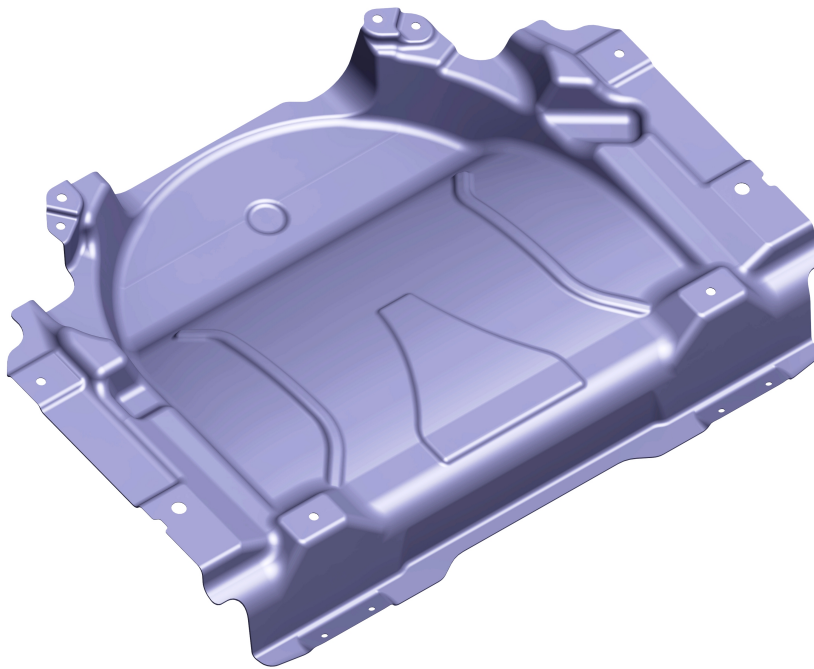




CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Validering av vibrationssimulering för Volvo Cars värmesköldar

Validation of vibration simulation for Volvo Cars heat shields

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet

ANTON DAHL
ROBIN WORTH

EXAMENSARBETE 2015:126

Validering av vibrationssimulering för Volvo Cars värmesköldar

Validation of vibration simulation for Volvo Cars heat shields

Anton Dahl, Robin Worth



Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

Validering av vibrationssimulering för Volvo Cars värmesköldar
ANTON DAHL
ROBIN WORTH

© ANTON DAHL, ROBIN WORTH, 2015.

Handledare: Roger Sundbladh, Volvo Personvagnar
Examinator: Håkan Wirdelius, Institutionen för Material- och tillverkningsteknik

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen 2015:126
Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för avancerad oförstörande provning
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telephone +46 31 772 1000

Framsida: Den studerade värmeskölden för Volvo XC90.

Typeset i L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2015

Validering av vibrationssimulering för Volvo Cars värmesköldar
ANTON DAHL, ROBIN WORTH
Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

För att komma bort från kostsamma och tidskrävande sätt att prova detaljer behöver Volvo Cars ta fram alternativa testmetoder. Genom att i en elektrodynamisk vibrationsrigg försöka efterlikna resultat från vindtunneltester och fullskaliga prov, skulle stora besparingar kunna göras.

Examensarbetet studerar testmetoderna för Volvo Cars värmesköldar med avsikten att se om man kan komma närmare en alternativ testmetod. Intentionen är att samla in information i vindtunnelmiljö och sedan använda denna som in-signal i en elektrodynamisk vibrationsrigg. De tidigare mätningarna i vindtunneln låg till grund för det vibrationstest som genomfördes under examensarbetet. Med hjälp av accelerometrar och en särskild teknik för rörelseförstärkning i videomaterial kunde en utvärdering av den nya testmetoden genomföras.

Resultatet blev en indikation på hur pass likt vindtunneln det nya vibrationstestet blev. Med informationen som examensarbetet kunde generera sammanställdes olika rekommendationer. Dessa ger Volvo Cars en indikation på åt vilket håll det fortsatta arbetet med alternativa testmetoder bör ta.

Sammanfattningsvis är programvaran λ -vue till nytta inom olika avdelningar på Volvo Cars. Testmetoden är på god väg men ytterligare anpassningar behöver göras för att nå sin fulla potential. Slutligen rekommenderas alternativa omkonstruktioner av värmeskölden i syfte att förbättra komponenten till en låg kostnad.

Nyckelord: Vibrationssimulering, Validering, Vindtunnel, Elektrodynamisk vibrationsrigg, Luftpåverkan, Rörelsemönster, Power spectral density

Summary

To get away from the expensive and time-consuming tests Volvo Cars need to come up with alternative ways of testing components. By using an electrodynamic vibration rig, and try to emulate the results from the windtunnel and whole-car testing, substantial savings could be made.

The thesis studies the test methods for Volvo Cars heat shields to see if it is possible to get closer to an alternative test method. By collecting information in the wind tunnel and then use it as the input signal for the vibration rig, the hope was that the results would be as good as possible. The previous measurements in the wind tunnel was the basis for the vibration test conducted in the thesis. With the help of accelerometers and a special technique for motion amplification in video-material, a validation was made for the new test method.

The result was an indication of how similar the vibration test was as to the windtunnel. With the information from the testing, various recommendations were compiled. The recommendations gives Volvo Cars an indication of which way the continued work should take on alternative testing methods.

In conclusion, the software λ -vue is of use across different departments at Volvo Cars. The test method is well on its way though further adaptations need to be made to reach its full potential. Finally, recommendations for alternative modifications of the heat shield have been made in order to improve the component at a low cost.

Keywords: Vibration simulation, Validation, Wind tunnel, Electrodynamic vibration rig, Air impact, Movement pattern, Power spectral density

Förord

Under våren 2015 genomförde vi vårt examensarbete på Volvo Personvagnar i Torslanda, Göteborg. Denna rapport är resultatet av det arbete som lades ner som sista momentet på maskiningenjörsprogrammet på Chalmers Lindholmen.

Vi skulle vilja rikta ett stort tack till alla som på ett eller annat sätt stöttat oss under examensarbetets gång. Ett särskilt tack riktas till: Christoffer Landström, som möjliggjort testerna i vindtunneln samt varit till stor hjälp under testplaneringen. Erik Sällström, för allt engagemang i diverse delar av arbetet samt för mätningarna under vibrationstestet. Kent-Olof Carlsson, för att tålmodigt hjälpt oss med funderingar kring vibrationstester. Sven Ekered på Chalmers Tekniska Högskola för utlåningen av material till kamerariggen.

Sist men inte minst, skulle vi vilja tacka vår handledare Roger Sundbladh på Volvo Personvagnar och vår examinerare Håkan Wirdelius från Chalmers Tekniska högskola.

Handwritten signatures of Anton Dahl and Robin Worth in black ink.

Anton Dahl och Robin Worth, Göteborg, Juni 2015

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Precisering av frågeställning	2
2	Teoretisk referensram	3
2.1	SPA-plattformen	3
2.2	Värmeskölden som komponent	3
2.3	Volvo Cars tester och simuleringar	4
2.3.1	Fordonstester	5
2.3.2	Vindtunnel	5
2.3.3	Elektrodynamisk vibrationsrigg	6
2.3.4	CAE - Computer-aided engineering	7
2.4	Mätvärden och mätutrustning	7
2.5	Analys av mätvärden	8
2.5.1	Power spectral density (PSD)	8
2.5.2	Videoscope och λ -vue	8
3	Metod	11
3.1	Projektets genomförande	11
3.2	Befintlig testdokumentation	11
3.3	Testplanering	12
3.3.1	Framtagning av kamerafäste	12
3.3.2	Framtagning av monteringsfixtur	13
3.3.3	Insignaler till den elektrodynamiska vibratorn	14
3.4	Genomförande av tester	14
3.4.1	Vindtunneltest	14
3.4.2	Vibrationstest	15
3.5	Analys av testresultat	16
3.5.1	Videoanalys i λ -vue	17
4	Testresultat	19
4.1	Videoinspelning i testanläggningarna	19
4.2	Rörelseförstärkning av videomaterial	20
4.3	Vibrationsmätning	20

4.3.1	Run 5 - 70% av original scaling	21
5	Analys av testresultat	23
5.1	Främre accelerometerposition	23
5.2	Bakre accelerometerpositioner	26
5.3	Summering av analyseringen	28
6	Slutsats	29
6.1	Värmeskölden	29
6.2	Programvaran λ -vue	29
6.3	Validering av testmetod	30
6.4	Rekommendationer	30
	Referenser	33
A	Appendix	I
B	Appendix	III
B.1	Övriga mätförsök	III
B.1.1	Run 1 - Original scaling	IV
B.1.2	Run 2 - 10% av original scaling	VI
B.1.3	Run 4 - 20% av original scaling	VIII
B.1.4	Run 6 - Sinussvep 20-200 Hz, 200-20 Hz	X
C	Appendix	XIII
D	Appendix	XVII

1

Inledning

1.1 Bakgrund

Volvo Personvagnar vill minska antalet testfordon. Målet är att verifiera hållfastheten med datorsimuleringar eller komponentprov istället för med fullskaliga prover. I framtiden är tanken att olika simuleringar skall användas i större utsträckning och ersätta de idag mycket kostsamma fysiska proverna.

Värmesköldarna har en placering som gör att dem är utsatta för den omgivande miljön. Deras uppgift är att skydda det resterande fordonet från värmen, genererad av avgasröret och katalysatorn, samt att absorbera en del oljud. De är placerade under fordonet där de utsätts för hög temperatur när bilen är i drift, låg temperatur vid parkering, vind, vatten och salt samt vibrationer.

Testerna för fordonets värmesköldar är ett område där Volvo ser ett stort behov av förbättring för att minska antalet fysiska tester.

Idag är det svårt att i ett tidigt stadie förutse om värmeskölden kommer att klara av livslängdtesterna. För att undersöka detta genomförs olika tester i en vindtunnel i syfte att efterlikna verkliga strömningsförhållanden. En annan metod som används är utförandet av elektrodynamiska vibrationstester. I vibrationsriggen anbringas vibrationerna via värmeplåtens infästningspunkter, för att sedan undersöka komponentens beteende.

I en datormiljö kan olika belastningar läggas på för att simulera hur komponenten beräknas uppföra sig. Dock så bygger simuleringen på ansättning av krafter och randvillkor på modellerna. Detta förutsätter att en tydlig bild finns för situationen och förhållandena som denna situation ger upphov till.

Vindtunneltesterna är mycket omfattande och kostsamma. Att boka in tester kan vara svårt och som en lösning vore det fördelaktigt med alternativa tester. Hade det varit möjligt att utföra provning i vibrationsutrustningen på ett sätt som så bra som möjligt efterliknar resultaten av vindtesterna, skulle stora besparingar kunna göras. Detta skulle också kunna tillämpas av andra utvecklingsavdelningar inom företaget.

1.2 Syfte

Examensarbetets syfte är att se om det är möjligt att efterlikna samma rörelsemönster i vibrationstestet som det av vinden uppkomna rörelsemönstret. Utvecklingsavdelningen för värmesköldarna vill alltså ta reda på om det går att skicka in de insamlade signalerna från vindtunneltestet via plåtens infästningspunkter i en vibrationsrigg och få ett överensstämmande testresultat.

Vid examensarbetets slut är det tänkt att Volvo Personvagnar skall ha en tydligare bild över hur värmesköldarna uppför sig. Projektet avser även att identifiera en metodik i syfte att finna en alternativ testmetod, likvärdig vindtunneln, för värmesköldarna.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet kommer endast att hantera de belastningar som uppkommer av vinden. Påkänningar som vibrationer från chassit, värme, kyla, salt och vatten kommer inte att tas hänsyn till.

Fordonet har ett flertal värmesköldar, men examensarbetet kommer endast att hantera den bakre.

Examensarbetet kommer inte att genomföra några omfattande beräkningar eller simuleringar. Eventuella sådana kommer att bistås av arbetslagets beräknings- och simuleringsingenjörer.

1.4 Precisering av frågeställning

- Går det att efterlikna värmesköldens rörelsemönster i en vibrationsrigg?
- Vilka eventuella felkällor finns i testmetoden?
- Utgör de främre infästningspunkterna en risk för sprickbildning?
- Kan rörelsemönstret studeras på något mer sätt än med befintlig mätutrustning?
- Vilka eventuella förändringar skulle behöva göras i den elektrodynamiska vibrationsriggen för att få testerna att bättre överensstämma?

2

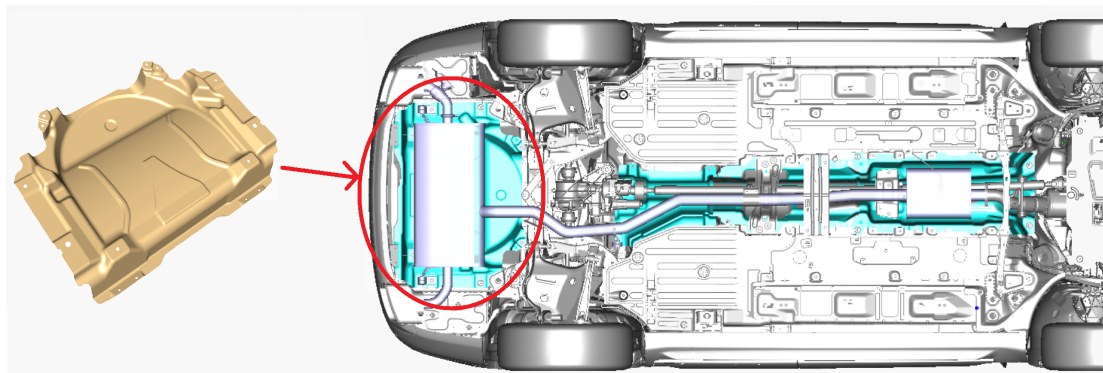
Teoretisk referensram

2.1 SPA-plattformen

Under 2014 lanserades en helt ny version av Volvo XC90 som baseras på den nyframtagna plattformen SPA, Scalable Product Architecture. Tanken är att SPA skall användas som teknisk grund i flera kommande bilmodeller från Volvo. Den nya plattformen skall vara mer kostnadseffektiv, både för Volvo och i slutändan även för kunden. Trots att kundkrav och trender förändras över tid kan plattformen anpassas tack vare det modulära utförandet. Detta leder till att en större variation även hos bilmodellernas komponenter kommer att behövas framöver. Exempelvis består Volvos nya XC90 av närmare 90 % nyutvecklade detaljer [1] [2].

2.2 Värmeskölden som komponent

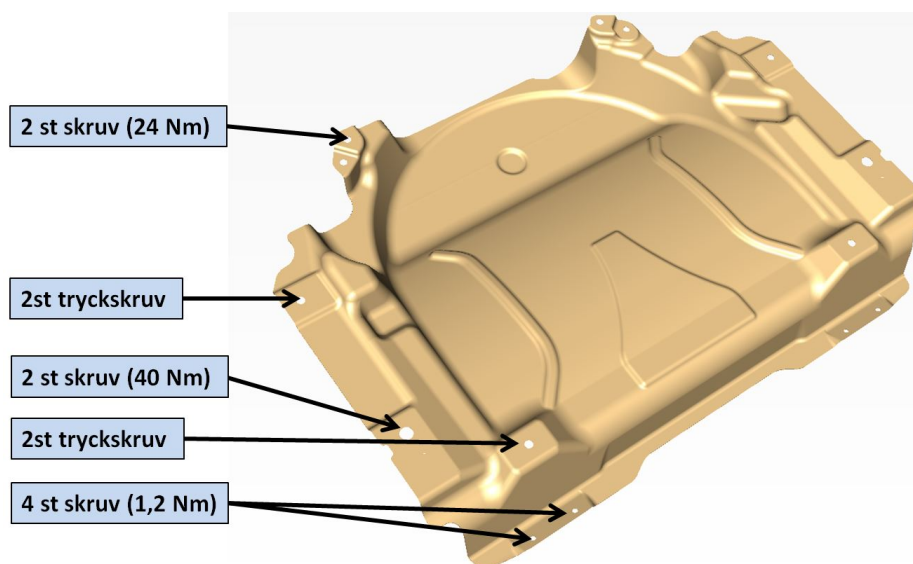
Under drift blir bilens avgassystem mycket varmt. För att inte övriga komponenter skall påverkas negativt behöver denna värme skärmas av genom någon typ av isolering. I alla Volvobilar har det därför placerats särskilda plåtar avsedda för detta ändamål längs hela avgasrörets längd. Syftet är dessutom att medföra viss ljuddämpning in mot kupén. Under drift uppgår temperaturen i värmeskölden till ca 150-200°C. I figur 2.1 framgår hur värmesköldarna är placerade under fordonet. Beroende på omkringliggande komponenter och avgasrörets utformning kan utseendet skilja sig åt.



Figur 2.1: Underredet av Volvo XC90 med värmesskyddsplåtarna markerade med blå färg. Den bakre plåten är avgränsad med en röd markering.

Värmeskyddsplåten är tillverkad i 99,5% aluminium, bland annat på grund av att materialet är en mycket god värmeledare. En annan aspekt är komponentens vikt, vilken direkt påverkar fordonets totala utsläppsmängder. I övrigt har värmeskölden tillverkats med ett särskilt patenterat mönster över ytan i syfte att öka styvheten i plåten men fortfarande kunna bibehålla ett tunt tvärsnitt.

Värmeskölden monteras på plattformen, som sedan sammanfogas med bilens chassi på monteringslinjen. Totalt finns tolv stycken infästningspunkter med varierat skruvmaterial och åtdragningsmoment. Åtta av skruvarna är metallskruvar som fästs i chassit med ett åtdragningsmoment på mellan 1.2 till 40 Nm, se figur 2.2. De resterande fyra skruvarna är pluggskruvar i plast. Chassits vibrationer överförs genom infästningspunkterna, huvudsakligen via metallskruvarna, till värmeskyddsplåten och fortplantas sedan över ytan. Under drift uppkommer även påkänningar från vinden vilket även påverkar vibrationsbeteendet.



Figur 2.2: Värmeskyddsplåtens infästningspunkter mot fordonet.

2.3 Volvo Cars tester och simuleringar

Produktprovning och simulering är en nödvändighet för att säkerställa att produkterna uppfyller god kvalitet under dess livstid. Dock är inte alltid verkligheten enkelt simulerbar, inte minst då Volvos personvagnar används globalt med vitt skilda klimat- och kravsättningar.

För att leva upp till Volvos hårt ställda krav på kvalitet och säkerhet så genomförs en mängd olika tester. Hållbarhetstest och höghastighetskörning på testbana, vibrationstester av olika slag samt klimat och aerodynamiska tester är några av de vanligare förekommande simuleringarna på Volvo Personvagnar. När jämförelse görs mellan dessa skilda simuleringar bör hänsyn tas till hur komponentens kraft- och

vibrationspåverkan uppkommer samt utbreder sig. Exempelvis om händelser sker stokastiskt eller kontinuerligt.

2.3.1 Fordonstester

Den mest verklighetstrogha provningsmetoden är ett fullskaligt fordonstest ute i verklig miljö. För att simulera detta genomför Volvo hela tiden tester av fordonen på testbanan i Hälleröd. Flera olika typer av tester kan genomföras vid anläggningen.

Ett av testerna som genomförs fokuserar på att belasta fordonets funktion till det yttersta. Genom att köra genom olika miljöer på varierat underlag upplever fordonet verkliga påkänningar under en mycket koncentrerad tidsperiod.

En annan sida av fordonets livscykel som Volvo måste ta hänsyn till och simulera är långvarig höghastighetskörning. Vid testanläggningen finns en stor oval bana på vilken fordonen testas för denna typ av körning [3].

2.3.2 Vindtunnel

Vindtunneln på Volvo i Torslanda är en av de modernaste i Europa, med möjlighet att varva klimat- och aerodynamiska tester. Grunden utgörs av en motor på 5 MW som driver en fläkt, vars diameter är 8 meter. En kylanläggning ingår även i anläggningen, vars effekt motsvarar den av motorn uppkomna värmeförlusten samt friktionsvärmén genom tunneln.

För att optimalt efterlikna verkliga förhållanden finns bland annat ett centerbälte för att simulera markens inverkan på strömningsförhållandet. Centerbältet ser ut som ett rullband i metall och används för att transportera luft in under fordonet på ett verklighetstroget sätt. Det finns även fyra mindre rullband, ett för varje hjul, som kallas *wheel drive units*. De används då hjulens inverkan på strömningen i hjulhusen skall studeras. Systemet med dessa fem rullband kallas *moving ground* och möjliggör mycket realistiska simuleringar, se Appendix C.

Moving ground kan maximalt köras i 260 km/h vilket gör att vindhastigheten i vindtunneln blir styrande (maximalt 250 km/h). Vind- och klimatförhållandena möjliggör omfattande simuleringar och tester.

Temperaturen kan ställas in mellan 20 och 60°C i såväl det aerodynamiska testet som i klimattestet. I det aerodynamiska testet kan vridvinkeln, även kallad *yaw angle*, ställas in $\pm 30^\circ$. Detta påverkar vinden som infaller mot fordonet då detta förändras när fordonets underlag vrids gentemot vindriktningen, vilket används i samband med simulering av vindpåverkan från sidorna.

Testpersonalen kan placera ut olika typer av givare på fordonet och sedan spara ner information. För att visuellt studera strömningsuppförandet används en särskild

kemisk blandning som när den reagerar med luft bildar en vit tät rök. Blandningen släpps ut genom en spridare framför fordonet och vinden förflyttar röken över karossen. Visuellt blir resultatet en vit linje som följer strömningen.



Figur 2.3: En Volvo S60 Polestar i vindtunneln, med vit rök som strömningsindikator [4].

2.3.3 Elektrodynamisk vibrationsrigg

En elektrodynamisk vibrationsrigg är en maskin som är avsedd att simulera olika förhållanden som komponenten kan tänkas utsättas för. Detta sker främst via applicerade elektrodynamiska vibrationer, vilket innebär att förskjutningen, accelerationen, hastigheten och kraften varieras hos vibrationsriggen.

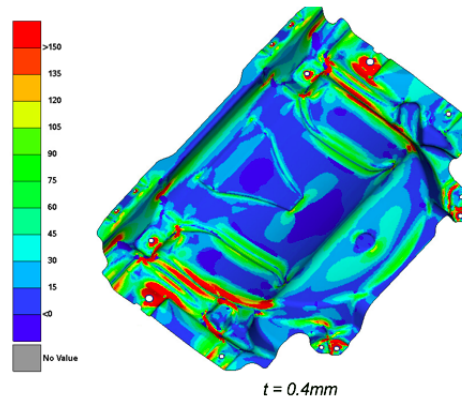
Det finns flera varianter av vibrationsriggar, såväl till funktion som till storlek och styrka. Exempelvis kan vibrationerna inverka via olika axlar i xyz-planet samt storleksmässigt rymma en hel bil eller enbart mindre komponenter. En annan funktion som återfinns bland vissa vibrationsriggar är ett inbyggt klimattest, där luftfuktighet och temperatur regleras [5].

När det kommer till applicerandet av vibrationerna så kan det gå tillväga på olika sätt. Ett sätt är att genomföra ett så kallat *sinussvep*, vilket är då frekvensen gradvis ökar inom ett intervall [6]. Oftast utförs detta testet exponentiellt, med en logaritmering av frekvensen över tid. Ett annat tillvägagångssätt är att anbringa stokastiska vibrationer, vilket mer motsvarar de förhållanden som råder i fordons- och vindtunneltesterna där vinden och underlaget styr vibrationsförhållandet.

För att tydligare kunna se hur testobjektet vibrerar används ett stroboskop. Med en viss frekvens tänds och släcks ljuset i testmiljön. När en viss punkt har ändrat läge mellan två tända tillstånd kan lägesförändringen tydligare betraktas.

2.3.4 CAE - Computer-aided engineering

I datormiljö kan komponenter utsättas för olika belastningar i syfte att studera hur de uppför sig. Under felsökning av värmesköldar utför CAE-ingenjören studier med finita elementmetoden, FEM, där krafter anbringas i modellerna. Modellen delas in i ett stort antal små element, vilka sammanbinds i ett antal noder. I varje nod räknar programmet ut de mekaniska förhållandena som råder och presenterar resultatet.



Figur 2.4: Värmeskölden i en FEM-beräkning i mjukvaran ABAQUS.

2.4 Mätvärden och mätutrustning

När värmesköldarna belastas uppkommer olika typer av påkänningar som kan mätas på ett flertal olika sätt. Dessa uppmäts och analyseras under utvecklingsarbetet för att hitta optimala och hållbara förhållanden. I de fysiska testerna används särskild utrustning för att samla in information där de vanligaste varianterna är accelerometrar och trycksensorer.

Acceleration - [m/s^2]

Avser en punkts acceleration relativt ett normaltillstånd. Accelerometern kan känna av hur värmesköldens yta rör sig i en viss punkt genom att logga accelerometers läge över tid. När mätytan rör sig uppstår en elektrisk signal i accelerometern som motsvarar rörelsen [7].

Tryck - [Pa]

En tryckgivare har till avsikt att uppmäta ett tryck. En modell är exempelvis HCLA0025DB från tillverkaren Sensortech. På denna är sensorerna värmekompenserade och kan leverera digitala och analoga ut signaler parallellt. Montering bör generellt ske på torra ytor och omgivna av gaser som skyddar mot korrosion [8].

Frekvens - [Hz]

Anger antal händelser per sekund. Frekvensen beskriver i detta sammanhang vibrationen som antal svängningar per sekund.

Eigenfrekvens - $[Hz]$

En komponent kan ha en eller flera egenfrekvenser. Resonans uppstår då yttre påverkan sker i samma frekvens som egenfrekvensen. Resultatet blir stora förstärkningar i svängningens amplitud vilket kan leda till stora skador [9].

2.5 Analys av mätvärden

2.5.1 Power spectral density (PSD)

Vid en PSD-analys studeras energivariationerna i ett visst frekvensområde hos en komponent. Vid en mekanisk tillämpning är avsikten att på detta sätt studera vibrationerna, vilket i regel görs via accelerometermätningar som loggas över tid. Signalen kan via Fouriertransformation studeras i frekvensplanet istället för som funktion av tid.

Signalen kan filtreras via en så kallad *bandpassfiltrering*, vilket gör att endast signalerna i ett visst frekvensintervall sorteras ut. Inom detta intervall kan en avgränsad mängd signaler sedan utläsas. Detta görs för att såväl minska mängden irrelevant data som för att enklare kunna urskilja avvikelser mellan olika tester.

Enheten för PSD kan skilja sig åt, men i mätningarna som utförts på Volvo förekommer oftast $(m/s^2)^2/Hz$. Frekvensen används i ett normaliserande syfte [10].

2.5.2 Videoscope och λ -vue

Det finns ytterligare sätt att studera små vibrationer i objekt. Genom ett forskningsprojekt vid Massachusetts Institute of Technology, MIT, har en framtagna programvara möjliggjort detta.

Projektet och tekniken presenterades vid ett TED-talk av Dr. Michael Rubinstein, Research Scientist på Google. Under presentationen beskriver Rubenstein hur tekniken fungerar och nämner några olika tänkbara användningsområden. [11] Först lanserades en öppen testversion av programmet Videoscope, för att senare övergå till en betaversion med benämningen λ -vue [12], [13].

Programvaran verkar som ett rörelsemikroskop som kan utföra en förstärkning av rörelser och ljusskillnader. Genom att förstärka förändringarna över tid hos varje enskild pixel, inom ett bestämt frekvensintervall, kan starkare variationer i videomaterialet åstadkommas.

Användaren kan ladda upp ett klipp på programvarans hemsida och sedan använda verktyget för att välja frekvensområde samt amplitud för förstärkningen. Efter att filmklippet bearbetats renderas en ny film som kan studeras med det nya resultatet.

Fördelen med denna teknik jämfört med klassisk användning av sensorer är att vibrationerna kan ses direkt när de faktiskt händer, istället för att behöva tolka loggad

testdata och diagram. Resultatet kan dock endast ses som en vägledning och indikation, snarare än ett faktiskt resultat, eftersom programvaran fortfarande befinner sig i beta-stadiet.

3

Metod

3.1 Projektets genomförande

- Inläsning av befintlig testdokumentation.
- Planering och förberedelse av projektets två tester.
- Genomförande av test i vindtunnel.
 - Insamling av videoklipp för studie i λ -vue.
- Genomförande av test i vibrationslabb.
 - Insamling av videoklipp för studie i λ -vue.
 - Genomförde mätningar med accelerometrar för jämförelse mot tidigare motsvarighet i vindtunneln.
- Analys av testresultat.
 - Studie av videoklippen med avseende på plåtens troliga kritiska områden.
 - Jämförelse av accelerometermätningarna jämfört med tidigare mätningar i området. De nya PSD-kurvorna ställdes mot de gamla för att se hur testmetoden motsvarade tidigare tester.
- Slutsatser och rekommendationer.

3.2 Befintlig testdokumentation

Vid projektets start fanns en stor mängd insamlad data från tidigare tester. För att skapa en förståelse av utgångsläget samt hitta rätt angreppssätt, genomfördes därför en förstudie. Detta bidrog till en teoretisk såväl som teknisk grundförståelse, nödvändig för genomförandet av examensarbetet.

Efter att problemet med sprickor i värmesköldarna först upptäcktes på testbanan har projektgruppen dokumenterat all historik i området. Genom att från start till slut följa utvecklingen och tankegångarna i den sparade dokumentationen, bildades en uppfattning för hur problemet borde angripas. Den tidigare dokumentationen från Volvo Personvagnar finns sammanfattad i appendix A.

3.3 Testplanering

Genomförandet av vindtunneltestet krävde att vissa hållpunkter var uppfyllda. Först och främst behövdes ett exemplar av nya Volvo XC90 med en 0,4 mm tjock värmskyddsplåt monterad. I vibrationslabbet berodde inte genomförandet lika mycket på omkringliggande faktorer. Labbet låg inte under samma tidspress som vindtunneln, och endast en komponent skulle monteras på testriggen.

För att få en så tydlig bild som möjligt av testernas händelseförlopp beslutades att videokameror skulle användas. Filmen skulle dessutom kunna användas ihop med den tidigare nämnda programvaran Videoscope och λ -vue. Utifrån de förutsättningar som fanns i respektive testanläggning kompletterades miljön med ytterligare utrustning. För vindtunneln innebar det att ett kamerafäste behövde tas fram, medan det för vibrationsriggen behövdes en fixtur för montering av värmeskölden.

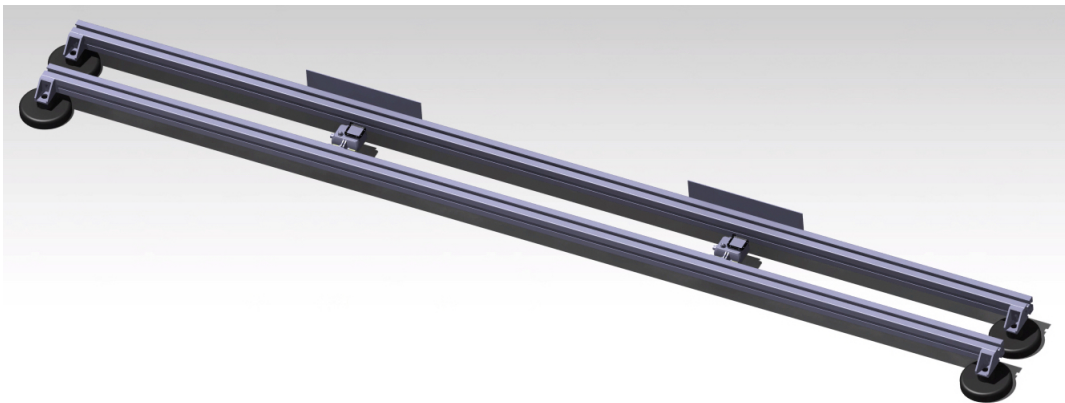
3.3.1 Framtagning av kamerafäste

För att inte skada känslig utrustning i anläggningen kunde markkontakt inte ske direkt under fordonet i vindtunneln, eftersom det s.k. centerbältet var placerat där. Det beslutades om att en uppspänd balk skulle fungera som bas i kameramonteringen, vars minimala längd bedömdes vara 2400 mm. Detta för att markfästena skulle hamna tillräckligt långt ut. Som garanti för ett säkert testgenomförande behövde balken vara tillräckligt styv för att säkerställa att den inte skulle komma i svängning under vindens belastning. Styvheten var även viktig för att filmens kvalitet skulle bli så stabil och bra som möjligt.

Utvecklingsarbetet innehöll inga beräkningar, för t.ex. hållfasthet, utan endast ingenjörsmässiga bedömningar låg till grund för konstruktionen. Balkarna som valdes var aluminiumprofiler med längden 2500 mm och ett kvadratisk tvärsnitt på 45x45 mm, vars styvhet bedömdes vara väl tillräcklig.

Tidigare kameramontage i vindtunneln tydde på att kameran lätt kommer i svängning som en följd av de höga vindhastigheterna. För att skydda kameran från den kraftiga luftströmmen utvecklades ett enkelt vindskydd. Risken fanns att vindskyddet skulle ge direkt motsatt effekt. Något som undveks genom användandet av en separat balk, placerad framför kamerafästet. Hade dessa suttit sammankopplade skulle risken finnas att vinden kunde ge upphov till vibrationer i vindskyddet, som sedan överförs till kameran.

CAD-modellen som grundade tillverkningen av kamerafästet och vindskyddet togs fram i CATIA V5 och återges i figur 3.1. Modellerna var endast avsedda att verka som diskussionsunderlag med projektgruppen, varför endast skisser togs fram. Tillverkningen av kamerafästet och vindskyddet skedde i V-labb på Chalmers Lindholmen. En komplett stycklista återfinns i Appendix D.

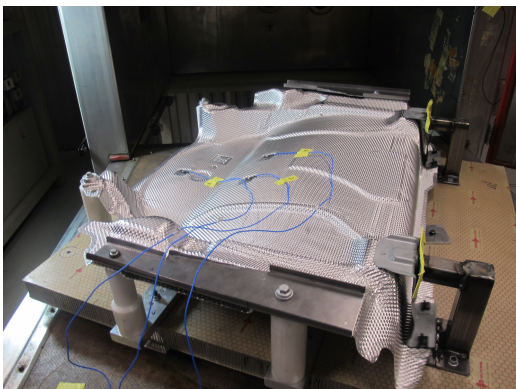


Figur 3.1: CAD-modell för det framtagna kamerafästet och vindskyddet.

Vid det andra testgenomförandet ändrades konstruktionen för att minska den uppkomna svängningen hos balken. Vindskyddet bedömdes onödigt och kamerorna monterades med aluminiumtejp direkt på balken, utan mellanliggande beslag. För att förbättra ljusförhållandet i videofilmen användes en LED-lampa under fordonet.

3.3.2 Framtagning av monteringsfixtur

Monteringen i vibrationsriggen var planerad att genomföras på samma sätt som i normalfallet, då man utför livslängdsprover av diverse komponenter. Resultatet blev en fixtur med låg vikt, där basen utgjordes av en infästningsplatta i aluminium med ett hexagonmönster. Detta medförde en låg testpåverkan samtidigt som en jämn spridning av vibrationerna kunde säkerställas. Infästningen av plåten skedde på solida plastcylindrar som var förankrade i infästningsplattan. Plastcylindrarna positionerades i infästningspunkternas x- och y-koordinater samtidigt som höjden motsvarades av z-koordinaterna. Dessa koordinaterna avlästes i CAD-miljö. För att bättre motsvara monteringen på ett verkligt fordon användes utskurna plåtstycken från ett bilchassi. Gränssnittet mot monteringsfixturen bedömdes då kunna sprida vibrationerna på ett mer verklighetstroget sätt (se figur 3.2).



Figur 3.2: Värmskyddsplåten monterad på fixturen.

3.3.3 Insignaler till den elektrodynamiska vibratorn

För att få vibrationstestet att efterlikna verklig luftpåverkan behövdes rätt insignaler tas fram. Vindtunneltestet ansågs efterlikna verkligheten på ett väldigt bra sätt och därmed var en omvandling av dess utsignaler fördelaktig. Genom ett samarbete mellan personalen i de båda testanläggningarna översattes vindtunnelns trycksignal till insignaler för den elektrodynamiska vibrationsriggen.

Översättningen från trycksignal till accelerationssignal skedde med hjälp av ekvation 3.1.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{p \times A}{m} \quad (3.1)$$

a = Acceleration

F = Kraft

m = Värmeskyddsplåtens massa

p = Uppmätt trycksignal

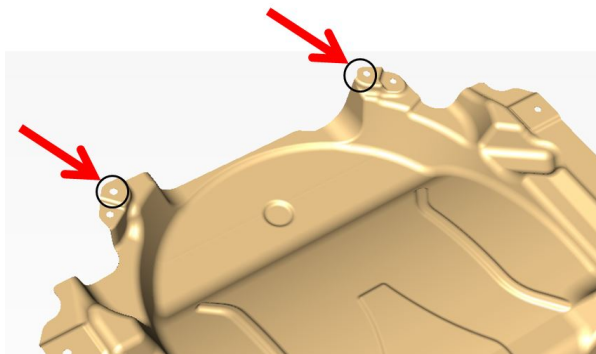
A = Värmeskyddsplåtens projicerade area

3.4 Genomförande av tester

De kameror som användes för videodokumentation var av modellen GoPro Hero 4 Black Edition. Dessa kunde med den senaste mjukvaruuppdateringen filma i 240 bilder per sekund, med en upplösning på 720p. En hög bildhastighet var särskilt viktig för att kunna få med så mycket information som möjligt om rörelsemönstret.

3.4.1 Vindtunneltest

Testets främsta avsikt var att kartlägga en värmeskölds rörelsemönster via en videofilmning. Området som fokuserades på var kring de främre infästningspunkterna, då dessa ansågs vara ett potentiellt riskområde för sprickbildning (se figur 3.3).



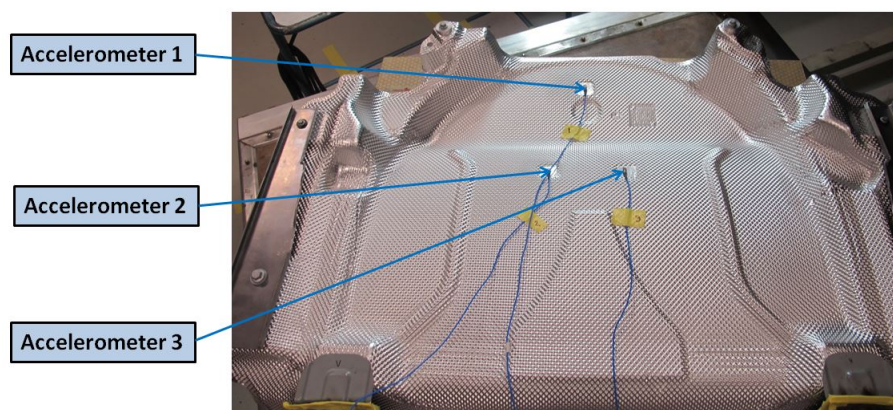
Figur 3.3: De främre infästningspunkterna.

För att få en bra valideringsgrund mot befintlig dokumentation så kördes testet i vindhastigheter på 210 km/h. Även stegvis ökning av vindhastigheten skedde i steg om 70 km/h, 140 km/h och 210 km/h. Detta för att enklare kunna urskilja vindhastigheterna i filmerna. Genomförandet var endast fokuserat på vindens direkta inverkan, dvs 0° yaw-angle. Då inga klimatsimuleringar gjordes så var luftfuktigheten och temperaturen ställda på normala förhållanden. För att den kraftiga vinden inte skulle få några svagt fästa delar att lossna säkrades utrustningen upp med silvertejp mot golvet.

3.4.2 Vibrationstest

Den elektrodynamiska vibrationsriggen som användes verkade endast i z-riktningen. Maskinen valdes med avseende på såväl funktion som lämplighet, där komponentens storlek också togs i beaktning. Ur tidigare tester hade det framkommit att värmeskölden främst påverkas i z-led, vilket gjorde att den valda maskinen ansågs funktionsmässigt duglig i avsett syfte.

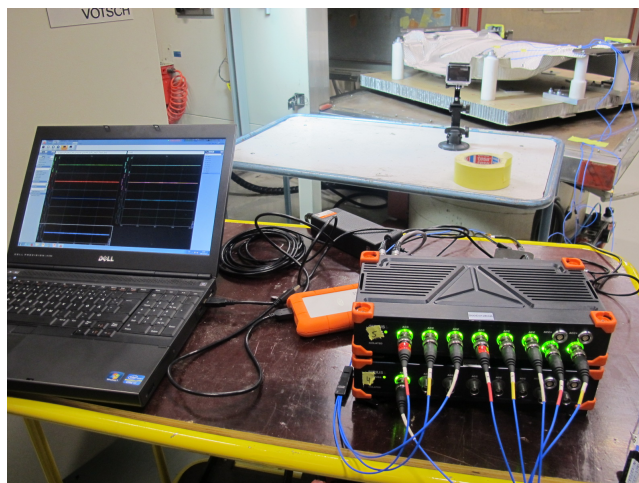
Accelerometrar monterades på värmeskyddsplåten vid samma mätpunkter som använts i tidigare tester. Detta möjliggjordes genom att värmeskyddsplåten hade plattats till kring mätpunkterna (se figur 3.4). Vid monteringen krävdes en hög noggrannhet då såväl position som mättriiktning var beroende av infästningen. Eftersom in-signalerna till den elektrodynamiska vibrationsriggen baserades på mätningar i vindtunneln var det fördelaktigt att samma personal skötte mätningarna även vid detta test. Detta gav förutsättning för bättre jämförbarhet mot tidigare dokumentation då mätningen skedde på samma sätt.



Figur 3.4: Accelerometrarna numrerade och monterade på värmeskyddsplåten.

När accelerometrarna hade monterats så anslöts dessa med hårdvaran Sirius, där två konsoler använts för att möjliggöra ett minimum av nio portar. De nio portarna behövdes eftersom det användes totalt tre accelerometrar, med vardera tre olika rätvinkliga mättriiktningar (x, y, z). Sirius kopplades i sin tur mot en dator med programvaran Dewesoft X2 installerad. Tillsammans verkade dessa som styrenhet för

mätningarna (se figur 3.5). Olika PSD-diagram genererades i realtid via en FFT-analys, fast fourier transformation, vilket åskådliggjorde händelseförloppet för testförsöken. Detta möjliggjorde en anpassning av kördatan för den elektrodynamiska vibrationsriggen i syfte att utslaget i testerna skulle motsvara vindtunneltesterna bättre.



Figur 3.5: Mätutrustningen Sirius kopplad till en PC.

Mätningarna genomfördes i 6 försök. I fortsättningen benämns försöken som *runs*. Run 1 genomfördes varefter styrkan skalades ner för att få en önskvärd amplitud på accelerometer 1. Detta gjordes för att få en bättre jämförbarhet mot tidigare mätningar och dokumentation. Vid Run 5 blev PSD-utslaget detsamma som påvisats i de tidigare mätningarna i vindtunneln. Resultatet från run 5 användes därför särskilt i vidare analys av testmetoden. Då mätutrustningen av misstag aldrig startades under Run 3 så utgick denna. För att studera vibrationen visuellt genomfördes även ett sinussvep där stroboskop användes. Ett komplett körschema presenteras i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Körschema för accelerometermätningarna.

Run	Kommentar
1	Original scaling
2	10% av original scaling
3	N/A
4	20% av original scaling
5	70% av original scaling
6	Sinus sweep 20-200 Hz, 200-20 Hz

3.5 Analys av testresultat

Jämförelser gjordes mellan den befintliga testdokumentationen och de nya testresultaten. För att validera den nya testmetoden ställdes diagram och uppmätt data

mot vad Volvo tidigare fått fram, med avsikten att hitta såväl likheter som olikheter.

Analyseringen gjordes utifrån olika perspektiv, där hänsyn togs till PSD-nivån (y-axeln), frekvenserna (x-axeln) samt kurvans utformning. Främst grundades analysen i resultaten av run 5, detta då run 5 ansågs vara mest lik testerna från vindtunneln.

3.5.1 Videoanalys i λ -vue

Videofilmerna från testerna i vindtunneln och vibrationslabbet laddades in i programmet λ -vue. Frekvensområdet som valdes för vibrationsförstärkning var 0,1-15 Hz då det var det högsta möjliga frekvensspannet som fanns valbart. Filmer renderades med en rörelseamplifikation på 20 respektive 40 samt en färgamplifikation på 30.

4

Testresultat

4.1 Videoinspelning i testanläggningarna

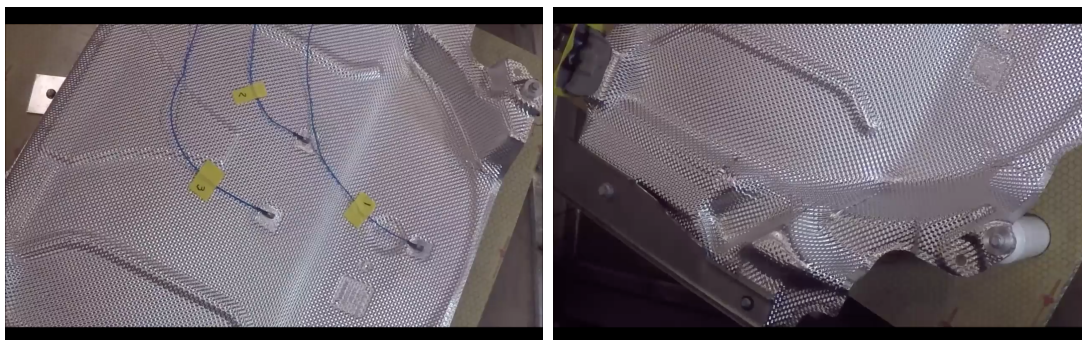
Resultatet av videoinspelningen i vindtunneln blev mycket ostabilt. Den kraftiga vinden fick balken i svängning, vilket gjorde att kameran kom i rörelse relativt fordonet. Avsikten med videoinspelningen var bland annat att studera mycket små vibrationer, något som inte gick att få fram ur videomaterialet. Efter att kamerans infästning hade förbättrats blev även videoresultatet bättre, dock utan att någon pålitlig information kunde utlösas.

Under den första provdagen blev ljusförhållandet i videoinspelningen för mörkt vid bildhastigheten 240 bilder per sekund. När testutförandet hade kompletterats med belysning under fordonet blev resultatet tillräckligt med avseende på ljusförhållanden (se figur 4.1).



Figur 4.1: Skillnaden i ljusförhållande mellan de båda testtillfällena.

Filmningen under vibrationstestet gav bra resultat. Vibrationerna spreds inte via vibrationsriggen till de platser där kamerorna har monterats, vilket var en förutsedd risk. Filmerna blev alltså stabila samt användbara ur ett jämförande och visuellt perspektiv. Då filmen innefattade större områden än tidigare kunde både plåtens mittersta ytor samt de främre infästningspunkterna studeras (se figur 4.2). Detta resulterade i att filmen även fångade upp små stillastående ytor av golvet utanför plåten, vilket tydde på att kameran inte rörde sig märkvärt.



Figur 4.2: Fokusområdena för kamera 1 respektive kamera 2.

4.2 Rörelseförstärkning av videomaterial

Eftersom videomaterialet från vindtunneln vibrerade påtagligt kunde programvaran λ -vue inte användas i avsett syfte. De renderade klippen visade en förstärkning av kamerans rörelse relativt fordonet, snarare än rörelserna i värmeskyddsplåten.

Filmerna från vibrationstestet fungerade desto bättre för analys i programvaran. Eftersom vibrationslabbet var förstärkt och förberett mot vibrationers spridning utanför maskinerna så var förutsättningarna bra. Då kamerorna fästes på en mycket stabil plats spreds inga vibrationer från vibrationsriggen upp i kameran och videomaterialet blev därför stabilt. Vid jämförelse mellan testernas filmer bekräftades förningen att kamerans relativrörelse mot det filmade objektet var av stor betydelse vid användningen av λ -vue.

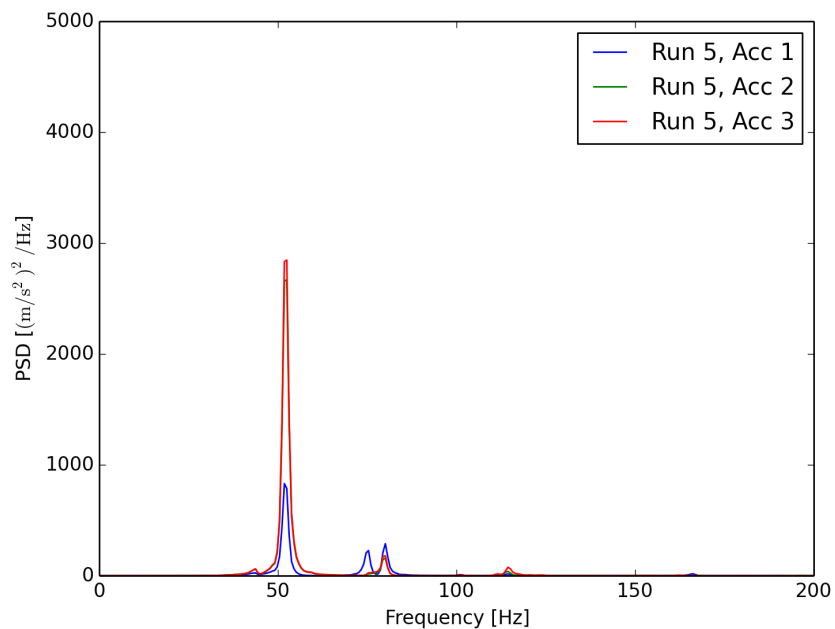
Efter att rörelseförstärkningen utförts i λ -vue framkom tydligt hur plåtens ytor rörde sig. Först och främst syntes hur plåtens mittersta del rörde sig kraftigt medan ytorna nära infästningarna rörde sig betydligt mindre. Detta syntes tydligast ifrån kamera 1, men kunde även påvisas med hjälp av kamera 2. Den andra kameran identifierade rörelser som tydde på att kraftiga töjningar uppstod i materialet kring infästningarna. Kamerornas fokusområden framgår ur figur 4.2 ovan.

4.3 Vibrationsmätning

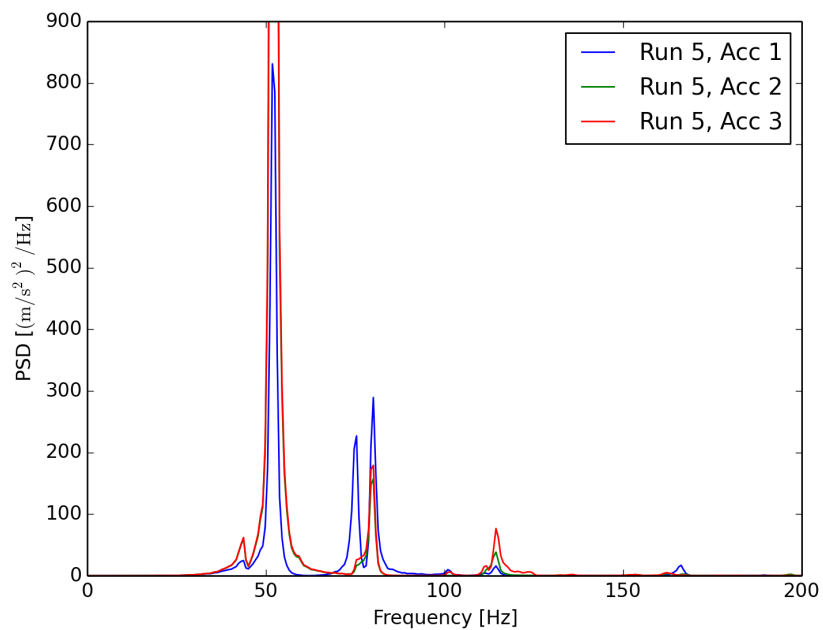
Som beskrivet i tabell 3.1 i kapitel 3.4.2, så var run 5 av särskilt intresse. Försökets resultat redovisas nedan i såväl linjära som logaritmiska grafer. Resterande testresultat återfinns i Appendix B.

4.3.1 Run 5 - 70% av original scaling

Linjära PSD-diagram:

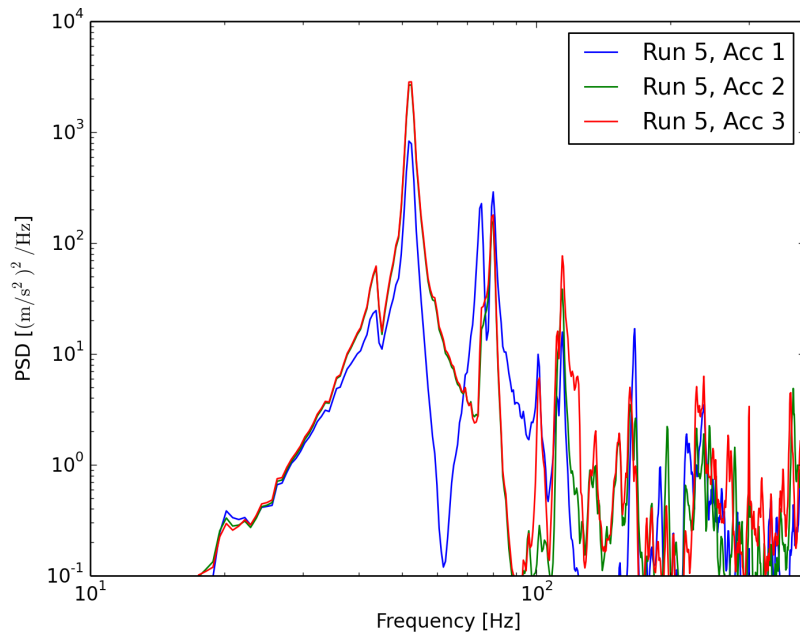


Figur 4.3: PSD-diagram (0-5000) för run 5, linjär skala

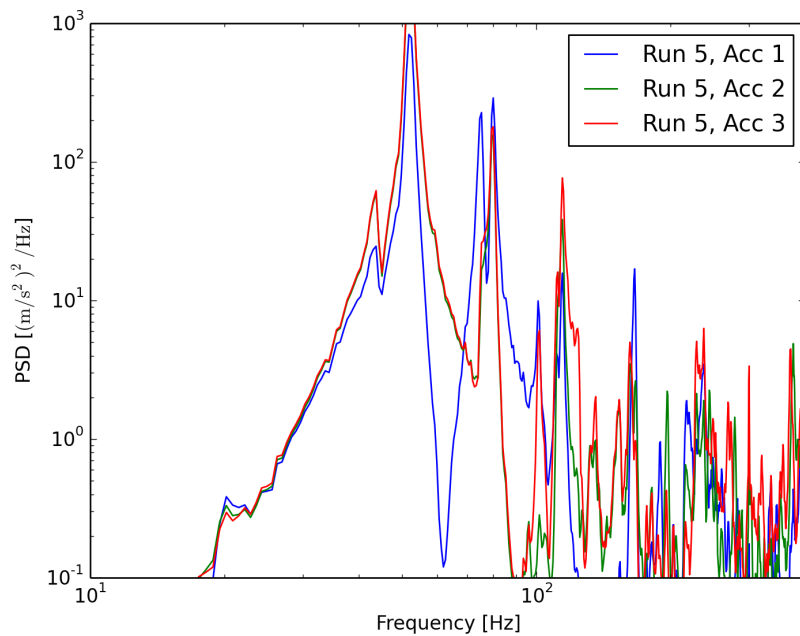


Figur 4.4: PSD-diagram (0-900) för run 5, linjär skala

Logaritmiska PSD-diagram:



Figur 4.5: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^4$) för run 5, logaritmisk skala

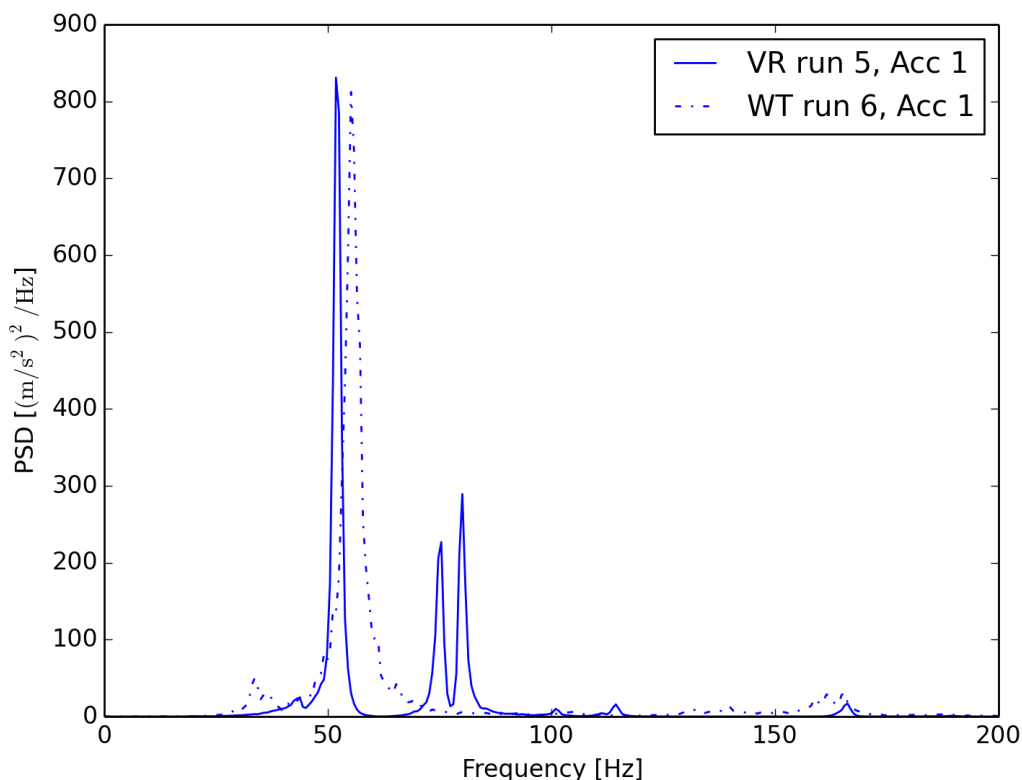


Figur 4.6: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^3$) för run 5, logaritmisk skala

5

Analys av testresultat

5.1 Främre accelerometerposition

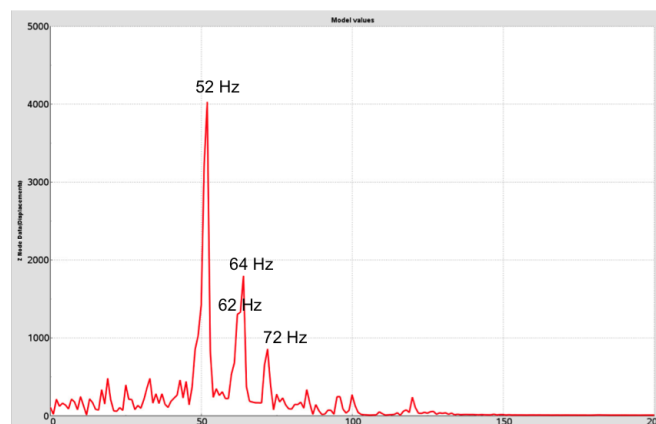


Figur 5.1: En jämförelse mellan figur från Appendix A (vindtunnel, WT) och figur 4.4 (vibration, VR), med endast den främre accelerometern synlig. Linjär skala.

Det högsta värdena i WT respektive VR har god överensstämmelse. Båda förekommer kring frekvensen 55 Hz samt uppvisar en nivå strax över 800 i PSD. Vid jämförelse av de resterande topparna i diagrammet så identifieras avvikelser. Över 55 Hz syns två toppar i VR, medan dessa inte alls är synliga i WT.

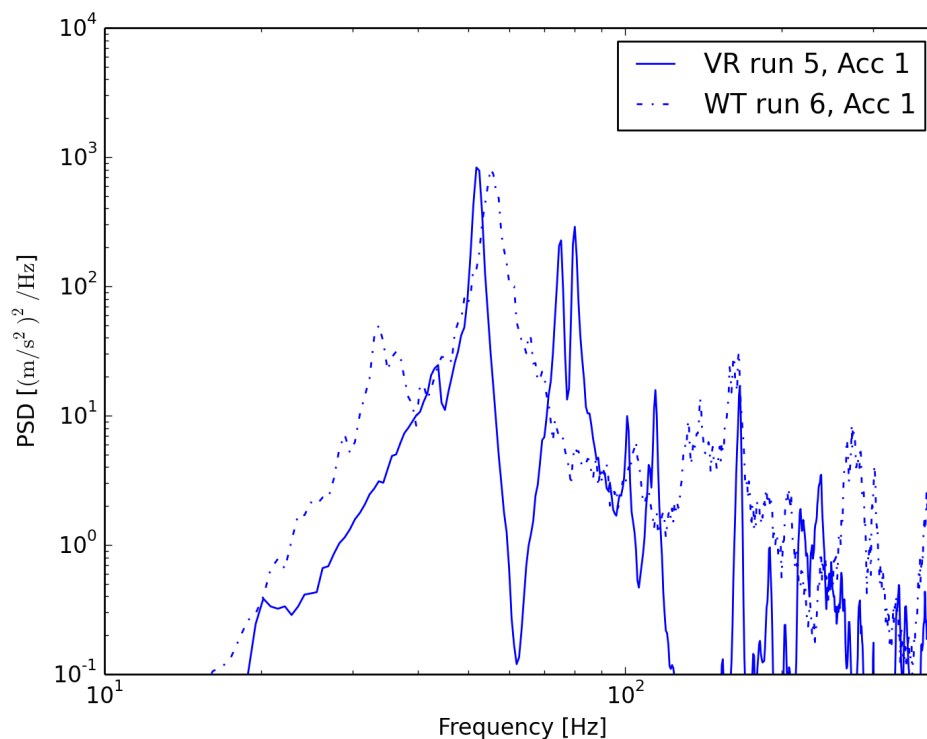
Anledningen till att den högsta toppen i respektive figur är så pass likartad grundar sig först och främst i att in-signalen anpassats i styrka. Vidare kan den främre accelerometerns nära position till infästningspunkterna vara ytterligare en anledning

till de mycket lika resultaten, testmetoderna emellan.



Figur 5.2: Troliga egenfrekvenser vid den främre mätpunkten utifrån tidigare CAE-dokumentation.

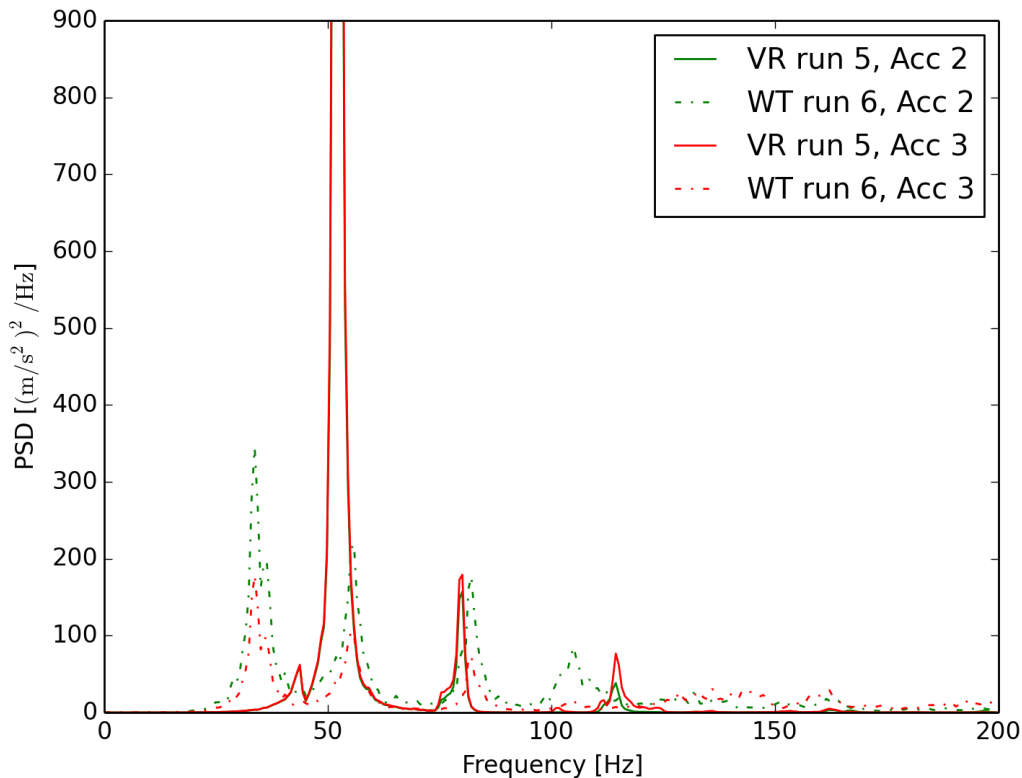
I en jämförelse av figur 5.1 VR mot CAE-analysen (figur 5.2) verkar det som att egenfrekvenserna uppkommer, fast med en förskjutning i de två senare frekvenserna.



Figur 5.3: En jämförelse mellan figur från Appendix A (vindtunnel, WT) och figur 4.5 (vibration, VR), med endast den främre accelerometern synlig. Logaritmisk skala.

Vid jämförelse av resultaten för VR och WT i den logaritmiska grafen är PSD-utslaget lika i nivå vid högsta toppen. Däremot förskjuts den längs x-axeln (Hz) med olika skillnader. I intervallet mellan 60-100 Hz i figur 5.3 så bedöms jämförelsen mellan vibrationstestet och vindtunneltestet som svårt att tyda, då de skiljde sig avsevärt. Frekvenser över 200 Hz bortsågs från, då dessa ligger utanför värmesköldarnas normala frekvensområde. Därav fokuserades analysen kring informationen under denna frekvensnivå.

5.2 Bakre accelerometerpositioner



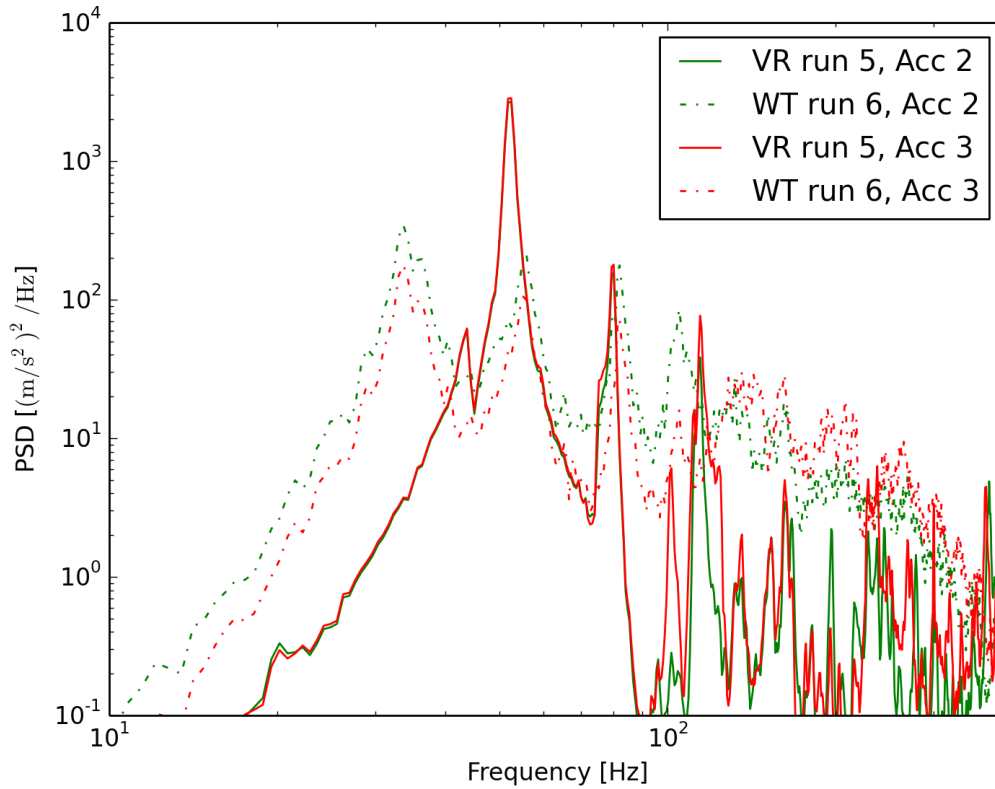
Figur 5.4: En jämförelse mellan figur från Appendix A (vindtunnel) och figur 4.4 (vibration), med endast de bakre accelerometrarna synliga. Linjär skala.

Vid en jämförelse med vindtunneltestet, med hänsyn tagen till de bakre accelerometrarna, märker man direkt att PSD-nivåerna avviker mellan de olika testerna. Vidare framkom att egenfrekvensernas uppkomst dock är ganska likvärdiga.

Att utslaget i vibrationstestet är väldigt stort (se figur 4.3) kan tyda på att mätning vid de bakre accelerometrarna inte alls fungerar i denna provvariant. En teori är att det har att göra med positioneringen, där accelerometrarna är placerade långt ifrån infästningspunkterna. Någon sorts resonans kan tänkas sprida vibrationerna mot mitten, vilket kan vara en anledning till att överkliga utslag hos värmeskölden uppstått. En metafor för att tydliggöra resonemanget; *om två personer håller i varsin kortsida av ett lakan och börjar vifta med det. Då är amplituden väsentligt större mot mitten, medan den är likartad handrörelserna vid en punkt nära kortsidorna*. Rörelsebeteendet skiljer sig alltså mer ju längre bort från infästningen man mäter.

Graferna framtagna från vibrationstestet ger oss en väldigt tydlig indikation på att både accelerometer 2 och 3 beter sig likartat. Den enda skillnaden som kan ses är att i respektive topp skiljer sig endast maxvärdena åt i PSD-värde. Skillnaden är

dock ganska liten, ca 7-14% vid pik 1 och 2 samt närmare 100% vid den tredje och sista piken, vilket kan tyda på mätfel eller mycket små skillnader i positioneringen mellan accelerometer 2 respektive 3 (se figur 5.4, VR).



Figur 5.5: En jämförelse mellan figur från Appendix A (vindtunnel, WT) och figur 4.5 (vibration, VR), med endast de bakre accelerometrarna synliga. Logaritmisk skala.

När man jämför kurvorna i den logaritmiska grafen från de bakre accelerometrarna i vibrationstestet, är det tydligt att dessa liknar varandra väldigt mycket. Det är främst efter 100 Hz som kurvorna inte följer varandra..

Vid lägre frekvenser kunde man se tendenser till liknande utslag, men högre upp på frekvensaxeln blir osäkerheten mycket stor.

5.3 Summering av analyseringen

Frekvenserna för respektive topp ser ut att dyka upp i ganska olika positioner när man studerar den främre mätpunkten från vibrationstestet och sedan jämför med CAE. De uppkommer kring 52 Hz, 75 Hz samt 80 Hz i vibrationstestet. I CAE uppkommer dem vid 52 Hz, 64 Hz och 72 Hz, se figur 5.2.

Vid jämförelsen mellan vindtunnelns test och vibrationsriggens så är det endast den stora toppen kring 55 Hz som överensstämmer, för den främre accelerometer.

När det kommer till sökning av amplituder, alltså storleken hos vibrationer, så verkar metoden skilja sig för mycket mot verkligheten. Troligtvis beror detta på att kraften enbart sprids ifrån infästningspunkterna och inte från mitten, som troligen blir fallet vid ett vindtunneltest eller vid verklig bilkörning. Sammantaget kan det konstateras att mätningar längre ifrån infästningarna medför en större mätosäkerhet, medan mätningar i närområdet kring infästningspunkterna ser ut att ge bättre mätresultat.

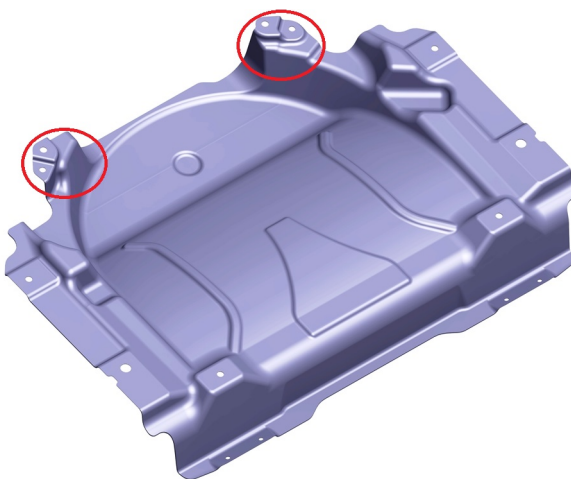
6

Slutsats

6.1 Värmeskölden

De analyserade mätresultaten från mätningen med accelerometrar och även analysen av videomaterialet i programvaran λ -vue visade på att rörelsen var kraftigast i värmesköldens mittparti. Detta kan till viss del härledas till att just mittpartiet ligger långt ifrån infästningspunkterna, där vibrationerna anbringades. Vibrationerna från den elektrodynamiska vibrationsriggen tros då sprida sig mot mitten där rörelsen blir som störst.

De främre infästningspunkterna var väldigt styva under vibrationstestet och höll därmed emot den kraftiga rörelsen hos värmeskölden. En sträckning tros därför uppstå i området kring infästningarna och över tid skulle det i så fall kunna medföra utmattningssprickor.



Figur 6.1: Stabila områden kring de främre infästningspunkterna.

6.2 Programvaran λ -vue

För att studera värmesköldens rörelsemönster under testerna fungerade programvaran mycket bra under vissa förhållanden. Om kameran utsattes för någon form av vibration blev videomaterialet i stort sett obrukbart. Om kameran istället stod

totalt stilla blev resultatet bra och en förstärkning av rörelserna i videomaterialet blev möjlig. Kameran behöver alltså stå på en helt stabil plats dit i stort sett inga vibrationer kan spridas.

På grund av att tekniken behöver en hög bildhastighet för videoinspelning krävs också goda ljusförhållanden. I miljöer där ljuset är begränsat kan en lampa behövas, men om miljön redan har en normal ljussättning räcker i regel detta bra.

Förstärkningen ställs in med avseende på hur kraftig vibrationen är hos analysobjektet. Vid analys av värmesköldarnas vibration räckte det med en förstärkning på mellan 20-40 gånger.

6.3 Validering av testmetod

En felkälla i den nya testmetoden involverar utsignalen, som grundar sig i en trycksignal som översatts till en acceleration. Trycksignalen uppmättes i endast en punkt på värmeskölden, för att sedan översättas till en acceleration som appliceras till hela plåten. Då strömningsförhållandet över plåten i verklig miljö är mycket turbulent, skiljer sig påfrestningarna beroende på vart mätning sker. Genom detta dras slutsatsen att mätning i endast en punkt är en tydlig felkälla.

Då belastningarna i vibrationsriggen endast appliceras via plåtens infästningspunkter sprids vibrationer på ett förhållandevis avskalat sätt relativt verkligheten. I verklig bilkörning kommer plåten i rörelse genom stokastiska krafter till en följd av det turbulenta strömningsförhållandet. Skillnaden mellan dessa två fall medför en stor osäkerhet.

När det kommer till frågan om ifall vindtunnelns testegenskaper kan återskapas i vibrationslabbet, så är det korta svaret att det i dagsläget inte går. Avsikten med testet kan summeras till att verifiera hållfasthet i komponentprov, vilket testmetoden i högsta grad har potential att göra med mer vidareutveckling.

Klarhet behöver fås i vad som får utslagen i de främre respektive bakre accelerometrarna att skilja sig mot vindtunneltestens. I vindtunneln var utslaget i den främre punkten kraftigast, men i vibrationstestet var de bakre accelerometrarnas utslag kraftigast. Det skulle kunna ha att göra med positioneringen av trycksensorn, den som indatan togs ifrån, då den var placerad kring den främre accelerometern.

6.4 Rekommendationer

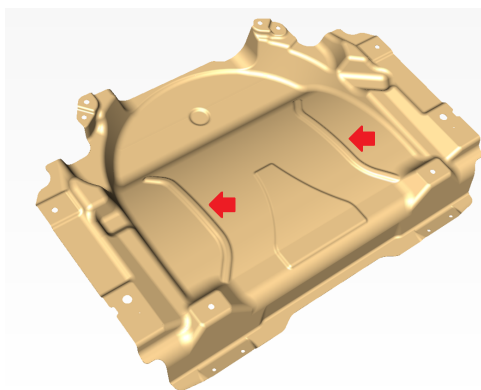
För Volvos räkning rekommenderas att programvaran λ -vue används vid fortsatt arbete inom området. Den kan vara av intresse för flera delar av företaget, säkerligen för Volvos grupp NVH (noise, vibration and harshness). För att få ut fulla

rättigheter behöver Volvo köpa in produktlicensen.

Eftersom videomaterialet från vindtunneln var mycket ostabilt skulle diverse modifikationer i testmiljön behöva utföras. Antingen skulle ett nytt kamerafäste med en stabilare konstruktion krävas eller så skulle vindtunneln i sig behöva anpassas för videofilmning under fordonet. En lösning är att bakom centerbältet göra en nedsänkning i underlaget vilken täcks över med en plexiglasskiva. I detta utrymme skulle kameror kunna placeras fritt helt utan att påverkas av vinden i testmiljön.

När det kommer till det fortsatta arbetet med värmeskölden rekommenderas att konstruktionen ses över. Tidigare har det under konstruktionsarbetet försökts få in en extra infästning i mitten av plåten. Även om tidigare undersökning visat att detta inte var fördelaktigt borde fortsatt arbete genomföras i området. Eftersom vinden får plåten att röra sig alldeles för kraftigt skulle infästningar på rätt ställen kunna medföra en förbättring. För monterings skull vore en tryckskruv fördelaktig, likt den som redan finns vid infästningarna längs plåtens sidor.

En annan rekommendation är att ytterligare förstyvningar behöver införas kring värmesköldens mittersta parti. En enkel lösning skulle kunna vara att förlänga de redan befintliga förstyvningarna in mot mitten, där amplituden är som störst. Se figur 6.2.

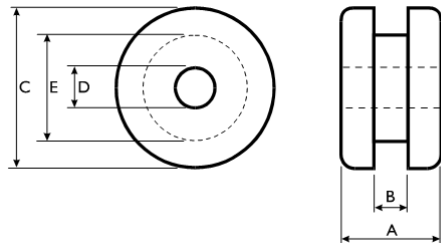


Figur 6.2: De befintliga förstyvningarna markerade.

Den sträckning som troligtvis uppkommer omkring de främre infästningspunkterna skulle eventuellt kunna minskas med hjälp av någon sorts gummibussning vid skruvarna. Hade rörelsen i plåten kunnat dämpas något skulle troligtvis värmesköldens påkänningar bli mildare. Ytterligare undersökning i att införa någon typ av gummibussning rekommenderas därför starkt.

Det vibrationsprov som genomfördes i examensarbetet behöver vidareutvecklas och ytterligare testförsök, med annan in-data som grund, skulle behöva genomföras. Genom att använda trycksignaler uppmätta från flera punkter i vindtunneln skulle troligen in-datan bli mer verklighetstrogen. Antingen skulle dessa trycksignaler kunna sammanfogas till endast en signal alternativt skulle trycksignalerna kunna

användas separat i olika mätsyften. Exempelvis att en trycksignal vid de bakre accelerometrarna används då man vill studera just det området på värmeskölden. Ett annat alternativ vore att använda accelerometersignaler från vindtunneln och direkt överföra dessa till vibrationstestet.



Figur 6.3: Exempel på gummibussning. [14]

Litteraturförteckning

- [1] CEVT, What we do,
<http://www.cevt.se/#what-we-do>
(hämtad 2015-04-07)
- [2] Pressmeddelande, Volvo Personvagnar,
<https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/148966>
(hämtad 2015-04-23)
- [3] Artikel, Borås Tidning,
<http://www.bt.se/boras/hallered-40-ar-ett-ganska-haftigt-arbete/>
(hämtad 2014-04-23)
- [4] Pressmeddelande, Volvo Personvagnar,
<https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/43470>
(hämtad 2014-04-23)
- [5] SP - Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, vibrationstest,
http://www.sp.se/sv/index/services/vibration_test/Sidor/default.aspx
(hämtad 2015-04-07)
- [6] Nationalencyklopedin, Sinussvep,
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sinussvep>
(hämtad 2015-04-09)
- [7] Nationalencyklopedin, Accelerometer,
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/accelerometer>
(hämtad 2015-05-13)
- [8] Sensortechinics, Trycksensor,
<http://www.sensortechinics.com/en/products/pressure-sensors-and-transmitters/amplified-pressure-sensors/hcla/>
(hämtad 2015-05-14)
- [9] Nationalencyklopedin, Egenfrekvens,
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/egenfrekvens>
(hämtad 2015-06-14)
- [10] Bruel & Kjaer,
<http://www.bksv.com/ServiceCalibration/Support/Faq/Items/>

PSDPowerspectraldensitydescription?tn63501a4fc26f4f6791dcd3e380f97f55

(hämtad 2015-04-23)

- [11] TED-talks, Dr. Michael Rubinstein
http://www.ted.com/talks/michael_rubinstein_see_invisible_motion_hear_silent_sounds_cool_creepy_we_can_t_decide
(hämtad 2014-04-14)
- [12] Video Magnification,
<http://people.csail.mit.edu/mrub/vidmag/>
(hämtad 2014-04-14)
- [13] Programvaran λ -vue,
<http://lambda.qrilab.com/site>
(hämtad 2014-04-28)
- [14] Armada Rubber, gummibussningar
<http://www.armadarubber.com/isolation.html>
(hämtad 2015-05-22)

A

Appendix

SEKRETESS

B

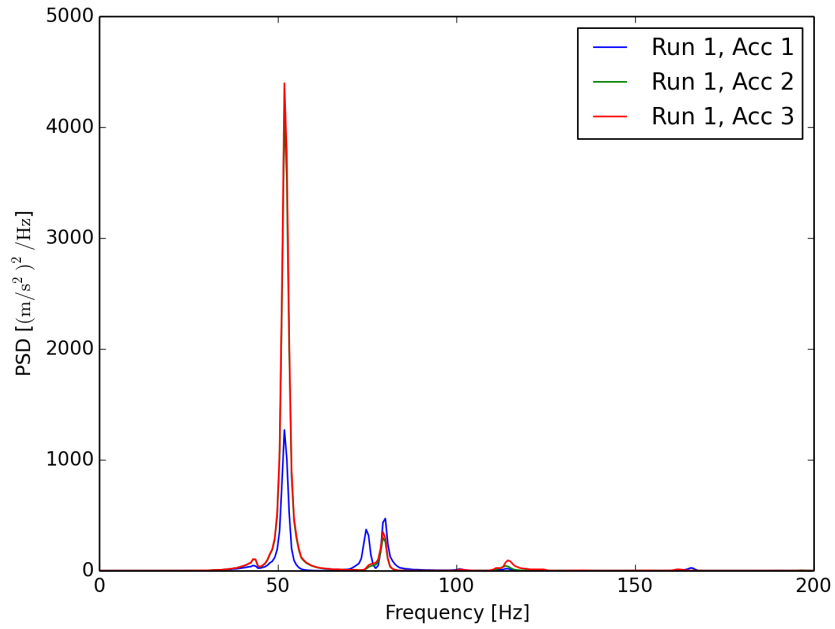
Appendix

B.1 Övriga mätförsök

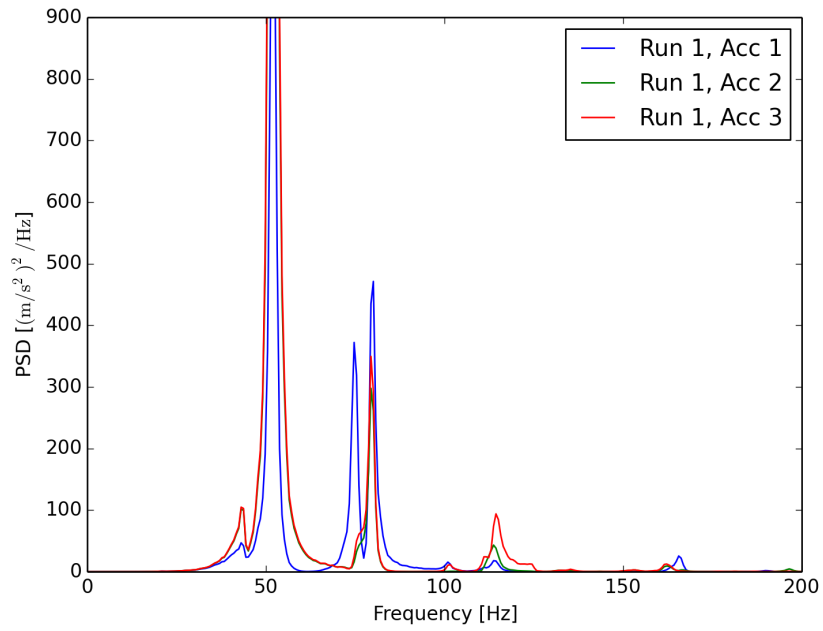
Resultaten för de övriga mätförsöken beskrivs på löpande sidor. (Run 1, 2, 4, 6)

B.1.1 Run 1 - Original scaling

Linjära PSD-diagram:

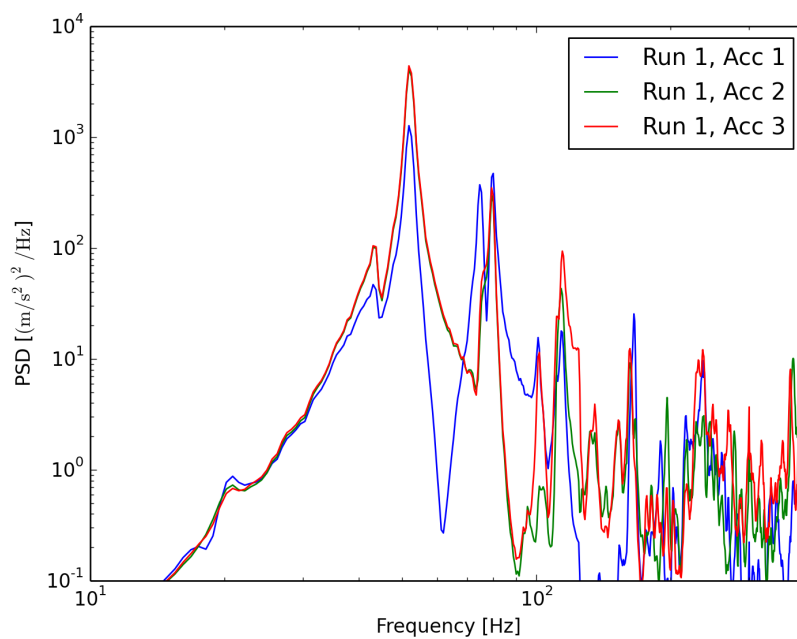


Figur B.1: PSD-diagram (0-5000) för run 1, linjär skala

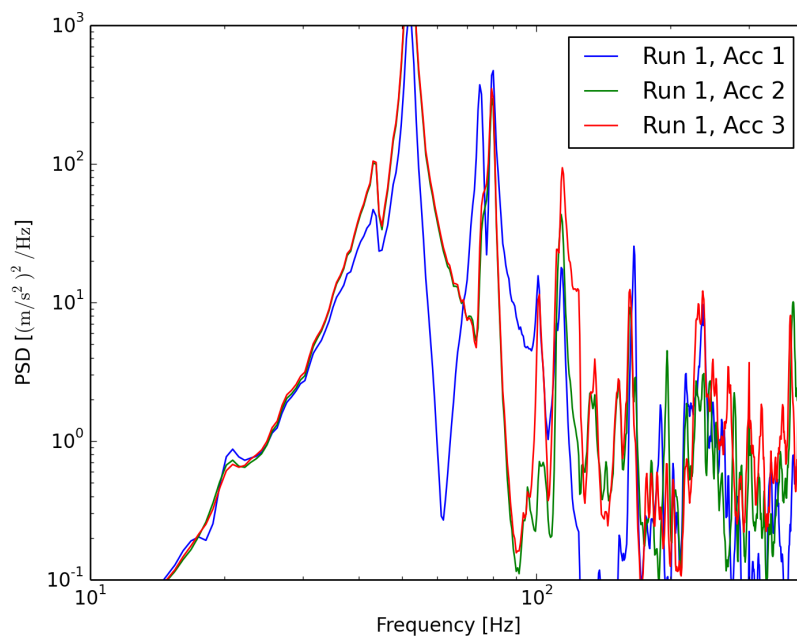


Figur B.2: PSD-diagram (0-900) för run 1, linjär skala

Logaritmiska PSD-diagram:



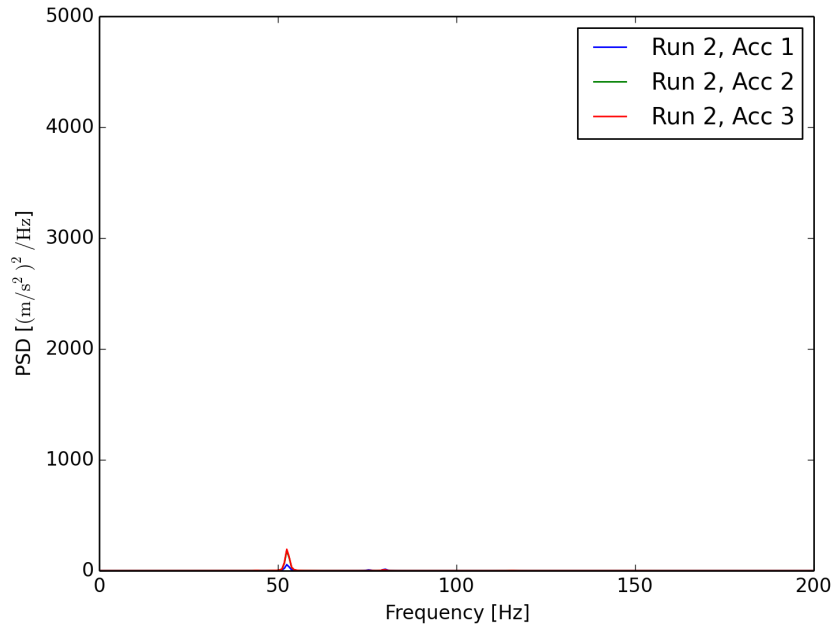
Figur B.3: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^4$) för run 1, logaritmisk skala



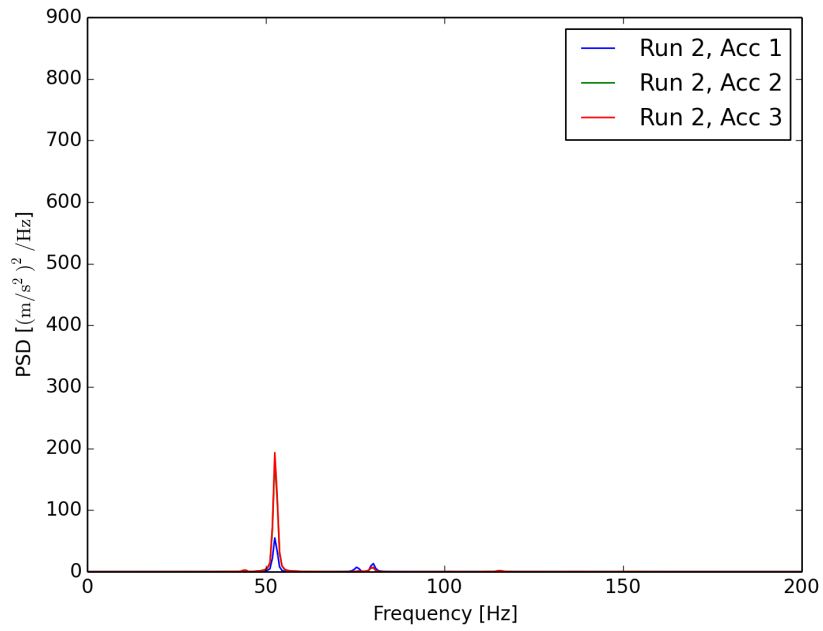
Figur B.4: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^3$) för run 1, logaritmisk skala

B.1.2 Run 2 - 10% av original scaling

Linjära PSD-diagram:

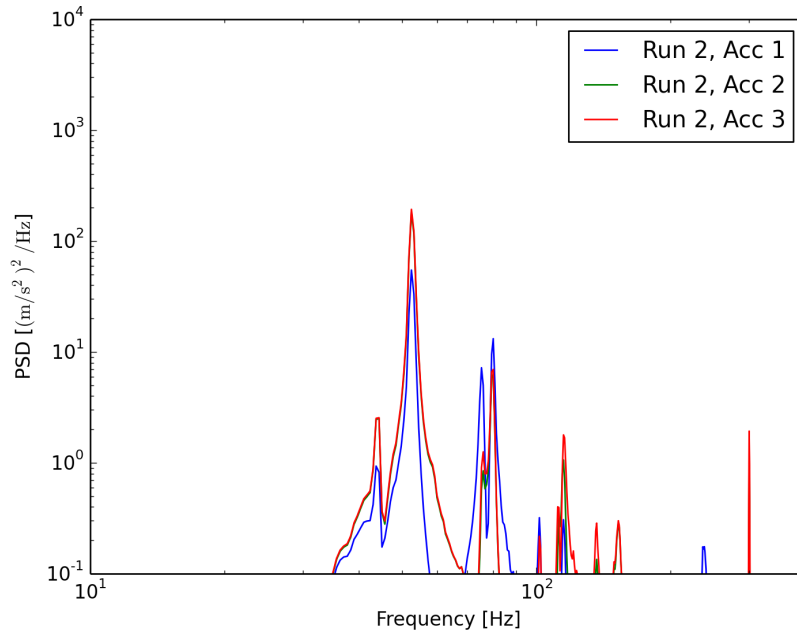


Figur B.5: PSD-diagram (0-5000) för run 2, linjär skala

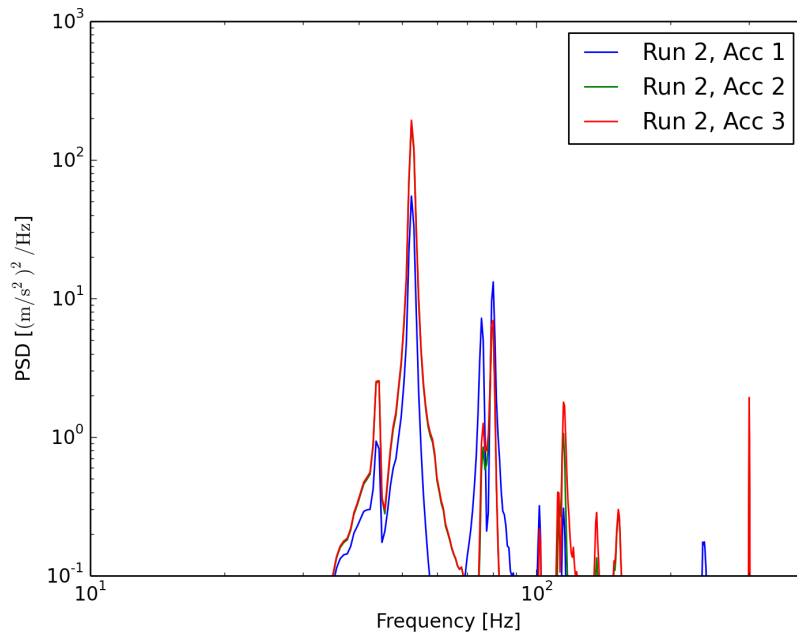


Figur B.6: PSD-diagram (0-900) för run 2, linjär skala

Logaritmiska PSD-diagram:



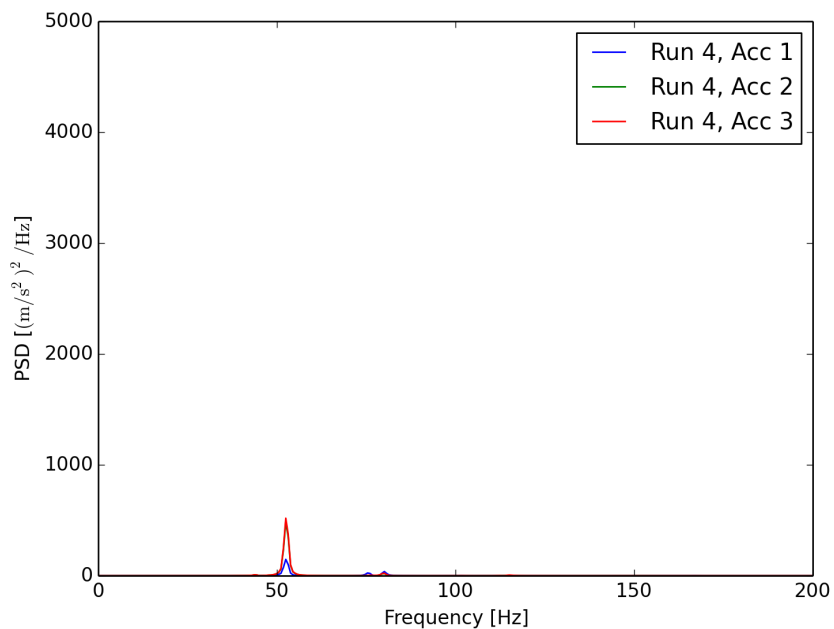
Figur B.7: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^4$) för run 2, logaritmisk skala



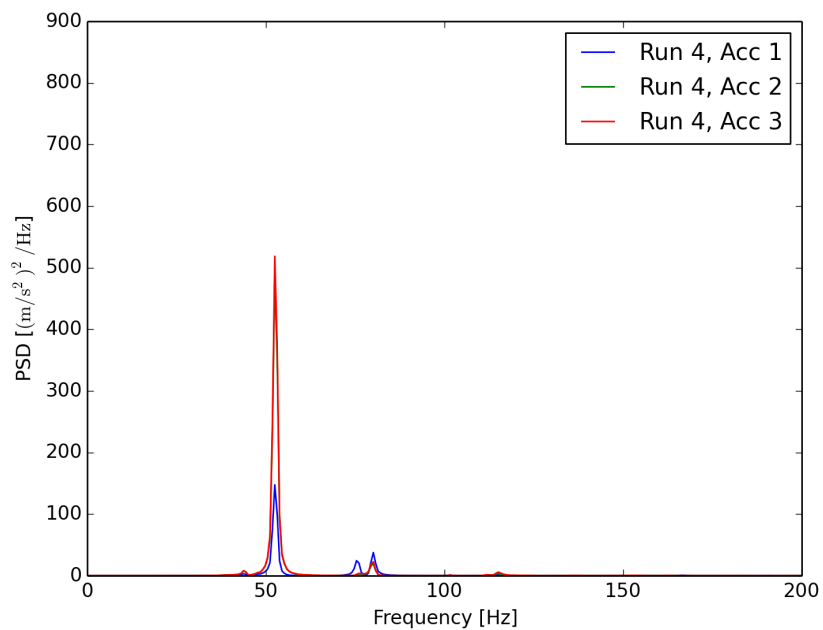
Figur B.8: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^3$) för run 2, logaritmisk skala

B.1.3 Run 4 - 20% av original scaling

Linjära PSD-diagram:

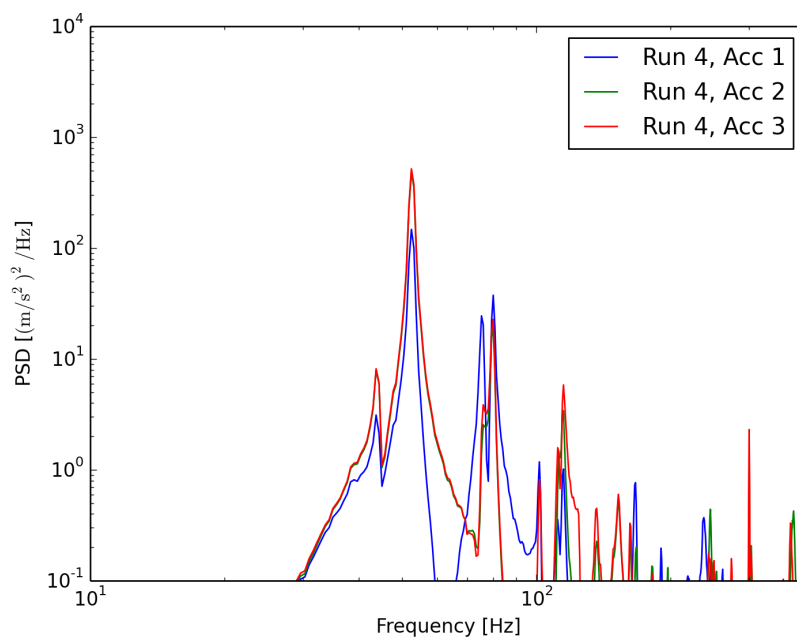


Figur B.9: PSD-diagram (0-5000) för run 4, linjär skala

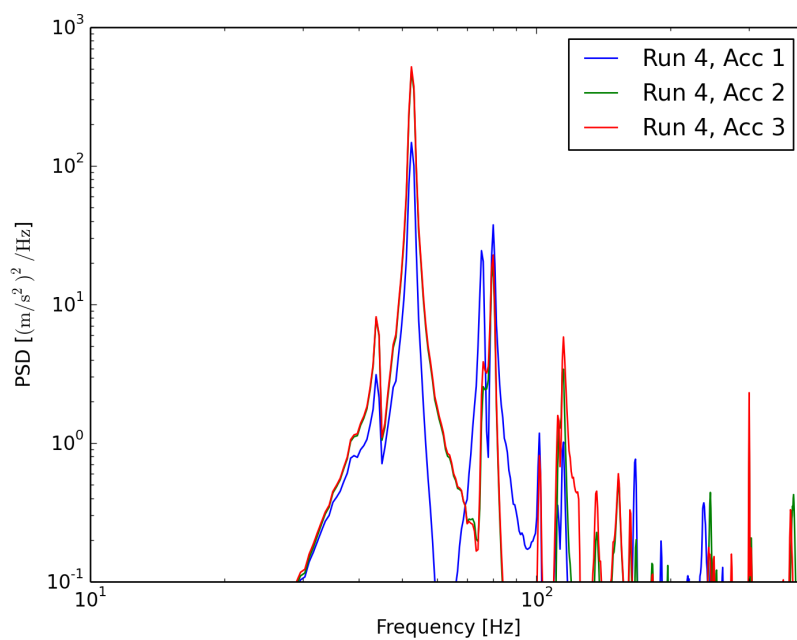


Figur B.10: PSD-diagram (0-900) för run 4, linjär skala

Logaritmiska PSD-diagram:



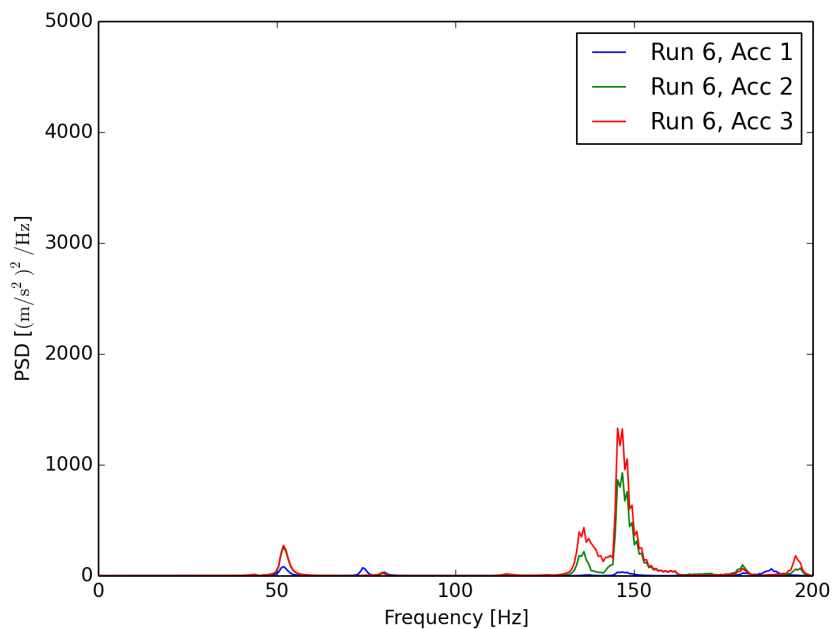
Figur B.11: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^4$) för run 4, logaritmisk skala



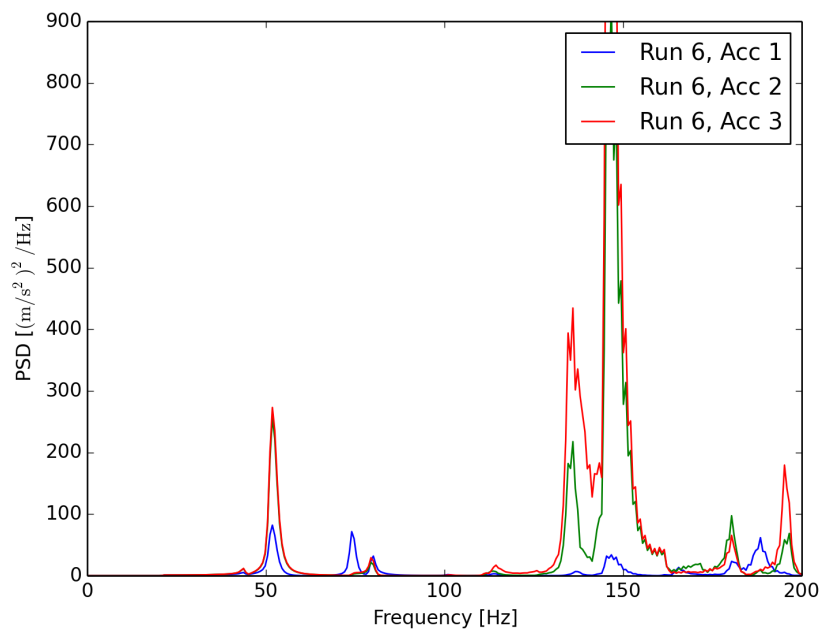
Figur B.12: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^3$) för run 4, logaritmisk skala

B.1.4 Run 6 - Sinussvep 20-200 Hz, 200-20 Hz

Linjära PSD-diagram:

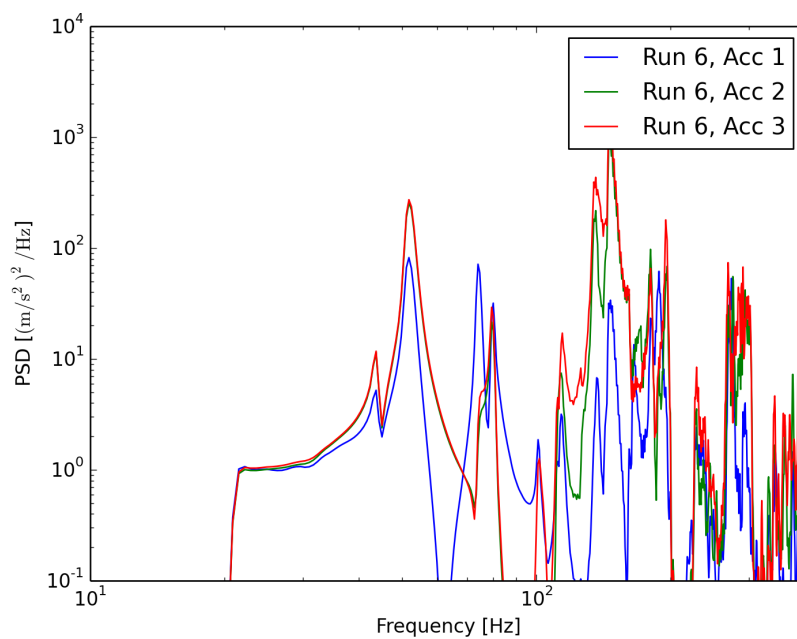


Figur B.13: PSD-diagram (0-5000) för run 6, linjär skala

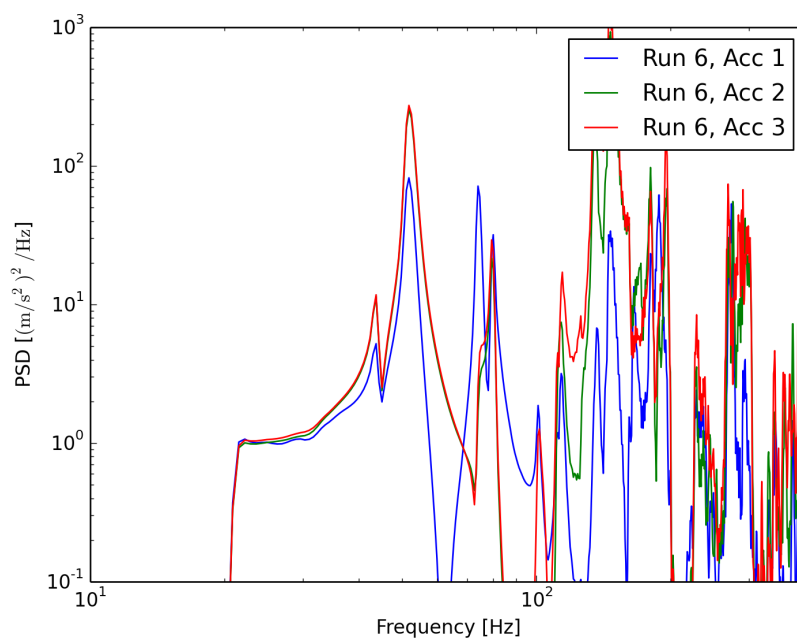


Figur B.14: PSD-diagram (0-900) för run 6, linjär skala

Logaritmiska PSD-diagram:



Figur B.15: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^4$) för run 6, logaritmisk skala



Figur B.16: PSD-diagram ($10^{-1} - 10^3$) för run 6, logaritmisk skala

C

Appendix



VOLVO CARS TEST CENTRE

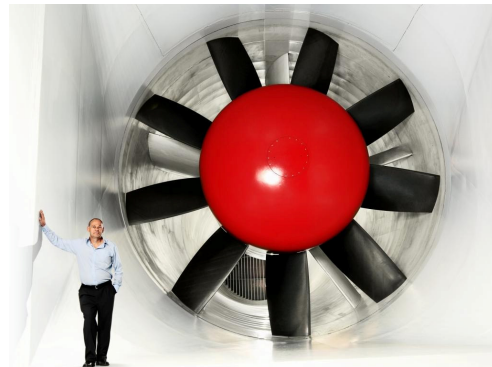
— WIND TUNNEL TEST FACILITY —

Wind tunnel

The Volvo Cars Wind tunnel is one of the most advanced facilities of its kind in the world. By using a moving ground up to 250 km/h a very close reality can be established.

We offer a broad range of possible test types as:

- Aerodynamic test including Reynolds sweep, yaw sweep and pitch and roll test
- Thermodynamic test, in temperatures 20 to 60 deg.C
- Climatic test in temperatures 20 to 60 deg.C
- Contamination test





VOLVO CARS TEST CENTRE

— TECHNICAL SPECIFICATIONS —

Specifications Wind tunnel

- Tunnel type Slotted wall.
- Test Section Length 15.8 m
Width 6.6 m
Height 4.1 m
- Nozzle size 27 m²
- Temperature 20°C to 60°C
- Relative humidity 10% - 90%
- Solar simulation 816 to 1200W/m² full spectrum.
- Wind speed 0 - 69,4 m/s
0 - 250 km/h
- Moving Ground 5 belt system
2 - 72.22 m/s
7 - 260 km/h
- Dynamometer 2WD
225kW(absorbing)
200kW(motoring)
0 - 72.22 m/s
0 - 260 km/h
9000N
- Balance Model weight 3000kg.
7 load cells
(4-z, 2-y and 1-x)
- Turntable Diameter 6.6 m
Max. rotation +/- 30 degrees
Max. load 4500 kg/wheel
- Traversing gear Range 65% of test section
Max. load 1.5 kg

- Safety CO2 fire extinguisher,
flame detection
- Fuels 95VSB/95/
98/Diesel/DieselVSD
- Power supply 12/24V 2A. 40V 40A.
45V 70A.
220V. 380V
- Hoist 3000kg

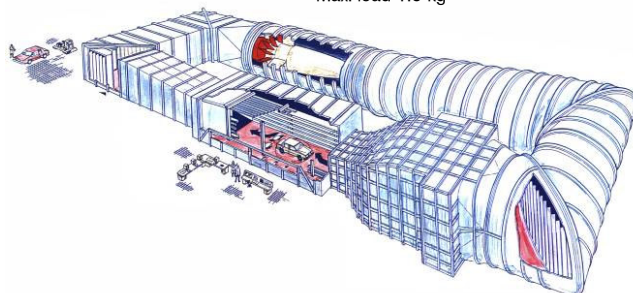


Automation, Wind Tunnel

Fully automated test procedures, real-time calculations.

Data acquisition, Wind Tunnel

- Temperature (TC type K)
- Voltage
- Current
- Frequencies
- Pressure



Volvo Cars Test Centre

Department 92010 PV2A60
SE-405 31 Göteborg
Sweden

Phone No. +46 31 59 00 00

D

Appendix

Stycklista över ingående komponenter i kamerafäste samt vindskydd.

- 1st Kamerafäste
 - 2st GoPro HD Hero 4 Black Edition
 - 2st Stativfäste GoPro, hona G1/4"
 - 2st Stativhuvud, hane G1/4"
 - 2st Fäste mot kamera, vinkel 90°
 - 2st Specialskruv M8
 - 2st Mutter M8
 - 1st Aluminiumprofil, 45x45mm
 - 2st Magnet
 - 2st Fäste mot magnet, vinkel 90°
 - 2st M16 skruv
- 1st Vindskydd
 - 2st Plåt
 - 4st Specialskruv M8
 - 4st Mutter M8
 - 1st Aluminiumprofil, 45x45mm
 - 2st Magnet
 - 2st Fäste mot magnet, vinkel 90°
 - 2st M16 skruv