

BRANDDETEKTERING MED LJUD I ENKLA TRÄELEMENT

Madeleine Häggqvist & Petter Tisell | Brandteknik | LTH |
LUNDS UNIVERSITET



Branddetektering med ljud i enkla tr element

Madeleine H ggqvist & Petter Tisell

Lund 2022

Titel: Branddetektering med ljud i enkla träelement
Title: Fire detection in simple wooden structures using sound emissions

Författare/Author: Madeleine Häggqvist & Petter Tisell

Report 5728
ISRN: LUTVDG/TVBB--5728--SE

Antal sidor/Number of pages: 52

Sökord/Keywords:

Akustiska emissioner, kavitebrand, dolda bränder, konstruktionsbrand, ljuddetektion, branddetektion, triangulering, ljudhastighet, frekvensanalys, ljuddämpning

Abstract

In this thesis, it is examined how acoustic emissions produced by temperature changes in materials can be used to detect hidden structural fires. Experiments has been carried out with the aim of studying the possibilities of identifying the direction of the sound source in various wooden elements using contact microphones. The results shows that the method is valid in simpler wooden structures, but further processing of data is necessary for more complex wooden designs.

Further studies have been carried out in this thesis with regard to the rescue services need for new methods regarding construction fires. As current methods are not perfect, they view sound as a good supplementary detection system.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2022

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2022

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Följande rapport är ett examensarbete och utgör den avslutande delen i brandingenjörsutbildningen vid Lunds Tekniska Högskola och omfattar 22,5 högskolepoäng.

Ett stort tack riktas till våra handledare Margaret McNamee (professor på avdelningen för brandteknik) och Robert McNamee (Adjungerad universitetslektor på avdelningen för brandteknik).

Tack för alla värdefulla diskussioner, idéer och feedback under arbetets gång. Utan er kunskap och rådgivning hade projektet aldrig varit möjligt.

Vi vill även tacka alla respondenter som ställt upp på intervjuer.

Lund, 2022

Madeleine Häggqvist & Petter Tisell

Sammanfattning

I dagsläget finns stor problematik med konstruktionsbränder, både vad gällande lokalisering och släckning men även att de är tidskrävande och kostsamma. Eftersom material avger akustiska emissioner (knäppningar) vid temperaturförändringar kan dessa användas för att detektera och lokalisera dolda bränder.

Syftet med denna rapport har således varit att utforska möjligheterna att använda ljud för att detektera bränder i olika träelement för att se om det finns potential att använda detta för identifiering och lokalisering av dolda konstruktionsbränder. Vidare målsättning med arbetet har varit att undersöka hur räddningstjänstens arbetsmetoder ser ut idag och undersöka vilket behov av nya metoder för identifiering av dolda bränder som finns.

Arbetet består av en litteraturstudie, experimentell studie samt intervjuer som genomförts parallellt. Intervjuerna genomfördes med representanter från olika räddningstjänster, men utgör endast en liten del av arbetet. Resultatet från intervjuerna ska inte ses som ett komplett resultat över räddningstjänstens behov utan syftar endast till en initial identifiering av potentiella användningsområden och behov från räddningstjänstens synvinkel.

För att utreda hur ljud kan användas för att identifiera bränder har ett stort antal experiment utförts. Initialt har försök utan förbränning gjorts för att öka förståelsen och kunskapen om hur ljud uppträder i olika träelement. Vidare har experiment med förbränning studerats för att undersöka hur akustiska emissioner kan användas tillsammans med kontaktmikrofoner för att identifiera brandens riktning.

Utifrån erhållna resultat från intervjuer och experiment har följande slutsatser kunnat dras:

- Sett från räddningstjänstens perspektiv finns i dagsläget genomarbetade metoder för hur konstruktionsbränder ska behandlas, men där representanter från räddningstjänsten ser potential i att använda ljud som komplement till dagens detektionsmetoder.
- Ljudhastigheter i trä framräknade från experimenten stämmer överens med de teoretiska hastigheterna. Det har dock inte varit möjligt att ta fram hastighet för alla träelement.
- Det är lättare att identifiera riktning och hastighet i mindre komplexa träelement. I vissa mer komplexa träelement har ett resultat inte kunnat tas fram.
- Vid användning av frekvensfiltrering pekar resultatet på att riktning blir lättare att identifiera, men detta behöver undersökas vidare.
- Det är lättare att identifiera akustiska emissioner med kortare avstånd mellan förbränningspunkt och kontaktmikrofon.
- Ljudintensitet avtar mer för höga frekvenser än låga, med ökat avstånd.

Eftersom detektering av brand med hjälp av ljud är ett relativt outforskat område har det utifrån genomförda experiment konstaterats att det finns forskningspotential inom området. Detta syftar framförallt till vidare forskning av hur metoden för identifiering av dolda bränder kan förbättras samt kolla vidare på andra material och mer komplexa

konstruktioner. Det kan också vara intressant att undersöka vidare hur ljud som detektering kan användas inom andra områden än i räddningstjänstens operativa arbete.

Summary

In today's society there is a major issue with identifying and extinguishing construction fires as well as they are time consuming and expensive. Since materials emit acoustic emissions (crackles) during temperature changes, these can be used to detect and locate hidden fires.

This thesis aims to investigate the ability to use sound to detect fires in different wooden materials to see if there is a potential to use this method to identify and localize construction fires. Further goals with this thesis have been to survey the methods of the fire brigade and what their need for new methods to identify hidden construction fires are.

This thesis concludes a literature study, experimental study as well as interviews with representatives from the fire department. The interviews constitute only a limited part of the report and the results from these can only be seen as an early identification of potential area of use and the need from the fire brigade's perspective.

A large number of experiments was performed to investigate if sound can be used to detect fires. Initially combustion free experiments were carried out to identify the characteristics of sound in wooden materials. Later experiments with combustions were studied to see how the acoustic emissions combined with contact microphones can be used to identify the direction of the fire.

Based on the results obtained from interviews and experiments, the following conclusions can be drawn:

- The fire brigade currently has well developed methods for how construction fires should be treated but they also see potential in using sound as a complement to today's detection methods.
- there still exists an interest for new methods and tools that could facilitate their work.
- Sound velocities in wood calculated from the experiments matches the theoretical velocities, thus it has not been possible to calculate the velocity of all wooden materials.
- It is easier to identify direction and velocity in more simple wooden elements. In more complex wooden structures, it has not always been possible to obtain results.
- By using frequency filtering, it is easier to identify direction of the combustion, but there is need for more research to come to any conclusions.
- It is easier to identify acoustic emissions when the distance between the combustion area and the contact microphone is shorter.
- Sound intensity decreases more for higher frequencies than lower frequencies, with increased distance.

Since fire detection with sound is a relatively unexplored subject, it can be concluded from this thesis that there is great potential for further research, especially methods to identify hidden construction fires. There is also a need to understand how acoustic emissions tend to behave in materials other than wood and in more complex structures.

It might also be interesting to investigate how sound as detection could be used in other ways than in the fire brigade's operative work.

Innehåll

Förord.....	i
Sammanfattning.....	ii
Innehåll.....	vi
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte och mål.....	2
1.3 Frågeställningar.....	3
1.4 Avgränsningar	3
2 Metodik.....	4
2.1 Övergripande metod.....	4
2.2 Litteraturstudie	5
2.3 Intervju.....	5
2.4 Experiment.....	6
2.4.1 Ljuddetektering utan förbränning.....	6
2.4.2 Ljuddetektering med förbränning.....	10
2.5 Analys av resultat.....	14
2.5.1 Utläsa ljudvågens startpunkt och hastighet.....	14
2.5.2 Brusreducering	15
2.5.3 Filtrering av frekvenser	16
2.5.4 Frekvensberoende dämpning	17
3 Teori.....	18
3.1 Vågor och ljud.....	18
3.1.1 Inledning.....	18
3.1.2 Vågens utseende och egenskaper	18
3.1.3 Ljud i olika material.....	20
3.1.4 Ljudvågors avtagande med avstånd	22
3.1.5 Akustiska emissioner i material	22
3.1.6 Refraktion och reflektion	23
3.2 Antändning och spridning.....	23
3.3 Dagens detektions- och släckmetoder	24
4 Resultat.....	28
4.1 Intervju.....	28

4.2	Experiment.....	29
4.2.1	Inledande experiment	29
4.2.2	Linjär placering av kontaktmikrofoner	30
4.2.3	Triangulering.....	34
4.2.4	Filtrering av frekvens	36
4.2.5	Generella observationer	38
4.3	Frekvensberoende dämpning.....	39
5	Diskussion.....	41
5.1	Intervju.....	41
5.2	Experiment.....	42
5.2.1	Metod och felkällor.....	42
5.2.2	Resonans och hastighet	43
5.2.3	Riktning och triangulering.....	44
5.2.4	Brusreducering och filtrering av frekvens	45
5.2.5	Frekvensberoende dämpning	46
5.2.6	Generella observationer	47
6	Slutsats.....	48
7	Framtida forskning.....	49
8	Referenser.....	50
	Bilaga 1 – Intervjuer	1
	Bilaga 2 – Frekvensberoende dämpning.....	4
	Bilaga 3 – Material och utrustning.....	10
	Bilaga 4 – Lista över alla genomförda experiment.....	12

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Bränder är ett viktigt fenomen som i Sverige medför att nästan 100 personer årligen omkommer (MSB, 2022). Förutom risken för att människor kan skadas eller omkomma innebär bränder enorma ekonomiska och miljömässiga kostnader för samhället som 2019 totalt uppskattades uppnå 9,2 miljarder kronor (MSB, 2019).

Ett av de absolut viktigaste verktygen för att förhindra eller minska konsekvenserna av bränder är detektionssystem. En brand som upptäcks i ett tidigt skede minimerar tiden tills en släckningsinsats av räddningstjänsten kan inledas. Detta ger goda förutsättningar till att begränsa person- och egendomsskador då skillnaden mellan ett tidigt och sent brandförlopp kan röra sig om enstaka minuter (Särdqvist, 2013).

Problematiken med dagens detektionssystem är att en betydande del av larmen är falska. Detta är särskilt sant för automatiska brandlarmläggningar där Hjort (1999) visar på att närmare 97 % av räddningstjänstens utryckningar är onödiga. Utöver uppehåll i den drabbade verksamheten kan anläggningsinnehavaren behöva betala en avgift till räddningstjänsten för återställande av larm. Avgiften varierar kraftigt i olika kommuner men baseras delvis på kostnad av den alternativa användningen av arbetstid som går till miste och fördröjning av andra insatser som kan ske vid dubbla larm (Kågebro, 2007). Det föreligger således inom flera parter motiv i att minska sannolikheten för falska larm vilket kräver mer robusta detektionssystem.

I dagsläget kan multidetektorer skapa ett mer tillförlitligt system. Multidetektorer utmärkes av att två eller fler olika typer av detektorer kombineras, till exempel en differentialvärmedetektor och en optisk linjerökdetektor. Det är även vanlig att multidetektorer utformas med hjälp av algoritmer vilket möjliggör att detektorn enbart varnar vid en viss kombination av signaler. Denna typ av konfiguration ger upphov till färre fellarm då de är mindre känsliga för yttre störningar (Nilsson & Holmstedt, 2008). Normalt sett består dock branddetektorer endast av en typ av detektor som grundar sig i sig i olika principer och detekterar olika beroende på vad för typ av signalement branden utgör. Detta medför att det finns både för- och nackdelar i de olika systemen som idag finns tillgängliga (Gould, Hind, Sorensen, & Jacquet, 2017). Ett problem som inget av de befintliga detektionssystemen kan lösa är att lokalisera dolda bränder i exempelvis väggar utan detta är något som räddningstjänsten kan behöva hantera när de kommer till en brand i en byggnad med exempelvis värmekamera.

Med dolda bränder avses bränder i svåråtkomliga och mindre utrymmen. Ett bredare begrepp som ofta används är konstruktionsbränder. Konstruktionsbränder omfattar i folkmun bränder i byggnadskonstruktion (så som luftspalter och vindar) som är svåråtkomliga, underventilerade och generellt har ett långsammare brandförlopp än en rumsbrand. Med definitionen av konstruktionsbrand omfattas även dold brand (Johansson, 2015).

För att kunna genomföra en räddningsinsats effektivt behöver branden både identifieras och lokaliseras samt byggnadsegenskaper identifieras. Kunskap om vanliga byggmetoder under olika tidsperioder, tillgång till ritningar över den brinnande byggnaden, att skapa

en öppning och på så vis visuellt göra en bedömning samt att använda sig av IR-teknik för att få indikationer utifrån värmeutsläpp från byggnaden (Vylund & Palmkvist, 2018).

Det finns flera olika metoder som används av räddningstjänsten beror av bland annat tillgänglighet, utrustning och kunskap. Olika räddningstjänster kan använda sig av olika metoder beroende av erfarenhet och tillgänglig utrustning (Andersson, o.a., 2015). Utveckling av teknik möjliggör utveckling av metoder vilket i sin tur kan leda till säkrare och effektivare släckinsatser. Ett betydande exempel på detta är värmekameran som används frekvent (Ingason & Kumm, 2019).-Trots flera olika metoder och verktyg finns begränsningar och risker med nuvarande detektions- och släckmetoder och detta visar på att det fortfarande finns behov av ytterligare metoder för att detektera och lokalisera bränder.

En metod som i dagsläget är relativt outforskad, men vars potential är stor, är användning av ljud för att detektera och lokalisera dolda bränder (Martinsson, o.a., 2021).

Vid uppvärmning av ett material uppstår spänningar i materialet på grund av termisk utvidgning vilka gradvis ökar fram tills en avlastning sker. Spänningarna orsakar ett kortvarigt ljud som ofta benämns som en akustisk emission (Nilsson & Holmstedt, 2008). Redan i ett tidigt skede avger bränder akustiska emissioner som med hjälp av kontaktmikrofoner går att detektera (Grosshandler & Jacksson, 1993). Denna teknik har av utvecklingsmöjligheter inom bland annat detektering av dolda bränder samt glödbränder både som tidigt detekteringssystem men även som hjälpmedel för räddningstjänsten att i ett senare skede identifiera en dold brands position och utbredning.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att utforska möjligheterna med ljud som detektionsmetod vid identifiering av dolda bränder samt undersöka hur denna metod kan användas för att upptäcka och lokalisera bränder.

Målet med detta arbete är att, genom experimentella försök, öka förståelse och kunskap om hur ljud kan nyttjas för att detektera kavitetsbränder. Vidare målsättning med arbetet är att med hjälp av litteratur och intervjuer undersöka de utmaningar som idag finns med kavitetsbränder samt hur räddningstjänsten och industrier kan nyttja ljud som en framtida detekteringsmetod.

1.3 Frågeställningar

Följande forskningsfrågor har undersökts som ett sätt att nå studiens syfte och mål:

- *Vilka utmaningar finns det med kavitetsbränder?*
- *Hur arbetar räddningstjänsten med dolda bränder idag och har ljuddetektering potential att underlätta deras arbete?*
- *Hur påverkas hastigheten av faktorerna olika träelement, infästning och avstånd från ljudkällan?*
- *Går det att lokalisera i vilken riktning en brand befinner sig i ett träelement med hjälp av ljud?*
- *Hur varierar frekvenser med avstånd i olika träelement?*

1.4 Avgränsningar

Följande avgränsningar finns för rapporten:

- *Endast träregel, limfogskena och KL-trä studeras.*
- *Endast kontaktmikrofoner av en sort används.*
- *Kontaktmikrofoner endast fastsatta med tejp.*
- *Använder enbart 96 kHz som samplingsfrekvens.*

2 Metodik

2.1 Övergripande metod

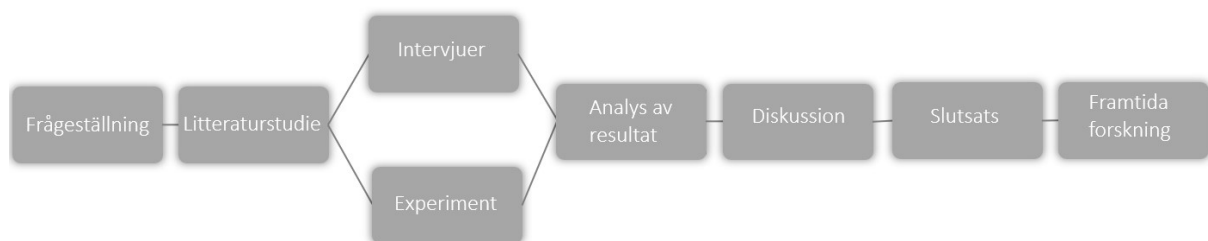
Initialt har ett forskningsprojekt inom området presenterats varifrån intresset för ämnet uppkommit. Utifrån ovannämnda projekt har egna frågeställningar tagits fram kring hur huruvida det går att detektera en brand bakom en vägg samt hur branddetektering med hjälp av ljud potentiellt skulle kunna användas inom räddningstjänsten.

Utifrån de frågeställningar tagits fram har en litteraturstudie initialt genomförts för att undersöka forskning och framsteg som finns inom ljuddetektering med brand och räddningstjänstens möjlighet att detektera dolda bränder i dagsläget. Frågeställningar som inte kunnat besvara i litteraturstudien har använts för att designa experiment. Utifrån detta har det undersökts vilken teoretisk kunskap som behövs för att kunna genomföra experiment och tolka resultat från desamma, vilken inhämtats via fortsatt litteraturstudie. Metod för litteraturstudien presenteras närmare under avsnitt 2.2 Litteraturstudie och resultatet från litteraturstudien presenteras under kapitel 3 Teori.

Efter litteraturstudien har förberedande experiment utan förbränning genomförts för att säkerställa att tillgänglig utrustning är tillräckligt känslig för relevanta mätningar samt för att se hur ljud beter sig i olika träelement. Träelementen som har använts är regel, limfogskena och KL-trä då dessa varit lätta att tillgå samt att experimenten ha kunnat genomföras med ökande komplexitet i och med träelementens ökande komplexitet. Utifrån dessa resultat har uppställning av experiment med förbränning kunnat tas fram och genomföras. Mer djupgående metoder för hur experimenten genomförts återfinns i avsnitt 2.4.1 Ljuddetektering utan förbränning respektive avsnitt 2.4.2 Ljuddetektering med förbränning.

Parallellt med den experimentella studien har intervjuer med representanter från räddningstjänsten genomförts för att få deras bild av problematik som finns med kavitets- och konstruktionsbränder i dagsläget samt för att se om yrkeskunniga personer tycker sig kunna se ett användningsområde för branddetektering med ljud.

Projektet har fortskridit med analys av resultat givna från genomförda experiment samt sammanställning av intervjuerna. Utifrån detta har en kontroll att syfte och mål är uppnådda gjorts, genomfört arbete diskuterats, slutsats tagits fram och identifiering av områden som kan forskas vidare på presenterats. I Figur 1 illustreras den generella arbetsmetoden för hela arbetet.



Figur 1 Generell arbetsmetod för hela arbetet.

2.2 Litteraturstudie

Inom genomförd litteraturstudie har databaserna LubSerch och Google Shoolar, sökmotorn Google samt Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) (MSBhemsida använts. Sökningar efter litteratur gjordes systematiskt med utvalda ord relevanta för de ämnen som berörs i arbetet, se Tabell 1. Endast artiklar på svenska och engelska har använts.

Tabell 1 Databaser och sökmotorer samt sökord som använts i litteraturstudien.

Databaser	Sökord
LUBsearch	Sound physics/ Transverse wave physics/ Longitudinal waves/
Google Scholar	Transverse waves/ Acoustic emission/ Acoustic emission fires/
Google	Speed of sound in materials/ Decibel scale/ Frequencies/ Wave
MSB	interference /Sound absorption / Sound waves/ Acoustic noise/
	Fire detection/ Acoustic sensors/ Refraction/ Reflection/ Kavitet
	bränder/ Kavitetsbrand/ Konstruktionsbrand problematik/
	Skärsläckare/ Kavitetsbrand/ Glödbrand

När intressanta artiklar hittats har ett första urval gjorts med hjälp av rubriker för vidare bedömning av abstract, sammanfattningar och slutsatser. Samtliga källor som granskades närmare utifrån tidigare sortering, skrevs systematiskt upp och graderades med relevans på skalan 1–5, där 1 motsvarar *ej relevant* och 5 motsvarar *mycket relevant*. Utifrån dessa kriterier lästes artiklarna i sin helhet för vidare analys som sedan presenteras under kapitel 3 Teori. I den litteratur där innehållet i hög grad ansågs vara relevant har dessutom metoden "snowballing" tillämpats vilket innebär att referenserna från artiklarna kontrollerades för att sedan undersökas vidare om de bedömdes vara intressanta (Säfsten & Gustavsson, 2020). Där referenserna verkade intressanta kategoriserades även dessa enligt 1–5 principen. Arbetsgången för litteraturstudien illustreras i Figur 2.



Figur 2 Arbetsgång för genomförd litteraturstudie.

2.3 Intervju

Som ett komplement till litteraturstudien har intervjuer genomförts med kunniga personer från Räddningstjänsten. Intervjuer har hållits med tre personer som arbetat som yttre befäl eller brandman på räddningstjänsten Syd eller Landskrona. Detta för att få en inblick i om, och i så fall vilket, behov intervjuad person ser av utvecklade metoder för

identifiering av kavitets- och konstruktionsbränder. Från intervjuerna gavs också en uppfattning om dagens arbetsmetoder och potentiellt användningsområde för hur detektering av brand med ljud skulle kunna användas, både inom ramen för räddningstjänstens insatser och mer generellt.

Initialt skickades förfrågan till ett par räddningstjänster om kandidater som ville ställa upp på intervju i projektet. Efter att en kontakt med representanter upprättats bokades möten som sedan genomfördes antingen som telefonintervjuer eller via videosamtal. Innan genomförd intervju fick deltagare skriva på samtyckesblankett innehållande kort presentation av arbetet samt hantering av personuppgifter. Personerna som intervjuats har fått svara på ett par förbestämda frågor, framtagna utifrån litteraturstudien, inom ramen för projektets frågeställning. Vid behov har även ytterligare följdfrågor ställts, även kallad semistrukturerad intervju (Säfsten & Gustavsson, 2020). Vilka frågor som ställts återfinns i Bilaga 1 – Intervju. Intervjuerna har spelats in för att möjliggöra att lyssna på materialet igen. Intervjuade personer har även haft möjlighet att ta del av en sammanställning av intervjun. För att bibehålla anonymiteten för intervjudeltagare har svar från samtliga intervjuer sammanställts och presenteras gemensamt under avsnitt 4.1 Intervju.

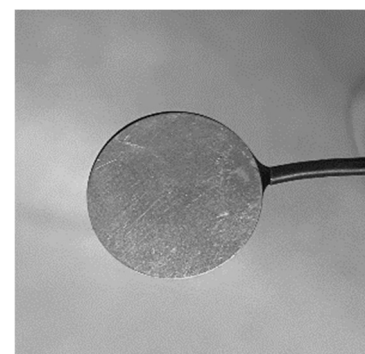
Observera att resultat från genomförd intervju inte ska ses som ett komplett resultat över användningsområden, utan syftar endast till en initial identifiering av potentiella användningsområden och behov från räddningstjänstens synvinkel. Med hänsyn till arbetets omfattning utgör dessutom intervjuerna endast en liten del i projektet.

2.4 Experiment

2.4.1 Ljuddetektering utan förbränning

Initialt utfördes ljuddetekterande experiment (utan förbränning) för att kontrollera om tillgänglig utrustning var tillräckligt känslig för planerade mätningar och för att få en uppfattning om vilka typ av resultat som skulle vara möjligt att få fram. Experimenten genomfördes systematiskt i olika tråelement där så få faktorer som möjligt ändrades för att på så sätt identifiera vad som skulle komma att påverka resultaten i senare experiment med förbränning. Uppställning av samtliga experiment återfinns i Bilaga 4 – Lista över alla genomförda experiment.

För inspelning av ljud har tre kontaktmikrofoner av typen "Big shot universal spot pickup with external jack" använts, se Figur 3. Ljud transporteras som vibrationer i fasta material och kontaktmikrofonerna nyttjar detta genom att omvandla vibrationerna på materialets yta till elektriska signaler. Vibrationens styrka avgör hur stark den skapade elektriska signalen är, mindre vibrationer resulterar i svagare signaler och starkare vibrationer resulterar i starkare signaler. För att mikrofonerna hela tiden ska hålla kontakt med ytan har dessa tejpats fast. Inspelning har sedan gjorts med en "Zoom F6 MultiTrack Field Recorder" med samplingsfrekvens 96 kHz och 32-bit, se Figur 4. Recordern har möjlighet att spela in ljud



Figur 3 Undersidan av kontaktmikrofon som använts i samtliga experiment.

från flera mikrofoner samtidigt och spara dessa som olika spår. Portarna är nummermärkta vilket möjliggör lätt identifiering av vilken mikrofon som har spelat in respektive fil.

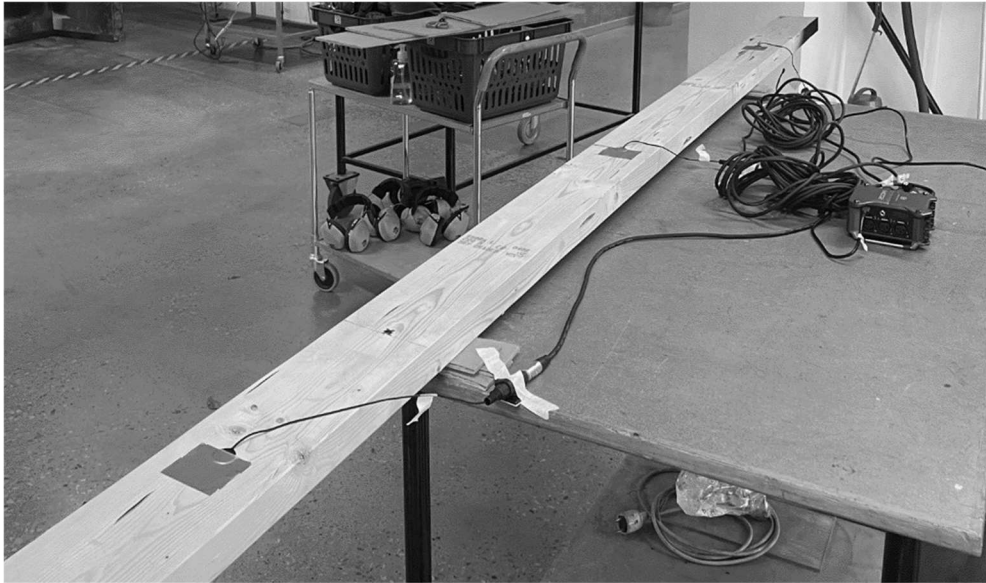


Figur 4 Zoom F6 MultiTrack Field Recorder.

Först undersöktes hur hastighet och frekvens ändrades beroende av vilket slagföremål som använts på en träregel. Detta för att i fortsatta experiment använda ett föremål som gav en så tydlig vågform som möjligt. Här testades en skruv, bågen på laborationsglasögon i plast, att fästa en stor respektive en liten metallplatta med tejp mot regeln och slå på plattan med en skruv. Dessa försök visade att vågformen från slag med skruv direkt på träregeln var lättast att avläsa, varför skruven användes i resterande experiment utan förbränning. Det testades även att placera alla tre kontaktmikrofoner på samma avstånd till ljudkällan i en träregel för att säkerställa att utrustningen gav likvärdiga resultat. Slutligen undersöktes även hur resultatet påverkades av att en kontaktmikrofon satt löst när mikrofonerna var placerade på samma avstånd.

För att analysera insamlade ljudfiler har datorprogrammet Audacity version 3.2.0 (Audacity/MediaWiki, 2022) använts.

Arbetet fortsatte med att först utföra enkla tester på en regel (4,4x11,8x300 centimeter) för att undersöka om det gick att urskilja en tidsfördröjning av ljudupptagning mellan mikrofonerna som placerades på rad längs med regeln och i så fall på vilket avstånd detta var möjligt, se Figur 5. Det minsta avståndet mellan kontaktmikrofonerna som testades var fem centimeter och här kunde en förskjutning av vågorna ses mellan filerna när en linjär ljudskala användes. Det längsta avståndet som testades var 100 centimeter och utifrån detta sågs att ljudupptagning även på längre avstånd var möjligt. Sedan undersöktes om det gick att urskilja vilken riktning ljudet kom från på regeln, genom att slå skruven på olika sidor om mikrofonerna, vilket även detta påvisades vara möjligt. Från dessa experiment kunde senare ljudhastighet i träet beräknas, vilket gjordes efter omvandling av den linjära skalan till en i decibel.



Figur 5 Uppställning av experiment för regel vid upplägg på skumgummi.

I sista försöken utan förbränning som utfördes med regeln användes olika infästningar av regeln; löst liggande på skumgummi, löst liggande på träbitar, fasttvingad och upphängd i snören, för att se om detta påverkade hastighet, frekvens och amplitud från slagen med skruven.

Försöken fortsatte med en enkel limfogskiva där mätningar gjordes i fiberriktning och radiellt/tangentiellt mot fiberriktningen med hjälp av två mikrofoner för att se om detta kom att påverka hastighet, frekvens eller amplitud. Som ett nästa steg sattes tre mikrofoner upp i en liksidig triangel på limfogskivan, Figur 6. Sedan användes skruven för att knacka på limfogskivan i ett antal punkter, detta för att se om det gick att urskilja vilken ungefärlig riktning ljudet kom ifrån.

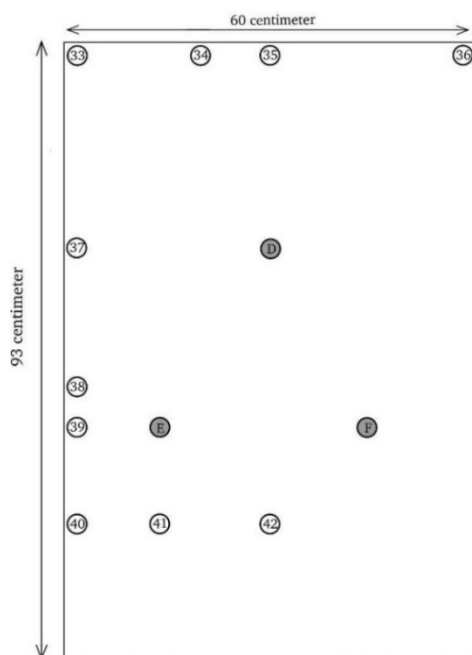


Figur 6 Uppställning av mikrofoner för triangulering på limfogskiva.

Nästa moment var att upprepa samma försök med en liten KL-träskiva (60x93x9 centimeter) för att se om det gick att urskilja hastighet, frekvenser och amplituder i olika riktningar, se Figur 7. Här testades också att slå både på samma och motsatt sida av KL-träet, i förhållande till kontaktmikrofonernas placering, för att se om det var något som skulle komma att påverka resultatet. För trianguleringen har koordinaterna i Tabell 2 använts och uppställningen i Figur 8.



Figur 7 Uppställning av kontaktmikrofoner för triangulering för ljudkälla i liten KL-träskiva.



Figur 8 Koordinatsystem över genomförda med triangulering för ljudriktning i liten KL-träskiva där D, E och F är kontaktmikrofonerna.

Tabell 2 Koordinater för ljudkälla i experiment E33D1-E42D1, ljudriktning i liten KL-träskiva där det vänstra översta hörnet är satt till origo.

Experiment	Koordinat [cm]
33	2, -2
34	20, -2
35	30, -2
36	58, -2
37	2, -30
38	2, -50
39	2, -56
40	2, -70
41	15, -70
42	30, -70

Experimenten skalades upp och en stor KL-träskiva (86x300x8 *centimeter*) användes för att undersöka hastighet, frekvens och amplitud på ett större avstånd för att se om det finns begränsningar på avstånd för ljudupptagningen. Detta gjordes genom att placera mikrofonerna på rad med så stora avstånd som möjligt. För att se huruvida måtten på skivan påverkar resultaten användes en KL-träbalk ((300x9x8 *centimeter*) avsågad från KL-träskivan) med motsvarande experiment som jämförelse.

Slutligen gjordes en jämförelse mellan ljudhastighet från samtliga använda trämaterial utifrån data som fåtts fram vid de olika försöken och frekvenserna undersöktes för ett respektive två experiment för stor KL-träskiva samt för KL-träbalken.

2.4.2 Ljuddetektering med förbränning

Vid experiment med förbränning utgick experimentens uppställning delvis från de resultat som tagits fram vid experiment utan förbränning.

Syftet med att genomföra experiment med förbränning var att se om det går att identifiera ljudet från en brand eller glödbrand. Likt i experimenten utan förbränning har flera olika trärelement använts för att kunna jämföra eventuella skillnader mellan enklare och mer komplexa element. Experimenten har även genomförts med olika infästningar för träbalken för att se om detta kan komma att påverka resultaten. Vid samtliga experiment har samma tre kontaktmikrofoner och "recorder" som i experimenten utan förbränning använts. Kontaktmikrofonerna har tejpats fast på undersökt objekt för ljudupptagning. I experiment genomförda med regler har mikrofonerna placerats med lika avstånd från varandra på rad (avstånden varierar mellan olika experiment med anledning av att undersöka vad som ger tydligast resultat. I experiment genomförda med KL-trä har mikrofonerna ställts upp antingen på rad eller i en liksidig triangel. Uppställning för respektive experiment presenteras i Bilaga 4 – Lista över alla genomförda experiment. I samma bilaga presenteras även flödet propan vid respektive försök.

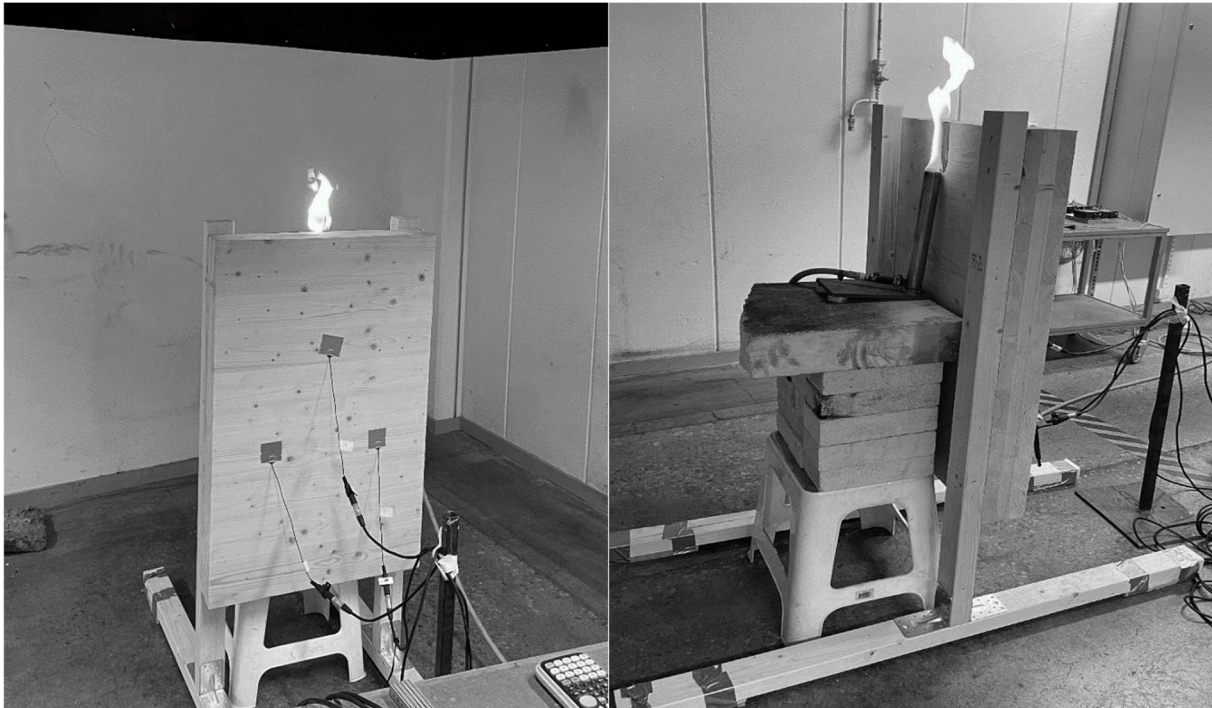
För att vid analys av ljudfiler kunna filtrera bort bakgrundsljud har samtliga ljudinspelningar startats någon minut innan brännaren placerats vid försöksobjekt, detta för att lättare skilja omgivningens ljud från förbränningens. Experiment med förbränning har utförts under en fläkt för att ventilerar ut brandgaser, vilket inte varit nödvändigt vid experiment utan förbränning. Brännaren har i de flesta försök varit placerad direkt under försöksobjektet under hela inspelningen med undantag för några uppställningar där det undersökts om det går att identifiera ljudet efter att brännaren tagits bort. Hur länge som brännaren varit placerad under försöksobjektet har varierat i de olika försöken.

Vid experiment på en vanlig regel har denna placerats på ett bord med olika upplag, beroende av experiment, se Figur 9. Brännaren placerades uppställd på siporexblock (lättbetong) under regeln så att flammorna från brännaren träffat regelns undersida. Där samma regel använts till flera bränningar har bränningen gjorts på "insidan" av den gamla, varför det alltid varit endast opåverkat trä mellan placering av brännaren och kontaktmikrofonerna.



Figur 9 Uppställning för ljuddetektering vid förbränning av regel.

Vid försök med en mindre KL-träskiva har denna varit uppskruvad vertikalt på trästöd uppställda på skumgummi och brännaren placerad så att brännarens mynning hamnat en bit under ovankanten på KL-skivan, för att begränsa brandens verkningsområde se Figur 10. Genom att begränsa verkningsområdet till övre, mittre delen av KL-träskivan blir det lättare att jämföra avstånd mellan brand och mikrofonerna som varit placerade i en liksidig triangel. Syftet med dessa experiment var att undersöka skillnad i frekvenser och amplitud och att undersöka om det går att urskilja vilken eller vilka mikrofoner som är placerad närmast branden och därmed kunna definiera riktning.

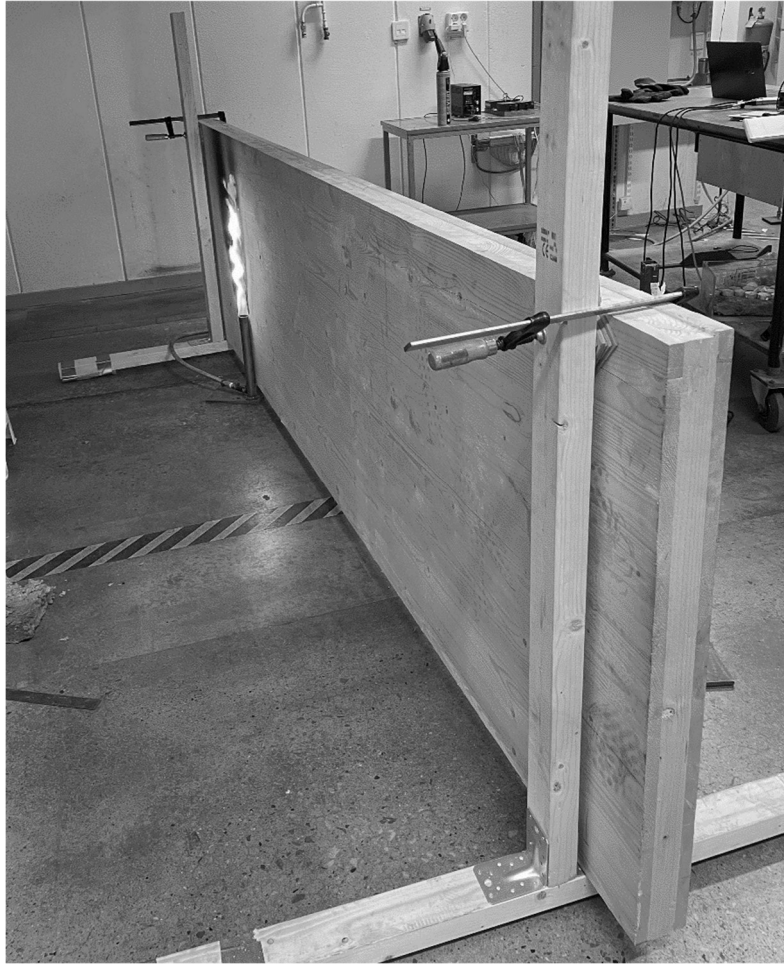


Figur 10 Uppställning för triangulering med förbränning av liten KL-träskiva. Vänstra bilden visar placering av kontaktmikrofoner och högre bilden visar hur brännaren placerats.

Vidare har experiment med en stor KL-träskiva gjorts, både med kontaktmikrofoner utplacerade i liksidig triangel samt på en rak linje. En stor KL-träskiva har använts för att ha möjlighet att öka avstånden mellan kontaktmikrofoner och brand och på så vis se om resultaten skiljer sig från en mindre KL-träskiva. I samtliga experiment med den stora KL-träskivan har den varit uppställd vertikalt på två trästöd och fasttvingad till dessa med en tving, se Figur 11 och Figur 12.



Figur 11 Uppställning av triangulering med förbränning med stor KL-träskiva. Här visas hur mikrofonerna placerats.



Figur 12 Uppställning av triangulering med förbränning med stor KL-träskiva. Här visas hur brännaren placerats på motsatt sida av kontaktmikrofonerna.

Brännaren har för experimenten varit placerad på golvet och mynningen har varit placerad 0,35 meter från KL-skivans underkant. Flamman har rört sig från mynningen och upp över cirka 0,3 meter och därmed i höjd med kontaktmikrofonernas placering i samtliga experiment. För att spara på material har samma KL-träskiva använts till flera experiment men för att säkerställa att resultaten ska bli så opåverkade som möjligt har ny brännplats alltid varit placerad på "insidan" av den gamla brandplatsen, så att det inte funnits förkolnad mellan ny flamma och kontaktmikrofoner. I experiment E2D4 och E5D4 har brännaren dock placerats på samma ställe som i föregående experiment och därmed utförts på ett ställe med förkolning. Tiden mellan experimenten har dock varit så kort att träet inte helt hunnit svalna och knäppningar fortfarande hörts, men det är okänt hur detta kan ha kommit att påverka resultatet. Detta är något som har tagits hänsyn till vid urval av ljudfiler för djupare analyser.

Som jämförelse med både regeln och den stora KL-träskivan har en KL-träbalk också använts. KL-träbalken är ursprungligen avsågad från den stora KL-träskivan. Detta har ansetts vara intressant att undersöka för att på ett överskådligt sätt se hur komplexiteten och storleken på träelementet påverkar resultatet.

Som ett sista förbränningsexperiment testades att elda inne i en kavitet. Kaviteten bestod av två KL-träskivor uppfästa på reglar. Brännaren placerades på siporexblock så att mynningen på brännaren hamnade inne i kaviteten, se Figur 13.



Figur 13 Uppställning av triangulering med förbränning i kavitet.

Efter insamling av data från samtliga experiment har analys med hjälp av Audacity och Excel gjorts, detta främst i form av frekvensanalys för att se om och hur ljudintensiteten i frekvenserna förändras med avstånd.

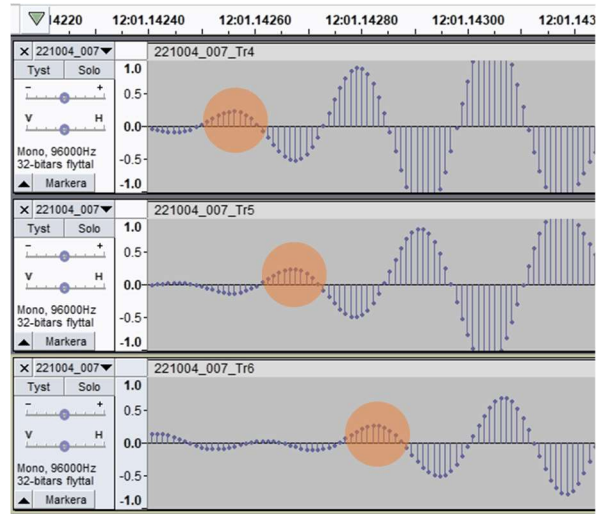
2.5 Analys av resultat

För att möjliggöra jämförelse mellan relevant data inhämtad från experimenten har flera analyser använts. Metod för de olika analyserna presenteras nedan.

2.5.1 Utläsa ljudvågans startpunkt och hastighet

Initialt har ljudvågornas utseende analyserats visuellt och jämförts för att se om det går att identifiera brandens riktning baserat på den färförskjutning som kunnat utläsas mellan filerna för respektive kontaktmikrofon, detta är gjort med hjälp av en linjär skala. Avläsningen har gjorts i olika zoom av amplitud, vilket gett en generell bild av hur utseendet varierar samt att på nodnivå kunna urskilja tidsskillnader mellan filerna.

Då vågornas utseende varierar mellan de olika kontaktmikrofonerna inom samma experiment har en generell metod som används inom ramen för detta arbete ställts upp. För att identifiera startpunkten för en jämförelse mellan vågorna har två olika metoder använts, beroende av vad som ansetts vara tydligast för respektive experiment. Inom en och samma mätning av akustiska emissioner har dock alltid samma metod använts för samtliga ljudfiler. Vågperioderna som har analyserats i ett slag eller en akustisk emission är de som varit märkbart högre än perioden innan, detta då det ses som vågens startpunkt. Här har antingen första noden över x-linjen eller sista noden i vågperioden använts för jämförelse mellan filerna, se Figur 14. Att mätpunkten varierat beror av att ljudvågorna är olika svåra eller lätta att läsa av.



Figur 14 Principskiss för förskjutning av ljudvågor. Orangea markeringarna visar vågorna från vilka noderna för jämförelse valts ut.

Initialt användes främst den linjära skalan vid analys av ljudfilerna, men kom att övergå i analys med skala i decibel när ljudhastigheter beräknades. Detta då decibelskalan är logaritmisk och därför förstärker de initiala vågorna som i linjär skala inte varit synliga men kom att påverka resultaten. Decibelskalan gör alltså att små amplitudförändringar blir lättare att urskilja vilket har varit nödvändigt för att beräkna ljudhastigheter.

För att beräkna hastigheterna för de olika träelementen har fyra till tio ljudvågor per experiment valts ut enligt metod ovan. Hur många ljudvågor som analyserats är beroende av dels hur många slag som finns i en fil samt hur tydliga dessa varit. Vid beräkning har antal noder samt avstånd mellan respektive kontaktmikrofon använts. Ett medelvärde av framräknade hastigheter har tagits för respektive stäcka, vilka är de resultat som presenteras. Uppställningen är gjort i Excel för att möjliggöra framtagning av diagram.

2.5.2 Brusreducering

Vid triangulering har det i alla försök inte varit möjligt att urskilja startpunkter för ljudvågorna och därför inte varit möjligt att urskilja ljudets riktning. För att trots detta kunna analysera de akustiska emissionerna från förbränningen av träet och dra slutsatser om riktning har databehandling i Audacity testats i form av brusreducering samt filtrering av frekvenser.

Enligt ovanstående avsnitt 2.4.2 Ljuddetektering med förbränning inleddes samtliga försök med förbränningen redan innan brännaren placerats vid försöksobjektet för att kunna urskilja på bakgrundsljudet och de akustiska emissionerna. Separationen av ljud har möjliggjort bortfiltration (brusreducering) av omgivningens ljud genom ett behandlingssteg i programmet Audacity.

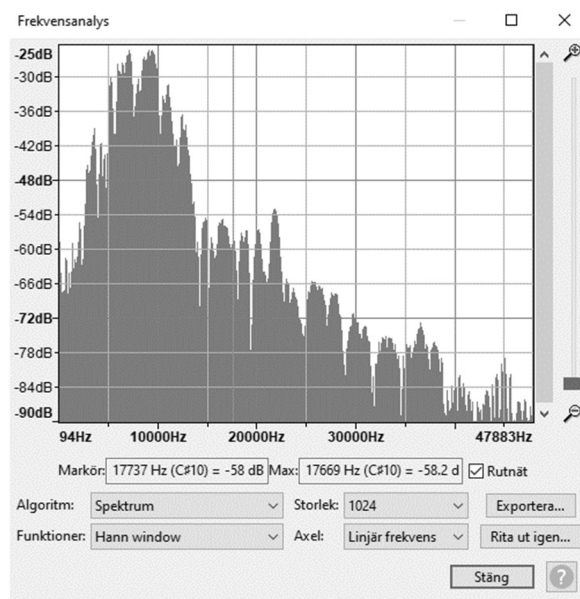
Inledningsvis markerades det tidsspänn i ljudfilen vars ljud skulle filtreras bort från resterande del av filen. I inställningarna för brusreducering har de fördefinierade värdena

använts för känslighet (6.0) samt frekvensutjämning (3 Hz). För brusreducering har värdet varierat mellan 6 och 17 dB beroende på bakgrundsljudets storlek. Ett högre värde för brusreducering tar bort mer bakgrundsljud men kan innebära att karakteristiska egenskaper tas bort från de akustiska emissionerna varför värdet satts till 17 dB som högst. Därefter har brusprofilen hämtats och "upprepats" på resterande del av ljudljudfilen.

2.5.3 Filtrering av frekvenser

Utöver brusreducering, har filtrering av frekvenser utförts i viss utsträckning i de försök där det inte varit möjligt att avläsa startpunkterna i resultatet. I avsnitt 3.1.2 Vågens utseende och egenskaper beskrivs vågor som en sammansättning av flera olika vågor med olika amplitud och frekvens som interfererat med varandra. Genom att analysera fördelningen av frekvenser i en akustisk emission har den del av frekvensspannet med lägre ljudnivå kunnat filtreras bort. Detta innebär att enbart ett kort frekvensspann med hög ljudintensitet kvarstår vilket till följd av mindre interferens medfört en tydligare avläsning av ljudvågens start. Nedan beskrivs mer utförligt genomförandet av denna metod.

Initialt har den akustiska emissionen som undersökts markerats i samtliga filer i programmet Audacity. Därefter har en frekvensanalys tagits fram för motsvarande tidsspann vilken beskriver fördelningen av frekvenser och tillhörande ljudintensitet (dB), se Figur 15. I frekvensanalysen har fördefinierade inställningar använts för Algoritm (Spektrum), Funktioner (Hann window) samt Axel (Linjär frekvens). För inställningen Storlek har värdena (128–2048) använts, vilken beskriver antalet mätta punkter för det markerade området. Värdet har varierat beroende på vilket tidsspann som den akustiska emissionen sträckt sig över och därmed antal mätta punkter. Frekvensanalysen i figuren visar på hur fördelningen av frekvenser och ljudintensitet (dB) kan se ut för en akustisk emission från en brand i träregel där frekvenserna varierar från 0 till 48 kHz. Anledningen till varför 48 kHz är den högsta mätbara frekvensen beror på att samplingsfrekvensen är inställd till 96 kHz och att det krävs minst två noder för att ta fram frekvensen, därmed går det inte att mäta högre frekvenser än 48 kHz.

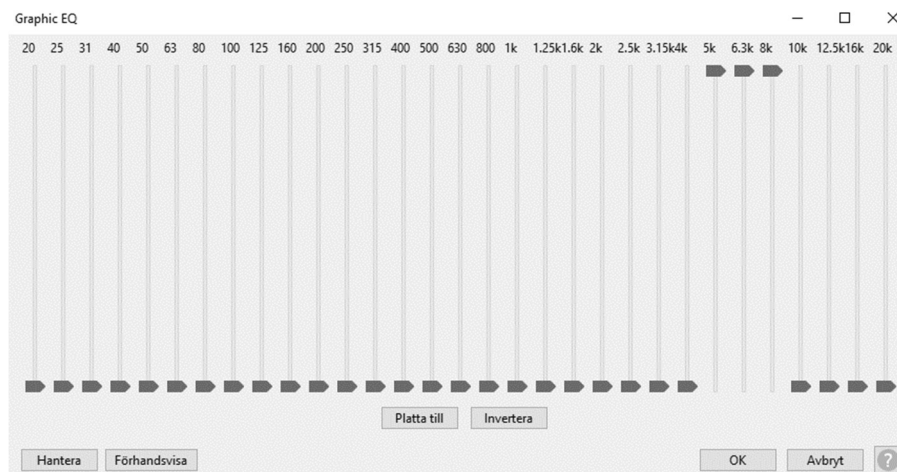


Figur 15 Typbild av frekvensanalys av en akustisk emission.

Fortsättningsvis har verktyget Graphic EQ använts för att dämpa eller förstärka ljudintensiteten (dB) i olika frekvensspann, se Figur 16. Vidare går det att utläsa att ljudintensiteten är märkbart högre inom frekvensspannet 5 – 10 kHz vilket varit genomgående för akustiska emissioner, varför dessa frekvenser förstärkts i Graphic EQ och resterande frekvenser dämpats. Varför detta frekvensspann valts beror dels på att det

är lättare att avläsa högre amplituder men också för att lägre frekvenser inte avtar lika mycket som högre frekvenser gör med ökat avstånd, se avsnitt 3.1.4 Ljudvågors avtagande med avstånd. Med ett kortare frekvensspann minskar interferensen och vågen har i många försök blivit mer lättläst än tidigare.

Det har inte studerats vidare exakt vilken del av den akustiska emissionen som försvinner, men då samma frekvensspann har tagits bort från samtliga filer är det samma ljud som försvunnit från alla.



Figur 16 Verktöget Graphic EQ i programmet Audacity. Här har vissa frekvensspann höjts och andra sänkts.

Metoden ovan har tillämpats där det obehandlade resultatet inte ansågs vara tillräckligt för att utläsa riktning. I vilken omfattning och när detta gjorts redovisas mer utförligt under avsnitt 4.2 Experiment.

2.5.4 Frekvensberoende dämpning

Frekvensanalysen (frekvensberoende dämpning) har tagits fram i syfte att undersöka fördelning av frekvenser samt hur de förändras med avstånd mellan de olika kontaktmikrofonerna. För analysen har en generell metod tagits fram för att få likvärdiga resultat som går att jämföra. I varje frekvensanalys har medelvärdet av ljudintensiteten (dB) för varje frekvens beräknats i tre representativa akustiska emissioner där detta sedan gjorts för varje fil. Anledningen till att undersöka tre olika akustiska emissioner är att minska felmarginaler som kan uppstå i en enskild mätning. Alla mätningarna är tagna ifrån glödbland med ett tidsspann på 1024 noder. Funktioner och beskrivning av frekvensanalysen förklaras mer ingående i tidigare avsnitt 2.5.3 Filtrering av frekvenser tillsammans med Figur 15. För att få fram medelvärdet av ljudintensiteten för de olika frekvenserna har varje fil exporterats till Excel där beräkningarna gjorts. Därefter har graferna för medelvärdet av varje fil (tre olika avstånd) slagits samman till ett diagram för att lättare kunna jämföra hur frekvenserna förändras i förhållande till varandra. I Bilaga 2 – Frekvensberoende dämpning återfinns alla enskilda filer samt medelvärdet för ytterligare jämförelse.

3 Teori

Nedan presenteras resultatet från litteraturstudien.

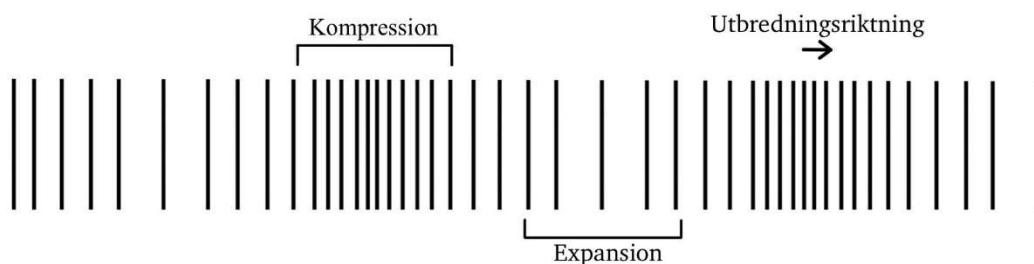
3.1 Vågor och ljud

3.1.1 Inledning

Vågor bildas och tar form på många olika sätt, men beskrivs och delas vanligen in i två kategorier, transversella och longitudinella (Encyclopaedia Britannica (1), u.d.).

Transversella vågor utmärks av att vågrörelsens svängning av är vinkelrät mot vågens utbredningsriktning (Cai, Huang, & Yang, 2020). För att enkelt beskriva detta kan tänkas att ena änden av ett snöre fästs i väggen medan andra änden flyttas upp och ner, den våg som då skapas i den horisontella längdriktningen kan liknas med en transversell våg (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.). Exempel på verkligt förekommande transversella vågor är elektromagnetiska vågor såsom solstrålning och radiovågor (Britannica, Encyclopaedia (3), 2022).

Longitudinella vågor möjliggör ljudets fortplantning och karakteriseras av de mekaniska vibrationerna, som utgör vågen och sker längs vågens utbredningsriktning. Denna typ av längsgående våg kan liknas med en spiralfjäder som komprimeras för att sedan släppas så att komparationen kan röra sig längs fjäderns längd. En ljudvåg består av alternerande kompressioner och extraktioner eller, på ett annat sätt beskrivet, områden med högt respektive lågt tryck (Encyclopaedia Britannica (4), 2022). Förtydligande bild av hur en longitudinell våg transporteras visas i Figur 17. Ljud och vibrationsvågor kännetecknas av att de är direkt beroende av ett medium för att kunna fortplantas. Detta innebär att ljud inte kan existera i perfekt vakuum utan kan enbart transporteras via en gas, vätska, eller ett fast material (Morin). Detta då det är partiklarna i mediet som möjliggör vågen då de elastiska krafterna påverkar närliggande partiklar och svängningsrörelsen fortplantas parallellt i samma riktning. Detta innebär att varje enskild partikel bara rör sig en kort sträcka och energin som den använder sig för att förflytta sig överförs till intilliggande partikel och så vidare (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.). Det är dock viktigt att observera att det är energin från det inledande momentet som fortplantar sig igenom alla partiklar och inte energi från partiklarna själva (Singh, 2016).



Figur 17 Beskrivning av hur en longitudinell våg utbreder sig där kompressionerna är en tryckökning och expansionerna en tryckminskning i det befintliga mediet.

3.1.2 Vågens utseende och egenskaper

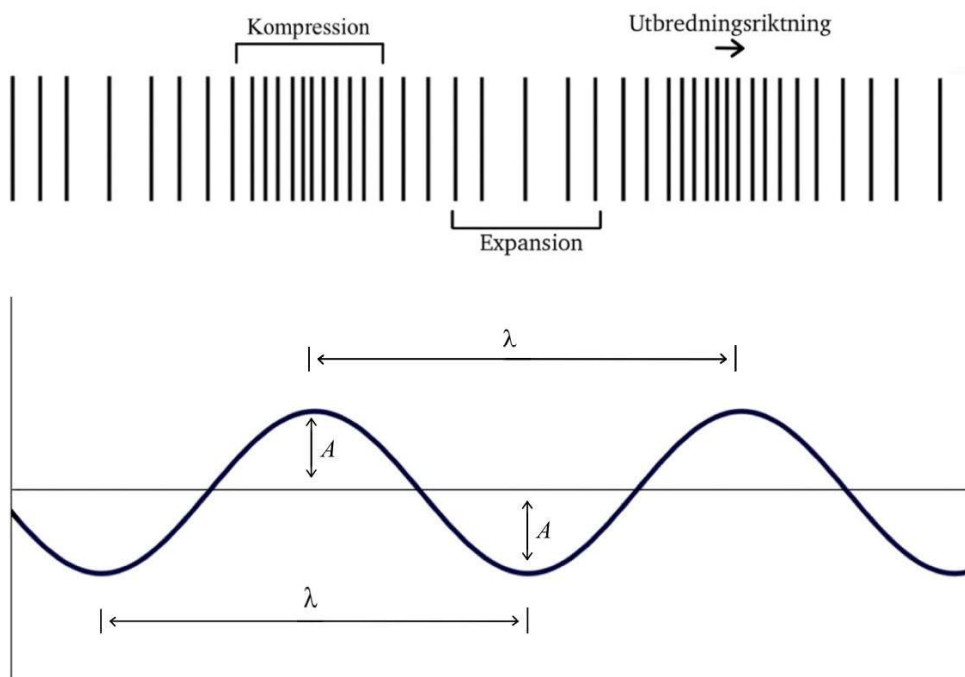
För att enklare kunna avläsa en ljudvåg illustreras den vanligtvis i form av en sinusformad kurva. Denna är baserad på det som förklarades i avsnitt 3.1.1 Inledning ovan där en våg kan beskrivs som alternerande kompressioner och extraktioner. Sambandet mellan dessa

visas i Figur 18. Kompression eller ett högre tryck motsvarar en ökning i amplitud (A) från kurvans jämviktsläge (atmosfärtryck) och en expansion eller ett lägre tryck motsvarar en minskning i amplitud från kurvans jämviktsläge. Amplituden kan ses som ett mått på vågens intensitet (hur högt ljudet uppfattas) och anges normalt i enheterna watt per kvadratmeter, pascal eller newton per kvadratmeter (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.).

Decibel är ett logaritmiskt mått för att mäta ljudnivå och baseras på effekt eller den intensitetsförändring som uppstår i förhållande till ett referensvärde. I Ekvation 1 nedan kan decibel beräknas genom logaritmen av intensiteten (I) dividerat med referensvärdet $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, vilken är det lägsta ljudnivån en människa kan uppfatta. Då decibelskalan är logaritmiskt innebär det att en ökning med 10 decibel motsvarar en ökning av effekten med en faktor tio.

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{Ekvation 1}$$

Vidare är avståndet mellan två toppar eller dalar det som utmärker våglängden (λ), se Figur 18. Den tid det tar för vågen att transporteras en våglängds avstånd kallas periodtid (T) och har ett direkt samband med frekvensen (f) som beskrivs av relationen $f = \frac{1}{T}$. Frekvensen är antalet perioder per sekund och uttrycks i enheten hertz (Hz). Detta innebär att en ljudvåg med hög frekvens har en kort period medan de med låg frekvens har en lång period (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.).



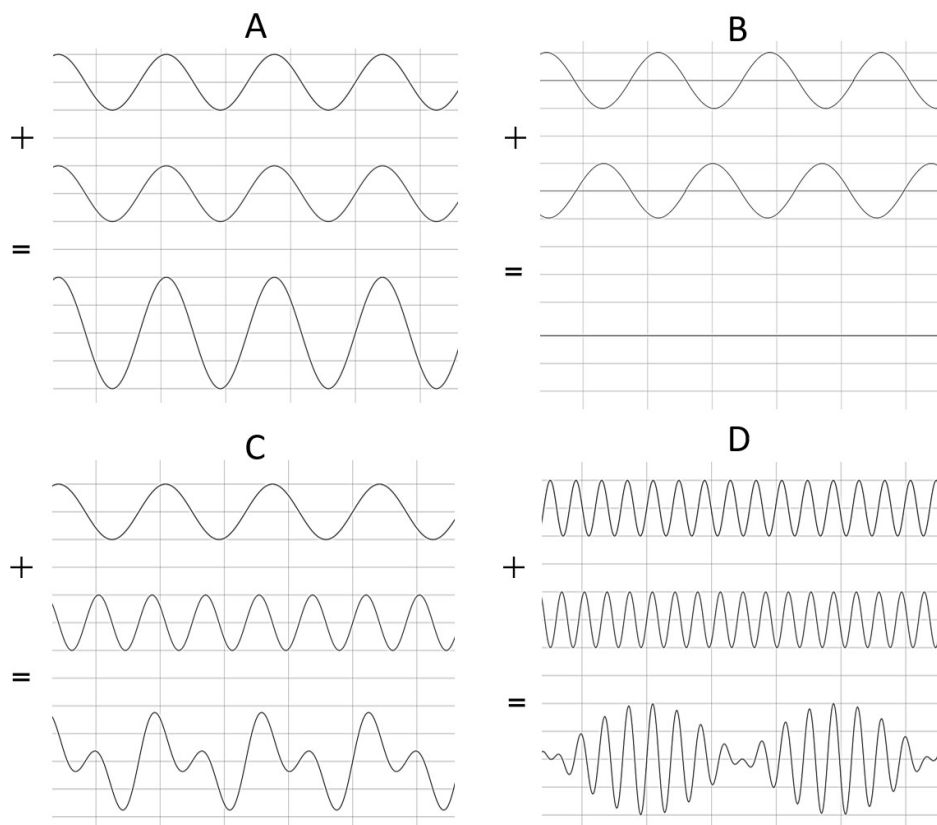
Figur 18 En jämförande figur för två olika beskrivningar av hur en longitudinell våg kan illustreras.

Det som beskrivits hittills är en kontinuerlig våg med en och samma frekvens vilket är ett ideal fall. I verkligheten koexisterar många olika typer av vågor i samma rymd där dessa har egenskaperna att interferera med varandra. Beroende på vågornas utformning kan den summerade intensiteten både öka och försvagas. Flera olika typer av fenomen kan

uppstå men där det finns fyra distinkta vågkaraktärer som är vanligast (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.).

Positiv och negativ interferens sker när två identiska vågor med samma frekvens går samman och bildar en våg. Positiv interferens inträffar när det inte finns någon fasskillnad mellan vågorna där den resulterande vågens intensitet blir fördubblad, se (A) i Figur 19. En negativ interferens är när två identiska vågor med samma frekvens summeras men där fasskillnaden är en multipel av π . Utfallet blir då att de två vågorna tar ut varandra och slutar existera, se (B). Det är på detta vis som ljudreducerade hörlurar fungerar (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.).

När vågor med olika frekvenser fasrelationer adderas uppstår mer komplexa vågtyper, se exempel (C). "Beats" är ett annat fenomen som uppstår när två vågor med något olika frekvenser men samma amplitud slås samman. Resultatet blir en våg där amplitudskillnaden på ett rytmiskt sätt ökar för att sedan återgå till jämnviktsläget och sedan öka igen, se (D) (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.).



Figur 19 Olika vågfenomen som kan uppstå när vågor interfererar med varandra.

3.1.3 Ljud i olika material

För longitudinella vågor, som ljud, varierar hastigheten beroende på materialet eller det medium som vågen transporteras igenom. Detta grundar sig i de olika egenskaper som återfinns i olika medium, som är beroende av två faktorer, densiteten och de elastiska egenskaperna (Kumar, 2001). För fasta homogena material, baseras de elastiska egenskaperna vanligtvis på Youngs modul, Poissons tal och Bulkmodulen. Där Youngs

modul beskriver förhållandet mellan spänning och töjning längs en axel eller linje. Vidare är Poissons kvot ett mått på den deformation som sker i den vinkelräta riktningen i förhållande till den specifika belastningsriktningen (Iowa State University, u.d.). Slutligen kan Bulkmodulen beskrivas som ett mått på olika materials benägenhet att behålla sin form och inte deformeras när en kraft appliceras (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.). Stål deformeras mindre under tryck än exempelvis gummi och har därmed en större hastighet. Detta kan på partikelnivå kännetecknas av att ett stelt material såsom stål har starka attraktionskraften mellan molekylerna (Iowa State University, u.d.).

Vidare kan ljudets hastighet beskrivas av förhållandet mellan elasticitet och densitet där en ökad densitet resulterar i en lägre hastighet och ökade elastiska egenskaper medför en större hastighet. Observera att ljudets hastighet är störst i fasta material och är lägst i gaser, vilket kan verka kontrainuitivt då ett fast material har högre densitet än en gas. Anledningen till detta är den avsevärt mindre elasticiteten (högre elasticitetmodul) som återfinns i fasta material jämfört med gaser och därmed den högre hastigheten. Notera även att hastigheten i gaser och vätskor varierar med temperaturen (Encyclopaedia Britannica (2), u.d.). Då denna rapport avgränsas till att enbart beröra fasta material kommer ljud i gas och vätskor inte behandlas vidare.

I denna rapport ligger fokus på på hur ljud transporteras i trä. Trä är ett material med vissa specifika egenskaper som inte återfinns i andra vanliga byggnadsmaterial. Detta beror på att trä är ett biologiskt material med anisotropiska egenskaper, vilket innebär att trä har olika fysikaliska egenskaper i olika riktningar. Makrostrukturen för massivt trä definieras av den koncentrisk ringstrukturen som beror av den ojämna tillväxthastigheten under ett år. I normalt tillstånd är de ihåliga cellerna mättade med bundet vatten men torkar ur och får en lägre fuktkvot när det ska användas i strukturella applikationer (Grosse & Ohtsu, 2008).

För att möta de varierande strukturella kraven som beror av trädets livstid, omvandlas cellulosan till mikrofibriller när trädets växer. Dessa utgör grunden för cellväggen och har normalt en relativt vågrät orientering i trädets längdriktning, med undantag av de tidigaste årsringarna där mikrofibrillernas vinkel är större. Detta resulterar i att styrkan, styvheten och därmed även de elastiska egenskaperna normalt är störst i den längsgående riktningen (Henningsson, 2012). Enligt tidigare resonemang konstaterades det att större elastiska egenskaper medför högre hastighet, varför ljudvågshastigheten längs längdriktningen är större än i radiell eller tangentiell riktning. Materialegenskaper varierar mellan olika sorters trä och därmed ljudhastigheten men har generellt sett hastigheter inom storleksordningen 4000 till 6000 meter per sekund i längdriktningen och 1000 till 2000 meter per sekund i radiell eller tangentiell riktning. Eftersom radiell styvhet och elasticitet är högre än den tangentiella är de radiella hastigheterna i allmänhet cirka 50 procent högre (Grosse & Ohtsu, 2008). Då trä som tidigare nämnt är ett biologiskt, växande material förekommer naturliga variationer i materialet som kan ge upphov till störningar. Exempel på detta, som kan ses som defekter i byggnadsmaterial, är kvistar, snedfibrihet och sprickor vilka alla påverkar hur ljudet rör sig i materialet (Daerga, 2001).

3.1.4 Ljudvågors avtagande med avstånd

Ljudets avtagande intensitet beror i grunden på två faktorer, absorption i mediet samt minskning i intensitet då vågen breder ut sig cirkulärt eller sfäriskt (Kumar, 2001).

För fasta material beror dämpning av intensiteten på att en del av den energin som fortplantar sig genom ett medium absorberas då inre friktion omvandlar en del av energin till värme. Förlust är liten för fasta material och vätskor i jämförelse med gaser, vilket gör att ljud kan fortplanta sig längre sträckor i dessa medier. Absorption varierar kraftigt mellan olika material och beskrivs av absorptionskoefficienten. Ytterligare en faktor som har stor betydelse för hur stor dämpningen blir av absorptionen är frekvensen. Ökad frekvens ger en större dämpning, medan för låga frekvenser är dämpningen försumbar. Detta kan göra det svårt för exempelvis ultraljudsvågor, som har en hög frekvens, att transporteras genom ett medium en längre sträcka (Kumar, 2001).

Den andra typen av ljudminskning beror på att ljudet rör sig cirkulärt eller sfäriskt, även kallad inversa kvadratlagen. Detta kan förklaras med en cirkulär vågfront (som när en vattendroppe landar på en vattenyta) som expanderar utåt, vilket gör att den ursprungliga energin fördelas över en större yta. Intensiteten (energin per längdenhet) kommer därför att minska i ett omvänt förhållande med cirkelns växande radie. Samma gäller när en sfärisk vågfront expanderar men där intensiteten istället minskar med sfärens yta, vilket motsvarar det omvända förhållandet till kvadraten av radien (Kumar, 2001).

3.1.5 Akustiska emissioner i material

Vid en brand genereras ljud som kan delas in i två karakteristiska kategorier. Den första typen av ljud som uppstår vid brand är turbulensen som kommer från själva flammen. Den andra kategorin består av det ljud som kommer från spänningar i materialet när det utsätts för temperaturskillnader i samband med brand eller upphettning, även kallat akustiska emissioner (Grosshandler & Jacksson, 1993).

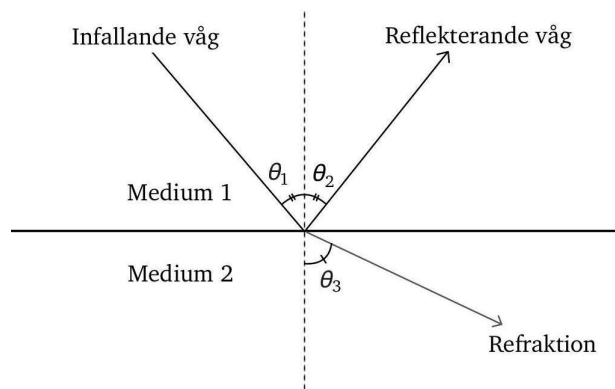
Ljudet som genereras i flammen vid en brand uppstår från virvelstrukturer och inblandning av luft som ger upphov till den pulserande flammen. Genom experiment visar det sig att denna pulsation eller det lågfrekventa ljud som skapas uppskattas vara omvänt proportionerligt mot ett båls omkrets. Frekvensen från flammen är generellt sätt väldigt låg och har i experiment visat sig variera mellan 1 och 10 hertz för bål med diametrar på 0.02 till 2 meter (Grosshandler & Jacksson, 1993)

Akustiska emissioner (AE) uppstår när ett material genomgår en irreversibel förändring i sin inre struktur, vilket kan vara resultatet av exempelvis en sprickbildning eller temperaturförändring. Det behöver nödvändigtvis inte vara konsekvensen av en brand utan kan även förekomma av andra yttre mekaniska krafter eller små temperaturskillnader i luften. Akustiska emissioner används bland annat vid broar för att detektera avvikande belastningar eller förändringar (Nair & Cai, 2010). I detta arbete har det undersökts hur akustiska emissioner i trä uppstår i samband med temperaturförändringar. Vid brand uppstår spänningar när det sker termisk expansion vilka succesivt ökar fram tills att en avlastning sker genom att en spricka bildas och därmed en akustisk emission. Det ljud som kan uppfattas som knäppningar som uppstår till följd av en akustisk emission i trä är ett kortvarigt ljud med en viss amplitud och

frekvens upp till 500 kHz beroende på material och förhållande. Antalet akustiska emissioner per tidsenhet varierar med material och den tillförda värmen men är generellt högre för ett mer inhomogent material såsom trä (Grosshandler & Braun).

3.1.6 Refraktion och reflektion

När en ljudvåg transporteras från ett medium till ett annat genomgår vågen vissa förändringar. En del av vågen kommer att passera mediet (refraktion) och återstående delen reflekteras. Den infallande vågen som reflekteras mot det horisontella planet i Figur 20 har samma vinkel ($\theta_1 = \theta_2$) i förhållande till den vinkelräta, streckade linjen. Vinkel av den reflekterande vågen skiljer sig dock från infallande vågen och beror enligt Snells lag på förhållandet mellan brytningsindexen mellan medierna. Hur stor andel av ljudet som reflekteras respektive refrakteras varierar mellan olika material men generellt sätt reflekterar ett porösare material (lägre densitet) mindre andel av ljudet (Jongho & Kang, 2022).



Figur 20 Visar hur vågor beter sig när de passerat medier.

3.2 Antändning och spridning

Johansson (2015) har gjort en fallstudie för att definiera begreppet "konstruktionsbrand", ett vanligt förekommande begrepp som tidigare varit diffust. I fallstudien har intervjuer gjorts och tidigare bränder studerats och ett resultat från båda delarna sammanställts.

För att närma sig begreppet "konstruktionsbrand" har först "rumsbrand" definierats och utifrån vad som inte karaktäriseras av en rumsbrand har begreppen "dolda bränder" och "bränder i byggnadsmaterial" tagits fram. Med dolda bränder avses bränder i svåråtkomliga och mindre utrymmen medan bränder i byggnadsmaterial är bränder i byggnadens ytskikt, både in- och utvändigt (Johansson, 2015). Vidare har en uppdelning på byggnadsmaterial gjorts för utvändiga och invändiga material, där brandförloppet i invändiga byggnadsmaterial kan likställas med en rumsbrand medan utvändiga byggnadsmaterial (tak och fasad) har ett brandförlopp som skiljer sig från rumsbranden. Motiveringen till uppdelningen är enligt Johansson (2015) att yttre förhållanden och fri tillgång till syre påverkar brandförloppet i utvändigt byggnadsmaterial. I och med att brandförloppen är olika för de olika fallen bör de således skiljas åt.

I dolda bränder finns ofta ett underskott av syre då mängden luft i utrymmet är begränsad, vilket i sin tur leder till att bränderna blir ventilationskontrollerade. Att en brand är

ventilationskontrollerad innebär generellt att brandförloppet är långsammare och därmed är skadeförloppet på byggnaden långsammare. När mer syre tillförs tillväxer branden snabbare. Ökad syretillförsel kan exempelvis ske om konstruktionen försvagas och går till brott eller när räddningstjänsten skapar en öppning för att försöka lokalisera eller komma åt branden. För att undvika syretillförsel till branden kan räddningstjänsten använda sig av exempelvis skärsläckare eller dimspik (Johansson, 2015). Med båda metoderna görs ett mindre hål i konstruktionen och används som angreppspunkt (Vylund & Palmkvist, 2018) vilket gör att begränsad mängd syre tillförs.

Slutsatsen från Johanssons (2015) rapport är att uttrycket konstruktionsbränder omfattas av bränder i byggnadskonstruktion (så som luftspalter och vindar) som är svåråtkomliga, underventilerade och generellt har ett långsammare brandförlopp än en rumsbrand.

Svensson (2020) definierar konstruktionsbrand på motsvarande sätt; brand i ett utrymme som normalt inte används, likt dolda eller svårtillgängliga utrymmen. Enligt Svenssons (2020) definition omfattar dock även hålrum som uppkommit till följd av brand, brand i skadedjursorsakade hål till konstruktionsbränder och schakt. I rapporten kan också läsas att det ofta finns brännbara ytor i dessa utrymmen, och att de brännbara ytorna kan vara både installationer och byggnadsmaterial. Vidare nämns att utvändiga och invändiga konstruktionsbränder går att skilja på och största skillnaden är att utvändiga konstruktionsbränder inte nödvändigtvis är dolda, vilket invändiga är, men fortfarande svårtillgängliga.

Vylund och Palmkvist (2018) har skrivit en rapport, "Taktik och metodik för släckning av höga trähus", där de fokuserar på kavitetsbränder. Kavitet är någon form av hålrum, och i rapporten definierats kavitetsbränder som "konstruktionsbränder i hålrum". Vidare används Johansson (2015) definition (som presenterats ovan) för konstruktionsbränder i rapporten.

För invändiga konstruktioner är avståndet mellan ytorna också litet i förhållande till volymen vilket kan bidra till brandspridning vid syretillförsel (Svensson, 2020). Detta leder till att det tenderar att bli omfattande skador på byggnader där kavitetsbränder inte kan begränsas utan sprider sig till större delar av konstruktionen (Vylund & Palmkvist, 2018). För att minimera risken för omfattade kavitetsbränder krävs ett bra byggnadstekniskt brandskydd som förhindrar både uppkomst och spridning mellan olika delar av byggnaden. Dock går det inte att undgå att felkonstruktioner finns i befintliga byggnader och sannolikt kan komma att ske vid uppförande eller ombyggnationer även i framtiden (Vylund & Palmkvist, 2018). I och med detta går det inte att ta förgivet att en byggnads byggnadstekniska brandskydd alltid fungerar felfritt och därför är det viktigt att det också finns möjlighet till effektiva räddningsinsatser för att minimera och begränsa skador från bränder (Johansson, 2015).

3.3 Dagens detektions- och släckmetoder

För att kunna genomföra en räddningsinsats effektivt behöver branden både identifieras och lokaliseras samt byggnadsegenskaper identifieras. För inhämtande av kunskap kring byggnaden finns flera metoder, alla med olika för- och nackdelar. Vylund och Palmkvist (2018) lyfter kunskap om vanliga byggmetoder under olika tidsperioder, tillgång till ritningar över den brinnande byggnaden, att skapa en öppning och på så vis visuellt göra en bedömning samt att använda sig av IR-teknik för att få indikationer utifrån värmeutsläpp från byggnaden.

Fördelar med kunskap om hur byggnader uppförts under olika tidsperioder kan ge en indikation om byggnadsmaterial och utformning som underlättar vid räddningsinsats. Det kan användas exempelvis för att bestämma släckmetod som är lämpligast vid insats samt för att möjliggöra att jobba förebyggande vid densamma. Nackdelar är att trots kunskap kring konstruktioner finns risker för avvikelser och felbyggen samt att konstruktionen kan vara ändrad vid renoveringar. Detsamma gäller ritningar, trots att tillgång till dessa skulle kunna ge viktig information finns osäkerhet i form av att dessa behöver vara uppdaterade samt att avvikelser och felbyggnation kan förekomma. Som sista alternativ nämns att öppna upp konstruktionen genom att göra ett hål och på så sätt kunna identifiera konstruktion och material, dock skadar detta byggnaden (Vylund & Palmkvist, 2018).

När tekniken utvecklas ger det räddningstjänsten möjlighet att utveckla de metoder som används vid släckinsatser för att göra dem så säkra och effektiva som möjligt. En teknik som har kommit att utvecklas och användas frekvent är värmekameran (Ingason & Kumm, 2019). IR-teknik ge indikationer på hur en byggnad är uppförd (Vylund & Palmkvist, 2018) men kan också användas invändigt vid rökdykning. Det finns olika avancerade värmekameror där värmekamerorna bäst lämpade för rökdykning är av enklare modell och de som kan användas för att utifrån skanna konstruktionen och eventuell brand är mer avancerade (Ingason & Kumm, 2019).

Med hjälp av IR-teknik kan indikatorer om byggnaden ges genom att undersöka hur mycket värme som strålar ut från byggnaden och vart. Äldre hus är ofta sämre isolerade vilket ses i form av mer värmestrålning från byggnaden medan nyare hus har bättre isolering och mindre värmeförluster. I nyare hus kan exempelvis cellplast användas som isolering (Vylund & Palmkvist, 2018), vilket kan vara värdefullt att veta vid en insats. Värmekameror tillsammans med räddningstjänstens kompetens kring brandspridning används för att försöka förutse vilka eventuella scenarier som kan komma att bli utfall vid en brand, vilket i sin tur kan användas för att motarbeta branden. Ingason och Kumm (2019) nämner att det finns önskemål om vidareutveckling av teknologi, exempelvis genom drönare med värmekameror som möjliggör undersökningar på högre höjder samt i mer komplexa byggnader. Nackdelen med värmekameror är att temperaturen avläses på ytan av byggnaden och att olika material har olika värmetröghet. Av samma anledning går det inte att säga om eller hur mycket en brand spridit sig i konstruktionen i och med föreliggande tidsfördröjning. Branden kan vara mer omfattande än vad värmekameran visar, men det fungera bra som vägledning (Vylund & Palmkvist, 2018).

För att skanna en byggnad och inhämta så mycket information kring situationen som möjligt finns olika tillvägagångsätt. Vanligt är att använda sig av tre olika principer, att

skanna som en "ram" runt byggnaden, att skanna ett "kryss" över byggnaden och att "pensla" över byggnaden från vänster till höger i olika nivåer. Med hjälp av "ramen" ges information om konstruktion, storlek på byggnaden och liknande, "krysset" identifierar ventilationsöppningar, dörrar och fönster. "Penslingen" ger mer detaljerad information kring bygganden, exempelvis svagheter i konstruktionen som kan möjliggöra syretillförsel till en brand, som skorstenar och olika typer av ventilation (Vylund & Palmkvist, 2018). Från de nämnda svaga punkterna i konstruktionen går ofta att utläsa temperaturförändringar tidigt i ett brandförlopp.

Vylund och Palmkvist (2018) tar också upp metoder som att känna efter om det är varmt på ytan och att identifiera vart brandröken kommer ifrån precis som att borra ett hål i byggnaden och se om det kommer rök. Problem som lyfts i samband med metoderna är att konstruktionsbränder kan spridas utan yttre tecken och att brandrök kan transporteras långt i kaviteter och inte alls behöver vara nära det brandutsatta området.

För detektering och släckning av konstruktionsbränder finns olika metoder att använda sig av och vilken metod som används beror av bland annat tillgänglighet, utrustning och kunskap. Olika räddningstjänster kan använda sig av olika metoder beroende av olika erfarenhet och tillgänglig utrustning (Andersson, o.a., 2015).

En metod som länge använts och fortfarande är aktuell vid konstruktionsbränder är att öppna upp konstruktionen för att detektera branden och genomföra släckningsarbetet. De branddrabbade delarna rivs bort från konstruktionen och de delar som inte går att riva släcks med släckmedel (Vylund & Palmkvist, 2018). Svensson (2020) lyfter i sin rapport "Brandgasventilation" att öppna upp en konstruktion är främst för att komma åt och släcka en brand, inte för att ventilera bort brandgaser som är ett vanligt förfarande vid vissa andra brandtillbud. Det finns flera svårigheter med denna metod, en av dem är som tidigare nämnt att det finns en transporttid för värmen i byggmaterialen och att tiden varierar beroende av material. Detta gör det svårt att veta vilka delar i konstruktionen som faktiskt är brandutsatta innan öppning trots användning av IR-utrustning. En annan viktig aspekt att ta hänsyn till är syretillförseln till branden när konstruktionen öppnas. När syre tillförs branden kan den flamma upp och tillväxa snabbt, lika så kan brandgaserna spridas långa avstånd om ventilationsförhållandena ändras (Vylund & Palmkvist, 2018).

Svensson (2020) lyfter vikten av att beakta särskild försiktighet vid all öppning av konstruktionen vid konstruktionsbränder och vikten av tillgång till släckmedel, även om åtgärden ofta är nödvändig för att detektera eller komma åt branden. Håltagning, eller rivning, kan också ske för att avskilja delar av en byggnad från varandra och på så sätt stoppa spridningen och branden från en del av byggnaden. Svårigheter med detta är att det ofta tar lång tid att komma igenom en konstruktion vilket behöver beaktas (Svensson, 2020).

I stället för att öppna upp och riva stora delar av konstruktionen kan instrument som dimspik eller skärsläckare användas (Johansson, 2015). Med båda metoderna görs ett mindre hål i konstruktionen och används som angreppspunkt. För att minimera risken för omfattande vattenskador rekommenderas att jobba med korta pulsationer vid användande av både dimspik och skärsläckare (Vylund & Palmkvist, 2018). Lika så ska

effekten från insatsen regelbundet kontrolleras med hjälp av exempelvis värmekamera och när branden tros vara släckt behöver brandområdet generellt sätt friläggas för att säkerställa att så är fallet.

Begränsningar och risker med nuvarande detektions- och släckmetoder visar på att det finns behov av ytterligare metoder för att detektera och lokalisera bränder. Här skulle till exempel ljudupptagning kunna användas om tekniken fanns tillgänglig.

4 Resultat

4.1 Intervju

Under följande avsnitt presenteras en sammanställning av de svar som erhöles under intervjuerna vilka presenteras i en löpande text. Tre intervjuer har utförts med personer som arbetat som yttre befäl eller brandman på räddningstjänsten Syd eller Landskrona.

Inledningsvis konstaterades det att begreppet kavitetsbrand som tidigare använts frekvent i litteraturundersökningen inte nyttjas. Istället används begreppet konstruktionsbränder vilket är en bredare definition som omfattar fler typer av bränder än enbart kavitetsbränder. I samtliga intervjuer fanns en entydighet kring den problematik som uppstår i samband med konstruktionsbränder. Det är en tidskrävande insats som är svårhanterad och där konsekvenserna kan bli omfattande.

Uppkomsten av konstruktionsbrand beskrevs utav en respondent som en följd av två olika scenarion. Den första typen omfattas av ett hastigt brandförlopp, där det finns osäkerheter om branden tagit sig i konstruktionen vilket gör att man vill undersöka detta vidare. Den andra typen är ett brandförlopp där det tidigare inträffat en övertändning och en plan för avslut görs där bevakning sätts upp. Anledning till detta grundar sig i den långvariga brand som pågått vilket gör att räddningstjänsten inte kan utesluta att det inte tagit sig i konstruktionen också.

Metoderna som tillämpas inom räddningstjänsten för att identifiera och lokalisera konstruktionsbränder är förhållandevis lika. Vid misstankar om brand i konstruktion använder räddningstjänsten delvis värmekameror (IR-kameror) för att identifiera partier med avvikande temperaturer. Den värmetröghet som återfinns i främst tjocka och välisolerade väggar medför en problematik menade en av representanterna då det kan ta upp till en timme innan värmesignaturer kan observeras. Detektering av glödbränder med IR-kamera medför ytterligare svårighet då denna uppvisar lägre temperaturer och därmed tar längre tid till dess att värmesignatur kan upptäckas. En annan problematik med värmekameror är att dessa blir svårare använda efter att en övertändning inträffat då alla temperaturer i brandrummet är förhöjda och det blir svårt att urskilja onormalt höga temperaturer specifikt i konstruktionen då alla temperaturer i rummet är förhöjda. En annan vanligt förekommande metod som alla intervjuade deltagare använde sig av, är friläggning. Med detta menas att räddningspersonal öppnar upp exempelvis väggar och letar efter friskt material som är opåverkat av branden. Genom att frilägga dolda utrymmen kan omfattande skador uppstå och konstruktionen kan förstöras mer än nödvändigt jämfört med om brandens position hade varit väl känd. Vid friläggning öppnas konstruktionen upp och tillsätter även syre till en tidigare trolig syrefattig brand vilket helt kan ändra förhållandet för brandens spridning. Den sista metoden som en av de intervjuade tog upp i samband med identifiering av dolda bränder är att fysiskt känna på konstruktionen och på så sätt urskilja förhöjda temperaturer.

I två av de tre intervjuerna betonades vikten av att göra ett bra eftersläckningsarbete då det åtskilliga gånger inträffat att brand återupptagit efter att räddningstjänsten lämnat platsen. För att undvika denna typ av händelse kan räddningstjänsten sätta efterbevakning på platsen vilken kan ske i olika former. Den första typen av bevakning går till genom att lämna kvar personal på plats så att en insats snabbt kan fortsätta vid

behov. Hur länge styrkorna kan lämnas kvar blir dock en avvägning mellan vart resurserna behövs mest och vart de gör mest samhällsnytta samt en kostnadsfråga. Alternativt kan ansvaret lämnas över till exempelvis försäkringsbolag för övervakning förklarar en av respondenterna. Det andra alternativet som antingen används eller som undersökts av räddningstjänsten är fjärrbevakningslösning vilken är en teknisk modell som gör samma jobb som en stationerad person på plats. Fjärbevakningslösningen lämnas kvar på plats och kan genom rökdetektorer, IR-kameror samt kameror användas för att detektera brandsignaturer. Bevakning av personal kan alltså ske från annan plats.

Fortsättningsvis undersöktes respondenternas syn på hur ljud kan användas inom ramarna för räddningstjänstens arbete men också ljud som detektering inom andra områden. Intervjuade personer som tidigare nämnde fjärbevakning ansåg även att ljud skulle kunna användas som komplement till de andra detekteringsätten.

För att ljud som detektering ska kunna användas i en aktiv insats för att identifiera och lokalisera bränder ansågs det vara väsentligt med ett väldigt enkelt handhavande. En annan respondent menade på att det måste vara smidigt och snabbt gå att avgöra huruvida en brand finns närvarande eller inte för att metoden ska vara tillämpbar. Den fysiska produkten bör inte heller vara större än en värmekamera i storlek för att den ska vara praktisk.

Gällande andra användningsområden där ljud kan användas som ett stationärt detektionssystem var inställningen från de intervjuade relativt positiv givet att metoden fungerar. En av de deltagande såg metoden användbar inom exempelvis högriskbyggnader för att få en tidig indikering på brand. Däremot fanns en del kritiska tankar kring hur bakgrundsljud, isolering och olika material skulle påverka det slutliga resultatet och metodens tillförlitlighet.

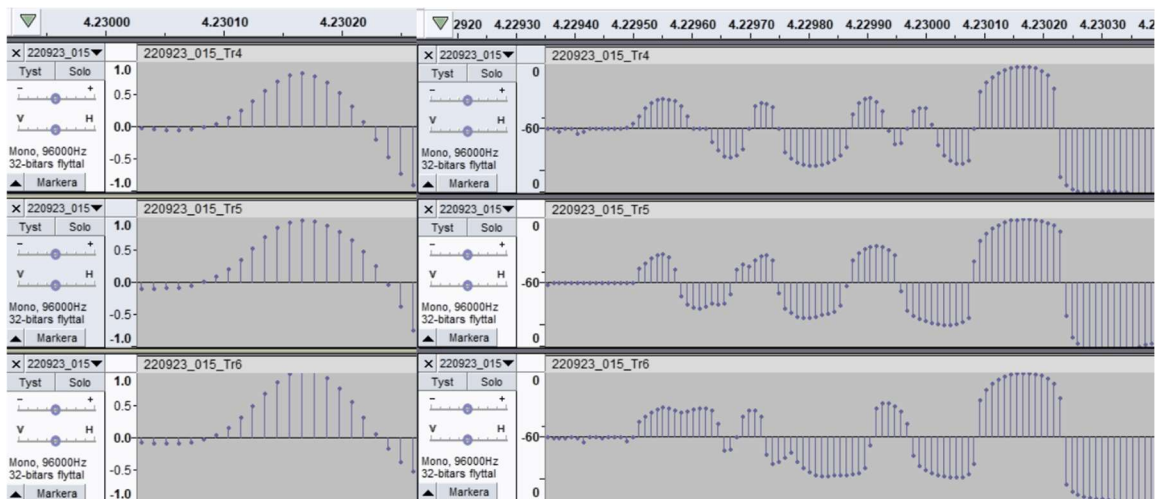
4.2 Experiment

Från samtliga experiment har separata ljudfiler från respektive använd kontaktmikrofon sparats, dessa har använts för samtliga analyser.

4.2.1 Inledande experiment

Olika slagföremål har använts på träreglen för att se vilket som resulterar i tydligast vågform i ljudfilerna. Från jämförelse har framkommit att av de slagföremål som använts var en vanlig skruv det objekt som gav tydligast vågform varför denna använts för resterande experiment.

Resultatet från initiala kontrollexperiment visar att tillgängliga mikrofoner är tillräckligt känsliga för experimenten samt att de registrerar ljud lika snabbt när de är fästa på samma avstånd från ljudkällan i linjär skala. Senare under arbets gång har samma ljudfil analyserats med decibelskala vilken också har bekräftat att ljudet registreras samtidigt för alla kontaktmikrofoner, se Figur 21. Vidare undersöktes hur resultatet påverkades av att en kontaktmikrofon satt löst, från detta kan ses att ljudvågen fortfarande går att urskilja men att amplituden blev märkbart lägre.



Figur 21 Jämförelse av ljudfiler från när mikrofonerna var placerade på samma avstånd från ljudkällan. Den vänstra bilden visar ljudet i linjär skala och den högra bilden visar ljudet i dB.

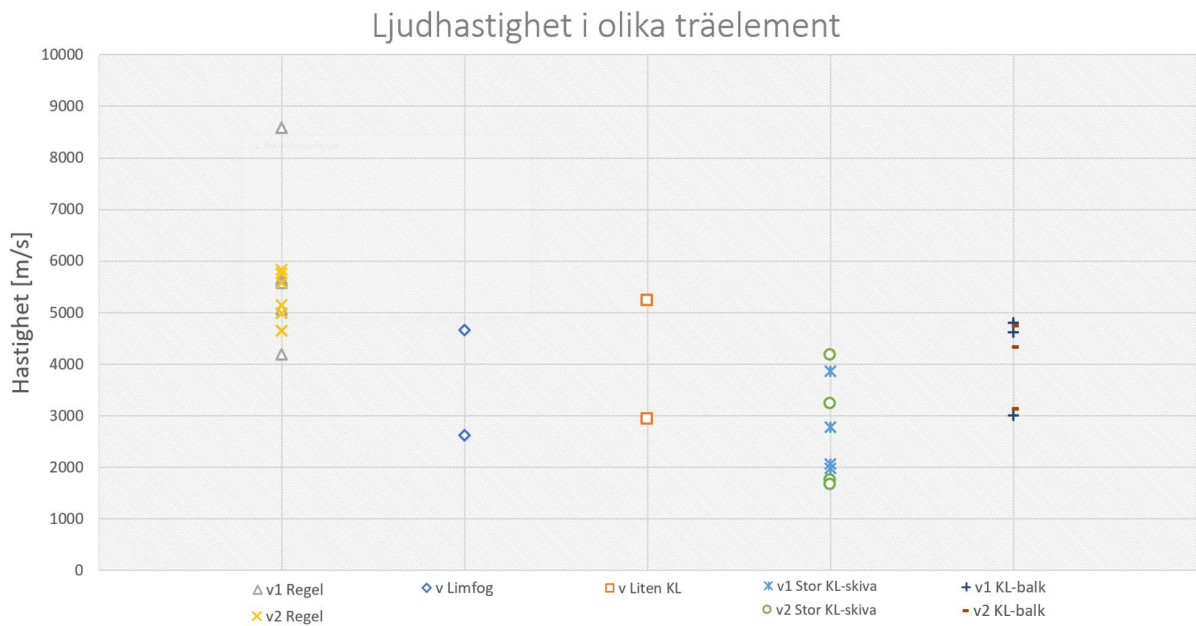
Vidare kunde bekräftas att vilken sida om mikrofonerna ljudkällan var på var möjlig att urskiljas på ett avstånd av fem centimeter med hjälp av att kolla förskjutning mellan respektive kontaktmikrofoners ljudfil i linjär skala. Senare kom dock att visa sig att vid analys av ljudfilerna i decibelskala var det otydligare att avläsa förskjutningen och i vissa fall saknades förskjutning helt.

Vid försök att identifiera ljudriktning med hjälp av uppställning av tre kontaktmikrofoner i en liksidig triangel kunde konstateras att detta var möjligt. Initalt testades endast en ungefärlig position på slaget med skruven i förhållande till mikrofonerna, trots detta var det möjligt att urskilja ungefärlig riktning genom att se vilken ordningen respektive ljudfil registrerade ljudet. Detta testades på limfogs-kiva och KL-trä och möjliggjorde för fortsatta mer komplexa experiment med samma metod som presenteras under avsnitt 4.2.3 Triangulering.

4.2.2 Linjär placering av kontaktmikrofoner

4.2.2.1 Hastighet för olika trärelement

För att få en uppfattning om hur ljudet beter sig i olika träslag undersöktes hur hastigheten varierade genom att analysera data från insamlade filer och sammanställa i ett diagram, se Figur 22. Hastigheten mellan mikrofon ett och två (v1) respektive mellan två och tre (v2) beräknades separat och presenteras därför separat i figuren. Framtagna hastigheter är medelvärden för respektive mikrofonpar och trärelement som använts. För limfogs-kivan har hastighet i både fiberriktning och tangentiell/radiell riktning mätts, men endast resultat för fiberriktningen kunnat avläsas varför endast denna presenteras. I limfogs-kivan och den lilla KL-skivan har endast två mikrofoner använts varför dessa endast presenteras med en hastighet.



Figur 22 Jämförelse av hastighet för olika träelement

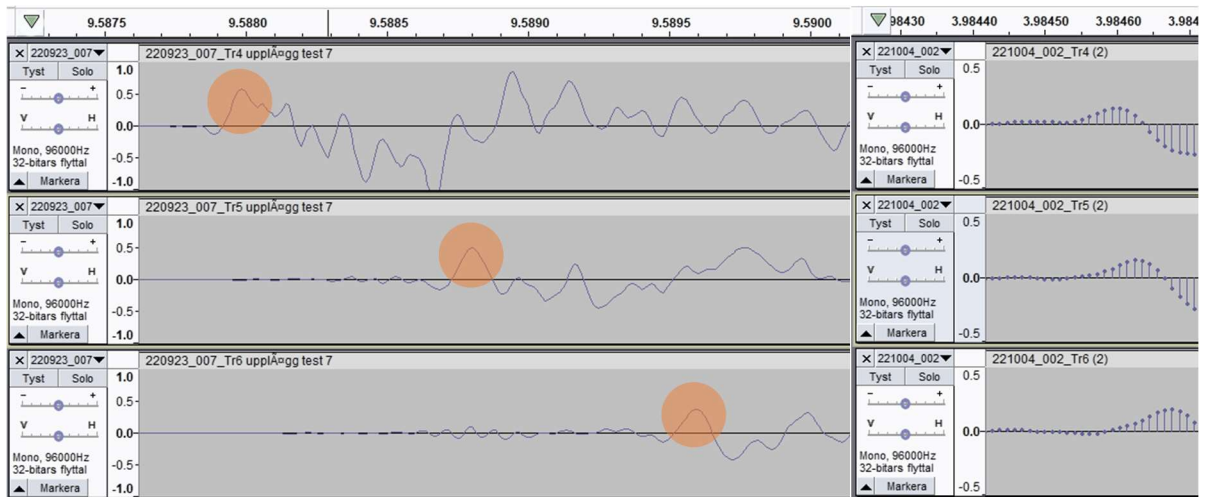
Från Figur 22 kan det avläsas att ljudhastigheten är högst i regeln och lägre i limfogskivan och KL-trä. Det finns ingen märkbar skillnad i hastighet mellan v1 och v2 vilket tyder på att ljudhastigheten är konstant med ökat avstånd. Hastighetsspansen för respektive träelement överensstämmer generellt med de teoretiska hastigheterna (4000 – 6000 meter per sekund i längdriktningen och 1000 – 2000 meter per sekund radiellt eller tangentiellt) Eftersom ljudet transporteras både i längdriktningen på träet men också radiellt/tangentiellt för KL-trä borde den teoretiska hastigheten vara medelvärdet av dessa, dvs 2500 – 4000 meter per sekund.

För reglarna har olika upplägg använts där hastigheterna för upphängd träregel och träregel på skumgummi uppvisat liknande hastigheter. Inga hastigheter har kunnat tas fram för fasttvingad träregel på trästöd samt träregel på trästöd på grund av otydliga resultat. Detta kan bero på det korta avstånd (0,05 meter) som använts mellan kontaktmikrofonerna i dessa försök.

4.2.2.2 Riktning med mikrofoner på rad

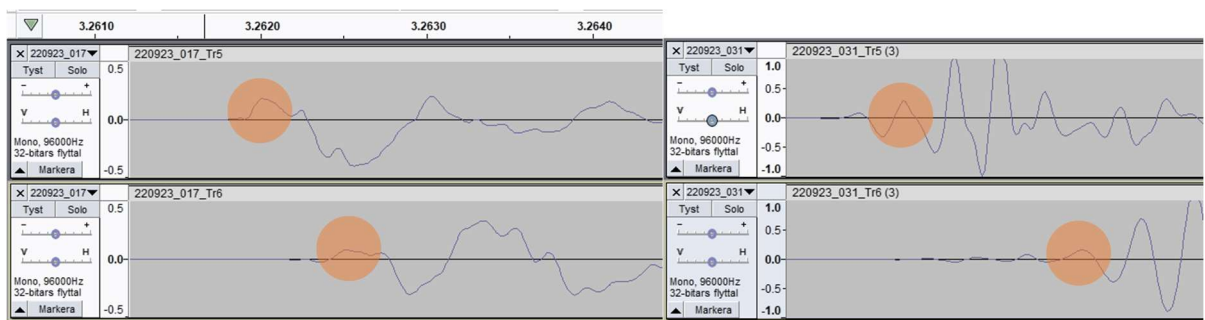
Inledningsvis har undersökts om det går att urskilja vilken riktning ljudet kommer ifrån i olika enkla träelement utan förbränning. Ljudfiler från samtliga experiment har granskats men endast de tydligaste har undersökts vidare, vilka presenteras nedan.

I Figur 23 redovisas slag med skruv på träregel med 0,05 och 1,00 meters avstånd mellan kontaktmikrofonerna. Det kan avläsas från ljudfilerna att ett längre avstånd mellan mikrofonerna medför en större tidsskillnad jämfört med ett kortare avstånd. Den första vågperioden blir dock mindre tydlig vid ett större avstånd och vid 0,05 meter mellan mikrofonerna blir vågutseendet mellan filerna nästan identiska. Slutligen kan konstateras att amplitudskillnad ökar med ökat avstånd där kontaktmikrofonen närmas ljudkällan har högst ljudintensitet. I båda försöken (E7D1 och E2D2) är det möjligt att identifiera riktning.



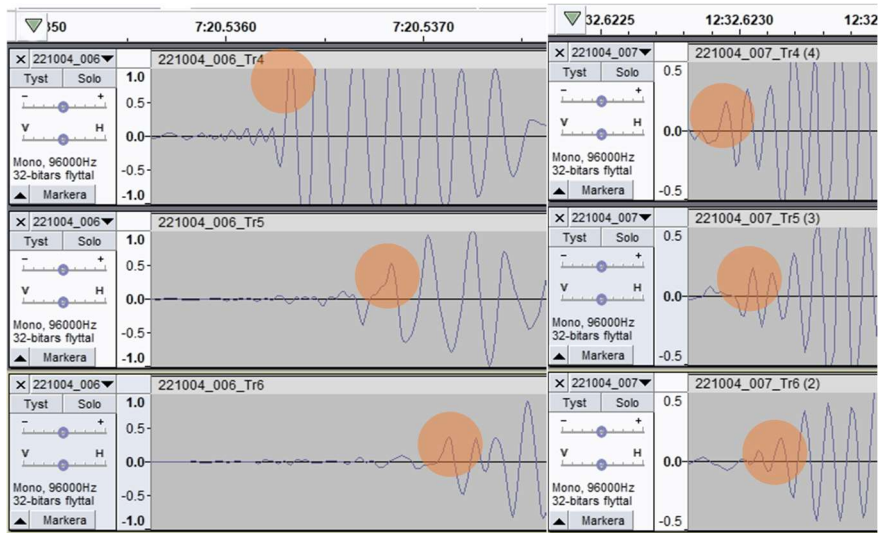
Figur 23 Till vänster presenteras E7D1 (slag med skruv för regel med 1,00 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger presenteras E2D2 (slag med skruv för regel med 0,05 meter mellan kontaktmikrofonerna) där ljudfilerna högst upp är närmast ljudkällan.

Vidare visar resultatet för limfogskiva och KL-trä att det blir svårare att urskilja vågformens start. Det är dock fortfarande möjligt att urskilja riktning genom att undersöka tid och amplitudskillnad, se Figur 24.



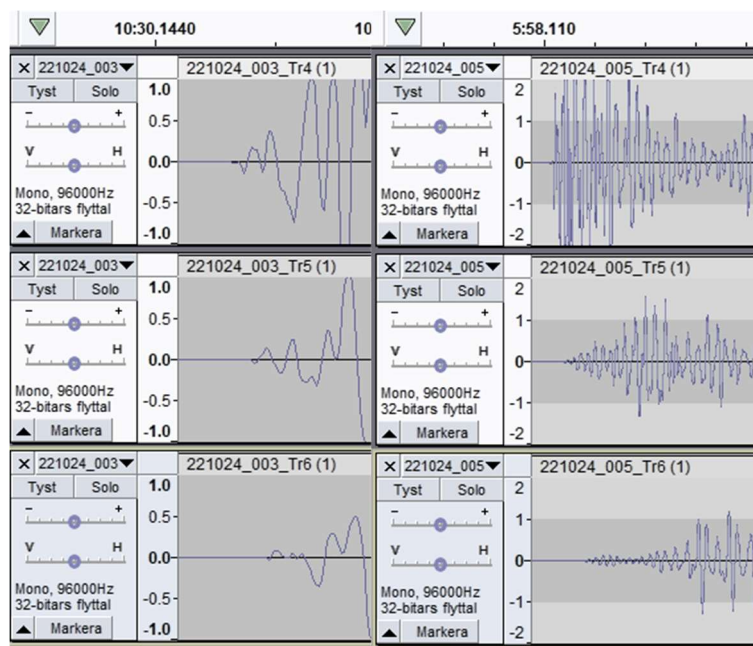
Figur 24 Till vänster presenteras E16D1 (slag med skruv för limfogskiva med 0,50 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger presenteras E31D1 (slag med skruv för KL-träskiva med 0,70 meter mellan kontaktmikrofonerna) där ljudfilerna högst upp är närmast ljudkällan

Nedan redovisas experiment med förbränning där kontaktmikrofonerna är uppsatta på rad. Olika träelement samt avstånd har undersökts där träregel inledningsvis har använts. Det går både i 0,50 och 0,20 meter att avläsa en tidsförskjutning mellan kontaktmikrofonerna men där det förstnämnda ger ett tydligare resultat, se Figur 25. Även här kan en amplitudskillnad ses vid det längre avståndet där ljudet avtar med ökat avstånd.



Figur 25 Till vänster presenteras E6D2 (brand i regel med 0,50 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger presenteras E7D2 (brand i regel med 0,20 meter mellan kontaktmikrofonerna) där ljudfilerna högst upp är närmast ljudkällan

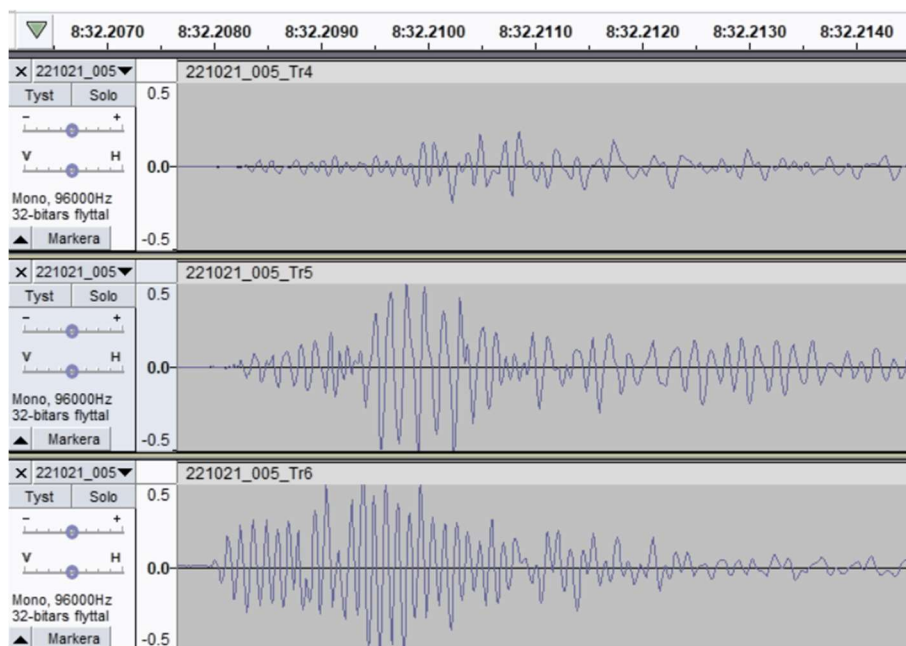
Vidare har förbränningsförsök med KL-balk genomförts där resultatet från två olika avstånd, 0,30 respektive 1,35 meter, redovisas i Figur 26. Det kortare avståndet medför en tydligare vågfront men en kortare tidsförskjutning.



Figur 26 Till vänster presenteras E3D5 (brand i KL-balk med 0,3 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger presenteras E5D5 (brand i KL-balk med 1,35 meter mellan kontaktmikrofonerna) där ljudfilerna högst upp är närmast ljudkällan.

I ett mer komplext träelement såsom en stor KL-träskiva blir tidsskillnaden mer svårtydd men inte omöjlig att urskilja. Figur 27 visar till skillnad från ovanstående figurer, hela tidsperioden för en akustisk emission vilket tydliggör hur amplituden förändras med avstånd. Eftersom branden inte varit stationär i en punkt utan rört sig upp längs med KL-

träskivan, och bränt inom ett intervall på cirka 0,3 meter, är ljudkällans exakta position osäker.



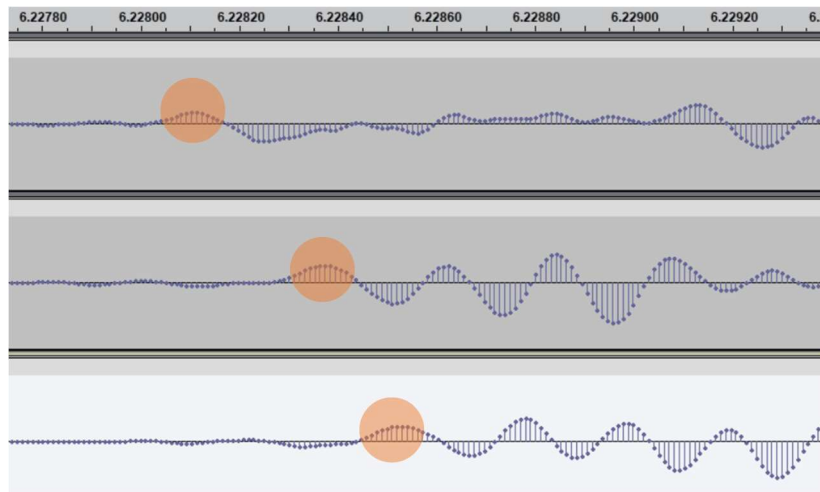
Figur 27 E5D4 (brand i stor KL-skiva med 0,50 meter mellan kontaktmikrofonerna) där ljudfilen längst ner är närmast ljudkällan.

4.2.3 Triangulering

För att lokalisera riktning ljudkällan befunnit sig i har triangulering använts där inledande försök gjorts utan förbränning. I avsnitt 2.4.1 Ljuddetektering utan förbränning visas kontaktmikrofoner och ljudkällans placering enligt ett koordinatsystem där en liten KL-skiva använts. Kontaktmikrofonernas placering var samma under samtliga experiment medan slagföremål flyttades mellan varje försök. Från dessa visas att riktning generellt går att urskilja ganska bra, se Tabell 3, vidare presenteras även ett representativt försök i Figur 28 .

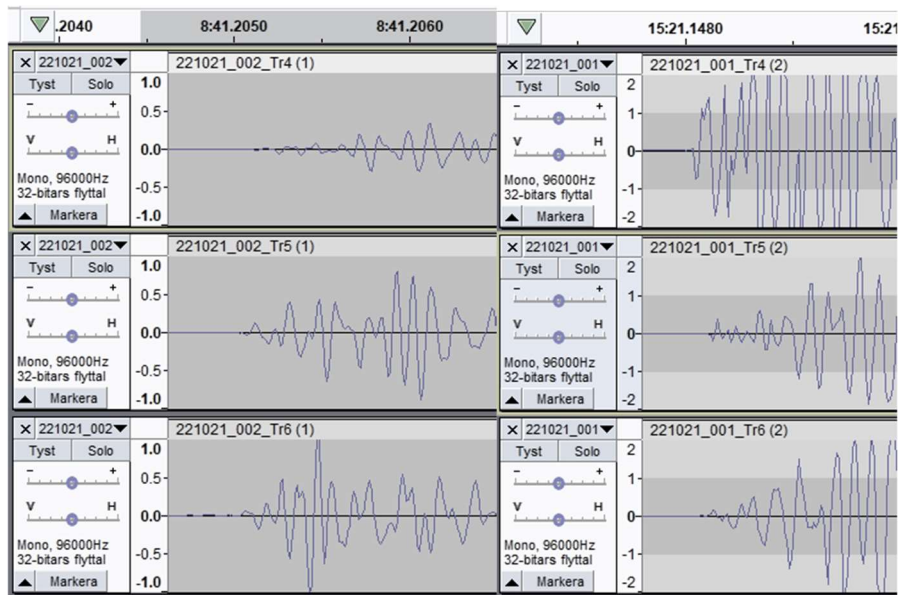
Tabell 3 Bedömning av hur väl det gick att urskilja riktning för ljudkälla i experiment E33D1-E42D1.

<i>Experiment</i>	<i>Bedömning</i>
33	Mycket bra
34	Ganska bra
35	Mycket bra
36	Ok
37	Ganska bra
38	Ok
39	Ganska bra
40	Ganska bra
41	Ganska bra
42	Bra



Figur 28 Triangulering för försök E33D1 (slag med skruv för liten KL-skiva) där ljudfilen höst upp är närmast ljudkällan.

Resterande försök med triangulering har utförts med brännare på KL-skiva med 0,30 meter mellan mikrofonerna där början av en ljudvåg från försök E2D4 respektive E1D4 presenteras i Figur 29. I det vänstra försöket i Figur 29 (E2D4) är mikrofon E och F placerade på samma avstånd i förhållande till branden och D (ljudfilen högst upp) är placerad längst ifrån. Detta är i enlighet med var resultatet visar där ljudvågorna för E och F startar före D (ljudfilen högst upp) samt att amplituden är märkbart högre i både E och F än D. I det högra försöket i Figur 29 (E1D4) är D närmast branden och E samt F på samma avstånd längst bort från branden. Det kan också här konstateras att ljudvågorna från mikrofon D både startar tidigare än E och F samt har en högre amplitud än desamma.



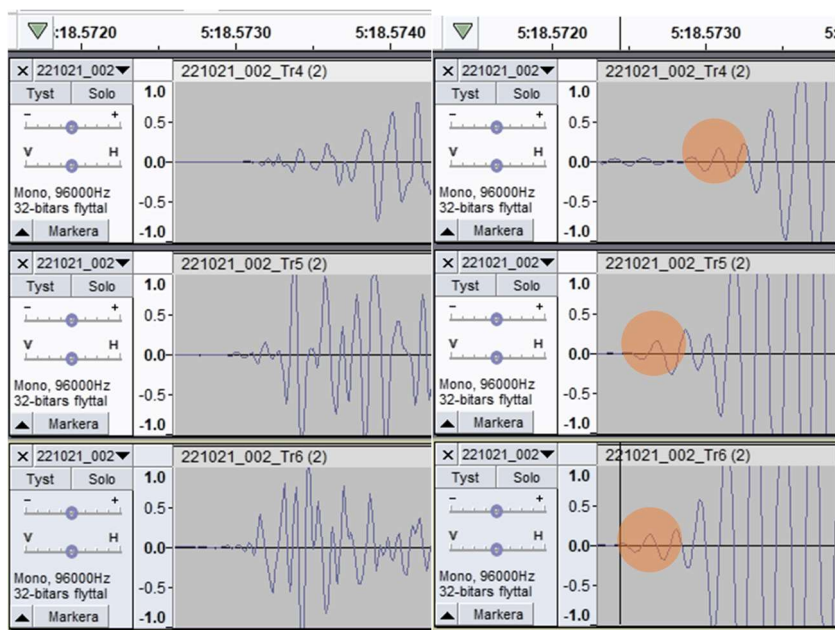
Figur 29 Till vänster presenteras E2D4 (brand i KL-skiva med 0,3 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger presenteras E1D4 (brand i KL-skiva 0,3 meter mellan kontaktmikrofonerna).

Försök på stor KL-skriva samt kavitetsbrand har visat sig vara mer svårtydda och därför inte varit möjligt att få fram riktning från ljudfilerna. För de experiment där det inte varit möjligt att utläsa riktning, har det i viss utsträckning tillämpats filtrering av frekvenser. I vilken omfattning detta gjorts och för vilka försök presenteras nedan i avsnitt 4.2.4

Filtrering av frekvens.

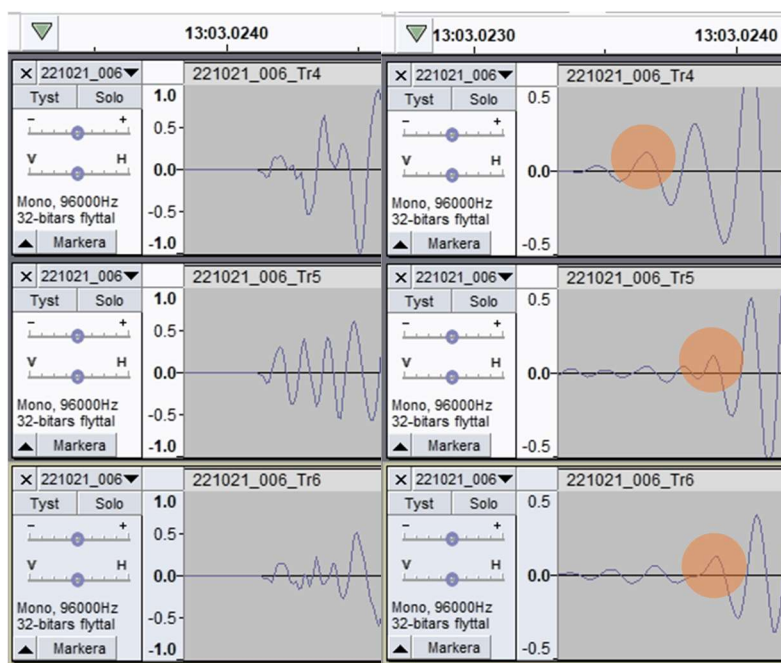
4.2.4 Filtrering av frekvens

Inledningsvis i filtrering av frekvenser presenteras samma brandförsök som ovan (KL-skiva (E2D4)) för att visa på hur filtrering av frekvens påverkar resultatet. Den vänstra delen av Figur 30 är de obehandlade filerna och till höger presenteras resultatet efter att filtrering av frekvenser gjorts. I de behandlade filerna blir frekvensen mer kontinuerlig vilket gör det enklare att identifiera startpunkten för de olika kontaktmikrofonerna.

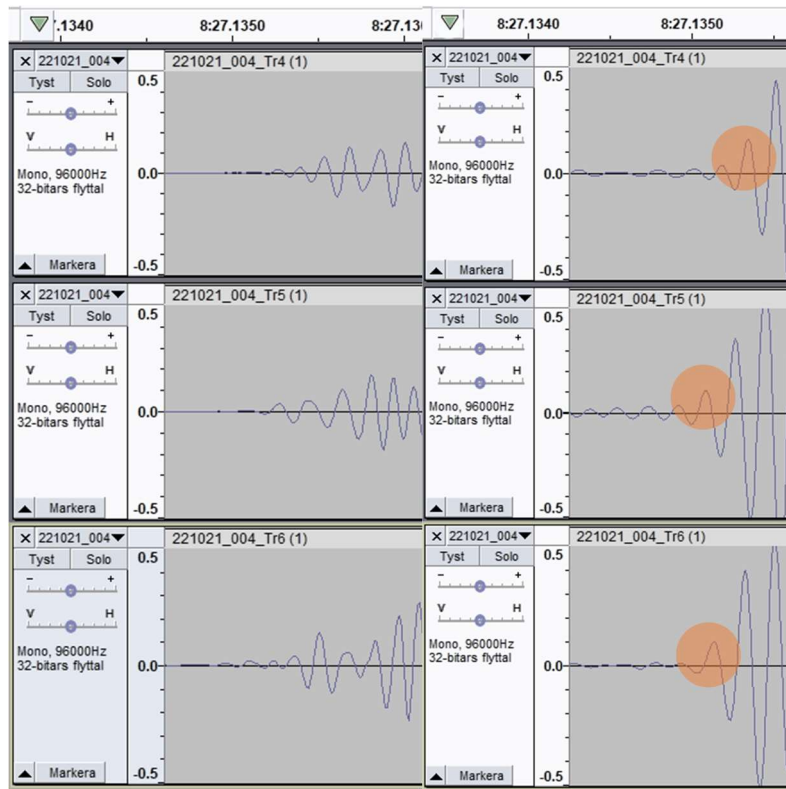


Figur 30 Till vänster presenteras det obehandlade resultatet för E2D4 (brand i KL-skiva med 0,3 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger visas samma ljudfiler i samma tidpunkt men där filtrering av frekvens gjorts.

Nedan i Figur 31 och Figur 32 visas först det obehandlade resultatet till vänster för E6D4/E4D4 (brand i stor KL-skiva med 0,05/0,50 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger presenteras samma ljudvåg när filtrering av frekvenser tillämpats. För förtydligande är kontaktmikrofon D (ljudfilen högst upp) närmast branden i Figur 31 och E/F längre bort och i Figur 32 är E/F närmast branden och D längre bort. Även här blir det tydligare att urskilja startpunkterna för vågorna efter att filerna behandlats.



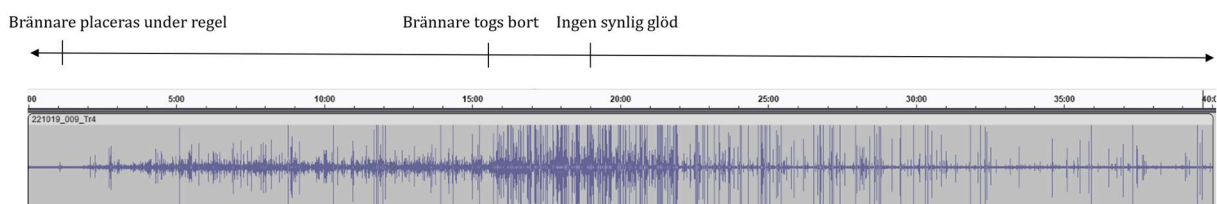
Figur 31 Till vänster presenteras det obehandlade resultatet för E6D4 (brand i stor KL-skiva med 0,05 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger visas samma ljudfiler i samma tidpunkt men där filtrering av frekvens gjorts.



Figur 32 Till vänster presenteras det obehandlade resultatet för E4D4 (brand i stor KL-skiva med 0,5 meter mellan kontaktmikrofonerna) och till höger samma ljudfiler i samma tidpunkt men där filtrering av frekvens gjorts.

4.2.5 Generella observationer

I Figur 33 visas hela förloppet för försök E9D3 (brand i regel) där brännaren placerades under regeln vid 1 minut, och togs bort vid tiden 15 minuter och 30 sekunder. Direkt efter att brännaren togs bort ökade antalet akustiska emissioner per tidsenhet och avtar sedan med tiden. Efter 19 minuter fanns ingen synlig glöd och vid 40 minuter avslutades inspelningen. Observationer från efter experimentet visar dock på att det efter avslutat försök fortfarande uppkommit akustiska emissioner även om antal per tidsenhet minskat kraftigt. Samma trend kunde ses vid samtliga experiment med förbränning.

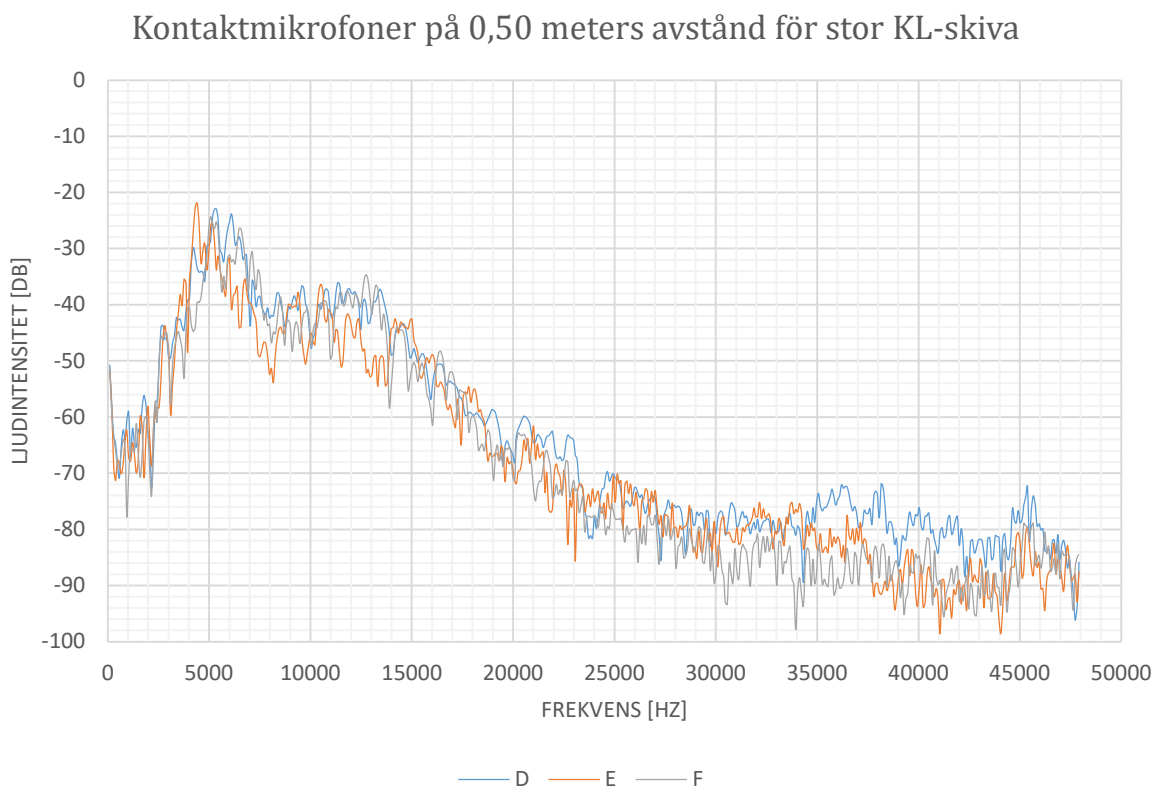


Figur 33 Typbild för hur aktiviteten förändras under brand och avsvältningsfasen (försök E9D3).

4.3 Frekvensberoende dämpning

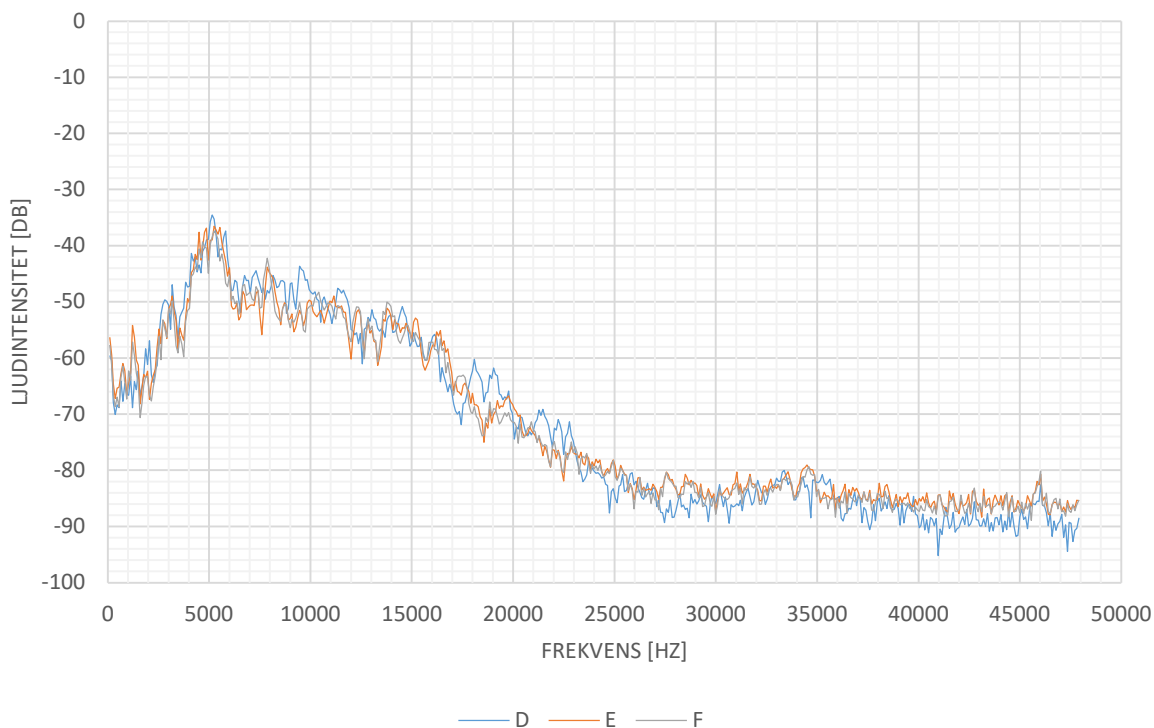
Tre representativa försök har genomförts och presenteras. Vid avläsning av Figur 35, (förbränning på KL-balk med 0,10 meter mellan kontaktmikrofonerna på rad) kan det fastställas att ljudintensiteten för de olika frekvenserna är nästintill densamma för alla avstånd. I kontrast till detta visar Figur 36 (förbränning på KL-balk med 1,35 meter mellan kontaktmikrofonerna) på att ljudintensiteten för höga frekvenser minskar med ökat avstånd. Även Figur 34 (förbränning på stor KL-skiva med 0,5 meter mellan kontaktmikrofonerna) visar på att ljudintensiteten för höga frekvenser minskar med ökat avstånd, men inte lika mycket. Med detta kan det konstateras att ljudintensiteten för höga frekvenser avtar snabbare än för låga frekvenser.

Vid en översiktlig avläsning av de tre figurerna kan det även konstateras att ljudintensiteten för en akustisk emission är som högst inom intervallet 3–10 kHz.



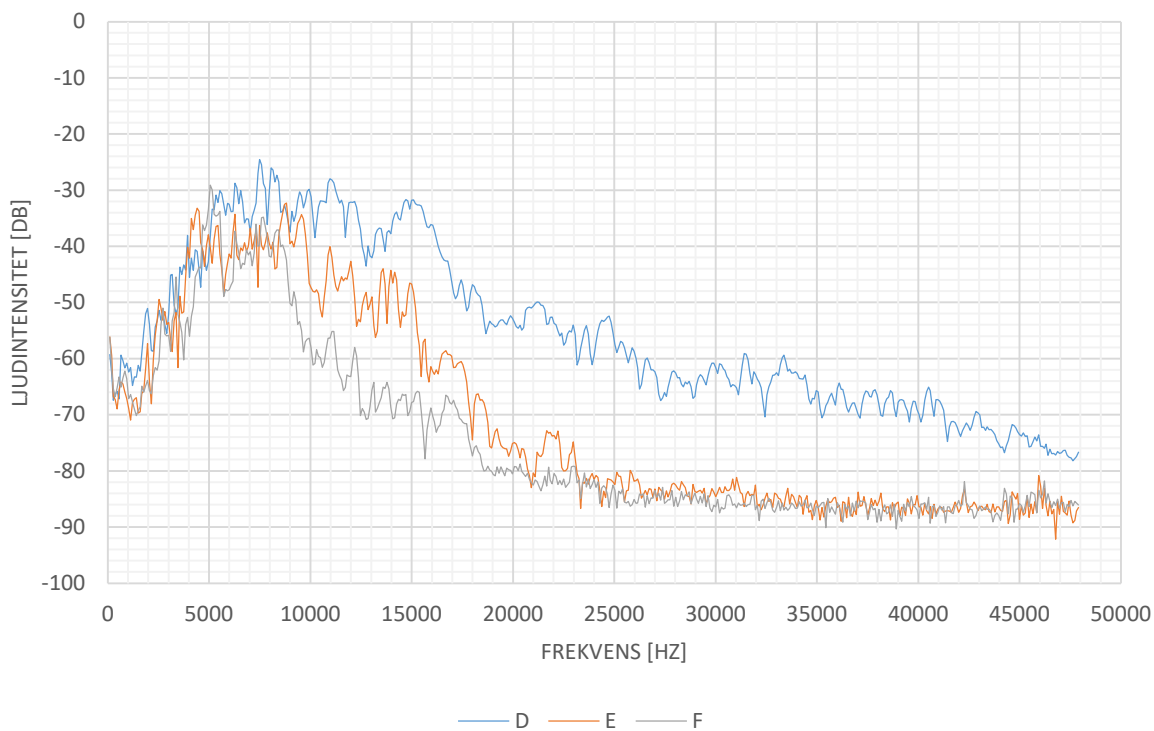
Figur 34 Ljudintensitetens avtagande med avstånd i stor KL-skiva där kontaktmikrofonerna är placerade 0,50 meter från varandra (E5D4). Kontaktmikrofon D är placerad närmast ljudkällan med ett avstånd på 2,00 meter.

Kontaktmikrofoner på 0,10 meters avstånd för KL-balk



Figur 35 Ljudintensitetens avtagande med avstånd i KL-balk där kontaktmikrofonerna är placerade med 0,10 meter från varandra (E4D5). Kontaktmikrofon D är placerad närmast ljudkällan med ett avstånd på 1.40 meter.

Kontaktmikrofon på 1,35 meters avstånd för KL-balk



Figur 36 Ljudintensitetens avtagande med avstånd i KL-balk där kontaktmikrofonerna är placerade med 1,35 meter från varandra (E5D5). Kontaktmikrofon D är placerad närmast ljudkällan med ett avstånd på 0.20 meter.

5 Diskussion

5.1 Intervju

Efter intervjuer med alla tre personer kan det konstateras att alla arbetade på liknande sätt gällande konstruktionsbränder och att det verkar överensstämma med det teoretiska arbetssättet. Att personerna från samma räddningstjänst arbetar på samma sätt är förvisso förväntat, då de sannolikt har interna riktlinjer och utbildningar. Att olika räddningstjänster har samma arbetssätt tyder på att de troligtvis följer de teoretiska arbetsmetoder som finns och att dessa är väl genomarbetade med grund i erfarenhet och kunskap.

Variation i svaren kan bero av hur djup en diskussion eller ett resonemang varit samt om intervjuad person har fått följdfrågor för att förtydliga och utveckla sina svar om något ansetts vara otydligt. Som utgångspunkt har samma frågor ställts till samtliga intervjuade, men för att hålla intervjuerna levande och för att säkerställa att uppfattningen och vad personen menar överensstämmer har även andra frågor inom ämnet ställts. Vidare skulle variation i svaren kunna bero av exempelvis erfarenhet.

Från intervjuerna kan det konstateras att detektion med hjälp av ljud har potential att användas som metod inom räddningstjänsten, förutsatt att metoden fungerar och att det är smidigt att använda. Förslag på användningsområden från räddningstjänstens sida har varit någon typ av portabelt verktyg som kan användas på plats vid insats, komplement till nuvarande system för bevakning under eftersläckning och som ett stationärt detektionssystem i högriskbyggnader. Ett portabelt verktyg hade potentiellt kunnat underlätta arbetet med identifiering av konstruktionsbrand, både i början av en insats och när släckning tros vara genomförd. Hade detta varit möjligt skulle det potentiellt bli mindre rivningsskador i samband med insats. Framför allt vid bevakning under eftersläckningsarbete finns potential att spara in ekonomiskt då detta i dagsläget är en kostsam, men nödvändig åtgärd.

Då förfrågan om att ställa upp på intervju för detta examensarbete skickats ut kan viss vinkling åt det positiva hållet förekomma då personer som väljer att ställa upp troligtvis har någon form av nyfikenhet till ämnet. Hade en person inte tyckt att detta var intressant alls hade personen troligtvis inte ställt upp för en intervju. Detta kan medföra att bilden av intresset att kunna använda ljud som detekteringsmetod inom räddningstjänsten har blivit mer positiv än representativt. Dock har, som nämnt i metoden, syftet för detta arbete endast varit att initialt identifiera potentiella användningsområden och behov från räddningstjänstens synvinkel, vilket är uppfyllt. Återigen kan detta arbete inte ses som ett komplett resultat utan snarare en initial vägledning inom området.

Anledningen till att intervjuer med ett fåtal personer valts framför exempelvis en enkätundersökning med fler korrespondenter är främst möjligheten att kunna ställa följdfrågor och föra en diskussion kring ämnet. Detta då området är relativt nytt och okänt och att det setts som svårt att få fram konkreta tankar och idéer från enkäter.

Trots att det är svårt att dra generella slutsatser från endast tre intervjuer, ses resultatet inom ramen för detta examensarbete som positivt.

5.2 Experiment

5.2.1 Metod och felkällor

Likt vid andra experiment finns många faktorer som kan komma att påverka resultatet och exakt på vilket sätt är inte fastställt även om det går att resonera kring dem. Genomgående faktorer som troligtvis har kommit att påverka resultatet är att ett urval av vilka ljudvågor som ska undersökas och användas vid analys har gjorts via okulär bedömning. För att kunna analysera och jämföra ljudvågorna med varandra har ljudvågor som varit möjliga, och enkla, att läsa av valts vilket innebär att endast de tydligaste ljudvågorna lästs och att majoriteten därmed valts bort. För att försöka minimera påverkan av resultatet har dock kriterier för urval ställts upp och följts systematiskt.

Ett problem som stötts på vid ett par tillfällen är att efter genomfört experiment har det visat sig att någon av kontaktmikrofonerna sitter lösa. Kontaktmikrofonerna har för varje experiment fästs med silvertejp på ytan. I fall där kontaktmikrofonerna placerats på en skiva uppställd som en vägg påverkar egentygngen för kontaktmikrofonens sladd tejpens den är uppfäst med, och under experimentets gång har kontakten mellan kontaktmikrofonen och skivan blivit sämre. Från inledande experiment på en regel kunde konstateras att frekvensen fortfarande verkar vara densamma även om kontaktmikrofonen sitter löst och att det främst är amplituden som påverkas. För att motverka att sladden till kontaktmikrofonerna ska lossa tejpens under experimenten har sladdarna tejpats på externt objekt så att sladdarna snarare kommer uppifrån än hänger neråt av gravitationen. Trots detta kan inte garanteras att resultatet för amplituden inte har påverkats under några av experimenten.

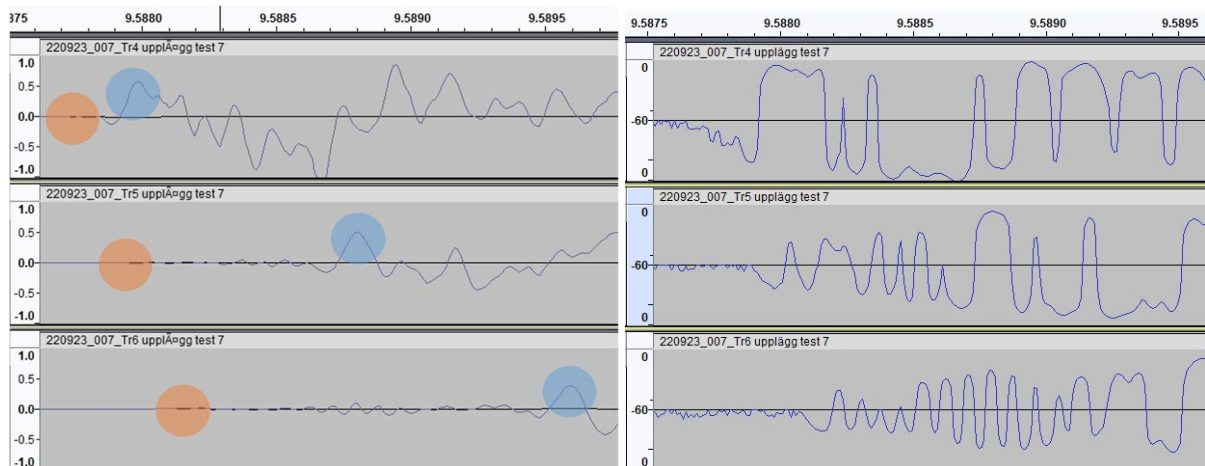
Vid inspelning har 96 000 Hz använts som samplingsfrekvens vilket anses vara tillräckligt för genomförda experiment då det varit möjligt att urskilja fasförskjutning mellan de olika ljudfilerna inom samma experiment för nästan alla experiment, med undantag för korta avstånd i KL-trä. Samtidigt kan argumenteras för att en högre samplingsfrekvens kunde möjliggjort tydligare fasförskjutning eller möjliggjort avläsning från kortare avstånd. För att göra frekvensanalysen hade ett mer detaljerat resultat kunnat tas fram, dock har detta inte ansetts vara relevant inom ramen för arbetet då syftet varit att se om frekvensavtagandet var beroende av avstånd, vilket fortfarande kunnat bekräftas. Lika så har hastigheter och riktning i trä kunnat bekräftas för de flesta experiment. Med detta inte sagt att det inte hade varit intressant att testa en högre samplingsfrekvens för att se om det går att få mer detaljerade resultat. Att detta inte gjorts inom arbetet beror av den initiala bedömningen om samplingsfrekvens och att intresset för högre samplingsfrekvens uppkommit vid analys av data, då alla experiment redan varit utförda.

Vid försök utan förbränning där en skruv har använts som ljudkälla har samma person manuellt knackat i träet i samtliga experiment med en och samma skruv. Trots att det är omöjligt att i varje experiment knacka lika hårt med skruven på träelementen anses detta inte påverka det slutgiltiga resultatet. Detta då kraften från skruven endast påverkar ljudets amplitud och inte hastighet och att amplituderna inte jämförs rakt av mellan olika experiment, utan endast amplitudskillnader mellan ljudvågor inom samma experiment jämförs. För jämförelse mellan experiment har endast förhållandet mellan ljudvågor inom samma experiment använts som jämförelse. I experiment med förbränning har inte undersökts närmare hur uppläggning påverkar resultatet, detta då experimenten utan

förbränning inte visat någon större variation. Med detta inte sagt att det inte påverkar resultatet, men hur det påverkar är inte fastställt inom ramen för detta examensarbete.

5.2.2 Resonans och hastighet

Initialt användes linjär skala i Audacity för att urskilja ljudkällans riktning men när hastigheter skulle beräknas i samma skala uppstod problem då hastigheterna kom att bli cirka en fjärdedel av de teoretiska. Skalan gjordes då om till logaritmisk vilket resulterade i ett helt annat utseende på ljudvågorna och med hjälp av dessa gick det att få fram hastigheter som motsvarande de teoretiska. Dock gjordes bedömningen att det fortsatt gick att använda linjär skala för att identifiera riktning eftersom denna utläsning är oberoende av hastighet. Det är vidare enbart förhållandet i tidsförskjutningen mellan de kontaktmikrofonerna som behövs för att bestämma ljudkällans riktning. Den avgörande faktorn till varför linjär skala använts vid identifiering av riktning beror på den tydliga vågperiod som återfunnits i nästan alla filer, vilket möjliggjort utläsning av riktning. Till vänster i Figur 37 som visas i linjär skala går det att urskilja både den tydligare vågperioden (markerad blå) som använts för att beräkna riktning men också vart vågen börjar (markerad orange) i varje fil, men där amplituden är väldigt låg. Vid omvandling till skala i decibel ökar dock det låga markant vilket möjliggör avläsning för att ta fram hastighet, se den högra figuren.



Figur 37 Den vänstra figuren visar i linjär skala där de orangemarkade vågfronterna visar startpunkt för beräkning av hastighet och de blåmarkerade vågorna visar punkter som använts för att avgöra riktning. Den högra figuren visas i skalan decibel.

Vad som ger upphov till denna märkbart tydligare vågperiod som uppstått (markerat i blått) i försöken kan enbart spekuleras kring, men grundar sig troligen i resonansfrekvenser.

Partiklar vibrerar med en specifik frekvens för olika material, även kallat egenfrekvens vilken är den naturliga frekvensen materialet har. När ett oscillerande eller vibrerande systems frekvens sammanfaller med ett annat systems egenfrekvens kan det andra systemets amplitud öka avsevärt, även kallat resonans. Små periodiska störningsfrekvenser kan i ett material förorsaka stora amplitudsvängningar eftersom systemet vid dess egenfrekvens kan lagra vibrationsenergi. I genomförda försök kan vibrationerna för den akustiska emissionen jämföras med de små periodiska

störningsfrekvensen som sammanfaller med egenfrekvensen för träelementen vilket sedan ger upphov till den höga amplituden (markerad blått). Det är även detta som inträffar när exempelvis en sångare får glas att spricka genom att enbart sjunga en specifik ton som överensstämmer med glasets egenfrekvens (Iowa State University, u.d.).

Ovanstående beskrivning kan vara en tänkbar förklaring till varför de märkbart högre vågorna (markerade blått) uppstår men som inte följer den första ljudvågen (markerade orange) som transporteras genom materialet. Med detta resonemang skulle det vara resonansfrekvensen eller materialets egenfrekvens som ger upphov till vågens utseende som används för att identifiera riktning.

Ljudhastigheter som beräknats med hjälp av data från mätningarna överensstämmer generellt med de teoretiska hastigheterna i avsnitt 3.1.3 Ljud i olika material, vilket bekräftar att metoden som använts kan anses som trovärdig. Viss variation förekommer, exempelvis något lägre hastigheter i mer komplexa träelement som KL-trä i jämförelse med en vanlig regel, detta beror av att KL-trä har träfiber i olika riktningar medan ljudtransporten i regeln endast har varit i fiberriktning (med undantag för naturliga defekter). Samtliga ljudhastigheter har beräknat från experiment med linjär uppställning av kontaktmikrofonerna. Ljudfilerna för KL-trä har varit svårare att läsa av då ljudfilernas utseende för respektive kontaktmikrofon har varierat och att ökat avstånd mellan kontaktmikrofonerna bidragit till mer olik vågutseende. Att det är större variation med avstånd överensstämmer även med resultat från regeln. I experiment där kontaktmikrofonerna varit placerade närmare varandra har ljudkurvorna haft mer liknande utseenden och därmed varit lättare att avläsa.

Trots att hastighet kunnat beräknas för större delen av experimenten har det inte varit möjligt att få fram hastigheten för regel på trästöd, trästöd som är fasttvingad eller i radiell/tangentiell riktning i limfogs-kivan. För limfogs-kivan har ljudfilerna varit svåravlästa och ett resultat inte kunnat tas fram och därmed inte presenterats. Varför resultat för balk på trästöd eller fasttvingad på trästöd inte kunnat tas fram beror sannolikt av att avståndet mellan kontaktmikrofonerna varit för kort.

När lämpligt avstånd mellan kontaktmikrofoner skulle bestämmas användes den linjära skalan för att undersöka filerna och då ansågs ett avstånd om 0,05 m lämpligt för att skilja noderna åt. Senare kom det dock att visa sig att det var mer lämpligt att använda sig av en logaritmisk skala där det inte längre möjligt att urskilja förskjutning av noderna på den initiala vågen för det korta avståndet.

5.2.3 Riktning och triangulering

Initialt testades huruvida det gick att avgöra vilken riktning ljudet kom ifrån i en regel i experiment utan förbränning. Samtliga försök lyckades, både med korta och långa avstånd. Generellt sett har ett kortare avstånd mellan mikrofonerna uppvisat en tydligare och mer identisk vågfront mellan mikrofonerna men med ett kortare avstånd har tidsskillnaden varit mindre och därmed mer svåravläst. Vid försök utan förbränning med den stora KL-träskivan ställdes kontaktmikrofonerna upp linjärt för att undersöka om det gick att avgöra vilken riktning ljudet kom ifrån, vilket var möjligt. Dock har samtliga ljudfiler för regeln varit lättare att läsa av än för den stora KL-träskivan. Utifrån genomföra experiment har kunnat konstateras att ljudfilerna blir mer svåravlästa med

komplexare tråelement och att utseendet mellan ljudfilerna är mer lika när avståndet mellan kontaktmikrofonerna är kortare. De faktorer som främst påverkar hur lätt det är att avläsa resultatet är avstånd mellan kontaktmikrofonerna och tråelementets komplexitet. Jämförs faktorerna avstånd samt komplexitet med teorin är detta ett förväntat resultat. Detta då ljudvågorna förändras mer i inhomogena material där densiteten kontinuerligt förändras. I regeln färdas ljudet i fiberriktningen (med undantag för eventuella naturliga variationer) medan i KL-tråskivan varierar fiberriktningen, vilket bör bidra med förändrat vågutseende. En annan sak som kan komma att påverka utseendet är reflektioner i materialet hur detta skulle påverka är dock inte fastställt.

För experiment med förbränning på regeln gick det att urskilja riktning, med hjälp av vågförskjutning i ljudfilerna, för samtliga experiment, lika så vid förbränning på KL-tråbalk. När kontaktmikrofonerna placerades linjärt på den stora KL-tråskivan var det möjligt att urskilja riktning, men snarare genom att kolla på amplituden än tidsförskjutningen. Generellt har också kunnat ses att det är lättare att läsa av ljudfiler där avståndet mellan ljudkällan och kontaktmikrofonerna är kortare, vilket är logiskt enligt resonemang ovan.

Vid trianguleringsexperimenten utan förbränning gick det att urskilja ungefärlig riktning ljudet kom från genom att jämföra för vilken eller vilka kontaktmikrofoner som ljudvägen först registrerade, både för limfogskivan och liten KL-tråskiva.

Från experiment med triangulering och förbränning på den lilla KL-tråskivan har det varit möjligt att urskilja ungefärlig riktning. Vid experiment med triangulering och förbränning på den stora KL-tråskivan har det varit svårare. Kontaktmikrofonerna har i trianguleringsexperimenten med förbränning på stora KL-tråskivan varit placerade så att en mikrofon är närmast och två längre bort, eller två är närmast och en längre bort. Här har det för större avstånd ibland gått att avgöra om det är en eller två av mikrofonerna som är närmast ljudkällan med hjälp av amplitudskillnader, alltså om ljudet kommer från höger eller vänster. Dock har vilken ljudfil som har högst amplitud av dem på samma avstånd varierat. Detta beror sannolikt på att mynningen till brännaren placerats cirka 0,4 meter över golvet, men att flamman inte begränsats till ett litet område utan stäcks sig över stora delar av KL-tråskivans höjd. I och med detta är det svårt att avgöra vart ljudet faktiskt kommer ifrån vid triangulering, då förbränning utbreder sig cirka 0,35 meter på höjden. Här ges alltså utrymmen för variation av vilken kontaktmikrofon som befinner sig närmast den akustiska emissionen. Vänds resonemanget innebär detta troligtvis att variationen av vilken kontaktmikrofon som först registrerar ljudet beror av att det faktiskt varierar. För att försöka få fram tydligare resultat vid triangulering på den stora KL-tråskivan har både brusreducering och filtrering av frekvenser testats.

5.2.4 Brusreducering och filtrering av frekvens

Samtliga experiment med förbränning har utförts under en fläkt som ventilerar bort brandgaser varför detta ljud förekommer i alla dessa ljudfiler. Beroende på hur nära respektive kontaktmikrofon varit fläkten har de tagit upp ljudet olika mycket, vilket skapar variationer mellan ljudfilerna och kan komma att påverka resultatet. Vidare har en dörr ut i det fria varit öppen när fläkten varit igång varför ljud även därifrån kan komma att påverka inspelningarna. Angränsande till brandlabbet som använts ligger en verkstad där verksamhet varit i gång som vanligt, vilket medför att ljud även kommit från

detta håll. Utifrån den data som analyserats har yttre ljud inte påverkat speciellt mycket vid analys i linjär skala, men samtidigt går det heller inte att säga hur filerna varit om bakgrundsljudet inte funnits med. Bakgrundsljud har varit tydligast vid förbränningsförsök där ljudfilerna undersökts i logaritmisk skala. Från amplitudskillnaderna har det varit möjligt att identifiera vilken kontaktmikrofon som varit närmast fläkten.

Trots att omgivningsljud troligtvis motsvarar verkligheten bättre än om samtliga experiment genomförts i ett helt isolerat utrymme har detta inte varit syftet med experimenten. Här har det snarare varit intressant att under så kontrollerade former som möjligt se vad som kan komma att påverka resultaten utan störningar från omgivningen. Hur dessa ljud har kommit att påverka framtagna resultat är inte helt fastställt, men troligtvis inte i för stor utsträckning. För att försöka utreda detta har enklare försök med brusreducering gjorts där jämförda filers utseende blivit mer lika än innan reduceringen. Dock innebär metoden stor osäkerhet då det inte undersökts exakt hur detta påverkar resultaten, utan bara initialt om detta är möjligt. Utifrån framtagna resultat med detta anses att det finns potential att användas, förutsatt att det går att urskilja vad som påverkas och hur.

För de försök där det inte varit möjligt att identifiera ljudkällans riktning på grund av otydligt resultat har filtrering av frekvenser i viss grad tillämpats. Utifrån resultatet kan det konstateras att metoden förtydligat resultatet och i vissa försök möjliggjort avläsning av riktning. Anledningen till det tydligare resultatet är den lägre interferensen på grund av att majoriteten av frekvenserna tagits bort och enbart ett kort frekvensspann återstår. Detta gör också att frekvensen i den akustiska emissionen efter analys varit konstant där den tidigare varierat stort.

De resultat som presenterats är utvalda med anledning att de uppvisat en mer tydlig vågform vilket betyder att alla resultat inte varit lika tydliga. Det kan dock konstateras att hur bra resultat metoden fått fram, varit beroende på hur tydligt den obehandlade datan varit innan filtrering av frekvenser. Vid ett redan tydligt resultat före behandling har resultatet i många fall blivit mer tydligt och där resultat innan behandling varit dåligt, har resultatet blivit läsbart.

Detta har endast varit en liten del av arbetet och det finns enbart grundläggande kunskap kring hur filtrering av frekvenser fungerar och påverkar resultatet, även om metoden verkar fungera. För att kunna avläsa ljudfiler från mer komplexa konstruktioner kan metoden vara ett användbart verktyg men det behövs fler riktlinjer och kunskap för att avgöra metodens giltighet och i vilken utsträckning resultatet påverkas. Eftersom metoden verkar lovande finns potential för forskning inom området.

5.2.5 Frekvensberoende dämpning

Vid jämförelse av resultaten för de olika avstånden finns en tydlig trend i hur intensiteten för olika frekvenser avtar. Speciellt uppenbart blir detta vid jämförelse mellan försöken med 0,10 meter och 1,35 meter mellan kontaktmikrofonerna. Utifrån resultaten kan det fastställas att ljudintensiteten avtar mer för höga frekvenser än för låga med ökat avstånd från ljudkällan. Denna slutsats är entydig med teorin i avsnitt 3.1.4 Ljudvågors avtagande

med avstånd som säger att en ökad frekvens ger en större dämpning, medan för låga frekvenser är dämpningen försumbar.

Vidare analys av resultatet visar på att vågornas utseende för de tre olika försöken som genomförts, i stor grad efterliknar varandra där ljudintensiteten är som högst inom intervallet 3–10 kHz och avtar därefter. Utifrån detta går det sannolikt att säga att utseendet för frekvensdämpningen troligen ser ut på liknande sätt i andra träelement för en akustisk emission.

Med kunskapen om att ljudintensiteten avtar mer för höga frekvenser än för låga med ett ökat avstånd samt att vågornas utseende är liknande för akustiska emissioner i olika träelement kan en alternativ metod tas fram. Teoretiskt sett borde det gå att identifiera ljudkällans riktning genom att enbart undersöka hur ljudintensiteten för höga frekvenser skiljer sig mellan mikrofoner placerade på ett längre avstånd ifrån varandra. Med denna metod blir det inte längre nödvändigt att använda tidsskillnaden mellan kontaktmikrofonerna för att lokalisera riktning. Då ingen vidare analys gjorts för denna metod går det inte att säga hur väl den fungerar.

5.2.6 Generella observationer

En intressant observation som gjordes i samband med analys av ljudfiler av experiment med förbränning är att aktiviteten för de akustiska emissionerna är märkbart högre direkt efter att brännaren tagits bort och enbart glöd återstår. Aktiviteten minskar sedan succesivt efter att glöden slocknat. Anledningen till den ökade aktiviteten kan enligt teoriavsnitt 3.1.5 Akustiska emissioner i material bero på att stora temperaturförändringar kan ge upphov till fler akustiska emissioner per tidsenhet.

6 Slutsats

Syftet med arbetet var att utforska möjligheterna att använda ljud som detektionsmetod för att identifiera dolda bränder och hur detta skulle kunna användas i ett praktiskt sammanhang. Målet var att med hjälp av experiment få ökad kunskap och förståelse för hur ljud kan nyttjas för att detektera kavitetsbränder, att undersöka vilka utmaningar det finns med kavitetsbränder och om ljud skulle kunna användas för detektering av bränder inom räddningstjänst eller industri. Efter genomfört arbete kan det konstateras att detektering av brand med hjälp av ljud är ett relativt outforskat område med stor potential. Sett från räddningstjänstens perspektiv finns i dagsläget genomarbetade metoder för hur konstruktionsbränder ska behandlas, men det finns intresse och potential för verktyg och metoder som skulle underlätta deras arbete. Representanter från räddningstjänsten kan tänka sig att ljud skulle kunna användas både för identifiering av kavitetsbränder och inom industrin i framtiden, men hur detta skulle ske praktiskt är inte klarlagt.

Vidare finns mycket forskning kring ljud, men det har varit svårt att hitta forskning på ljud kopplat till detektion av bränder. Efter genomförd litteraturstudie, genomförda experiment och analys av resultat kan inom ramen för detta examensarbete följande slutsatser dras:

- Sett från räddningstjänstens perspektiv finns i dagsläget genomarbetade metoder för hur konstruktionsbränder ska behandlas, men där representanter från räddningstjänsten ser potential i att använda ljud som komplement till dagens detektionsmetoder.
- Ljudhastighet framräknade från experimenten stämmer överens med de teoretiska hastigheterna. Det har dock inte varit möjligt att ta fram hastighet för alla träelement.
- Det är lättare att identifiera riktning och hastighet i mindre komplexa träelement. I vissa mer komplexa träelement har ett resultat inte kunnat tas fram.
- Vid användning av frekvensfiltrering pekar resultatet på att riktning blir lättare att identifiera, men detta behöver undersökas vidare.
- Det är lättare att identifiera akustiska emissioner med kortare avstånd mellan förbränningspunkt och kontaktmikrofon.
- Ljudintensitet avtar mer för höga frekvenser än låga, med ökat avstånd.

7 Framtida forskning

Från genomförda experiment inom detta examensarbete kan det konstateras att det finns mycket intressant att undersöka vidare.

Då detta arbete främst syftat till att undersöka om det är möjligt att detektera brand i olika träelement finns många områden som hade varit intressant att kolla närmare på framåt i tiden. Från arbetet är slutsatsen att det är ett område med potential och att det sannolikt skulle finnas efterfrågan om det hade varit möjligt att på sikt utveckla någon form av ljuddetekterande produkt för bränder, både inom räddningstjänsten men troligtvis också som fasta installationer inom industrier. Nedan presenteras exempel på några områden som hade kunnat undersökas.

- Studera vidare på frekvenser och hur dessa skiljs åt mellan olika träelement vid förbränning. Hur ändras frekvenser med avstånd? På vilket avstånd går frekvenser att urskilja?
- Undersök vidare hur metoden "filtrering av frekvens" hur det påverkar resultatet och om det kan användas.
- Går det att identifiera ljudkällans riktning genom att undersöka hur ljudintensitet för höga frekvenser förändras med avstånd?
- Hur väl går det att lokalisera ljudets riktning i andra material, i mer komplexa uppställningar och med isolering?
- Undersöka hur aktiviteten för akustiska emissioner förändras under brandförloppet och efter.
- Går det att använda artificiell intelligens för att identifiera akustiska emissioner?

8 Referenser

- Andersson, B., Holmstedt, G., Johansson, N., Särndqvist, S., Vylund, L., Ingason, H., . . . Nystand, B. (2015). *Storskadeproblematik - Brand i byggnad*. MSB. doi:978-91-7383-550-3
- Audacity/MediaWiki. (den 05 10 2022). *Audacity*. Hämtat från Audacity Manual Contents: <https://manual.audacityteam.org/index.html> den 10 10 2022
- Britannica, Encyclopaedia (3). (2022). *transverse wave physics*. Hämtat från Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/transverse-wave> den 22 09 2022
- Cai, X., Huang, Z., & Yang, J. (2020). *Traveling Sound Wave with Transverse Particle Velocity in a Metawaveguide by Using a Phase-Reversible Metasurface*. The University of Western Ontario, London, Department of Mechanical and Materials Engineering, Ontario, Canada. doi:10.1103/PhysRevApplied.14.054025
- Daerga, P.-A. (2001). *Elastiska och tidsberoende egenskaper för barrträ*. Stockholm: Institutet för träteknisk forskning. Hämtat från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1079772/FULLTEXT01.pdf>
- Encyclopaedia Britannica (1). (u.d.). *Wave physics*. Hämtat från Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/wave-physics> den 22 09 2022
- Encyclopaedia Britannica (2). (u.d.). *Sound physics*. Hämtat från Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/sound-physics> den 22 09 2022
- Encyclopaedia Britannica (4). (2022). *Longitudinal wave physics*. Hämtat från Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/longitudinal-wave> den 22 09 2022
- Gould, R., Hind, S., Sorensen, K., & Jacquet, F. (2017). *Detecting hidden fires on aircraft using thermal imaging cameras*. National research council canada aerospace. Hämtat från https://www.fire.tc.faa.gov/2019Conference/files/Battery_I/HindHiddenFires/HindHiddenFiresPaperWeb.pdf
- Grosse, C. U., & Ohtsu, M. (2008). *Acoustic Emission Testing*. Leipzig: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-69972-9
- Grosshandler, W., & Braun, E. (u.d.). *Early Detection of Room Fires Through Acoustic Emission*. Gaithersburg, MD 20899, USA: National Institute of Standards and Technology. Hämtat från https://publications.iafss.org/publications/fss/4/773/view/fss_4-773.pdf
- Grosshandler, W., & Jacksson, M. (1993). *Acoustic emission of structural materials exposed to open flames*. Gaithersburg, Maryland, USA: Building and fire research laboratory, national institute of standards and technology, US department of commerce. Hämtat från <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0379711294900124?token=082EC010535C2F6556258B032FD01F6F1F5149EB96AB2A09AD8C7989D8910AB97CD>

268E2CA4BA071111F48B2BBCAF197&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220915062412

- Henningsson, B. (2012). *Inverkan av rökning och gödsling på mikrofibrillvinkeln i tallens (Pinus sylvestris L.) ungdomsved*. Umeå: SLU: Institutionen för skogens ekologi och skötsel. Hämtat från https://stud.epsilon.slu.se/3986/1/Henningsson_B_120319.pdf
- Hjort, B. (1999). *Automatiska brandlarm - onödiga larm*. Karlstad: Räddningsverket. Hämtat från <https://rib.msb.se/filer/pdf/13387.pdf>
- Iowa State University. (u.d.). *Frequency and Resonance*. Hämtat från <https://www.nde-ed.org/Physics/Sound/frequecypitch.xhtml> den 15 11 2022
- Iowa State University. (u.d.). *The speed of sound in other materials*. Hämtat från Iowa State University: <https://www.nde-ed.org/Physics/Sound/speedinmaterials.xhtml> den 22 09 22
- Johansson, N. (2015). *Fallstudie av konstruktionsbränder*. Lund: Division of Fire Safety Engineering. Hämtat från https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/8033987/Fallstudie_av_konstruktionsbränder_final.pdf
- Jongho, P., & Kang, E. (2022). *Development of sound reflection and refraction experiment equipment*. Chinju 52673, Republic of Korea: Chinju National University of Education. Hämtat från <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/ac8a84/pdf>
- K&K Sound. (u.d.). *Big Shot*. Hämtat från K&K Sound: <https://www.kksound.com/big-shot> den 07 10 2022
- Kumar, N. (2001). *A laboratory and field study of the attenuation of sound intensity using a whistle as the sonic generator*. New Jersey Institute of Technology. Hämtat från <https://digitalcommons.njit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1736&context=theses> den 01 10 2022
- Kågebro, E. (2007). *Automatiska brandlarm - Hur bör räddningstjänsten agera?* Karlstad: Räddningsverket. Hämtat från <https://rib.msb.se/filer/pdf/23066.pdf>
- Martinsson, J., Runefors, M., Frantzich, H., Glebe, D., McNamee, M., & Morgen, O. (2021). *A Novel Method for Smart Fire Detection using Acoustic Measurements and Machine*. Göteborg, SWEDEN: RISE Research Institutes of Sweden AB. Hämtat från <https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=26&sid=3ace75ad-22df-47d5-bee9-aa79c293b7c8%40redis&bdata=JkF1dGhUeXBIPWlwLHVpZCZzaXRIPWVkcY1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=159015225&db=a9h>
- Morin, D. (u.d.). Longitudinal waves. i *Waves*. Hämtat från https://scholar.harvard.edu/files/david-morin/files/waves_longitudinal.pdf

- MSB. (2019). *Samhällets kostnader för bränder år 2019*. Myndighet för samhällsskydd och beredskap. Hämtat från <https://rib.msb.se/filer/pdf/29563.pdf>
- MSB. (2022). Hämtat från MSB:s statistik över dödsbränder och omkomna i bränder: <https://ida.msb.se/ida2#page=b75cde21-6173-4fdc-9979-00263bae429b>
- Nair, A., & Cai, C. (2010). *Acoustic emission monitoring of bridges: Review and case studies*. Baton Rouge, Louisiana, United States: Department of Civil and Environ. Engineering, Louisiana State University. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.02.020>
- Nilsson, D., & Holmstedt, G. (2008). *Kompendium i aktiva system - detektion*. Lund: Lunds tekniska högskola. Brandteknik och riskhantering. Hämtat från <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/3368069/4647805.pdf>
- Singh, R. (2016). *Applied Welding Engineering Second Edition*. United Kingdom: Butterworth-henemann. doi:<https://doi.org/10.1016/C2015-0-00784-5>
- Svenskt trä. (u.d.). *Svenskt trä*. Hämtat från Konstruktionselement: <https://www.svensktra.se/bygg-med-tra/byggande/tra-och-trabaserade-produkter/konstruktionselement/#:~:text=Det%20st%C3%B6rsta%20m%C3%A5ttet%20bredd%20%C3%97,upp%20till%20cirka%205%20m%20den%2002%2010%202022>
- Svensson, S. (2020). *Brandgasventilation*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). doi:978-91-7927-000-1
- Säfstén, K., & Gustavsson, M. (2020). *Research methodology - for engineers and other problem-solvers*. (R. Ehnsjö, Övers.) Studentlitteratur AB.
- Särdqvist, S. (2013). *Vatten och andra släckmedel*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Hämtat från <https://rib.msb.se/filer/pdf/27245.pdf>
- Vylund, L., & Palmkvist, K. (2018). *Taktik och metodik för släckning av höga trähus*. Brandforsk. Hämtat från https://www.brandforsk.se/wp-content/uploads/2020/03/brandforsk_302-151_rapport_3.pdf
- Zoom Corporation. (den 01 04 2021). Hämtat från zoom F6 MultiTrack Field Recorder Operation Manual: <https://manuals.plus/zoom/zoom-f6-multitrack-field-recorder-operation-manual#introduction> den 06 10 2022

Bilaga 1 – Intervjuer

Vid intervjuer med representanter från Räddningstjänsten har frågorna nedan använts som utgångspunkt.

- *Hur arbetar ni i dagsläget med att identifiera kavitet/konstruktionsbränder (dvs. dolda bränder)? Och vad för metoder är det ni använder?*
- *Finns det några problem med kavitet/konstruktionsbränder och de metoder som ni använder i dagsläget.*
- *Är det vanligt att ni efter en insats tror att ni släckt allt men att branden senare återupptar? Och hur jobbar ni med att förhindra detta?*
- *Har ni behov av en bättre metod än hur ni jobbar i dagsläget med att identifiera bränder?*
- *Låt säga att detektering av glöd eller brand med hjälp av ljud är en tillgänglig teknik i framtiden, tror du då den hade kunnat användas eller ersätta dagen metoder.*
- *Kan ni på något sätt upptäcka glödbränder och i sådana fall hur?*
- *Hur vet ni att en glödbrand är släckt?*
- *Finns det problem med att använda ljud som detektering?*
- *Tror du att det finns andra användningsområden kopplat till brand med ljud som detektering utanför räddningstjänstens arbete?*

Samtyckesblankett vid intervjuer inom examensarbete:

Branddetektering med hjälp av ljud

Varför får du detta?

Du som får detta brev har tackat ja till att bli intervjuad till examensarbetet "Branddetektering av ljud" som genomförs vid Lunds universitet. I det här brevet får du information om projektet och om vad det innebär att delta.

Om projektet

Examensarbetet syftar till att undersöka huruvida detektering av brand är möjligt med hjälp av ljud, samt att undersöka vilka eventuella användningsområden som skulle vara intressanta med detekteringsmetoden. Arbetet genomförs inom ramen för forskningsprojektet "Smart branddetektion med AI" med finansiering från FORMAS.

Initial litteraturstudie har visat att det finns begränsat med forskning på området varför det är intressant att kolla närmare på. Vidare har initiala experiment inom ramen för examensarbetet visat att det med hjälp av kontaktmikrofoner går att urskilja en brands uppkomst. Genom att placera ut flera mikrofoner går det dessutom att påvisa en tidsskillnad mellan dem, och därmed riktning ljudet kommer från, vid användning av en enkel regel.

En del av arbetet omfattar även att undersöka om yrkesverksamma personer inom räddningstjänsten ser ett syfte med att på sikt kunna använda sig av ljuddetektering vid främst kavitets- och konstruktionsbränder samt vilka krav detekteringsmetoden skulle behöva uppfylla.

Ditt deltagande

Genom ditt deltagande i studien bidrar du med dina erfarenheter om hur detektering av dolda kavitets- och konstruktionsbränder utförs i dagsläget samt vilket användningsområde du kan se med ljuddetektering av brand, om du ser något. Deltagandet är frivilligt.

Du kommer att bli intervjuad under max 1 timme och du väljer själv hur mycket du vill berätta under intervjun. Du kan när som helst under intervjun välja att dra tillbaka ditt samtycke till deltagande utan att uppge skäl. Intervjun kommer att spelas in och analyseras tillsammans med annat intervjumaterial.

Materialet som publiceras i rapporten kommer vara anonymiserat och presenteras tillsammans med svar från andra intervjudeltagare.

Hantering av personuppgifter

Dina personuppgifter (kontaktuppgifter, inspelning av intervjun och en anonymiserad transkribering som kommer att användas för analys) kommer att behandlas så att obehöriga inte kan ta del av dem. Inspelat och transkriberat material hanteras endast av rapportskrivare (och eventuellt deltagare i forskningsprojektet "Smart

branddetektion med AI”).

Ansvarig för de uppgifter som samlas in är Lunds universitet. Dina personuppgifter kommer att hanteras i enlighet med EU:s dataskyddsförordning (GDPR) och Lunds universitets riktlinjer (<https://www.lu.se/start/behandling-av-personuppgifter-vid-lunds-universitet>).

Materialet kan komma att användas i framtida forskningsstudier inom samma ämne.

Kontaktuppgifter

Forskningshuvudman och personuppgiftsansvarig för projektet är Lunds universitet. Om du har frågor kring studien eller ditt deltagande, kontakta ansvarig projektledare Margaret McNamee, Lunds universitet. Telefon: 0705-XXXXXX; E-post: margaret.mcnamee@brand.lth.se.

Samtycke till att delta i studien ”Branddetektering med hjälp av ljud”

Jag har fått muntlig och skriftlig information om studien och har haft möjlighet att ställa frågor. Jag får behålla den skriftliga informationen.

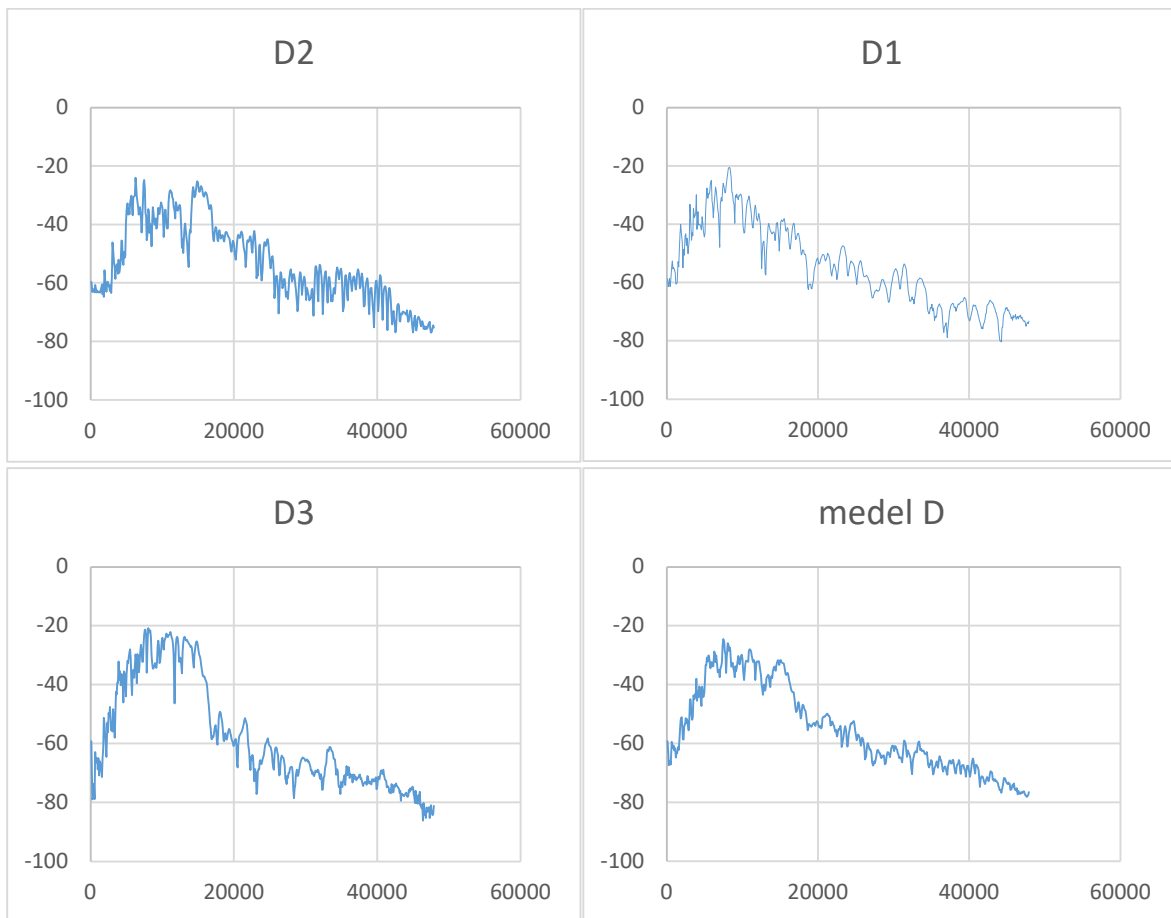
- Jag samtycker till att delta i studien som beskrivs i dokumentet ”Samtyckesblankett vid intervjuer inom examensarbete: Branddetektering med hjälp av ljud”.
- Jag samtycker till att uppgifter om mig behandlas på det sätt som beskrivs i dokumentet ” Samtyckesblankett vid intervjuer inom examensarbete: Branddetektering med hjälp av ljud”.

Plats och datum	Underskrift

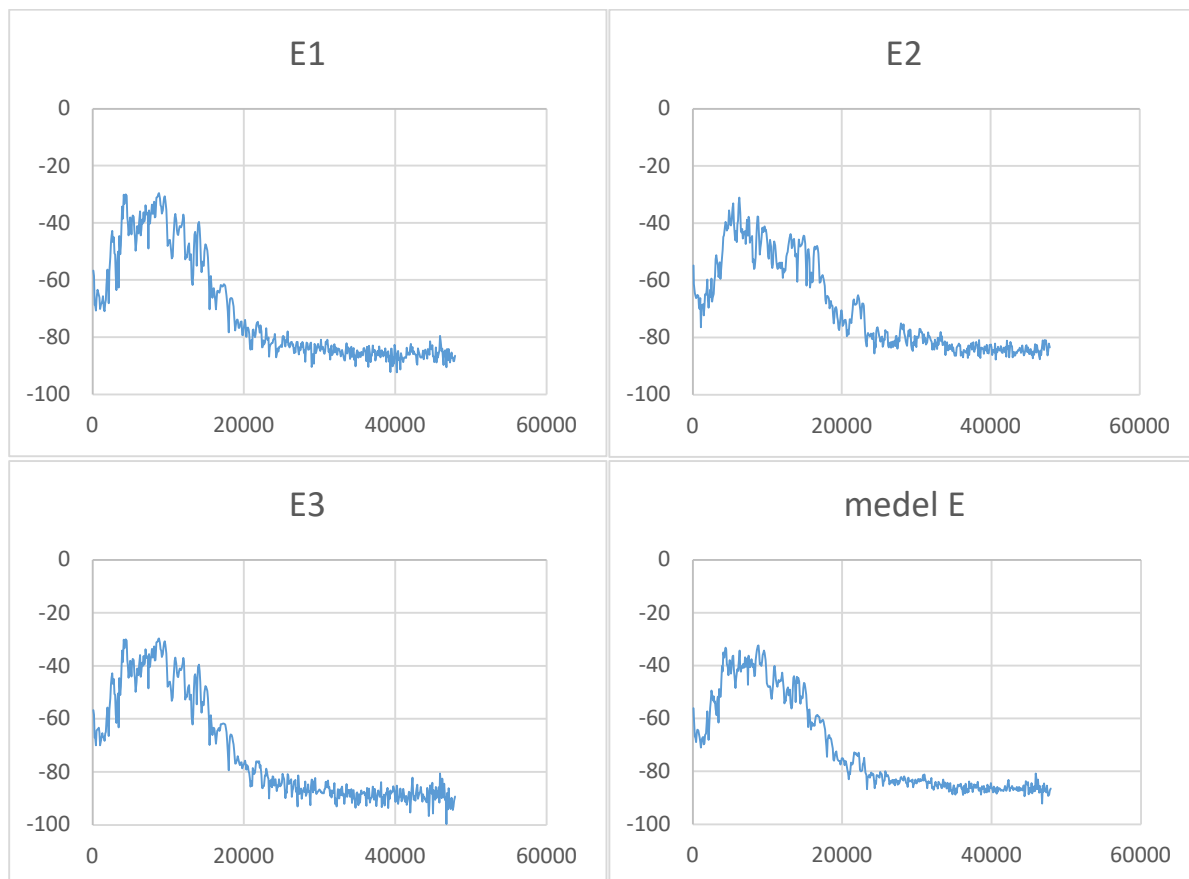
Bilaga 2 – Frekvensberoende dämpning

För att göra en frekvensanalys och se hur frekvensen varierar med avstånd har experiment E5D4, E4D5 och E5D5 kollats närmare på. Tre representativa akustiska emissioner från glödbland har valts ut för respektive kontaktmikrofon i respektive experiment. För varje experiment har tre tabeller ställts upp, en för varje kontaktmikrofon. I respektive tabell visas utvalda akustiska emissioner separat samt ett medelvärde av dem. I Tabell 6 presenteras mikrofon D, i Tabell 4 kontaktmikrofon E och i Tabell 9 kontaktmikrofon F från experiment E5D5.

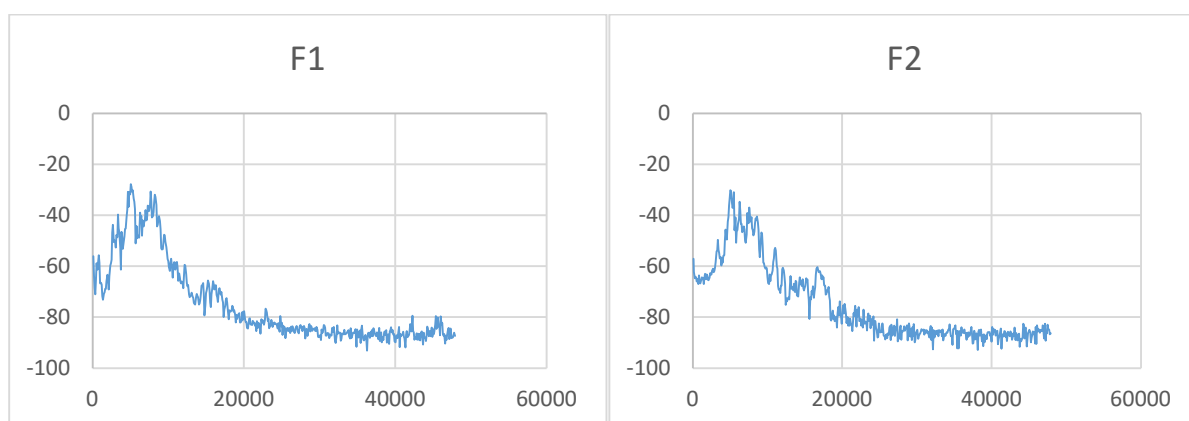
Tabell 4 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E5D4, kontaktmikrofon D. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.

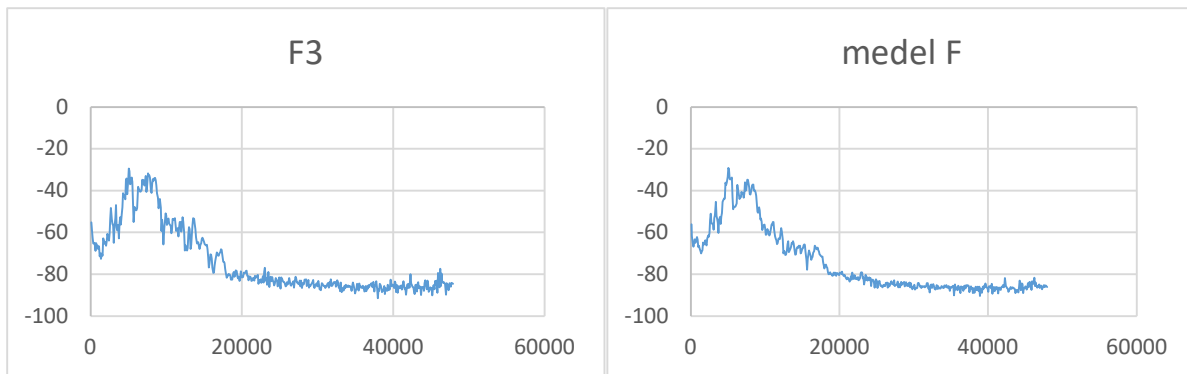


Tabell 5 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E5D4, kontaktmikrofon D. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.



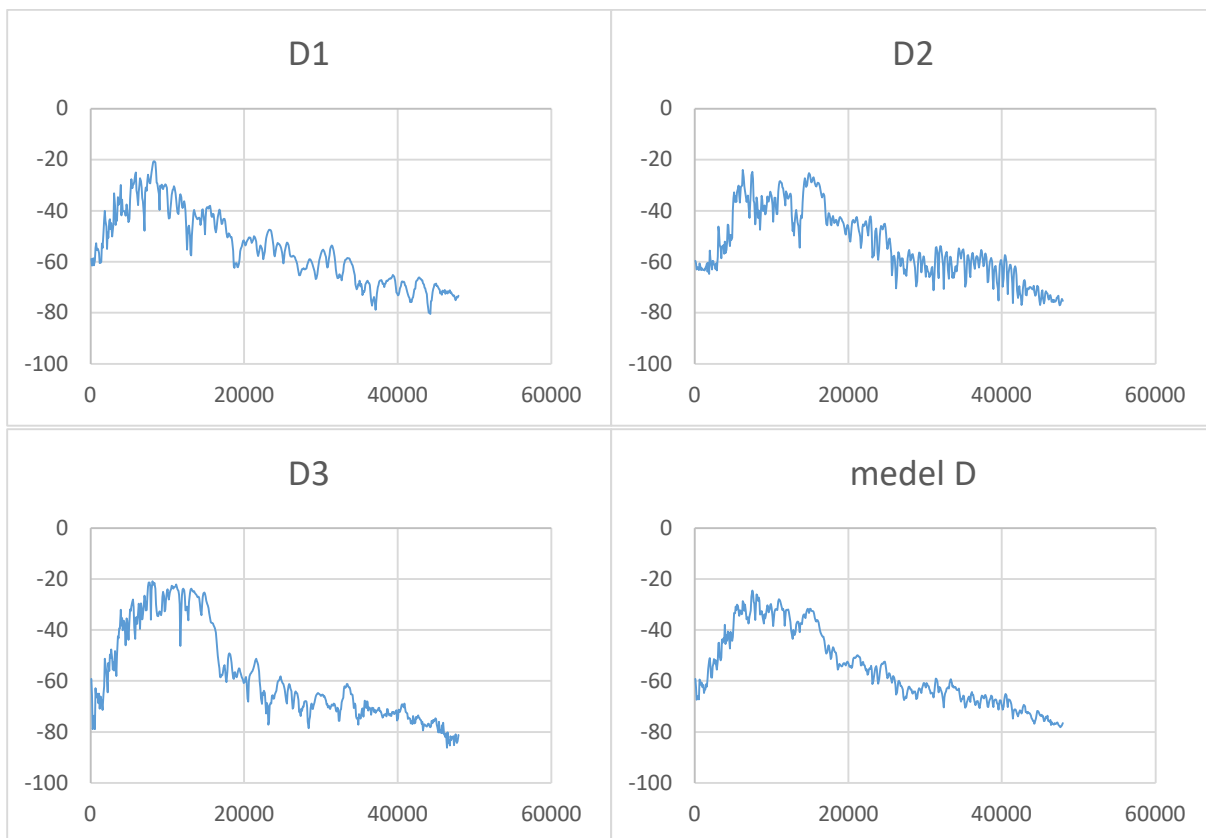
Tabell 6 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E5D4, kontaktmikrofon D. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.



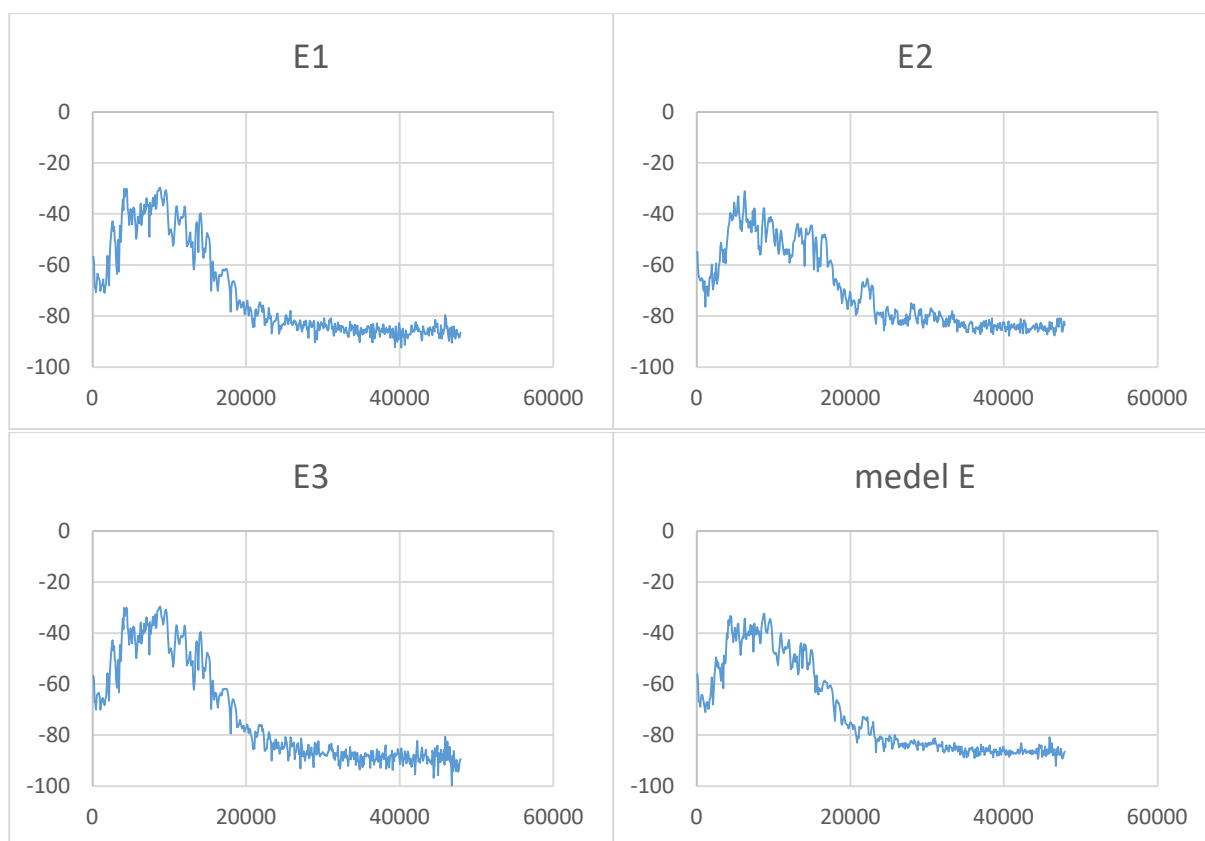


För experiment E5D5 presenteras kontaktmikrofon D i Tabell 6, kontaktmikrofon E i Tabell 8 och i Tabell 9 kontaktmikrofon F.

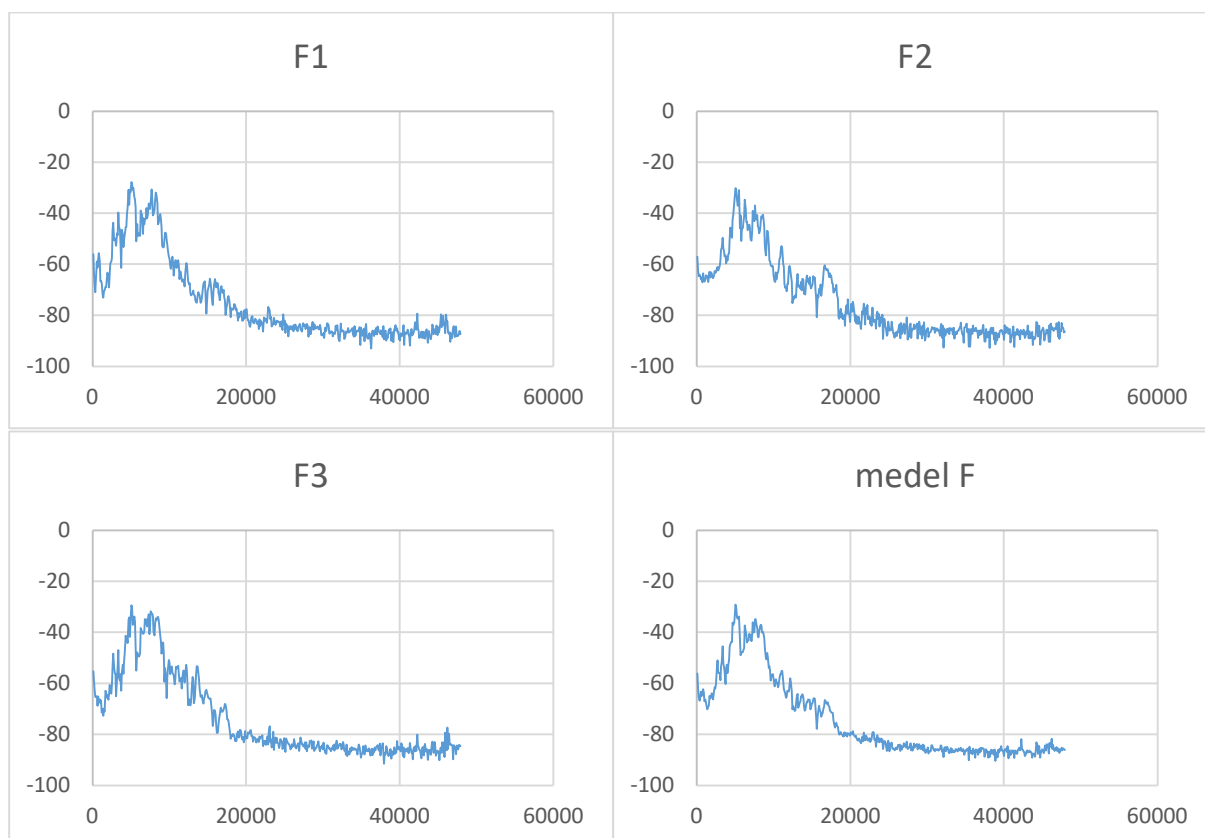
Tabell 7 i bild 1, 2 och 3 visar frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E5D5, kontaktmikrofon D. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.



Tabell 8 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E5D5, kontaktmikrofon E. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.

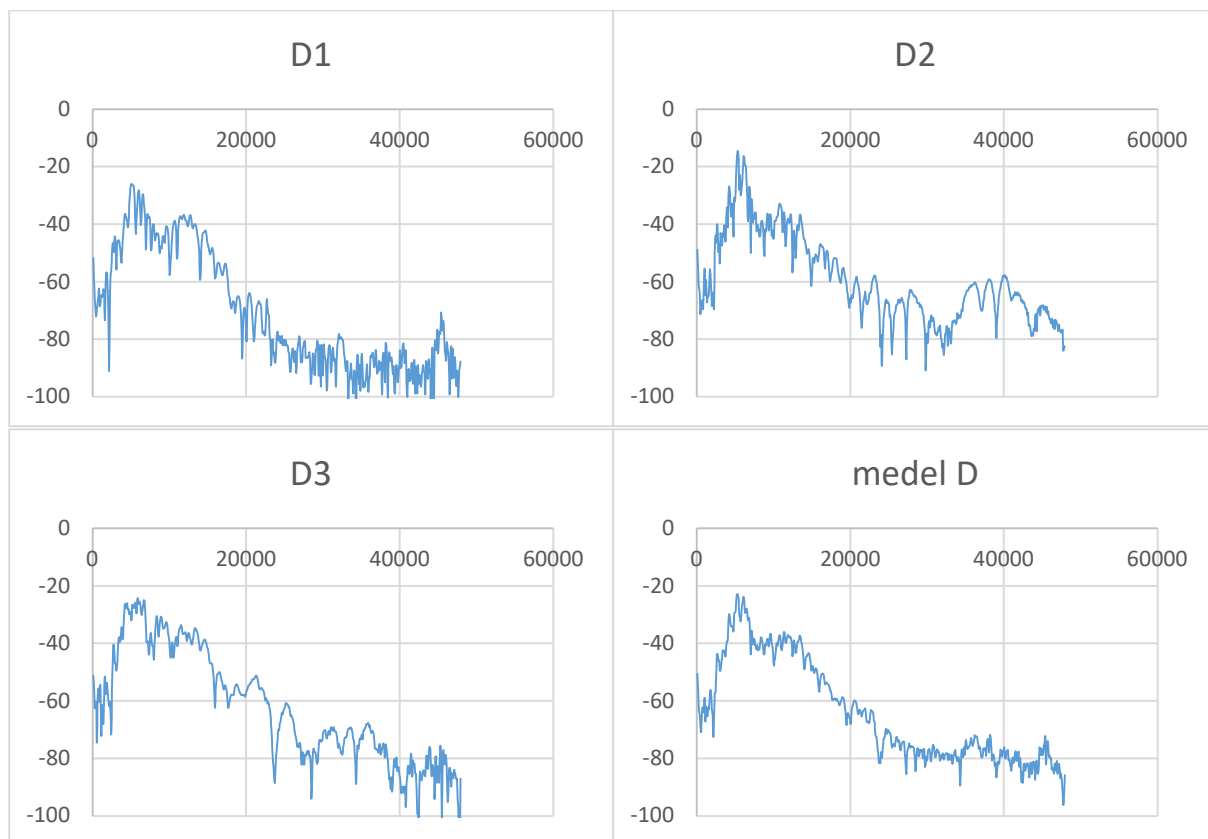


Tabell 9 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E5D5, kontaktmikrofon F. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.

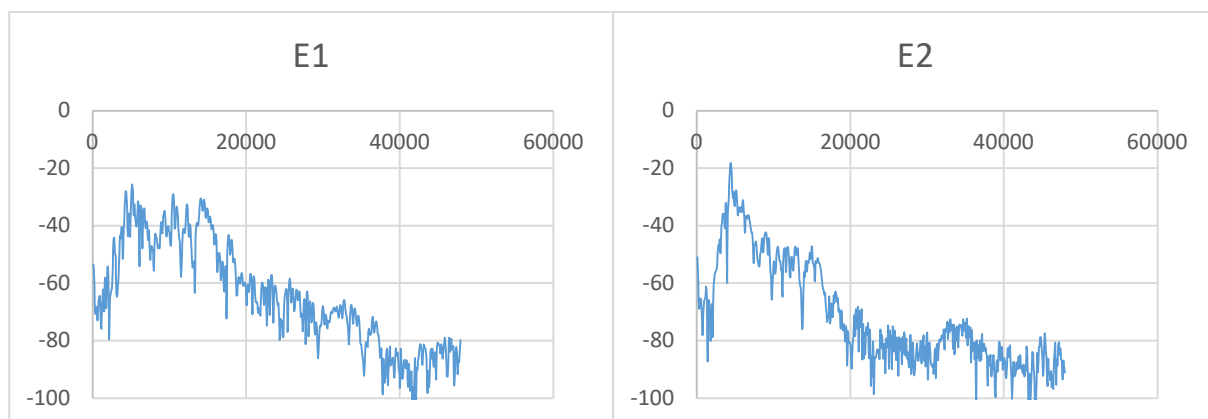


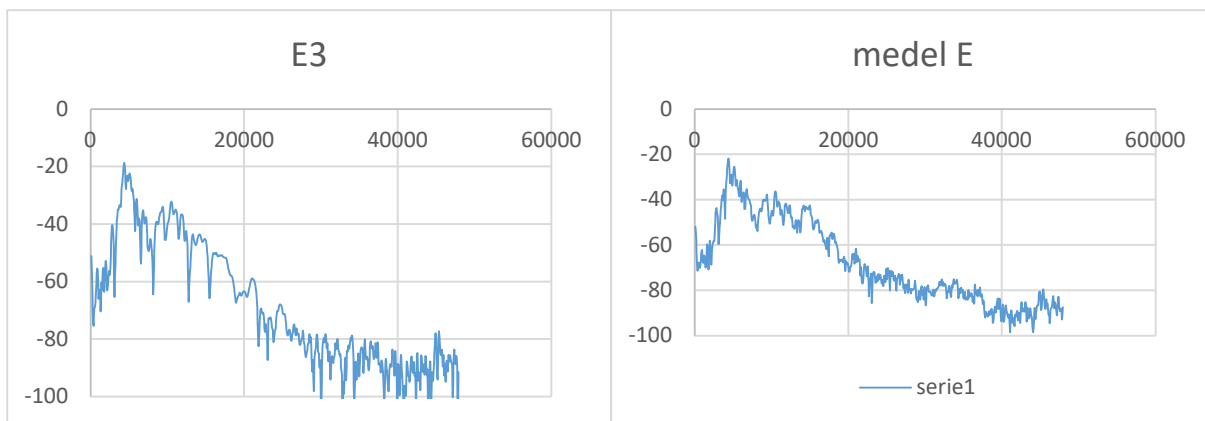
För experiment E4D5 presenteras kontaktmikrofon D i Tabell 10, kontaktmikrofon E i Tabell 11 och i Tabell 12 kontaktmikrofon F.

Tabell 10 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E4D5, kontaktmikrofon D. I bild 4 visas medelvärden för dessa.

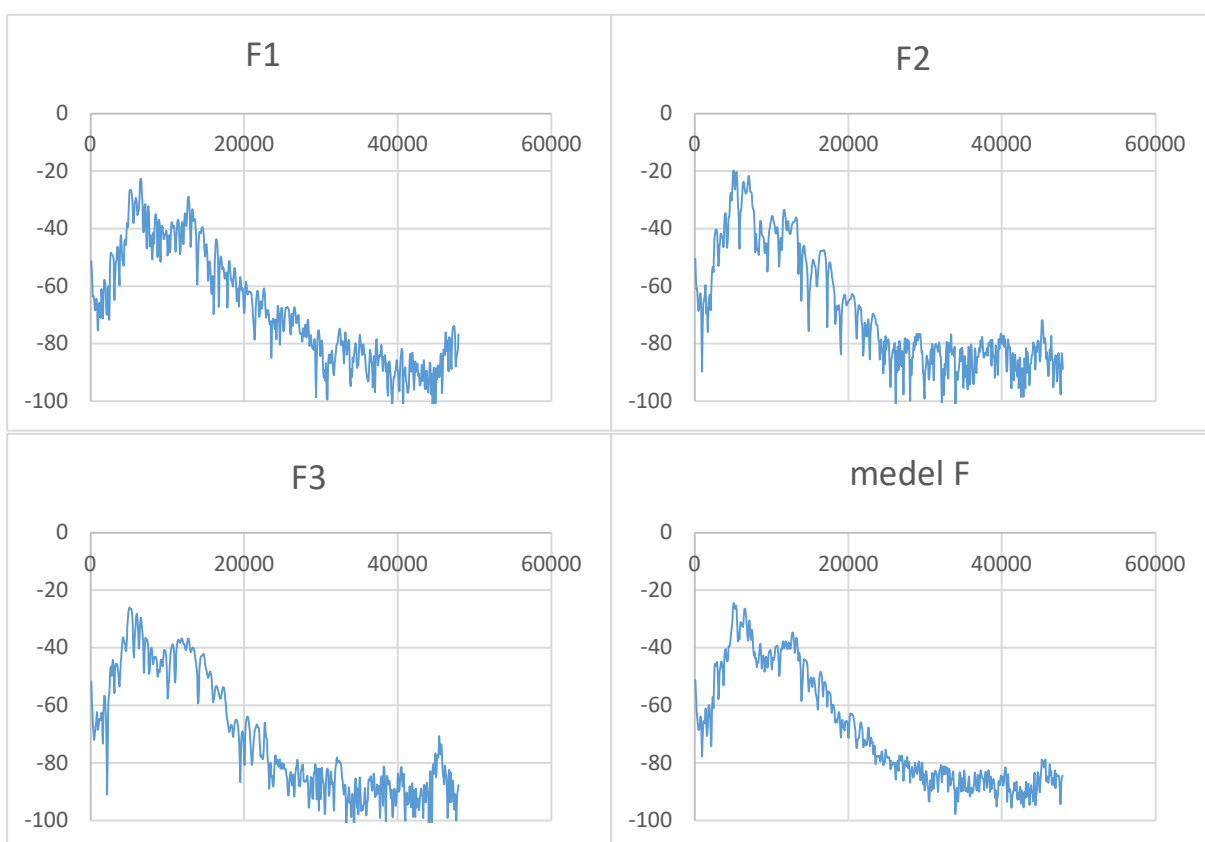


Tabell 11 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E4D5, kontaktmikrofon E. I bild 4 visas medelvärden för dessa.





Tabell 12 I bild 1, 2 och 3 visas frekvens för tre akustiska emissioner från glöd vid experiment E4D5, kontaktmikrofon F. I bild 4 visas medelvärdet för dessa.



Bilaga 3 – Material och utrustning

KL-trä

Korslimmat trä, eller KL-trä som det normalt benämns, är namnet på industriellt tillverkade byggkomponenter som består av brädor eller plankor som är ihoplimmade i minst tre skikt. Skikten är förskjutna 90 grader i förhållande till varandra, vilket innebär att fiberriktningen varierar i den färdiga produkten. Normalt används högst hållfasthet i ytskikten på ett tvärsnitt, vilket ofta är detsamma som huvudbärriktningen (riktningen där belastningen är som störst). KL-trä går att tillverka som stora element där både bärförmågan och styvheten är hög samtidigt som egenvikten för elementet är låg (Svenskt trä, u.d.).

KL-trä förekommer som olika byggnadselement, exempelvis balkar, skivor och pelare. Byggnadselementen används främst som bärande delar och kan användas i flera olika typer av byggnader och konstruktioner. Likt andra byggmaterial måste KL-träet uppfylla viss standard för att få användas i konstruktioner (Svenskt trä, u.d.).

Exempel på andra egenskaper i kombination med hållfasthet som gör KL-trä till ett framstående stommaterial är bra värmeisoleringsförmåga, bra bärförmåga vid brand och hög flexibilitet (Svenskt trä, u.d.).

Mikrofon

”Big shot universal spot pickup with external jack” är en kontaktmikrofon som är anpassad att använda till större instrument med tjockare hölje, främst med lägre mekanisk resonans. Ljud transporteras som vibrationer i fasta material, varför mikrofonen omvandlar trycket från ytan den är fäst vid till elektriska signaler. Vibrationens styrka avgör hur stark den skapade elektriska signalen är, mindre vibrationer resulterar i svagare signaler och starkare vibrationer resulterar i starkare signaler (K&K Sound, u.d.).

Recorder

För att spela in ljud och möjliggöra analys av ljudfilerna har ”Zoom F6 MultiTrack Field Recorder” använts. Zoom F6 har många funktioner, dock används inte alla dessa till de genomförda experiment som denna rapport behandlar. Nedan ges endast en översikt av de funktioner som använts och möjliggjort genomförda experiment.

Med Zoom F6 finns möjlighet att spela in ljud från sex olika spår samtidigt (Zoom Corporation, 2021), vilket möjliggör att använda sig av två eller tre mikrofoner samtidigt enligt behov i detta experiment.

Portarna är nummernärkta och filerna som skapas vid inspelning numreras på samma sätt (Zoom Corporation, 2021), varför det är lätt att hålla isär de olika mikrofonerna och på så sätt identifiera ljudet vid experimenten.

Vid inspelning kan olika sampling rates ställas in, vilket motsvarar hur många mätningar som görs per sekund, vilket presenteras i frekvens. Exempelvis innebär 96 000 Hz att det registreras 96 000 mätningar per sekund och mikrofon. Flera mätningar per sekund ökar upplösningen och därmed säkerheten då dataunderlaget blir större.

Audacity

För att analysera insamlade ljudfiler har datorprogrammet Audacity använts. Audacity finns att ladda ner kostnadsfritt och samtliga funktioner som använts för att genomföra analyserna till denna rapport finns tillgängliga. Programmet finns tillgängligt för flera olika operativsystem och är en open-source plattform (Audacity/MediaWiki, 2022).

I Audacity finns möjlighet att ladda upp olika filformat som sedan kan redigeras och analyseras i programmet, men det finns också möjlighet att spela in ljud direkt i programmet (Audacity/MediaWiki, 2022). Ljudfilerna som använts i projektet har varit i filformatet WAV då detta är formatet som inspelningsinstrumentet Zoom 6 sparar filer i.

Funktionerna som främst använts för analyser i denna rapport är waveform view med en linjär vertikal skala. Den vertikala skalan visar ljudet linjärt med en amplitud mellan -1 och 1, där maxvärdena motsvarar högsta ljudstyrkan som kan uppnås i filen.

I waveform view symboliserar mörkblå färg högsta frekvensen i "samplingsgruppen" och den ljusblå delen ger RMS (Root mean square), som av Audacity beskrivs som en uppskattning om hur högt ljudet är i en viss del av ljudfilen. När zoom-verktyget används ses istället frekvenserna var för sig och möjligheten till att se RMS försvinner då antalet mätningar att basera RMS på är för få. Ännu mer inzoomat går det att se respektive sampling och hur dessa bygger upp de olika frekvenserna i filen (Audacity/MediaWiki, 2022).

Det finns en inställning som gör att filen visas i dB istället för linjärt, detta då ljud inte uppfattas linjärt av mänskliga örat, utan i en logaritmisk skala (Audacity/MediaWiki, 2022). I rapporten har dock främst en linjär skala använts för att analysera ljuden, detta för att det intressanta är skillnad i ljud och tidsfördröjning mellan ljudupptagningarna snarare än hur mänskliga örat uppfattar skillnad i ljudet.

Samplings som syns i Audacity motsvarar de samplingsar som använts vid respektive inspelning i projektet, varför det i filerna tillhörande rapporten är inställda på 96 000 Hz.

Det finns möjlighet att importera flera filer i samma vy, vilket möjliggör att analysera flera filer samtidigt i samma tidsskala och därmed lätt se eventuell tidsfördröjning. (Audacity/MediaWiki, 2022) Detta har möjliggjort analys av de tre ljudfilerna från de respektive tre mikrofonerna i samma tidsskala, vilket tydliggjort resultaten.

Bilaga 4 – Lista över alla genomförda experiment

Inom ramen för examensarbetet har flera experiment utförts under fem dagar för att samla in data. I tabell 10 presenteras samtliga experiment, vilken uppställning som använts samt datum de är utförda. Namnen för experimenten syftar till vilken dag experimenten är genomförda (D) samt ordning de är genomförda för respektive dag (E). Exempelvis "E4D3" innebär att det är fjärde experimentet genomfört under tredje dagen.

Tabell 10 Samtliga genomförda experiment. Avstånd presenteras i meter och eventuellt flöde i liter per sekund.

Namn	Datum	Beskrivning av experiment	Text
E1D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Laborationsglasögon (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.75 (x; x+0.75; x+1.50) Okänt
E2D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.75 (x; x+0.75; x+1.50) Okänt
E3D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv på fasttejp stor metallplatta (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.75 (x; x+0.75; x+1.50) Okänt
E4D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv på fasttejp liten metallplatta (slag på ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.75 (x; x+0.75; x+1.50) Okänt
E5D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel (mikrofon E lös) Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.75 (x; x+0.75; x+1.50) Okänt

E6D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel (mikrofon E lös) Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.75 (x; x+0.75; x+1.50) Okänt
E7D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 1.0 (x; x+1.00; x+2.00) Okänt
E8D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi F,E,D (på rad) 1.00 (x; x+1.00; x+2.00) Okänt
E9D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.50 (x; x+0.50; x+1.00) Okänt
E10D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi F,E,D (på rad) 0.50 (x; x+0.50; x+1.00) Okänt
E11D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.30 (x; x+0.30; x+0.60) Okänt
E12D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi F,E,D (på rad) 0.30 (x; x+0.30; x+0.60) Okänt

E13D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.10 (x; x+0.10; x+0.20) Okänt
E14D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi F,E,D (på rad) 0.10 (x; x+0.10; x+0.20) Okänt
E15D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Skumgummi D + E + F (mikrofoner på samma avstånd) - (x; x; x) Okänt
E16D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag längs fiberriktning på) Skumgummi E,F (på rad) 0.50 (-, x, x+0.50) Okänt
E17D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag längs fiberriktning) Skumgummi E,F (på rad) 0.50 (-, x, x+0.50) Okänt
E18D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag radiellt/tangentiellt mot fiberriktning) Skumgummi E, F (på rad) 0.50 (-, x, x+0.50) Okänt
E19D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag radiellt/tangentiellt mot fiberriktning) Skumgummi E,F (på rad) 0.50 (-, x, x+0.50) Okänt

E20D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag ovansida) Skumgummi D, E/F (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E21D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag ovansida) Skumgummi E, F/D (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E22D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag ovansida) Skumgummi D, E, F (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E23D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag ovansida) Skumgummi D, F, E (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E24D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogskiva Skruv (slag ovansida) Skumgummi D/E/F (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E25D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi F, D/E (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E26D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi F/E, D (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt

E27D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E, D/F (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E28D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D/E/F (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E29D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi F, E, D (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E30D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D/E, F (liksidig triangel) 0.50 (-, -, -) Okänt
E31D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E,F (på rad) 0.70 (x, -, x+0.70) Okänt
E32D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D,E (på rad) 0.48 (x, x+0.48, -) Okänt
E33D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E/D, F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.02,0.02)

E34D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D, E, F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.20,0.02)
E35D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D, E/F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.30,0.02)
E36D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D/F, E (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.58,0.02)
E37D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi D/E, F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.02,0.30)
E38D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E, D, F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.02,0.50)
E39D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E, D/F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.02,0.56)
E40D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E, D/F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.02,0.70)

E41D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E, F, D (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.15,0.70)
E42D1	2022-09-23	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-träskiva Skruv (slag baksida) Skumgummi E/F, D (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.30,0.70)
E1D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (5 slag), linjal (5 slag) (slag innan stöd) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.05 (x; x+0.05; x+0.10) Okänd
E2D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Trästöd D,E,F (på rad) 0.05 (x; x+0.05; x+0.10) Okänd
E3D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Trästöd + tvingad D,E,F (på rad) 0.05 (x; x+0.05; x+0.10) Okänd
E4D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Limfogs kiva Skruv (Slag i radiell/tangentiell riktning) Trästöd D,E,F (på rad) 0.10 (x; x+0.10; x+0.20) Okänt
E5D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	Regel Brännare (undersida) Trästöd D,E,F (på rad) 0.50 (0,50; 1.00; 1.50) (Sätts till 0) 0.02

E6D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	Regel Brännare (undersida) Trästöd D,E,F (på rad) 0.50 (0.50; 1.00; 1.50) (Sätts till 0) 0.02
E7D2	2022-10-04	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	Regel Brännare (undersida) Trästöd D,E,F (på rad) 0.20 (0.50; 0.70; 0.90) (Sätts till 0) 0.02
E1D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-balk Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.05 (1.45; 1.50; 1.55) Sätts till 0
E2D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-balk Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 0.30 (1.20; 1.50; 1.80) Sätts till 0
E3D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-balk Skruv (slag ovansida) Skumgummi D,E,F (på rad) 1.45 (0.05 ; 1.50; 2.95) Sätts till 0
E4D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	KL-balk Skruv (slag ovansida) Skumgummi på kanterna av balk + i mitten D,E,F (på rad) 1.45 (0.05 ; 1.50; 2.95) Sätts till 0
E5D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag ovansida) Upphängd D,E,F (på rad) 0.3 (0.30; 0.60; 0.90) Sätts till 0

E6D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag på undersida) Upphängd D,E,F (på rad) 0.3 (0.30; 0.60; 0.90) Sätts till 0
E7D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag på ovasida) Upphängd D,E,F (på rad) 0.05 (0.55; 0.60; 0.65) Sätts till 0
E8D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Regel Skruv (slag på undersida) Upphängd D,E,F (på rad) 0.05 (0.55; 0.60; 0.65) Sätts till 0
E9D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	Regel Brännare (undersida) Trästöd D,E,F (på rad) 0.3 (0.20; 0.50; 0.80) Sätts till 0 0.020
E10D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Stor KL-skriva Skruv (slag framsida) Golv + fasttvingad D,E,F (på rad) 0.05 (1.45; 1.50; 1.55) Sätts till 0
E11D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Stor KL-skriva Skruv (slag baksida) Golv + fasttvingad D,E,F (på rad) 0.05 (1.45; 1.50; 1.55) Sätts till 0
E12D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Stor KL-skriva Skruv (slag framsida) Golv + fasttvingad D,E,F (på rad) 0.3 (1.20; 1.50; 1.70) Sätts till 0

E13D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Stor KL-skriva Skruv (slag baksida) Golv + fasttvingad D,E,F (på rad) 0.3 (1.20; 1.50; 1.70) Sätts till 0
E14D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Stor KL-skriva Skruv (slag framsida) Golv + fasttvingad D,E,F (på rad) 1.45 (0.05; 1.50; 1.95) Sätts till 0
E15D3	2022-10-19	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla:	Stor KL-skriva Skruv (slag baksida) Golv + Fasttvingad D,E,F (på rad) 1.45 (0.05; 1.50; 1.95) Sätts till 0
E1D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	KL-trä Brännare (upptill på KL-skiva) Uppfäst på stolpar som står på skumgummi D, E/F (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.30; 0.15,0.56; 0.45,0.56) (0.30,0.10) 0.02
E2D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	KL-trä (eldar på föreg.) Brännare (upptill på KL-skiva) Uppfäst på stolpar som står på skumgummi E/F, D (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.56; 0.15,0.30; 0.45,0.30) (0.30,0.10) 0.02
E3D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	Stor KL-skiva Brännare Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar E/F, D (liksidig triangel) 0.30 (0.30,0.43; 0.56,0.28; 0.56,0.58) (2.56, 0.43) (mynning 0.6) 0.02
E4D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon:	Stor KL-skiva Brännare Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar E/F, D (liksidig triangel)

		Avstånd mellan mikrofoner: 0.50 Koordinater mikrofoner (D,E,F): (0.30,0.43; 0.73,0.18; 0.73,0.68) Koordinater ljudkälla: (2.43,0.43) (mynning 0.6) Flöde: 0.02
E5D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Stor KL-skiva Ljudkälla: Brännare Upplägg: Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar Närmaste mikrofon: F, E, D (på rad) Avstånd mellan mikrofoner: 0.50 Koordinater mikrofoner (D,E,F): (0.43,0.43; 0.93, 0.43; 1.43,0.43) Koordinater ljudkälla: (2.43, 0.43) (mynning 0.6) Flöde: 0.02
E6D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Stor KL-skiva Ljudkälla: Brännare Upplägg: Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar Närmaste mikrofon: D, E/F (liksidig triangel) Avstånd mellan mikrofoner: 0.05 Koordinater mikrofoner (D,E,F): (1.61,0.43; 1.57, 0.46; 1.57,40) Koordinater ljudkälla: (2.11; 0.43) (mynning 0.6)
E7D4	2022-10-21	Försöksobjekt: Stor KL-skiva Ljudkälla: Brännare Upplägg: Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar Närmaste mikrofon: D,E,F (på rad) Avstånd mellan mikrofoner: 0.05 Koordinater mikrofoner (D,E,F): (1.61, 0.43; 1.56, 0.43; 1.51, 0.43) Koordinater ljudkälla: (2.11;0.43) (mynning 0.6)
E1D5	2022-10-24	Försöksobjekt: Stor KL-skiva (mikrofon D lös) Ljudkälla: Brännare Upplägg: Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar Närmaste mikrofon: D, E/F (liksidig triangel) Avstånd mellan mikrofoner: 0.1 Koordinater mikrofoner (D,E,F): (1.37,0.43; 1.28,0.375; 1.28,0.475) Koordinater ljudkälla: (1.96; 0.43) (mynning 0.6) Flöde : 0.03
E2D5	2022-10-24	Försöksobjekt: Stor KL-skiva (mikrofon E lös) Ljudkälla: Brännare Upplägg: Uppställd på stöd och tvingad mot stolpar Närmaste mikrofon: D, E/F (liksidig triangel) Avstånd mellan mikrofoner: 0.1 Koordinater mikrofoner (D,E,F): (1.37,0.43; 1.28,0.375; 1.28,0.475) Koordinater ljudkälla: (1.81; 0,43) (mynning 0.6) Flöde: 0.03

E3D5	2022-10-24	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	KL-balk Brännare (sidan av balk) Tvingad på skumgummi D,E,F (på rad) 0.3 (1.20; 1.50; 1.80) Sätts till 0 0.02
E4D5	2022-10-24	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	KL-balk Brännare (sidan av balk) Tvingad på skumgummi D,E,F (på rad) 0.1 (1.40; 1.50; 1.60) Sätts till 0 0.02
E5D5	2022-10-24	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde:	KL-balk Brännare (sida av balk) Tvingad på skumgummi D,E,F (på rad) 1.35 (0.20, 1.55; 2.9) Sätts till 0 0.02
E6D5	2022-10-24	Försöksobjekt: Ljudkälla: Upplägg: Närmaste mikrofon: Avstånd mellan mikrofoner: Koordinater mikrofoner (D,E,F): Koordinater ljudkälla: Flöde: Kommentar:	Två KL-skivor (kavitet) Brännare Uppfäst på regler som står på skumgummi E/F,D (liksidig triangel) 0.1 (0.09,0.1; 0.19,0.1; 0.145, 0.18) (0.43, 0.91) 0.02 Såg ut som att det brann mer på motsatt sida än mikrofonerna satt på