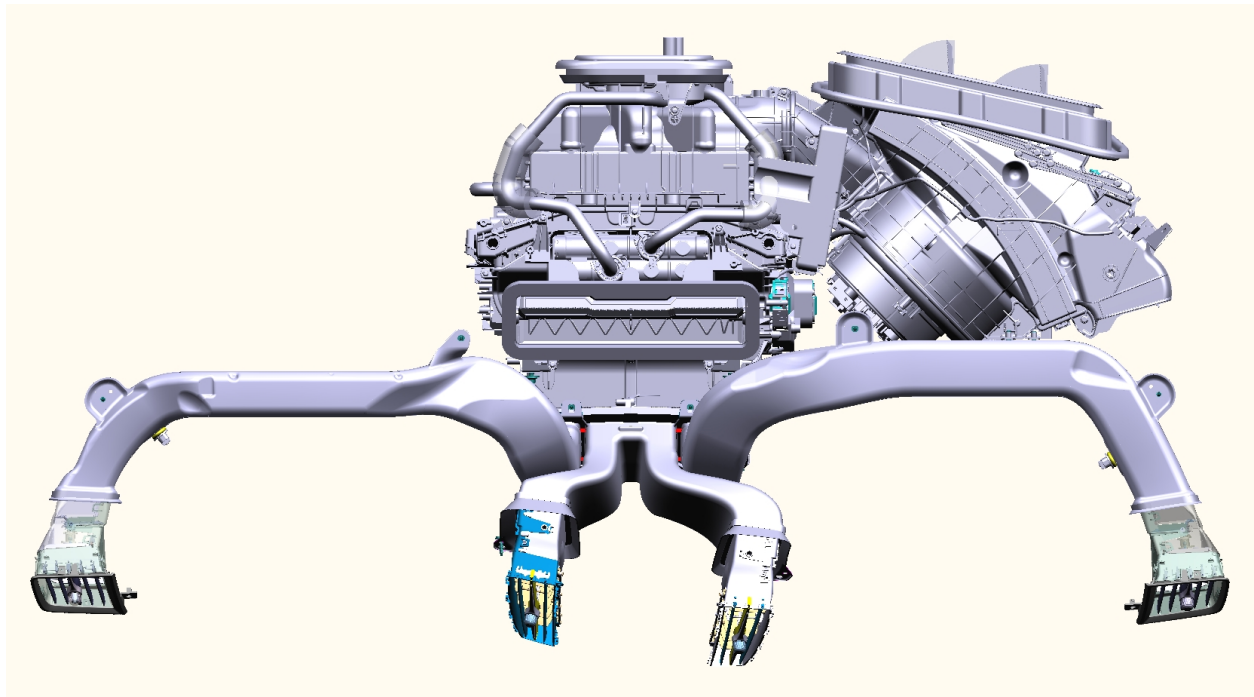




Användning av skumplast i luftkanaler medför förbättrade ljud- och värmeegenskaper i kupén

Usage of Plastic Foam in Air Ducts improves Sound- and Heat Transfer Properties in the Cabin

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet
Bachelor's thesis in Mechanical Engineering

Diana Condruz
Victoria Renner

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2016
Examinator: Peter Hammersberg
Examensarbete 2016:157

EXAMENSARBETE 2016:157

Användning av skumplast i luftkanaler medför förbättrade ljud- och värmeegenskaper i kupén

Diana Condruz

Victoria Renner



CHALMERS

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
HVAC & Climate Control, Volvo Car Corporation
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Gothenburg, Sweden 2016

Användning av skumplast i luftkanaler medför förbättrade ljud- och värmeegenskaper i kupén

DIANA CONDRUZ & VICTORIA RENNER

© Diana Condruz & Victoria Renner, 2016.

Handledare: Magnus Wernersson, Volvo Car Corporation (HVAC & Climate Control)

Examinator: Peter Hammersberg, Chalmers Tekniska Högskola (Institutionen för Material- och Tillverkningsteknik)

Examensarbete 2016:157

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
HVAC & Climate Control, Volvo Car Corporation
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Gothenburg
Telephone +46 31 772 1000

Framsida: CAD-modell som illustrerar instrumentpanelens luftkanaler sammankopplade med klimatanläggningen.

Gothenburg, Sweden 2016

Användning av skumplast i luftkanaler medför förbättrade ljud- och värmeegenskaper i kupén

Diana Condruz & Victoria Renner
Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Chalmers University of Technology

Sammanfattning

Inom bilindustrin sker en ständig teknikutveckling med målet att vara bäst inom sitt område, både för kunden och som bilmärke. Det främsta målet är att få kunden att känna sig trygg och bekväm i sin bil, men även att skapa en trevlig upplevelse i bilen. Ett problem är ljudnivån i kupén som blivit mer framträdande med anledning av att väl utvecklade motorer och komponenter blivit tystare. Men en lika stor utmaning är att utveckla bilar med låga bränsleutsläpp och på så sätt minska dess påverkan på miljön. Utifrån dessa aspekter uppkom ett uppdrag på Volvo Cars, avdelningen för HVAC & Climate Control där materialegenskaper i instrumentpanelens luftkanaler behövde analyseras. Projektets syfte blev att ta reda på om ljud-, värmeöverförings- och viktenskaper förbättras vid materialbyte av luftkanaler i instrumentpanelen.

Idag använder sig Volvo Cars av hårda plastkanaler tillverkade av polyeten med hög densitet, medan konkurrenter använder sig av mjuka skumkanaler gjorda av polyeten med låg densitet. Det är känt att luft, vilken utgör en stor andel av skumkanalerna, absorberar värme och dämpar ljud. Volvo Cars saknade information om hur mycket bättre skumkanalerna skulle bli och varför konkurrenter använder sig av dem. Detta blev således frågeställningarna som skulle undersökas i arbetet.

För att frågeställningarna skulle kunna besvaras under arbetet, behövdes en uppsättning skumkanaler tillverkas för att kunna jämföras med dagens hårda plastkanaler.

Under arbetet utfördes tester på NVH som står för "Noise, Vibration & Harshness" samt värmeöverföring. Vid NVH-testerna användes en Volvo V90 för mätning av ljudnivån i kupén för de två olika kanaluppsättningarna vid olika fläktvarvtal. Värmeöverföringstesterna genomfördes på lösa kanaler i en AC-rigg bestående av en stor kammare där luftflödet i kanalerna, kammartemperatur samt kanalernas inloppstemperaturer kunde regleras. Det var även av intresse att undersöka vad de olika materialen har för miljöpåverkan. För att kunna genomföra denna analys vägdes de olika kanaluppsättningarna och användes som data i materialdatabasen CES EduPack där beräkningar på koldioxidutsläpp kunde utföras. Resultaten av de olika testerna för båda kanaluppsättningarna analyserades och jämfördes för att kunna avgöra om de mjuka kanalerna har förbättrade egenskaper.

Mjuka kanaler isolerade värme med 3-4°C bättre än hårda kanaler och lyckades även dämpa ljudet i de frekvensband som nivåskillnaderna i ljudet är som mest kännbar för örat. Genom att använda mjuka kanaler reduceras vikten med 80 % vilket bidrar till minskade koldioxidutsläpp.

Det är oklart om det bara är materialet som har den största påverkan på ljudet och värmeförlusten i kanalerna. Det kan bero på bland annat geometri, men detta har arbetet avgränsats från. Likaså har arbetet avgränsats från den ekonomiska aspekten, då detta får bli ett vidare arbete och utgöra grund för Volvo Cars beslut om materialbyte. För att veta hur väl skummaterialet håller i längden bör även undersökningar kring materialets livlängd göras, där även detta får bli ett vidare arbete och kommer inte att analyseras i detta arbete.

Nyckelord: Volvo, NVH, värmeöverföring, skumkanaler, hårda kanaler, polyeten.

Abstract

The automotive industry is constantly developing its technology and their operators strive to be the best on the existing market. Due to the customer in focus, the aim is always to satisfy the demands and desires that the customer has presented. The ultimate goal is to make the customer feel safe and comfortable in their car, but also to give the customer an ultimate driving experience. One problem that has occurred in the car is that the sound-level has become more salient since the engines and components in the car have become more developed and through that quieter. A problem as important as the first one is to develop cars with low emissions and decrease their effect on the environment. Out of these aspects a project was opened up at Volvo Cars, in the department of HVAC & Climate Control, that involved material investigations on the air ducts in the dashboard.

Currently the most common material for Volvo Cars to use for the air ducts is polyethylene with high density, although competitors use a foam material made of polyethylene with low density. It is known that air, which represents a large proportion of the foam material, absorbs both heat and sound. Volvo Cars did not have any proof of these improvements and why competitors use this material. Thus these became the issues to investigate in this thesis.

To answer these questions during this project, there was need to produce a set of foam air ducts. In this way the foam air ducts could be compared with the high density air ducts used today.

During the work with this project, tests were performed in the area of NVH and heat transfer. At the NVH tests a Volvo V90 was used for measuring the sound level in the cabin for the two different sets of air ducts at different fan speeds. The heat transfer tests were carried out on loose air ducts in an AC rig, consisting of a big chamber where the air flow into the air ducts, chamber temperature and inlet temperatures to the air ducts could be controlled. It was also of interest to examine what effect the different materials have on the environment. To be able to carry out this analysis the different sets of air ducts were weighed and was used as data in the material database CES EduPack where calculations on carbon dioxide emissions could be made. The results from these tests from the different sets of air ducts were analyzed and compared to be able to determine if the foam air ducts have improved the investigated properties.

Air ducts made out of foam material absorbed heat up to 3-4°C better than the air ducts made out of polyethylene. The foam air ducts do also improve the acoustic level and they perform much better in the frequency spectra where the human ear is most sensible to sound differences. By using the foam material the weight of the air ducts can be reduced by 80 % which will contribute to a reduction of carbon dioxide emissions.

It is still unclear whether only the material has the biggest impact on the level of

sound and heat transfer. One other possible factor could be the geometry of the air ducts, but this project has defined from this factor. The project has also defined from the economic aspect, due to the reason that this will be part of the further work and will make a basis for Volvo Cars of whether to invest in the foam material or not. To know how durable the foam material is, research should also be done on the material's service life, which will be part of the further work and which is something that this project does not investigate.

Förord

Detta examensarbete är skrivet av Diana Condruz och Victoria Renner. Examensarbetet är ett avslutande moment på den treåriga Maskinteknikutbildningen med inriktning konstruktion på Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng per person och har utförts på uppdrag av Volvo Cars under våren 2016.

Ett stort tack riktas till Volvo Cars, avdelning HVAC & Climate Control som med ett öppet bemötande och hjälpsam inställning, givit oss möjligheten att utföra examensarbetet hos dem. Ett extra tack riktas till vår handledare Magnus Wernersson på Volvo Cars samt Andreas Rosén som varit en hjälpsam hand under hela arbetet. Eftersom arbetet krävt tester och provningar, vill vi även tacka David Jacobsson och Henrik Törnqvist för att ha tagit sig tid till att hjälpa oss.

Vi vill även tacka Peter Hammersberg från Chalmers som handlett och stöttat oss under arbetets gång.

Diana Condruz & Victoria Renner, Gothenburg, Juni 2016

Förkortningar

AC - Air Condition

°C - Grader Celcius

CAD - Computer Aided Design

CFD - Computational Fluid Dynamics

CO₂ - Koldioxid

dB - Decibel

FFT - Fast Fourier Transform

GND - Ground

HVAC - Heating, Ventilation and Air Condition

Hz - Hertz

IP - Instrumentpanel

L - Left

NVH - Noise, Vibration & Harshness

PE - Polyeten

PE-HD - Polyeten High Density

PE-LD - Polyeten Low Density

R - Right

RPM - Revolutions Per Minute

USB - Universal Serial Bus

Vent - Ventilationsutlopp

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Precisering av frågeställningar	3
2	Teori	4
2.1	Värmeöverföring	4
2.1.1	Påtvingad konvektion, konventionell konvektion och värmeledning	4
2.1.2	Isolering	4
2.2	Kanaltyper	5
2.2.1	PE - Polyeten	5
2.2.2	Hur tillverkas hårda kanaler?	6
2.2.3	Hur tillverkas mjuka kanaler?	6
2.3	NVH	7
2.4	Akustik och Ljudegenskaper	7
2.4.1	Vad är ljud?	7
2.4.2	Mänskliga örat och A-vägning	7
2.4.3	Decibel – dB	8
3	Metod	10
3.1	Planering av projektets faser	10
3.1.1	Under projektet	10
3.1.2	Efter projektet	10
3.1.3	Förkunskaper	10
3.2	Resursplan	11
3.2.1	Utrustnings och materialbehov	11
3.2.2	Arbets- och testrum	11
3.2.3	Ekonomi	11
3.3	Framtagning av PE-LD kanaler	11
3.4	Värmeöverföringsmätningar	12
3.4.1	Förberedelse av mätningar	12
3.4.2	Genomförande av mätningar	14
3.5	NVH-mätningar	16
3.5.1	Förberedelse av mätningar	16

3.5.2	Genomförande av Mätningar	18
4	Resultat	20
4.1	Studie av konkurrenter	20
4.2	Resultat från NVH-mätning	20
4.2.1	Luftkanaler med vent	20
4.2.2	Luftkanaler utan vent	24
4.2.3	Luftkanaler med olika vent öppna	25
4.3	Resultat från värmeöverföringsmätningar	27
4.4	Hur stor påverkan på miljön har materialen?	31
5	Analys	34
5.1	NVH-mätningar	34
5.1.1	Luftkanaler med vent	34
5.1.2	Luftkanaler utan vent	35
5.1.3	Luftkanaler med avstängda vent	35
5.2	Analys kring värmeöverföringsmätningar	36
5.3	Analys kring miljöpåverkan	38
6	Slutsats	39
6.1	Vidare arbete	39
	Litteraturförteckning	41
	Bilagor	I
A	Alla inloppstemperaturer, PE-HD i kallt rum	I
B	Alla inloppstemperaturer, PE-HD i varmt rum	II
C	Alla inloppstemperaturer, PE-LD i kallt rum	III
D	Alla inloppstemperaturer, PE-LD i varmt rum	IV
E	Mätserie för NVH	V
F	Materialdiagram	VI

1

Inledning

Rapporten inleds med bakgrunden till examensarbetets uppkomst. Den beskriver varför vissa frågeställningar behöver undersökas och vad som önskas uppnås. Därefter tas syftet med examensarbetet upp, vilket mer detaljerat beskriver bakgrunden till frågeställningarna. Avgränsningarna tar upp vilka områden man inte tar hänsyn till under arbetets gång och precisering av frågeställningar tar specifikt upp de frågor examensarbetet har att svara på.

1.1 Bakgrund

Volvo Cars är ett av världens mest innovativa och välkända bilmärken och ägs idag av kinesiska *Geely Holding*, men har sitt ursprung i Göteborg, Sverige. Huvudkontoret finns i Göteborg, där även den största delen av produktutvecklingen och produktionen finns. Volvo tillverkar premium-bilar i olika modeller och varianter och strävar efter att vara ledande inom alla områden genom ständig utveckling av sina produkter [1].

Klimatavdelningen på Volvo Cars utvecklar dagens och framtidens komponenter till klimatsystemet i deras bil-modeller.

Traditionellt sett har bilindustrin använt sig av hårda plastkanaler för luftdistribution i kupén [2]. Det har på senare tid identifierats behov av att isolera kanalerna vid instrumentpanelen för att minska energiförlusterna.

Det föreligger även stort behov av att minimera NVH i dagens Volvo-modeller vid instrumentpanelen. Dagens Volvo-modeller blir allt mer elektrifierade, vilket resulterar i att bland annat motorerna blir tystare. Detta medför att flödesljudet från luftkanalerna blir allt mer signifikant och därför behövs undersökning av alternativa material till de hårda plastkanalerna gjorda av polyeten med hög densitet som används idag.

Kanalleverantörerna ute på marknaden har utvecklat ett nytt skummaterial som sägs förbättra både värmeöverförings- och NVH-egenskaper [3] [4]. För Volvo är det känt att andra bilkonkurrenter använder sig av de nyutvecklade mjuka skumkanalerna i ett antal bilmodeller utan något bevis på varför. För att förstå hur detta material passar in och uppfyller de förväntningar som ställs på dagens Volvo-bilar, kommer detta examensarbete att innefatta en kartläggning och utvärdering av båda

typerna av material i förhållande till de ovannämnda egenskaperna, samt hur väl egenskaperna uppfylls. Anledningen till att båda materialen analyseras beror på att det idag inte finns några tydliga indikationer på varför konkurrenter använder mjukt material och inga större beräkningar på dagens material. För att kunna jämföra de olika materialuppsättningarna utförs därför tester på både hög- och lågdensitetsmaterial.

1.2 Syfte

Idag använder Volvo hårda luftkanaler tillverkade av polyeten (PE) med hög densitet (PE-HD). För att studera hur olika material påverkar NVH- och värmeöverföringsegenskaperna har en kanal av samma material men med mycket lägre densitet (PE-LD) tagits fram för att genomföra tester på. Det är känt att olika material har olika egenskaper för bland annat värmeöverföring och NVH. Som tidigare nämnts blir bilarna allt tystare, vilket medför att andra komponenter får större påverkan på hur kunden upplever bilen. Kanaler med rätt design och material tros resultera i en behagligare och tystare upplevelse för föraren. Det är också känt att användning av lättare kanaler minskar vikten på bilen vilket troligtvis resulterar i mindre mängd utsläpp av koldioxid [3].

Volvo strävar efter att ge kunden en optimal upplevelse och vill därför minska ljudnivåer och värmeförluster. Syftet med arbetet var därför att undersöka egenskaperna hos PE-LD-kanaler för att sedan jämföra dem med PE-HD-kanaler. Resultatet av dessa undersökningar kunde sedan leda fram till slutsatser kring om PE-LD-kanaler är ett alternativ för framtida bilmodeller eller om andra parametrar borde tas i akt för att minska flödesljuden samt förlusterna i värmeöverföringen.

Det var av intresse att undersöka om materialegenskaperna är den mest kritiska parametern för problemområdena eller om geometrin har en betydande faktor. Eftersom kanalerna har relativt grova krökningsradier, kan dessa ha stor påverkan på bland annat flödesljuden och värmeöverföringen. Arbetet avgränsades dock från geometriegenskaper och förhöll sig enbart till materialegenskaper, men detta skulle kunna vara ett framtida projekt.

1.3 Avgränsningar

Projektet tog ej hänsyn till ekonomiska aspekter vid utvärdering av material. Detta är något som istället genomförs efter studierna då de ligger till grund för beslut av inköp.

En annan avgränsning var materialval. I arbetet jämfördes ett material i endast två varianter, ett med låg densitet (PE-LD) samt ett med hög densitet (PE-HD).

Avgränsning på förändring av geometri genomfördes. Geometrin förändrades inte för att undersöka huruvida värmeöverföring och NVH påverkas av denna. Slutligen

gjordes inga beräkningar kring livslängden för materialen.

1.4 Precisering av frågeställningar

- Minskar flödesljudet i luftkanalerna vid byte från PE-HD till PE-LD skummaterial? (NVH)
- Förbättras isoleringsförmågan vid byte från dagens PE-HD kanaler till nya PE-LD skumkanaler? (Värmeöverföring)
- Hur mycket minskar kanalernas vikt med förändrat material?

2

Teori

I denna del av examensarbetet beskrivs grundläggande teori för att läsaren ska få en bra förståelse om de ämnesområden som arbetet handlar om.

2.1 Värmeöverföring

Då temperaturskillnader mellan två olika kroppar råder kommer en transport av värmeenergi att uppkomma och det är det som kallas för värmeöverföring. Detta kan ske med hjälp av konvektion, värmeledning och värmestrålning. Detta examensarbete undersöker i första hand termodynamiska fenomen som konvektion och värmeledning.

2.1.1 Påtvingad konvektion, konventionell konvektion och värmeledning

Konvektion kan uppkomma spontant eller påtvingat genom att påtvinga rörelse på fluiden och kan på så sätt åstadkomma en värmeöverföring [5]. Anledningen till att fenomenet är påtvingat är att luften blåses in med hjälp av en fläkt. Värmen Q kan beskrivas enligt:

$$Q = \alpha(T_{yta} - T_{rum}) \quad [\text{J}] \quad (2.1)$$

där α är värmeövergångstalet, T_{yta} är temperaturen på utsidan kanalen och T_{rum} är temperaturen på rummet. α är hastighetsberoende och kan förbättra värmeöverföringen genom att öka luftens hastighet.

Värmeledning är värmeöverföring genom fasta, gasformiga eller flytande material och inträffar då partiklar med högre rörelseenergi överför energi till ett intilliggande ämne med lägre energi [6].

2.1.2 Isolering

Ett material som isolerar bra är ett material med så låg värmekonduktivitet λ som möjligt. Med värmekonduktivitet menas den värmeledningsförmåga som ett material erhåller. Skummaterial är ett sådant material som isolerar bra då de till största

delen består av luft som leder värme sämre. Desto lägre λ , desto bättre isoleringsförmåga [7]. I bilaga F har ett diagram inspirerat av Young's Modulus ritats som visar vilka typer av ämnen som isolerar bra. Med hjälp av ekvationen 2.2 nedan kan värmeeffekten $\dot{Q}$ beräknas.

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_{ut} - T_{in}) \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

C_p -värdet ur ekvation 2.2 ovan är den så kallade specifika värmekapaciteten och är ett mått på trögheten. Ju högre koefficienten är, desto mer energi krävs för att värma upp materialet [7]. $\dot{m}$ är massflödet på luften och T_{in} respektive T_{ut} är in- och ut temperaturerna.

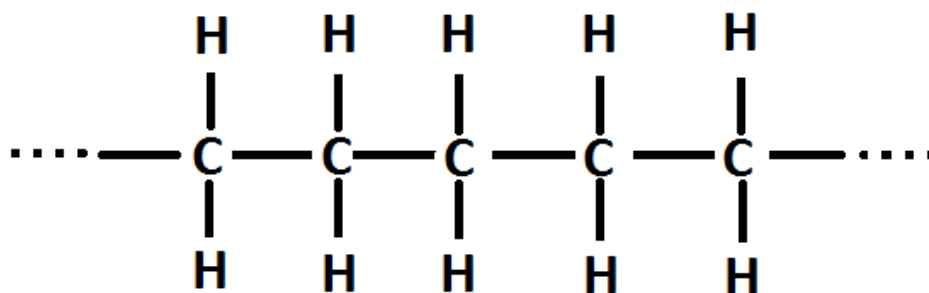
2.2 Kanaltyper

Under denna rubrik finns information om de två olika kanaltyperna som skall användas i arbetet. För att få en bättre förståelse kring materialen, beskrivs både plastens egenskaper samt tillverkningsmetoden i detta avsnitt.

2.2.1 PE - Polyeten

Polyeten är en grupp delkristallina plaster som genom sin molekylstruktur kategoriseras som termoplast. Polyeten delas upp i två densitetgrupper, en med hög densitet som förkortas PE-HD och en med låg densitet, PE-LD.

Huvudmolekylkedjan för PE-HD är linjär med få och korta sidoförgreningar med hög kristallinitet vilket ger PE-HD dess höga densitet som följd. PE-LD har en förgrenad huvudkedja som begränsar kristallisationen vilket ger materialet dess låga densitet. Den mest allmänna kemiska formeln för polyeten illustreras i figuren nedan:



Figur 2.1: Kemiska formeln för PE-molekyl

Nedan följer en lista med PE:s fördelar enligt [8] och [9].

- Mycket god slagseghet över ett brett temperaturområde
- Goda elektriska egenskaper
- Låg vattenabsorption
- Lågt pris

2.2.2 Hur tillverkas hårda kanaler?

De hårda PE-HD kanalerna tillverkas genom formblåsning som är en bra metod för tillverkning av detaljer som skall monteras på platser där det är begränsat med plats. Fördelen med formblåsning är att det är möjligt att utforma kanalerna utifrån den plats de ska monteras och undviker på så sätt döda utrymmen vilket leder till minskad vikt på den totala bilkonstruktionen.

Verktygen för tillverkningsprocessen består huvudsakligen av en extruder med ett formblåsningshuvud, en tvådelad form och en anordning för blåsningen. Extrudern har till uppgift att smälta och homogenisera plasten som i sin tur flyter ner genom blåsningshuvudet som ger plastsmältan en slangformad form. De två formhalvorna omfamnar den slangformade kroppen och spänns åt kring en blåspinne i ena änden, där den sedan blåses upp mot formväggarna, kyls ned och därefter avformas till önskad form [10, 11, 12].

2.2.3 Hur tillverkas mjuka kanaler?

Vakuumformning är en formningsprocess som sker genom uppvärmning av ett material som sedan vakuumformas efter en specifik form. Processen baseras på att forma den önskade produkten utefter ett verktyg som placeras i maskinen. Med hjälp av vakuum placeras det uppvärmda plastmaterialet över verktyget och efter lite kylning är produkten färdig [13]. Eftersom vakuumformning endast kan forma en halva av kanalen, sammansvetsas dem två avformade halvorna antingen genom termisk svetsning eller vanligt lim.

Tillverkningen av själva PE-LD-skummet genomförs genom att ett fast kemiskt bindningsmedel utsätts för värme som gör att den reagerar med solid PE. Efter detta höjs temperaturen på blandningen ytterligare och då uppkommer tvärbinding mellan bindningsmedlet och PE. När tvärbinding uppnåtts höjs temperaturen än en gång för att sätta igång skumning [14].

Densiteten på de vakuumformade och formblåsta kanalerna skiljer sig markant, från 70 kg/m^3 till närmare 1000 kg/m^3 för PE-HD, vilket är jämförbart med vattnets densitet. Den låga densiteten har en rad fördelar, bland annat en viktreduktion på närmare 75% jämfört med hård PE-HD plast [15]. En annan fördel är värmekonduktiviteten för skum som är mycket låg samt att den absorberar ljudet upp till 50% jämfört med solid PE enligt [16].

2.3 NVH

NVH står för "Noise, Vibration & Harshness" och kan översättas till svenska som buller, vibrationer och hårdhet [17]. Både buller och vibrationer kan lätt mätas med utrustning, däremot är hårdhetsegenskaper svårare att mäta. Dessa mäts med hjälp av individtester av produkten som sedan sammanställs till ett resultat.

Uppkomstskällorna till buller, vibrationer och hårdhet är många och av många olika slag. Bland annat kan dessa uppkomma från drivlinan, motorn, vägen, generatorer, fläktar, HVAC med mera. Beroende på hur och genom vad vibrationerna eller bullret framförs kallas dessa för strukturburet brus eller för akustiskt buret brus. Det förstnämnda är vibrationer eller buller som tar flera olika vägar genom exempelvis bilen och sedan strålar ut i passagerarutrymmet akustiskt. Det andra är buller eller vibrationer som uppstår genom luftvägar. I de flesta fall bör det strukturburna bruset minimeras genom användning av isolerande material. Det luftburna ljudet minimeras med hjälp av absorberande eller isolerande material.

2.4 Akustik och Ljudegenskaper

I detta avsnitt kommer de fenomen och begrepp kring ljud att beskrivas som är relevanta för förståelse av samt genomförande av detta examensarbete.

2.4.1 Vad är ljud?

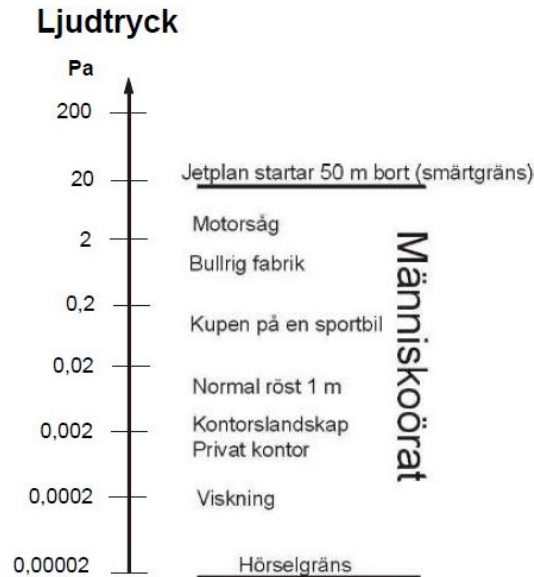
Den trycknivå som råder där människan lever är det lufttryck som råder vid havsnivån, det är det som kallas atmosfärstryck. Atmosfärstrycket ligger på 101,3 kPa [18]. Ljud uppkommer då snabba förändringar i luftmolekylernas densitet eller tryck uppstår över och under atmosfärstrycket. Dessa förändringar orsakas av ljudkällan, ett vibrerande föremål, vilken skapar en störning i de kringliggande luftmolekylerna. Molekylerna börjar att röra sig i takt med det vibrerande föremålet. Det är denna takt som alstrar tryck över och under atmosfärstrycket och som skapar det som kallas ljudvågor [19].

2.4.2 Mänskliga örat och A-vägning

Ljudvågorna som alstrats av det vibrerande föremålet kommer in till örat och sätter trumhinnan i svängning. Svängingen från trumhinnan leds sedan vidare genom återstående delar i örat som svarar mot hörselfunktionen. Slutligen kommer ljudvågen fram till hörselnerven som skickar ljudsignalerna till hjärnan som tolkar dessa [20].

Det mänskliga örat kan uppfatta frekvenser mellan 20-20 000 Hz, vilka är det frekvensområde som detta examensarbete kommer att förhålla sig till. Ljudtrycksnivåer som örat klarar av att uppfatta ligger mellan 0 dB (20 μ Pa) (hörtröskeln) och 120 dB (200 Pa) (smärttröskeln) [21]. I figur 2.2 kan man se vilka ljudtryck i [Pa] som exempelvis ett kontorslandskap eller en motorsåg skulle generera. För att ställa detta

i förhållande till vad luften ut ur venten genererar för ljudnivå, ligger den mellan cirka 55-65 dB.



Figur 2.2: Tabell som visar hur människan uppfattar olika ljudnivåer. Från: [22]. Återgiven med tillstånd.

En mer detaljerad form av upplevd ljudstyrka hos människan beror dels på vilken ljudnivå (i [dB] eller [Pa]) ljudet befinner sig och dels vilket frekvensinnehåll ljudet har. Människan uppfattar en ljudnivå vid låga frekvenser (lägre än 900 Hz) och en ljudnivå vid höga frekvenser (högre än 5000 Hz) som lägre än en ljudnivå vid frekvenser i mellanregistret (900-5000 Hz). Utav detta kan således slutsatsen dras att en förändring av ljudnivå i mellanregistret bör märkas av mer än en förändring av ljudnivå i de andra två områdena. Människan uppfattar dessutom en sänkning i låga respektive måttliga ljudnivåer bättre än en sänkning på höga ljudnivåer.

En sänkning av ljudnivån med 3 dB(A) motsvarar en halvering av ljudeffekten och en sänkning med 10 dB(A) motsvarar det som det mänskliga örat uppfattar som en halvering av ljudnivån [23]. I detta arbete kommer ljudnivåer mätas i [dB(A)]. Detta är en viktning av ljudnivån i förhållande till hur starkt människan uppfattar ljudet.

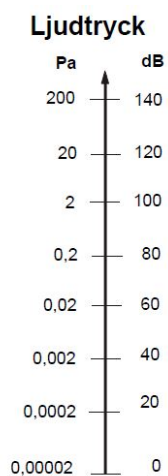
2.4.3 Decibel – dB

Ljud är som tidigare nämnt en tryckförändring i luften över och under atmosfärstrycket och mäts därför i tryckenheten decibel – dB. Eftersom det spektrum inom vilket människan kan uppfatta ljudtryck, sett i Pascal – Pa, är så pass brett så är det lämpligt att använda sig av en logaritmisk skala, decibel – dB, för att hantera data kring ljudtrycksnivåer [21]. För att kunna beräkna ljudnivån i dB krävs ett uppmätt värde på ljudtrycket i Pa samt ett referensvärde, utan referensvärdet kan ljudnivån

inte uttryckas i dB [24]. Det referensvärde som kommer att användas i detta arbete kommer att vara det minsta ljudtryck som det mänskliga örat kan uppfatta, nämligen $20 \mu\text{Pa}$. Nedan följer en formel på hur omvandling från ljudtryck i enheten [Pa] till ljudtryck i enheten [dB] går till:

$$dB = 10 * \log\left(\frac{x_1}{x_{ref}}\right) \quad (2.3)$$

Där x_1 är det uppmätta ljudtrycket i Pa och x_{ref} är referensvärdet på $20 \mu\text{Pa}$ enligt tidigare.



Figur 2.3: Tabell över dB-begreppet. Vilken ljudnivå mätt i Pa motsvaras av samma ljudnivå i dB, då referensnivån är $20 \mu\text{Pa}$. Från: [25]. Återgiven med tillstånd.

3

Metod

Metoden i rapporten beskriver hur projektet genomförts och vad den innehåller. Den beskriver även de resurser projektet har haft tillgång till.

3.1 Planering av projektets faser

I detta avsnitt av rapporten beskrivs projektets olika faser och dess innehåll. För att upprätthålla god projektstruktur och planering användes projekthandboken [26].

3.1.1 Under projektet

Målet med arbetet är att utvärdera hårda plastkanaler (PE-HD) mot mjuka vakuumformade plastkanaler (PE-LD) med avseende på dess egenskaper inom värmeöverföring och NVH. Inför de både NVH- och värmeöverföringstesterna har mättingsriggar bokats och utrustning införskaffats. Efterfrågat material till kanalerna beställdes och en beställning på skumkanalerna skickades till verkstaden på Volvo Cars. Värmeöverföringstesterna genomfördes efter detta på extern mättingsrigg på Hisingen (Göteborg) och testerna för NVH genomfördes på Volvo Cars mättingsrigg i Torslanda (Göteborg).

3.1.2 Efter projektet

I detta steg dokumenterades, analyserades och utvärderades resultaten från de praktiska testerna. Det gjordes en utvärdering av hur väl de mjuka vakuumformade kanalerna (PE-LD) uppfyller kraven i förhållande till de hårda plastkanalerna (PE-HD).

3.1.3 Förkunskaper

Följande förkunskaper erfordrades:

- Kunskap inom ämnesområdet termodynamik och strömningsmekanik för att kunna förstå hur energiförluster och NVH uppkommer vid kanalströmning.
- Kunskap inom ämnesområdet materialteknik för att kunna förstå hur val av material påverkar värmeöverförings- och NVH-egenskaper i förhållande till materialets egenskaper.
- Kunskap inom ämnesområdet tillverkningssteknik.
- Allmän ellära och allmän kunskap inom ljudteknik och ljudakustik för att förstå NVH-egenskaper.

3.2 Resursplan

I denna del av rapporten specificeras de tillgångar som fanns inom projektet i form av utrustnings- och materialbehov, vilka arbets- och testrum som krävdes samt den budget som förelåg.

3.2.1 Utrustnings och materialbehov

- Kanaler för IP:n:
 - Hårda plastkanaler i PE-HD
 - Mjuka skumkanaler i PE-LD
- Bil - Volvo V90
- Mättriggas:
 - För värmeöverföringstester
 - För NVH-tester
- 2 st datorer för rapportskrivning och informationssökning

3.2.2 Arbets- och testrum

- Testtriggas för värmeöverföringstester:
För dessa tester användes en extern rigg utanför Volvo.
- Ljudrum för NVH-tester:
Ljudrum behövdes vid NVH-tester för att optimera ljudförhållanden. För testet användes en bil av modell V90.
- Testtriggas för NVH-tester:
För NVH-testerna användes mättningsapparater på Volvo Cars Torslanda som placerades i det ljudrum som var bokad.
- Inför möten bokades grupprum efter behov på Volvo Cars Torslanda.

3.2.3 Ekonomi

Kostnaden för förberedelse av tester, genomförande av tester och material stod Volvo Car Corporation, Research and Development, för och redovisades på kontot för den avdelning som arbetet genomfördes på, HVAC & Climate Control.

3.3 Framtagning av PE-LD kanaler

Mjuka kanaler finns idag inte i IP:n i bilmodeller hos Volvo och därför fanns det inte heller färdiga kanaler att utföra tester på. I detta fall har egentillverkade kanaler i PE-LD material tillverkats. Med hjälp av CAD-modeller från dagens kanaler i IP:n har gjutna former kunnat tas fram. Dessa har därefter använts som verktyg för avformning då de mjuka kanalerna har tillverkats. Ett stycke material placerades i en vakuumformningsmaskin som värmdes upp till en temperatur som materialet klarade av utan att smälta och formades därefter genom vakuum över det gjutna verktyget. Avslutningsvis kylde avformningarna ned och sammanfogades med hjälp av lim, då varje kanal tillverkats i två halvor.

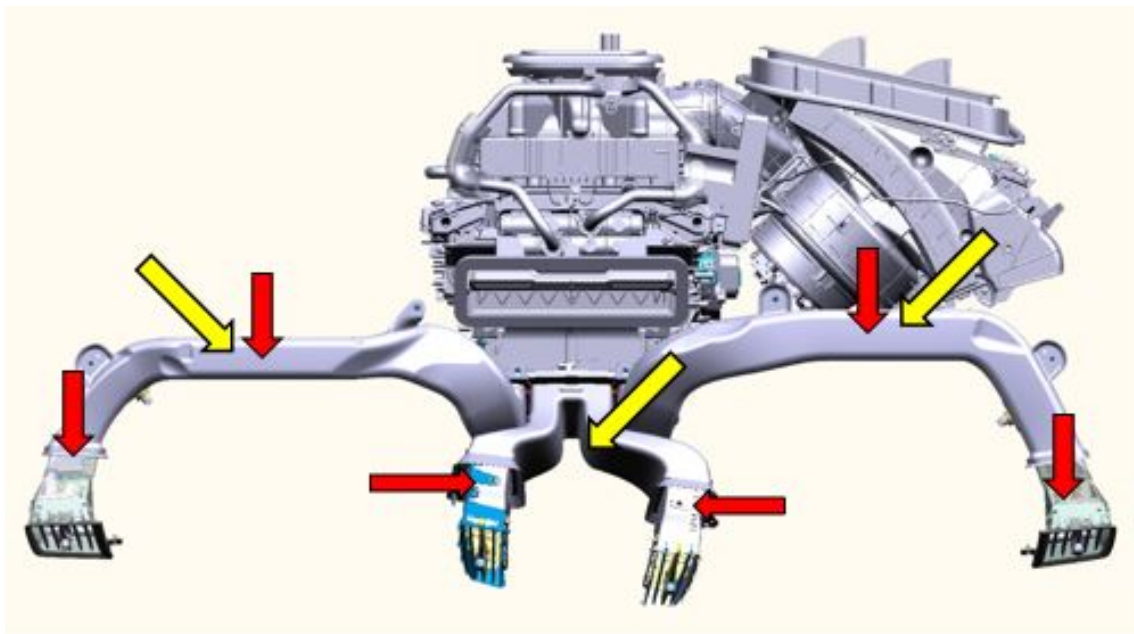
3.4 Värmeöverföringsmätningar

Detta avsnitt beskriver hur mätningarna för värmeöverföringstesterna genomfördes.

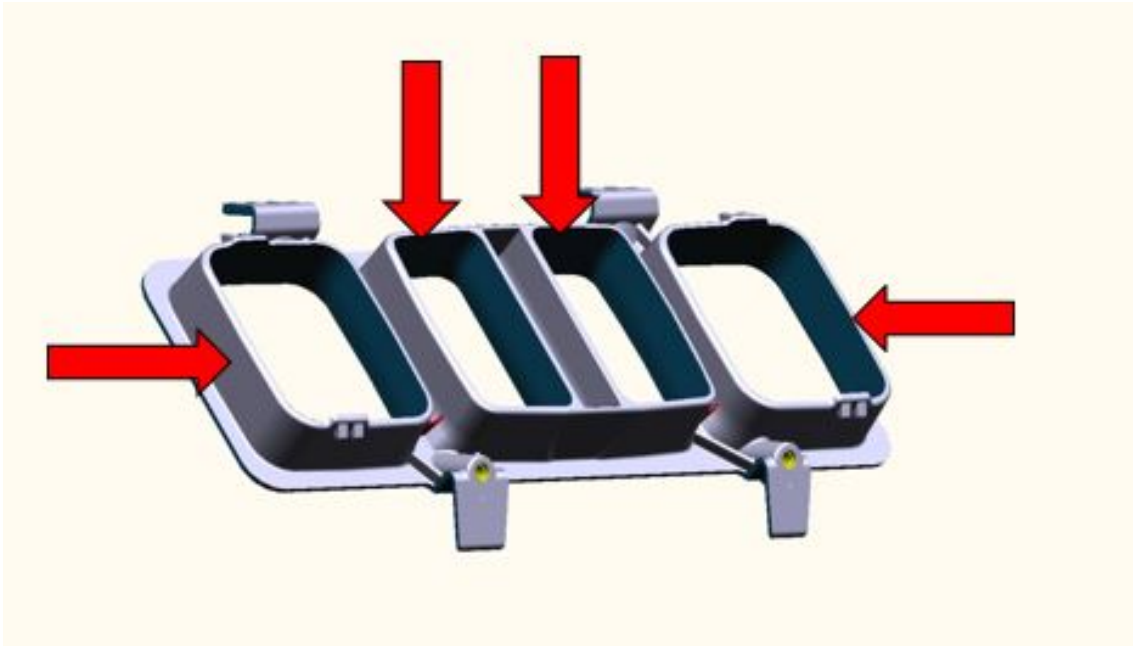
3.4.1 Förberedelse av mätningar

För att kunna utföra tester på värmeöverföringen behövdes mätpunkter placeras runt om kanalerna. En så kallad termotråd som mäter temperaturen på luften inuti kanalerna placerades ut på utloppen av kanalerna, samt vid inloppet på ramen som ses i figurerna 3.1 och 3.2, där de röda pilarna illustrerar termotrådarnas placering. För att få bättre mätvärden var även en mätpunkt genomborrad på mitten av de långa kanalerna.

Det var också av intresse att se hur temperaturen var på utsidan av kanalen, detta gjordes med hjälp av yttemperaturmätare. Dessa yttemperaturmätare var utplacerade på vardera kanal som löpte mot utloppet, samt i krökningen på den mellersta kanalen som illustreras med gula pilar i figurerna 3.1 och 3.2.



Figur 3.1: Figuren illustrerar en HVAC med luftkanaler där termotrådar samt yttemperaturmätare är utplacerade.



Figur 3.2: Ramen på inloppet med temperaturmätare utplacerade.

3.4.2 Genomförande av mätningar

I tabellerna 3.1 och 3.2 nedan anges uppställning av mätningar samt tidpunkterna för genomfört test. Kanalerna har placerats i två olika typer av rumstemperaturer, en vid -10°C och en vid 40°C. Rumstemperaturerna är valda för att efterlikna verkligheten, ett fall då det är kallt ute och ett fall med varmt ute. Inluften som skickades in i kanalerna vid kall rumstempertur reglerades manuellt till 45 °C, 30°C och 15°C. Inluften i kanalerna vid varm rumstemperatur reglerades till -5 °C, 5°C och 15°C. Inloppstemperaturerna är valda utifrån standardvärden som Volvo använder sig av vid mätningar, vilka är baserade på temperatur som motsvarar vad en HVAC kan blåsa ut. Massflödena både i kallt och varmt rum skiftades mellan 15 *kg/s* och 30 *kg/s*, även dessa är massflöden som Volvo använder sig av vid mätningar och motsvarar de hastigheter som strömningen på luften har vid komfort- och maximalt varvtal.

Provmatris för värmeöverföringstester för PE-HD				
Test	Inluft Temp [°C]	Rumstemp. [°C]	Massflöde [g/s]	Mätning vid tiden [s]
1	45	-10	15	2700
2			30	1560
3	30		15	5085
4			30	4365
5	15		15	7200
6			30	6600
1	-5	40	15	1000
2			30	2200
3	5		15	4600
4			30	3480
5	15		15	6900
6			30	5820

Tabell 3.1: Mätplan vid värmeöverföringstester för PE-HD.

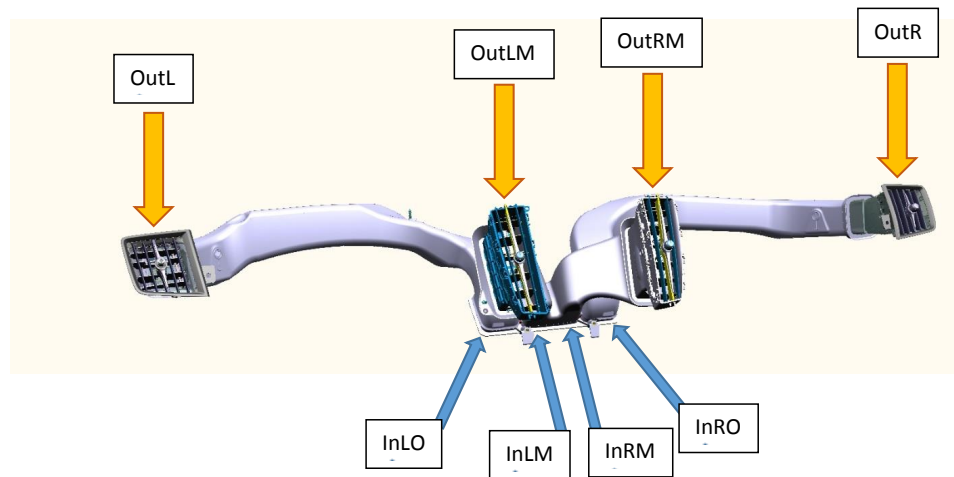
Provmatris för värmeöverföringstester för PE-LD				
Test	Inluft Temp [°C]	Rumstemp. [°C]	Massflöde [g/s]	Mätning vid tiden [s]
1	45	-10	15	2310
2			30	810
3	30		15	4480
4			30	3260
5	15		15	6790
6			30	5965
1	-5	40	15	1450
2			30	350
3	5		15	4480
4			30	3215
5	15		15	7210
6			30	6470

Tabell 3.2: Mätplan vid värmeöverföringstester för PE-LD.

Mätningarna genomfördes i en AC-rigg som består av en stor kammare. I denna kammare körs inga fordon in, på så sätt utförs testerna istället med lösa komponenter. Kanalerna placerades löst i rummet och sammankopplade med en stor slang som var kopplad till en fläkt som fungerade likt en HVAC. I denna kammare reglerades rumstemperaturen manuellt. Temperaturen mättes enligt uppställning av punkter i föregående stycke 3.4.1. Principen för dessa värmeöverföringsmätningar var termodynamiska, där det dominerande värmeöverföringssättet var konvektion vid luftströmning genom kanaler. Med dessa tester avseddes att se vart värmeförlusterna skedde och hur stora dessa var. Vid testerna varierades följande parametrar:

- Material på luftkanaler: PE-HD och PE-LD
- Massflöde, m , [g/s]
- Inloppstemperatur, T , på flödet i luftkanalerna [°C]
- Yttemperatur, T temperaturen i rummet som omger kanalerna [°C]

Luften fördes in i kanalerna med hjälp av en utomstående fläkt, som fungerade likt en HVAC via inloppen InLO, InLM, InRM och InRO och ut ur kanalerna via utloppen OutL, OutLM, OutRM och OutR enligt figur 3.3 nedan.



Figur 3.3: Inloppen och utloppens namn från vänster till höger vid värmeöverföringsmätningar.

Mätdata från varje utsatt punkt transporterades med hjälp av termotråd till mätdata-torn som sparade mätdata. När alla mätningar genomförts analyserades mätdata och jämförelser mellan de två materialen gjordes vid olika kombinationer av parametrarna ovan. Varje test gjordes med 20 minuters intervall, då det tog lång tid innan vardera testomgång kunde nå ett stationärt temperaturtillstånd. Vid testning konstaterades att cirka 20 minuters intervall kan vara lämpligt för att hitta ett relativt bra stationärt tillstånd för varje mätning.

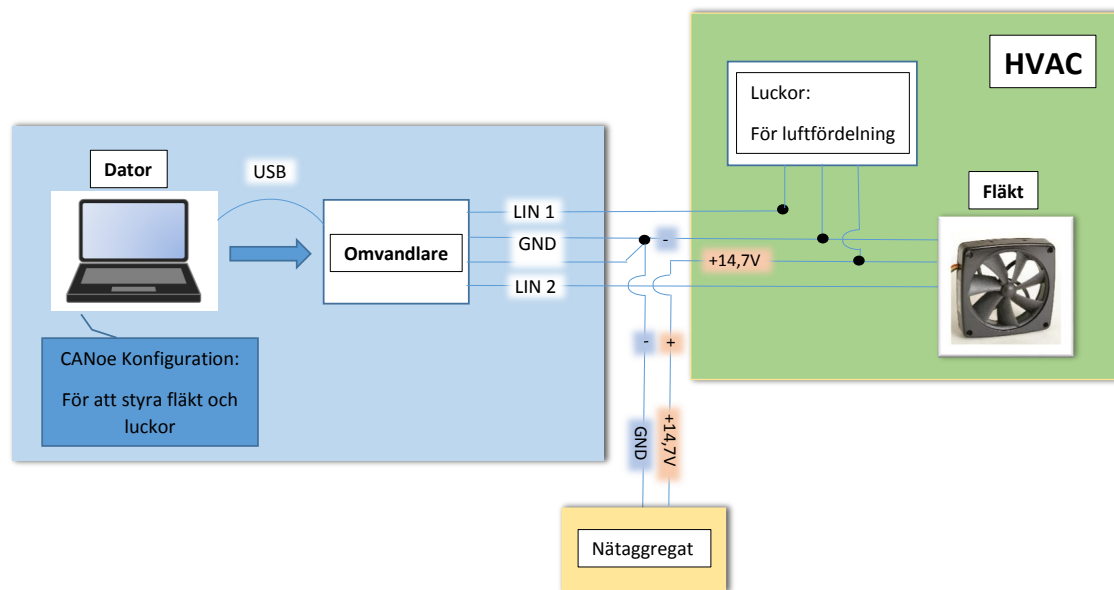
Varje test reglerades manuellt i mätningssystemet för att åstadkomma önskad kupé- och inloppstemperatur.

3.5 NVH-mätningar

I detta stycke kommer metoden kring NVH-mätningarna att gås igenom, samt vilken mätserie man ställt upp.

3.5.1 Förberedelse av mätningar

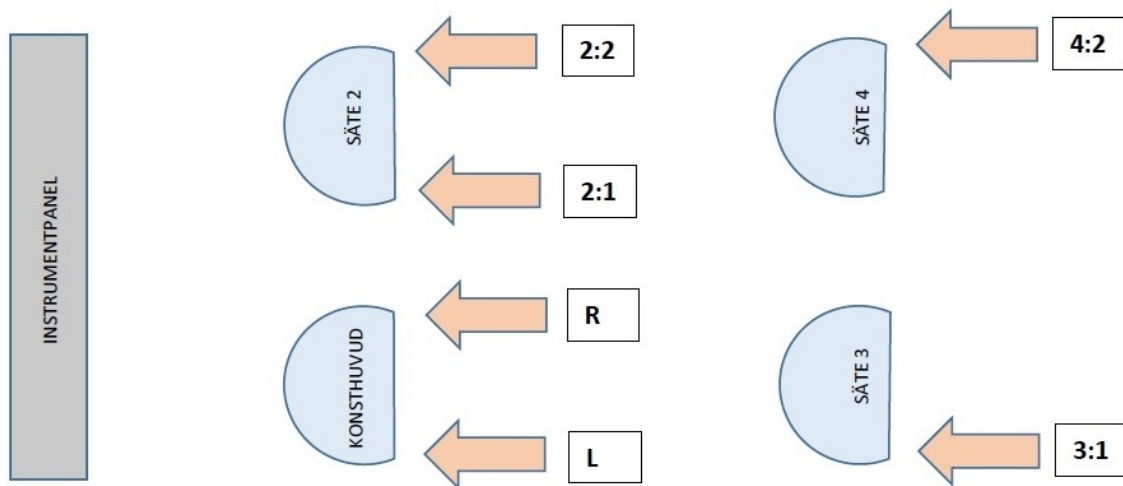
Vid mätning av NVH nyttjades en bil utan motor. Eftersom testet gick ut på att reglera olika varvtal på fläkten behövdes något som kunde driva fläkten i klimatanläggningen, vilket blev ett projekt i sig då bilen även saknade kablage till bilbatteriet. Det behövdes således ett nätaggregat samt kablage och mjukvara för att starta och reglera fläkten. Nedan visas ett kretsschema på den elektriska koppling som fick tillföras för att förse fläkten med elektricitet och på detta sätt, med hjälp av mjukvara, manuellt kunna reglera till önskade varvtal.



Figur 3.4: Kopplingsschema för styrning av fläkt. Från [27] och [28]. Återgiven med tillstånd.

För AC-reglering finns olika auto-lägen som kunden kan använda sig av för att få ett klimat som är anpassat för kupéns temperatur. Det finns idag fem olika auto-lägen, där auto-tre motsvarar ett ”komfort”-läge. Detta läge motsvarar ett varvtal på cirka 2000 rpm och är därför ett av dem varvtal som valts ut för testet. Eftersom det är olika materialval som ska analyseras i arbetet har även ett högre varvtal på 3500 rpm valts, då detta motsvarar ett ungefärligt maximalt varvtal som klimatanläggningen kan tillföra. 2000 rpm och 3500 rpm är lägen som är mest relevanta för Volvos del och ligger till grund för varför enbart de två varvtalen analyseras.

Fyra mätpunkter placerades på framsätena i bilen och två mikrofoner på baksätena. Mätpunkterna vid förarsätet var i form av ett konsthuvud utformat som ett mänskligt huvud. Mikrofonerna på detta konsthuvud var placerat enligt öronen. Anledningen till att ett konsthuvud använts var för att skapa en realistisk situation som är sammankopplad med den mänskliga faktorn. Nedan följer en uppställning av mikrofonerna på de olika sätena i bilen.



Figur 3.5: Placering av mikrofoner i en vänsterstyrd bil.

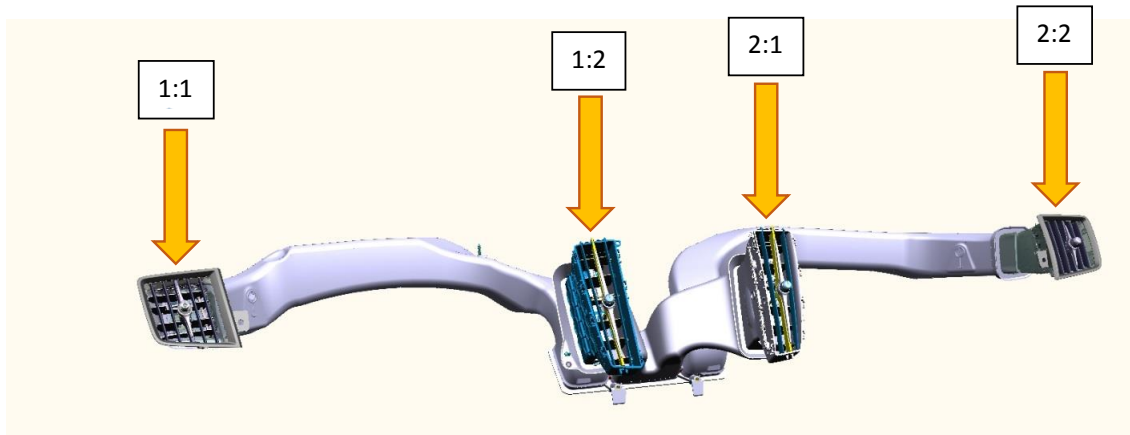
Mikrofonerna L och R står för engelskans vänster (Left) respektive höger (Right) öra. Mikrofon 2:1 och 2:2 representerar vänster respektive höger öra på passagerarsätet. Mikrofon 3:1 motsvarar vänster öra för resenär på vänster baksäte och mikrofon 4:2 motsvarar höger öra för resenär på höger baksäte.

3.5.2 Genomförande av Mätningar

De parametrar som varierades under mätningarna var:

- Material på luftkanaler: PE-HD och PE-LD
- Fläktvarvtal n [rpm]
- Ledskenornas position: mitten, vänster eller höger.
- Öppna/Stängda vent (se beskrivning längre ned)

Med ventens position syftas på hur ledskenorna riktades (bladen som riktar flödet) i venten vid körning av test. Med öppna och stängda vent menas att det valts att stänga av flödet ut ur vissa vent för att undersöka hur flödet ser ut om enbart föraren eller passageraren i framsätena erhåller all luft från klimatanläggningen. Det har även undersökts hur geometrin har en påverkan på ljudnivån, denna undersökningen har genomförts genom att stänga av utloppet för de långa kanalerna och andra gången stänga av utloppet för de korta kanalerna. Ventens namn och position illustreras i figur 3.6. Om flödet riktades helt mot föraren representeras detta av venten "1:1" och "1:2" och om flödet riktades helt mot passageraren i framsätet så representeras detta av venten "2:1" och "2:2". De långa kanalerna är de som slutar vid venten "1:1" och "2:2" och de korta kanalerna är de som slutar vid "1:2" och "2:1".



Figur 3.6: Ventens namn från vänster till höger i IP:n vid NVH-mätningar.

I bilaga E redovisas den mätserie som gjorts på PE-HD- och PE-LD-kanaler. Via en mätdator kopplad till fläkten kunde fläktens varvtal regleras. Fläkten kördes på varvtalen 1000, 2000, 3000 och 3500 rpm som motsvarar några av de auto-lägen som finns i AC:n, men som tidigare nämnt analyseras enbart varvtalen på 2000 rpm och 3500 rpm, med raka ledskenor och med olika vent öppna respektive stängda då dessa är av störst intresse.

4

Resultat

4.1 Studie av konkurrenter

Enligt konkurrenthemsidan [29] används mjuka PE-LD kanaler i bilar redan idag. BMW och Volkswagen är två av de företag som använder denna teknologi till sina luftkanaler i IP:n och har gjort det sedan en tid tillbaka. BMW valde att införa mjuka PE-kanaler till 5-serie-modellen av årsmodell 2010, medan Volkswagen införde mjuka PE-kanaler i Passat-modellen under senare tid. Även BMW 7-serien införde mjuka PE-kanaler. Eftersom flera stora biltillverkare använder sig av mjuka PE-kanaler till IP:n fanns därför ett stort intresse av att undersöka fördelarna. Det sägs att mjuka kanaler har flera fördelar, dock utan någon specifik testdata. [30]

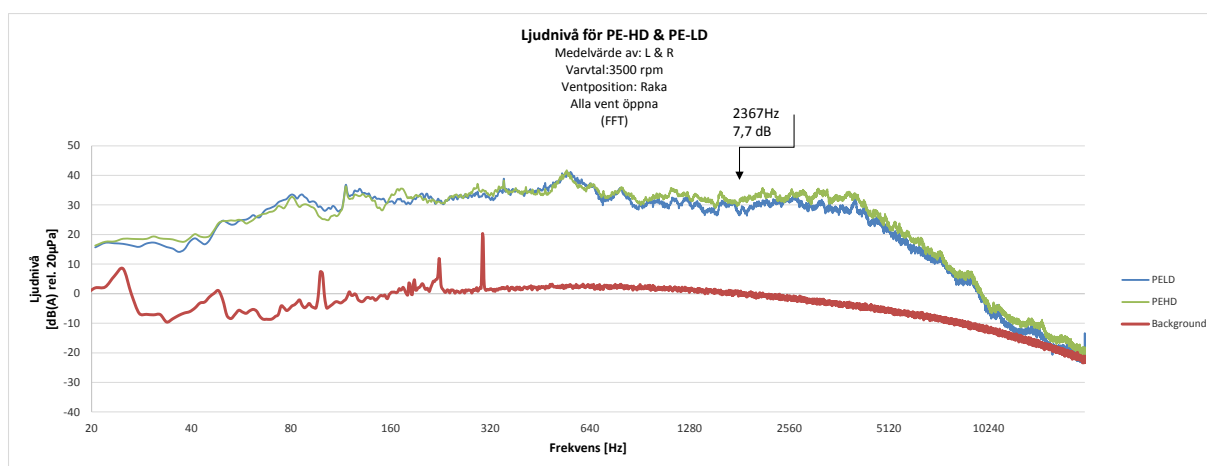
4.2 Resultat från NVH-mätning

I nedanstående stycke presenteras resultaten för NVH-testerna. Alla kurvorna har ritats tillsammans med bakgrundsljudet för att se att ljudet som fläken, kanalerna och venten orsakar inte sammanfaller med bakgrundsljudet. Bakgrundsljudet fungerar således som en referens. Alla grafer är ritade i FFT. En signal kan med hjälp av en Fourier transform omvandlas från dess ursprungliga domän till en representation i frekvensdomänen (FFT).

4.2.1 Luftkanaler med vent

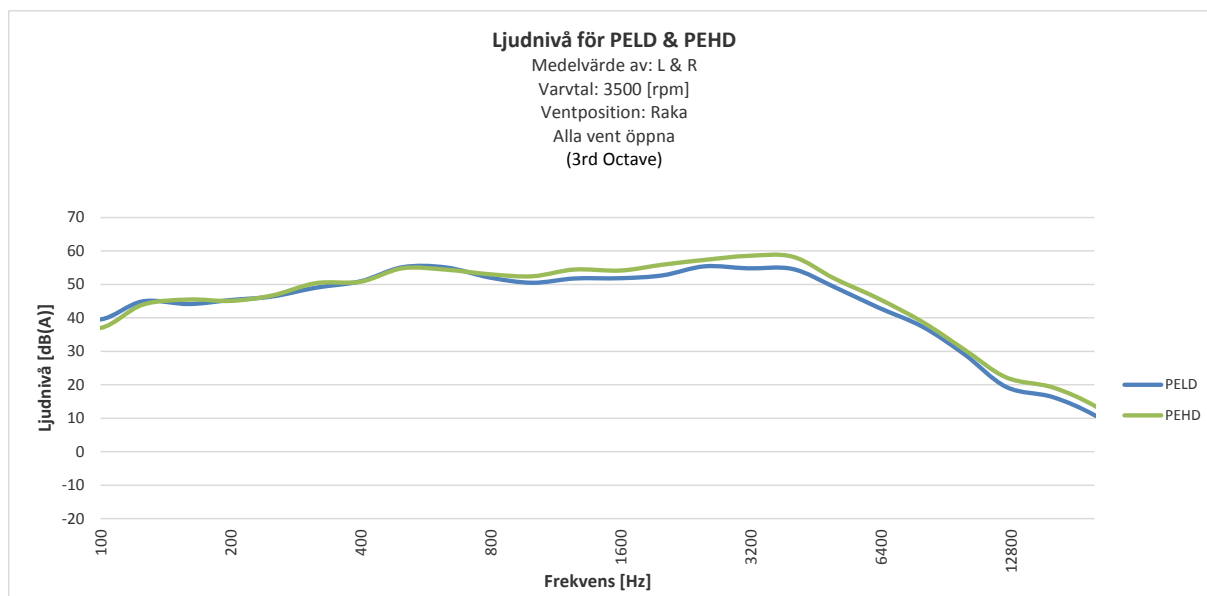
Nedan följer resultaten från NVH-mätningarna där testerna på kanalerna gjordes med venten isatta.

I figur 4.1 har ljudnivån i förarsätet (L & R) vid ett fläktvarvtal på 3500 rpm ritats. Där kan ses att kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD, från 900 Hz till frekvenser på 20 000Hz. Kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD för frekvenser i hela mellanregistret (900-5000 Hz). Den största differensen som uppkommer i mellanregistret är vid en frekvens på 2367 Hz och är 7,7 dB(A). Mellan 100 Hz och cirka 900 Hz skiftar kurvorna för PE-HD och PE-LD mellan varandra. Båda typer av kanaler ligger över referensnivån, bakgrundsljudet.



Figur 4.1: Ljudnivå i [dB(A)] vid förarsätet (L & R) för PE-HD och PE-LD vid fläktvarvtalet 3500 rpm som funktion av frekvensen i [Hz]. Diagrammet är ritat i logaritisk skala.

I figur 4.2 har motsvarande ljudnivåer ritats i 3:e oktavband. Denna visar en summering av ljudnivån för olika frekvensintervall (frekvensband). Även i detta diagram kan tydligt ses att kurvan för PE-HD ligger över kurvan för PE-LD från frekvenser på 900 Hz till frekvenser på 20000 Hz. Anledningen till att man ritar en tredjedels oktavbands-diagram är att den ger en bild av i vilket frekvensområde örat uppfattar ljudnivån som högst.

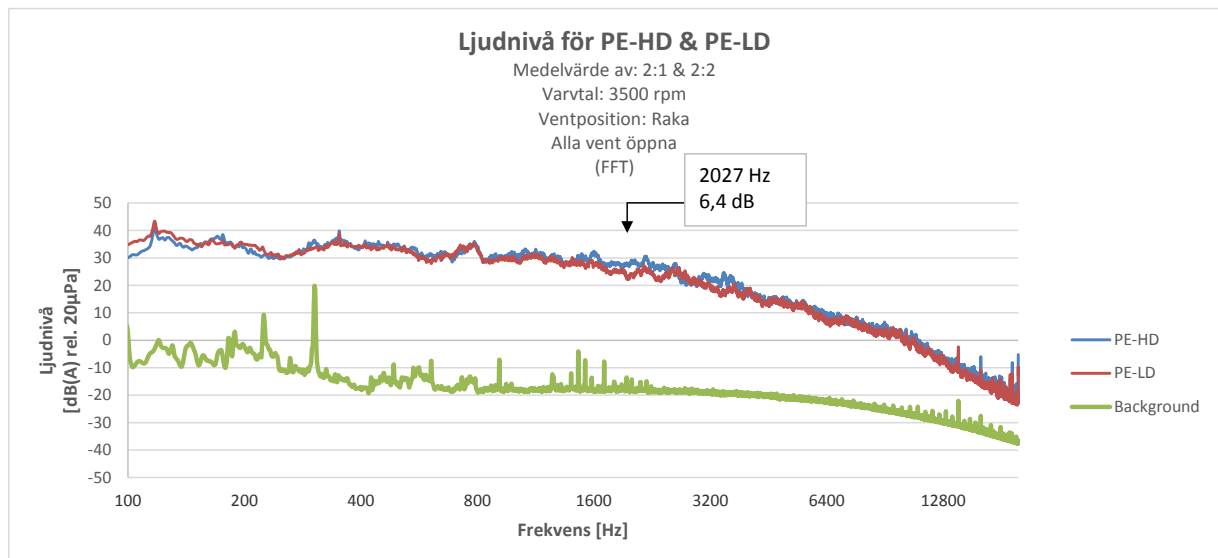


Figur 4.2: Ljudnivå i [dB(A)] vid förarsätet. Diagrammet är ritat i 3:e oktavband.

I figur 4.3 har ljudnivån i passagerarsätet (2:1 & 2:2) vid ett fläktvarvtal på 3500 rpm ritats. Där kan ses att kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD, från frekvenser på 800 Hz till frekvenser på 20000 Hz. Kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD i största delarna av mellanregistret (900-5000 Hz), förutom vid en

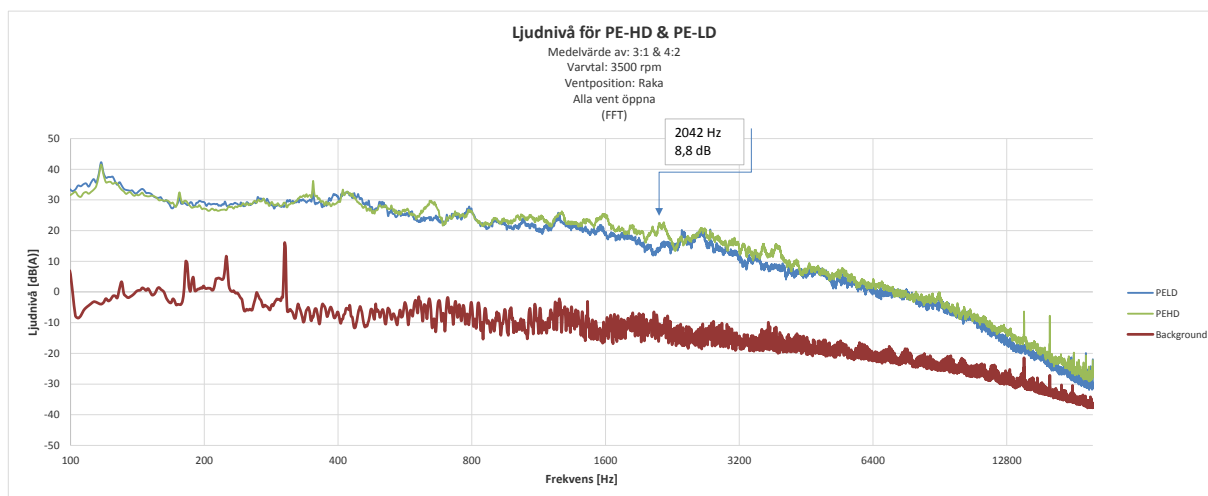
4. Resultat

frekvens på cirka 2800 Hz. Den största differensen som uppkommer i mellanregistret är vid en frekvens på 2027 Hz och är 6,4 dB(A). Mellan 100-150 Hz ligger kurvan för PE-LD ovanför kurvan för PE-HD. Mellan 150-800Hz skiftar kurvorna för de båda materialen mellan varandra. Kurvorna för de båda typerna av kanaler ligger ovanför referensnivån, bakgrundsljudet.



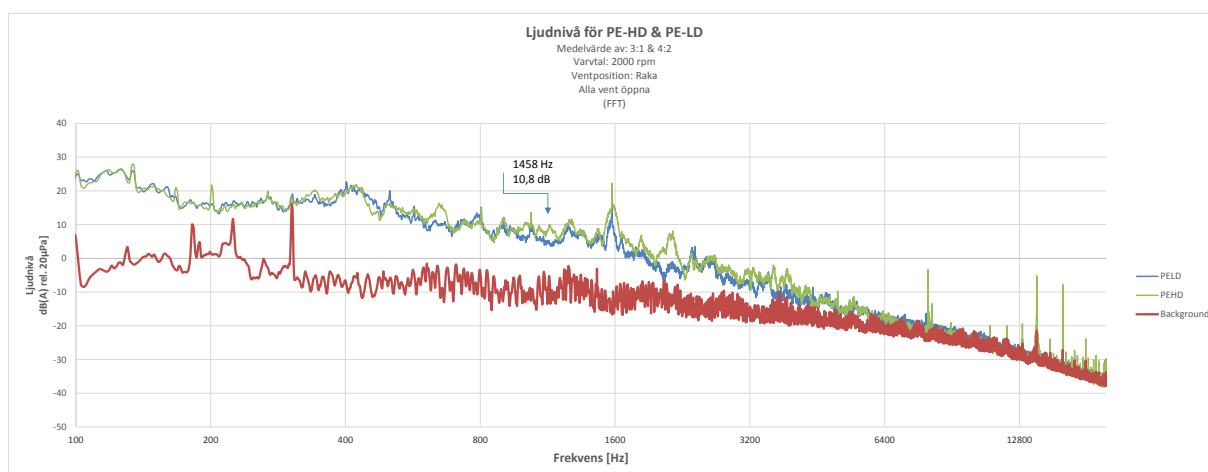
Figur 4.3: Ljudnivå i [dB(A)] vid främre passagerarsätet (2:1 & 2:2) för PE-HD och PE-LD vid fläktvarvtalet 3500 rpm som funktion av frekvensen i [Hz]. Diagrammet är ritat i logaritmisk skala.

I figur 4.4 har ljudnivån i baksätet på bilen (3:1 & 4:2) vid ett fläktvarvtal på 3500 rpm ritats. Där kan ses att kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD, från frekvenser på 800Hz till frekvenser på 20000 Hz. Kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD under hela mellanregistret (900-5000 Hz), förutom vid en frekvens på cirka 2000 Hz. Den största differensen som uppkommer i mellanregistret är vid en frekvens på 2042 Hz och är 8,8 dB(A). Differensen är som störst vid frekvenser som ser ut att vara resonanser (toppar i spektrumet). Mellan 100-800 Hz skiftar kurvorna för de båda materialen mellan varandra. Kurvorna för båda typer av kanaler ligger ovanför referensnivån, bakgrundsljudet.



Figur 4.4: Ljudnivå i [dB(A)] i baksätena (3:1 & 4:2) för PE-HD och PE-LD vid fläktvarvtalet 3500 rpm som funktion av frekvensen i [Hz]. Diagrammet är ritat i logaritmisk skala.

I figur 4.5 har ljudnivån i baksätet på bilen (3:1 & 4:2) vid ett fläktvarvtal på 2000 rpm ritats. I denna kan ses att kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD, från frekvenser på 1000 Hz till frekvenser på 4500 Hz. Den största ljudnivådifferensen som uppkommer mellan PE-HD och PE-LD i mellanregistret är vid en frekvens på 1458 Hz och är 10,8 dB(A). Mellan 100-1000 Hz skiftar kurvorna för de olika materialen mellan varandra. Från frekvenser på 6100 Hz fram till 20000 Hz sammanfaller bakgrundsljudet med ljudet som kanalerna PE-HD och PE-LD orsakar. För frekvenser mindre än 6100 Hz ligger kurvorna för PE-HD och PE-LD över referensnivån, bakgrundsljudet.

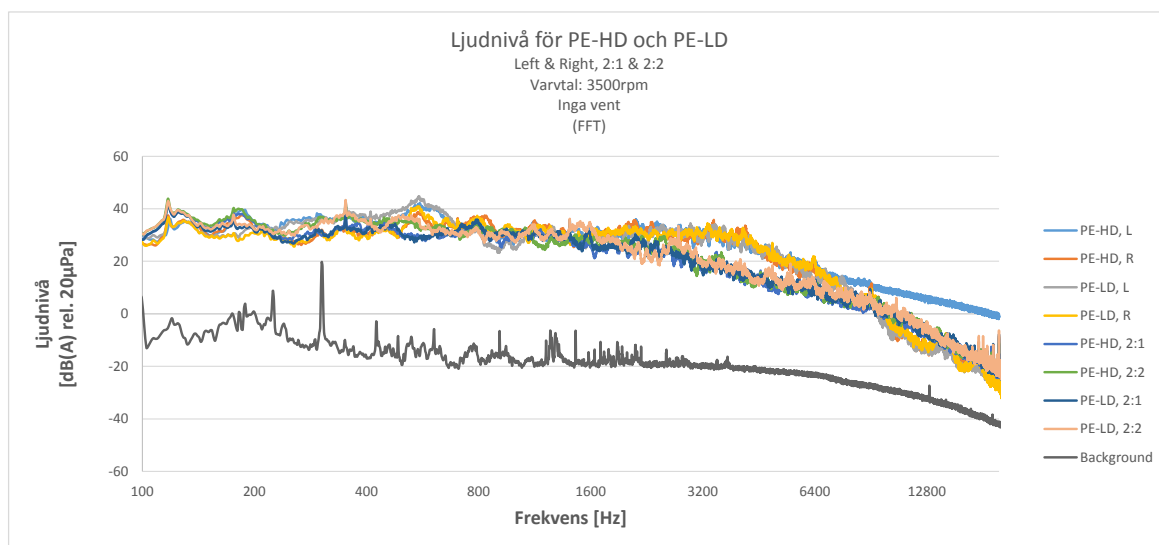


Figur 4.5: Ljudnivå i [dB(A)] i baksätena för PE-HD och PE-LD vid fläktvarvtalet 2000 rpm som funktion av frekvensen i [Hz]. Diagrammet är ritat i logaritmisk skala.

4.2.2 Luftkanaler utan vent

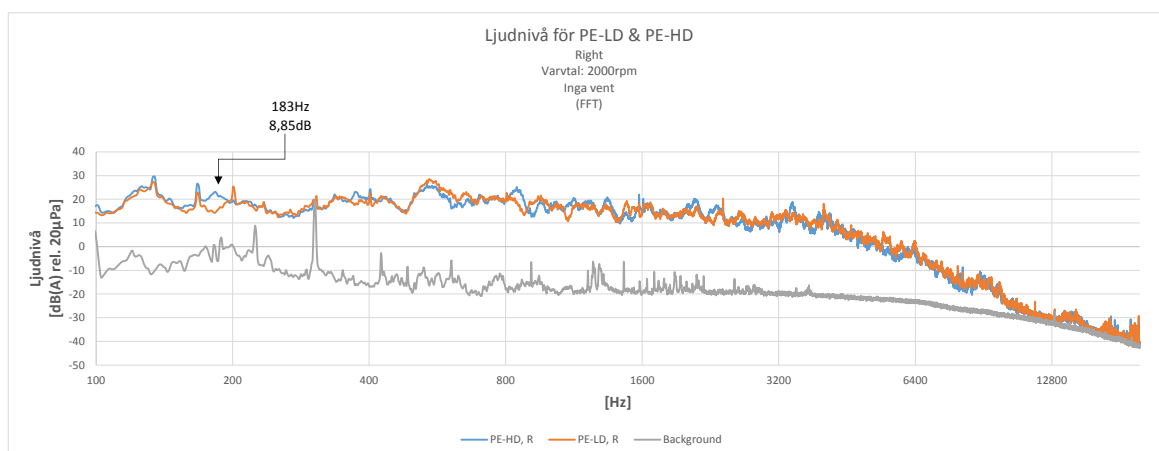
Nedan följer resultaten från NVH-testerna då venten var borttagna.

I figur 4.6 har mikrofonerna för både förare och passagerare ritats, då det fanns tecken på att någonting är fel. Utifrån diagrammet syns att ena mikrofonen för föraren (Left) vid testning för PE-HD stack ut. Enligt logiken bör förare och passagerare vid mätning få likvärdiga värden, vilket i detta fall en mikrofon inte fick. Detta resulterade i att vidare resultat enbart visar "Right"-mikrofonen för föraren vid mätningar utan vent.

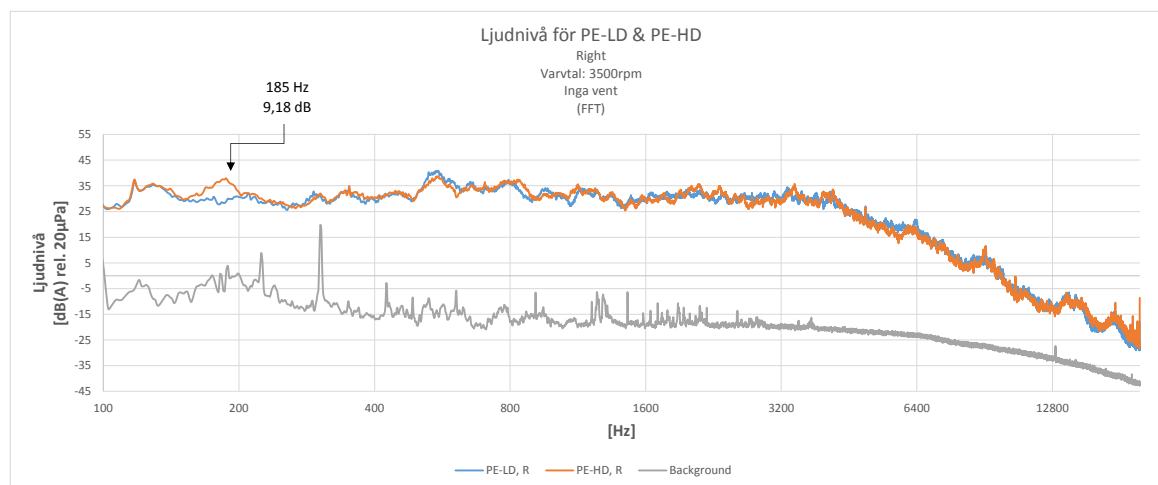


Figur 4.6: I figuren har mikrofonerna för förare och passagerare i framsätet ritats i logaritmisk skala. Ljudnivån i [dB(A)] är ritad som funktion av frekvensen [Hz]

I figur 4.7 har ljudnivån hos passageraren ritats.



Figur 4.7: Ljudnivå i [dB(A)] för PE-HD och PE-LD vid fläktvarvtalet 2000 rpm som funktion av frekvensen i [Hz]. Diagrammet är ritat i logaritmisk skala.



Figur 4.8: Ljudnivå i [dB] för PE-HD och PE-LD vid varvtalet 3500 rpm som funktion av frekvensen i [Hz]. Diagrammet är ritat i logaritmisk skala.

4.2.3 Luftkanaler med olika vent öppna

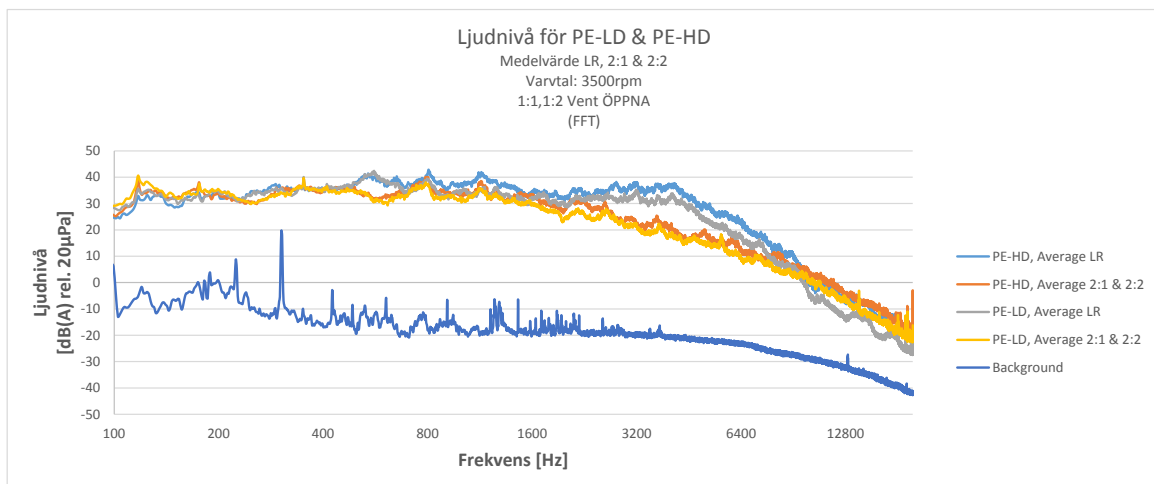
Nedan följer de resultat som fåtts då undersökning gjorts kring vad som händer med ljudupplevelsen för både föraren (L & R) och passageraren (2:1 & 2:2) då föraren respektive passageraren i framsätet väljer att stänga av sina vent eller ha sina vent öppna. Förklaring kring vilka vent som är öppna fås av numret på dem enligt figur 3.6.

I figur 4.9 har ljudnivån i förarsätet (L & R) och passagerarsätet (2:1 & 2:2) ritats upp vid ett fläktvarvtal på 3500 rpm, då venten 1:1 och 1:2 är öppna, det vill säga då passageraren har stängt sina vent. Där kan ses att kurvan för PE-HD (L & R) ligger ovanför kurvan för PE-LD (L & R) från frekvenser på 700 Hz till frekvenser på 20000 Hz. Båda typer av kanaler, i fallet med venten 1:1 & 1:2 stängda, ligger i detta fall över referensnivån, bakgrundsljudet.

I figur 4.9 kan även ses att kurvan för PE-HD, för 2:1 & 2:2, ligger ovanför kurvan för PE-LD, för 2:1 & 2:2, från frekvenser på 900 Hz till frekvenser på 20000 Hz. Mellan 100 Hz och cirka 900 Hz skiftar kurvorna för PE-HD (2:1 & 2:2) och PE-LD (2:1 & 2:2) mellan varandra. Precis som i föregående figur ligger båda kanaluppsättningarna ovanför referensnivån.

Ur figur 4.9 kan dessutom ses att föraren (L & R) hör mer, då venten framför denne är öppna, än vad passageraren (2:1 & 2:2) hör. Detta gäller för ljudnivåer vid frekvenser från 1600-7000 Hz.

4. Resultat

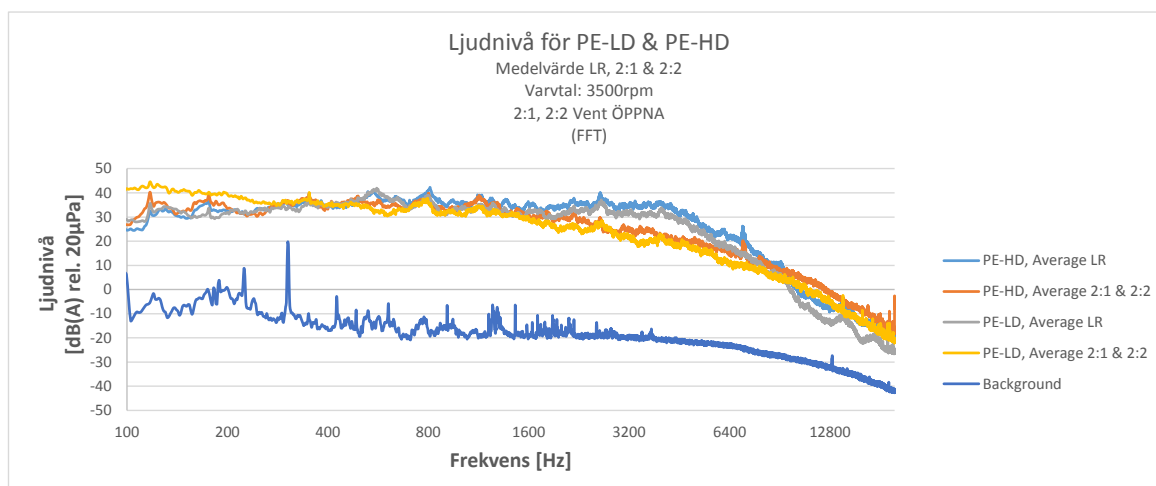


Figur 4.9: Jämförelse för att se hur föraren och passageraren upplever ljudet på de olika materialen när förarens båda vent är öppna medan passagerarens båda vent är stängda.

Ljudnivån i förarsätet och passagerarsätet har ritats upp i figur 4.10, vid ett fläktvarvtal på 3500 rpm och då venten 2:1 och 2:2 är öppna. I denna figur kan ses att kurvan för PE-HD (L & R) ligger ovanför kurvan för PE-LD (L & R) för frekvenser mellan 600 Hz och 20 000 Hz. Mellan 100 Hz och cirka 600 Hz skär kurvorna för PE-HD (L & R) och PE-LD (L & R) avväxlande varandra.

I samma figur kan även ses att PE-HD-grafen (2:1 & 2:2), ligger ovanför grafen för PE-LD (2:1 & 2:2) från frekvenser på 1000 Hz till frekvenser på 20000 Hz. Mellan 100 Hz och ca. 1000 Hz skär kurvorna för PE-HD (2:1 & 2:2) och PE-LD (2:1 & 2:2) varandra. Båda typer av kanaler, i fallet med venten 2:1 & 2:2 stängda, ligger i detta fall över referensnivån, bakgrundsljudet.

Ur figur 4.1 kan också ses att föraren (L & R) hör mer, då venten framför denne är öppna, än vad passageraren (2:1 & 2:2) hör. Detta gäller för ljudnivåer vid frekvenser från 2000-6000 Hz.



Figur 4.10: Figuren visar ljudnivåerna i [dB(A)] som funktion av frekvensen [Hz] för förare och passagerare då föraren har stängt sina vent

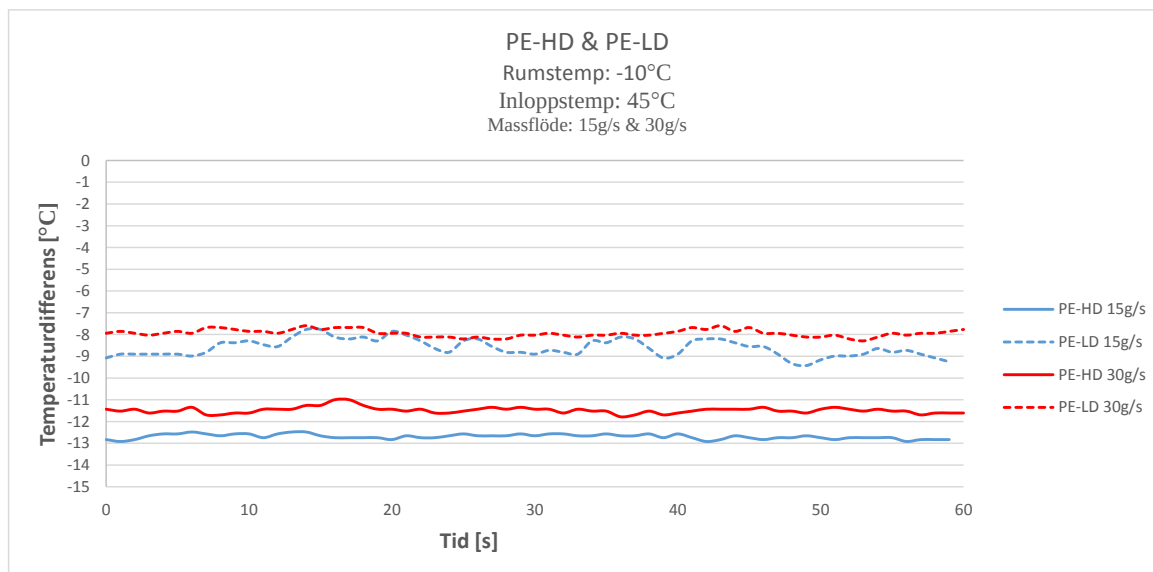
4.3 Resultat från värmeöverföringsmätningar

Nedan följer resultaten från testen för värmeöverföring. I alla figurerna under detta avsnitt har kanalen mellan InRO och OutR jämförts, enligt figur 3.3.

I figur 4.11 har temperaturdifferensen mellan inlopp och utlopp redovisats för både PE-HD och PE-LD då kanalerna har befunnit sig i kallt rum, -10°C och temperaturen på inloppet varit 45°C . Massflödet på luften som skickats in var 15g/s och 30g/s .

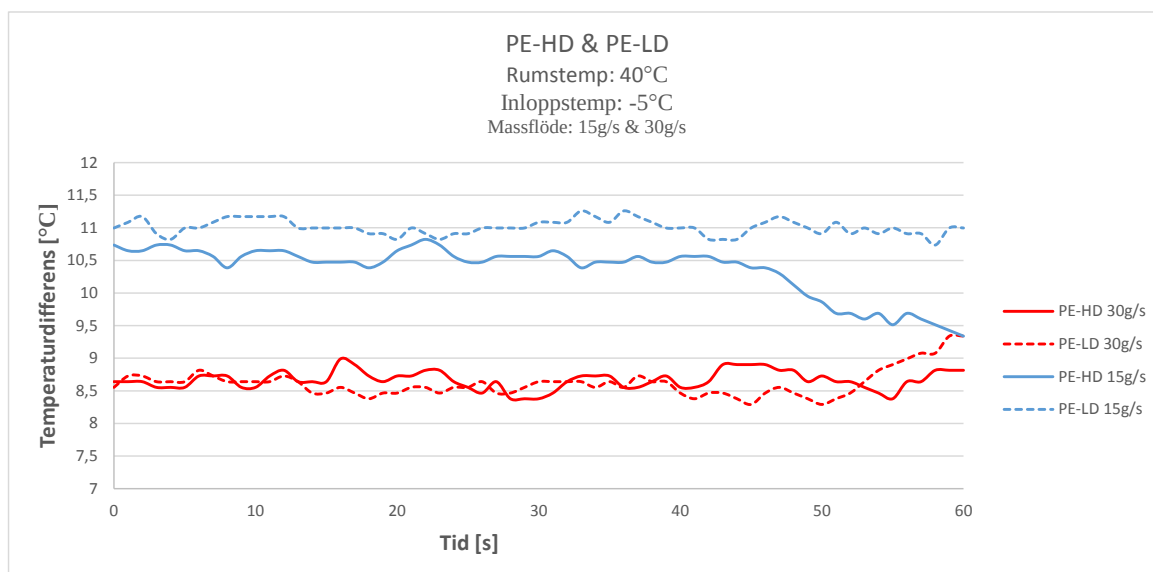
I figur 4.11 kan ses att vid ett massflöde på 15g/s för PE-HD förloras 13°C av luftens innertemperatur, medan PE-LD förlorar 9°C vid samma flöde. Vid det högre massflödet återfås ungefär samma differens mellan PE-HD och PE-LD, dock vid andra nivåer på temperaturförlusten. Resultatet visar att mjuka kanaler absorberar värmen bättre än hårda kanaler, oavsett massflöde, och bibehåller cirka $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ mer av innertemperaturen än vad de hårda kanalerna gör.

4. Resultat



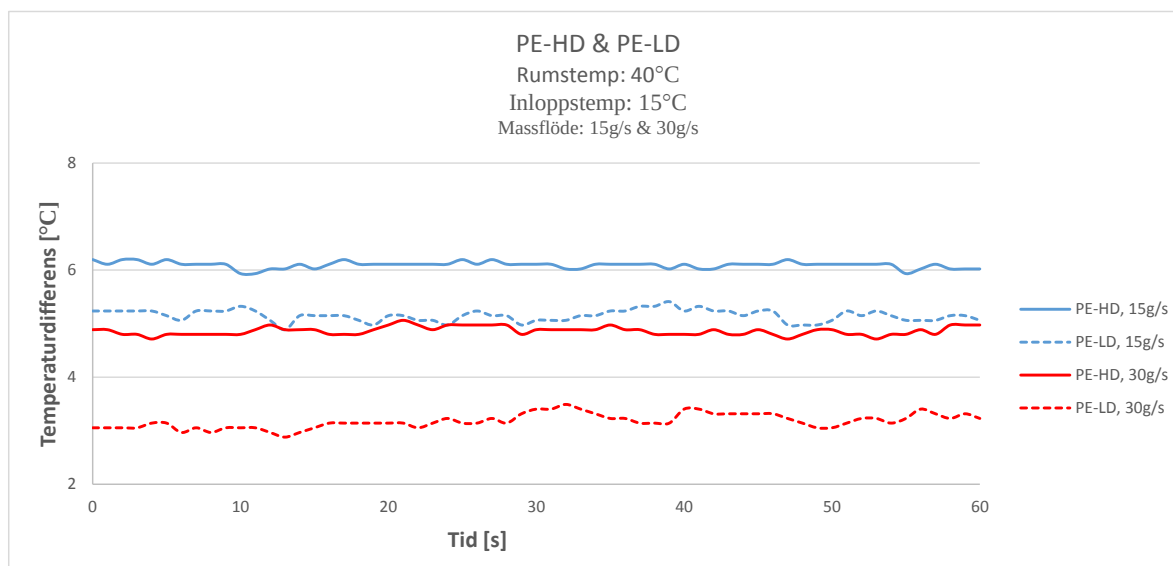
Figur 4.11: Temperaturdifferensen från inlopp till utlopp för PE-HD och PE-LD vid rumstemperaturen -10°C , inloppstemperaturen 45°C och massflödena 15 g/s respektive 30 g/s.

Vid motsatt förlopp har resultaten för temperaturdifferensen för PE-HD och PE-LD redovisats i figur 4.12. Ur figur 4.12 utläses att PE-HD förlorar cirka 10.5°C av luftens innetemperatur vid ett massflöde på 15g/s, medan PE-LD förlorar cirka 11°C . Vid massflödet 30g/s förlorar både PE-HD och PE-LD cirka 8.75°C .



Figur 4.12: Temperaturdifferens från inlopp till utlopp för PE-HD och PE-LD vid rumstemperaturen 40°C , inloppstemperaturen -5°C och massflödena 15 g/s respektive 30 g/s.

När Sverige har sommartemperaturer på närmare 25-30°C, hettas kupén i bilen upp till temperaturer närmare 50°C. I dessa fall vill kunden snabbt kyla ned kupén till en behaglig temperatur. Därför har ett fall liknande detta redovisats i figur 4.13. Oavsett massflöde, ses tydligt att PE-LD har lägre temperaturdifferenser mellan in- och utlopp än vad PE-HD har.

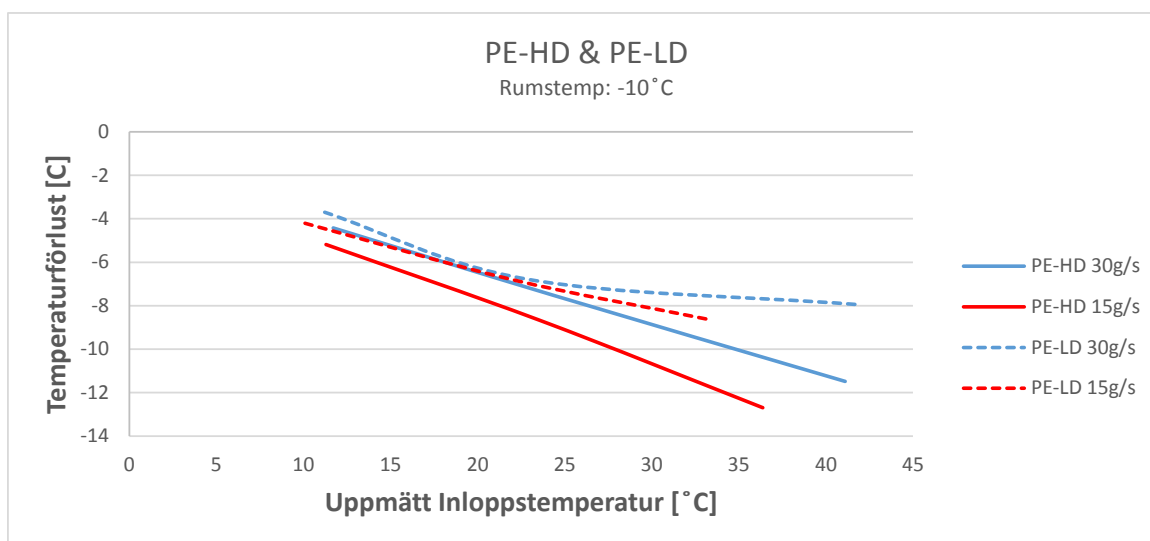


Figur 4.13: Temperaturdifferens från inlopp till utlopp för PE-HD och PE-LD vid rumstemperaturen 40°C, inloppstemperatur 15°C och massflödena 15 g/s respektive 30 g/s.

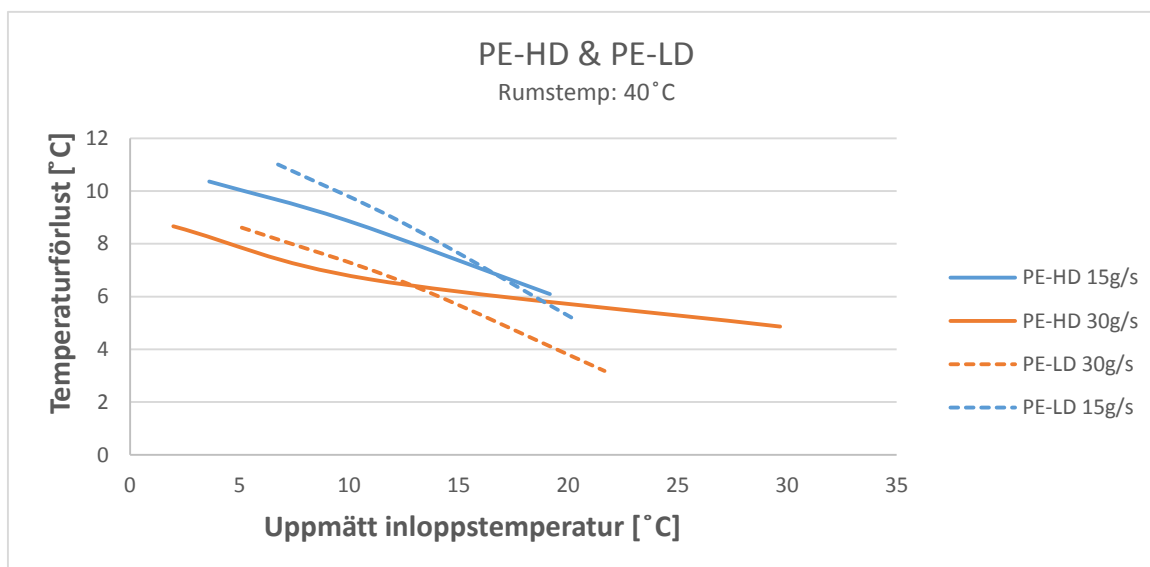
Temperaturdifferensen är skillnaden mellan temperaturen som mäts på ut- respektive inlopp. Differensen är beräknad med följande formel:

$$T_{diff} = T_{ut} - T_{in} \quad (4.1)$$

Figurerna 4.14 och 4.15 nedan visar hur temperaturförlusten blir vid olika massflöden som funktion av inloppstemperaturen i kanalerna. Då rummet är kallt ökar temperaturförlusterna med ökad temperatur för både 15 g/s och 30 g/s, medan vid varmt rum ökar temperaturförlusterna med sjunkande uppmätt temperatur på inloppet.



Figur 4.14: Temperaturförlust från inlopp till utlopp för PE-HD och PE-LD vid rumstemperaturen -10°C och massflödena 15 g/s respektive 30 g/s. Graferna illustrerar hur stor temperaturförlusten i [°C] blir för PE-HD och PE-LD vid olika massflöden som funktion av inloppstemperaturen, vid inRO, in i kanalerna.



Figur 4.15: Temperaturförlust från utlopp till utlopp för PE-HD och PE-LD vid rumstemperaturen 40°C och massflödena 15 g/s respektive 30 g/s. Graferna illustrerar hur stor temperaturförlusten är i [°C] blir för PE-HD och PE-LD vid olika massflöden som funktion av inloppstemperaturen, vid inRO, in i kanalerna.

4.4 Hur stor påverkan på miljön har materialen?

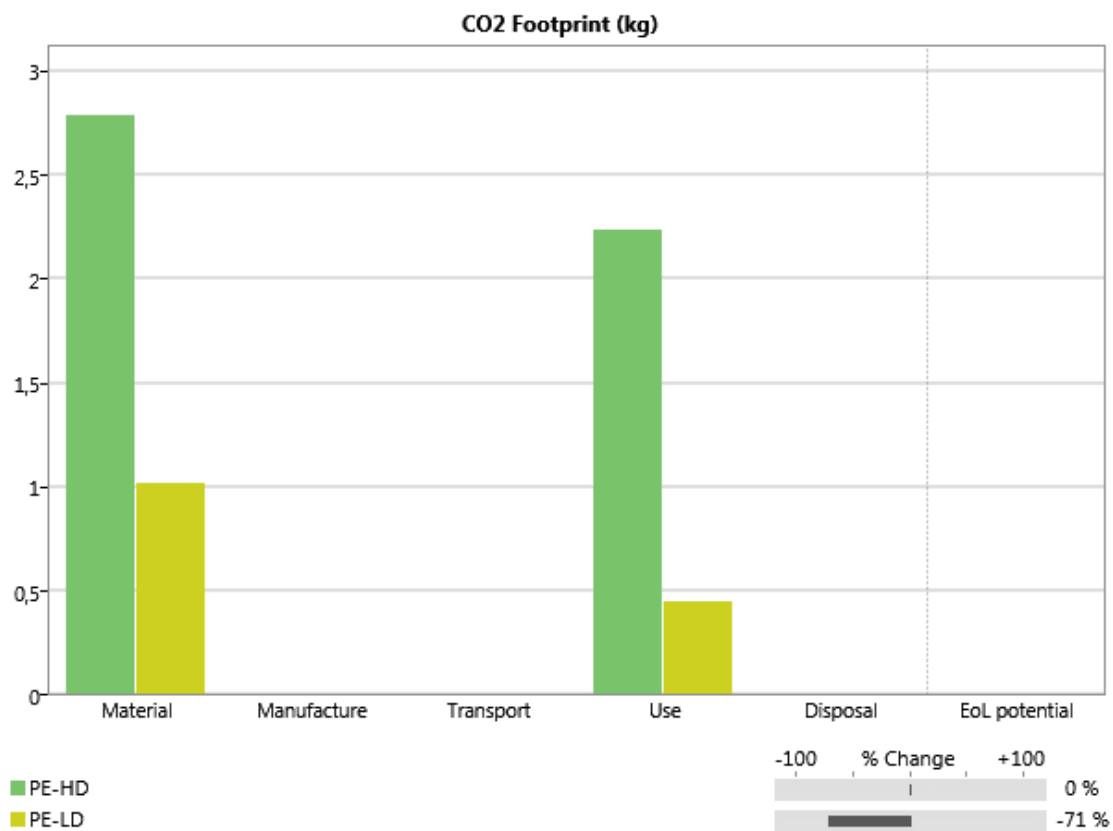
Den information som finns gällande mjuka och hårda kanalers egenskaper säger att mjuka kanaler väger cirka 50-60 % mindre än hårda kanaler. För att vara helt säkra på att detta stämmer har materialen vägts vilket visade på ännu större reduktion. De mjuka kanalerna har vid vägning av kanalen som löper mellan InLO och OutL uppmätts till 40 g medan motsvarande hårda kanal uppmättes till 213 g. Med hjälp av formel 4.2 beräknades en korrekt reduktion av vikten. De mjuka kanalerna är 81 % lättare än de hårda kanalerna.

$$\% = \left(1 - \frac{m_{PE-LD}}{m_{PE-HD}}\right) * 100 \quad (4.2)$$

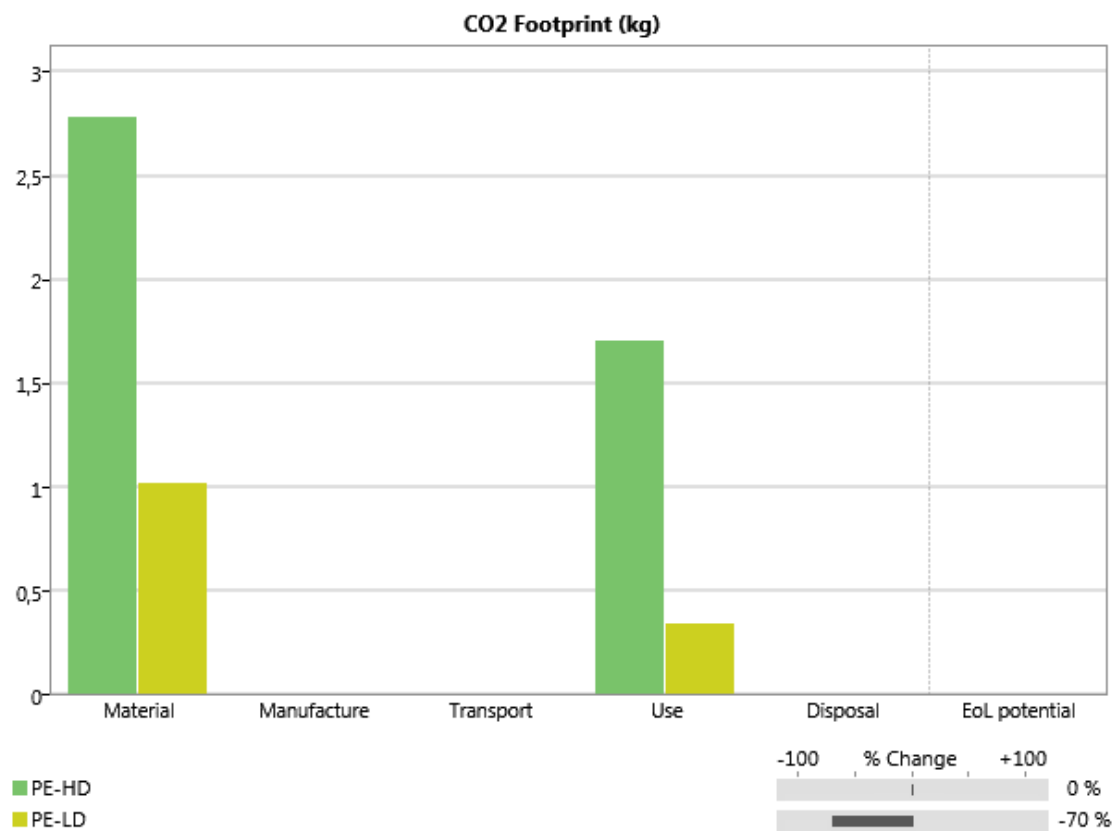
Ur materialdatabasen CES EduPack hämtades allmänna diagram som ses i Figurerna 4.16 och 4.17, som visar CO_2 -utsläpp för PE-HD och PE-LD. De två vänstra staplarna illustrerar hur stor påverkan på miljön själva framtagningen av materialen PE-HD respektive PE-LD har. Med framtagning av material syftas på bearbetningen av organiska ämnen så som råolja och naturgas [31] som sedan med kemiska processer bearbetas för att få fram önskat material, där PE-HD är ett solidt material och PE-LD är ett skummaterial. Eftersom man kan räkna med en viktreduktion på cirka 80 % vid byte till PE-LD-kanaler så kommer således även massan för PE-LD som krävs för kanalerna att vara 80 % lägre än massan som krävs för motsvarande PE-HD-kanaler, vid samma volym på kanalerna. Vikten för PE-HD kanalerna sattes till 1 kg och vikten för PE-LD sattes till 0,2 kg. Ur diagrammen 4.16 och 4.17 syns att påverkan på miljön kan minskas med 1,8 kg enbart genom att istället välja PE-LD-materialet till kanalerna.

Då PE-LD-kanalerna väger mindre än motsvarande PE-HD-kanaler kommer bilen som innehåller PE-LD-kanalerna totalt sett att väga mindre än en bil som innehåller PE-HD-kanaler. En bil som väger mindre behöver mindre energi för att framföras, således förbrukas mindre bränsle. Två olika framföringssätt av en personbil har analyserats, en där förbränningsmotorn drivs på bensin och en där förbränningsmotorn drivs på diesel. Analyserna baseras på ett antagande då en personbil kör cirka 50 km per dag under 300 dagar/år. I Figur 4.16 kan beräkningarna ses som materialdatabasen genomfört för en personbil driven på bensin. I detta körfall kan ses att det släpps ut cirka 1,9kg CO_2 mindre då bilen framförs med PE-LD-kanalerna än med PE-HD-kanalerna. I figur 4.17 kan motsvarande beräkningar ses för en personbil driven på diesel. Även i detta körfall framkommer att det släpps ut mindre CO_2 då bilen framförs med PE-LD-kanaler istället för med PE-HD-kanaler. Det släpps ut cirka 1,5 kg CO_2 mindre.

4. Resultat



Figur 4.16: I figuren illustreras de CO_2 -utsläpp som 1 kg PE-HD och 0,2 kg PE-LD har vid framtagning av själva materialet och körning av en bensindriven bil.



Figur 4.17: I figuren illustreras de CO_2 -utsläpp som 1 kg PE-HD och 0,2 kg PE-LD har vid framtagning av själva materialet samt vid körning av en dieseldriven bil.

5

Analys

I följande kapitel analyseras och diskuteras alla resultat.

5.1 NVH-mätningar

I detta stycke analyseras och tolkas största delen av den mätdata som presenterades under avsnitt 4.2.

5.1.1 Luftkanaler med vent

I alla dessa mätningar som analyseras nedan har venten vid utloppen av kanalerna varit isatta, detta ger således det körfall som ger den mest verklighetstrogna beskrivningen. I bilen är venten alltid är isatta. Mätningarna som analyseras nedan ger således den mest verkliga beskrivningen av hur ljudnivån påverkas vid byte av material. De resultat som presenterades i avsnitt 4.2.1 analyseras i detta avsnitt.

I figur 4.1 illustrerades ljudnivån så som föraren hör den. Man kan ur graferna tydligt utläsa att kurvan för PE-HD ligger över kurvan för PE-LD vid frekvenser högre än 900 Hz. Att kurvan för PE-HD ligger ovanför den för PE-LD betyder att den på ett bra sätt isolerar ljud på frekvenser högre än 900Hz. Största differensen i ljudnivå vid frekvenser i mellanregistret var 7,7 dB(A).

I figur 4.2 ritades ett tredjedels oktavbandsdiagram upp för mätningen som analyserades ovan. Som tidigare nämnt ritas detta diagram för att tydligt kunna se inom vilka frekvensband som örat uppfattar ljudnivån som högst. Som kan ses i figur 4.2 ligger den högsta ljudnivån för både kanaler av typen PE-HD och PE-LD vid frekvenser mellan 3000-5000 Hz. Vid dessa frekvenser ligger även tydligt kurvan för PE-HD ovanför den för PE-LD, vilket innebär att PE-LD-kanaler isolerar bättre mot de ljud som örat uppfattar som högst än vad PE-HD gör.

Även i figur 4.3, där ljudnivån för passageraren i framsätet är uppritade, kan ses att kurvan för PE-HD ligger över den för PE-LD från och med frekvenser på 800 Hz. Största differensen i ljudnivå vid frekvenser i mellanregistret, var 6,4 dB(A).

Även för ljudnivån i baksätena, som illustrerades i figur 4.4 kan man tydligt se att kurvan för PE-HD ligger ovanför kurvan för PE-LD för frekvenser större än 800 Hz. Största differensen i ljudnivå vid frekvenser i mellanregistret var 8,8 dB(A). Att

den största differensen uppstod här beror troligtvis på resonanta fenomen (toppar i spektrumet). De mjuka kanalerna verkar till skillnad från de hårda kanalerna vara mindre benägna för resonanta fenomen, vilket även kan ses i figur 4.4.

I de tre fallen isolerar kanalerna med PE-LD-material bättre än de med PE-HD-material från början av mellanregistret (900-5000 Hz) till 20000 Hz, vilket är gränsen för vad örat kan uppfatta. Med anledning av att örat uppfattar en ljudnivå, i [dB(A)], i mellanregistret som mycket starkare än samma ljudnivå vid frekvenser lägre än 900 Hz och högre än 5000 Hz, så kommer således en reducering av ljudnivån i mellanregistret att vara av största betydelse. Att graferna för PE-HD och PE-LD skär varandra vid låga frekvenser, lägre än 900 Hz, är således inte av lika stor betydelse. I alla tre fallen som illustrerades i figurerna 4.1, 4.3 och 4.4 kan tydligt ses en stor reducering av ljudnivån för frekvenser i mellanregistret samt för högre frekvenser. För att ställa dessa sänkningar i förhållande till teorin i avsnitt 2.4.2 så upplevs en sänkning av ljudnivån med 10 dB(A) som en halvering av ljudnivån för örat. Således kommer även människan att uppfatta ljudet som mycket lägre då kanalerna är av materialet PE-LD.

För att verkligen försäkra sig om att ljudnivåerna sänktes, även så att människan kan uppfatta dem, så laddades två ljudfiler ned från mätningarna som beskrivs i figurerna 4.1 och 4.4. En ljudnivåssänkning kan tydligt höras i de båda fallen då man byter mellan PE-HD och PE-LD, således kan man även genom att lyssna på ljudnivåförändringen dra slutsatsen att PE-LD isolerar mot ljud mycket bättre än PE-HD.

5.1.2 Luftkanaler utan vent

I figur 4.6 illustreras hur de fyra olika mikrofonerna i framsätet upplever ljudet från kanalerna då inga vent är isatta. Ett stort fel syns för "Left"-mikrofonen på konsthuvudet vid mätningen på PE-HD kanalen vid höga frekvenser. Logiskt sett bör både förare samt passagerare i framsätet höra ljudet från kanalen lika på grund av att kanalerna har snarlika geometrier, oavsett material och sida. För att kontrollera att alla mikrofoner hör ungefär lika, ritades varje mikrofon ut för sig vid varvtalet 3500rpm varpå detta problem blev ett faktum. Av denna anledning jämfördes inga värden på "Left" mikrofonen i kommande analyser utan vent.

I figurerna 4.7 och 4.8 skiljer sig inte de olika materialen sig från varandra, oavsett varvtal. Detta kan bero på att mikrofonerna varit mer känsliga för luftflödet då venten inte suttit i. I detta fall blåses luften ur kanalerna okontrollerat medan vid mätningar med vent riktas luftströmningen i rak riktning. Mikrofonernas känslighet tyder då på att positionen av mikrofonerna har stor betydelse.

5.1.3 Luftkanaler med avstängda vent

Figurerna 4.9 och 4.10 visar resultaten från mätningarna när vardera person i framsätet har stängt av sina vent. Detta är fall som kan uppstå då till exempel föraren

anser att det är för kallt respektive varmt i kupén, medan passageraren inte tycker så. I sådana fall syns att PE-LD kanalerna vid frekvenser i mellanregistret och uppåt har bättre akustikförmåga och dämpar ljudet bättre än PE-HD. Vad som är märkligt är att passageraren alltid upplever ljudet som lägre än föraren, oavsett vem som stängt av sina vent. Eftersom massflödet blir större vid personen som inte stängt av sina vent, borde ljudet därmed bli högre för personen som inte har stängt sina vent. I dessa fall hör föraren alltid högst. En möjlig bidragande faktor till detta problem är att mikrofonerna har varierande känslighet.

I alla testerna som analyserats under avsnitt 5.1 har övervägande det mjuka skum-materialet isolerat bättre mot ljud än vad det hårda materialet har gjort. En stark bidragande faktor till detta ligger i skummets sammansättning. Då skummaterialet innehåller mycket luft så träffar ljudet avväxlande polyeten avväxlande luft i kanalväggen. När ljudet träffar luft sänks amplituden på ljudet och således sänks ljudnivån, detta framkom i ett samtal med handledare (P. Hammersberg) på Chalmers Tekniska Högskola den 20 maj 2016. Eftersom de hårda kanalerna är gjorda av solid polyeten så finns det ingen luft i kanalväggarna som kan sänka amplituden på ljudet och därmed sänka ljudnivån. Dessa materialegenskaper hos PE-LD-kanalerna medför att de har en mycket bättre ljudisolerande förmåga än PE-HD-kanalerna.

5.2 Analys kring värmeöverföringsmätningar

En ständig fråga har hela tiden varit, varför använder konkurrenter mjuka kanaler i IP:n utan att kunna bevisa varför? I figur 4.11 syns en markant skillnad på huruvida bra kanaluppsättningarna absorberar värme. Bäst absorberar PE-LD kanalerna. I fallet då rummet är kallt och varm luft transporteras in i kanalerna, tappar PE-LD närmare 3-4°C mindre än vad PE-HD gör oavsett vilket massflöde som skickas in i kanalen. Detta på grund av att skumaterialet till större delen består av luft som leder värme mindre bra som nämnts i avsnitt 2.1.2. Genom att blanda solid PE med en stor andel luft fås en bra isoleringsförmåga. Vid stora temperaturdifferenser på rumstemperaturen och inloppstemperaturen drivs värmeöverföringen på mer än vid mindre differenser, detta är märkbart i detta fall. 3-4°C är siffror som är märkbara för kunden och tyder därför på ett bra resultat som kommer att ge kunden en förbättrad komfortnivå.

I det motsatta fallet, då rummet är varmt och kall temperatur skickas in i kanalerna är temperaturdifferenserna inte lika stora vilket kan bero på att konduktiviteten hos materialen har olika temperaturberoende. För att klargöra vilket material som är mest temperaturberoende krävs mer och noggrannare analyser. Det behövs även fler mätpunkter på kanalens inneryta för att se var värmen försvinner. Genom att jämföra kanalens temperatur på innerväggen samt vid samma position på ytterväggen kan man således få fram var värmen försvinner. Detta behöver göras vid flera punkter på kanalen.

Utöver molekylstrukturen hos materialet, finns två koefficienter som är viktiga vid val av material som isolerar värme bra, värmekonduktivitet λ och specifik värmekapacitet c_p . Desto lägre λ , desto bättre isoleringsförmåga. c_p -värdet är viktigt ur den aspekt då denna anger hur mycket energi som krävs för att värma upp 1 kg materialmassa med 1°C. Genom att räkna ut denna energi med formeln 2.2 kan energiförbrukningen minskas med hjälp av att välja ett material med lågt λ och därefter kontrollera dess c_p värde. Ju högre c_p -värde, desto mer energi krävs för värmeöverföring.

Värmeövergångstalet α i ekvation 2.1 påverkar i detta fall inte värmeöverföringen eftersom den är hastighetsberoende, vilket inte ändras i testen.

För att illustrera helheten och sammanfatta data har medelvärden av temperaturdifferensen och den uppmätta inloppstemperaturen vid ett visst körfall tagits fram i figurerna 4.14 och 4.15. Med ökat massflöde, minskar temperaturförlusterna på grund av att mindre värme hinner transporteras bort.

En nackdel vid mätningarna för värmeöverföringen är den uppmätta inloppstemperaturen jämfört med temperaturen som manuellt har ställts i värmerummet, då de uppmätta värdena inte stämmer överens med vad som skickats in i kanalen. Detta syns i första hand i bilagorna A, B och D. Ur dessa diagram syns tydligt att vardera kanal mäter olika inloppstemperaturer, vilket tyder på att en eventuell felkälla finns i mätprobarna som suddat fast enligt figur 3.2. Ett fall då det har varit fel på mätproben är för inloppet "InLO" som ses i samma bilagor, då den skiljer sig markant från de andra inloppen. Detta syntes inte tydligt vid testen, däremot syns detta tydligt i diagrammen. Mätproben för "InLO" har i dessa fall mätt temperaturen på fel ställe, då den troligtvis har kortslutits i kontakten.

En annan aspekt att beakta är läckage i kanalerna, då uppsättningen på kanalerna i mätriggen möjligtvis inte har varit tillräckligt täta vid hopsättning mellan riggens utlopp och kanalens inlopp.

Vid testkörningarna ansågs ett intervall på 20 minuter vara lämpligt att förhålla sig till vid varje provning för att erhålla ett stationärt tillstånd. Detta bevisades utifrån bilagorna A, B, C och D att 20 minuter varit för kort tid. För att kunna göra en provning behövs ett så stationärt tillstånd som möjligt för att ha en konstant differens mellan in- och utlopp över mätperioden på 60 sekunder. Utifrån bilagorna på inloppstemperaturerna syns att kurvorna inte är tillräckligt stabila vid varje mätning vilket beror på att temperaturen inte hunnit stiga eller sjunka till önskad temperatur. Vid mätningarna märktes också att reglersystemet i AC-riggen reagerade mycket långsamt, vilket även detta kan vara en anledning till att flödesrespektive temperaturförändringarna skett olika snabbt och skapat ostabilitet.

Tillverkningen av PE-LD kanaler gjordes genom metoden som anges i avsnitt 3.3, vilket är en dyr och komplicerad metod. Metoden tar lång tid och kräver mycket noggrannhet, men för enstaka uppsättningar fungerar detta utmärkt som i detta

arbetets fall. Det finns andra tillverkningsmetoder som kan vara mer lämpade för tillverkning av mjuka kanaler, så som "Twin-sheet formning". För massproduktion kan denna metod vara lättare då twin-sheet formning inte tillverkar halvor av kanalen, utan formar en komplett kanal. Denna metod blir mer effektiv och möjligtvis även billigare. Med andra ord finns det fler tillvägagångssätt för att åstadkomma likadana uppsättningar av mjuka kanaler [30] och [32].

5.3 Analys kring miljöpåverkan

I avsnitt 4.4 redovisas två diagram som är de mest generella, för att få en bild av hur mycket de olika materialuppsättningarna påverkar miljön. Sedan decennier tillbaka har världen engagerat sig i minskad miljöpåverkan och även Volvo kan med hjälp av materialbyte vara med och påverka. PE-LD väger närmare 80 % mindre än PE-HD, vilket resulterar i viktreduktion för den totala bilvikten. Som nämnt i 4.4 har vikten stor betydelse för hur mycket en bil förbrukar i bränsle och genom minskad vikt, fås en lägre bränsleförbrukning som resulterar i minskade CO_2 -utsläpp. Nackdelen med diagrammen är att inga bilmodeller har kunnat väljas, då storleken på bilen också har stor påverkan. Detta genom att en större frontyta på en bil erhåller större luftmotstånd vid körning. Diagrammen visar de mest generella fallen där enbart val av bränslemotor varit möjliga att välja. Det krävs många fler parametrar för att kunna fastställa en säker siffra på materialens påverkan på miljön, likaså väder som vägunderlag och storlek på motorer är viktiga att analysera.

6

Slutsats

Vid NVH-mätningarna kunde slutsatsen dras att mjuka kanaler isolerar ljud bättre än PE-HD för frekvenser i mellanregistret och uppåt. Det faktum att örat märker av en skillnad i ljudnivå mest i mellanregistret motiverar därför ännu starkare att ljudupplevelsen i bilen förbättras vid byte från PE-HD till PE-LD. Genom att man lyssnade på ljudfilerna som analyserats i avsnitt 5.1.1 kunde man tydligt märka att ljudisoleringsförmågan förbättrats genom användning av skummaterial. För vissa frekvenser syntes att ljudnivån i mellanregistret sänktes med upp till 10,8 dB(A) vid byte av material till PE-LD, vilket är närmare en halvering av ljudupplevelsen.

Vid värmeöverföringsmätningarna kunde slutsatsen dras att mjuka kanaler förlorade cirka 3-4 °C mindre värme än hårda kanaler vilket beror på materialstrukturen hos skummaterialiet. Luft leder värme mindre bra och resulterar i att värmen kvarstår i kanalerna. För att ytterligare framhäva mjuka kanalers fördelar kan energiförbrukningen minskas markant eftersom materialet har mycket lågt λ -värde, likaså resulterar den låga vikten i minskad påverkan på miljön.

Sammanfattningsvis innebär detta att de mjuka kanalerna har flera fördelar. PE-LD är således ett bättre val av material. Frågan är dock; är det lönsamt att investera i detta material? Detta är något som får studeras i ett annat projekt och bör ligga till grund för Volvo Cars beslut om materialbyte.

6.1 Vidare arbete

För att få så bra mätningar som möjligt bör flera aspekter som har stor betydelse i detta arbete beaktas då de har stor inverkan på mätningarna. Vid värmeöverföringsmätningar bör samma mätprobar användas i båda kanaluppsättningarna för att båda mätningarna ska ha samma förutsättningar. Det är även mycket viktigt att kontrollera dessa mätprobar noga samt kontrollera möjliga läckage innan testning, då vissa kanaler uteslöts på grund av dåliga mätvärden. Slutligen bör varje test köras under längre tidsintervall för att vara säker på att ett bra stationärt tillstånd erhållits och utföra testerna minst två gånger för att kunna jämföra testerna.

Det hade varit mycket intressant att jämföra praktiska tester med teoretiska tester genom CFD-simulering. Denna programvara möjliggör mätning på samma sätt som de praktiska och kan därför vara intressanta att ha som jämförelse då det är osäkert om de teoretiska testerna skiljer sig så mycket från de praktiska testerna. För

detta fall krävs mycket information om materialet, men står sig fortfarande som en intressant jämförelse.

Vidare kan många olika faktorer analyseras. Det är inte säkert vad som faktiskt påverkar både ljud och värmeöverföring i den utsträckning de gör. Därför är det viktigt att analysera andra faktorer som kan påverka dessa egenskaper. Några exempel som kan analyseras vidare är geometrin på kanalerna och mikrofonernas position vid NVH mätning då de visar sig ha stor betydelse vid mätningar utan vent. För att veta om materialen håller i längden bör analyser göras kring materialens livslängd då studier visar på att de flesta material bland annat expanderar vid upphettning.

Litteraturförteckning

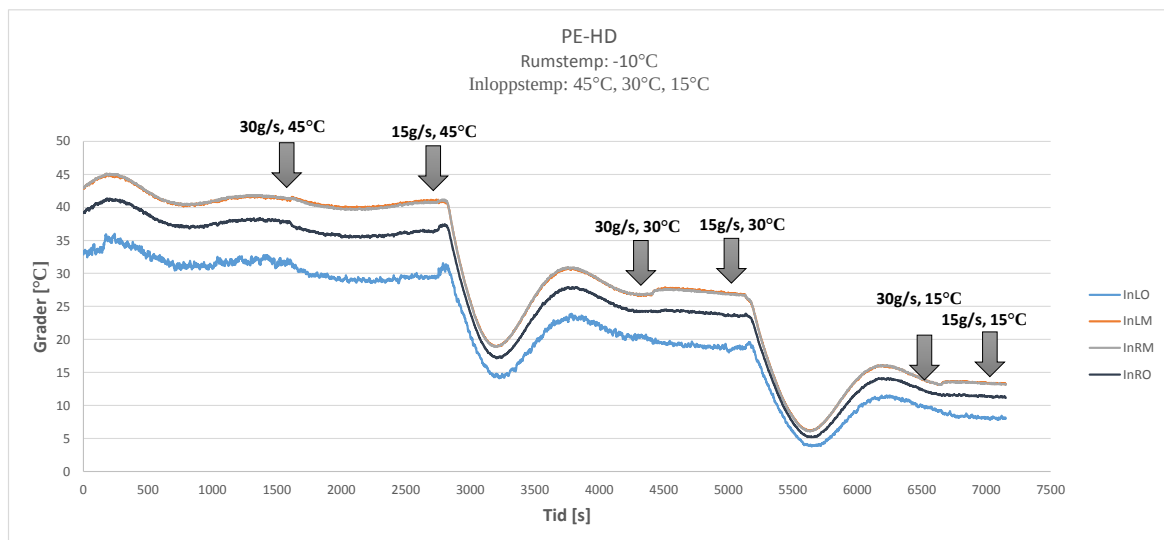
- [1] "Om Volvo Cars". Nu (2016) <http://volvocars.com/se/om-volvo/foretaget/om-volvo-cars> (2016-02-29)
- [2] Wernersson, M. (2015), Göteborg: Volvo Car Corporation
- [3] SOFITEC, SOFITEC PRESENTATION: *Light weight termoforming solutions*, (2016), Fil nedladdad från e-mail (2016/03/02)
- [4] SOFITEC, Air ducts made of PE-foam: *Acoustic performance*, (2016), Fil nedladdad från e-mail (2016/03/02)
- [5] Glenn Elert, "Convection", *The Physics Hypertextbook*, 2015; <http://physics.info/convection/> [Hämtad: 4 april, 2016]
- [6] Jernkontoret: Den svenska stålindustrins branschorganisation, "Värmeöverföring", *Jernkontoret: Den svenska stålindustrins branschorganisation*, 2016; <http://energihandbok.se/varmeoverforing> [Hämtad: 3 mars, 2016]
- [7] M.Ashby, et al., *Materials: Engineering, Science, Processing and Design* England: Elsevier Ltd., 2007.
- [8] U. Gedde, "Etenplast", NE, 2016; <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/etenplast> [Hämtad 3 mars, 2016]
- [9] C. Klason, J.Kubát, "Allmän materialkarakterisering", *Plaster materialval och materialdata*, Sjätte upplagan, Kina, 2011, ss. 107-109.
- [10] Blowtechgroup, "Fakta om formblåsning", Blowtechgroup, 2016; <http://www.blowtechgroup.com/formblasning/> [Hämtad: 3 mars, 2016]
- [11] S.Linell, "Tekniska formblåsning", *Att konstruera i plast*, Nr 1949:19, STF Ingenjörsutbildning AB, Stockholm, Sverige, 1998, ss. SL1-SL5
- [12] Plastnet, PDF: *Formblåsning*, (2005), <http://www.plastnet.se/wp-content/uploads/2014/05/EXTRUDERING3.pdf> [Hämtad 3 mars, 2016]
- [13] Opido, "Vakuumformning", Opido Plast AB, 2016, <http://www.opido.se/portfolio-item/vakuumformning/> [Hämtad: 24 maj, 2016]

- [14] THOMASNET.com, "Low-Density Polyethylene Foam", *THOMASNET.com*, 2016; <http://www.thomasnet.com/articles/plastics-rubber/polyethylene-foam-low-density> [Hämtad: 11 mars 2016].
- [15] Presentation: *VF (Twin Sheet) foam ducting*, (2016), Fil nedladdad från e-mail (2016-03-11)
- [16] Heilbronn, "Thermoformed, Soft Air Ducts Are Picking Up Speed: Intesca Already Uses Two Thermoformers To Capacity", 2010; <http://www.illig.de/en/illig/news/details/id/156/> [Hämtad: 11 mars, 2016]
- [17] S. Vidyasankar, "What is NVH?", Frost & Sullivan, 2005; <https://www.frost.com/sublib/display-market-insight.do?id=35405241> [Hämtad: 03 mars, 2016]
- [18] Svensk energi, "Atmosfärstryck", *Energilexikon - Svensk energi*, 2011; <http://energilexikon.svenskenergi.se/wiki/Atmosf%C3%A4rstryck> [Hämtad: 7 maj, 2016].
- [19] Prof. J. Hass - Indiana University, "Chapter 2: What is sound?", i *An Acoustics Primer*, 2003. [Online]; <http://www.indiana.edu/~music/acoustics/sound.htm> [Hämtad: 7 maj, 2016].
- [20] Hörsellinjen, "Örat och hörseln", *Hörsellinjen - Hörselskadades Riksförbund (HRF)*, 2016; <https://horsellinjen.se/fakta-och-rad/horsel-och-horselskador/orat-och-horseln/> [Hämtad: 7 maj, 2016].
- [21] PAROC, "Allmän information om ljud", *PAROC*, 2016; http://www.paroc.se/knowhow/ljud/allman-information-om-ljud?sc_lang=sv-SE [Hämtad: 7 maj, 2016].
- [22] Swegon, "Akustik grunder: Ljudtryck", 2012, [pdf]; <http://www.swegon.com/PageFiles/36997/Akustik%20Grunder%20sida%201-32.pdf>
- [23] G. Karlsson, "Inledning: Begreppet decibel", *Hur Hifi*, 2015; www.drkrupp.se/hifi/inledning_decibel.html [Hämtad: 29 maj, 2016].
- [24] M. Scholz, J. Winroth, "- Decibel", *LJUDLANDSKAP – för bättre hälsa*, 2008; http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=nyfikna&kapitel_3&rubrikj5_4 [Hämtad: 10 maj, 2016].
- [25] Swegon, "Akustik grunder: Decibelbegreppet", 2012, [pdf]; <http://www.swegon.com/PageFiles/36997/Akustik%20Grunder%20sida%201-32.pdf>
- [26] Svensson, T., Krysaner C. *The LIPS project model*. Version 1.4. Linköping: Linköping University, 2010.
- [27] Tumis, "Bärbar Dator, Dator, Anteckningsbok, PC, Bärbar, Svart", 2016 [PNG]; <https://pixabay.com/sv/b%C3%A4rbar-dator-dator-anteckningsbok-1017346/>

- [28] Photo: Rainer Knäpper & av användaren: Smial on de.wikipedia (Own work), "File:Luefter y.stech pd1270153b-2f.jpg", 2006 [jpeg]; https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ALuefter_y.s.tech_pd1270153b-2f.jpg, Licence: [FAL, GFDL 1.2 (<http://www.gnu.org/licenses/old-licences/fdl-1.2.html>) or CC BY-SA 2.0 de (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/deed.en>) or <http://artlibre.org/licence/lal/en/>], via Wikimedia Commons.
- [29] "Automotive Benchmarking", <http://www.a2mac1.com/AutoReverse/default.asp?c=1&p=2#/product/662/part/3499> [Hämtad: 8 mars, 2016]
- [30] Mr. O. Johnsson/M. Wernersson, PRESENTATION FCD: *Thermoforming, Soft air ducts twin-sheet in PE-foam*, (2016), Fil nedladdad från e-mail (2016-03-08)
- [31] E. Wikström, "Hur framställs och bearbetas plast", *BIBBALN SVARAR*, 2013; <http://bibblansvarar.se/sv/svar/hur-framstalls-och-bearbetas-p> [Hämtad: 29 maj, 2016].
- [32] Opido, "twinsheet", Opido Plast AB, 2016, <http://www.opido.se/portfolio-item/twin-sheet/> [Hämtad: 24maj, 2016]

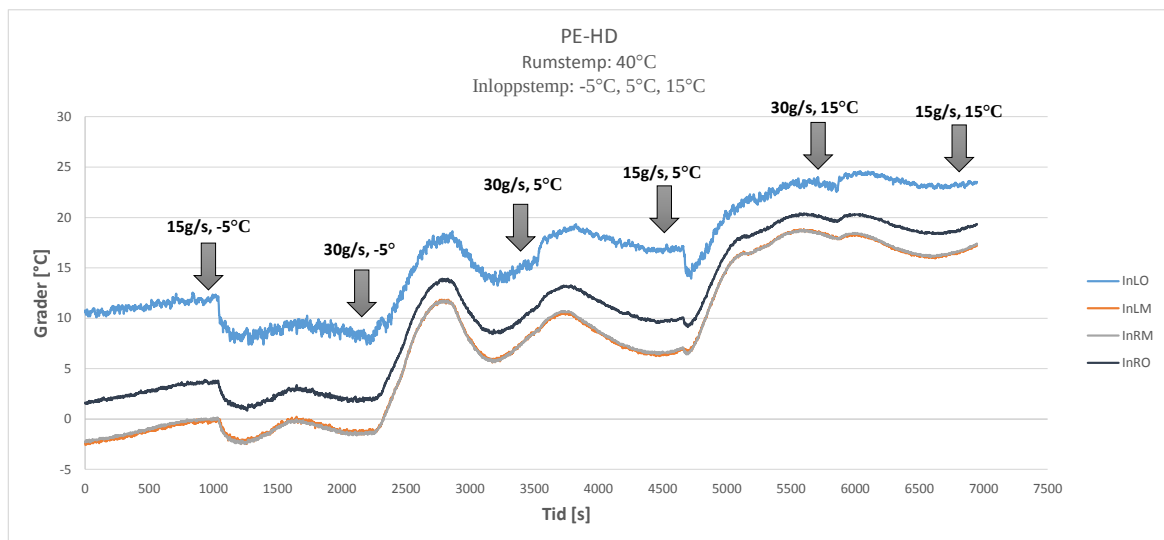
A

Alla inloppstemperaturer, PE-HD i kallt rum



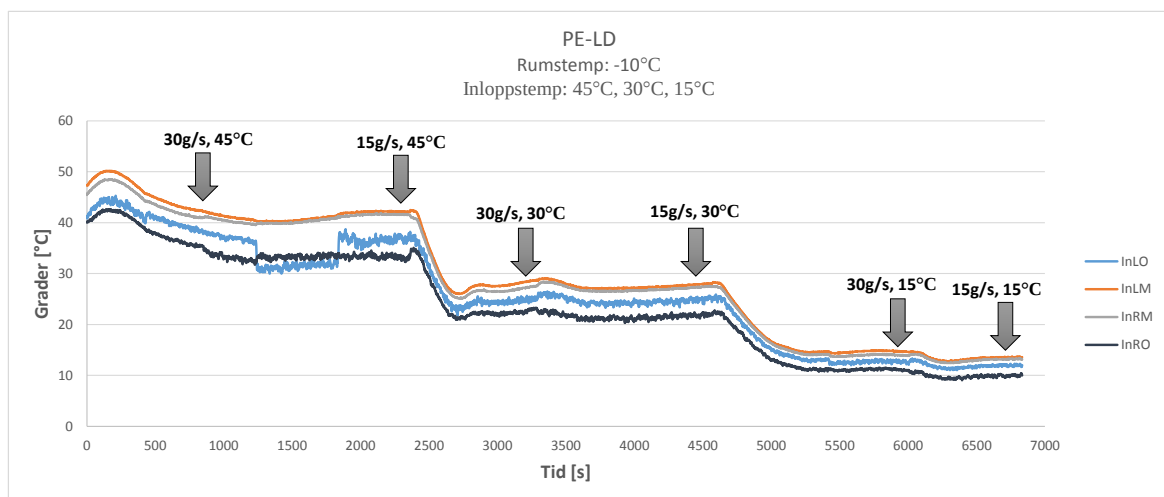
B

Alla inloppstemperaturer, PE-HD i varmt rum



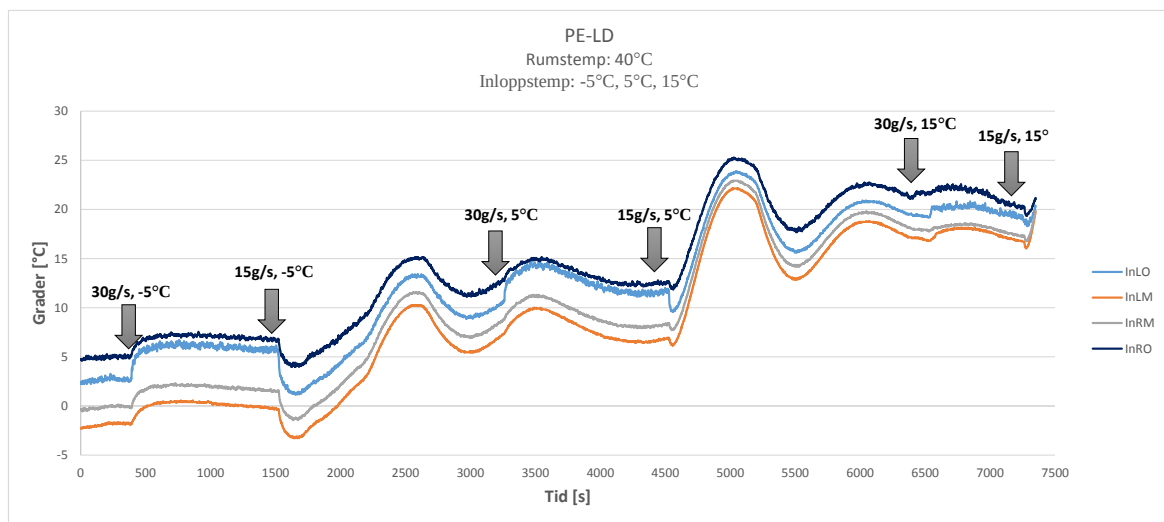
C

Alla inloppstemperaturer, PE-LD i kallt rum



D

Alla inloppstemperaturer, PE-LD i varmt rum



E

Mätserie för NVH

Mätning nr.	Varvtal [rpm]	Ledskenornas position	Vent: stängd/öppna
1	1000	Mitten	Alla öppna
2	2000	Mitten	Alla öppna
3	3000	Mitten	Alla öppna
4	3500	Mitten	Alla öppna
5	3500	Vänster	Alla öppna
6	3000	Vänster	Alla öppna
7	2000	Vänster	Alla öppna
8	1000	Vänster	Alla öppna
9	1000	Höger	Alla öppna
10	2000	Höger	Alla öppna
11	3000	Höger	Alla öppna
12	3500	Höger	Alla öppna
13	3500	Mitten	1:1 & 2:2 öppna
14	3000	Mitten	1:1 & 2:2 öppna
15	2000	Mitten	1:1 & 2:2 öppna
16	1000	Mitten	1:1 & 2:2 öppna
17	1000	Mitten	1:2 & 2:1 öppna
18	2000	Mitten	1:2 & 2:1 öppna
19	3000	Mitten	1:2 & 2:1 öppna
20	3500	Mitten	1:2 & 2:1 öppna
21	3500	Mitten	1:1 & 1:2 öppna
22	3000	Mitten	1:1 & 1:2 öppna
23	2000	Mitten	1:1 & 1:2 öppna
24	1000	Mitten	1:1 & 1:2 öppna
25	1000	Mitten	2:1 & 2:2 öppna
26	2000	Mitten	2:1 & 2:2 öppna
27	3000	Mitten	2:1 & 2:2 öppna
28	3500	Mitten	2:1 & 2:2 öppna
29	1000	Inga vent	Inga vent
30	2000	Inga vent	Inga vent
31	3000	Inga vent	Inga vent
32	3500	Inga vent	Inga vent

F

Materialdiagram

