att undvika skador på bordsskiva skulle byte av material hos kulan kunna utnyttjas.

5.1.2 Stegmaskin

Eftersom att stegmaskinen kunde placeras med bra precision över de olika positionerna medförde detta att repeterbarheten för denna metod blev hög. Stegmaskinen uppträdde

förhållandevis lika mellan de olika gångerna med de felmarginaler som presenterades i avsnitt 2.2.2. Därför antas resultatet från stegmaskinen vara rättvist och korrekt.

5.1.3 Impulshammaren

Impulshammaren hade en inbyggd kraftmätare vilket medför att den mänskliga faktorn inte påverkade när det kommer till variation i storleken på kraften. Dock visade det sig att det var svårt att slå på exakt samma ställe 5 gånger på de olika positionerna. Detta medförde att variation uppstod mellan de olika upprepningarna. Denna antogs vara så liten att den inte skulle påverka resultatet. Det är även svårt att kontrollera hur ren träffen blir då toppen på hammaren är konisk.

Ett annat problem med denna metod är att operatören måste täcka en eller flera av mikrofonerna i området som förklaras i avsnitt 3.3.4.1. Dock står denna operatör på samma ställe under hela provet och även på de olika bordsskivorna, vilket medförde att detta ansågs vara acceptabelt.

De erhållna värdena ansågs därför vara acceptabla.

5.1.4 Shaker

Skillnaden mellan den odämpade och dämpade skivan, Δ , var avsevärt mycket högre än vad den var för någon av de andra metoderna. Kraften för den dämpade skivan var drygt en faktor 10 större än vad den var för den odämpade skivan. Detta skulle inte påverka då resultatet skall vara kraftoberoende. Dock verkar den ha gjort det. Detta kan bero på att inställningarna på kraftmätaren var fel. Detta var dock inget som kunde bevisas. Resterande mätutrustningen var inställd likadant under båda försöken.

Skulle en tiondel av kraften tas bort blev Δ mellan den odämpade och dämpade skivan liknade storlek med de andra Δ för de andra metoderna. Värdena ansågs vara acceptabla då anledning till varför detta uppstod inte kunde hittas. Detta för att det i praktiken kan vara rätt då inget känt fel har utförts under mätningen.

5.2 Metoddiskussion

Testerna med stegmaskinen och shaker genomfördes bara två gånger respektive en gång per bordsskiva. Detta medförde att en standardavvikelse för dessa inte kunde beräknas. Skulle testerna genomförts flera gånger på samma position skulle standardavvikelsen kunna beräknas. Det är svårt att veta om det skulle gett något resultat då det är RMS, ett medelvärde som betraktas vid dessa mätmetoder, till skillnad mot hammare och kula då det är maximal ljudtrycksnivå som betraktas.

Resultatet från fallstudien visade dels en standardavvikelse för varje bordsskiva för två av de fyra metoderna dels en skillnad i medelljudtrycksnivån mellan de olika skivorna. Skillnaden skall visa att den dämpade skivan skall absorbera mer av impulsen från exciteringformen än vad den odämpade gör. Dock finns det ingen vetskap om hur stor denna skillnaden skall vara. Med andra ord kan bara detta entalsvärde visa om dämpningen

uppfyller sitt syfte eller inte. Antaganden fås sedan göras om detta värde känns rimligt eller inte. Detta skapar en liten osäkerhet i metodernas förmåga att skapa impulsen. Leder detta till en standardiserad mätmetod kommer dock bara en metod att utföras för att avgöra hur mycket bordskivan emitterar. Detta medför att oberoende om den metoden skapar en liten eller stor impuls kommer detta vara samma storlek för alla bordsskivor. Med andra ord visar denna fallstudie om metoderna fungerar eller inte fungerar. Negativa värden på Δ indikerar på felaktig mätning.

6

Slutsats

I detta kapitlet besvaras frågeställningarna som har legat till grund för detta arbete. Det kommer även att presenteras en slutsats om syftet har uppnåtts med detta arbete. Rekommendationer för fortsatt arbete kommer även behandlas i detta kapitel.

6.1 Svar på frågeställningarna

I detta avsnitt kommer frågeställningarna att besvara i avsnitt 6.1.1 till 6.1.3.

6.1.1 Vilka metoder finns idag som kan appliceras på en bordskiva?

I dagsläget används fem exciteringsformer för att skapa en impuls i det objekt som skall undersökas. Dessa metoder behandlas i kapitel 2.2. Av dessa fem kan fyra av dem appliceras på en bordskiva med liknande resultat, vilket fallstudiens resultat visar på. De fyra metoderna är:

- Metallkula
- Stegmaskin
- Impulshammare
- Shaker

6.1.2 Finns det några likheter hos dessa metoder och vilka är de i så fall?

Alla metoder har vissa likheter men även saker som skiljer de åt. En likhet som samtliga metoder har är att bordet utsätts för en kraft och att rörelserna tas upp med accelerometer eller indirekt med en mikrofon. Impulshammare och metallkula är korta mätningar då bordet utsätts för en impuls då maximal ljudnivå analyseras. Samma sak hade gällt vid excitering med bangmachine. Både shaker och stegmaskin mäter ett medelvärde, L_{eq} , istället för den maximala ljudnivån. Shaker och stegmaskin placeras endast av operatör. Vid mätning är båda självgående och shakern har på samma sätt som impulshammare, en kraftgivare. Detta medför att de blir oberoende av den mänskliga faktorn under mätningen. Detta medför att kraften som applicerades på bordsskivan finns registrerad, då finns det möjlighet att kompensera för skillnad i kraft mellan olika försök alternativt analysera hur det påverkar.

6.1.3 Är metoderna repeterbara, reproducerbara och kostnads-effektiva?

Den första av de fyra metoderna som testades var metallkulan, vilket kan läsas om i avsnitt 3.3.3.1. Denna metod skapades för att efterlikna det sfäriska klotet som kan läsas om i avsnitt 2.2.1. Resultatet från denna visade att metoden i sig fungerade bra. Standardavvikelsen var låg för metoden och medelljudnivån visade sig vara liknande de andra metoderna. Dock finns det svårigheter att ställa in kulbanan, vilket drog ner helhetsbetyget. Detta då osäkerhet kring reproducerbarhet uppstår även om resultaten ger liknande värden. Att konstruera en likadan bana, kan även vara svårt. Även detta gör reproducerbarheten sämre.

För att kulmetoden skall bli riktigt bra, skulle banan behöva vara mer robust. Helst skulle kulan släppas rakt uppfifrån med fjärrstyrning från avstånd. Även en tyst mekanism för uppsamling av klotet, för att undvika problem med flera studsar än den som undersöks, skulle göra denna metod intressant.

Den andra metoden som behandlades i fallstudien var stegmaskin. Denna metod är en beprövad metod och standardiserad inom andra användningsområden. Även om ingen standardavvikelse för metoden kunde beräknas finns vetskap om dess exakthet enligt avsnitt 2.2.2. Om en stegmaskin skulle användas mer frekvent för denna sorts tester, skulle en mindre variant vara intressant, detta då cylindrarna är för tunga i förhållande till bordsskivan.

Tredje metoden som testades var impulshammaren. Denna metod är likt stegmaskinen beprövad inom andra användningsområden. Repeterbarheten hos denna metod är bra, då den är kraftoberoende. Detta då den har en kraftmätare inbyggd som nämns i avsnitt 3.3.3.3. Detta är bra då den mänskliga faktorn för kraftvariationen elimineras. Detta medför även en bra reproducerbarhet. Då metoden är enkel, är den även kostnadseffektiv då en operatör kan utföra detta under en kortare tid.

Den sista metoden var shakern. Denna metod var krångligare än de föregående att förbereda. Om detta skulle bli en standardiserad metod skulle en ställning redan finnas och detta skulle bara behövas ställas in i mättrummet, vilket medför att metoden inte skulle bli lika komplicerad. Repeterbarheten för metoden är hög då den kan limmas fast med hög precision. Även reproducerbarhet skulle vara bra. Denna metod skulle bli lätt att utföra för en operatör vilket medför en kostnadseffektiv metod, om en färdig ställning hade funnits med i standarden.

6.2 Utförandet av syftet

Syftet med detta arbete var att lägga en grund som förhoppningsvis kan leda till en standardiserad mätmetod. Detta har uppfyllts då det har genomförts en omvärldsanalys för att få en nyanserad bild av vad som redan existerar på marknaden. Fallstudien har lett till vetskap om hur dessa kan appliceras på det valda undersökningsobjektet. Resultatet från den genomförda fallstudien har även lett till en större förståelse om hur dessa metoder bör utvecklas för att kunna passa de valda objekten. Intervjun som genomfördes skall förhoppningsvis även leda till mer förståelse för hur arbetet går till för att en idé skall bli

en standard.

6.3 Rekommendationer för fortsatt arbete

Även om inte något fel hittades för shakern, då den kördes på den dämpade skivan, rekommenderas detta att genomföras igen. Detta för att få ett svar på om resultatet är rätt eller om något fel har inträffat. Två intressanta frågeställningar att ställa i nästa arbete skulle vara om dessa fyra metoderna som har testats hade kunnat utvärderas på något annat sätt och vilken metod som skulle kunna vara en standardiserad mätmetod.

Det rekommenderas även att titta på alternativ lösning för metallkulans bana, en som skulle medföra större precision i nedslagspositionen. Detta skulle kunna göras genom att ta ett rör vilket skulle kunna sitta fast i en ställning. Där skulle kulan släppas i ett fritt fall över bordet. Släppmekanismen skulle kunna vara konstruerad av en elektromagnet. För att undvika dubbelstuds skulle även en elektromagnet placeras längst ner i röret vilket skulle slå till av att en mikrofon registrerar stöten med bordet. Ett alternativ till mikrofonen skulle vara om en sensor skulle sättas i röret, vilken skulle registrera att kulan passerar. Denna information skulle kunna aktivera elektromagneten. Denna bana kommer att stå i den ljudbild som beskrivs i avsnitt 3.3.4.1. Detta ses dock inte som ett problem, då detta kommer vara likadant för alla tester.

För fortsatt arbete finns även möjlighet att granska hur bordets rörelse kan kopplas samman med den uppmätta ljudnivån. Om en mätmetod skall kunna vara helt konsekvent kan det vara intressant att analysera hur bordets rörelse går att koppla samman med ljudtrycksnivån. För att en metod skall vara reproducerbar bör inte nedslagspositionen behöva vara precis på millimetern. Optimalt hade varit att kunna kalibrera bort så mycket som möjligt av den mänskliga faktorn, kanske genom ett förhållande mellan acceleration och ljudnivå eller dylikt.

Litteraturförteckning

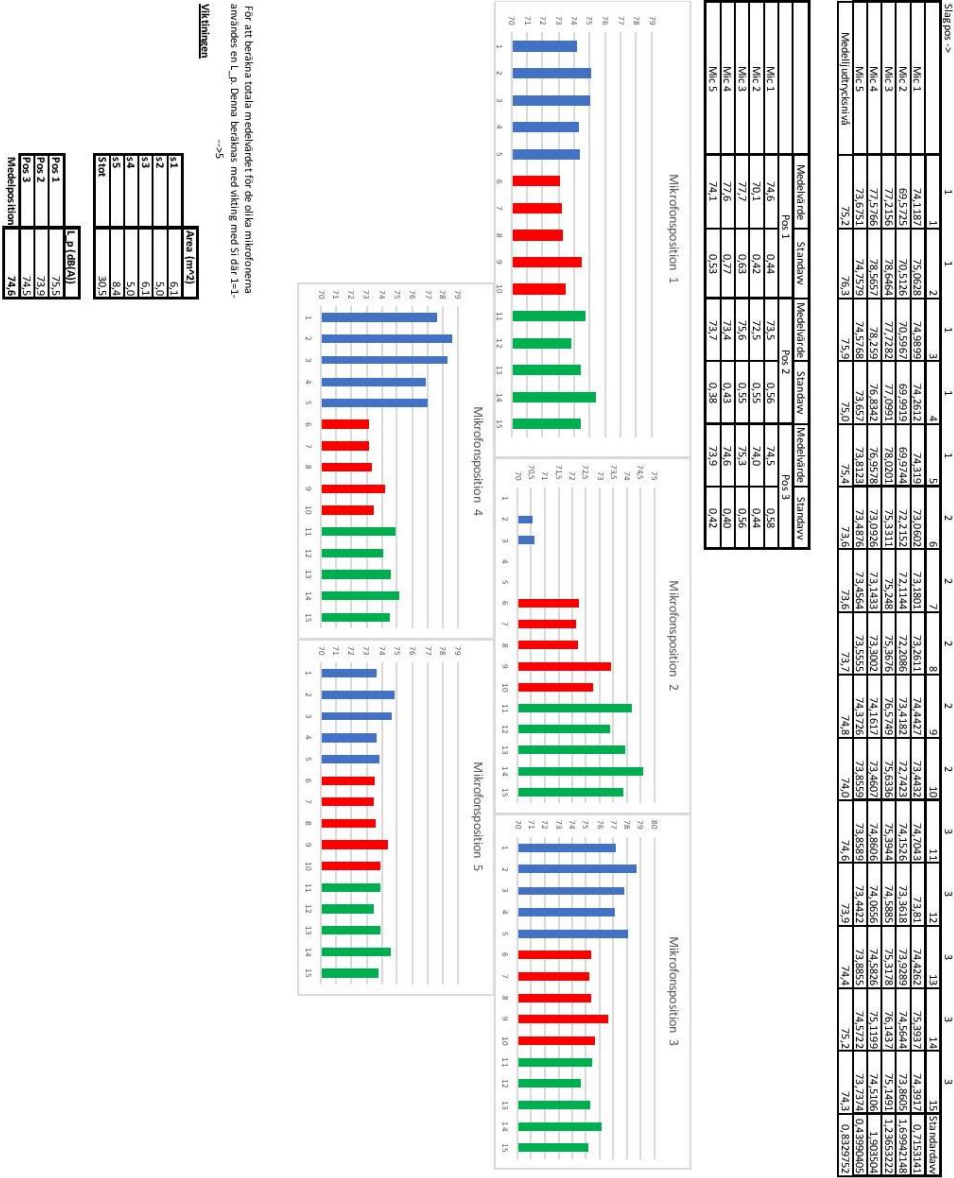
- Duffield, R. C. & Ishihara, T. (2014). Accelerometer. Hämtad från: <http://www.accessscience.com/content/002800>.
- EncyclopediaBritannica. (2018). Accelerometer. *Encyclopedia Britannica*. Hämtad från: <https://academic.eb.com/levels/collegiate/article/accelerometer/3472>.
- Fokin, V., Ambati, M., Sun, C. & Zhang, X. (2007, Oct). Method for retrieving effective properties of locally resonant acoustic metamaterials. *Phys. Rev. B*, 76, 144302. Hämtad från <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.76.144302> doi: 10.1103/PhysRevB.76.144302
- Hopkins, C. (2007). *Sound insulation*. Hämtad från: <https://www.lib.chalmers.se/>.
- Jeong, J. H. (2015). Evaluation method of rubber ball impact sound. *Euronoise 2015*. Hämtad från: <http://www.conforg.fr/euronoise2015/proceedings/data/articles/000534.pdf>.
- Lang, G. F. & Snyder, D. (2001). Multi-actuator vibration control shaker performance dynamic testing equipment. *Sound and vibration*. Hämtad från: <http://www.dataphysics.com/downloads/technical/Understanding-the-Physics-of-Electrodynamic-Shaker-Performance-by-G.F.-Lang-and-D.-Snyder.pdf>.
- Leisure, R. G. & Willis, F. A. (1997). Resonant ultrasound spectroscopy. *Journal of Physics: Condensed Matter*. Hämtad från: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0953-8984/9/28/002/pdf>.
- LindosElectronics. (2018). *A-weighting in detail*. Hämtad från http://www.lindos.co.uk/test_and_measurement/SOURCE=Articles/SOURCE=Articles%7CVIEW=full%7Cid=2
- Ljudskolan. (2018). *Vad är decibel och frekvens?* Hämtad från <http://www.ljudskolan.se/ljudfakta/vad-ar-decibel/>
- Lutzmann, P., Chris, B. G., Hill, C. A. & van Putten, F. (2016). Laser vibration sensing at fraunhofer iosb: review and applications. *Optical Engineering*. Hämtad från: <http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.0E.56.3.031215>.
- Nationalencyklopedin. (2018a). Acceleration. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/acceleration>.
- Nationalencyklopedin. (2018b). Amplitud. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/amplitud>.
- Nationalencyklopedin. (2018c). Dämpning. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/dämpning>.
- Nationalencyklopedin. (2018d). Egenfrekvens. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/egenfrekvens>.
- Nationalencyklopedin. (2018e). Kraft. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/kraft>.

- Nationalencyklopedin. (2018f). Ljudnivå. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/Lång/ljudnivå>.
- Nationalencyklopedin. (2018g). Mikrofon. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/mikrofon>.
- Olsson, K.-O. (2018). Vibration. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/vibration>.
- PCB. (2018). *Impact hammers*. Hämtad från <http://www.pcb.com/TestMeasurement/ImpactHammers>
- RION. (2014). Related Products [Produktblad]. Hämtad från: [BuildingAcousticsrelatedproducts](http://www.rion.se/BuildingAcousticsrelatedproducts).
- SIS. (2010). SS-EN ISO 10140-5:2010. Byggakustik – Mätning av ljudisolering hos byggnadselement i laboratorium – Del 5: Krav på provrum och utrustning. Hämtad från: <https://enav.sis.se/sv/>.
- SIS. (2015). SS-EN ISO 16283-2:2015. Byggakustik – Fältmätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Del 2: Stegljudsisolering. Hämtad från: <https://enav.sis.se/sv/>.
- Sjörs, H. & Bager, O. (2018). Frekvens. *Nationalencyklopedin*. Hämtad från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/frekvens>.
- Stadig, J. & Larsson, K. (2016). Determination of impact noise in the same room from tables - a not standardized measurment.
(Referense: 6P05564)
- Veggeberg, K. (2008). Octave analysis explored. *Evaluation Engineering*. Hämtad från: <https://www.evaluationengineering.com/octave-analysis-explored.php>.

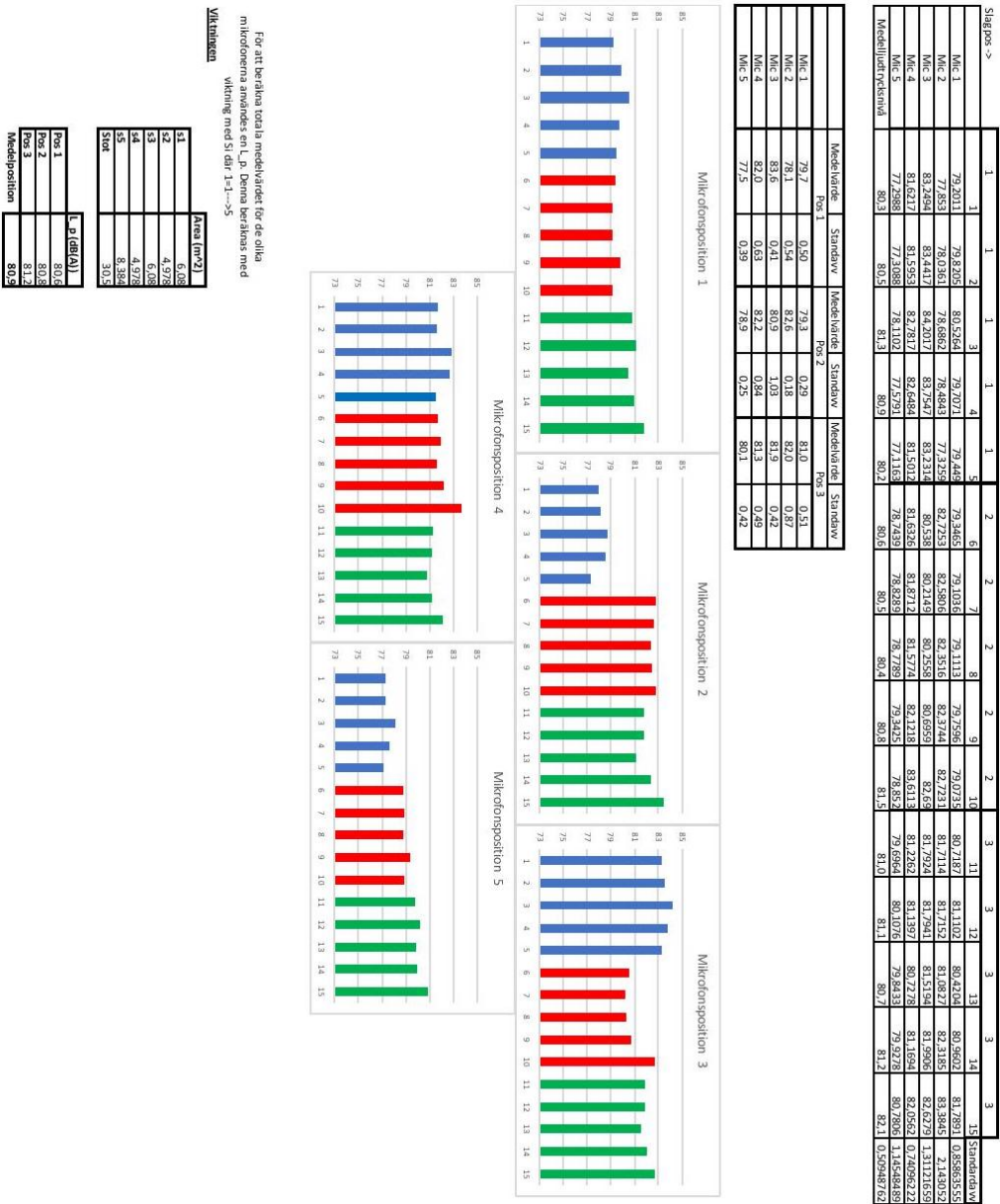
A

Bilaga 1 - Beräkningar

A.1 Metallkula

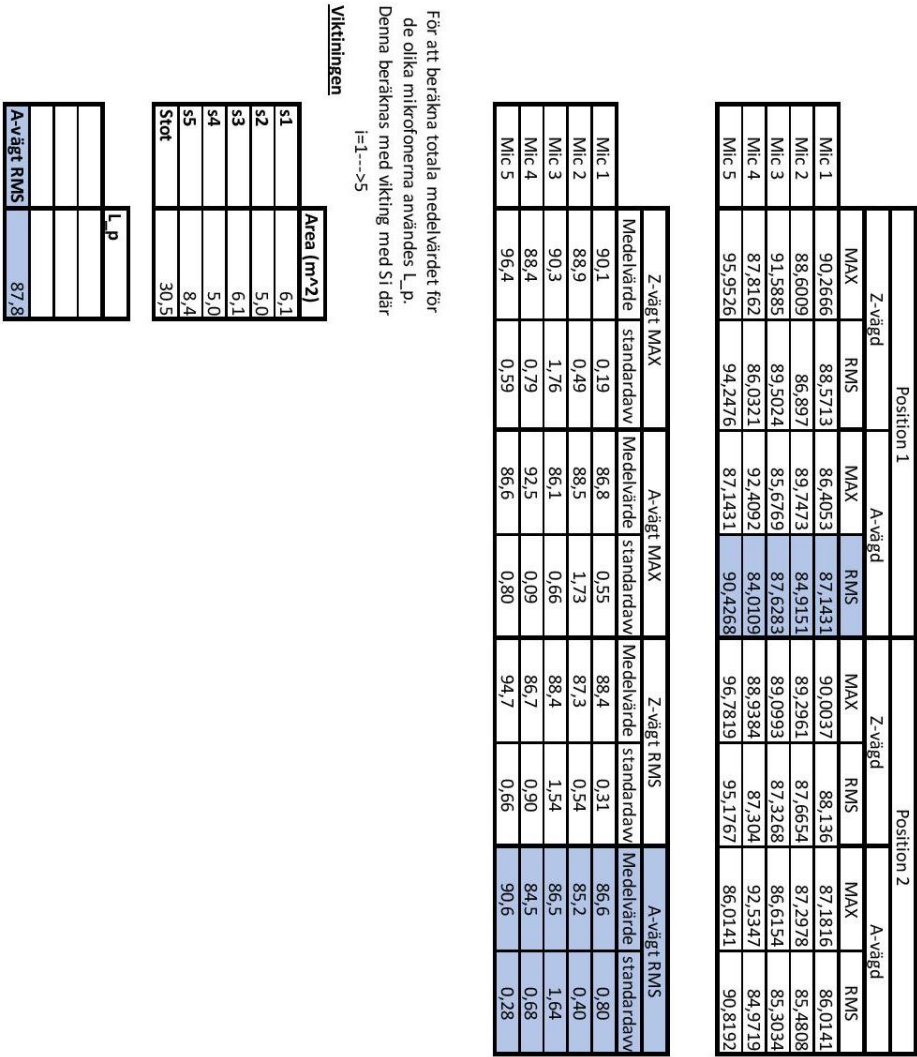


Figur A.1: Beräkningar metallkulan för dämpad skriva

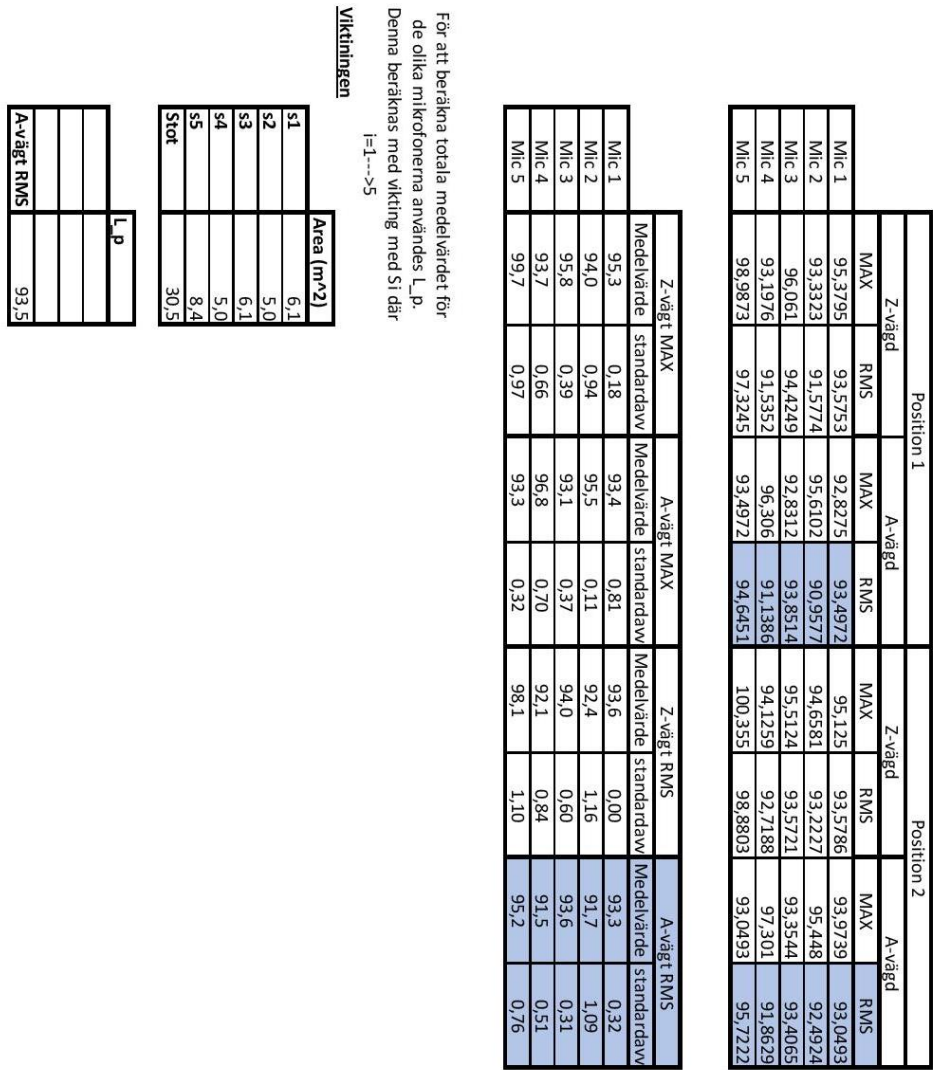


Figur A.2: Beräkningar metallkulan för odämpad skriva

A.2 Stegmaskin

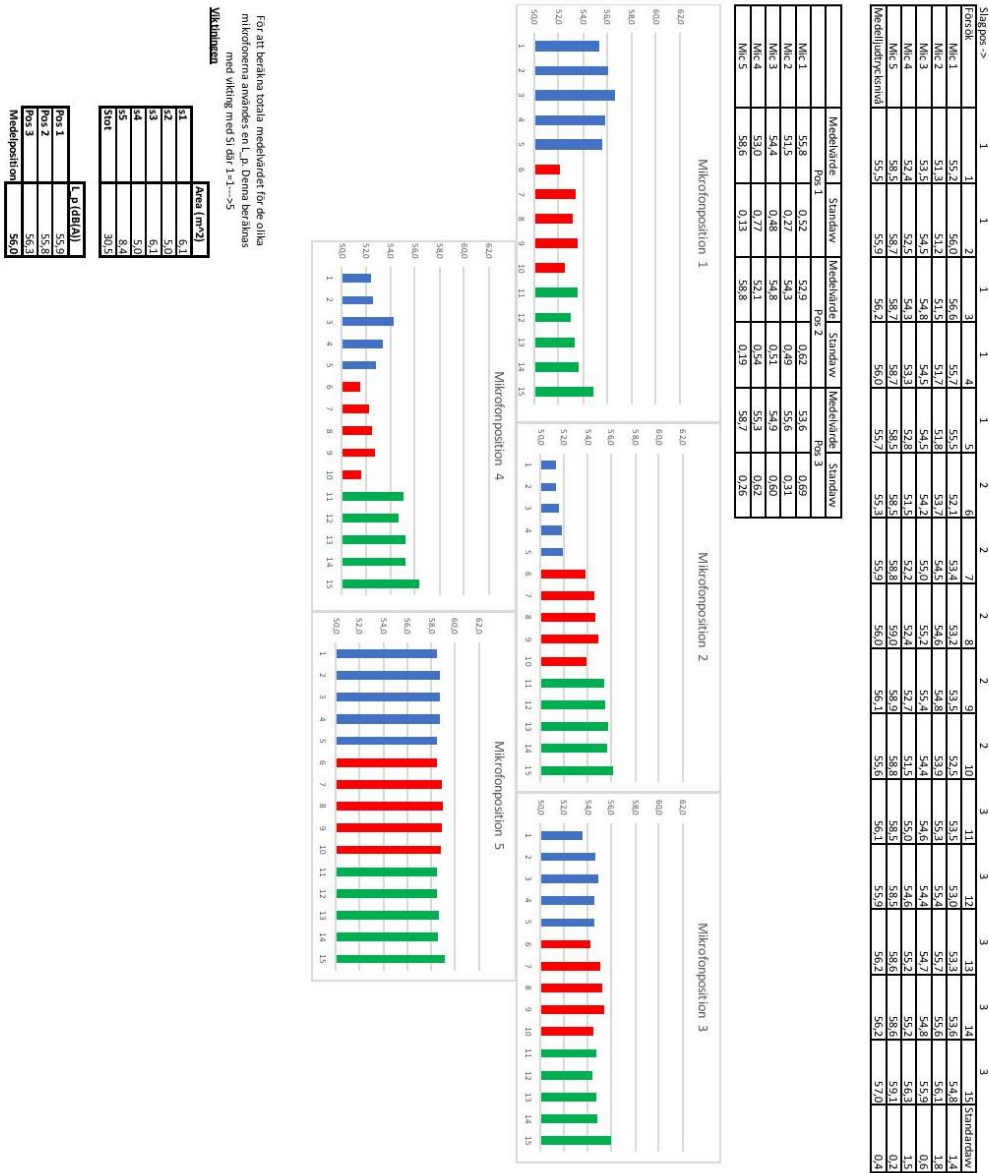


Figur A.3: Beräkningar stegmaskin för dämpad skriva

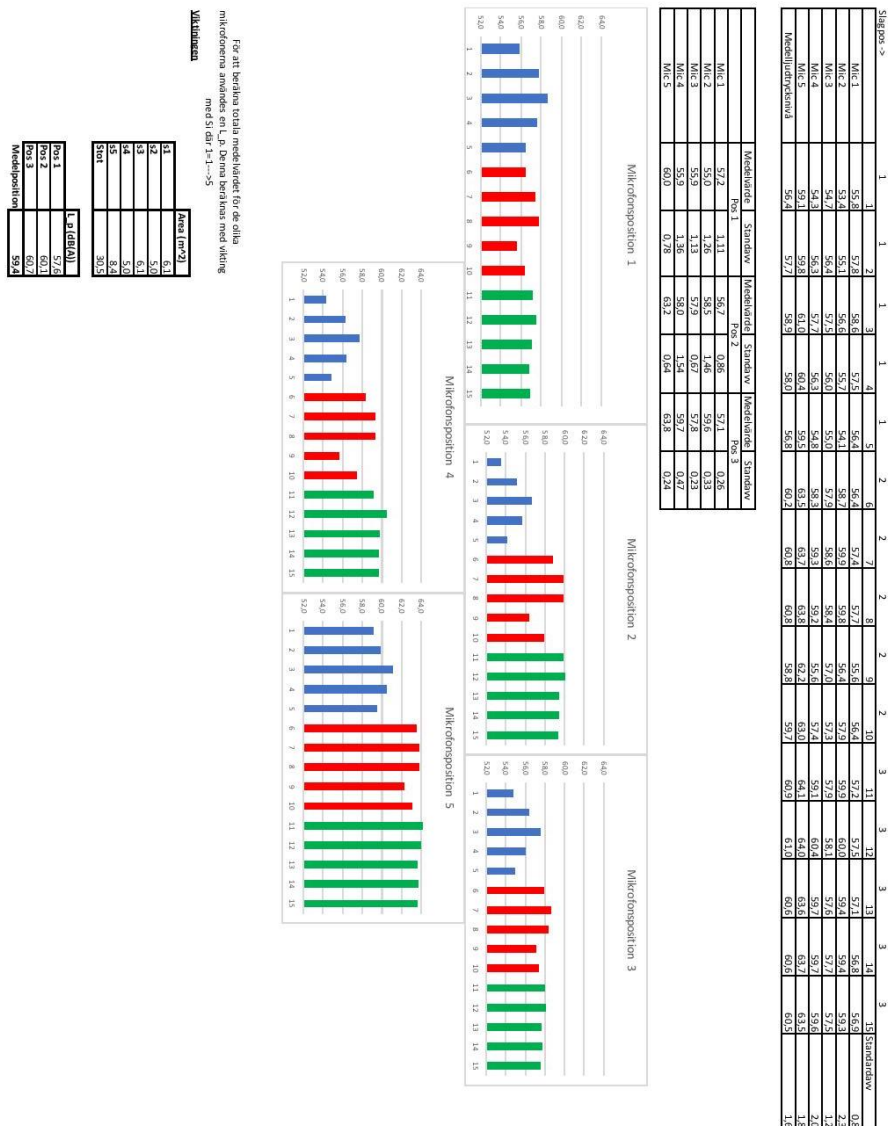


Figur A.4: Beräkningar stegmaskin för odämpad skriva

A.3 Impulshammare



Figur A.5: Beräkningar impulshammaren för dämpad skriva



Figur A.6: Beräkningar impulshammaren för odämpad skriva

A.4 Shaker

	dB(A) RMS
Mic 1	39,4
Mic 2	37,4
Mic 3	40,1
Mic 4	38,0
Mic 5	40,1

Viktning

	Area (m ²)
s1	6,1
s2	5,0
s3	6,1
s4	5,0
s5	8,4
Stot	30,5

	L _p (dB(A))
Pos 2	39,3

Figur A.7: Beräkningar shaker för dämpad skriva

	dB(A) RMS
Mic 1	65,1
Mic 2	66,1
Mic 3	65,2
Mic 4	66,8
Mic 5	64,8

Viktning

	Area (m ²)
s1	6,1
s2	5,0
s3	6,1
s4	5,0
s5	8,4
Stot	30,5

	L _p (dB(A))
Pos 2	65,6

Figur A.8: Beräkningar shaker för odämpad skriva