

CHALMERS



Utbredning av akustiska vågor i elastisk platta

Kandidatarbete i Tillämpad Mekanik

ALAIN POWELL
ALEXANDER SCOTT
FREDRIK LARSSON
FREDRIK NIHLMARK
GUSTAV STENBERG
HAMPUS JAKOBSEN

Institutionen för Tillämpad Mekanik
Avdelningen för Dynamik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2013
Kandidatarbete 2013:01

KANDIDATARBETE 2013:01

Utbredning av akustiska vågor i elastisk platta

Kandidatarbete i Tillämpad Mekanik

ALAIN POWELL
ALEXANDER SCOTT
FREDRIK LARSSON
FREDRIK NIHLMARK
GUSTAV STENBERG
HAMPUS JAKOBSEN

Institutionen för Tillämpad Mekanik
Avdelningen för Dynamik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2013

Utbredning av akutiska vågor i elastisk platta

Kandidatarbete i Tillämpad Mekanik

ALAIN POWELL

ALEXANDER SCOTT

FREDRIK LARSSON

FREDRIK NIHLMARK

GUSTAV STENBERG

HAMPUS JAKOBSEN

© ALAIN POWELL, ALEXANDER SCOTT, FREDRIK LARSSON, FREDRIK NIHLMARK, GUSTAV STENBERG, HAMPUS JAKOBSEN, 2013

Kandidatarbete 2013:01

ISSN 1654-4676

Institutionen för Tillämpad Mekanik

Avdelningen för Dynamik

Chalmers Tekniska Högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:

Isbelägg på vindkraftverkens rotorblad. Foto av Kent Larsson på ABvee.

Chalmers Reproservice

Göteborg, Sverige 2013

Propagation of acoustic waves in an elastic plate
Bachelor's thesis in Applied Mechanics

ALAIN POWELL

ALEXANDER SCOTT

FREDRIK LARSSON

FREDRIK NIHLMARK

GUSTAV STENBERG

HAMPUS JAKOBSEN

Department of Applied Mechanics

Division of Dynamics

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Today, wind power is the most increasing source of energy in terms of use; it is increasing 30% of usage per year [1]. A huge problem, when it comes to wind turbines, is the fact that icing of the rotor blades causes a high efficiency decrease. To prevent this problem, various deicing systems are currently used. All these systems have the same requirements; they need to be well-functioning and reliable and at the same time responsive to small amounts of ice as to a quick deicing. During the spring of 2013, on behalf of the department of Applied Mechanics at Chalmers University of Technology, this project was made. It is affiliated with a research program at the Swedish Wind Power Technology Center. This project was meant to find a method that would detect external mass on an elastic composite plate by using acoustic waves. In this way this project would contribute to solving the icing problem that currently exists. In the early beginning the above objective was stated, along with two separate objectives:

1. Design and construct a physical model meant to support the experiments, i.e. Design of Experiment (DoE).
 - Considering the experiments, what are the targets and why?
 - What tools are needed for the test setup?
 - How should the test setup be constructed in order to reach the targets?
 - What kind of experiments need to be done?

2. Establish a decision making system
 - In what way should raw data be processed and why?
 - For what angle on the actuator is the most responsive reading obtained?
 - In what way should the decision making system decide whether there is external mass or not?

By generating elastodynamic waves by using an angled actuator and sending those into an elastic plate, the elastodynamic waves could be analyzed. This was made by placing sensors in the form of accelerometers that would send the readings to an oscilloscope. These would then be processed in Labview and later on analyzed in MATLAB. By looking at differences in amplitude and comparing these with the amplitudes of a reading containing no external mass, the decision making system could tell whether there was external mass or not. For the clearest result, it turned out that the angle on the actuator should be placed at (0° ; 45°) and that the longitudinal

polarization, furthest from the actuator, gave the most useful result considering external mass detection. It was also concluded that the best way of placing the sensors, was putting them at the tip of the plate furthest away from the actuator. The final product was a decision making system comparing maximal amplitudes for a weighted plate with maximal amplitudes measured without an external mass. If the difference between these two cases exceeds a certain tolerance, the program would tell you whether there is an external mass present. By studying more ways of processing the raw data in the future, you could find out where the external mass is, the weight of the external mass and also the type of the external mass. Answering these questions will form a good base towards developing a complete ice detection system. This project has got a huge potential in turning into a big success if someone is willing to keep up this work. Due to the magnitude of this icing problem some further work within this project is most valuable.

Utbredning av akustiska vågor i elastisk platta

Kandidatarbete i Tillämpad Mekanik

ALAIN POWELL

ALEXANDER SCOTT

FREDRIK LARSSON

FREDRIK NIHLMARK

GUSTAV STENBERG

HAMPUS JAKOBSEN

Institutionen för Tillämpad Mekanik

Avdelningen för Dynamik

Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANDRAG

Vindkraft är idag den energikälla som ökar mest i hela världen; ökningen är på över 30 % per år [1]. När det kommer till vindkraftverk är nedisning av vindkraftverkens rotorblad ett stort problem, då isen speciellt drar ner vindkraftverkens effektivitet. Idag används olika avisningssystem för att ta bort isen på vindkraftverkens rotorblad. Gemensamt för alla avisningssystem är att de ställer höga krav på ett välfungerande och pålitligt isdetekteringssystem som är känsligt för små mängder is, så att isen kan avlägsnas i tid. Under våren 2013 och på uppdrag från institutionen för Tillämpad Mekanik vid Chalmers Tekniska Högskola, genomfördes en undersökning över ovanstående, i form av ett projektarbete. Denna undersökning har anknytning till ett projekt som ingår i ett forskningsprogram vid Svensk Vindkraftverks Tekniskt Centrum. Projektarbetet ämnade finna en så känslig metod som möjligt för att detektera pålagd massa på en elastisk platta av kompositmaterial med hjälp av akustiska vågor. Projektarbetet syftade därigenom till att bidra med forskning för att lösa isningsproblemet på rotorbladen hos vindkraftsverk. Projektet var indelat i två delmål som inryms i ovanstående huvudmål:

1. Designa och upprätta en fysisk modell för experimentering, dvs. Design of Experiment (DoE).
 - Vad vill man få ut av experimenten och varför?
 - Vilka verktyg fordras till testriggen?
 - Hur skall experimentet riggas för att uppnå det önskade resultatet?
 - Vilka experiment behöver genomföras?
2. Upprätta ett beslutsfattande system.
 - Hur skall rådata behandlas och varför?
 - För vilken vinkel på aktuatoren samt för vilken sensor erhålls den känsligaste avläsningen?
 - Hur skall systemet avgöra om det finns pålagd massa eller ej?

Genom att generera elastodynamiska vågor med hjälp av en vinkelställd aktuator och sedan skicka in dessa i en elastisk platta, kunde vågorna analyseras. Detta gjordes med sensorer i form av accelerometrar som påverkades av vågen och skickade elektriska signaler till ett oscilloskop. Dessa vågor behandlades i Labview och analyserades sedan i MATLAB. Genom att kolla på skillnader i vågornas amplitud mellan platta utan masspålägg och platta med masspålägg, kunde man tydligt se huruvida det fanns extra massa på den elastiska plattan eller inte. Det visade sig att tydligast resultat gavs

när aktuatoren var inställd på (0° ; 45°) samt att den longitudinella polarisationen i plattan längst bort från aktuatoren gav det mest användbara resultatet för detektering huruvida det fanns extra massa. Det fastställdes också att det är bäst att placera sensorerna längst ut på den elastiska plattan. Slutprodukten blev ett beslutsfattande system som automatiskt jämför maxamplituder för det belastade fallet med ett obelastat fall. Överskrider dessa en viss nivå, signalerar programmet att det finns extra massa. Genom att studera fler behandlingsmetoder av data, kan ett fortsatt arbete ge svar på var extramassan befinner sig, hur mycket extramassan väger samt vad den extra massan är för någonting, vilket skulle vara en bra bit på väg till ett fullständigt isdetekteringssystem. Projektet har stor potential att bli något riktigt bra om arbetet förs vidare. På grund av att isbildning och avisning på vindkraftverk är ett sådant stort problem idag så är ett fortsatt arbete inom detta område mycket värdefullt.

FÖRORD

Detta arbete är ett kandidatarbete utfört vid institutionen för Tillämpad Mekanik på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet utfördes under vårterminen 2013 av sex stycken studenter vid maskintekniska programmet. Syftet med projektet var att finna en så känslig metod som möjligt för att detektera en pålagd massa på en elastisk platta av kompositmaterial med hjälp av akustiska vågor. Gruppen vill tacka handledare Bo Peterson och Jan Möller samt examinator Viktor Berbyuk för all den fantastiska hjälp de bidragit arbetet med under arbetets gång.

Kandidatarbetet har koppling till ett forskningsprogram vid **Svenskt Vindkrafts-Tekniskt Centrum (SWPTC)** <http://www.chalmers.se/ee/swptc-sv>.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT.....	i
SAMMANDRAG	iii
FÖRORD	v
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	vii
1 Inledning	1
1.1 Syfte och mål	2
1.2 Teorier och verktyg	3
1.2.1 Akustiska vågor	3
1.2.2 Elastisk platta	4
1.2.3 Aktuator	5
1.2.4 Sensorer.....	5
1.2.5 Oscilloskop	6
1.2.6 Labview.....	7
1.2.7 Signalbehandling.....	9
1.2.8 MATLAB.....	11
1.3 Metod	11
2 Undersökning	14
2.1 Design of experiment	14
2.2 Beslutsfattande system	19
3 Diskussion	25
4 Slutsatser	27
5 Fortsatt forskning	28
Bibliografi	30
A APPENDIX – Ritningar	i
B APPENDIX – Ordlista till Labview	v
C APPENDIX – Labview manual	vi
D APPENDIX – Resultat från STFT	xii

E APPENDIX – Sensorplacering.....xiii

1 Inledning

Vindkraft är den energikälla som ökar mest i världen; ökningen är på över 30 % per år [1]. För att få vindkraften effektiv, behöver vindkraftverken även placeras på platser där klimatet kan vara påfrestande för konstruktionen. I kalla klimat är atmosfärisk nedisning av vindkraftverkens rotorblad ett stort problem. Istillväxten beror på temperatur, relativ lufthastighet, luftfuktigheten och vattendropparnas storlek och kan ge upphov till en rad olika problem. Ett litet tunt lager is på rotorbladen kan ha stor effekt på gränsskiktet över rotorbladens yta och minska lyft- samt dragkoefficienten markant. På grund av dessa två faktorer försämras vindkraftverkets effekt. Ett tjockare lager is kan förorsaka obalans och försämra livslängden på lagerna i vindkraftverken. Därtill föreligger det en risk i och med att isen kan lossna och flyga iväg, vilket kan skada både människor och omgivning. Stora islagringar kan även förstöra hela vindkraftverket, vilket skulle vara oerhört kostsamt [2].

Nedisningen av vindkraftverkens rotorblad är, som ovan påvisats, ett stort problem. Idag används olika avlägsningssystem för att avlägsna isen på vindkraftverkens rotorblad. Vindkraftsbolaget Enercon har utvecklat en teknik med varmluftskanaler, vilket innebär att varm luft pumpas från fläktarna i turbinhuset genom kanaler utmed rotorbladen, vilket får isen på bladen att smälta [3]. Problemet med denna lösning är att vindkraftverket inte kan producera el till sin egen avisning. Därmed måste vindkraftverket stå stilla under avisningen, vilket blir kostsamt på grund av den förlorade elproduktionen. En annan avisningsmetod som används idag är bladvärmsystem [3]. Genom att leda ström längs med bladens framkant, värms bladen upp och smälter isen. Problemet med denna lösning är att veta när systemet skall aktiveras. Det blir kostsamt om man aktiverar systemet för tidigt eller för sent.

Gemensamt för ovanstående avisningssystem är att de ställer höga krav på ett väl fungerande och pålitligt isdetekteringssystem, som är känsligt för små mängder is, så att isen kan avlägsnas i tid. Idag detekterar man is på vindkraftverkens rotorblad via två olika metoder: direkt eller indirekt [2]. Direkt metod innebär att man studerar hur olika fysikaliska storheter ändras på grund av anhopning av is. Detta studeras genom att placera olika mätsensorer på rotorbladen, vilka mäter olika storheter. Exempel på de olika fysikaliska storheterna som studeras är reflekterande egenskaper, elektrisk eller termisk ledningsförmåga, dielektrisk koefficient och induktans. Indirekt metod grundar sig i att identifiera väderförhållandena som leder till nedisning, alternativt identifiera följderna av nedisningen, som exempelvis kan vara reducerande elproduktion. Anar man att det råder gynnsamma förhållanden för nedisning, använder man sig av en modell, antingen empirisk eller deterministisk, för att avgöra om is är närvarande. Problemen med de nuvarande isdetekteringssystemen är att de är mer eller mindre manuella och/eller okänsliga för tunna lager av is [2].

En teknik för isdetektering som ännu inte har applicerats på vindkraftverkens rotorblad, men som man har kommit långt med inom flygplansindustrin, är akustisk vågteknik [4]. Akustiska vågor har sedan en längre tid tillbaka använts för icke förstörande testning. Genom att skicka akustiska vågor genom en struktur när strukturen är ny och i ett skick som den skall vara, är det möjligt att jämföra hur vågorna breder ut sig vid ett tillfälle med ett senare tillfälle, då det råder osäkerhet kring hur strukturen har utvecklats med tiden. Man kan även jämföra med resultatet från befintliga beräkningsmodeller. Förändringar i hur de akustiska vågorna breder ut sig i strukturen kan besvara om det har uppkommit några inre defekter som är svåra

att se eller om det har tillkommit några okända massor som är svåra att finna. Detta kan kopplas till ett koncept som heter Structural Health Monitoring (SHM), som är ett koncept som bygger på att man kan upptäcka och åtgärda förändringar i en struktur för att förbättra pålitligheten och för att reducera livscykelkostnaderna [5]. SHM-processen innefattas av observation av ett system över tid med hjälp av periodiskt samplade dynamiska mätningar från en mängd sensorer, etablering av skade-känsliga funktioner utifrån sensormätningarna och den statistiska analysen av dessa funktioner för att bestämma systemets aktuella hälsa. För långsiktig SHM genomförs denna process repetitivt för att regelbundet uppdatera strukturens status [6]. Idag är det vanligt att man utnyttjar just akustisk vågteknik när SHM-konceptet tillämpas. Eftersom akustisk vågteknik är applicerbart för SHM, har man även lyckats använda akustisk vågteknik för isdetektering på flygplansvingarna, som tidigare nämnts.

På grund av det rådande problemet med is på vindkraftverkens rotorblad och avsaknaden av önskvärd teknik inom vindkraftsindustrin, undersöktes tillämpbarheten av befintlig teknik inom flygplansindustrin på vindkraftverkens rotorblad. Mer specificerat undersöktes möjligheten att använda akustisk vågteknik för att detektera och klassificera is på vindkraftverkens rotorblad. I dagsläget har man inte lyckats finna ett effektivt sätt att tillämpa akustisk vågteknik för att detektera is på vindkraftverkens rotorblad. Problemet med att överföra tillämpningen av denna teknik från flygplansindustrin till vindkraftsindustrin, är att kraven för isdetektering på vindkraftverkens rotorblad skiljer sig från kraven för isdetektering på flygplansvingarna [2].

Under våren 2013 och på uppdrag från institutionen för Tillämpad Mekanik vid Chalmers Tekniska Högskola, genomfördes ovanstående undersökning i form av ett projektarbete. Denna undersökning har anknytning till ett projekt som ingår i ett forskningsprogram vid Svensk Vindkraftverks Tekniskt Centrum, vilket indikerar att detta problem är både aktuellt och relevant.

1.1 Syfte och mål

Projektarbetet ämnade finna en så känslig metod som möjligt för att detektera pålagd massa på en elastisk platta av kompositmaterial med hjälp av akustiska vågor. Projektarbetet syftade därigenom till att bidra med forskning för att lösa nedisningsproblem på rotorbladen hos vindkraftsverk.

Projektet var indelat i två delmål som inryms i ovanstående huvudmål:

1. Designa och upprätta en fysisk modell för experimentering, dvs. Design of Experiment (DoE). En teoretisk grund skall etableras som motivering till testriggens utseende. Utrustning till mätinstrument skall konstrueras och tillsammans med mätinstrumenten monteras på det elastiska materialet. Frågor som skall besvaras är:
 - Vad vill man få ut av experimenten och varför?
 - Vilka verktyg fordras till testriggen?
 - Hur skall experimentet riggas för att uppnå det önskade resultatet?
 - Vilka experiment behöver genomföras?

2. Upprätta ett beslutsfattande system. Data från vågutbredningen i det elastiska materialet skall registreras av sensorer och behandlas av Labview, som skall skicka vidare data till MATLAB, där den analyseras. Utifrån analysen skall olika fysikaliska storheter i plattan bestämmas, samtidigt som ett system skall upprättas som avgör om någon pålagd massa är närvarande. Frågor som skall besvaras är:
 - Hur skall rådata behandlas och varför?
 - För vilken vinkel på aktuatoren samt för vilken sensor erhålls den känsligaste avläsningen?
 - Hur skall systemet avgöra om det finns pålagd massa eller ej?

1.2 Teorier och verktyg

I följande avsnitt presenteras och motiveras valen av de teorier och verktyg, som har använts för att besvara frågorna under respektive delsyfte. De utnyttjade teorierna och verktygen ligger även till grund för val av metod.

1.2.1 Akustiska vågor

En akustisk våg är en våg som består av en sekvens av tryckpulser eller elastiska förskjutningar i ett medium, vare sig det gäller gaser, fluider eller solider som vågen propageras i [7]. I gaser och fluider består vågorna av kompressionsvågor om man försummar viskösa krafter. Akustiska vågor i en solid kallas för elastodynamiska vågor och fortplantas expansivt genom materialet och består av sekvenser av elastiska kompressioner och skjuvdeformationer. I detta arbete studerades elastodynamiska vågor, då vågorna var tänkta att induceras i ett elastiskt material som liknas vid rotorbladen på ett vindkraftverk. Elastodynamiska vågor kan delas upp i tre polarisationer, longitudinell, som är riktningen vågen propageras i, samt två inbördes ortogonala riktningar, som även är ortogonala till den longitudinella riktningen. Hastigheten av den propagerande vågen i soliden beror på materialets temperatur, tryck, densitet och elastiska egenskaper [8]. Samtliga polarisationer har beaktats i detta arbete.

Med akustiska vågor kan man mäta grupp-hastigheter, fashastigheter, egenfrekvenser och amplituder, vilka man kan använda för analys. Grupp-hastigheten är hastigheten för vågutbredningens energi och fashastigheten är hastigheten för individuella vågor i vågutbredningen [5]. Generellt sett tenderar fashastigheten att vara större än grupp-hastigheten, vilket kallas för klassisk dispersion. Dispersion kallas det fenomen då en akustisk våg delar upp sig i sina beståndsdelar då den propagerar i materialet [11]. Klassisk dispersion innebär att individuella vågor uppstår bakom det kollektiva vågpaketet och färdas till den främre delen av vågpaketet, där de dör ut. När fashastigheten är lika med grupp-hastigheten, upplevs ingen dispersion. I plattor tenderar dock grupp-hastigheten att vara större än fashastigheten, vilket då kallas för anomal dispersion. Detta innebär att individuella vågor uppstår framför det kollektiva vågpaketet och färdas till den bakre delen av vågpaketet, där de dör ut.

Utöver grupp- och fashastigheter, kan man mäta ett föremåls egenfrekvens. En egenfrekvens är den frekvens ett elastiskt föremål börjar svänga med om föremålet utsätts för en fysisk kraft under en kort tidsperiod, exempelvis en stöt [12].

1.2.2 Elastisk platta

För att kunna analysera utifrån tidigare nämnda parametrar, behöver man ett material att propagera de akustiska vågorna i. I detta projekt användes ett elastiskt material. Ett elastiskt material har som egenskap att vid små deformationer vid belastning återgå till sin ursprungsform när belastningen upphör [13]. I denna undersökning har en elastisk platta av anisotropiskt material studerats. Ett anisotropiskt material är ett material vars fysiska egenskaper skiljer sig beroende på vilken riktning i materialet man beaktar. Dess motsats, ett isotropiskt material, innebär identiska fysiska egenskaper i materialets alla riktningar. Glas är ett exempel på ett isotropiskt material [8]. Trä är ett naturligt anisotropiskt material [9], [10].

Det fanns flera anledningar till att en elastisk anisotropisk platta användes vid undersökningen. Ett verkligt rotorblad på ett vindkraftverk har en komplex geometri och är tillverkat i glasfiber och antingen vinylester eller epoxi, vilket gör det till ett anisotropiskt material i och med glasfibrernas ordnade struktur. För att underlätta undersökningen användes en platta med ett rektangulärt tvärsnitt tillverkad i glasfiber och vinylester, vilket gör plattan till ett lämpligt testobjekt. Den elastiska plattan var 8000 mm lång, 200 mm hög och 15 mm bred och åskådliggörs i figur 1.2.1.

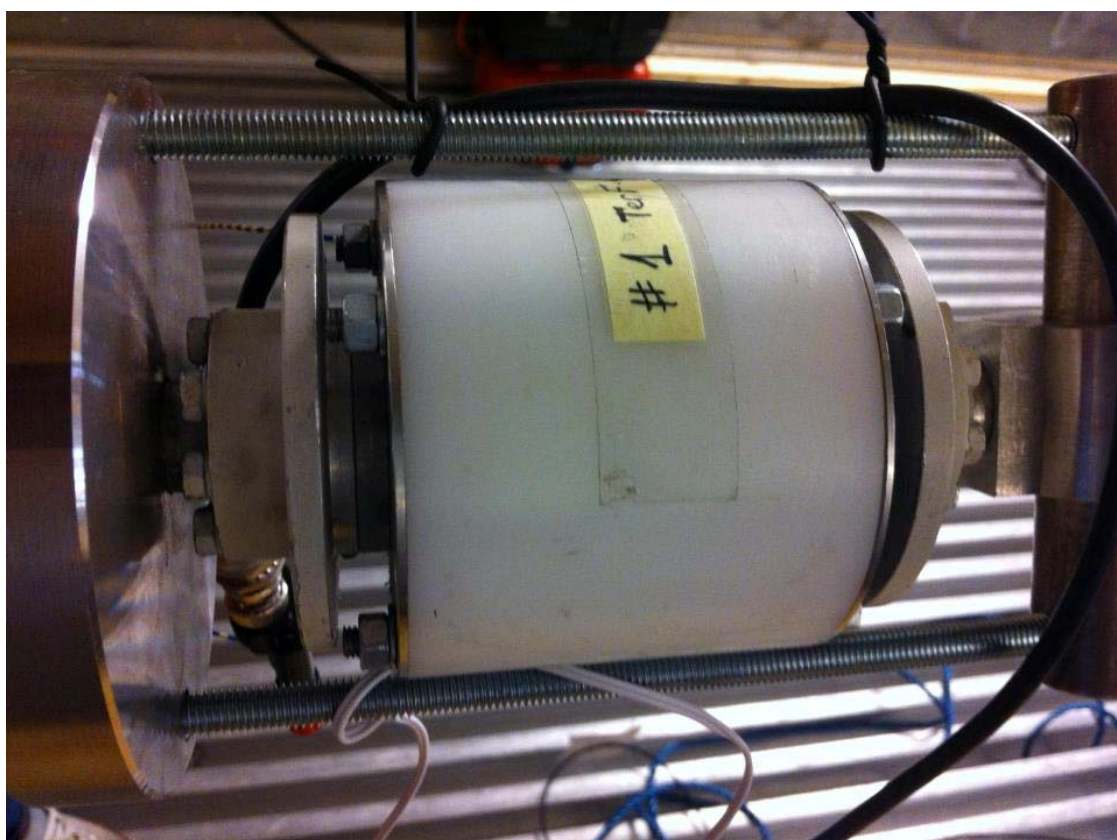


Figur 1.2.1: Figuren visar plattan som användes för undersökningen.

Det finns en analytisk lösning av vågutbredningen i en elastisk platta med enkel rektangulär geometri, för det isotropa fallet [8] och för det anisotropa fallet [9]. Man kan använda den analytiska lösningen för det anisotropa fallet för att verifiera testresultaten. Detta var ytterligare en anledning till att en elastisk anisotropisk platta användes som testobjekt.

1.2.3 Aktuator

För att kunna generera elastodynamiska vågor i ett material, kan en så kallad aktuator användas. En aktuator är en mekanisk del som används för att kontrollera en mekanism eller för att kontrollera någon typ av system [14]. Aktuatorns funktion är att inducera en stöt, som ger upphov till mekaniska vibrationer i plattan då man tillför en elektrisk ström som varierar med tiden. Inuti en aktuator finns ett material som heter galfenol, som är en legering mellan galium och järn. Galfenol är ett magnetostriktivt material, dvs. material som kan konvertera magnetisk energi till rörelseenergi eller vice versa [15]. Då det tillförs en växelström till en spole runt galfenolet, bildas vibrationer i detsamma. Likaså kan det utvinnas energi genom att tillföra vibrationer till galfenolbiten [15]. För denna undersökning användes en så kallad magnetostriktiv omvandlare som aktuator för våggenerering, då den hade byggts och testats vid tidigare experiment vid Chalmers Tekniska Högskola [16]. Den vita cylindern i figur 1.2.2 är aktuatoren som användes i undersökningen.



Figur 1.2.2: Figuren visar aktuatoren som användes. Här är aktuatoren monterad i fästet.

1.2.4 Sensorer

Genom användandet av sensorer, kan man läsa av effekter av den vågutbredning som en aktuator genererar. En sensor är ett fysiskt föremål som registrerar information, gör om denna information och i vissa fall även genererar en form av signal med denna information [17]. För denna undersökning användes accelerometrar för avläsning av vågutbredningarna.

En accelerometers funktion är att mäta accelerationen av mekaniska förskjutningar som uppstår i ett material. Den kan endast mäta i en dimension. En typ av accelerometer består av ett yttre hölje med en vikt upphängd mellan piezoelektriska kristaller.

En piezoelektrisk kristall kan generera en elektrisk laddning när den belastas med ett tryck eller en mekanisk spänning [18]. När en acceleration verkar på kristallen, sker en relativ förflyttning av tyngden inuti höljet och det uppstår en elektrisk spänning. Det finns även andra typer av accelerometrar. En äldre typ använder sig av magneter. Genom att magneterna utsätts för lägesförskjutningar inuti en spole, induceras elektriska spänningar som kan avläsas. Det finns också en nyare typ av accelerometer som använder sig av små kiselstavar. Denna nyare modell kan även registrera gravitation, vilket gör den användbar inom flera områden [19].

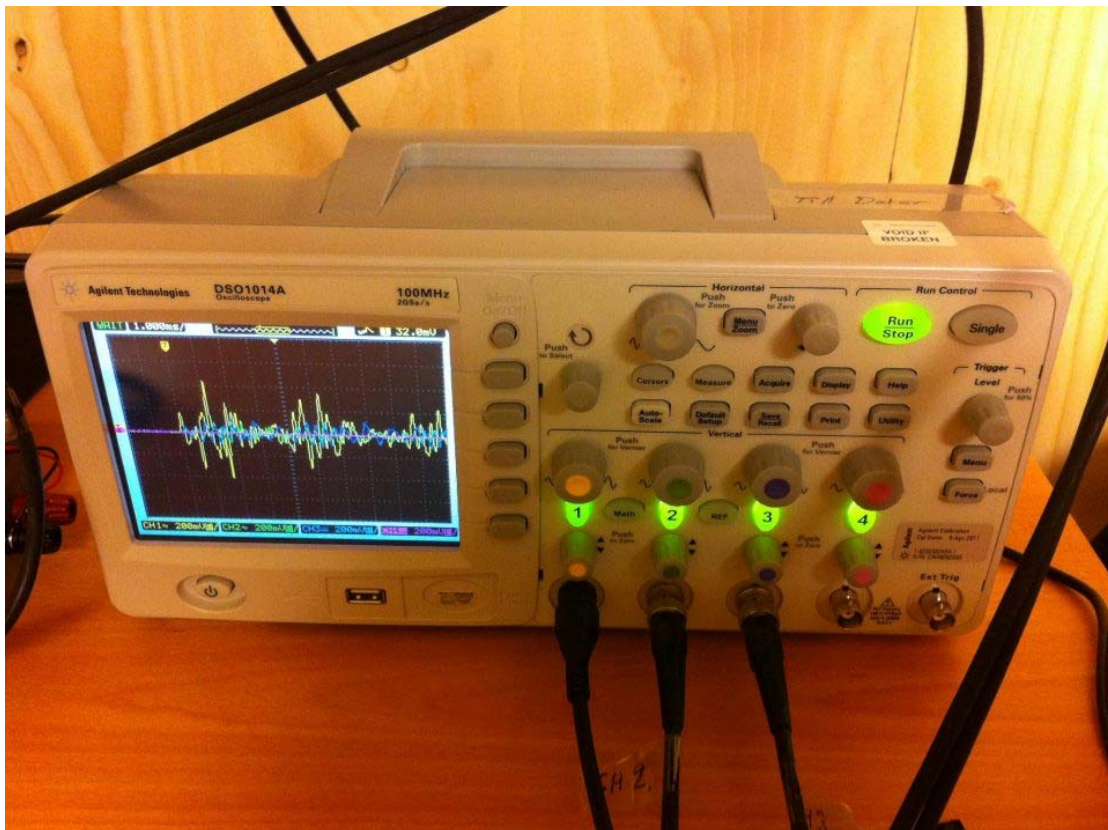
I detta projekt användes accelerometrar av typen IMI608A11, som bygger på principen med piezoelektriska kristaller. Frekvensspannet för accelerometern som användes är mellan 0.5-10000 Hz och känsligheten är 100mV/g [20]. Detta blev det naturliga valet, då den äldre typen var för gammal och opålitlig, medan den nyare var för dyr och överkvalificerad för denna undersökning. Figur 1.2.3 visar den typen av accelerometer som användes för mätning av accelerationen av mekaniska förskjutningarna.



Figur 1.2.3: Accelerometer av typen IMI608A11. I figuren är den monterad i ett sensorfäste.

1.2.5 Oscilloskop

För att kunna registrera sensorernas utslag, kan man använda sig av ett så kallat oscilloskop. Ett oscilloskop är ett mätinstrument som kan användas för att mäta spänningen från ett avläsningsinstrument [21]. Därtill kan oscilloskopet omvandla signaler från analoga till digitala. Oscilloskopet som användes i denna undersökning var av modellen Agilent Technologies DSO1014A. Figur 1.2.4 illustrerar oscilloskopet av den modellen som användes i undersökningen.

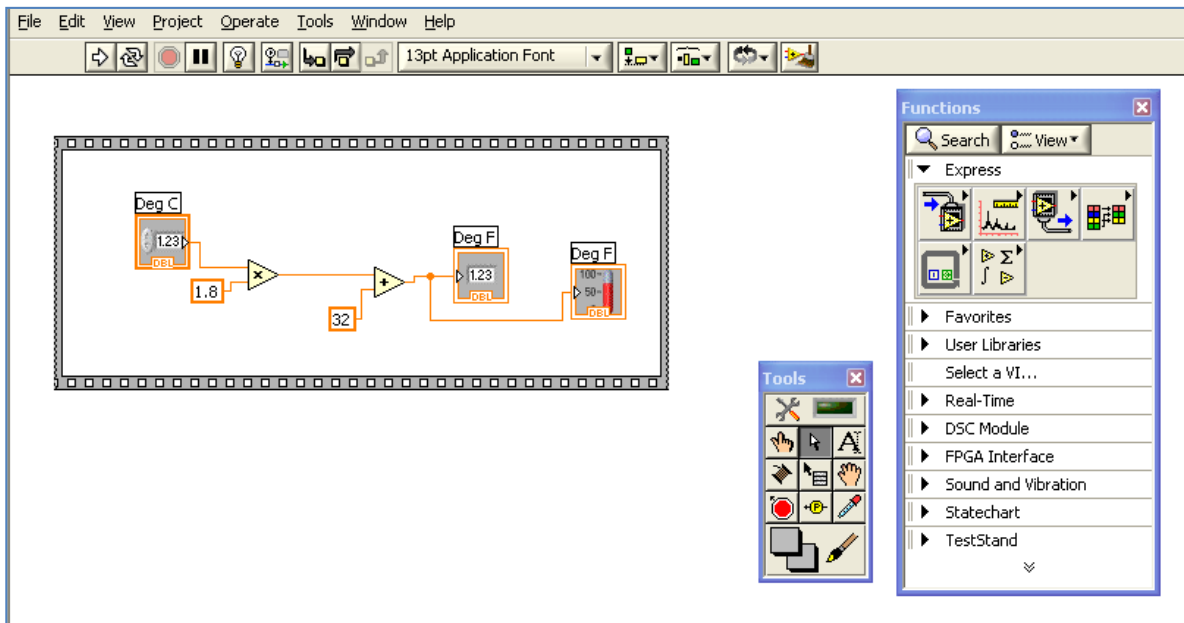


Figur 1.2.4: Oscilloskopet med tre accelerometrar inkopplade i kanal 1, 2 och 3. I det digitala fönstret visas amplitud-tid graferna för respektive kanal.

Det fanns flera anledningar till varför ett oscilloskop användes. Det är enkelt att föra över den information som oscilloskopet registrerat till beräknings- och signalbehandlingsprogram för vidare analys. Därtill är det ett smidigt sätt att kontinuerligt registrera signalernas utslag. Istället hade man kunnat utföra mätningar manuellt med hjälp av en voltmeter, vilket hade varit ett mycket mer tidskrävande alternativ.

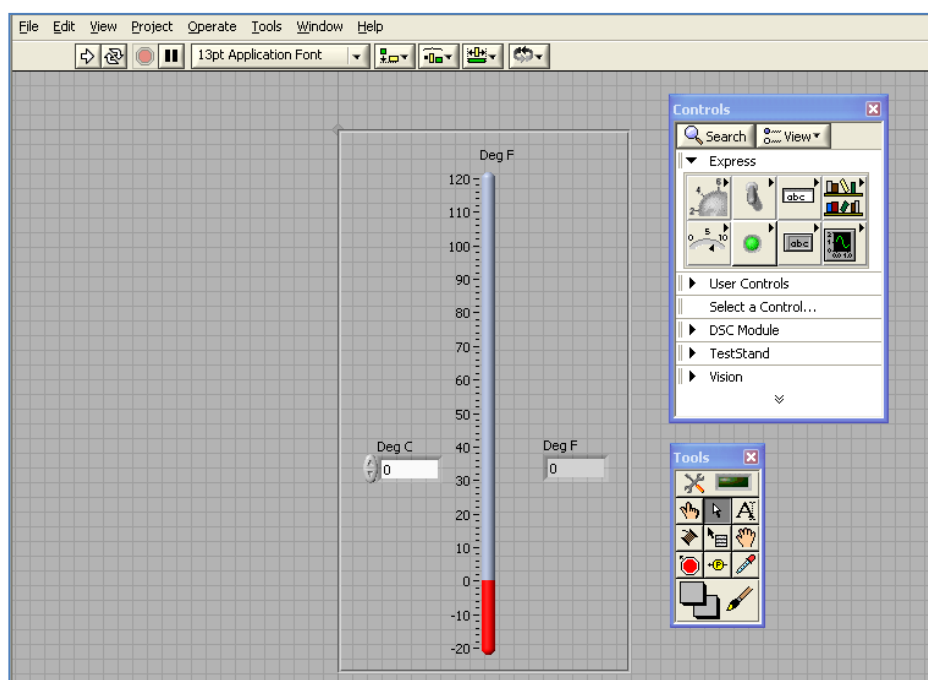
1.2.6 Labview

För att ta ut och behandla mätdata från oscilloskopet, användes mjukvaruprogrammet Labview. Labview är ett datorprogram skapat av National Instruments, vilket använder ett grafiskt programmeringsspråk, vars funktion är att automatisera processer och mätinstrument i en labbmiljö [22]. Labview har ett arbetarvänligt interface och är effektivt vid beräkning och behandling av signaler. Man kan jämföra programmeringen i Labview med att lägga ett pussel, dvs. det gäller att finna rätt bitar och de bitar som passar med varandra. Programmet är uppdelat i två gränssnitt: frontpanelen och blockschemat. Frontpanelen är det fönster där man styr programmet som användare, medan blockschemat är det fönster där man gör själva råprogrammeringen. Figur 1.2.5 är ett förtydligande exempel på ett program som omvandlar Celsius till Fahrenheit.



Figur 1.2.5: Blockschema för temperaturomvandling från Celsius till Fahrenheit.

Programmeringen i blockschemat är uppdelad i funktioner som binds samman med så kallade wires (sv. trådar). Dessa är de orangea linjerna som syns i figur 1.2.5. Funktionerna är boxarna samt trianglarna som syns i bilden. Funktionernas olika utseenden beror på vilken typ av funktion det är. Man använder sig också av loopar och sekvenser i Labview. I exemplet med temperaturomvandlingen används en flat sequence (den gråa ramen runt om), som talar om i vilka steg programmet skall jobba. Det finns även de klassiska for-, if- och whilelooparna implementerade i Labview. Sammanfattningsvis byggs programmen med hjälp av funktioner, loopar, sekvenser och wires. Dessa olika komponenter bygger man ihop för att få programmet att göra det man är ute efter. Flera av de funktioner man bygger med sätts in i frontpanelen samtidigt som man sätter in dem i blockschemat. I exemplet med temperaturomvandlingen, finns det tre funktioner som blir till controllers i frontpanelen. Dessa är Deg C, Deg F och Deg F (se figur 1.2.5). Figur 1.2.6 visar hur programmet ser ut i frontpanelen.



Figur 1.2.6: Frontpanelen för temperaturomvandlingen.

Deg C är en controller som används för att skriva in hur många grader Celsius man har. Den första Deg F i ordningen är en indikator som visar visuellt hur många grader Fahrenheit detta resulterar i grader Celsius. Den andra Deg F är också en indikator som visar numeriskt hur många Fahrenheit som samma gradtal i Celsius motsvarar. Efter att ha gjort programmeringen i blockschemat och man är nöjd med hur frontpanelen ser ut, kör man programmet och styr det från frontpanelen. Programmet körs genom att trycka på pilen upp i vänsterhörnet, vilket betyder att man kör programmet en omgång. Alternativt kan man trycka på de två pilarna till höger om samma pil upp i vänsterhörnet, vilket betyder att man kör programmet kontinuerligt tills det att man avbryter programmet.

Som tidigare nämnts används även Labview för vissa specifika mätinstrument. För att göra mätinstrumenten kompatibla med Labview, behöver man ladda ner vissa specifika funktioner för just det instrument man avser att använda. Detta görs från National Instruments databas och denna databas hittas i Labview. Exemplet på temperaturomvandling som använts i detta avsnitt är ett kort och väldigt generellt exempel. Labview har ett brett utbud av funktioner samt beräkningar och exemplet som illustreras av figur 1.2.5 samt 1.2.6 är bara ett sätt att visa på grunderna i hur programmet används.

1.2.7 Signalbehandling

I projektet implementerades gaussfilteret och fouriertransformen i Labview för att kunna filtrera bort irrelevanta frekvenser hos sensorsignalerna respektive för att kunna analysera signalerna från sensorerna utifrån gruppshastigheter och amplitudskillnader. Fouriertransformen, uppkallad efter Joseph Fourier, är en matematisk transform som har många användningsområden inom fysiken och matematiken [23]. Den används huvudsakligen för att transformera en tidsberoende funktion, $f(t)$, till en ny funktion, $F(\xi)$, som är frekvensberoende. Man gör alltså en transformering av funktionen från tidsplanet till frekvensplanet. Den nya funktionen kallas för en fouriertransform av funktionen f . Fouriertransformen fungerar även som en reversibel operator, dvs. det är möjligt att inverstransformera den frekvensberoende funktionen tillbaka till den tidsberoende. Den matematiska definitionen av fouriertransformen ges av ekvation 1.2.1.

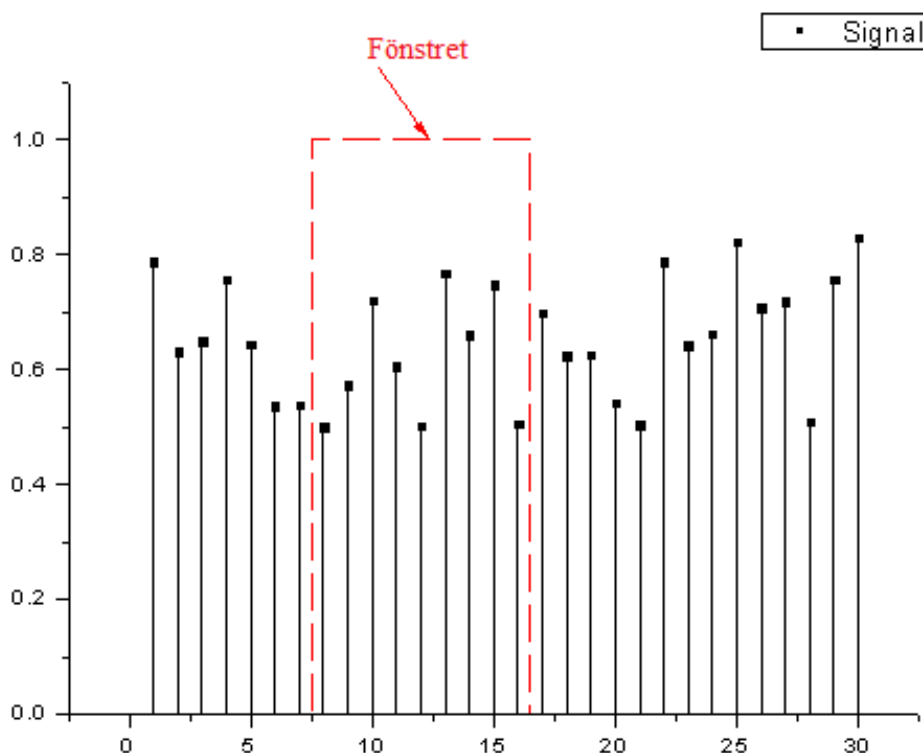
$$F(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-2\pi i t \xi} dt \quad \forall \xi \in R \quad (1.2.1)$$

I ekvation 1.2.1 representerar variabeln ξ frekvensen i hertz och variabeln t representerar tiden i sekunder. Den inversa fouriertransformen definieras enligt ekvation 1.2.2.

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\xi)e^{2\pi i \xi t} d\xi \quad \forall t \in R \quad (1.2.2)$$

I arbetet tillämpades FFT och STFT i Labview, för att kunna analysera vågutbredningen utifrån amplitud och gruppshastighet. FFT, Fast Fourier Transform, är en algoritm för att beräkna den Diskreta Fourier Transformen, DFT, och dess invers [24]. Problemet är att DFT sker för varje individuell mätpunkt man har i tidsplanet, vilket innebär att man får ut lika många element i frekvensplanet. Denna beräkningsgång är därmed tidskrävande och kräver mycket beräkningskraft. Det FFT gör istället är att

den, utifrån mätdata, samlar och grupperar data och delar in den i ett önskat antal element [25]. Med andra ord är antalet element i frekvensplanet oberoende av antalet element i tidsplanet. På detta sätt sparar man tid och beräkningskraft.



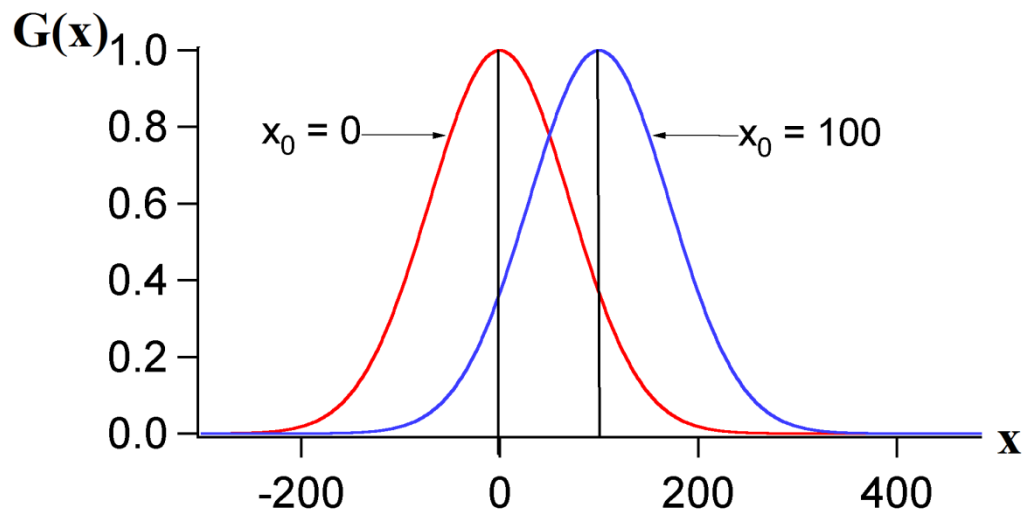
Figur 1.2.7: Den principiella funktionen av STFT. Den vertikala axeln representerar amplitud och den horisontella representerar tid. Bilden är hämtad från [26].

Short-Time Fourier Transform, STFT, är en signalbehandlingsmetod som applicerar fouriertransformen för att analysera hur frekvensen varierar med tiden [26]. STFT tillämpas på instationära signaler, vars egenskap varierar med tiden. Metoden går ut på att, med hjälp av ett smalt fönster, ta ut mätvärden längs med tidsaxeln. Fönstret som illustreras i figur 1.2.7 rör sig längs med tidsaxeln och om fönstret är tillräckligt smalt, kan man se vågutbredningen som stationär och därmed applicera fouriertransformen. Fouriertransformen transformerar då signalen från tidsplanet till frekvensplanet, vilket gör det möjligt att studera hur frekvensen varierar med tiden.

Ett Gaussfilter används till att filtrera bort brus och irrelevanta frekvenser hos en signal [27]. Därtill kan man använda ett Gaussfilter för att kunna åskådliggöra och särskilja de frekvenser som ger en förstärkt amplitud. Gaussfiltret multiplicerar en given funktion med en Gaussisk funktion, för att försvaga de frekvenser som ger litet utslag. Den Gaussiska funktionen, i det endimensionella fallet, som studerades i detta projekt, definieras enligt ekvation 1.2.3.

$$G(x) = e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.2.3)$$

I ekvation 1.2.3 betecknar σ^2 variansen av datamängden och x_0 är dess väntevärde, vilket i detta fall är den frekvens som ger störst amplitud. Den principiella grafen för en Gaussisk funktion åskådliggörs i figur 1.2.8.



Figur 1.2.8: Den principiella grafen för en Gaussisk funktion. Bilden är hämtad från [27].

1.2.8 MATLAB

MATLAB är ett mjukvaruprogram, utvecklat av MathWorks, vilket används för att göra stora matematiska och tekniska beräkningar [28]. Namnet MATLAB är en förkortning för Matrix Laboratory, då det använder sig främst av olika matrisoperationer för att göra beräkningar. Programmet kan fungera ungefär som en miniräknare, genom att skriva önskade beräkningar i ett kommandofönster. Vid mer komplicerade beräkningar har man möjligheten och skapa sina egna filer, där hela beräkningen kan utföras. När man skriver in namnet av filen i kommandofönstret, utför MATLAB operationerna i filen sekventiellt. MATLAB kan även läsa in textfiler samt plotta data i olika grafiska fönster.

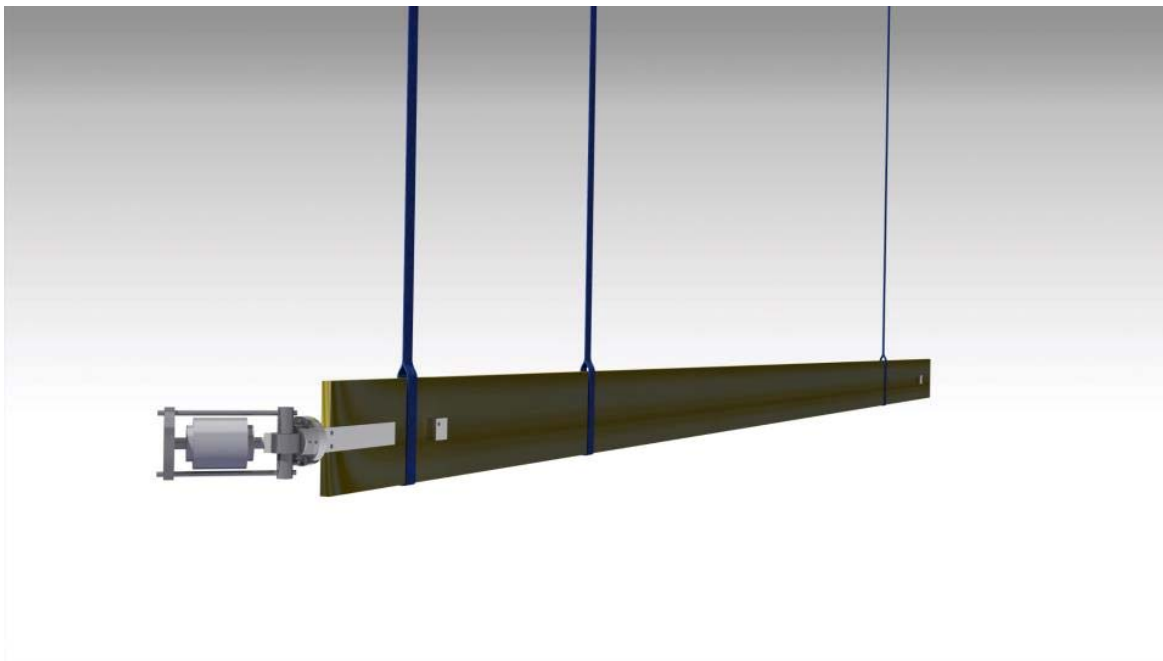
MATLAB valdes för analysen av data från Labview, då samtliga gruppmedlemmar är vana användare av MATLAB vid avancerade beräkningar. En annan bidragande anledning var att MATLAB kan hantera mycket data på ett användarvänligt sätt och sedan utföra beräkningar under kort tid.

1.3 Metod

Detta avsnitt beskriver hur de presenterade teorierna och verktygen har använts för att besvara frågorna under respektive delmål.

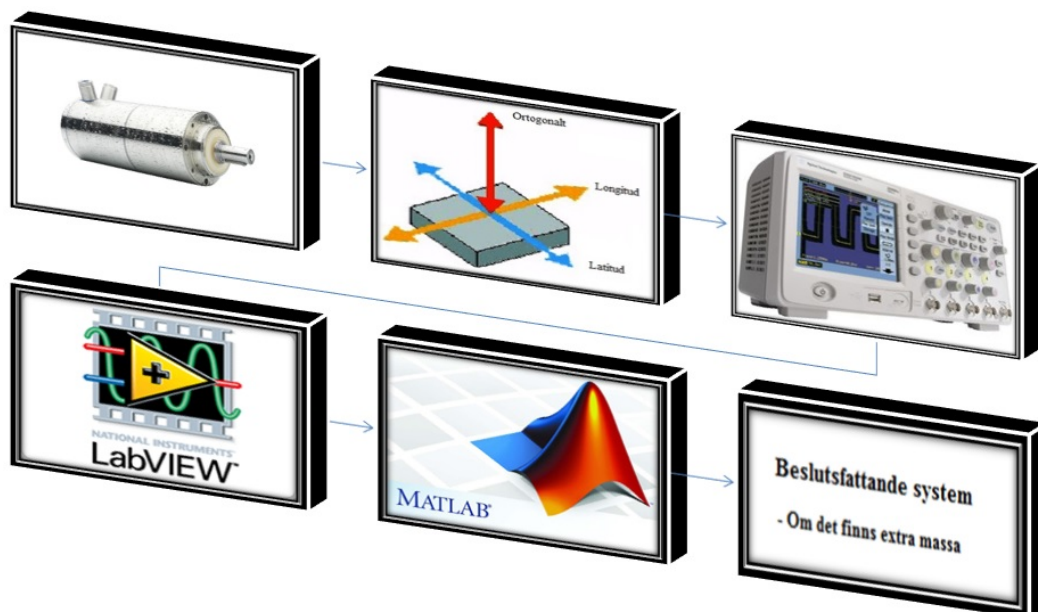
Det första delmålet var att designa och upprätta en testtrigg för att undersöka utbredningen av akustiska vågor i en elastisk platta för detektering av pålagd massa. Således skapades inledningsvis en teoretisk grund att utgå från, för att kunna avgöra vilka vågparametrar som kunde mätas och som även var relevanta för undersökningen. Detta gjordes genom att studera liknande undersökningar och allmän akustik- och våglära. Att analysera skillnader i amplitud mellan platta utan masspålägg och platta med masspålägg, var ett enkelt och effektivt sätt att analysera vågutbredningen på, varför denna parameter valdes. Detta skapade ett behov av en rad olika verktyg för att kunna generera elastodynamiska vågor i den elastiska anisotropiska plattan, mäta de orsakade mekaniska förskjutningarnas accelerationer i materialet samt att kunna tolka och behandla signalerna från mätinstrumenten.

Plattan hängdes upp i taket med hjälp av tre spännband i labbmiljö. För att generera elastodynamiska vågor i plattan, användes en aktuator. Aktuatoren krävde en fäst-anordning på plattan, varför gruppen konstruerade ett fäste till denna. Fästet var vridbart i alla led, för att kunna göra det möjligt att inducera vågor från olika infallsvinklar. Detta var önskvärt, eftersom man ville undersöka för vilken infallsvinkel mätningen som gav störst signal. Aktuatorfästet monterades på plattan med plastic padding, som är en form av tvåkomponentslim av polyestertyp, för att det var mest skonsamt mot plattan och för att det krävdes ett lim med en bra utfyllningsförmåga på grund av plattans ojämnhet. Fyra accelerometrar användes för att mäta vågutbredningen. Till dessa konstruerades två sensorfästen, vilka också limmades på av samma anledning som för aktuatorfästet. Här utnyttjades dock ett annat konventionellt tvåkomponentslim för att fästa sensorfästena på plattan, eftersom det inte krävdes samma utfyllningsförmåga hos limmet. Tre av accelerometrarna placerades i sensorfästen nära intill aktuatoren; en i longitudinell riktning och två i ortogonala riktningar till den longitudinella. Den fjärde accelerometern placerades i sensorfästet på andra änden av plattan i longitudinell riktning för att kunna jämföra avläsningarna av vågen före och efter den hade propagerats genom plattan. De ortogonalt riktade accelerometrarna användes för att avgöra om de eventuellt gav starkare signal och mer konsekvent avläsning, som var tänkbart i och med det anisotropiska materialet. Figur 1.3.1 illustrerar plattans upphängning, aktuatorfästningen samt sensorfästena.



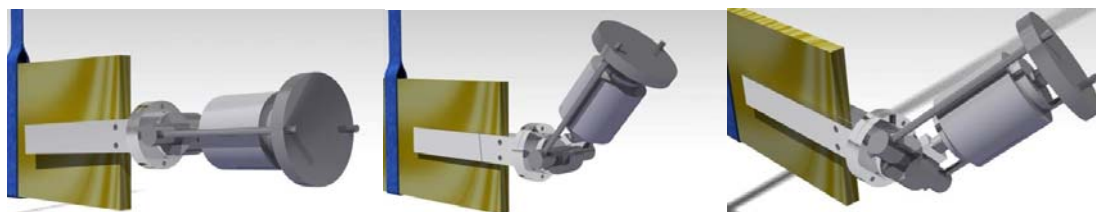
Figur 1.3.1: Den elastiska anisotropiska plattan med monterade aktuator- och sensorfästen.

Accelerometrarna var kopplade till ett oscilloskop, som tolkade de elektriska signalerna från accelerometrarna till grafer, som plottades på en display på oscilloskopet med amplitud på y-axeln och tid på x-axeln. Oscilloskopet begränsade antalet accelerometrar som kunde användas samtidigt till fyra stycken, eftersom det bara hade fyra ingångar. Från oscilloskopet kopplades en dator in, varpå Labview kunde tillämpas för behandling av signalerna. Data från Labview sparades ner i textfiler, varpå dessa textfiler lästes in i MATLAB, där ett beslutsfattande system upprättades. Figur 1.3.2 illustrerar hela testriggen.



Figur 1.3.2: Illustrerar hela processen: från det att vågor induceras av aktuatoren, till det att det beslutsfattande systemet avgör om det finns en pålagd massa eller inte.

Experimenten utfördes för ett flertal fall, där tre olika infallsvinklar för aktuatoren provades (($0^\circ; 0^\circ$), ($0^\circ; 45^\circ$) och ($45^\circ; 45^\circ$)) samt tre positioner för en pålagd massa för respektive vinkel. Figur 1.3.3 illustrerar de tre olika infallsvinklarna. De tre positionerna var strax innan det första sensorfästet, mittemellan de två sensorfästena och strax efter det andra sensorfästet (300 mm, 4000 mm resp. 7800 mm från aktuatoren). Det första sensorfästet var placerat 450 mm från aktuatoren på ena änden av plattan och det andra 300 mm från den andra änden. För en viss pålagd massa utfördes alltså nio mätningar. Tre olika massor (700 g, 950 g och 5000 g) användes, vilket totalt resulterade i 25 mätningar. Se appendix E för utplacering av sensorerna.



Figur 1.3.3: Illustrerar de tre olika infallsvinklarna ($0^\circ; 0^\circ$), ($0^\circ; 45^\circ$), ($45^\circ; 45^\circ$).

Eftersom aktuatoren inducerade vågorna i plattan i form av ett enhetssteg, som innehåller ett oändligt frekvensband, krävdes signalbehandling i form av filtrering och transformering. Detta gjordes i Labview. För att sälla bort irrelevanta frekvenser, användes Gaussfilter för frekvenserna med störst amplitudutslag. Därefter transformerades signalerna med FFT, för att få signalerna plottade i grafer med amplitud på y-axeln och frekvens på x-axeln. Dessa data sparades ner i textfiler, som lästes in i MATLAB. I MATLAB plottades det obelastade fallet med de belastade fallen var för sig, för att kunna avgöra för vilken infallsvinkel på våginduceringen och för vilken sensor som gav starkast signal och mest konsekvent resultat. Därtill kunde man även avgöra om det fanns en pålagd massa eller inte genom att studera skillnader i amplitud mellan obelastat och belastat fall. Ett beslutsfattande system upprättades i MATLAB. Det fungerar som så att det utifrån data i textfilerna, automatiskt returnerar huruvida någon extra pålagd massa närvarar på plattan eller inte. Därtill plottades amplitud-frekvens graferna för det obelastade fallet och för det belastade fallet, där man även visuellt kunde göra denna bedömning.

2 Undersökning

2.1 Design of experiment

Det som var av intresse vid försöken var att undersöka hur accelerationsamplituden från sensorerna varierade när man lade på olika massor på olika positioner längst med plattan. Accelerationsamplituden mot frekvensen valdes för undersökning, då det är ett smidigt sätt att se skillnader i amplituden när man ändrar på vissa parametrar för en platta. Man har även haft detta tillvägagångssätt vid liknande undersökningar [29]. Data hanterades i Labview, men eftersom beräkning och analys utfördes i MATLAB, sparades amplitud-/frekvensvärden från Labview i textdokument, som senare kunde importeras i MATLAB.

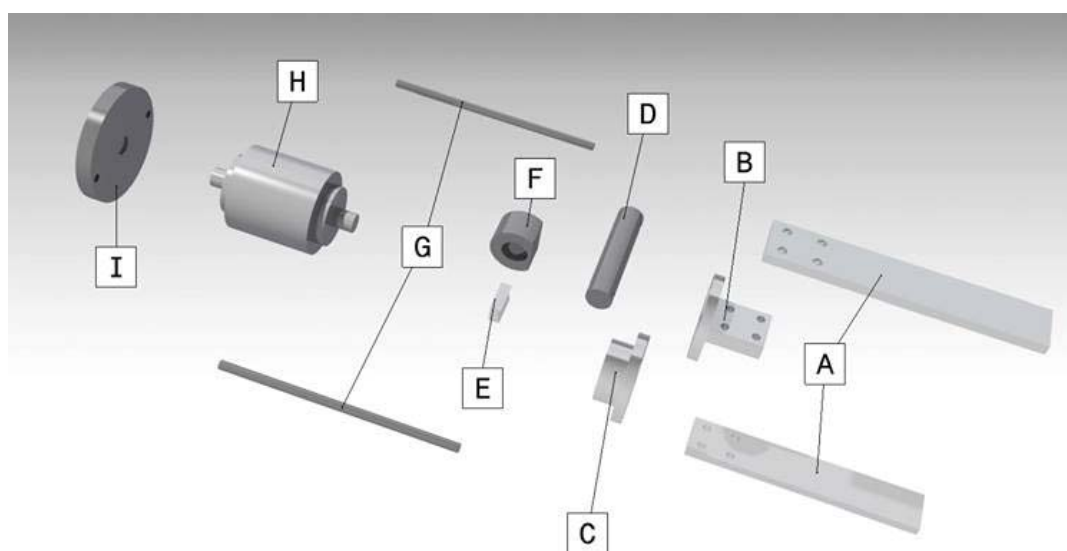
För att kunna få ut amplitud-/frekvensvärden behövde man sensorer som kunde registrera svängningarna i plattan och som kunde generera accelerationskillnader på grund av svängningarna. Eftersom projektets utrustning skulle användas för senare bruk, var sensorerna tvungna att få kontakt med plattan utan att förstöra den. För att uppfylla detta krav, tillverkades sensorfästen. Varje sensorfäste skulle ha plats för montering av tre stycken accelerometrar som mätte accelerationen i x-, y- och z-led enligt figur 2.1.1.



Figur 2.1.1: Visar ett sensorfäste där en sensor har monterats i ett av de tre gängade hålen.

Sensorfästena skulle vara identiska för att det inte skulle bli någon skillnad i hur sensorfästena påverkade vågutbredningen. Dessutom skulle de gärna vara så små som möjligt för att inte störa vågutbredningen. Fästena tillverkades i detta fall i aluminium, på grund av att det är relativt lätt och dessutom ett väldigt lättbearbetat material. Dessutom var det ett krav att fästena skulle kunna limmas på plattans sida och då var aluminium ett bra alternativ.

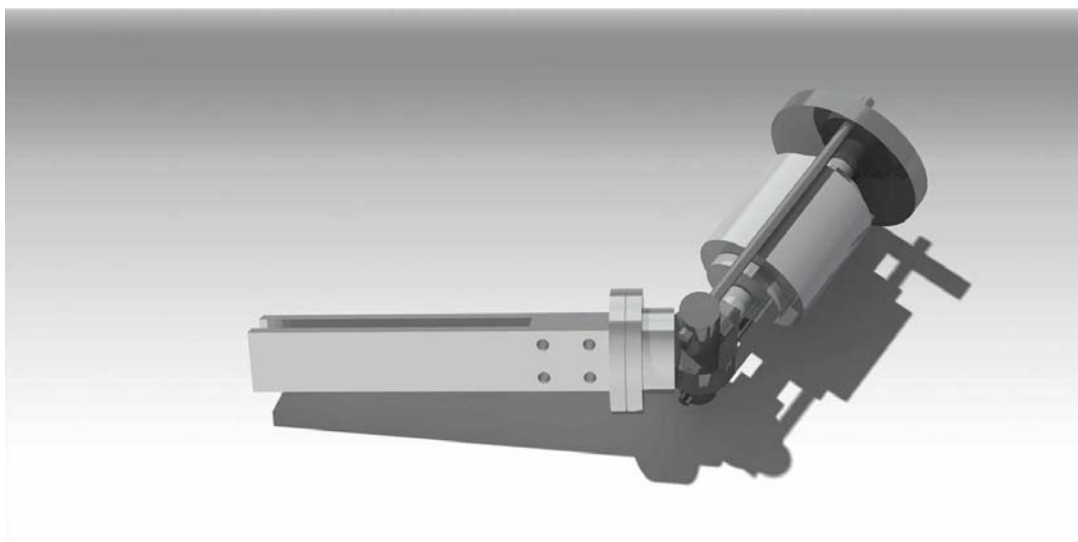
De elastodynamiska vågorna som sensorerna registrerade, skapades med hjälp av en aktuator, som skickar in en puls genom plattan från plattans ena ände. För att detta skulle fungera, krävdes en anordning så att man kunde montera aktuatoren på plattan. För detta krävdes ett så kallat aktuatorfäste. Innan projektets start, undersöktes möjligheten att skicka ut akustiska vågor i en flagstång av kompositmaterial. Då tillverkades ett simpelt fäste för montering av en aktuator. Till projektet vidareutvecklades flagstångsfästet, för att kunna skicka ut vågor med olika infallsvinklar. För att slippa tillverka flera olika fästen för att kunna skicka in vågor med olika infallsvinklar, var ett justerbart fäste praktiskt. Felkällorna minskar med ett justerbart fäste jämfört med flera olika fästen, eftersom ett fäste kan monteras permanent på plattan. Därför tillverkades ett fäste som kunde justera infallsvinkeln på aktuatoren steglöst runt axel D i figur 2.1.2 och med åtta olika delningar med 45° emellan i rotationsriktningen kring plattans egen axel, B i samma figur. Figur 2.1.3 visar hur aktuator och aktuatorfästet ser ut sammansatt. Aktuatoren är alltså det cylinderformade stycke som motsvaras av H i figur 2.1.2. Aktuatoren är festsatt mellan brickan (E) och bakstycket (I). I appendix A återfinns ritningar på delarna som ingår i det konstruerade aktuatorfästet.



Figur 2.1.2: Sprängkiss över fästet och aktuatoren.

Det fanns många olika saker att ta hänsyn till vid tillverkning av fästet för aktuatoren. För att vågorna inte skulle förändras från den tidpunkt då de lämnade aktuatoren till den tidpunkt då de nådde plattan, ville man ha så lite material som möjligt mellan aktuator och platta. Det optimala är att inte ha något material alls däremellan, men det var svårt att åstadkomma. Vidare fanns det andra aspekter att väga in. Monteringsanordningen för aktuatoren var tvungen att bli tillräckligt styv för att inte vibrera i otakt med aktuatorns utgående vibrationer. Samtidigt som en styv konstruktion krävdes, var en lätt konstruktion av stor betydelse. En tung konstruktion hade ökat trögheten och vågen hade kunnat utbreda sig på ett missvisande sätt. För att uppfylla båda dessa kriterier krävdes ett lätt och styvt material. Här fanns det en del material att välja på, men om man även vägde in aspekter som pris och bearbetningsmöjligheter, kvarstod bara några få och bland dessa återfanns aluminium. Tidigare förklarades vikten av att minska massan mellan aktuator och platta. På andra sidan aktuatoren ville man dock ha så stor tröghet som möjligt för att inte vibrationerna skulle gå ut bakåt från aktuatoren. Här krävdes alltså ett tungt material. Stål var då ett lämpligt material, då det både är tungt och lättbearbetat. Även om det var önskevärt att ha allt i aluminium framför aktuatoren, var det inte möjligt på grund av tillverkningsaspekterna. I figur 2.1.3

åskådliggörs sammansättningen av aktuatoren och dess fäste. De mörkare delarna är tillverkade i stål, medan de ljusare är i aluminium.

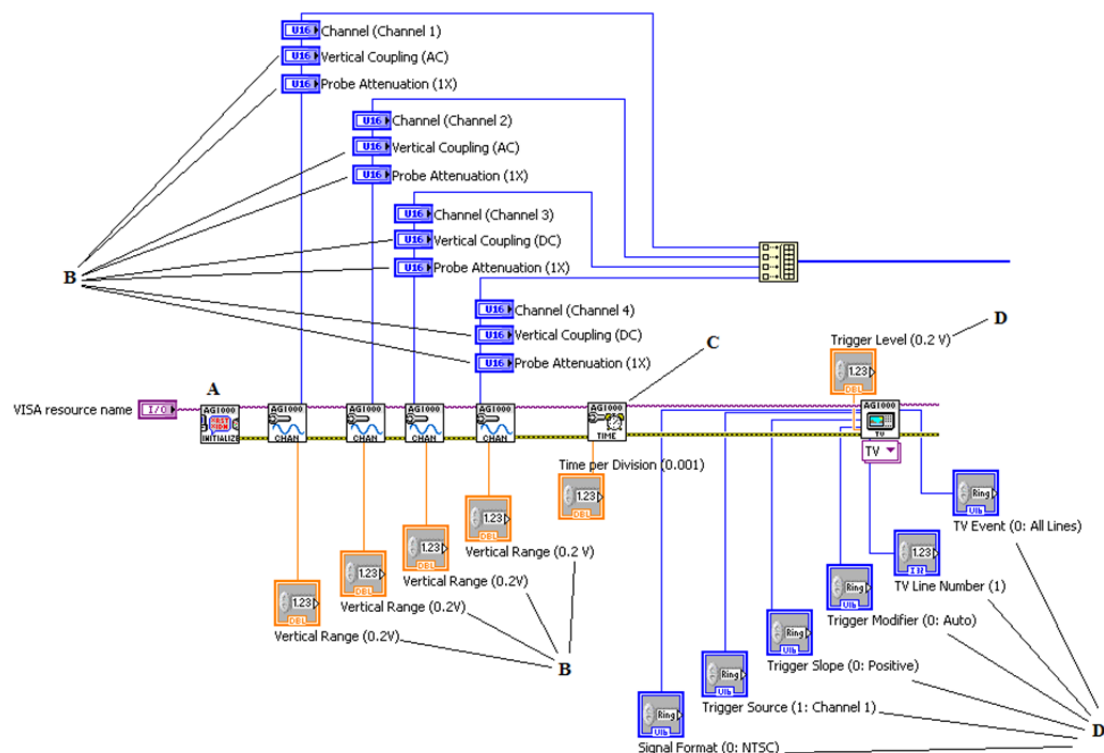


Figur 2.1.3: Aktuatoren monterad i sitt aktuatorfäste.

Från tidigare undersökningar av nedisning på vindkraftverk, har det visat sig att det känsligaste området är på rotorbladens spetsar [2]. Detta beror på att vingspetsarna sveper över störst area med den högsta hastigheten samt att vingspetsarna kommer i kontakt med låga moln. Av denna anledning placerades sensorerna vid plattans ändrar. Placering blev således 450 mm från ena kanten av plattan och 300 mm från den andra kanten. Anledningen till att den ena sensorn placerades längre in på plattan, var för att aktuatorfästet tog upp så pass mycket utrymme vid denna kant. Figur 1.3.1 illustrerar hur sensorerna och aktuatoren placerades. Denna utplacering illustrerar både då aktuatoren är placerad längst ut på vingspetsen samt längst in i navet. För att efterlikna ett verkligt rotorblad så mycket som möjligt, hade det varit mest lämpligt att ha plattan fast inspänd i en vägg med den ena kortsidan som fästyta. Detta var dock inte möjligt att åstadkomma, då plattan hade böjt sig på grund av sin egentyngd. Därför hängdes den upp med spännband. Inledningsvis hängdes plattan upp med endast två spännband, för att minimera risken att spännbanden påverkade mätningen. När aktuatoren monterades på plattan, var dock två spännband för vekt, vilket gjorde att plattan böjdes sig onormalt mycket. Följaktligen hängdes plattan upp med tre spännband för att stabilisera den. Denna upphängning medförde mindre påverkan på mätningen jämfört med då plattan var böjd.

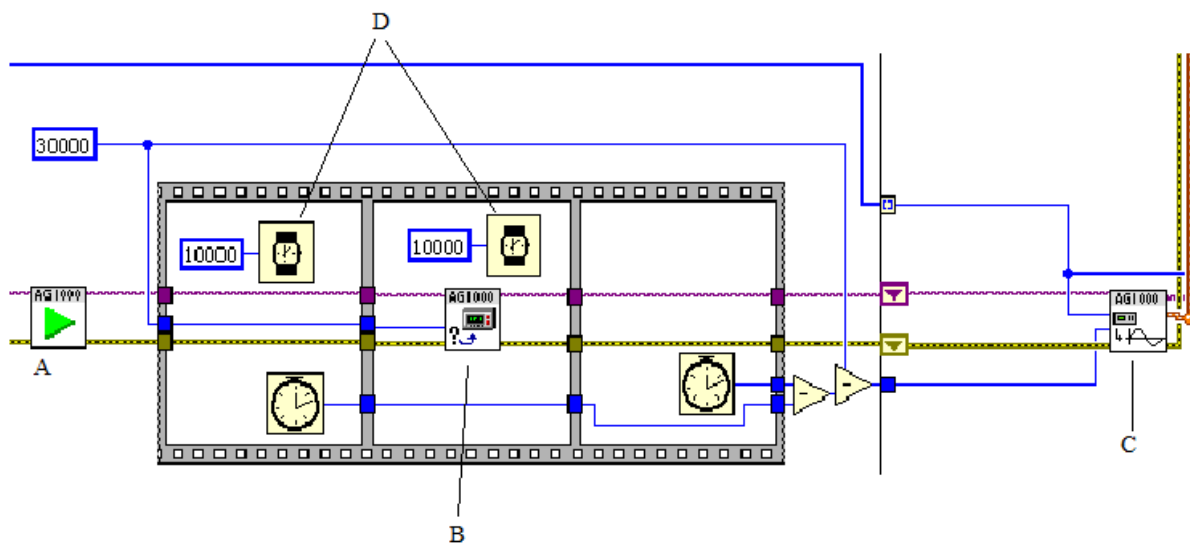
De elektriska signalerna som genererades av accelerometern, var analoga signaler. Dessa skickades vidare till en box med hjälp av RG58 koaxialkablar. Boxen filtrerade bort matspänningen från den genererade signalen och skickade vidare signalen till oscilloskopet, varpå oscilloskopet omvandlade de analoga signalerna till digitala. Från oscilloskopet skickades mätdata vidare, för behandling i Labview, med en vanlig USB-kabel. Inledningsvis initierade Labview kontakten mellan datorn och oscilloskopet (A, figur 2.1.4). Sedan öppnade programmet kanalerna till sensorerna med de inställningar som man anger i frontpanelen; Vertical Coupling, Probe Attenuation och Vertical Range (B, figur 2.1.4). I detta fall öppnades kanal 1-4 med respektive inställning. Samtidigt band programmet ihop kanalerna till en sträng som senare användes vid behandlingen av data. Nästa inställning som ställdes in var Time per Division, som är skalningen på den horisontella axeln (C, figur 2.1.4). Det sista programmet gjorde i inställningsdelen, var att ställa in triggerinställningarna som

angivits i frontpanelen; Signal Format, Trigger Source, Trigger Slope, Trigger Modifier, TV Line Number, TV Event och Trigger Level (D, figur 2.1.4). Se appendix B för ordlista.



Figur 2.1.4: Inställningsdelen i Labview, där Labview förbereds för avläsning av signalerna.

För att ta ut mätdata från oscilloskopet, började programmet med att ange att det skulle vänta in en stöt från aktuatoren (A, figur 2.1.5). Därefter väntade programmet in stöten (B, figur 2.1.5), för att därefter läsa av oscilloskopets mätning av amplitud med hänsyn till tiden (C, figur 2.1.5). Två stycken Time Delays på tio sekunder vardera, lades in i programmet (D, figur 2.1.5). Detta för att aktuatoren skickade ut en stöt var tionde sekund och för att Labview har en standardinställning att ge timeout om programmet inte fått någon respons efter tio sekunder.



Figur 2.1.5: Avläsningen i Labview, där signalerna från oscilloskopet avläses.

För att kunna analysera hur någon pålagd massa påverkade vågornas utbredning, studerades sambandet mellan signalernas amplitud och frekvens. Detta gjorde det möjligt att se om amplituden minskade eller ökade inom ett visst frekvensspektrum med pålagd massa. Med hjälp av detta skulle man kunna se om det fanns någon extra massa. Då det endast fanns begränsat med tid att arbeta, kunde endast ett fåtal testförsök genomföras. Därför var det av vikt att rätt tester genomfördes. Två huvudsakliga testförsök upprättades.

För att analysera hur infallsvinkeln på aktuatorn påverkade utslagen på accelerometrarna, valdes tre olika infallsvinklar på aktuatorn nämligen (0°; 0°), (0°; 45°) samt (45°; 45°) som visas i figur 1.3.3. För varje vinkelinställning testades en given massa som var fastspänd med en klämma på tre olika ställen på plattan nämligen, 0,3 m från aktuatorn (mellan aktuator och första sensorfästet), 4 m från aktuatorn (mellan första och andra sensorfästet) och 7,8 m från aktuatorn (mellan sista sensorfästet och plattans ände). Resultaten jämfördes därefter med hur amplitud-frekvensdiagrammet såg ut då det inte var någon pålagd massa med när det fanns pålagd massa. Samtliga försök för det första testet sammanfattas i tabell 2.1.1.

Tabell 2.1.1: Visar det första testförsökets alla tester.

Test 1			
Försök	Massa + klämma [g]	Massans placering [mm från plattans ände vid aktuatorn]	Vinkel på aktuator [(°,°) enligt figur 1.3.3]
1	-	-	(0, 0)
2	-	-	(0, 45)
3	-	-	(45, 45)
4	950	300	(0, 0)
5	950	4000	(0, 0)
6	950	7800	(0, 0)
7	950	300	(0, 45)
8	950	4000	(0, 45)
9	950	7800	(0, 45)
10	950	300	(45, 45)
11	950	4000	(45, 45)
12	950	7800	(45, 45)

Resultatet från det första testet skulle svara på frågan om vilken vinkel på aktuatorn som gav starkast signal och mest konsekvent mätning samt om det förelåg någon extra massa på plattan.

I det andra testet skulle det undersökas, utifrån den bästa vinkelinställningen av aktuatorn, om det fanns något samband mellan hur mycket massa som var pålagt och amplitudskillnader. Tre olika massor, 0,7 kg, 0,95 kg, 5 kg, placerades utmed plattan med samma placering som i det första testet. Resultatet jämfördes sedan med utslagen då ingen massa fanns på plattan. Samtliga försök för test 2 sammanfattas i tabell 2.1.2.

Tabell 2.1.2: Visar det andra testförsökets alla tester.

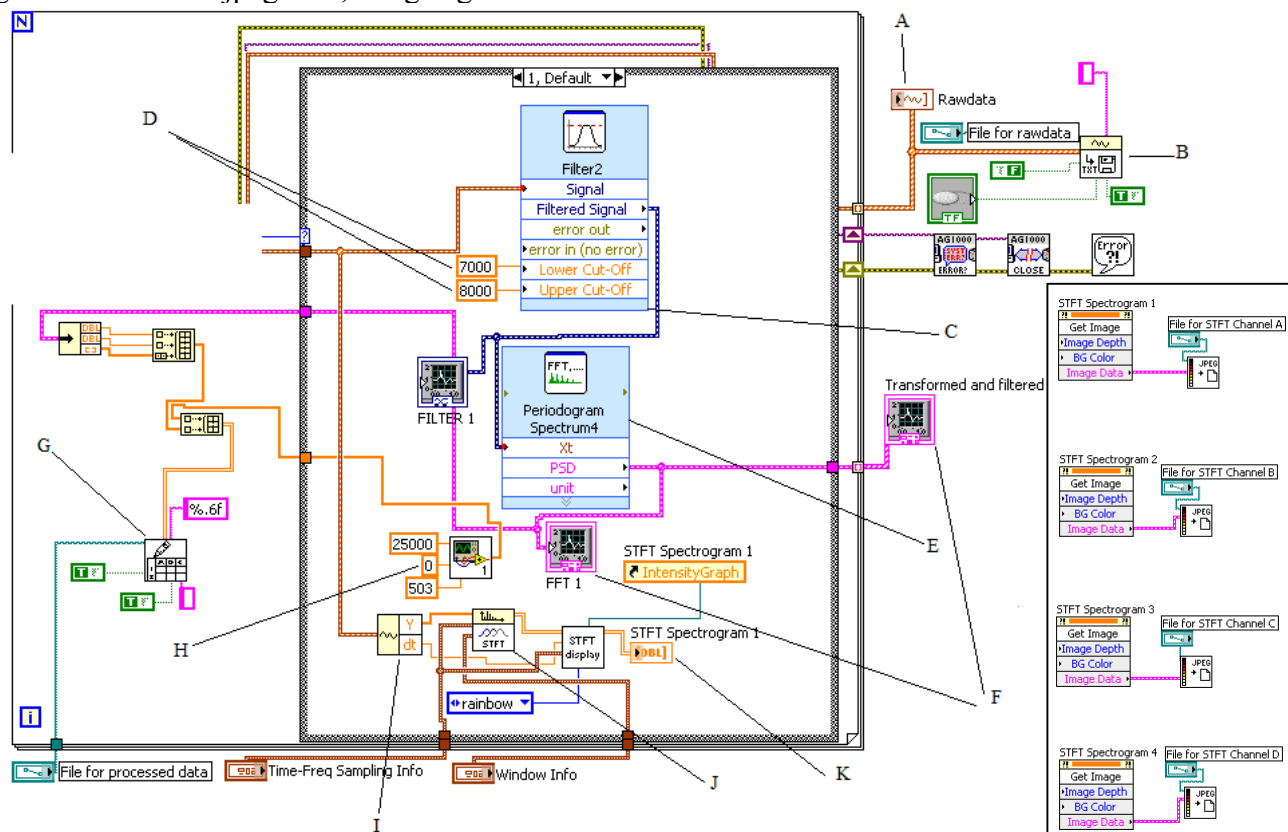
Test 2			
Försök	Massa + klämma [g]	Massans placering [mm från plattans ände vid aktuator]	Vinkel på aktuator [(°, °) enligt figur 1.3.3]
1	-	-	(0, 45)
2	700	300	(0, 45)
3	700	4000	(0, 45)
4	700	7800	(0, 45)
5	950	300	(0, 45)
6	950	4000	(0, 45)
7	950	7800	(0, 45)
11	5000	300	(0, 45)
12	5000	4000	(0, 45)
13	5000	7800	(0, 45)

2.2 Beslutsfattande system

Utifrån testerna skulle ett beslutsfattande system upprättas. Innan rådata från testerna kunde analyseras, krävdes en behandling av dessa data. Rådata i form av amplitud-tidvärden skickades från oscilloskopet till Labview, där dessa data filtrerades för relevant frekvens och transformerades till amplitud-frekvensvärden. Programmet som byggdes i Labview innehåller en behandlingsdel som behandlar data i tre steg. Det första steget är att programmet fångar upp rådata som oscilloskopet registrerat och presenterar det i en graf (A, figur 2.2.1), samtidigt som det skriver ut data i en textfil med amplitud-tid (B, figur 2.2.1). Det andra och tredje steget är att Labview gör två olika fouriertransformer, FFT för att få data i amplitud-frekvensformat samt STFT för att få data i tid-frekvensformat. Dessa två beräkningar görs samtidigt för respektive kanal på oscilloskopet, dvs. för respektive sensorsignal. Anledningen till att data transformerades med FFT var för att konvertera data till amplitud-frekvensplanet, där man lättare kunde analysera olika belastningsfall utifrån amplitudskillnader. Meningen med STFT var att få ut vågornas gruppshastigheter genom materialet vid de olika belastningsfallen och på så sätt kunna se skillnader för de olika belastningsfallen.

För att utföra FFT-beräkningen, sattes ett bandpassfilter (Gaussfilter) i början av beräkningsgången för att smalna av frekvensbandet och minska mängden data att transformera (C, figur 2.2.1). Gränserna för filtret (Lower Cut-Off och Upper Cut-Off) sattes manuellt (D, figur 2.2.1) efter att ha kört programmet och visuellt avläst inom vilket frekvensområde man fått störst utslag i amplitud. Efter filtret genomför programmet FFT (E, figur 2.2.1) för den givna kanalen och plottar en graf över amplitud-frekvens (F, figur 2.2.1). När programmet har genomfört FFT:n för alla kanaler samlar det in all data och skriver ut en textfil med värdena (G, figur 2.2.1). För att data skulle skrivas ut med rätt frekvens i textfilen skapades en egen funktion (SubVI) med namnet Linespace.vi (H, figur 2.2.1) som genererar lika många frekvensvärden som det finns korresponderande amplitudvärden. Vid beräkningen av STFT, delade programmet upp signalen från oscilloskopet i två komponenter; tid och amplitud (I, figur 2.2.1). Utifrån amplituden beräknade Labview STFT:n och fick ut frekvensen (J, figur 2.2.1), som den därefter plottade ihop med tiden (K, figur 2.2.1).

För att kunna analysera tid-frekvensgraferna utifrån grupphastigheter, sparades graferna ned som jpeg.filer, enligt figur 2.2.2.



Figur 2.2.1: Behandlingsdelen i Labview, där rådata transformeras, filtreras och sparas ned i textfiler.

Figur 2.2.2: STFT-kurvorna sparades ner.

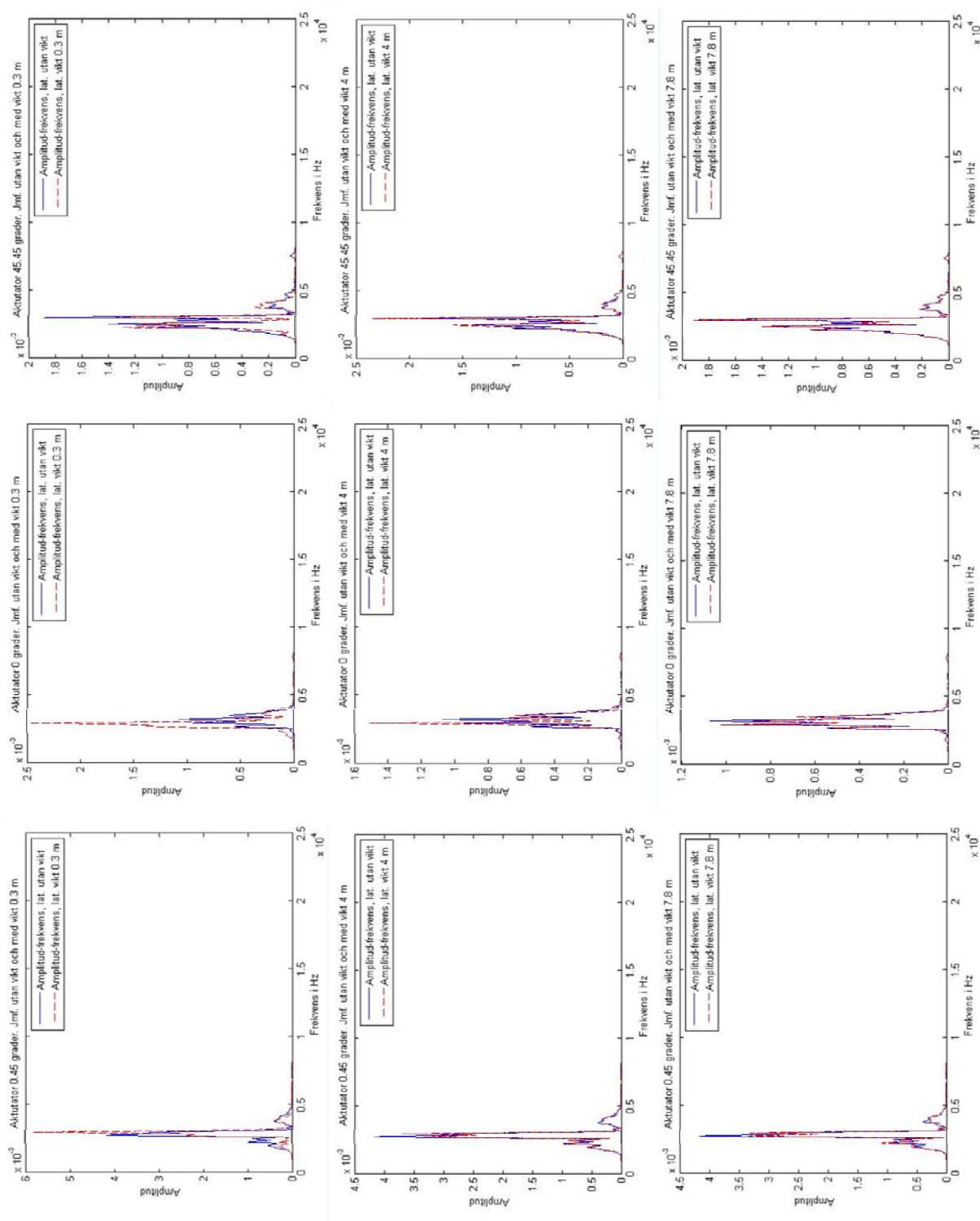
Programmet som är konstruerat för testförsöken, är programmerat i tre delsteg varav det första är att ställa in oscilloskopet, det andra är att ta ut mätdata för att sedan behandla den i det tredje steget. I appendix C finns en manual för detta program.

Textfilerna med amplitud-frekvensvärdena, lästes in i MATLAB för vidare analys. Här plottades amplitudvärdena mot frekvensvärdena i grafer. Alla fall med pålagd massa jämfördes med fallet utan någon pålagd massa. Initialt genomfördes analysen på testdata från testförsök ett, alltså för en pålagd massa på 950 g. Analysen gjordes utifrån olika aktuatorvinklar, olika placeringar av pålagd massa och utifrån tre polarisationer för sensorpositionen närmast aktuatoren samt en polarisation (longitudinell riktning) för sensorpositionen på andra änden av plattan. Syftet med analysen var att avgöra vilket fall som gav starkast signal och mest konsekvent resultat. De olika fallen presenteras i figurerna 2.2.3 till och med 2.2.6.

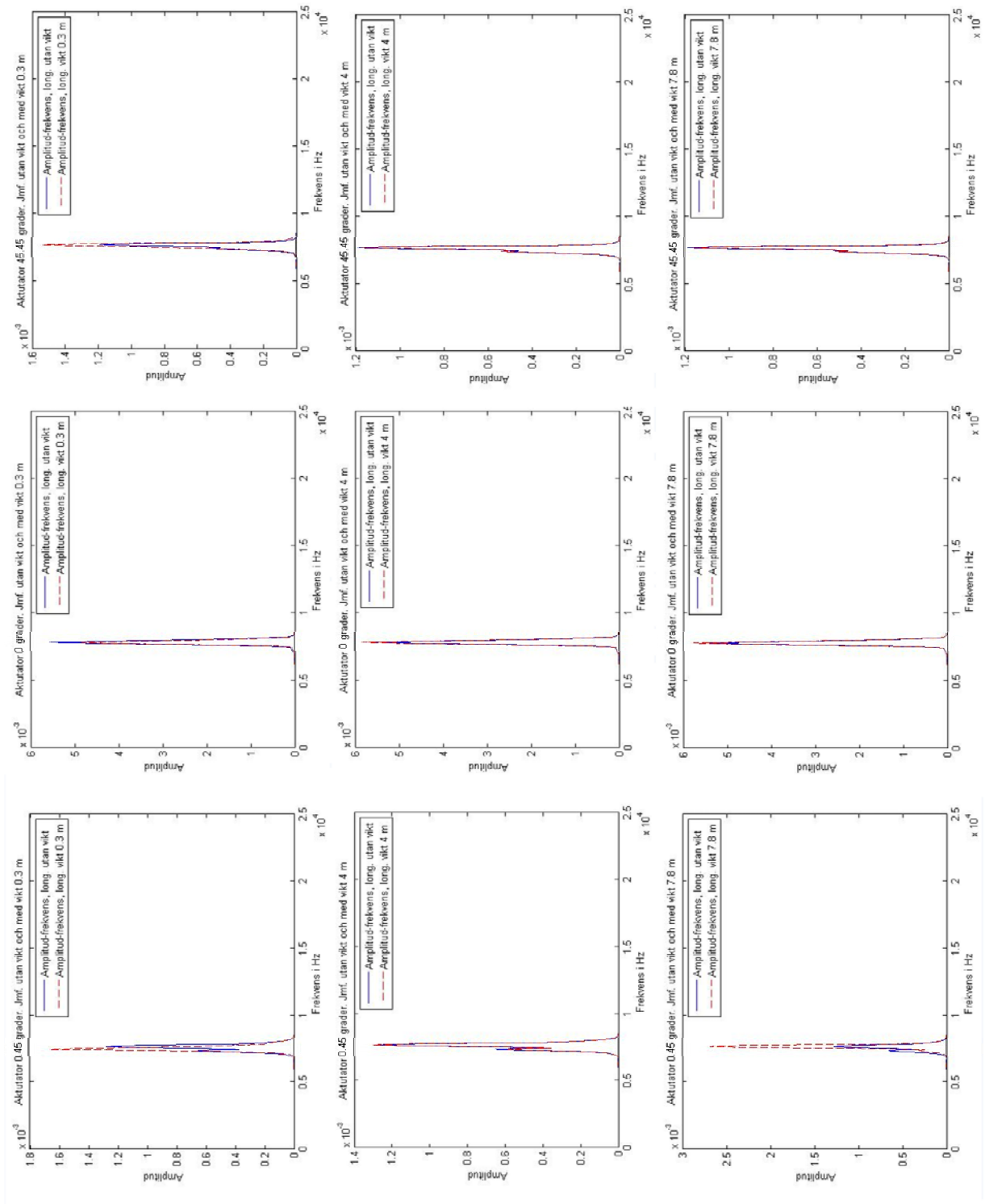
För att avgöra vilket fall som gav känsligast och mest konsekvent resultat, gjordes en visuell jämförelse av grafer mellan belastat och obelastat fall för respektive aktuatorvinkel och massplacering. Genom att avgöra vilken infallsvinkel på aktuatoren som resulterade i störst amplitudskillnader kunde den bästa inställningen bestämmas. För att finna en metod för hur massans position skulle kunna uppskattas, jämfördes grafer för de tre masspositioner för att visuellt kunna finna ett eventuellt samband.

Efter att ha bestämt den känsligaste aktuatorvinkeln, testades tre olika massor för respektive massplacering enligt tabell 2.1.2. Graferna för samtliga försök gav orimliga

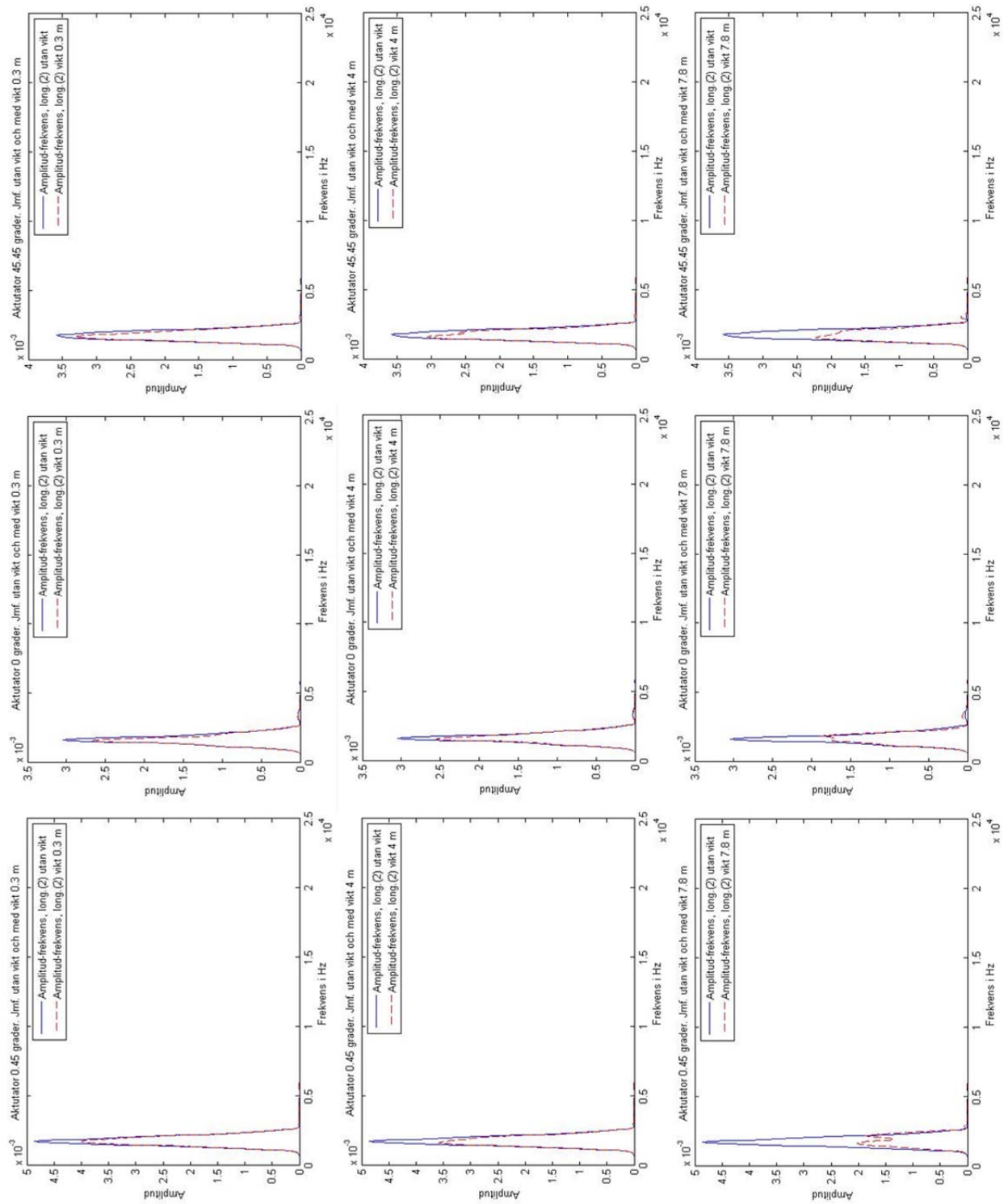
och inkonsekventa resultat. Något kan ha stört mätningarna, vilket gjorde att mätningarna från det andra testförsöket inte kunde användas för analys.



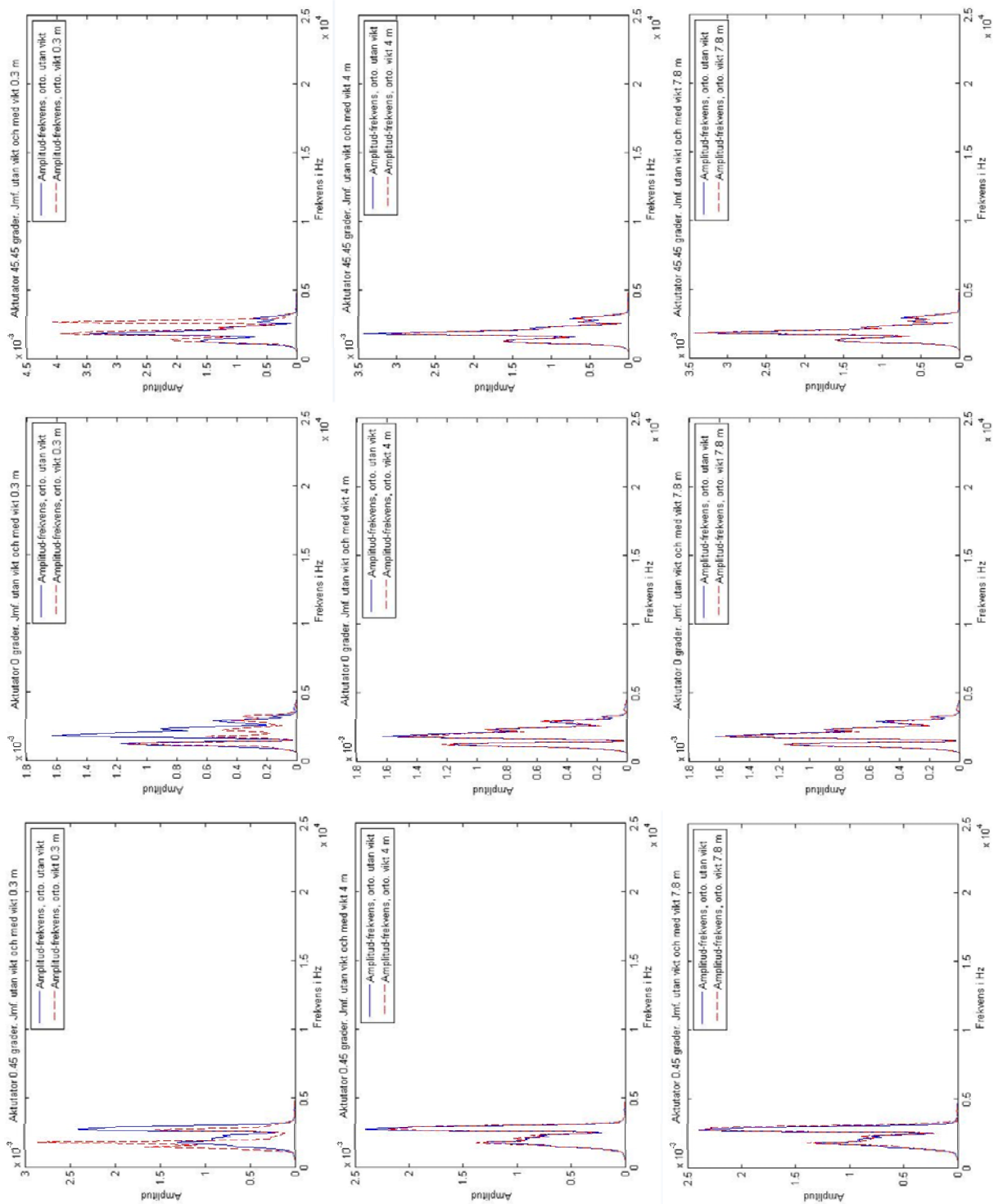
Figur 2.2.3: Plottar för de olika aktuatorvinklarna och de olika positionerna för den pålagda massan, som var 950 g. Dessa plottar är för latitud polarisation för sensorplaceringen närmast aktuatoren.



Figur 2.2.4: Plottar för de olika aktuatorvinklarna och de olika positionerna för den pålagda massan, som var 950 g. Dessa plottar är för longitudinell polarisation för sensorplaceringen närmast aktuatoren.



Figur 2.2.5: Plottar för de olika aktuatorvinklarna och de olika positionerna för den pålagda massan, som var 950 g. Dessa plottar är för longitudinell polarisation för sensorplaceringen på andra änden plattan.



Figur 2.2.6: Plottar för de olika aktuatorvinklarna och de olika positionerna för den pålagda massan, som var 950 g. Dessa plottar är för ortogonal polarisation för sensorplaceringen närmast aktuatoren.

För det första testförsöket upprättades STFT-plottar. På grund av bristande resurser och tid har man inte kunnat analysera dessa under arbetets gång. I appendix D återfinns STFT-plottarna för några fall.

Graferna som beaktas är upprättade i MATLAB, där ett enkelt beslutsfattande system har skapats. Detta system jämför automatiskt maxamplituder för det belastade fallet med det obelastade fallet. Om amplitudskillnaden överskrider en viss fördefinierad tolerans, signalerar programmet att det finns en pålagd massa.

3 Diskussion

Utifrån de mål som var uppsatta från början har projektet gett vissa resultat. Ett av de viktigaste målen var att upprätta en fysisk modell för experimentering samt att kunna ta ut samtliga önskade mätvärden. Detta var av vikt, då alla andra mål byggde på att dessa var uppnådda. Från början var tanken att inte lägga fokus på detta, men då mycket saknades av testriggen, lades mycket av projekttiden på att ta fram detta. Därför uppfylldes dessa mål väl, men någon noggrannare analys av experimenten hanns då inte med. Målet med att upprätta ett beslutsfattande systemet med inbyggd beräkningsmodell blev därför lidande.

Som ovan nämnt lades mycket tid på att upprätta en fysisk modell och för att få fram bra mätvärden, var ett korrekt tillverkat aktuatorfäste en förutsättning. Viktiga aspekter att ta hänsyn till vid konstruktion av fästen var utformning, vikt, material-egenskaper, tillverkarvänlighet, pris och tillverknings-tid. Utifrån dessa aspekter valdes det att vidareutveckla ett befintlig fäste som hade använts vid tidigare försök. Anledningen var att spara tid samtidigt som man visste att fästet skulle fungera och vara kompatibelt för försöken. Nackdelen med denna metod var att det befintliga aktuatorfästet inte testades i detalj och därför kunde inte dess svagheter och styrkor analyseras. Trots detta valdes ändå metoden, eftersom det gav en stor tidsförtjänst.

Väl tillverkade sensorfästen var också en viktig förutsättning för att få fram bra mätvärden. Det finns anledning att tro att sensorfästernas form, vikt och material-egenskaper kan ha påverkat resultatet olika på samma sätt som is eller pålagd vikt påverkar resultatet olika. Därför skulle det ha varit lämpligt att undersöka med olika typer av sensorfästen för att se om de stör mätningarna och i så fall vilken som stör mätningarna minst. Dock är det viktigaste att de två sensorfästena är så lika som möjligt för att minimera felkällorna, då olika fästen kan göra att accelerometrarna registrerar vågorna olika.

Innan de olika komponenterna kunde monteras på plattan, krävdes en funktionell upphängningsanordning av plattan. Här fanns det ett stort intresse av att efterlikna ett riktigt rotorblad så mycket som möjligt. Detta var dock inte möjligt, utan en hel del förenklingar gjordes. Först och främst användes en rektangulär platta som inte hade samma geometri som ett riktigt rotorblad. Detta medför antagligen att vågorna inte bredder ut sig på exakt samma sätt för de båda geometrierna. I de utförda testerna hängde plattan horisontellt i tre stycken spännband vilket inte är helt optimalt. Bättre hade förmodligen varit att ha platta fast inspänd i väggen. Detta var dock inte möjligt, då plattan var för vek och hade böjts ut och förmodligen knäckts på grund av sin egen vikt. En annan lösning hade varit att spänna in plattan i taket och låta den hänga lodrätt ner. För detta hade det krävts en lokal med hög takhöjd. Exakt hur olika upphängningsanordningar påverkar resultatet är svårt att säga utan att testa, men

troligtvis spelar inte upphängningspunkterna så stor roll för experimentet så länge upphängningspunkterna är samma vid alla tester.

Det fanns några olika alternativ för hur de olika fästena skulle monteras. I detta fall monterades aktuatorfästet på plattans ena gavel. Risken som fanns var att plattan var för lång och att vågen skulle dö ut innan den nådde den bortre kortsidan och här skulle alternativet kunnat vara att montera aktuatorfästet i mitten. Ett riktigt rotorblad är betydligt längre, vilket skulle kunna betyda att en annan lösning vid montering skulle vara nödvändig. I det här experimentet tillverkades bara två sensorfästen, som monterades i början respektive i slutet av plattan. Eventuellt hade ytterligare sensorfästen varit bra för att få ett bättre resultat. Risken med att montera för många sensorfästen är dock att fästernas egen vikt kan påverka resultatet negativt.

Vid montage av sensorfästen och aktuatorfästet fanns det en del olika möjligheter. Aktuatorfästet fästes med plastic padding, då plattans yta var ojämn. Plastic padding fungerar bra som utfyllnad i alla hålrum. Risken med att fylla ut med för mycket plastic padding var att det kunde bildas sprickor på grund av temperaturförändringar och vibrationer. Detta hade förmodligen påverkat vågornas utbredning. Ett alternativ hade varit att skruva fast fästena i plattan, men att deformera plattan genom att borra hål sågs som ett sämre alternativ, då det medför permanent förändring av plattan som helst inte fick ske. Sensorfästena monterades med ett annat tvåkomponentslim. Detta lim hade ingen utfyllnadsförmåga, utan fästena var monterade dikt an mot plattan. Detta var ett bra alternativ, då minimal extra massa mellan fäste och platta tillfördes. Syftet med limmet var också att det skulle vara möjligt att avlägsna fästena utan att förstöra plattan.

Vid fastspänning av aktuatoren i aktuatorfästet var det viktigt att allt blev rakt. De båda spänskruvarna (G i figur 2.1.2) var tvungna att spännas lika hårt och för att detta skulle bli riktigt gjord kunde en momentnyckel ha behövts. Detta gjordes inte i detta fall, vilket kan ha gett vissa felkällor. Man behövde också göra en noggrann inmätning av vinklarna innan experimenten utfördes. Här menas alla vinklar som kunde påverka resultatet, exempelvis infallsvinkel på aktuator och sensorfästernas vinklar. Vissa felkällor kan också ha uppstått på grund av för grova toleranser vid tillverkningen. Dessa kan troligtvis försummas.

Vid experimenten användes flera olika typer av vikter, för att simulera is, vars materiella egenskaper skiljer sig sinsemellan (vissa av vikterna var tillverkade i bly och andra i stål). Sätt att hänga upp vikterna skiljde sig också åt, då vissa vikter klämdes fast med klämma och andra hängdes på. Detta gjorde att mätresultaten kunde skilja sig åt utan att vikten ändrades, vilket inte tillhörde hypotesen från början och därför finns det anledning att tro att olika typer av is kommer att medföra olika resultat vid fortsatta studier. Utöver ovannämnda skillnader, skiljer sig även vikternas egenskaper och placering från den verkliga isens egenskaper och placering. Is är exempelvis sprödare än bly och stål samt att isuppbyggnad uppstår på framkanten av vingen [30]. Vid försöken hängdes vissa vikter på framkanten, medan vissa klämdes fast mitt på plattan. Dessa faktorer kan ha påverkat mätningar negativt, då vissa mätningar inte är konsekventa och skiljer sig drastiskt åt.

Vid utförandet av experimentet beaktades inte ett verkligt fall utan experimenten gjordes i en laborationsmiljö. Saker som vibrationer på grund av rotationsrörelsen av rotorbladen, temperaturen vid isbildning, uppbyggnad av is samt vilka materiella egenskaper isen har, har inte beaktats. Vibrationerna som uppstår kan ge utslag i

sensorerna som kan ge felkattig indikation samt att det ändrar vågen som genereras av aktuatoren.

Eftersom mycket av tiden gick åt till att upprätta en fysisk modell för testerna blev det inte mycket tid över till att utföra tester. Några tester utfördes, men alldeles för få för att säkerställa konvergens för resultaten. Eftersom endast ett test gjordes för de alla olika fallen, kunde testerna ha varierat från gång till gång. För att få bra resultat kunde det ha varit bra att genomföra många mätningar för samma fall för att sammanfoga dessa till ett och samma test. Tyvärr fanns det inte tid för detta och mycket kan ha påverkat mätningarna utan vetskap.

Efter att experimenten utförts, sparades all mätdata och skickades vidare för analys i MATLAB. Det var många försök och det blev många fönster att analysera ifrån, vilket gjordes endast med hjälp av ögat som instrument. Därför var det svårt att analysera all typ av data på ett effektivt sätt. Detta skedde i slutskedet av projektet samtidigt som mycket av tiden som fanns från början hade gått åt till att rigga experimentet och programmera program för att få ut de mätvärden som eftersöktes. Det var därför svårt att hinna analysera tillräckligt noggrant. Med facit i hand kanske amplitud med frekvens var fel parametrar att analysera. Om det hade räckt att analysera amplitud med tid, hade inte något program behövt programmeras för att få ut dessa värden, och istället hade tiden kunnat läggas på att analysera data. Hade man gjort på det här sättet, hade många fler experiment kunnat genomföras och fler resultat hade antagligen producerats, men då hade kanske kvalitén på dessa resultat istället blivit sämre. Man kan också ifrågasätta om det var rätt beslut att använda två program för analys av data. Det tog lång tid att få ut mätdata från Labview, och kanske hade det varit mindre tidskrävande att lära upp samtliga gruppledmedlemmar i Labview istället för att programmera ett program för att få över data till MATLAB. Fördelen med båda programmen var dock att det fanns mycket kunskap inom MATLAB redan innan projektets start.

4 Slutsatser

Genom arbetet har en fungerande testtrigg för experiment med avseende på detektering av pålagd massa lyckats konstrueras. Detta innefattar hårdvara såväl som mjukvara. Hårdvara i form av ett aktuatorfäste som är vridbar i alla led, vilket möjliggör generering av flera olika typer av vågor, har konstruerats. Likaså har sensorfästen tillverkats som kan bära accelerometrarna på plattan. Mjukvara i form av ett program i Labview har tagits fram. Programmet bearbetar och behandlar data på önskat sätt, vilket möjliggör analys av signalerna. Därtill har ett enklare beslutsfattande system upprättats i MATLAB. Detta system kan, genom jämförelse mellan amplitud för obelastat fall och amplitud för belastat fall, avgöra huruvida någon pålagd massa existerar eller ej på den elastiska plattan. Sammantaget har alltså en pålagd massa kunnat identifieras med hjälp av akustiska vågor.

Förutom att ett beslutsfattande system lyckades upprättas genom analysen, kunde man även se vissa samband och förhållanden mellan viktplacering och amplitudskillnader. Därigenom kunde man fastställa tillvägagångssättet för genomförandet av framtida tester. Från det första testförsöket kunde man avgöra vilken aktuatorvinkel som var mest optimal för att mäta amplitudskillnaden vid pålagd massa. Utav de tre olika aktuatorvinklarna, visade det sig att (0°; 45°) var den bästa. Detta eftersom denna aktuatorvinkel gav känsligast avläsning med avseende på amplitudskillnader (jämför

kolumnerna i figur 2.2.3–2.2.6). De övriga två vinkelinställningarna gav inte lika känslig avläsning i figurerna 2.2.3–2.2.6 och därmed var det krångligare att analysera resultatet utifrån graferna med dessa vinklar. Känsligheten ses tydligast i figur 2.2.5.

För att kunna avgöra om massa fanns och var den fanns, kunde man konstatera att den longitudinella polarisationen längst bort ifrån aktuatoren gav det mest användbara sambandet. Man kunde se att amplituden dämpades ju närmare massan befann sig sensorn, då man jämförde det belastade fallet med det obelastade fallet (se kolumn 1, figur 2.2.5). Med hjälp av detta kunde man avgöra massans ungefärliga position, eftersom man visste att ju närmare massan befann sig sensorn, desto större skulle skillnaden i amplitud mellan belastat och obelastat fall bli. För övriga polarisationer, kunde inga samband mellan obelastat och belastat fall hittas. Resultatet för de övriga polarisationer var inte konsekventa och därför svåranalyserade. På grund av denna komplexitet analyserades bara resultatet från den sensorn placerad längst bort från aktuatoren.

Som nämndes ovan får man klarast samband av mätningarna från sensorn längst bort från aktuatoren och därför kan man dra vissa slutsatser om sensorplaceringen vid mätningar. Genom att studera figur 2.2.3, 2.2.4 och 2.2.6, kan man se att det är svårt att detektera massa när massan är placerad efter sensorn samt när sensorn är placerad nära vågkällan, eftersom amplitud-frekvensgraferna för belastat och obelastat fall sammanfaller. I figur 2.2.5 kan man lätt se logiska samband mellan masspålägg, massplacering och skillnad i amplitud mellan obelastat och belastat fall. Därför rekommenderas det att placera sensorerna längst ut på vingarna med vågkällan i navet på vindkraftverket. Vad som också nämnts tidigare i detta stycke är att man på ett enkelt sätt kan avgöra massans ungefärliga läge på plattan. Genom att noggrannare analysera resultatet från sensorn längst bort ifrån aktuatoren, bör det vara möjligt att fastställa massans exakta placering.

5 Fortsatt forskning

För att driva arbetet vidare finns det några långsiktiga aspekter som bör beaktas och finnas i åtanke. Man kan nu få svar på om det finns extra massa på plattan. Nästa steg är att ställa sig följande frågor:

- Hur mycket väger den extra massan?
- Var finns den extra massan på plattan?
- Vad är den extra massan?

För att få svar på detta är det starkt rekommenderat att implementera sex kanaler för att få möjlighet till en bättre dataanalys. Kollar man på testuppsättningen skulle det innebära att man behöver två oscilloskop, ty ett oscilloskop endast har input för fyra kanaler. Man skulle behöva tillverka fler sensorhållare samt införskaffa sig två extra accelerometrar för att kunna använda alla sex kanalerna istället för fyra som används i dagsläget. För Labview-programmet skulle man behöva programmera om första delen (se figur 2.1.4) för sex kanaler samt att loopen i tredje delen (se figur 2.2.1) behöver göras för sex omgångar istället för fyra. Med dessa aspekter lösta har man stor möjlighet till att kunna besvara ovanstående frågor, vilket är en liten bit på väg till ett färdigt isdetekteringssystem. Vidare, för att göra detta program användarvänligt,

behöver man fixa till interfacet i Labview samt försöka implementera det beslutsfattande systemet i samma program. Interfacet som ligger i frontpanelen skall göras så enkelt som möjligt med så få manuella inställningar man kan. Det beslutsfattande systemet och analysdelen, som för tillfället genomförs i MATLAB, är något som skapar extra manuellt arbete som inte får finnas om programmet skall ges ut som en säljande produkt. När en stor mängd antal tester är gjorda är det rekommenderat att göra en regressionsanalys för att statistiskt undersöka om det finns någon korrelation mellan data. En sådan analys, med ett bra utfall, skulle medföra att man har möjlighet att bygga en matematisk modell för att kunna avgöra en pålagd massas position och vikt.

Jämfört med vad projektet står idag och vad nästa kortsiktiga steg blir, finns det framförallt två områden som man bör starta med. Det första området är designen av testuppsättningen. Här behöver man tänka igenom var man placerar vikten på plattan och då ha i åtanke hur isbildningen på en vindkraftsvinge går till. Innan man gör tester med riktig is i en fryscontainer, bör man ha upprättat ett beslutsfattande system som fungerar för en pålagd massa. Man bör också tänka efter vilken typ av vikt man använder vid testerna. Är det en klämma? En gymvikt? Vilken typ är bäst modell av is? Olika typer av vikter har olika påverkan på de akustiska vågornas utberedning, även om de kanske inte är jättestora, men detta är ändå någonting att ta i beaktande för framtida tester. Det andra området är dataanalysen där man bör utföra analyser av FFT-resultaten noggrannare när man har sex kanaler för att se skillnader i flera polarisationer. Som det är nu finns det bara två sensorer för en polarisation medan de två andra polarisationerna enbart har en sensor, vilket gör att man bara kan se vågens utberedning i början av plattan för två av polarisationerna. Vidare bör man också analysera STFT-resultaten från testerna för att få ut grupphastigheter. Detta har inte gjorts i denna omgång av projektet pga. tidsbrist eftersom byggandet av testuppsättningen tog så pass lång tid. Samtidigt som man bestämmer grupphastigheter, är det rekommenderat att implementera fler analysmetoder som förutom, grupphastigheter och amplituder, ger till exempel fashastigheter. Då kan man bygga ett känsligare analysystem som skall kunna ge svar på frågorna ovan.

Avslutningsvis har projektet stora möjligheter att drivas vidare och bli något riktigt bra. Mycket av arbetet har, som tidigare nämnts, lagts på att bygga testuppsättningen och testkomponenter från början samt programmera Labview-programmet som skulle ta upp data och behandla data på det sättet som var eftersökt. På grund av detta kunde inte tillräckligt mycket tid läggas på att analysera data och besvara de frågor om extra massan som efterfrågades i början av projektet. Dock är potentialen stor och förhoppningsvis kommer någon grupp ta upp detta projekt i framtiden och driva det vidare till sin yttersta spets. Tack vare att isbildning och avisning på vindkraftverk är ett sådant stort problem idag, är ett fortsatt arbete inom detta område mycket värdefullt.

Bibliografi

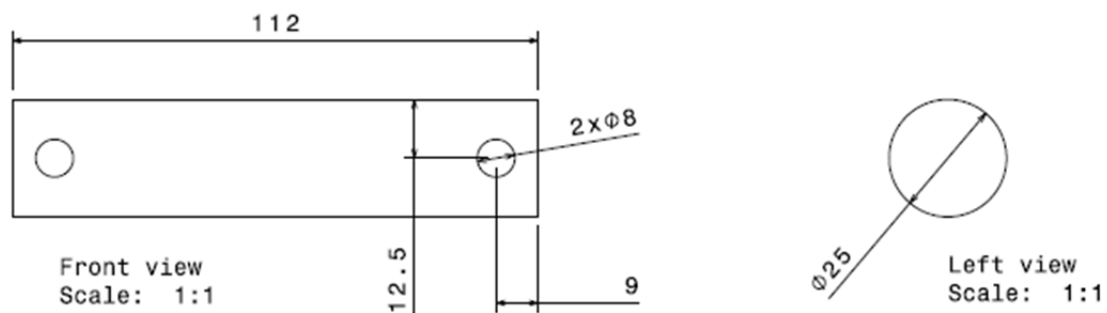
- [1] E.ON. *Vindenergi – ökar mest*. URL: <http://www.eon.se/om-eon/Omenergi/Innovateon/Vindkraft/> Tillgänglig: Jan 2013.
- [2] M.C. Homola, P.J. Nicklasson, P.A. Sundsbø. “*Ice Sensors for wind turbines*”. Narvik University College, Narvik, Norway, June 2006.
- [3] Ny Teknik J.Hållén. “*Nu ska isen på vindkraftverk tas på allvar*”. Jan 2009. URL: http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/vindkraft/article258501.ece Tillgänglig: Jan 2013.
- [4] H. Gao och J.L. Rose. “*Ice Detection and Classification on an Aircraft Wing with Ultrasonic Shear Horizontal Guided Waves*”. IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL, VOL.56, NO. 2, The Pennsylvania State University, University Park, PA, Feb. 2009.
- [5] F. Slätte, K. Jovanov. “*Structural Health Monitoring for Aerospace Composite Structures – an Investigation of the Potential Using the Finite Element Method*”. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2012.
- [6] B. Dawson. “*Vibration condition monitoring techniques for rotating machinery*”. The Shock and Vibration Digest. London. 1976.
- [7] Institute for Telecommunication Sciences. “*Acoustic waves*”. Aug 1996. URL: http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-001/_0133.htm Tillgänglig: Jan 2013.
- [8] J.D. Achenbach. “*Wave propagation in elastic solids*.” Elsevir science publisher B.V. P.202-261, 1984.
- [9] J.C. Cheng, S.Y. Zhang och Y. Berthelot. “*Experimental and theoretical analyses on laser-generated transient Lamb waves in orthotropic plate*”. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 17, American Institute of Physics: P. 1151-1158, 2000.
- [10] M. Spies and M. Kröning, “*Elastic wavefield modeling for arbitrarily oriented orthotropic media*”. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. Plenum Press New York Vol. 17: P. 1163-1170, 1998.
- [11] Ping He. “*Measurement of acoustic dispersion using both transmitted and reflected pulses*”. Department of Biomedical, Industrial and Human Factors Engineering, Wright State University, Dayton, Ohio 45435, Nov 1999.
- [12] Nationalencyklopedin. “*Egenfrekvens*.” URL: <http://www.ne.se/lang/egenfrekvens> Tillgänglig: Feb 2013.
- [13] Nationalencyklopedin. “*Elastiskt material*.” URL: <http://www.ne.se/elastiskt-material> Tillgänglig: Feb 2013.
- [14] Wisegeek. “*What Is an Actuator?*” URL: <http://www.wisegeek.org/what-is-an-actuator.htm> Tillgänglig: Jan 2013.

- [15] V. Berbyuk, J. Sodhani. "*Towards modeling and design of magnetostrictive electric generators*". Mechanical Systems, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, SE-412 96, Göteborg, Sweden, Mars 2007.
- [16] V. Berbyuk. "*Terfenol-D based transducer for power harvesting from vibration*". ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Sep 2007.
- [17] Transducers, Gauges, Sensors. "*Transducers of acceleration – Accelerometers.*" URL: <http://sensorse.com/pageen.html> Tillgänglig: Mars 2013.
- [18] CeramTec. "*Arbetsprincip piezo-elektricitet, perovskit och polarisering*". URL: <http://www.ceramtec.se/keramiska-material/piezokeramer/grunderna/> Tillgänglig: Mars 2013.
- [19] Analog Devices. "*Accelerometer Design and Applications*". Dec 2008.
- [20] Reads Systems. "*Vibration sensors*". Jul 2009. URL: http://www.readsystems.com.au/vibration_sensors.htm Tillgänglig: Feb 2013.
- [21] Nationalencyklopedin. "*Oscilloskop*". URL: <http://www.ne.se/enkel/oscilloskop> Tillgänglig: Mars 2013.
- [22] National Instruments. "*LabVIEW System Design Software*". URL: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/docid/nav-104/lang/sv/> Tillgänglig: Mars 2013.
- [23] R. N. Bracewell. "*The Fourier Transform and Its Applications*". 3rd edition. 2000.
- [24] MathWorks. "*Fast Fourier Transform (FFT)*". URL: <http://www.mathworks.se/help/matlab/math/fast-fourier-transform-fft.html> Tillgänglig: Mars 2013.
- [25] MathWorks. "*Discrete Fourier Transform (DFT)*". URL: <http://www.mathworks.se/help/matlab/math/discrete-fourier-transform-dft.html> Tillgänglig: Mars 2013.
- [26] OriginLab. "*Short-Time Fourier Transform (STFT)*". URL: <http://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin/DataAnalysis/SignalProcessing/STFT> Tillgänglig: Apr 2013.
- [27] NC State University. "*Gaussian Function*". URL: http://www4.ncsu.edu/~franzen/public_html/CH331/help/gauss/gauss.html Tillgänglig: Apr 2013.
- [28] MathWorks. "*MATLAB The Language of Technical Computing*". URL: <http://www.mathworks.se/products/matlab/> Tillgänglig: Apr 2013.

[29] L. Draudvilienė, L. Mažeika. "Investigation of the spectrum decomposition technique for estimation of the group velocity Lamb waves". ISSN 1392-2114 ULTRAGARSAS (ULTRASOUND), VOL. 64, No. 4, 2009.

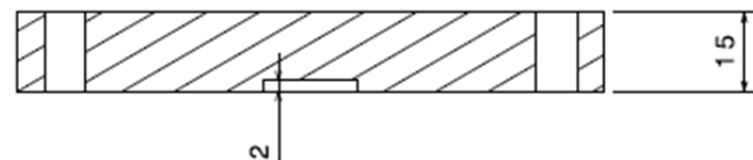
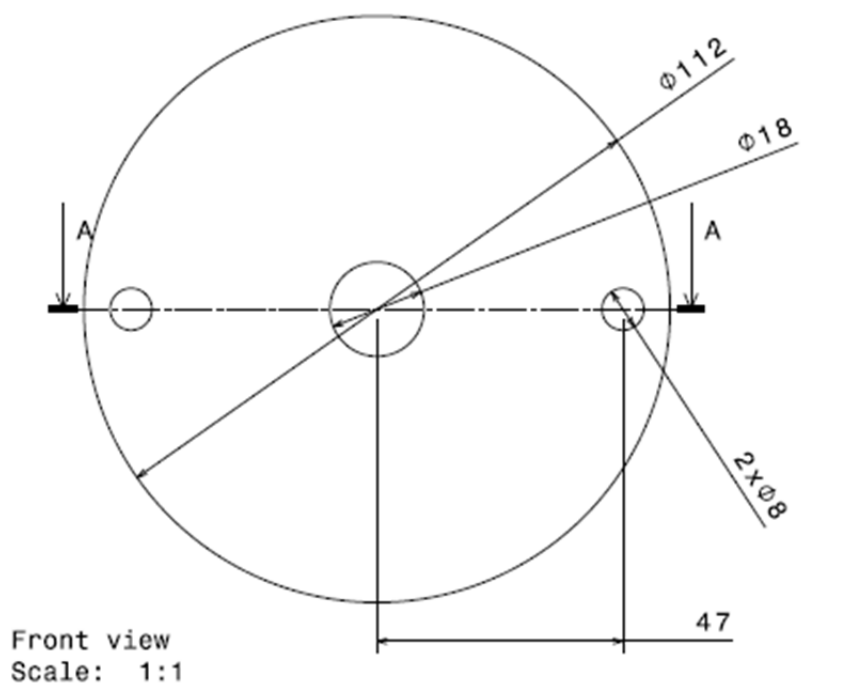
[30] H. Karlsson, "Vindkraftverk i kallt klimat – Beskrivning av iskast med hjälp av produktionsdata". Umeå universitets tekniska Högskola, Umeå, Sverige, 2010-06-02. URL: <http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/ExjobbCivIngET/Rapporter/2010/Helena%20Karlsson%20Vindkraft%20i%20kallt%20klimat%2020100915.pdf>
Tillgänglig: Jan 2013.

A APPENDIX – Ritningar



Material: Stål

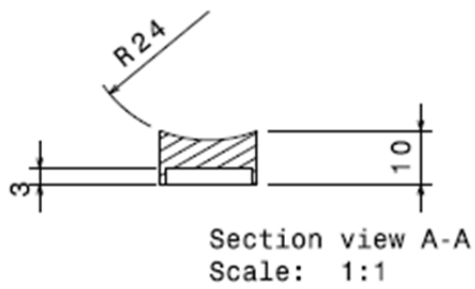
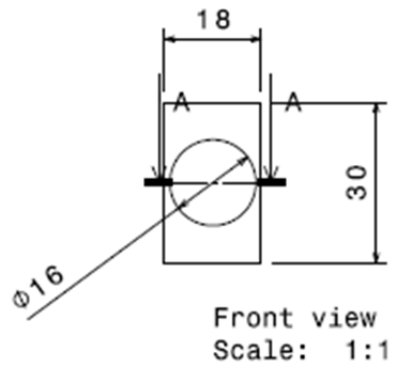
Figur A.0.1: Ritning över axeln i aktuatorfästet. D i figur 2.1.2.



Material: Stål

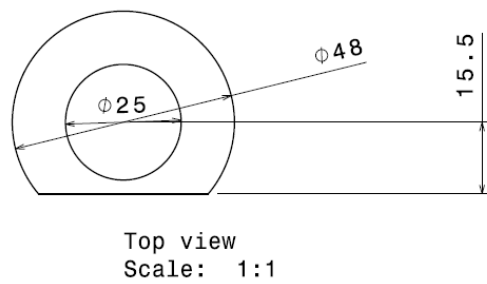
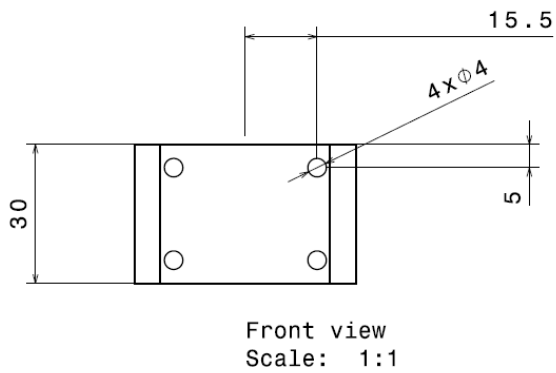
Section view A-A
Scale: 1:1

Figur A.0.2: Ritning över bakstycket i aktuatorfästet. I i figur 2.1.2.



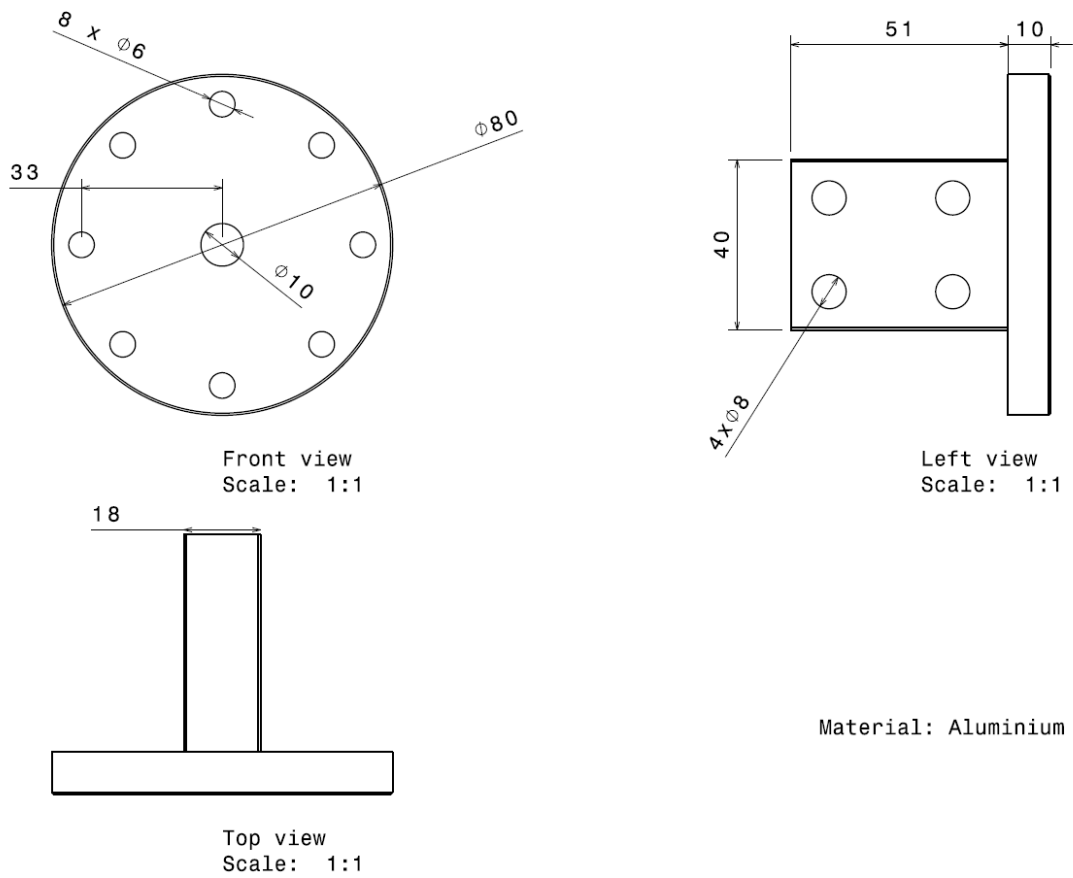
Material: Aluminium

Figur A.0.3: Ritning över brickan i aktuatorfästet. E i figur 2.1.2.

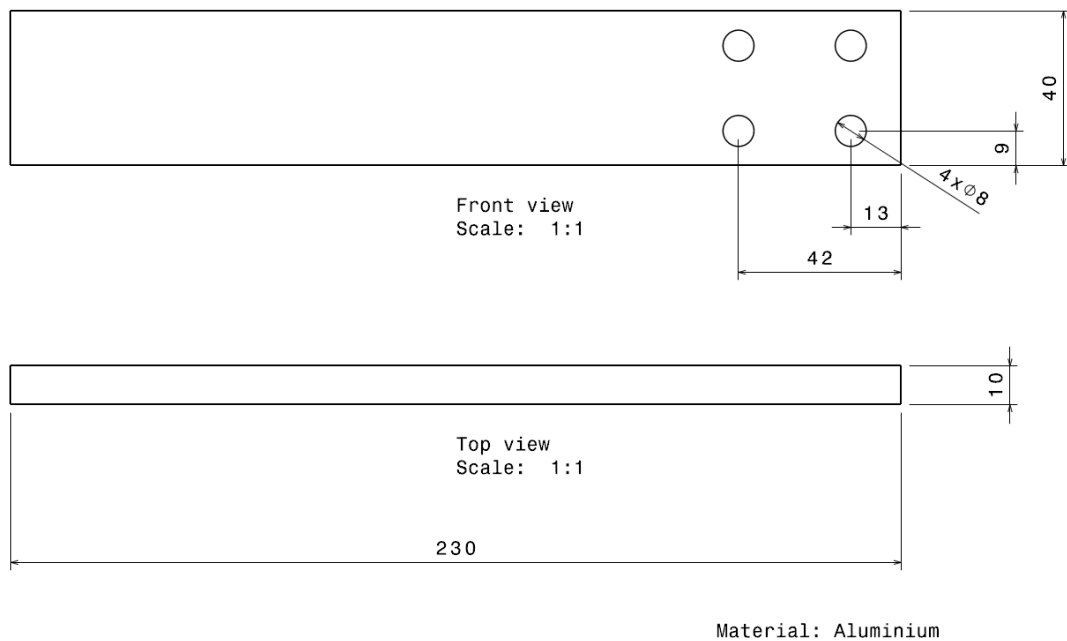


Material: Stål

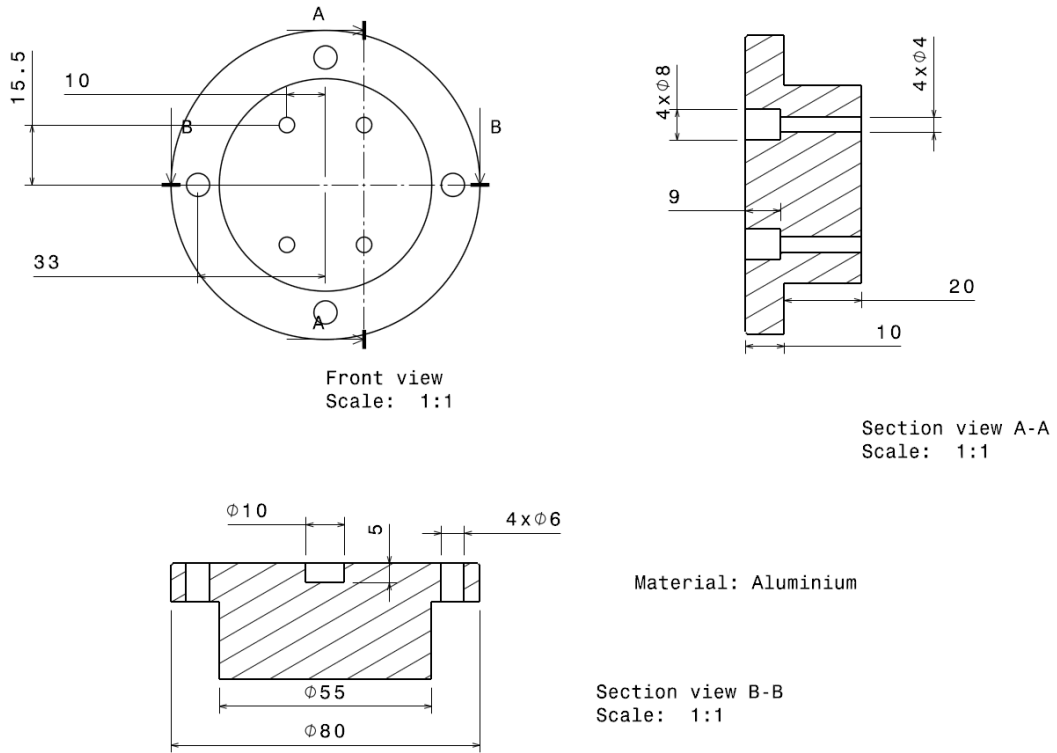
Figur A.0.4: Ritning över ringen i aktuatorfästet. F i figur 2.1.2.



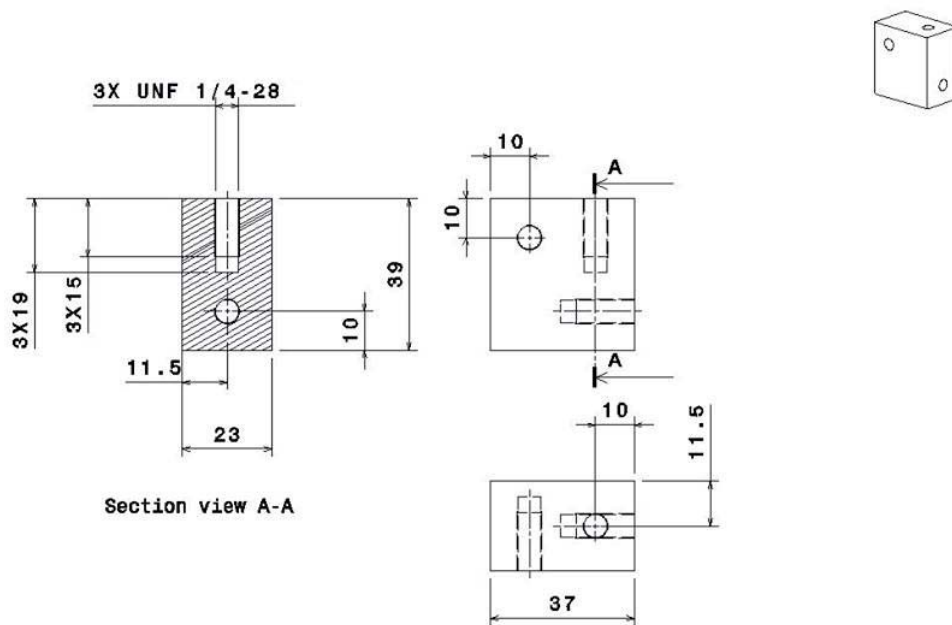
Figur A.0.5: Ritning över plankfästet i aktuatorfästet. B i figur 2.1.2.



Figur A.0.6: Ritning över fästplattorna i aktuatorfästet. A i figur 2.1.2.



Figur A.0.7: Ritning över rotationsplattan i aktuatorfästet. C i figur 2.1.2.



Figur A.0.8: Ritning över sensorfästena. I figur 2.1.1 åskådliggörs ett sensorfäste.

B APPENDIX – Ordlista till Labview

Vertical Coupling: Väljer typ av komponenter som skall visas i oscilloskopet, DC (visar DC- och AC-komponenter av vågutbredningen), AC (visar AC-komponenten av vågutbredningen) eller GND (blockerar alla signaler).

Probe Attenuation: Inställning för skalning av den vertikala axeln.

Vertical Range: Amplitud/division-inställning som ändras i ett 1-2-5 stegsekvens från 2mV/division till 5 V/division.

Trigger: Anger när och hur oscilloskopet skall börja läsa signalerna från accelerometrarna.

Trigger Source: Vilken kanal den skall trigga på.

Trigger Slope: Om oscilloskopet skall trigga på negativ eller positiv spänning.

Trigger Modifier: Anger vilket triggermode den skall köra, Edge Pulse, Video, Pattern eller Alternae.

Trigger Level: Anger vilken spänningsnivå den ska triggas på så den inte trigger på brus.

Signal Format: Väljer vilken vågform man vill att oscilloskopet ska triggas på, antingen NTSC eller PAL/SECAM.

TV Line Number: Anger numret på vilken kanal trigging ska ske.

TV Event: Anger vilka grafer som skickas ut.

C APPENDIX – Labview manual

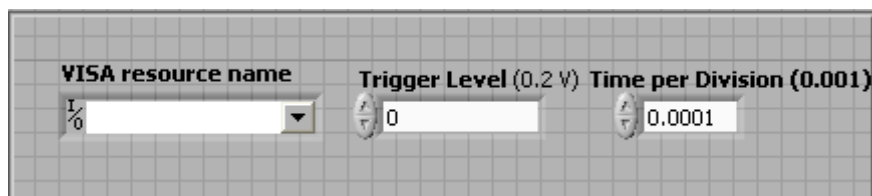
Programmet *Dataprocessing.vi* har använts vid alla de tester som gjorts under arbetets gång. Följande avsnitt beskriver hur man som ny användare skall gå tillväga för att kunna köra programmet samt hur man använder det. För innebörden av de olika inställningarna se appendix B.

Before getting started

1. Se till att ha filerna *Dataprocessing.vi* och *Linespace.vi* i samma mapp.
2. Ladda ner drivrutiner för oscilloskopet DSO 1014A. Detta görs i Labview; Tools > Instrumentation > Find Instrument Drivers. Välj här Agilent Technologies under Manufacturer och välj sedan Agilent DSO1000 Series. Drivrutinerna kommer nu att laddas ner och läggas i funktionsmappen Input > Instrument Drivers.
3. Starta nu *Dataprocessing.vi*.

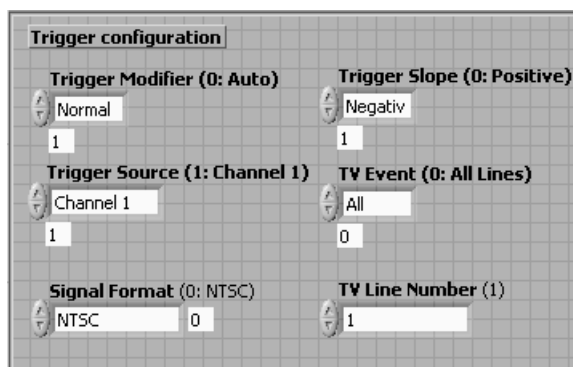
Running the program

1. Ställ in övergripande inställningar för programmet enligt figur C.0.1. Inställningarna är vilken USB-port oscilloskopet är kopplad till, triggernivån samt hur stora steg programmet skall skriva på x-axeln. Värdena inom parentes är de värdena som användes i detta arbete.



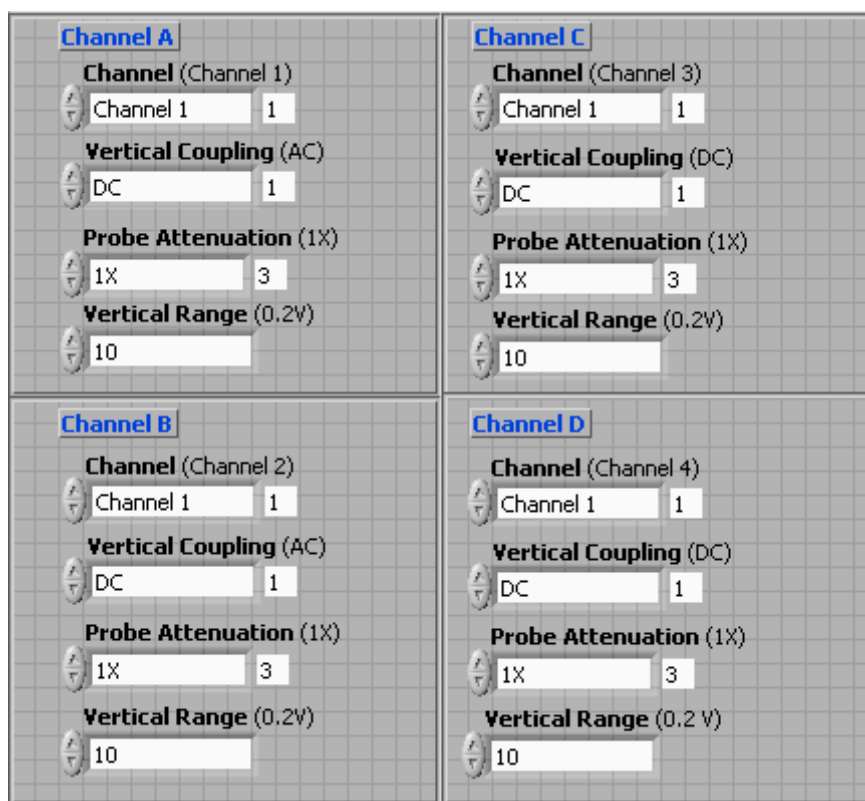
Figur C.0.1: Övergripande inställningar.

2. Ställ in de specifika triggerinställningarna enligt figur C.0.2. Värdena som står i rutorna är de värdena som användes i detta arbete.



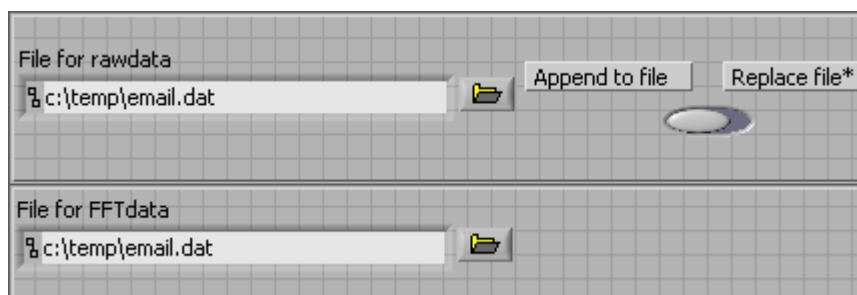
Figur C.0.2: Triggerinställningarna.

3. Ställ in inställningarna för varje kanal enligt figur C.0.3. Värdena inom parentes är de värdena som användes i detta arbete.



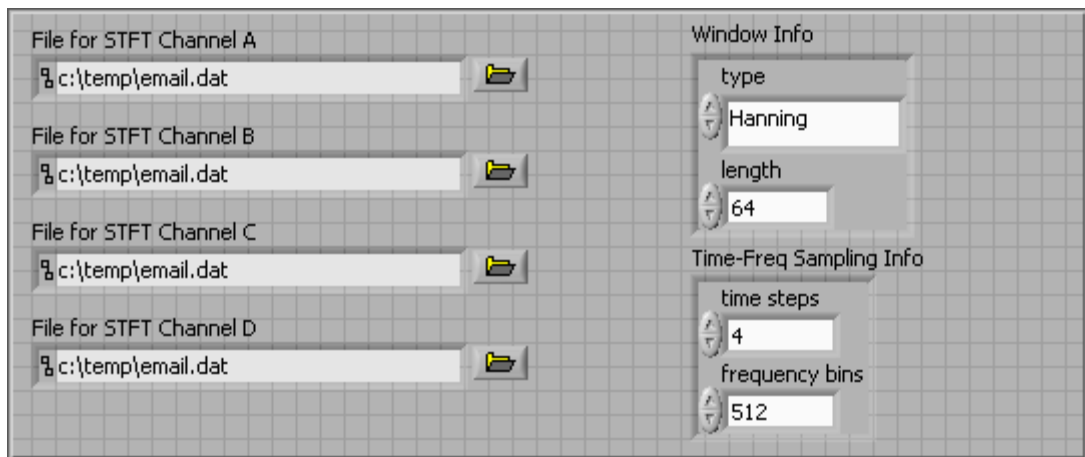
Figur C.0.3: Kanalinställningarna.

4. Ställ in filnamn och mapp för vart filen för rådata och FFT-data skall sparas, enligt figur C.0.4. Sätt knappen bredvid till "Replace file" om syftet är att generera en ny fil med rådata för varje test.



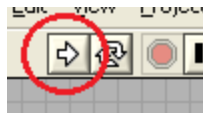
Figur C.0.4: Filkälla för rådata och FFT-data.

5. Ställ in filnamn och mapp för vart filen för STFT-data skall sparas, enligt figur C.0.5. Välj också vilka inställningar graferna för STFT skall ha. Värdena för detta som står i de vita rutorna är de som användes för detta arbete.



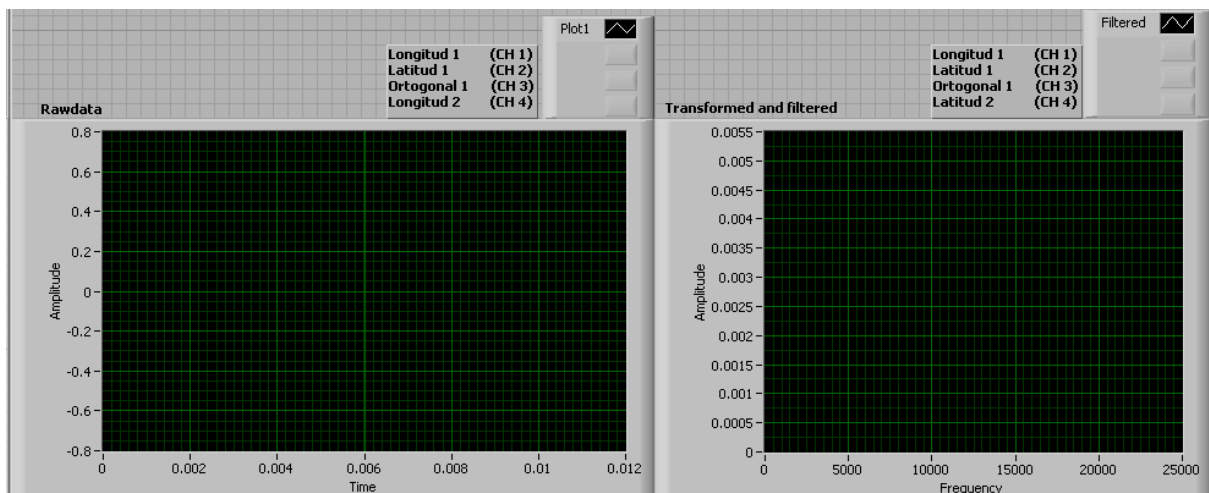
Figur C.0.5: Filkälla för STFT-data och inställningar för SFTF-graf.

6. Kör programmet genom att trycka på pilen uppe i det vänstra hörnet enligt figur C.0.6.

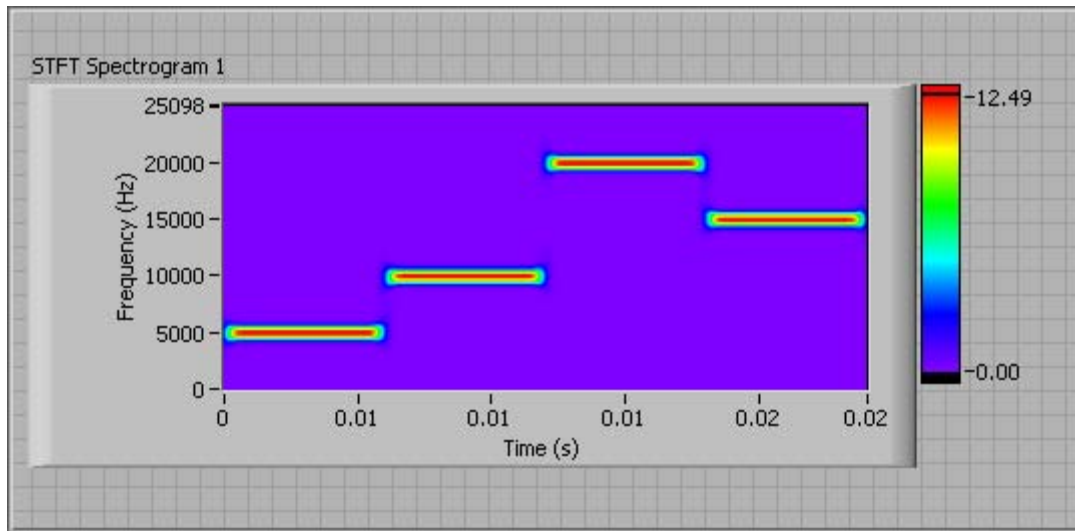


Figur C.0.6: Kommando för att köra programmet.

7. Vänta på att programmet skall köra klart. Detta tar ca 2 min 30 sek. När programmet har kört klart finns det tre resultat att hämta ut i grafer (se figur C.0.7 och C.0.8). Resultaten är rådata, FFT-resultat och STFT-resultat. STFT-resultaten består av fyra diagram; ett för varje kanal.



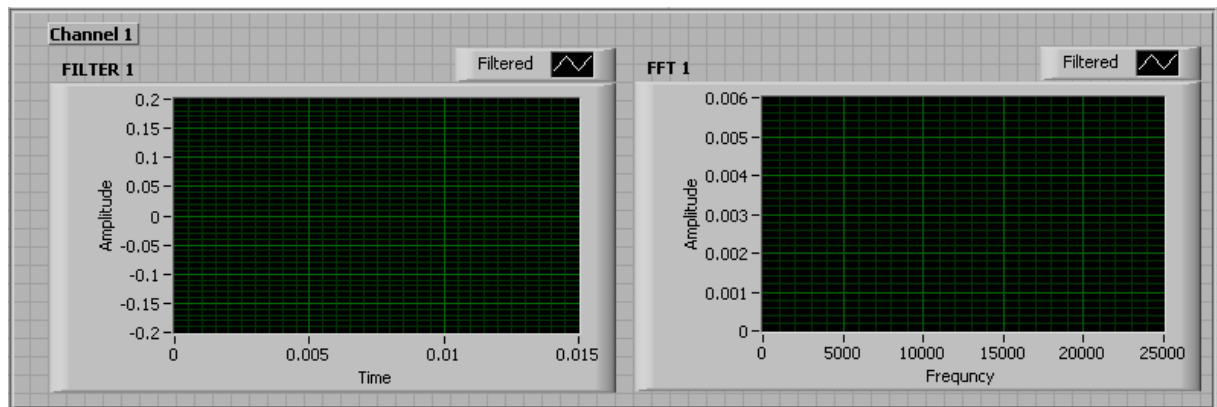
Figur C.0.7: Grafer för rådata och FFT-resultat.



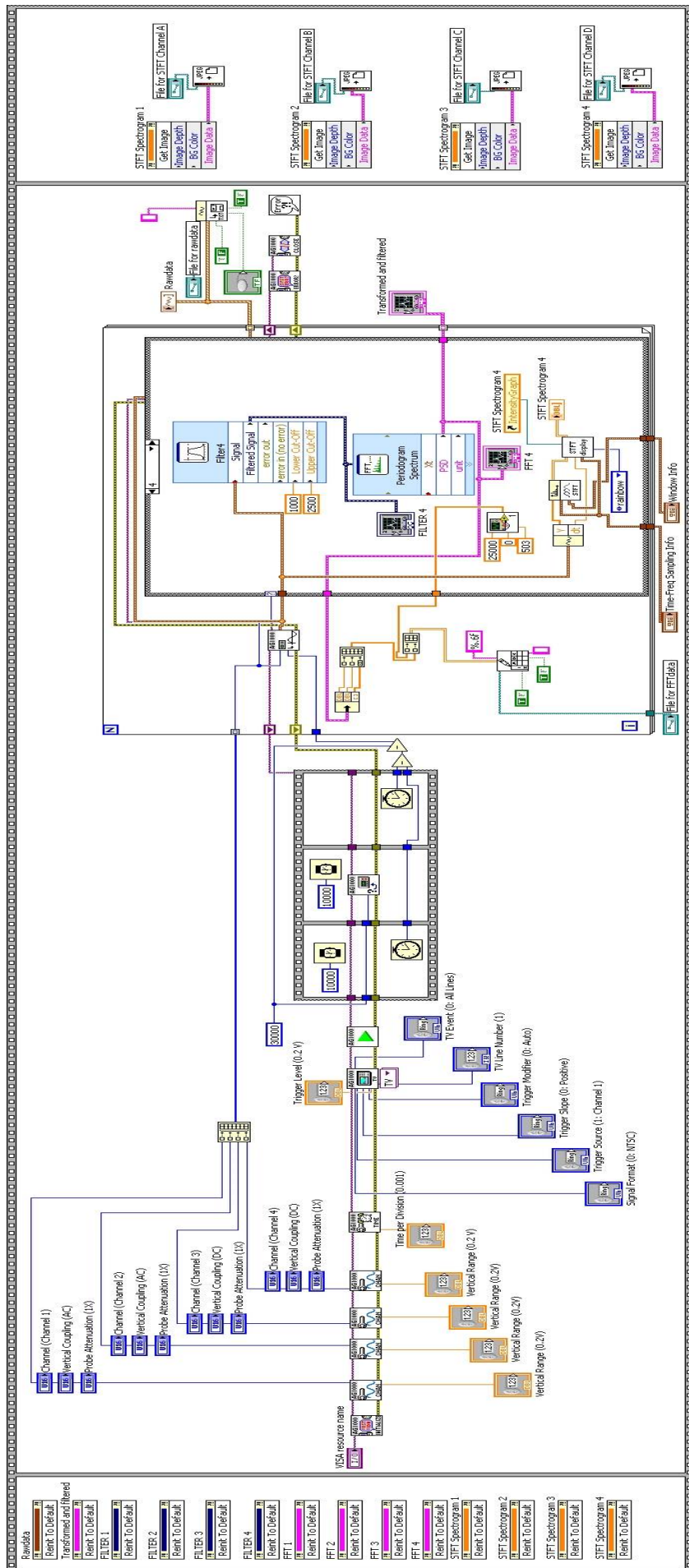
Figur C.0.8: Graf för STFT-resultat.

8. Data finns nu att hämta under respektive filkälla som tidigare angivits. Filerna är i textformat. Observera att om filnamnet har angivits i .dat, så går filerna utan problem att öppna i programmet "Notepad". Det går även att direkt skriva .txt när filnamnet anges.

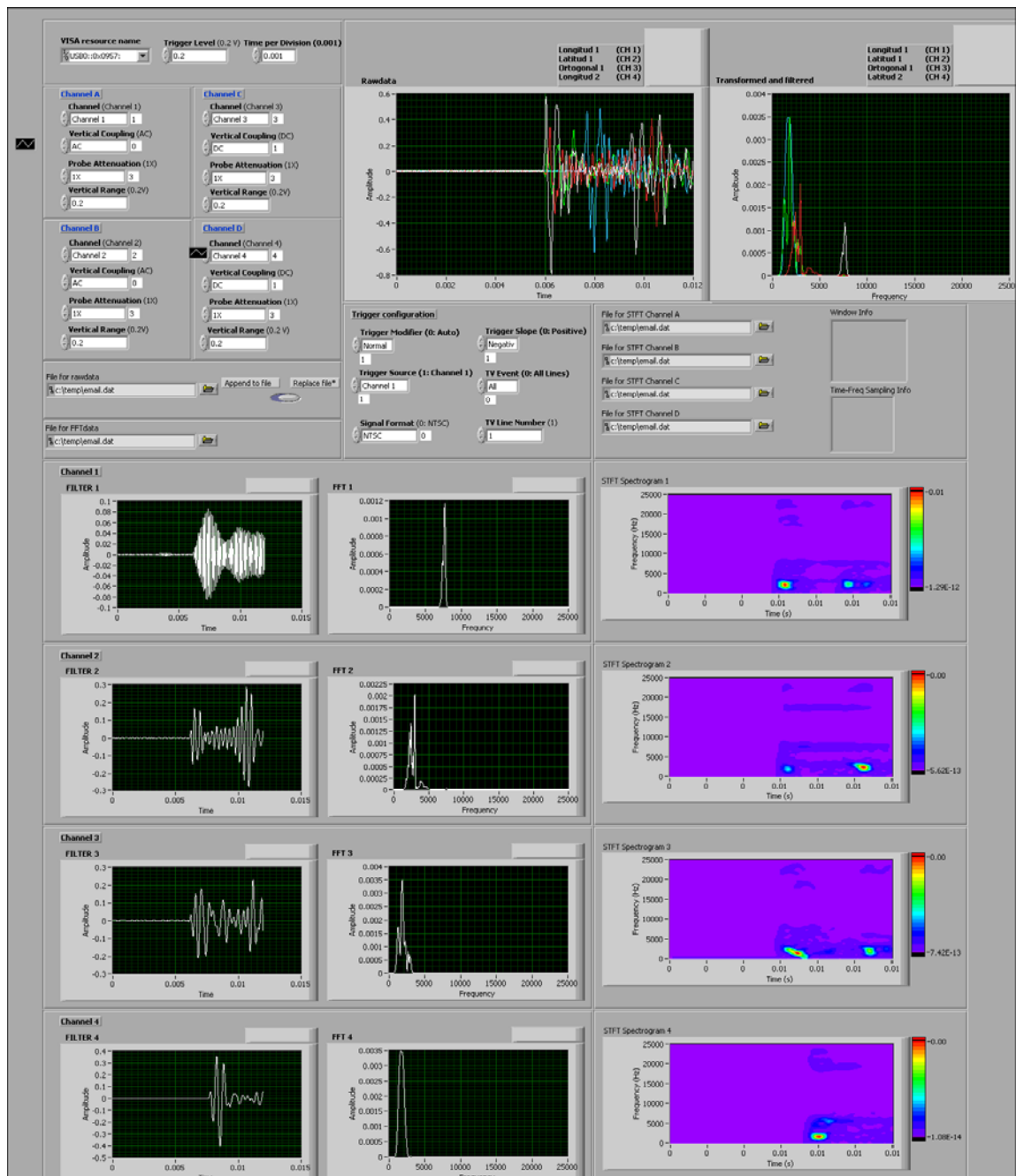
OBS! För att noggrannare kunna se resultaten från filtrets påverkan på signalen samt FFT-resultaten för varje kanal, har två extra grafer upprättats för varje kanal i frontpanelen, enligt figur C.0.9. Figur C.0.10 illustrerar blockschema för hela programmet dataprocessing.vi och figur C.0.11 illustrerar frontpanelen.



Figur C.0.9: Grafer för filtrets påverkan och FFT-resultaten per kanal.



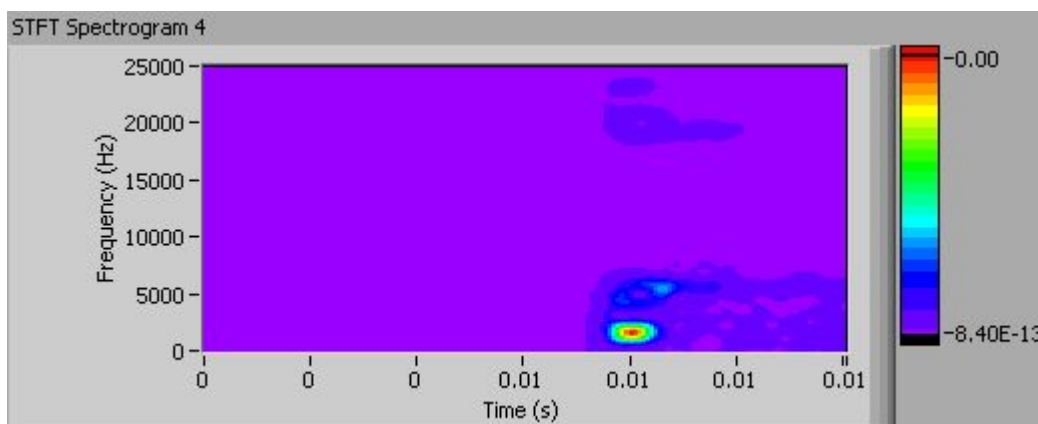
Figur C.0.10: Illustrerar blockschemat för hela programmet.



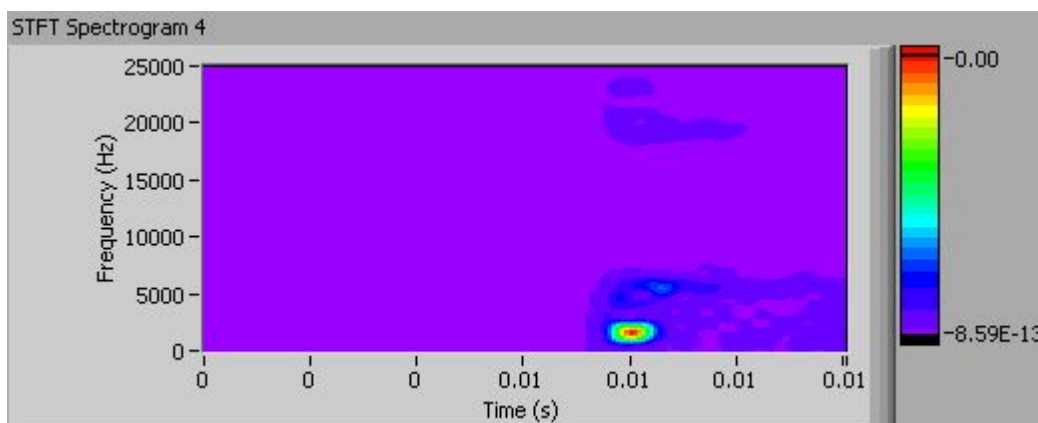
Figur C.0.11: Illustrerar frontpanelen för hela programmet.

D APPENDIX – Resultat från STFT

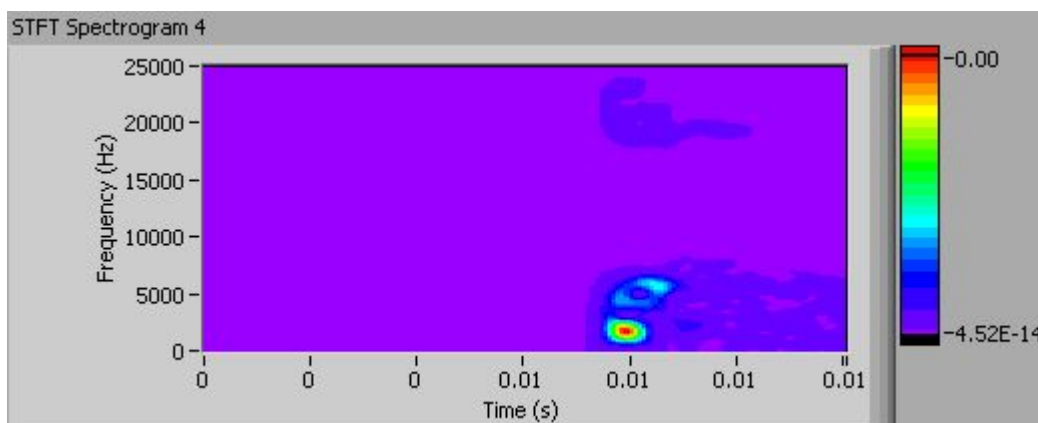
Man kan visuellt se små skillnader mellan de olika belastningsfallen, men inte tillräckligt för att kunna avgöra om det finns någon pålagd massa och följaktligen inte heller massans position, vikt och typ. Figur D.0.1 till och med D.0.3 illustrerar STFT-resultatet för olika belastningsfall för longitudinell polarisation för sensorn längst ifrån aktuatorn med aktuator vinkel (0° ; 45°).



Figur D.0.1: Illustrerar STFT-resultatet för longitudinell polarisation för sensorn längst ifrån aktuatorn med aktuatorvinkel (0° ; 45°) och utan masspålägg.

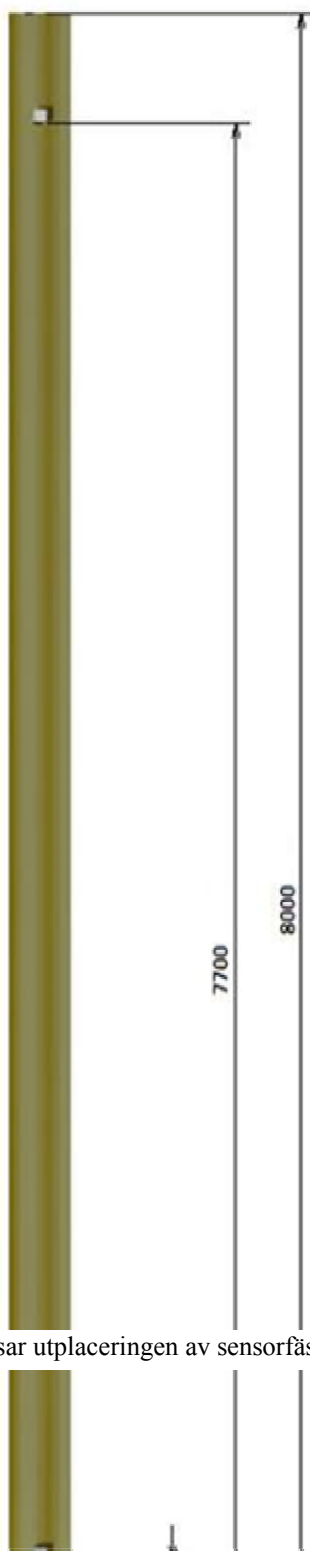


Figur D.0.2: Illustrerar STFT-resultatet för longitudinell polarisation för sensorn längst ifrån aktuatorn med aktuatorvinkel (0° ; 45°) och med masspålägg 0.3 m ifrån aktuatorn.



Figur D.0.3: Illustrerar STFT-resultatet för longitudinell polarisation för sensorn längst ifrån aktuatorn med aktuatorvinkel (0° ; 45°) och med masspålägg 7.8 m ifrån aktuatorn.

E APPENDIX – Sensorplacering



Figur E.0.1: Figuren visar utplaceringen av sensorfästena på plattan.