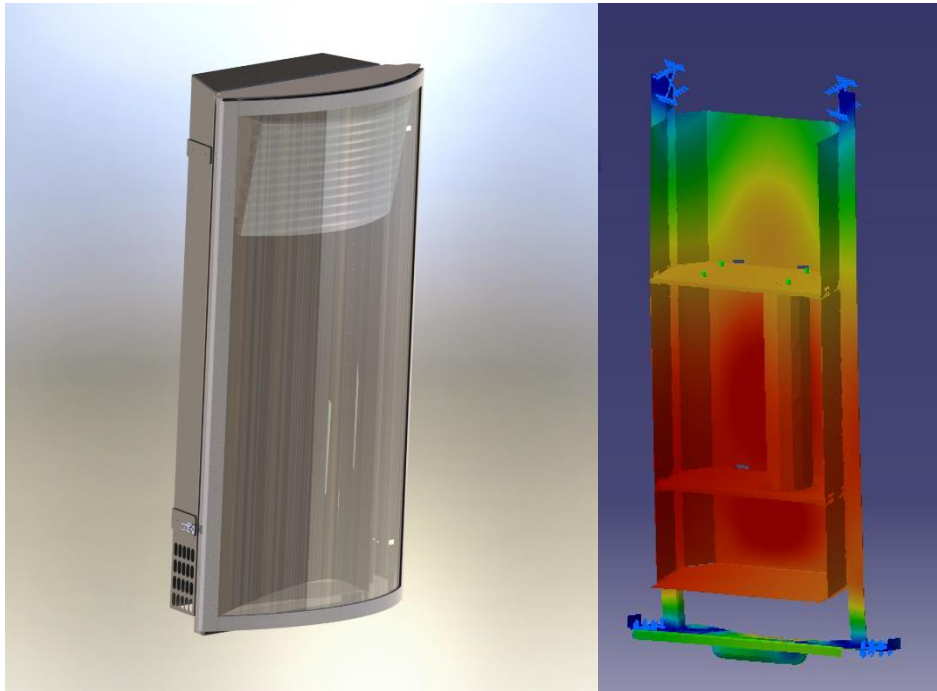




FE-analys av ram på solvärmepump FE-analysis of frame to solar heat pump

**Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom
Maskiningenjörsprogrammet**

Martin Nylén

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sweden, 2014
Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 121/2014

FÖRORD

Detta examensarbete utfördes genom Chalmers tekniska högskola för högskoleingenjörsutbildningen maskin med inriktning konstruktion. Arbetet på 15hp utfördes åt och med hjälp av Värmestugan AB och SoletAer i Arvika. Tack till alla anställa på Värmestugan samt SoletAer för det mycket vänliga bemötandet, för allt stöd och för all hjälp med att försöka förstå solvärmepumpen. Några mycket speciella tack går till Adam Fjaestad, Magnus Nilsson, Lars Ivarsson och Gert Persson.

Adam gav möjligheten att få arbeta på plats hos SoletAer i Arvika vilket underlättade arbetet och som gav en mycket lärorik upplevelse.

Magnus, som med ett mycket trevligt bemötande, öppnade dörren till detta mycket lärorika samarbete med Värmestugan AB och SoletAer.

Lars tog sig an uppgiften som handledare att stötta och i största möjliga utsträckning ge all den hjälp som behövdes för ett väl genomfört arbete.

Gert gav med sin energi och positiva attityd bränsle och motivation till arbetet där han även tillförde mycket användbar information samt vägledning.

SAMMANFATTNING

Företaget Värmestugan AB startade under 2012 i Arvika med målet att värma vatten mer effektivt med hjälp av solen. Värmestugan är moderbolaget till SoletAer som utvecklar produkten med samma namn vilket är en solvärmepump som är en kombinerad solfångare och värmepump, skapad för uppvärmning av vatten. När solen inte värmer tillräckligt ska värmepumpdelen aktiveras och då startar bland annat en kompressor för att driva systemet. De vibrationer som kompressorn alstrar riskerar att skapa resonans i ramen och rören vilket leder till oljud och i värsta fall sprickbildning på rören. Arbetet går till huvudsak ut på att undersöka möjligheterna för buller att uppstå och med hjälp av FE-modeller ta reda på vilka frekvenser som konstruktionen är känsligast för.

Först i fokus var den så kallade innerramen som innehåller både kompressor och fläkt. Efter flera beräkningsmodeller konstaterades det finnas flera frekvenser som skapar resonans i kombination med kompressor och fläkt. En åtgärd med gummibussningar på kompressorn fanns då redan vilket kraftigt dämpade kompressorns vibrationer relativt innerramen. Då byttes fokus till att undersöka rörsystemet. Avfrostningsröret sitter direkt kopplat mellan solplåten och kompressorn och löper över en meter fritt. Modellerna visade att själva röret hade egenfrekvenser på nästan var tionde hertz och några av dem sammanföll även med solplåtens egenfrekvenser.

SUMMARY

Company Värmestugan AB started 2012 in Arvika with the goal to heat water more efficiently with the help of the sun. Värmestugan is the parent company of SoletAer that develops the product of the same name which is a solar heat pump that is a combined solar panel and heat pump, created for water heating. When the sun does not heat enough the heat pump part is activated and this process needs a compressor to run the system. The vibrations the compressor generates might create resonance in the frame, and the tubes leading to loud noise and in the worst case, cracking of the tubes. The work main objective is to investigate the potential for noise to occur, and with the help of the FE models to find out which frequencies the structure is most sensitive to.

At first the focus was on the so-called inner frame that includes both compressor and fan. After several computational models there were found to be several frequencies that resonate in combination with the compressor and fan. A measure with rubber bushings on the compressor was then already applied and greatly attenuated the vibrations of the compressor relative the inner frame. Then the focus shifted to examine the piping. The defrost pipe sits directly connected between the solar panel and compressor and runs over a meter unsuspended. The models showed that the pipe itself had natural frequencies of almost every ten hertz and some of them even coincided with the solar panel's eigenfrequencies.

Innehållsförteckning

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet	0
FÖRORD.....	1
SAMMANFATTNING	2
SUMMARY	3
1. INLEDNING.....	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte.....	5
1.3 Avgränsningar	6
1.4 Precisering av frågeställning	6
2. TEORETISK REFERANSRAM	7
2.1 Historik & förklaring	7
2.2 Viktiga begrepp	8
2.3 Produktförklaring.....	9
3. METOD.....	0
3.1 Förstudie	0
3.2 Modellering & analysering	1
3.3 Åtgärder	1
4. FREKVENSPANALYS	2
4.2 Modellering 1, Innerramen	2
4.3 Analysering 1, Innerramen	4
4.4 Modellering 2, Rör från kompressor till solplåt	7
4.5 Analysering 2, Rör från kompressor till solplåt	9
5. ÅTGÄRDER	10
5.1 Innerram.....	10
5.2 Rör	10
5.2 Ytterdel	11
6. SLUTSATS	12
Referenser	13
Personreferenser	13

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Värmestugan AB startade 2012 i Arvika, Värmland, med målet att skapa en produkt som med solljus värma vatten till hushåll. Detta ledde till ett arbete att konstruera en solvärmepump, som är en solfångare med kombinerad luft-vatten värmepump. I februari 2014 hade företaget nått prototypstadiet vilket kräver att produkten testas, kalibreras och framför allt fungerar. Då företaget är litet och nystartat finns det begränsningar med personal och tid, vilket leder till att bara det mest essentiella för funktionen, i detta fall att värma vatten effektivt, går före allt annat. Styrningen som även det är en tung faktor som behöver fungera, är direkt kopplat till hur väl solvärmepumpen kommer prestera och tar därför mycket tid. Konstruktionen som kommer i andra hand är också i ett viktigt stadie då produkten ska kunna stå i väder och vind tills att testerna som krävs blir fullständiga samt att produkten ska vara lätt att arbeta med.

1.2 Syfte

Värmestugan har mycket arbete att färdigställa för att få en fungerande produkt i tid. Det gör att vissa aspekter blir lidande, något som kanske kunderna gärna fått utfört, så som buller förebyggande. En sådan sak är oljud från solvärmepumpen. När solfångaren får sol är det en rent termodynamisk process som driver systemet vilket inte kräver några mekaniska delar och skapar därmed inga värre vibrationer, (möjligtvis kan det finnas luft i rören för vattnet). När solvärmepumpen inte får tillräckligt med solljus för att värma vattnet till den önskade temperaturen så startar kompressorn och fläkten för att låta värmepumpdelen värma vattnet. Då kompressorn aldrig är perfekt balanserad kommer den att alstra vibrationer som kan skapa resonans, eller egensvängningar, i systemets olika delar. Detta förstärker bullret ifrån kompressor eller fläkt beroende på vilken del i systemet som har den överensstämmande resonansfrekvensen. Syftet är därmed att med FEM undersöka vilka dessa egenfrekvenser är, och om någon eller några detaljer ligger i riskzonen, styva upp dessa eller dämpa vibrationskällan.

1.3 Avgränsningar

Värmestugan har indelat konstruktionsarbetet i tre större delar. En mekanisk, en elektrisk och en kylningsdel. Två av dessa, den mekanisk och kylningsdelen, är de områden som rapporten kommer beröra då det är dessa fysiska detaljer som med störst sannolikhet kommer att utsättas för resonans. CAD-modeller kommer inte konstrueras med mer än intressanta detaljer som är i direkt beröring av med vibrationskällan. Modellerna byggs på tills att tillräckligt trovärdiga randvillkor lyckas åstadkommas, eller tills att resultaten inte längre förändras. Inget som simulerar dämpning kommer behandlas och därför kommer inte dessa åtgärder simuleras, men andra likande lösningar med upp styvningar förekommer. Beskrivningar om hur CAD-modeller och FE-modeller är uppbyggda kommer nämnas men ett detaljerat tillvägagångs sätt kommer inte att beskrivas. Fluidernas påverkan på systemets egenfrekvenser försummas. Inga direkta handberäkningar är planerade och inge exempel på utböjningar med frekvenstillägg.

1.4 Precisering av frågeställning

Den huvudsakliga frågan som ska besvaras är om ramen till solvärmepumpens kompressors eller fläkts egenfrekvenser kommer att fortplanta sig och därmed förstärker deras vibrationer som leder till oönskat buller. Samma fråga kan komma att ställas till andra berörda detaljer som riskerar att hamna i egensvängning, som t.ex. rör där det även finns risk för sprickbildning vilket absolut inte för ske. För detaljer med hög sannolikhet för egensvängning kan åtgärder komma att undersökas och om möjlig simuleras.

2. TEORETISK REFERANSRAM

Detta är en kort beskrivning för uppkomsten och användningsområdet av FEM och grundprinciperna för egenfrekvenser. Här finns även förklaringar på viktiga begrepp som används.

2.1 Historik & förklaring

Under det senaste århundradet har egenfrekvensanalyser gått från matematiskt fenomen till att bli en av de vanligaste beräkningarna som görs för ett system. För enkla detaljer kan ett fåtal egenfrekvenser handberäknats vilket inte är möjligt för ett mer komplicerat system. Tack vare snabb räknande datorer och Finita Element Method (FEM) så kan ett systems egenfrekvenser listas och därefter förändras eller förbyggas på en mycket kortare tid än för hundra år sedan, till och med 10 år sedan. Själva FE-metoden kommer till tack vare flygindustrin i USA under 1950-talet för att möjliggöra avancerade hållfasthetsberäkningar (Nationalencyklopedin, 2014)

Egenfrekvenser, även kallat resonans i ljud sammanhang, har utnyttjats för musikinstrument i tusentals år. När en sträng knäpps eller en trumma slås tillför man energi till en vek konstruktion som får strängen eller trumman att hamna i egensvängning. Skulle instrumentet matas med en resonansfrekvens ett längre tag skulle det deformeras. Den nya formen på instrumentet skulle då få andra resonansfrekvenser, vilket är en bidragande orsak till att bland annat sträng instrument behöver stämmas regelbundet. Skulle till exempel strängen på en fiol lyckas överföra kraftigt mycket energi med en stark ton skulle man teoretisk kunna spräcka fiolens resonans låda. Ett annat exempel som alltid nämns i egensvängnings sammanhang är Tacoma Narrows Bridge, som kollapsade tack vare vindbyar som fick bron att egensvänga. Efter bara några månader hade bron blivit så försvagad att den brast. (Engineer, 2006)

Risken för att solvärmepumpen eller dess rörsystem skulle gå sönder är inte särskilt stor då kompressorn och fläkten inte kommer gå konstant och att den energi de kan bidra med är relativt liten. Det finns däremot en hög risk för oljud, det är till och med ett faktum som bekräftats ifrån SoletAers första prototyp P10. Vad som är klart är att det är kompressorn som orsakar oljudet men inte vad som förstärker ljudet.

Viss dämpning förekommer i alla material mer eller mindre. Material som är lätt deformerade fungerar ofta som bra dämpare så länge de inte deformationshårdnar eller råkar ut för brott. Gummi och viskösadämpare är exempel på bra dämpare som ofta används i olika sammanhang där bland annat egensvängningar dämpas.

2.2 Viktiga begrepp

P10, P11, P12: Solvärmepumps prototyper där första siffran står för generation och andra siffran står för version.

FEA: Fenita Elementanalys

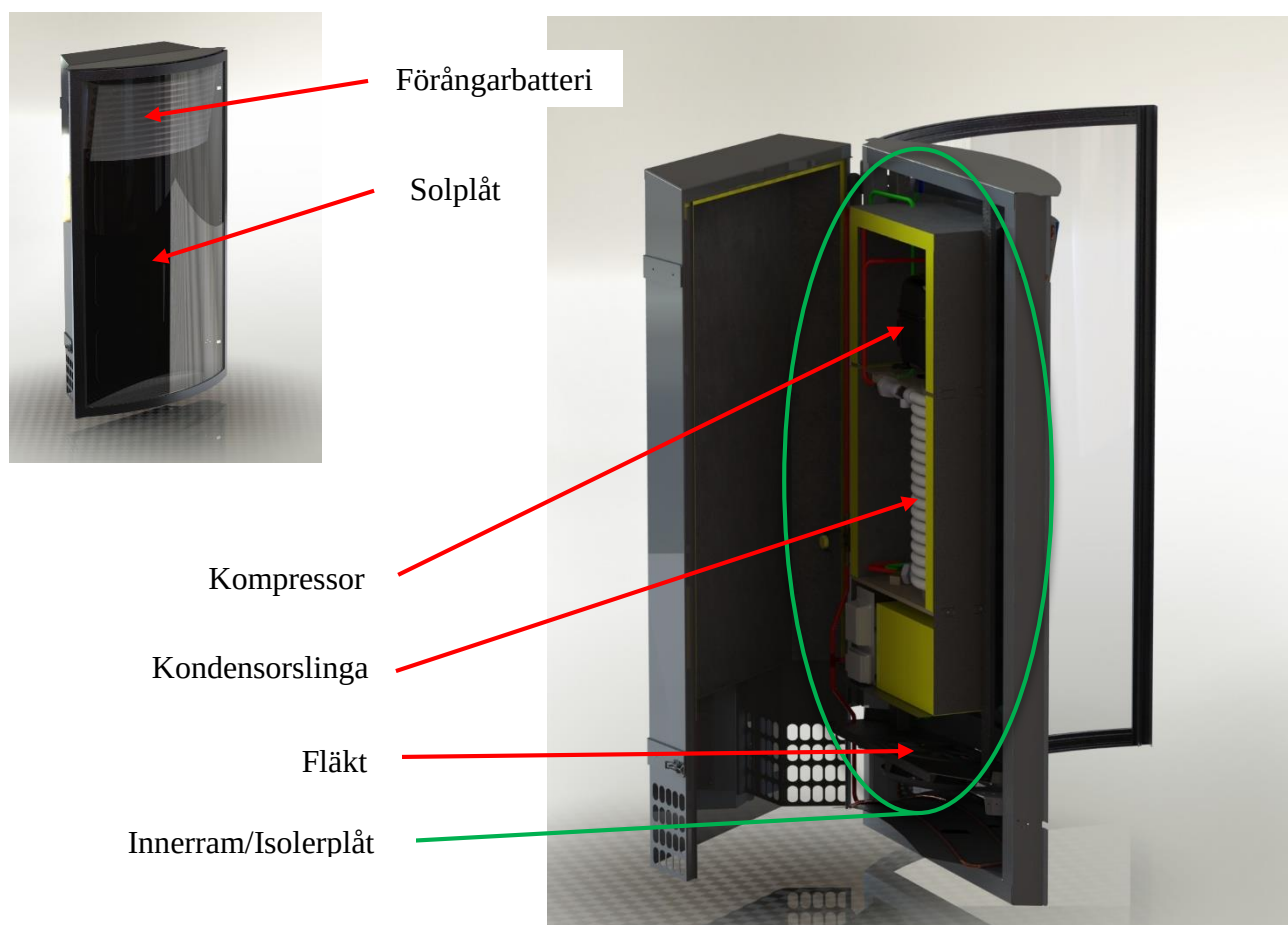
Modform: Den form ett fysiskt objekt antar när den utsätts för sin naturliga egenfrekvens.

FFT: (Fast Fourier Transform) används för att fysiskt bestämma egenfrekvenser. En accelerometer montereras på den valda detaljen. Detaljen får sedan ett slag som får accelerometern att ge utslag vilka kan tolkas av en dator. Även kallat modanalys.

2.3 Produktförklaring

SoletAer solvärmepump är en helt ny produkt som under skrivandets stund fortfarande är i prototypstadiet. Tanken är att värma vatten så billigt det går med hjälp av solen. Då inte solen ger tillräckligt mycket effekt ska värmepumpdelen automatiskt slås på och ta värmen ifrån luften för att göra varmt vatten. För att driva processen krävs en kompressor, kondensor, en pump, en fläkt, ett förångningsbatteri, många rör och en dator med tillhörande givare. Under slutet av våren 2014 var en P12a klar för testning, tre P12or på väg, en P11 ute hos kund och senare under hösten samma år ska en pilotupplaga på cirka 50 exemplar ut till kunder som ska vara nästan identiska med P12orna. FEAn som görs är baserade på en tidig modell av P12an.

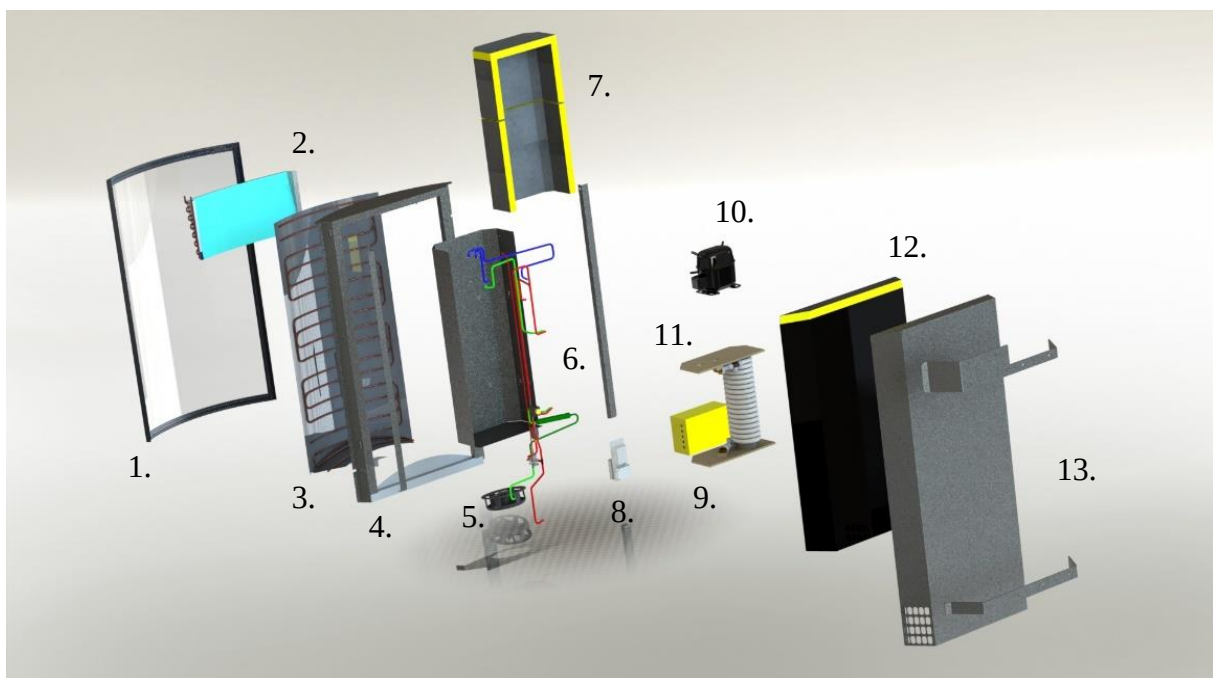
Ett stort problem som finns med värmepumpar i låga temperaturer är att de bygger frost. Det har SoletAer löst med en patenterad lösning som innebär en mycket snabb avfrostning. Produkten ser ut som figur 1 på föregående sida och monteras på en vägg med så många soltimmar som möjligt. Den kopplas till husets varmvattenberedare som bör vara större än 150 liter.



Figur 1. Solvärmepumpen med en vy framifrån och öpnad vy med några detaljer markerade.

Figur 2 nedan visar de största detaljerna i solvärmepumpen, vilka är de som påverkar egenfrekvenserna mest. Från vänster: Aluminiumram med fönster, förångarbatteri, solplåt, innerramsfäste, inneram, fläkt, fläktplåt, höger och vänster ramfäste, rörsystem, isolering till innerram, kompressorstyrning, styrlåda, kondensorslinga, kompressor, isolering till väggfäste, väggfäste samt förstärkning till väggfäste och gångjärn.

Avfrostningsröret är det röda röret i figur 2 och är det mest intressanta av rören på solvärmepumpen i frekvens synpunkt, detta rör syns även på figur 10.



Figur 2. De största detaljerna i solvärmepumpen som sprängskiss.

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1. Fönster med aluminiumram | 8. Kompressorstyrning |
| 2. Förångarbatteri | 9. Styrlåda |
| 3. Solplåt | 10. Kompressor |
| 4. Dörr-ram | 11. Kondensorslinga med hyllplan |
| 5. Fläkt | 12. Isolering väggfäste |
| 6. Innerram och rör | 13. Väggfäste |
| 7. Isolering innerram | |

3. METOD

I detta avsnitt beskrivs den metod som var tänkt för att lösa uppgiften.

3.1 Förstudie

Det första som görs är att bekanta sig med solvärmepumpen. Att lära sig grunderna i hur produkten fungerar, vilka delar som ingår och varför.

Anledningen till att göra en frekvensanalys är inte alltid helt självklar. För solvärmepumpen finns det två risker där den ena helt ska undvikas medan den andra är mer av ett önskemål men båda går ändå hand i hand. Det som inte får hända är att rören, på grund av egensvängning, spricker. Detta leder då till totalhaveri av produkten och oönskade utgifter för företaget. Den andra anledningen är oljud och är en i de flesta fall helt oönskade. Det ena leder inte alltid till det andra men båda ska undvikas. Det kan räcka med att en påtvingad svängning ligger nära en detaljs egenfrekvens för att det ska uppstå oljud men det krävs att en sådan svängning ligger länge precis på en detaljs egenfrekvens samt följer den deformerade detaljens egenfrekvenser för att få den att spricka i praktiken.

Programmen som används kommer vara Catia V5R19 och SolidWorks 2013 Patch 3. Catia används för att utföra frekvensanalyserna och i vissa situationer till att modellera detaljer som inte kunde användas direkt från företagets CAD-modeller. Solidworks användes mestadels till att rendera bilder av CAD-modellerna. Många av detaljerna som var med i frekvensanalysen skapades i Solidworks och sparades ner som step-filer som med mer eller mindre problem kunde öppnas och köras i Catia.

3.2 Modellering & analysering

Uppgiftens huvudsakliga arbete blir här att skapa CAD-modeller eller att importera redan existerande sådana och sedan göra dem till FE-modeller för att till sist göra frekvensanalyser på dessa. Modellerna ska efterhand bli mer avancerade, både för att se vad som gör skillnad för egenfrekvenser och för att kunna testa nya versioner av solvärmepumpen. Förfiningen går till på så sätt att detaljer läggs till efter hand. Detta ger bra jämförelser på vad som styvar upp konstruktionen men gör även att felsökning av en CAD-modell blir mycket enklare om något plötsligt går fel. Det bör då vara något fel på den senast tillagda detaljen.

3.3 Åtgärder

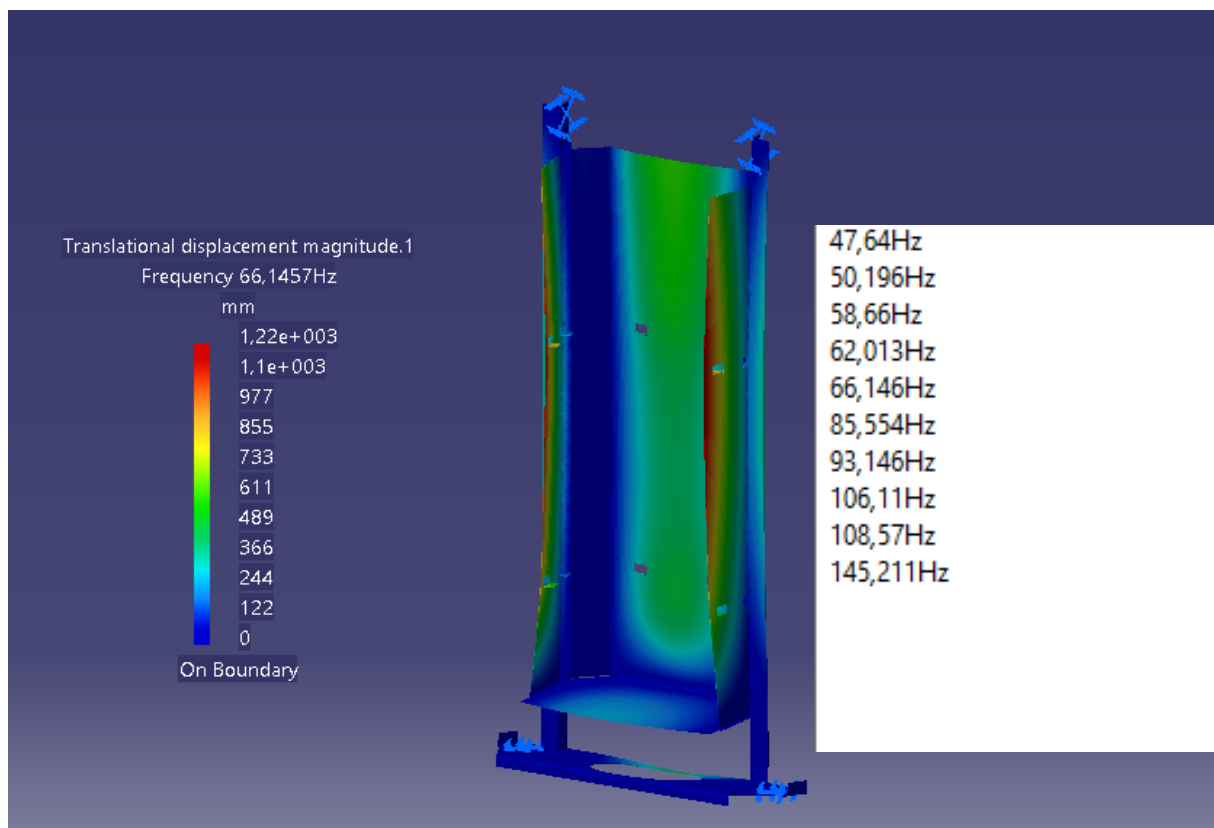
När modellerna är färdiga, frekvensanalyserna är gjorda och risker har utvärderats så bör dessa åtgärdas. Dessa risker bör för det första vara buller men risken finns att om någon egenfrekvens stämmer överens med kompressorns eller fläktens vibrationer så kan dessa delar samla åt sig energin och deformeras eller till och med spricka, vilket inte får hända med rören i konstruktionen. De vanligaste åtgärderna är att styva upp konstruktionen genom att t.ex. göra plåten tjockare, vecka plåten i olika riktningar eller skapa fästpunkter till jord eller andra detaljer som är styva och inte är känslig för samma egenfrekvenser. Då en konstruktion blir styvare blir frekvenslistan ”glesare” och de lägsta frekvenserna blir högre.

4. FREKVENSPANALYS

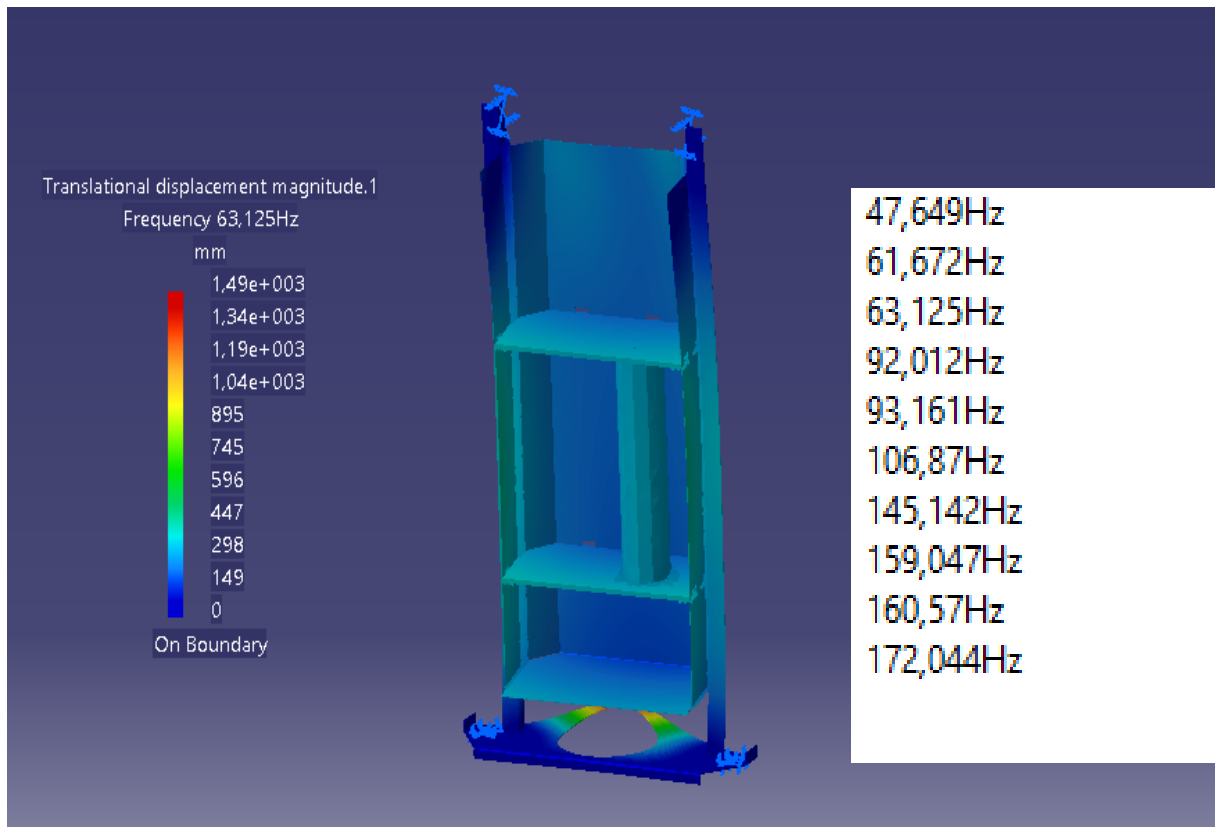
Här är den huvudsakliga avhandlingen och beskriver själva genomförandet från CAD-modell till FE-analys och delar av de data som erhöles.

4.2 Modellering 1, Innerramen

Det första att modelleras var innerramen, även kallad isolerplåten. Den inhyser kompressorn och fläkten vilket är de två komponenterna som har den största möjligheten att skapa resonans. Isolerplåten är en böjlad zinkplåt, i denna finns det två hyllplan av plywood där kompressorn står på den översta. Mellan hyllplanen står kondensorn. Både hyllplanen och kondensorn styvar upp konstruktionen och lyckas ”dämpa” bort flera egenfrekvenser hos isolerplåten. Den lägsta beräknade egenfrekvensen var den samma men de efterföljande



Figur 3. Innerramens modform utan hyllplan ger en vekare konstruktion och ”fler” eller tätare egenfrekvenser.



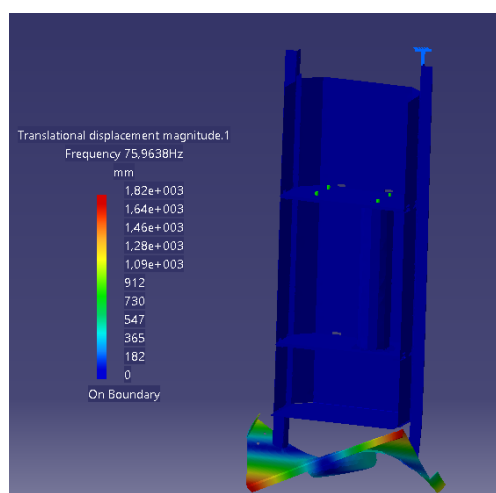
Figur 4. Innerramens modform med hyllplan och stöd för kondensorslingan styvar upp konstruktionen.

Figurerna 3 och 4 (ovan och på föregående sida) visar egenmoden för ungefär samma frekvens d.v.s. lite över 60 Hz. Båda modellerna använder samma mesh. Figur 3 är den vekare modellen och figur 4 är den styvare modellen. Det man kan se i listan över de tio lägsta frekvenserna är att den uppstyvade modellens egenfrekvenser är högre men även längre intervall mellan egenfrekvenserna och därmed mindre risk att hamna i egensvängning. Då den styvare modellen har färre egenfrekvenser per hundra Hertz är den att rekommendera som oljudsdämpande konstruktion. Den vekare modellen fungerar bättre som ett musikinstrument.

När det kommer till modellering vill man ha en så verklighetstrogen modell som möjligt utan att det ska ta veckor att göra en FE-analys. Det måste bli en balans mellan snabba räkningar och verklig modell, därför utelämnas detaljer som inte påverkar resultatet så mycket. En annan sak som är eftertraktat är att resultaten konvergerar, vilket är mest beroende på mesh. Grövre mesh ger mindre beräkningstid men ofta mindre exakt resultat. De modeller som gjordes använde först den rekommenderade meshen från Catia vilket i de flesta fallen gav en beräkningstid på några sekunder. Därefter ökas den globala meshstorleken tills att beräkningstiden gick uppemot 20-30 sekunder vilket inträffade relativt snabbt för de flesta modellerna. I alla fall detta gjordes blev det inga större förändringar på frekvenserna vilket visar på att konvergens redan var uppnått med standard värden på meshen.

4.3 Analysering 1, Innerramen

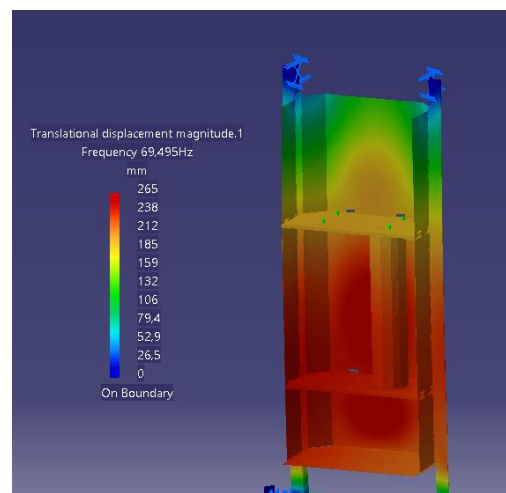
Första modellen som gjordes var relativt enkel med bara själva isolerplåten och randvillkoren som användes var inte överensstämmande med verkligheten. Därifrån byggdes modellen på med några delar i taget för att få bättre förståelse på vad som är signifikant för beräkningarna. Ett önskvärt mål var att modellera så att randvillkoren blir trovärdiga vilket aldrig riktigt kunde uppnås eftersom hela innerramen var dämpad. Att låsa den i en punkt och låta den svänga fritt vore inte heller helt sant men kan ändå ge rätt egenfrekvenser. Då detta testades mot att den var fastinspänd i alla väldigt olika.



Figur 5. Frekvensen 75,96Hz får den fria innerramens fläktplåt i svängning.

1,066Hz	38,795Hz
1,522Hz	39,873Hz
5,053Hz	53,459Hz
17,468Hz	69,495Hz
24,756Hz	83,085Hz
33,356Hz	91,627Hz
37,824Hz	104,543Hz
75,964Hz	149,787Hz
81,061Hz	152,252Hz
87,931Hz	158,225Hz
97,398Hz	160,235Hz
100,211Hz	162,138Hz
113,119Hz	185,817Hz
132,2Hz	208,575Hz
150,976Hz	215,526Hz
158,561Hz	228,482Hz
161,816Hz	233,572Hz
166,132Hz	237,229Hz
176,81Hz	275,986Hz
186,091Hz	280,551Hz
190,253Hz	297,238Hz
210,978Hz	319,768Hz
234,945Hz	326,114Hz
251,123Hz	347,102Hz
275,346Hz	357,698Hz
277,264Hz	377,568Hz
291,964Hz	379,146Hz
298,329Hz	384,619Hz
318,519Hz	392,592Hz
318,941Hz	398,23Hz
330,012Hz	410,684Hz
340,377Hz	419,784Hz
350,098Hz	427,092Hz
358,834Hz	431,084Hz
372,117Hz	437,908Hz
378,798Hz	453,529Hz
379,304Hz	462,197Hz
383,085Hz	470,009Hz

upphängnings punkter blev resultatet



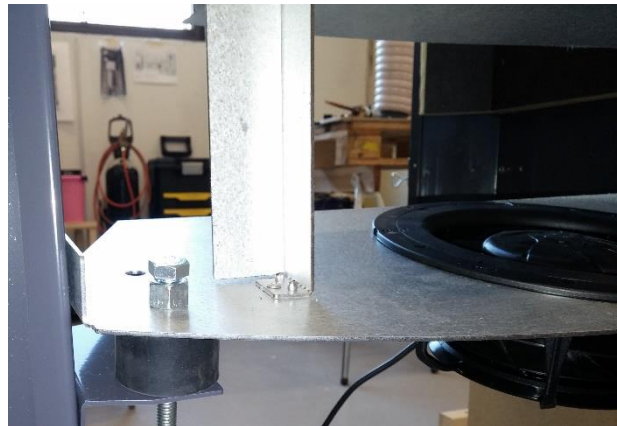
Figur 6. Frekvensen 69,5Hz får hela den fasta innerramen att svänga. Notera att dessa randvillkor ger färre egenfrekvenser.

Den fria modellen hade klart högre egenfrekvenser, till stor del eftersom fläktplåten fick svänga mer fritt. Sanningen bör ligga någonstans emellan de båda modellerna men mer likt den med fastspänning i upphängningspunkterna. Eftersom den i verkligheten varken är fast eller fritt hängd blir det svårt att modellera detta randvillkor. Då dämpningen ramen är upphängd med är mycket styva så valdes den fastinspända modellen att analyseras vidare. Se figur 7-9 på nästa sida.

Fläktplåten står för relativt många egenfrekvenser i båda beräkningarna ovan. Det gör att fläktens vibrationsfrekvens har många möjligheter att förstärkas vilket bör åtgärdas.



Figur 7. Övre upphängningsdämpare för innerramen.



Figur 8. Fästet mellan stag och fläktplåt och nedre upphängningsdämpare.



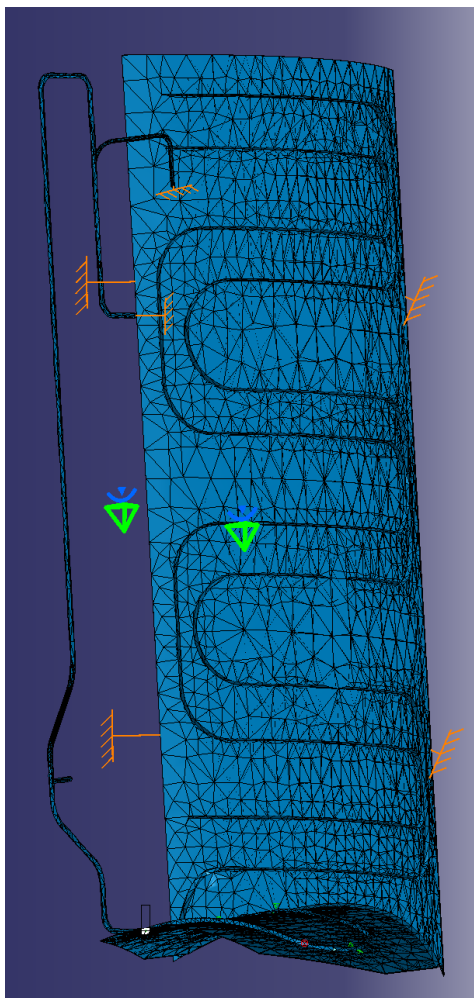
Figur 9. Innerramen för P12-1

Isolerplåten och innerramen består mestadels av galvaniserad plåt för att skydda mot rost. Inget av detaljerna på innerramen är därför svetsade eftersom detta skulle göra plåten känsligare för rost och för att galvaniserad plåt avger obehagliga ångor när det blir svetsat. Allt är istället pop-nitat, vilket inte ger riktigt samma hållfastegenskaper som en svets. FE-modellerna är gjorda med s.k. ”fastened connection” som liknar en svetsad yta men duger bra om pop-nitarna är lagom utspridda och ordentligt fästa och på så sätt inte skiljer sig för mycket mot en svets.

4.4 Modellering 2, Rör från kompressor till solplåt

Avfrostningsröret som går från kompressorn ner till solplåten har den största risken att hamna i egensvängning av flera anledningar. Dels för att den är direkt lödd till kompressorn och dels för att den sträcker sig över en meter utan några fästpunkter tills att den når solplåten. De andra rören som går till eller från kompressorn riskerar också egensvängning men har betydligt bättre förutsättningar för att undvika dem då de inte löper fritt på så långa sträckor och därför är styvare. På dessa rör är det dock intressant att undersöka hur de är uppstyvade, så att de inte är fixerade i andra detaljer som också är resonans känsliga.

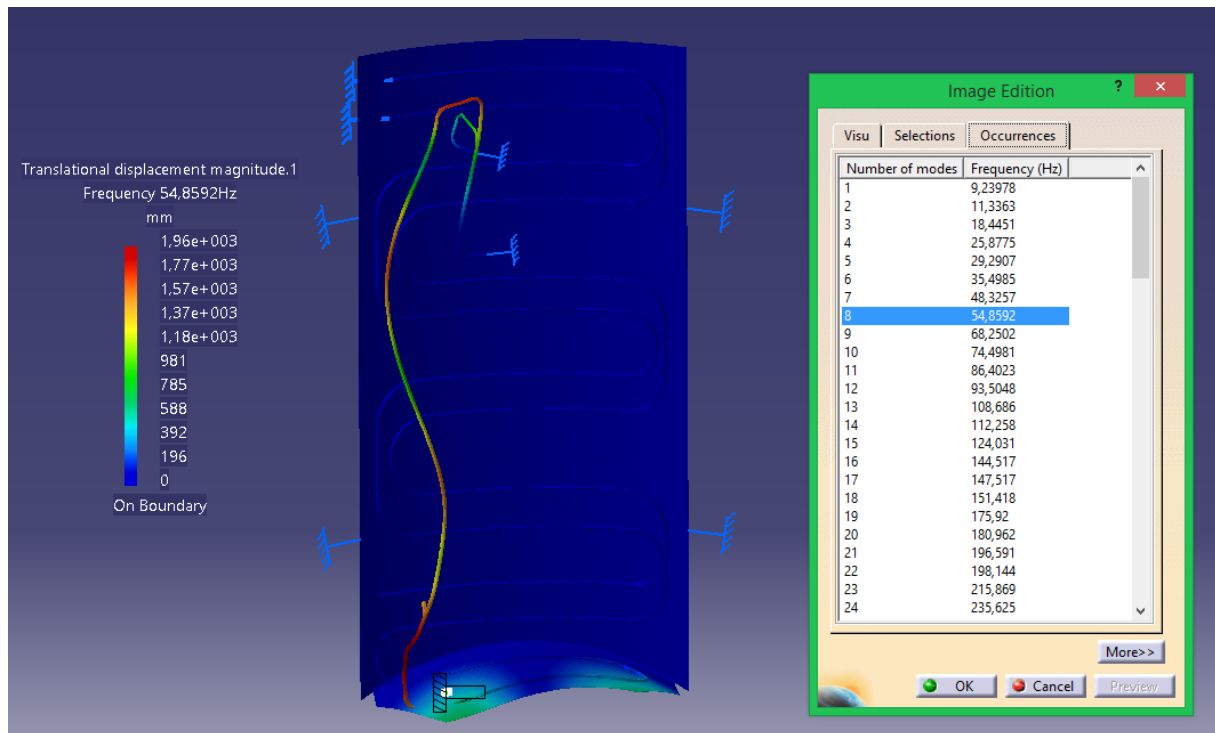
Meshen som användes var, på samma sätt som för innerramen, den rekommenderade av Catia. Rören testades både som ihåliga och solida men det uppstod endast små skillnader i både beräkningstid och resultat. Så små skillnader så att ingen kunde sägas bättre än den andre. Det fanns dock en fördel med solida rör, de var något enklare att rita.



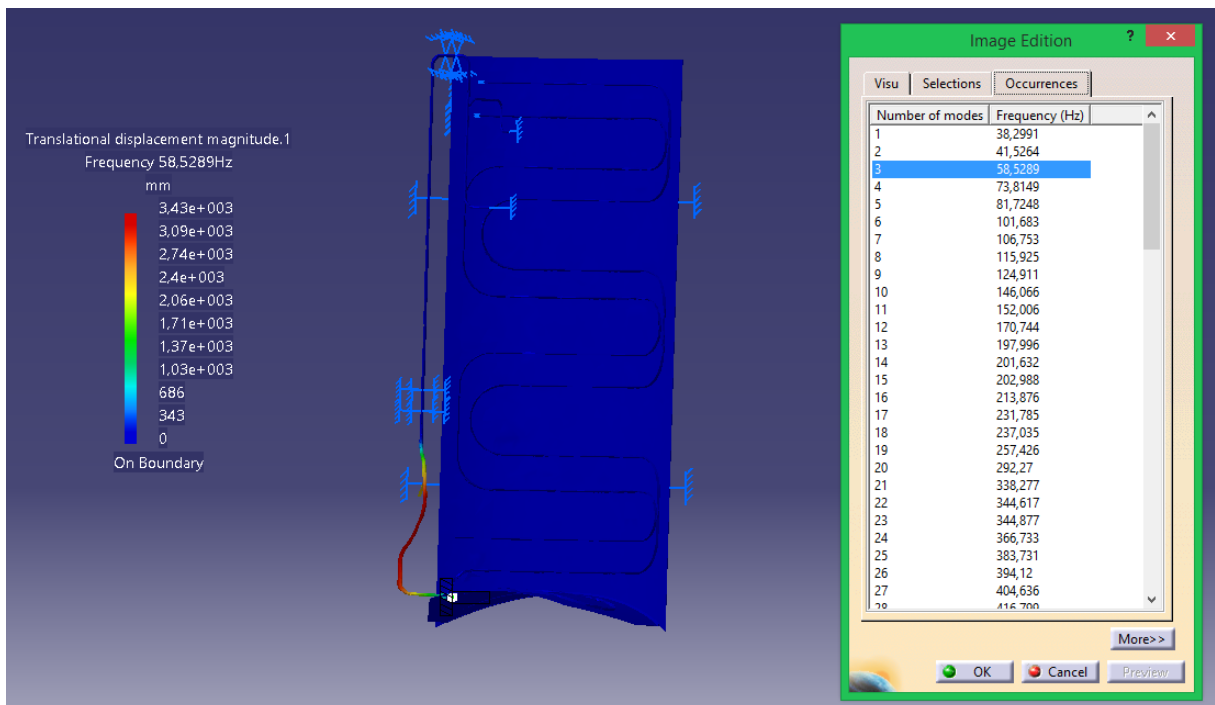
Figur 10 till vänster visar meshelementen. Den här använda meshstorleken användes i huvudsak för att kontrollera konvergens. Det visade sig att resultaten inte förändrades särskilt mycket vilket tyder på att den redan innan denna mesh storlek redan kommit tillräckligt nära konvergens.

Rören på insidan av solplåten är inte identiska med de verkliga men sattes dit som ett test av styvhet, vilket visade sig vara i onödan då rören inte påverkade frekvensanalysen något särskilt. Möjligen att beräkningstiden ökades något.

Figur 10. Avfrostningsröret och solplåtens mesh visualiserad.



Figur 11. Solplåten med avfrosthörret fritt löpande. Lägsta frekvensen ligger på 9,24 Hz. Modformen föreställer den åttonde frekvensen på 54,9 Hz.



Figur 12. Solplåten med avfrosthörret med två fastspänningar extra. Lägsta frekvensen här är 38.3 Hz vilket är en förbättring relativt figur 11. Modformen föreställer frekvens nummer 3 som är 58,53 HZ och är närmast figur 11s frekvens nummer 8.

4.5 Analysering 2, Rör från kompressor till solplåt

Redan från början antogs avfrostningsröret vara känslig för många frekvenser. Vad FE-analysen visade var att nästan var tionde Hertz finns representerade från låga till höga frekvenser. Vilken frekvens kompressorn vibrerar med är med mycket hög sannolikhet nära någon av de i listan som gavs av analysen. Solplåten hade bara ett fåtal egenfrekvenser som interfererar med rören vilket gör att kompressor har lägre sannolikhet att sätta denna i svängning.

Figur 12 visar hur mycket ”glesare” frekvenslistan blir relativt figur 11 om man styvar upp rören. I praktiken är det svårt att styva upp på rören på det viset och vara säker på att man blir av med problemet. Mycket stumma dämpare av någon typ kan ge liknande effekt som fastlåsnings ger. Enkla gummidämpare fästa i innerramen kan räcka men ett annat vanligt sätt att dämpa rörs egensvängningar är rörisolering som även ger andra bra effekter bland annat på fluiden i röret.

Figur 12 visar modformen för egenfrekvens nummer 3 i listan som är ungefär 58,53Hz. Här syns att bara den nedersta delen av avfrostningsröret verkar utsättas för sin egenfrekvens. Detta stämmer enligt modellen då den är förankrad på ett par ställen längs röret. I verkligheten skulle detta vara mycket svårt att återskapa. Om kompressorn vibrerade med denna frekvens skulle den, trots att den sitter en lång rörlängd ifrån rörbiten med egenfrekvensen, kunna lyckas att få den i egensvängning. I vilket fall är det ändå ett bra resultat att få frekvenslistan kortare och höja de lägsta frekvenserna.

5. ÅTGÄRDER

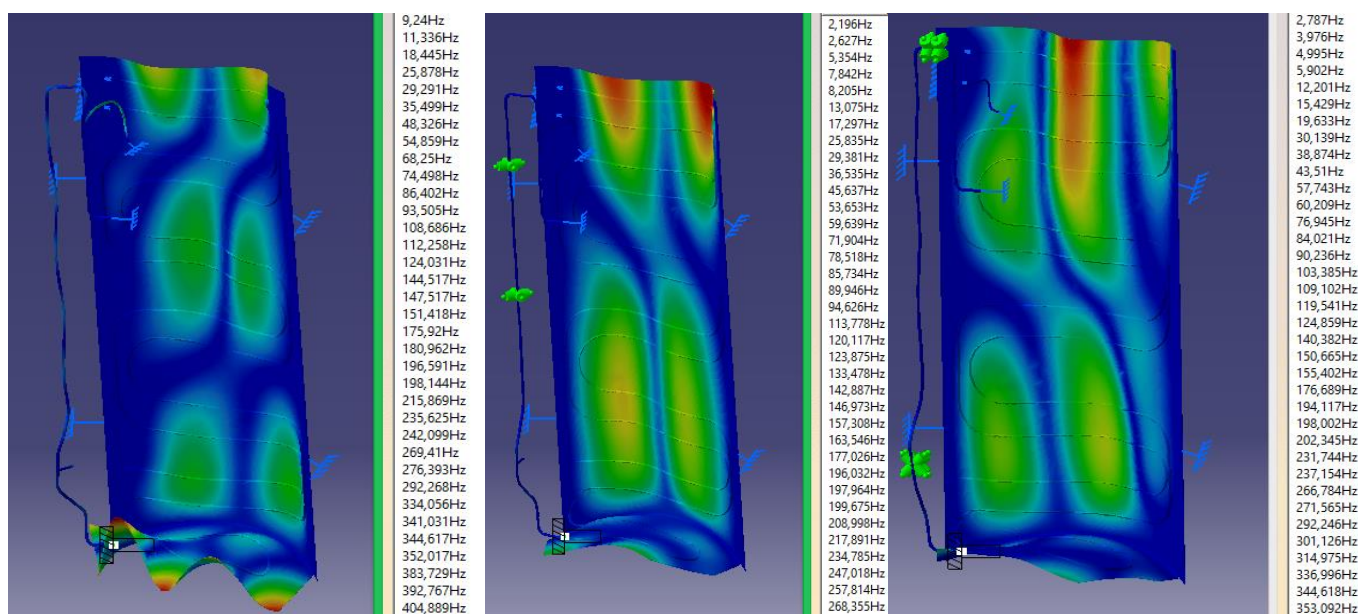
Här beskrivs vad som bör åtgärdas på solvärmepumpen för att undvika att egensvänga.

5.1 Innerram

De åtgärder som fanns från början mellan kompressor och innerram var gummifötter, vilket är en gammal beprövad metod för dämpning som är i princip essentiell. Risken med gummifötter är att de efter tid blir gamla och stela och blir bättre på att leda vibrationerna vidare. Så trots att denna åtgärd redan fanns i ett tidigt stadiet var det nyttigt att göra en frekvensanalys på innerramen. Även plywood hyllan kan ha en viss dämpande effekt. Hela ramen är upphängd med några en annan typ av dämpare

5.2 Rör

Av analysen bör man för säkerhets skull fästa avfrostsörret vid ett eller ett par ställen med innerramen för att styva upp hela konstruktionen en aning. Detta bör göras med någon typ av gummifästen för att inte riskera att föra över frekvenser till innerramen. Även rörisolering bör finnas på alla rör i systemet för att ytterligare styva upp dem och ljuddämpa dem. Isoleringen hjälper även till med att isolera temperaturerna i rören gentemot omgivningen och resten av solvärmepumpen.



Figur 13. Vänstra bilden är oförändrad medan de två högra bilderna har extra vikter på delar längs röret.

Figur 13 på föregående sida demonstration på hur extra vikt skulle förändra egenfrekvenserna när det är placerad på olika sätt. Vikterna är 5kg styck och markerade med gröna tyngder i klunga. Detta gjorde avfrostsningröret känsligare för egenfrekvenser. Det visar även att vikternas placering har stor inverkan på egenfrekvenserna och med ytterligare tester visade det sig att hänga på extra vikter väldigt sällan ger en förbättring.

5.2 Ytterdel

Inga modeller var planerade att göras för de yttre delarna av solvärmepumpen men för att vara få högre säkerhet mot buller bör även dessa detaljer kontrolleras. Risken är dock ändå liten redan från den första prototypen för att kompressorn eller fläkten ska lyckas föra vibrationer vidare till de yttre delarna.

6. SLUTSATS

Den information resultaten gav ifrån analyserna är mycket användbar för ett fortsatt förebyggande av oljud och sprickbildning på grund av egensvängningar, men med denna information kan man bara hoppas på att förebygga. För att vara helt säker på att man undviker egensvängningar måste vibrationskällan undersökas, endera med hjälp av tillverkaren eller med egna undersökningar. Då kan man med mycket större säkerhet säga att ingen egensvängning kommer uppstå. För att få ytterligare säkerhet i resultaten kan man utföra ett FFT (Fast Fourier Transform) test för att få en lista över de verkliga egenfrekvenserna, som säkert avviker något från modellerna. En dynamisk analys skulle kunna utföras för att räkna med effekterna av dämpningen på kompressor och innerram, men det är överkurs för de flesta företag där deras produkt inte riskerar människors liv vid haveri på grund av egenfrekvenser. Därför är en sådan analys mer passande för t.ex. broar, skyskrapor och flygplan.



Figur 14. Bild på en "gummikudde" eller gummibussning för att dämpa vibrationer på en motor. Bild från: <http://www.biltema.se/sv/Bil---MC/Bilreservdelar/Motordelar/Motorupphangning/Gummikudde-universal-63101/>

Referenser

Karl-Olof Olsson. (2014). *Vibration*. Available: <http://www.ne.se/vibration>. Last accessed 25th Jun 2014.

Johnson, C & Samuelsson, A. (2014). *Finita elementmetoden*. Available: <http://www.ne.se/lang/finita-elementmetoden>. Last accessed 25th Jun 2014

Huster, J. Dr. Eckert, L & Pohle, F. (1998). Beräkning och mätning av torsionsvibrationer i stora ångturbinaxlar. *ABB Tidning*. 6 (1), p31-40

Pauli Pedersen, Niels L. Pedersen. (2013). A note on eigenfrequency sensitivities and structural eigenfrequency optimization based on local sub-domain frequencies. *Struct Multidisc Optim*. 1 (1), p1-10.

J. S. Przemieniecki (2009). *Finite Element Structural Analysis: New Concepts*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics. p3-129.

Peter Benner, Zoran Tomljanović and Ninoslav Truhar. (2011). Optimal damping of selected eigenfrequencies using dimension reduction. *Numerical Linear Algebra with Applications*. 20 (5), p1-16.

Janhunen, T & Mikus, M. (2010). Dynamisk analys och utmattningskontroll med hjälp av fältmätningar och FEM. *KTH Architecture and the built environment*. 1 (1), p1-118

Heed, C. (2007). Modanalys av dörrpanel Volvo S40. *KTH Farkost och flyg*. 1 (1), p1-11

The Engineer. (2006). *Tacoma Bridge*. Available: <http://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/ArticleID/171/Tacoma-Bridge.aspx>. Last accessed 27th Jun 2014.

Personreferenser

Gert Persson, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, tel 031 772 50 82

Lars Ivarsson, Värmestugan AB, Arvika, tel 070 343 42 78