

Implementering av passivhusteknik i bilar – ett steg mot en energieffektiv kupéuppvärmning

ERIK CLAEISSON
SOFIE HELMERSSON
JONAS STRÖMSTEN
ANNA WILLHAMMAR
ANDERS ÖDLING

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Maskinteknik

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för Produktutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete PPUX03-12-04

Implementering av passivhusteknik i bilar

– ett steg mot en energieffektiv kupéuppvärmning

Kandidatarbete i produktutveckling

ERIK CLAESSION
SOFIE HELMERSSON
JONAS STRÖMSTEN
ANNA WILLHAMMAR
ANDERS ÖDLING

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för Produktutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012

Implementering av passivhusteknik i bilar

ERIK CLAESSION
SOFIE HELMERSSON
JONAS STRÖMSTEN
ANNA WILLHAMMAR
ANDERS ÖDLING

© ERIK CLAESSION, SOFIE HELMERSSON, JONAS STRÖMSTEN, ANNA WILLHAMMAR, ANDERS ÖDLING, 2012

Handledare: Universitetslektor Lars Almefelt
Extern handledare: Stefan Svedhem, Innovatum AB
Examinator: Professor Hans Johannesson

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för Produktutveckling
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Koncept schematiskt implementerat i en Volvo S60.
Göteborg, Sverige 2012

Sammandrag

Rapporten behandlar svårigheterna att på ett energieffektivt sätt temperera dagens bilkupéer. Förbränningsmotorer har historiskt genererat spillvärme som nyttjats till att temperera bilens kupé. De senaste årens utveckling, framförallt av förbränningsmotorer hos dieslbilar, har ökat motorernas verkningsgrader och därmed reducerat genereringen av spillvärme. Då denna värmekälla kraftigt reduceras uppstår behovet av att ersätta, eller minska behovet av, den förlorade värmeenergin. I rapporten antas därför spillvärmerna, som i fallet med el- och dieslbilar, vara mycket liten.

Målet med arbetet är att utveckla ett koncept som mer energieffektivt tempererar bilkupéer, då en allt större del av bilens energiförbrukning idag utgörs av kupétempereringen. För detta ändamål undersöks möjligheten att implementera delar av passivhusteknik i bilar. Passivhusteknik finns idag inom byggnadssektorn och energieffektiviserar uppvärmningen av hus genom en tät konstruktion där isolering samt välplacerade fönster ger en jämnare inomhustemperatur, oberoende av utomhusklimat.

I rapporten ligger ett övervägande fokus på uppvärmningen av kupén då detta kan kopplas till bristen av spillvärme. Kupéuppvärmningen kan delas upp i tre områden; minimering av värmeläckage, generering av värme samt hantering av fuktutfällning på rutor. Lösningar till dessa områden genereras och analyseras, varav hela koncept sätts samman och utvärderas mot varandra.

Konceptet som ansågs uppfylla kraven bäst innefattar en kombination av kupéisolering, förbättrade rutor, en luftvärmepump samt en värmeväxlare. Kupén isoleras med vakuumisolering, en högpresterande isolering som upptar en liten volym vilket är en förutsättning vid platsbristen som råder i en bil. Fönsterrutorna i en bil utgör stora köldbryggor och genom att ersätta de befintliga enkelglasen med dubbelglas med emissionsskikt kan kupén isoleras ytterligare. Dessa implementeras däremot inte på vindrutan då de inte uppfyller rådande lagkrav gällande sikt och säkerhet för vindrutan. Värmeväxlaren överför värme från den varma utgående kupélufte till den ingående luften. Genom detta minskas behovet av att temperera den ingående luften, varav energiförbrukningen reduceras. Luftvärmepumpen sitter efter värmeväxlaren och ger kupélufte dess slutgiltiga temperatur. Den ger förutom en energieffektiv värmeproduktion även möjligheten att kyla kupélufte om så önskas.

En implementering av konceptet skulle reducera bilens behov av spillvärme för att erhålla ett behagligt kupéklimat. Effektförbrukningen vid årsmedeltemperaturen i Stockholm skulle reduceras med 80 %, vilket är en betydande reduktion av effektbehovet. Nackdelen med konceptet är att det blir något dyrare att tillverka då fler komponenter används samt att bilens vikt ökar. Dock anses detta vägas upp av det kraftigt reducerade energibehovet för att temperera kupén, och projektets syfte anses därmed vara uppnått.

Även om konceptet tyder på att kraftig energieffektivisering av kupétempereringen återstår arbete innan det kan produceras. Det bör utföras en noggrannare undersökning av bilens värmeläckage, främst under drift. De teoretiska beräkningarna bör även kompletteras med praktiska tester för att säkerställa resultatet.

Abstract

This thesis deals with the difficulties to temper a car coupé efficiently. Combustion engines have historically generated enough waste heat to temper the car coupe. However, the recent development has increased the efficiency of combustion engines, particularly in diesel engines. Due to this the amount of waste heat has been reduced. This creates a need to either replace the lost waste heat, or to reduce the demand thereof. Throughout this thesis the waste heat is assumed to be insufficient to meet the high efficiency of the engines of today.

The purpose of this work is to generate a concept that tempers the car coupé energy efficiently. To meet this purpose a special technique called passive house technology is to be studied closely. Passive house technology is well known in the building sector and is based on a construction which prevents air from leak out, by way of insulation and well insulated windows. This allows the temperature of the house to remain almost constant regardless of the outside temperature. A heat exchanger tempers the air that enters the house with the heat of the expiring air. The combination of the heat exchanger and the insulation reduces the heat leakage and the need of external energy to temper the house.

This thesis mainly focuses on the heating of the car coupe due to the lack of waste heat. This question can be divided into three separate areas to be studied. These areas are: reducing heat loss, heat generation and the problem with precipitate of condensation at the windows of the car. Solutions to these problems/questions are generated and combined to complete concepts that are compared to each other using matrices.

The concept that was presumed to generate the best complete solution, while meeting the specified requirements, was a concept including insulation, a heat exchanger, an air heat pump and improved windows. The coupe is insulated with a special type of vacuum insulation, a material that could be made efficient even though it is quite thin, a requirement due to the lack of space in the car. The windows of a car allow the heat to flow through quite easily, but by replacing the existing glasses consisting of one layer of glass by a two layer glass with a thin emission protecting film, the coupe can be further insulated. However, the protecting film cannot be put on top of the windscreen due to strict legislative demands concerning visibility and safety. The heat exchanger tempers the air that enters the car by transmitting heat from the air going out to the air coming in. By doing this the energy needed to heat the car can be reduced. An air heat pump is installed after the heat exchanger. The air heat pump heats the air that exits the heat exchanger to the temperature of the car coupé.

By implementing the concept the amount of energy needed to heat the car coupe is reduced by 80% when the calculations are based on the mean annual temperature of Stockholm, Sweden. The negative aspects of the concept are that the weight and price is increased. Although the less energy needed to temper the car coupé is found more important than the increase in weight and price, and the purpose of the project is reached.

Even though the concept largely reduces the energy needed to heat the car coupé a lot of work still needs to be done before the concept can be manufactured. A closer study of the heat leakage should be conducted, particularly when the car is moving. The theoretical calculations should be complemented by practical tests to see if the results are reliable.

Förord

Denna rapport är ett resultat av ett kandidatarbete som är utfört under vårterminen 2012 vid Chalmers tekniska högskola i Göteborg som en del av civilingenjörsutbildningen i maskinteknik. Rapporten är skriven för personer som innehar grundläggande tekniska kunskaper.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare Lars Almefelt, universitetslektor vid institutionen för produkt- och produktionsutveckling vid Chalmers tekniska högskola, samt Stefan Svedhem, projektledare energi- och miljöteknik vid Innovatum AB, som har guidat oss genom detta arbete. Vidare vill vi sända ett stort tack till Magnus Bäckelie vid Volvo Cars för den hjälp han bidragit med under arbetets gång samt för att vi fick låna en bil som vi kunde genomföra våra mätningar på. Sedan vill vi tacka Lars-Erik Åmand, Paula Wahlgren, Filip Nielsen och Pär Johansson för att ni tagit er tid att besvara alla våra frågor. Slutligen vill vi tacka Hans Eek för den information och diskussion vi hade gällande passivhus.

Terminologi

AC-anläggning = System som används för att reglera temperatur och fukthalt i ett utrymme.

B-stolpe = Del av karossen som fungerar som takstöd och är placerad mellan fram- och baddörr.

Kylprocess = En process som består av en kondensator, expansionsventil, förångare samt en kompressor som ett kylmedium transporteras genom. Används för effektiv omvandling av el till värme.

P-h-diagram = Tryck-entalpi-diagram.

PTC-element = Effektiva element som bland annat används som stolsvärmare i bilar. Består av termistorer tillverkade av ett keramiskt material som ger elementen dess goda ledningsförmåga.

PUR-skum (Polyuretan) = En polymer som är ljudisolerande.

Termografering = Värmemätning med kamera.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Projektets problem	1
1.2	Syfte och avgränsningar	2
2.	Grundläggande teori	3
2.1	Dagens klimatanläggning.....	3
2.2	Passivhusteknik.....	4
3.	Metod	7
3.1	Definition av systemets ramar.....	7
3.2	Anskaffande av information	7
3.3	Projektdefinition	7
3.4	Definition av delproblem samt projektets syfte och avgränsningar	8
3.5	Kundkrav samt upprättande av kravspecifikation.....	8
3.6	Konceptgenerering	9
3.7	Val av koncept att vidareutveckla	9
3.8	Vidareutvecklingsarbete med fokus på detaljkonstruktion	9
4.	Konceptframtagning med hjälp av idégenerering	11
4.1	Kravspecifikation	11
4.2	Nedbrytning till delproblem	11
4.2.1	Primära delproblem	11
4.2.2	Sekundära delproblem	12
4.3	Dellösningar till de primära delproblemen	12
4.3.1	Minimering av värmeläckage	12
4.3.2	Generering av värme.....	15
4.3.3	Kondens på fönsterrutor	17
4.4	Kontroll av kravuppfyllnad med hjälp av elimineringsmatriser	21
4.5	Möjliga konceptlösningar med hjälp av morfologisk matris	24
4.6	Konceptval med stöd av Kesselringmatris.....	25
5.	Vidareutvecklingsarbete med fokus på detaljkonstruktion.....	27
5.1	Val av isoleringsmaterial.....	27
5.1.1	Termografering av Volvo S60	28
5.1.2	Isoleringens påverkan för värmeöverföringen i bilen	32
5.1.3	Isoleringens påverkan på effektbehovet för kupéuppvärmningen	37
5.2	Värmeväxlare.....	38
5.2.1	Dimensionering av värmeväxlare	39

5.2.2	Effektbesparing värmepump.....	42
5.3	Luftvärmepump	42
5.3.1	Luftvärmepumpens konstruktion	42
5.3.2	Dimensionering av luftvärmepump	43
5.3.3	Luftvärmepumpens påverkan på effektbehovet	44
5.4	Komponenternas placering i bilen.....	45
5.5	Konceptets totala effektminskning	47
6.	Slutsats och rekommendationer	49
7.	Diskussion.....	53
	Källförteckning.....	55
	Bilaga A – Kravspecifikation	1
	Bilaga B – Beräkning isolering	3
	Bilaga C – Beräkning värmepump	7
	Bilaga D – Beräkning luftvärmepump	9

1. Inledning

Uppvärmningen av kupén i dagens bilar utnyttjar den spillvärme som en konventionell förbränningsmotor alstrar. I takt med den ökade verkningsgraden hos motorerna minskar tillgången på överflödigt värme. Reduceringen av värmeenergin resulterar i att denna värmekälla måste ersättas av en alternativ energikälla för att upprätthålla ett behagligt kupéklimat. Särskilt märkbart är detta i en elbil där tillgången på spillenergi är mycket begränsad.

Då låga framdrivningskostnader är kundvärdeshöjande är det rimligt att anta att verkningsgraden hos motorerna kommer att öka ytterligare samt att framdrivningsmotståndet kommer att reduceras. En direkt följd av detta är alltså att den tillgängliga mängden spillvärme kommer minska radikalt och därmed kommer tempereringen av kupén att stå för en större del av bilens totala energiförbrukning.

Historiskt sett har tillgången på spillvärme varit relativt hög, vilket har resulterat i att bilens värmeläckage inte har varit något betydande problem. Följaktligen har bilindustrin inte lagt några omfattande resurser på att öka bilens isolerande egenskaper för att reducera energibehovet. I fastigheter kan det externa energibehovet minskas med hjälp av passivhusteknik, där husets värmeförluster reduceras genom exempelvis isolering samt tillvaratagning av spillvärme och solinstrålning.

Gruppens arbete är att undersöka möjligheten att implementera denna teknik i bilar och därmed analysera hur kupén i framtidens bilar kan klimatiseras på ett energieffektivare sätt.

1.1 Projektets problem

Projektet ska generera ett lösningsförslag på hur den befintliga energin kan hushållas för att förbättra kupétempereringen i personbilar, som följd av att dagens och morgondagens motorer genererar lite eller ingen spillvärme. Bristen av spillvärme i kombination med bilens dåligt isolerande egenskaper resulterar i en alltför energikrävande temperering av kupén.

En av svårigheterna är det varierande utomhusklimatet med skiftande temperatur och luftfuktighet. Kupéklimatet bör därför kunna regleras för nedkylning, uppvärmning samt avfuktning.

Ytterligare ett problem är att bilens läckande kupé leder till att en stor del av den energi som tillförs via tempereringen går om intet. En viktig uppgift blir att lokalisera dessa läckor för att sedan om möjligt minimera förlusterna av värme respektive kyla i kupén.

Kupén kan även vara tempererad vid fel tidpunkt vilket leder till ineffektiv användning av energiresurserna. Exempelvis då bilen startas dröjer det en stund innan den blir varm och då bilen parkeras är den fortsatt varm trots att ingen passagerare befinner sig i den.

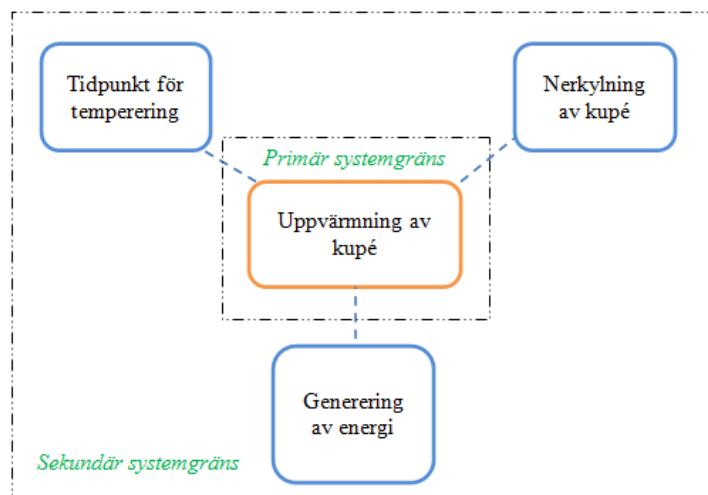
Fukt transporteras in i kupén på olika sätt, både genom utandning och kroppens transpiration, men framförallt genom vatten och snö som följer med kläder och skor när passagerarna kliver in i bilen. Det huvudsakliga problemet med fukt är att det kan uppstå kondensutfällning på fönsterrutorna vilket försämrar förarens sikt.

Då en lösning på ovanstående problem innebär förändringar av bilens konstruktion och materialanvändning är det viktigt att säkerheten beaktas. I säkerhet inkluderas inte bara krocksäkerhet utan även aspekter som brandsäkerhet, sikt och hur lätt det är att ta sig ut ur bilen. Dessutom får inte konstruktionens vikt öka drastiskt då lösningen måste vara både ekonomiskt och miljömässigt försvarbar.

1.2 Syfte och avgränsningar

Syftet med projektet är att ta fram en systemlösning som hushåller med den befintliga energin för att optimera kupétempereringen i kommande generations personbilar. Det skall särskilt undersökas om den teknik som används för att klimatisera passivhus kan implementeras som en del av lösningen.

Då det bakomliggande problemet i projektet är att mängden spillvärme som genereras av motorn inte täcker kupéns värmebehov, skall fokus ligga på uppvärmningen av kupén. Kylningen av kupén samt tidpunkten för temperering är följaktligen underliggande problem som, om löses, gör konceptet ännu bättre. Fokus skall inte heller ligga på att generera energi utan snarare på att hushålla med den energi som redan finns tillgänglig i bilen. På så sätt går det att dela in projektets mål i olika systemgränser, se figur 1, där huvudproblemet finns inom den primära systemgränsen och de övriga problemen inom den sekundära systemgränsen.



Figur 1: Uppdelning av systemgränser

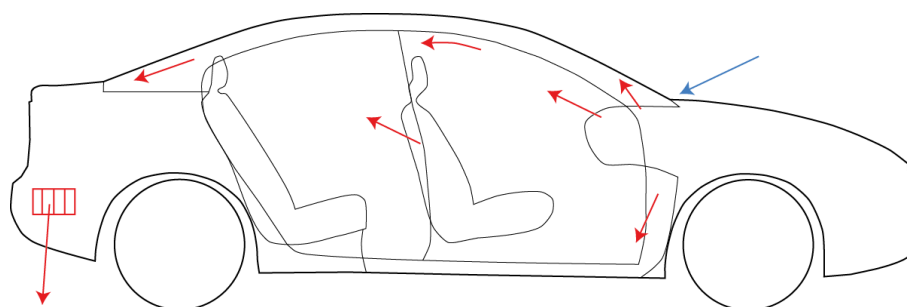
Projektet avgränsas till att anta att minimalt med spillvärme från motorn kan användas till kupéuppvärmningen. Då resurserna för projektet är begränsade avser inte gruppen att ta fram en fysisk fullskalig modell som är redo för produktion, utan konceptet skall endast kunna integreras i en personbil på schematisk nivå vid projektets slut. De olika komponenterna skall däremot detaljkonstrueras mer ingående baserat på beslutsmaterial, främst i form av beräkningar.

2. Grundläggande teori

Projektet grundar sig i två grundläggande teoriavsnitt. Det ena behandlar uppbyggnad samt funktionalitet av dagens klimatanläggningar i bilar och det andra beskriver hur de mest energieffektiva bostäderna, passivhus, konstrueras för att erhålla ett väl fungerande inomhusklimat. Dessa områden förklaras övergripande i följande kapitel.

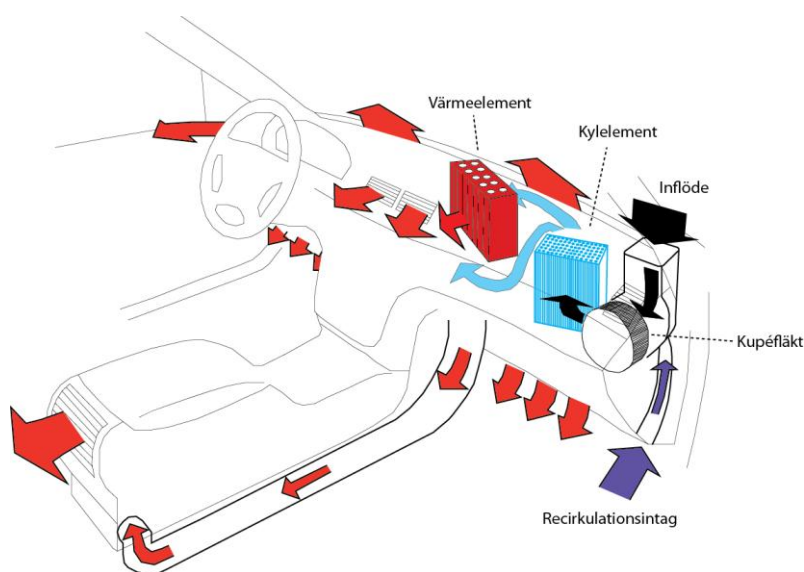
2.1 Dagens klimatanläggning

Merparten av dagens bilar har likartade tillvägagångssätt att klimatisera kupén. Luftintaget sitter nedanför vindrutan där ett övertryck underlättar införseln av friskluft och luftutsläppet sitter i anslutning till bagaget där luften evakueras strax bakom bakhjulen på båda sidor om bilen, se figur 2.



Figur 2: Luftens väg genom kupén

Luftflödet in i kupén passerar ett filter, som renar luften från exempelvis skadliga kolväten samt pollenpartiklar (Volvo Cars, 2012), för att sedan delas upp i två flöden varav det ena kan flöda direkt in i kupén och det andra genom en värmeväxlare. Genom värmeväxlaren flödar, av motorn uppvärmt, kylvatten från bilens kylkrets. Värmeeffekten som värmeväxlaren kan utvinna ur kylvattnet uppgår till cirka 5 kW, enligt Holmberg (2012). Luftmunstycken inne i kupén sitter utplacerade på instrumentpanelen, vid vindrutans nedre del och i vissa fall även på B-stolparna samt mellan framsätena riktade mot baksätet, se figur 3. Luftflödet styrs av en kupéfläkt och ett antal spjäll.



Figur 3: Schematisk bild av klimatanläggning

När risk för imma förekommer samt vid isbildning på rutorna kan luftflödet riktas så att merparten strömmar direkt mot rutorna. Då rutan värms upp med den tillförda varma luftströmmen förskjuts daggpunkten uppåt i temperatur samtidigt som eventuell is tinar på utsidan på grund av rutans generösa värmegenomsläpplighet. Den kondens som redan fällts ut på rutan absorberas av den varma och torra luftströmmen. Värmeslingor integrerade i vindrutan samt bakrutan kan också förhindra kondensutfällning och isbildning då rutorna värms upp. Behovet av värmeslingor är större i bakrutan än i framrutan, till följd av det låga luftflöde som råder runt bakrutan.

Fukthalten i bilkupén regleras bland annat med hjälp av bilens luftkonditionering. Den fuktiga luften leds in till det kalla elementet där luften kyls ner till cirka 4 °C varvid fukt fälls ut och avlägsnas (Filip Nielsen), därefter värms luften åter till önskad temperatur. Även en högre ventileringsgrad, det vill säga ett ökat luftinflöde och luftutflöde, kan sänka luftfuktigheten i kupén såvida fukthalten är lägre på utsidan. Recirkulation av kupéluftens används för att förhindra att obehaglig lukt eller ohälsosam luft ska ta sig in i kupén då en aktivering av recirkulationen stänger ventilationens luftintag och luftutsläpp. Vid recirkulation tar sig kupéluftens in till värmeväxlaren samt fläkten via en öppning vid framsätesspassagerarens fotända. Många klimatanläggningar har temperaturgivare både på insidan och utsidan av kupén samt fuktsensor och möjlighet att mäta solinstrålningen för att på så vis kunna reglera kupéklimatet för att hålla en jämn och behaglig nivå.

2.2 Passivhusteknik

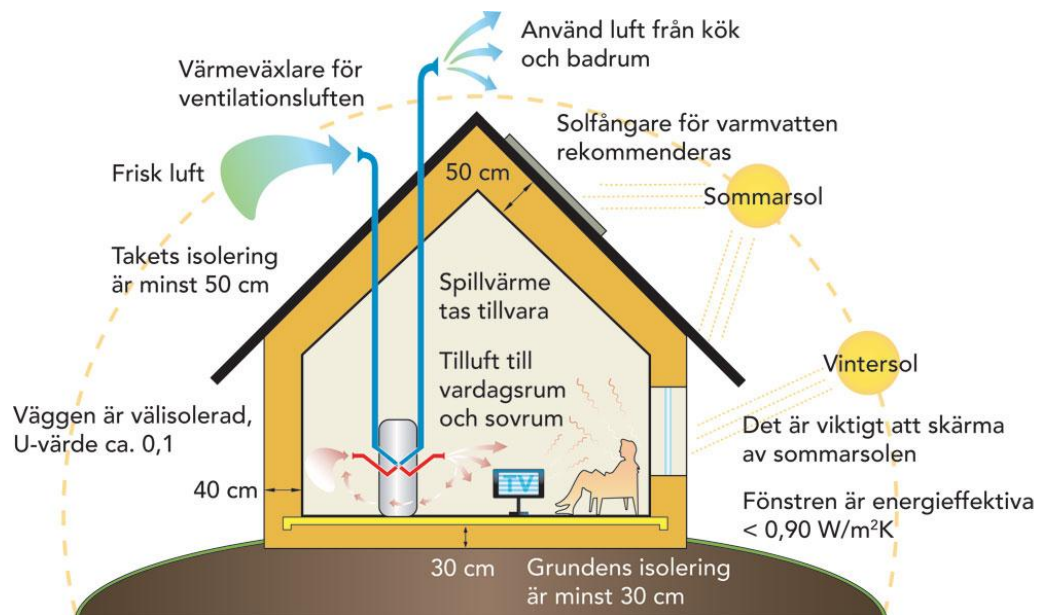
Passivhusteknik bygger på idén att genom tjock isolering och tillvaratagande av spillvärme minimera behovet av extern energi vid klimatiseringen av en bostad. Vid implementering av denna teknik krävs en tät bostad, utan läckor och köldbryggor, vilket uppnås genom tjocka lager av isolering samt tätning runt fönster och dörrar. Ju tjockare isolering, alternativt effektivare isoleringsmaterial, desto mindre extern energi krävs för att värma upp bostaden.

Stora köldbryggor uppstår ofta vid fönster, varav dimensionering och placering av fönsterrutor är en central del av passivhusets konstruktion. En reducering av husets totala fönsterarea minskar energiläckagen och de fönster som blir kvar ges förbättrade isolerande egenskaper genom användning av exempelvis dubbelglas. Ett alternativ eller komplement till dubbelglas är energiglas. Syftet med energiglas är att rutan släpper in solens kortvågiga strålning, ljus, och håller inne den långvågiga strålningen, värme. Då fönsterrutorna håller kvar mer värme i bostaden minskar behovet av externa energikällor.

Placeringen av fönster har också stor påverkan på energiläckaget, ett fönster i taket radierar under natten ut värmestrålning mot det kalla himlavalvet och ökar därmed husets energiförluster. Möjligheten att tillvarata solinstrålning är också ett resultat av fönstrens placering och storlek. För att maximera nyttan av solinstrålning har passivhus panoramafönster åt söder och små fönster åt norr. Under årets varma månader är solinstrålningen icke önskvärd och skärmas då av med hjälp av solskydd som sitter ovanför fönsterrutorna. Således placeras fönster i passivhus främst i vertikala väggar företrädesvis åt söder. Utöver värmen som genereras från solinstrålningen erhåller passivhus främst sin värmeenergi från hushållsapparaters spillvärme samt människors kroppsvärme. Isoleringen och tätheten av bostaden ökar förutsättningarna för att dessa källor ska generera hela värmebehovet. Vid riktigt kalla utomhustemperaturer kan externa energikällor som batteri eller värmepump vara aktuella att använda som komplement.

För att erhålla ett bra inomhusklimat kräver alla hus ventilering, alltså att utomhusluft ersätter inomhusluft. I passivhus förebyggs ventilationsförluster genom användning av värmeväxlare. Värmeväxlaren leder över värme från den varma inomhusluften till den kalla utomhusluft som är på väg in i bostaden.

Detta system leder till att mer än 80 % av värmen kan återföras till huset. En övergripande illustration över systemet finns i figur 4.



Figur 4: Schematisk bild av passivhus (Passivhus nordn, 2009)

3. Metod

För att säkerställa att konceptet som togs fram löser den uppsatta problemformuleringen användes vedertagna metoder för ingenjörarbete. Dessa syftar till att skapa en struktur som bidrar till att arbetet sker inom den uppsatta tidsramen. Helhetsperspektivet är centralt även fast en viss del av arbetet sker på detaljnivå.

Flertalet av metoderna som presenteras nedan har använts iterativt för att säkerställa erhållandet av den bästa lösningen. För att ge en övergripande bild över hur arbetet fortskridit presenteras och motiveras nedan de metoder som använts i projektet.

3.1 Definition av systemets ramar

Den första delen i projektet bestod av att undersöka bilkupéns uppbyggnad och vad som påverkade denna. Faktorerna som kan påverka systemet undersöktes genom en uppsättning av möjliga scenarion och miljöer som bilen kan återfinnas i. Detta för att enklare finna de aspekter som påverkar kupéklimatet i bilen.

Ett strukturerat arbetsförfarande i kombination med ett tidigt introducerat systemramstänk reducerade risken för att viktiga aspekter som påverkar systemet ej förbises. En nackdel med detta synsätt var den otillräckliga kunskapen som gruppen besatt vid arbetets begynnelse, vilket resulterade i att svårigheter uppkom vid väsentlighetsbedömningen av den erhållna informationen.

3.2 Anskaffande av information

Parallellt med arbetet med att definiera systemets ramar påbörjades en informationsanskaffning av ämnen som berörde projektet. Detta var en fortlöpande process som pågick under hela arbetets gång. Informationsinsamlingen innefattade studerande av ämnesrelaterade böcker, forskarrapporter, filmer, internetsidor samt intervjuer med handledarna Lars Almfelt och Stefan Svedhem. Under processen granskades källorna kritiskt, bland annat genom en jämförelse. Det utfördes även ett studiebesök på Passivhuscentrum med Hans Eek, expert på passivhusteknik för att erhålla särskild ämneskunskap inom detta område.

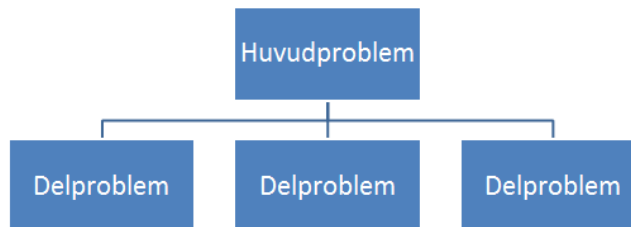
Anskaffandet av informationen gav en djupare kunskap om hur dagens klimatsystem i konventionella personbilar fungerar, vilket var nödvändigt för att utreda på vilket sätt kupéklimatet skulle kunna förbättras. Genom en användning av flera olika informationskällor erhöles en bred kunskapsbas inom flera områden samtidigt som djupare detaljkunskap kunde erhållas genom kontakter med områdesexperter på Volvo Cars, Passivhuscentrum och Chalmers tekniska högskola. Följaktligen erhöles projektgruppen ökad kunskap inom kupéklimat och dess närrelaterade områden.

3.3 Projektdefinition

För att nå ett tillfredställande resultat var det nödvändigt att i ett tidigt skede av projektet fundera över vad projektet skulle leda till, dess syfte och mål. För att uppfylla målen avgränsades projektet i ett antal avseenden så att det inte blev alltför omfattande. Dessutom uppfördes en tidsplan, då det annars är svårt att visualisera vad som skall göras i projektet. En grov planering av projektets olika faser medförde att en leverans av konceptförslag inom projektets tidsramar försäkrades.

3.4 Definition av delproblem samt projektets syfte och avgränsningar

Projektets primära problem, uppvärmningen av kupén, delades upp i mindre delproblem, se figur 5. Indelningen säkerställde att samtliga problem som berörde kupéklimatet beaktades och löstes. Ofta är det även enklare att arbeta med lösningar till mindre komplexa problem för att sedan kombinera lösningarna till ett slutgiltigt koncept.



Figur 5: Principiell uppdelning av huvudproblem

En nackdel med denna metod är risken att de olika dellösningarna ej går att kombinera, på grund av motstridigheter, eftersom en dellösning kan ge upphov till problem vid kombination med en annan dellösning. Hänsyn till dessa interaktioner togs under konceptgenereringsfasen.

3.5 Kundkrav samt upprättande av kravspecifikation

För att en produkt i dagens samhälle ska vara konkurrenskraftig är det viktigt att uppfylla de krav och önskemål som kunden ställer på produkten. Kundkraven utgör grunden för det framtida konceptet sammanställdes de i en kravspecifikation, se figur 6. Kravspecifikationen syftade till att specificera de krav och mått som produkten ska uppfylla och omarbetades kontinuerligt under projektets gång när kraven förändrades. Fördelen med att upprätta en kravspecifikation är att den överskådligt redogör för alla krav som produkten ska uppfylla, och kan därför användas som underlag vid beslutsfattande om vidareutveckling av en lösning. Andra funktioner med kundvärdeökande egenskaper försökte återfinnas och specificeras, vilket genomfördes genom en analys av konkurrenters lösningar, försök att analysera framtida trender samt litteraturstudier om bilindustrin. Hela tiden beaktades de lagar och krav som ställts av myndigheterna.

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation Implementering av passivhusteknik i bilar				
Utfärdare:		Skapad: 2012-02-16 Modifierad: 2012-03-20				
Kriterier	Krav/ Önskemål	Enhet	Mätvärde	Kravställare	Verifieringsmetod	
1. Effektbehov						
1.1 Effekt tillförd kupén	K	W	5000	Biltillverkare och kund	Beräkningar	
1.2 Totalt effektbehov	K		Lägre än dagens bilar	Biltillverkare och kund	Beräkningar	
12. Hållfasthet						
12.1 Skaktålig	K	N	100, i samtliga led	Kund	Skakprov	

Figur 6: Utdrag ur kravspecifikationen

Kundönskemål kunde även erhållits genom att genomföra en större marknadsundersökning. Fördelen med användandet av en marknadsundersökning är att en stor grupp människors åsikter hade samlats in, vilket hade gett en bred och representativ kundåsikt förutsatt att undersökningen hade gjorts på rätt sätt. Anledningen till att en marknadsundersökning inte utfördes var att tiden för projektet var begränsad.

3.6 Konceptgenerering

Med det primära problemet som utgångspunkt genomfördes en konceptgenerering som resulterade i dellösningar till respektive delproblem. Delproblemen är ofta mindre komplexa vilket underlättade visualiseringen av lösningar till dessa. Lösningarna på delproblemen konstruerades först genom brainstorming, vilket är en metod som grundar sig i kreativt tänkande där syftet är att generera en stor mängd lösningsförslag. Nackdelen med att använda sig av brainstorming är att det ofta är svårt att vara kreativ på beställning. Generellt genererar brainstorming kvantitativt många lösningsförslag men kvaliteten på dessa är ofta bristfällig. Det är även svårt att lösa ett komplext problem enbart genom att förlita sig på kreativitet, ofta krävs det strukturerat och noggrant arbete. Dock kan idéer födas genom brainstorming som sedan vidareutvecklas genom strukturerat arbete.

Även om fokus låg på att konstruera dellösningar som kombinerades ihop till hela koncept, gjordes försök att konstruera hela koncept från grunden utan användandet av de olika dellösningarna. Dessutom användes befintliga produkter inom bilindustrin samt byggbranschen som inspiration inför konceptgenereringen.

Lösningarna till delproblemen kombinerades ihop till fullständiga koncept i en morfologisk matris. En sådan ger upphov till alla möjliga kombinationer av koncept. Genom att se vilka dellösningar som kunde integreras med de övriga kunde en mängd otänkbara kombinationer rationaliseras bort. Fördelen med att använda sig av en morfologisk matris är att arbetet sker systematiskt vilket gör att risken för att missa en möjlig lösning reduceras. Dock blir arbetsinsatsen relativt stor.

3.7 Val av koncept att vidareutveckla

För att kunna jämföra koncepten mot varandra samt utreda vilket som var det bästa, var det nödvändigt att utreda om koncepten uppfyllde kraven i kravspecifikationen. Om de inte skulle uppfylla de uppställda kraven skulle det vara onödigt arbete att vidareutveckla dessa koncept, varvid de eliminerades med hjälp av en elimineringsmatris. Det ledde till att det fortsatta arbetet kunde fokusera på de koncept som uppfyller kraven.

Jämförelsen mellan koncepten gjordes i en Kesselringmatris(Kesselring, 1951). I Kesselringmatrisen vägs koncepten mot ett antal kundkriterier och önskemål som anses viktiga att de uppfyller. Det koncept som uppfyller kriterierna mest tillfredställande är det koncept som slutligen väljs för vidareutveckling. En Kesselringmatris är fördelaktig att använda istället för en Pughmatris då den använder viktade kriterier. Kriterier som är särskilt viktiga ges en större betydelse vilket en Pughmatris saknar. Följaktligen genererar en Kesselringmatris ett mer korrekt resultat.

3.8 Vidareutvecklingsarbete med fokus på detaljkonstruktion

För att slutligen erhålla ett konceptförslag som kan ligga till grund för fullskalig produktion var det nödvändigt att vidareutveckla lösningsförslaget. Detta gjordes genom att detaljutveckla det schematiska lösningsförslaget. Detaljutvecklingen bestod huvudsakligen av matematiska beräkningar för dimensionering av de ingående delarna. För att utföra dessa beräkningar gjordes även ett studiebesök på Volvo Cars, där en termografering av en Volvo S60 utfördes för att erhålla nödvändigt beräkningsunderlag inför dimensioneringen.

Genom att detaljkonstruera konceptet och ta fram ett konceptförslag som schematiskt integrerades i bilen kunde även paralleller dras till den nuvarande lösningen och en jämförelse gjordes för att se hur väl problemen åtgärdats.

4. Konceptframtagning med hjälp av idégenerering

När tillräcklig kunskap finns efter informationsanskaaffningen kan de egentliga problemen, som projektet inriktas på, identifieras. Dessa problem delas in efter hur viktiga de för kunden, varav lösningen sedan genereras med hjälp av vedertagna metoder, se avsnitt 3.

4.1 Kravspecifikation

Kravspecifikationen är uppbyggd av ett antal huvudrubriker så att olika typer av krav och lagar, som produkten ska uppfylla, kan kategoriseras. Exempel på huvudrubriker är *Energiförbrukning*, *Säkerhet* och *Livslängd*. Under varje huvudrubrik finns flera nivåer av underrubriker där detaljeringsgraden på kravet ökar desto lägre nivå som kravet återfinns på. Exempelvis återfinns kravet *Ej brandfarliga material* under huvudrubriken *Miljöpåverkan*. De uppställda kraven kompletteras med ett måtvärde och en metod som kravet kan verifieras genom. Detta för att säkerställa att de komponenter som väljs verkligen uppfyller kraven. Dessutom sammanställs kraven i ett samlat dokument, vilket underlättar arbetet. För den fullständiga kravspecifikation, se Bilaga A.

4.2 Nedbrytning till delproblem

För att ta fram ett koncept som energieffektivt värmer upp bilkupéer behöver alla delproblem beaktas. Anledningen till att huvudfrågeställningen bryts ned i delproblem är att säkerställa att alla delproblem tas hänsyn till, vilket ökar chansen att det slutgiltiga konceptet verkligen löser de befintliga problemen. Dessutom är det ofta enklare att arbeta med lösningar till mindre komplexa problem för att sedan integrera lösningarna så att de fungerar tillsammans.

Projektet är enligt problemformuleringen indelat i en primär- och en sekundär systemgräns. Det problemet som projektet fokuserar på ryms inom den primära systemgränsen, de övriga i den sekundära. De sekundära delproblemen prioriteras inte lika högt i projektet, men bidrar till ökat kundvärde om de löses.

4.2.1 Primära delproblem

Bristen på spillvärme från motorrummet resulterar i ett behov av att generera värme från andra energikällor. Då trenden idag tyder på att motorns spillvärme i framtiden kommer att reduceras tas ingen hänsyn till denna i projektet. Konceptet skall även kunna appliceras på elbilar där spillvärmerna från motorn är mycket begränsad. Detta resulterar i att värmegenereringen är ett av de primära problemen som ska lösas.

För att minska det totala effektbehovet som behövs för uppvärmningen måste värmeläckaget ut från bilkupén minimeras. Det kan även medföra att värme från omgivningen behöver förhindras från att entra kupén då detta skulle medföra ett ökat behov av nedkylning.

I dagsläget är fukten inne i kupén ett stort problem då denna fälls ut på bilens fönsterrutor. Fukttutfällningen leder till försämrade sikt för föraren och elimineringen av kondensen resulterar i en ökad energiåtgång. Om värmeläckaget ut ur kupén minimeras kommer temperaturdifferensen mellan insidan av kupén och den direkta utsidan av bilen bli större, vilket kan resultera i ökad risk för kondensutfällning då varmare luft kan innehålla mer fukt. Dock kvarstår problemet om hur fuktelimineringen skall lösas energieffektivt för att se till att föraren kan framföra bilen på ett säkert sätt.

4.2.2 Sekundära delproblem

Den minskade mängden spillvärme som finns att tillgå leder till att en ökad mängd energi tas från batteriet för uppvärmning och kylning av bilens kupé. Den ökade batterianvändningen blir ett problem vid fallet med en elbil, då batterikapaciteten är avgörande för hur lång räckvidd bilen har. Utmaningen är att försöka att använda så lite som möjligt av batterikapaciteten till funktioner som inte har med framdrivningen av bilen att göra.

Bilkupéerna är i dagens bilar ofta tempererade vid fel tidpunkt. Då föraren stiger in i bilen tar det en stund innan bilkupén uppnått den önskade temperaturen. Problemet finns även då föraren lämnar bilen eftersom bilen är rätt tempererad trots att ingen sitter i den. Det har alltså använts energi till att åstadkomma ett behagligt klimat som ingen har nytta av.

4.3 Dellösningar till de primära delproblemen

Med de primära delproblemen som utgångspunkt genereras dellösningar till dessa. Till de sekundära delproblemen genereras inga lösningar utan dessa används istället som viktiga kriterier vid utvärderingen av koncepten. De koncept som vid beslutsprocessen även anses lösa de sekundära delproblemen anses alltså bättre än ett förslag som endast löser de primära. Dellösningarna presenteras och förklaras nedan under respektive delproblem för att sedan vidareutvecklas till en högre detaljeringsgrad.

4.3.1 Minimering av värmeläckage

Vid en läckande kupé åtgår det mycket energi för att bibehålla ett önskat kupéklimat. Följande dellösningar har tagits fram för att minimera värmeläckaget.

4.3.1.1 Isolering

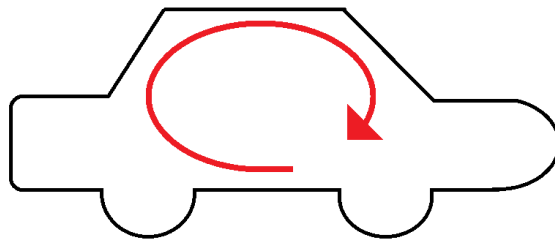
Att isolera bilkupén, oavsett hur det praktiskt genomförs, bidrar till en förbättrad möjlighet att bibehålla en behaglig kupétemperatur. Detta gäller både om det råder kalla eller varma utomhusförhållanden vilket resulterar i ett minskat energibehov då de direkta värmeläckagen genom bilens konstruktion minimeras. Det finns flera varianter på isolering, såsom användning av exempelvis glasfiberull, aerogel eller vakuumisolering, se figur 7.



Figur 7: Olika varianter av isolering (Nasa, 2012) (XL bygg, 2012) (De store bygningers økologi, 2012)

4.3.1.2 Recirkulering

Recirkulation av luften i bilkupén innebär en återanvändning av den värmeenergi som redan finns i luften, vilket illustreras i figur 8. Det är dock bara möjligt att recirkulera luften vid vissa temperaturer då risken för kondensutfällning på fönsterrutorna annars ökar. Då recirkulationen är avstängd ersätts den fuktiga luften med ny torrare luft genom en total substitution av den befintliga luften. Det går även att kombinera friskluft med recirkulerad luft, exempelvis genom en blandning av 75 % recirkulerad luft och 25 % friskluft, detta i huvudsak för att minska risken för kondensutfällning.

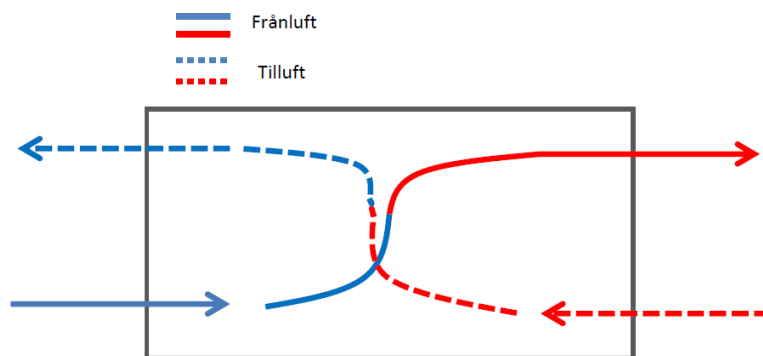


Figur 8: Recirkulation av kupén

4.3.1.3 Värmeväxling

För att erhålla ett behagligt inomhusklimat behöver luften inne i kupén bytas ut relativt frekvent. Vid luftbyte genom värmeväxling kan den uppvärmda kupéluften användas för att temperera utomhusluften innan den strömmar in i kupén. Detta medför att utomhusluften får en temperatur som ligger närmre den önskade inomhustemperaturen och därmed behöver mindre energi användas för att kunna nå ett behagligt inomhusklimat.

En värmeväxlares principiella funktion är att föra över värmeenergi från ett medium till ett annat. Principen illustreras i figur 9. Detta sker genom att använda ett material med hög värmeledningsförmåga som leder värmen mellan de medium som finns. Aktuella medium skulle kunna vara antingen luft eller ett köldmedium.

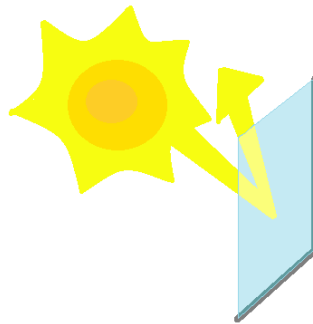


Figur 9: Princip över värmeväxling

4.3.1.4 Byta fönsterrutor

Fönstren antas stå för merparten av värmeförlusterna genom långvågig värmestrålning. Värmeläcketaget skulle kunna minskas genom användning av exempelvis fönster med dubbelglas. Fönster med dubbelglas släpper igenom mindre värme då det dels består av två stycken glas, men främst för att det kan innesluta ett medium med dålig värmeledningsförmåga mellan glasen. Detta medium är i bostadshus ofta en ädelgas, exempelvis Argon. Det kan även vara möjligt att byta material i fönsterglasen till ett alternativt material med lägre värmegenomsläpplighetsförmåga.

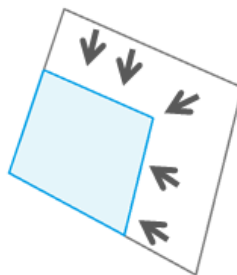
Detta skulle även kunna kombineras ihop med fönster med dubbelglas för att uppnå ett ännu bättre motstånd mot värmeläckage. Det går även att fästa olika filmer på den befintliga fönsterrutan som hindrar värmen från att läcka in eller ut beroende på rådande väderförhållande, vilket visas i figur 10.



Figur 10: Solreflektion vid applicerad film

4.3.1.5 Ta bort fönsterrutor/minska total fönsteryta

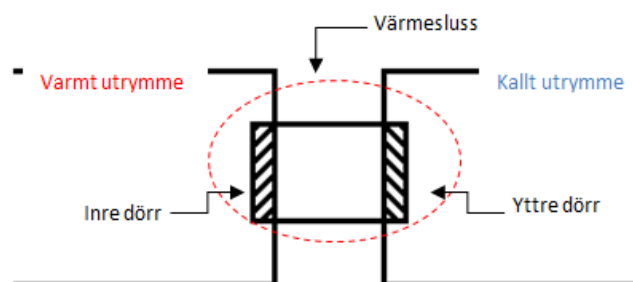
Ytterligare ett steg för att minimera värmeförlusterna är att helt eller delvis reducera de köldbryggor som fönsterytan står för. Detta kan ske genom att reducera den befintliga fönsterytan på de fönster där det är möjligt, med hänsyn taget till givna lagkrav, enligt figur 11. Ett annat alternativ är att eliminera ett eller flera fönster, där en kamerafunktion skulle fungera som ett substitut för exempelvis bakrutan.



Figur 11: Minskning av fönsteryta

4.3.1.6 Slussen

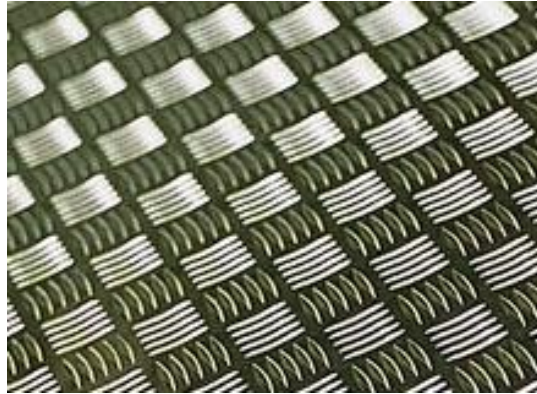
Vid öppning av bilens dörrar sker en stor momentan värmeförlust. En lösning som innefattar två dörrar utgör en sluss som reducerar dessa förluster. Praktiskt fungerar detta genom att den yttre dörren först öppnas och när den är passerad och stängd, öppnas nästa dörren och det blir möjligt att stiga in i bilkupén. Den principiella funktionen redovisas i figur 12.



Figur 12: Principiell förklaring av Slussen

4.3.1.7 Byta material

Plåten som utgör bilens skal är en tydlig köldbrygga. Ett byte till ett material med lägre värmeledningsförmåga skulle resultera i förbättrade isolerande egenskaper. Vidare bör plåtens färg och struktur, se figur 13, påverka systemets reflekterande egenskaper.



Figur 13: Alternativt material och struktur (Stena Stål, 2012)

4.3.2 Generering av värme

För att erhålla en hög komfort i bilkupén måste denna tempereras. Värmeenergi kan spridas genom strålning, ledning och konvektion. Dessa transportmetoder ligger till grund för de delösningar som tagits fram.

4.3.2.1 PTC-element

PTC-element, se figur 14, är en typ av värmekälla som konverterar elektricitet till värme, vilken sedan sprids ut i kupén. Dessa element har en relativt snabb och jämn uppvärmning även för större luftflöden. Det finns ingen risk för överhettning då de har en självreglerande funktion mot detta. Elementen har en lång livslängd och går att anpassa till flera olika storlekar. Dessa återfinns redan i dagsläget i bilarna i form av stolsvärme.

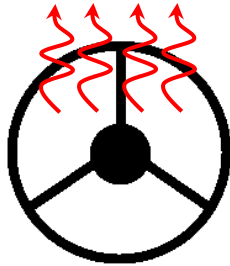


Figur 14: PTC-element (International Heating Products, 2012)

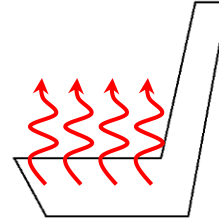
4.3.2.2 Kontaktvärme

Det klimat som upplevs som behagligt för personerna som befinner sig i bilen beror inte enbart på luftens egenskaper såsom temperatur och luftfuktighet. Om värme tillförs nära kroppen blir den upplevda temperaturen högre än luftens egentliga temperatur, och föraren upplever klimatet som behagligt. Kontaktvärme kan utnyttjas för att minimera energiåtgången för uppvärmningen av bilens kupé då det räcker med att värma upp området i direkt anslutning till personerna i bilen.

Detta skulle kunna åtgärdas genom att placera PTC-element i mindre storlekar nära passagerarna, exempelvis i stolarna eller ratten, enligt figur 15 och 16.



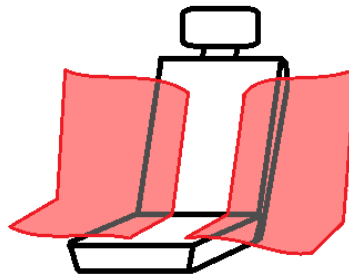
Figur 15: Rattvärme



Figur 16: Stolsvärme

4.3.2.3 Filt i stol

Lösningförslaget bygger på att hushålla med den värme som kroppen själv alstrar genom att ha ett isolerande hölje i form av en filt runt passageraren, se figur 17. Denna skulle antingen kunna vara inbyggd i stolen eller vara möjlig att ta loss. En nackdel med det fast inbyggda isolerande höljet är att det skulle bli väldigt varmt på sommaren.

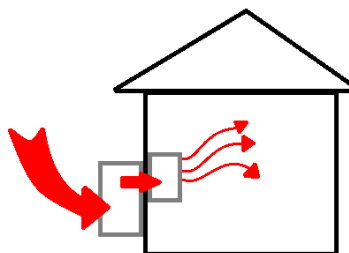


Figur 17: Filt i stol

4.3.2.4 Luftvärmepump

Då även kall luft innehåller värme kan denna energi användas för uppvärmning av luften inne i kupén. Luftvärmepumpen ökar trycket på den kalla utomhusluften med hjälp av en kompressor för att kunna temperera bilens kupé. För denna energiöverföring används en kylprocess bestående av fyra huvudkomponenter: förångare, kompressor, kondensor och en strypanordning.

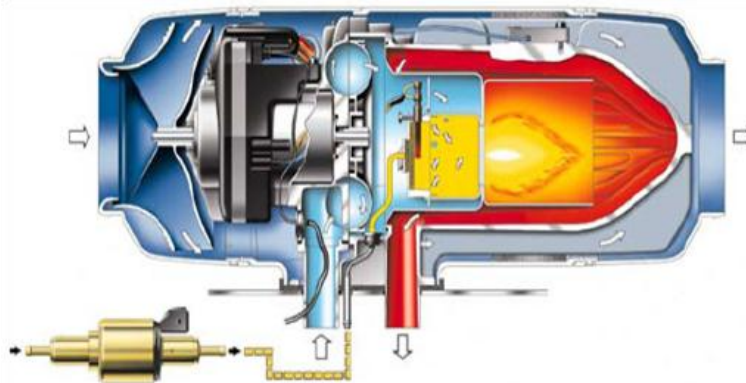
Det som gör luftvärmepumpen användbar är att den är ungefär tre gånger så effektiv på att omvandla energi till värme än vad el är. Detta gör att den skulle kunna vara användbar i en elbil där batterikapaciteten även är begränsad. En principiell skiss över hur en luftvärmepump fungerar i ett hus finns illustrerad i figur 18.



Figur 18: Illustration av en luftvärmepump i ett hus

4.3.2.5 Bränslevärmare

En tilläggsvärmare (figur 19) som med hjälp av fordonets bränsle värmer upp motorns kylvattensystem vilket i sin tur använder bilens värmeväxlare för att värma upp kupén. Bilens befintliga fläktsystem sprider sedan värmen i kupén. Restvärme från värmeväxlaren används som förvärmare åt motorn om värmaren brukas som parkeringsvärmare. Värmaren antänder bränslet och kan på så vis frigöra bränslets energi för uppvärmning. Vanligt förekommande i dagens el-bilar och då är ofta etanol bränsle för värmaren.



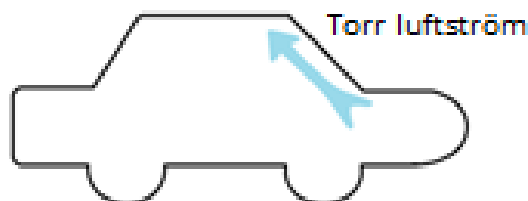
Figur 19: Principiell funktion över en dieselvärmare (s/y Blue Bird, 2012)

4.3.3 Kondens på fönsterrutor

Kondens orsakas av att en kall yta exponeras i en fuktig miljö, varav luften nära den kalla ytan kyls ned och vatten fälls ut på rutan då kall luft inte kan innehålla lika mycket vatten som varm luft kan. Kondens på insidan av vindrutan inträffar vanligen under vinterhalvåret, då utomhusklimatet kyler vindrutan. Dessutom tenderar passagerarna att få med sig snö in i bilkupén vilket bidrar till en hög fukthalt inne i bilkupén. Alternativa lösningar presenteras nedan.

4.3.3.1 Torr luftström på rutorna

En applicering av torr luft i en fuktig miljö leder till att den torra luften absorberar den fukt som finns i den fuktiga luften. För att eliminera fukten från det luftskikt som finns utmed fönsterrutorna går det därför att torka ut den fuktiga luften med hjälp av en torr luftström som blåses längs fönsterrutan (figur 20). Kondensbildningen bör vara minimal då rutan omges av torr luft.

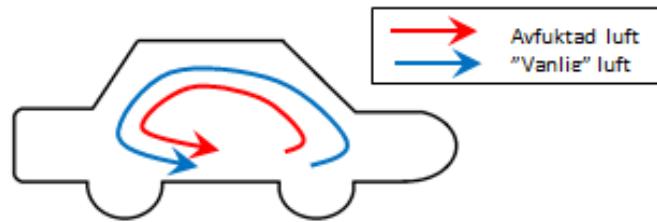


Figur 20: Torr luftström längs fönsterrutan

4.3.3.2 Kombinerade ventilationssystem

För att erhålla ett behagligt inomhusklimat krävs en viss fukthalt i luften, eftersom torr luft bland annat kan torka ut och irritera hud, ögon och slemhinnor hos passagerarna. Därför är ett alternativ att implementera en kombination av två ventilationssystem, varav det ena består av avfuktad luft för

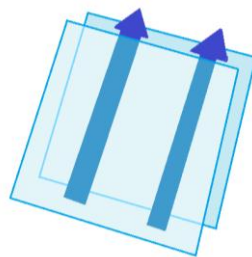
att motverka kondensbildning på rutor och det andra ventilerar resterande kupé med luft med normal fukthalt. Detta illustreras i figur 21.



Figur 21: Kombination av två stycken ventilationssystem

4.3.3.3 Dubbelglas med kombinerade ventilationssystem

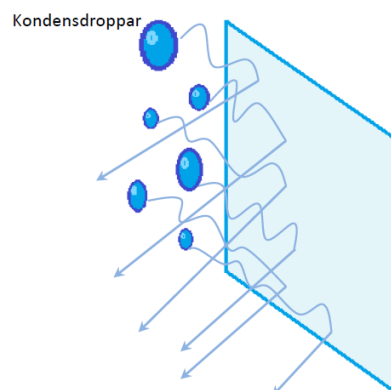
Användning av dubbelglas kan ge en ökad isolerande förmåga. Detta kan däremot medföra vissa problem då det tidigare naturliga luftflödet avgränsas från den yttre rutan vilket innebär en ökad risk för isbildning på denna samt kondensutfällning mellan de två glasen. En implementering av ett ventilationssystem med torr luft mellan rutor skulle innebära att kondensutfällningsrisken elimineras samt att den yttre rutan värms upp tillräckligt mycket för att undvika isbildning, se figur 22. Ytterligare ett ventilationssystem skulle vara nödvändigt att ha inne i kupén för att sköta cirkulationen av den vanliga kupélufte.



Figur 22: En torr luftström mellan rutorna

4.3.3.4 Kondensrepellerande skikt

Rutor kan genom behandling erhålla egenskaper som gör att de repellerar fukt, vilket sker då en film med kondensrepellerande egenskaper appliceras på fönsterrutorna. Då kondensen förhindras från att fällas ut på rutorna kan föraren vidhålla god sikt varvid säkerheten upprätthålls. Principen för det kondensrepellerande skiktet visas i figur 23.

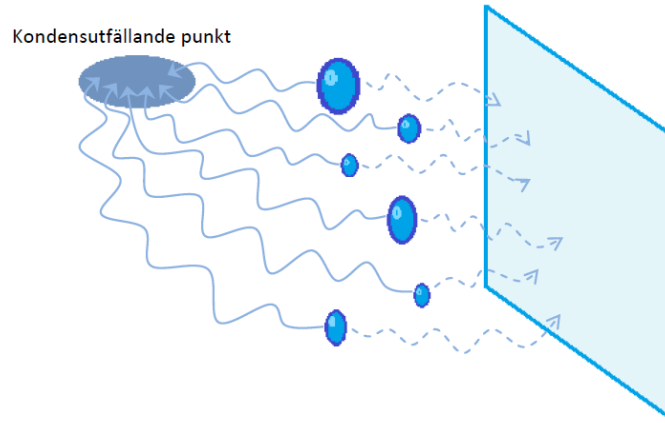


Figur 23: Fönsterruta med ett kondensrepellerande skikt

4.3.3.5 Kondensutfällande punkt

Då kondensen uppstår på grund av att fuktig luft kommer i kontakt med en kall yta, borde det gå att styra så att fukten fälls ut på en annan plats i bilen än fönsterrutorna. Genom att skapa en yta eller punkt som är kallare än fönsterrutorna förflyttas kondensbildningen från rutorna till punkten och föraren erhåller fri sikt oavsett fukthalt i bilen. En schematisk illustration kan ses i figur 24.

Det som kan vara en nackdel med förslaget är att det kommer krävas energi för att upprätthålla en kall punkt i bilen där kondensen kan fällas ut. I förslaget behöver det även inkluderas en lösning på hur kondensen skall transporteras bort från den kondensutfällande punkten och ut ur bilen.

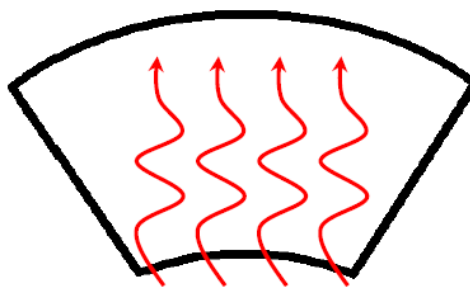


Figur 24: Kondensutfällande punkt

4.3.3.6 Uppvärmda fönsterrutor

För att minska risken för att rutan ska bli kondensbelagd används värmeslingor som sitter inuti fönsterrutorna, vilka drivs av el(figur 25). Genom direkt uppvärmning av rutan blir den kalla ytan varm och därmed elimineras risken att vindrutan blir kondensbelagd.

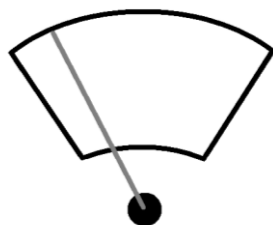
Denna typ av lösning finns redan i dagsläget integrerat i flertalet bilmodeller, och skulle kunna utökas till att användas på flertalet rutor. Förutom vindrutan kan värmeslingorna integreras i sidorutor, bakruta samt backspeglar.



Figur 25: Elupvärmad vindruta

4.3.3.7 Invändig vindrutetorkare

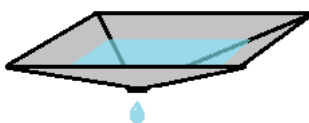
Då vindrutan har blivit kondensbelagd kan kondensen avlägsnas genom användning av vindrutetorkare på rutans insida, likt de som sitter på utsidan för att avlägsna regnvattnet, se figur 26. Det som måste vidareutvecklas med lösningen är hur kondensen skall samlas upp så att den inte förstör övrig interiör i bilen när den avlägsnas från rutan.



Figur 26: Invändig vindrutetorkare

4.3.3.8 Dränering

Regn och snö som kommer in i bilen med passagerarna bidrar till att fukthalten i kupén ökar. Genom att avlägsna detta vatten minskar risken att fukten avdunstar till den övriga kupélufte och sedan fälls ut på fönsterrutorna. Detta kan göras genom att det finns ett litet utrymme i höjd med golvet på varje passagerarplats där vattnet samlas upp. Det kan sedan avlägsnas genom en lucka till körbanan som öppnas då en viss mängd vatten finns i dräneringsutrymmet, se figur 27. På detta sätt behöver inte det vatten som förts in i bilen förångas med hjälp av klimatanläggningen och energiåtgången för att hålla rutorna kondensfria minskar.



Figur 27: Principiell dräneringsfunktion

4.4 Kontroll av kravuppfyllnad med hjälp av elimineringsmatriser

Vid konceptutvecklingen elimineras först de alternativ som inte uppfyller de uppsatta kund- och baskraven som finns specificerade i kravspecifikationen, se Bilaga A, vilket sker genom användandet av elimineringsmatriser. Det används en elimineringsmatris för varje delproblem med respektive lösningar.

I tabell 1 redovisas de lösningarna till funktionen *Minimering av värmeläckage*. Alternativen *Slussen* och *Byta material* elimineras. *Slussen* anses inte uppfylla kravet om realiserbarhet samt överskrider lagkraven över hur stor en bil får vara då lösningen innebär en utbyggnad runt bilkupén. Lösningen *Byta material* är alltför omfattande för att vidareutveckling ska kunna ske inom projektets tidsramar, säkerheten i bilen skulle då inte kunna säkerställas.

Tabell 1: Elimineringsmatris över *Minimering av värmeläckage*

Minimering av värmeläckage <i>Kriterier</i>	Isolering	Recirkulation	Värmeväxling	Byta fönsterrutor	Ta bort fönsterrutor/minska total fönsteryta	Slussen	Byta material
Tät	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Energieffektiv	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Genererar inga emissioner	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hållbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Realiserbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja
Skaktålig	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Monterbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Påverkar ej säkerheten	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Nej
Rimlig storlek	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Behåll?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej

Tabell 2 visar elimineringsmatrisen till *Generering av värme*. I denna elimineras *Filt i stol* på grund av bristfällig hållbarhet, då den kommer att utsättas för mycket slitage vid användning. Övriga dellösningar uppfyller kraven och kan integreras i det slutliga konceptet.

Tabell 2: Elimineringsmatris för genereringen av värme

Generering av värme	Kontaktvärme	PTC-element	Filt i stol	Luftvärmepump	Bränslevärmare
<i>Kriterier:</i>					
Genererar värme	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Energieffektiv	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Generar inga emissioner	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Hållbar	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja
Realiserbar	Ja	Ja		Ja	Ja
Skaktålig	Ja	Ja		Ja	Ja
Monterbar	Ja	Ja		Ja	Ja
Rimlig storlek	Ja	Ja		Ja	Ja
Behåll?	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja

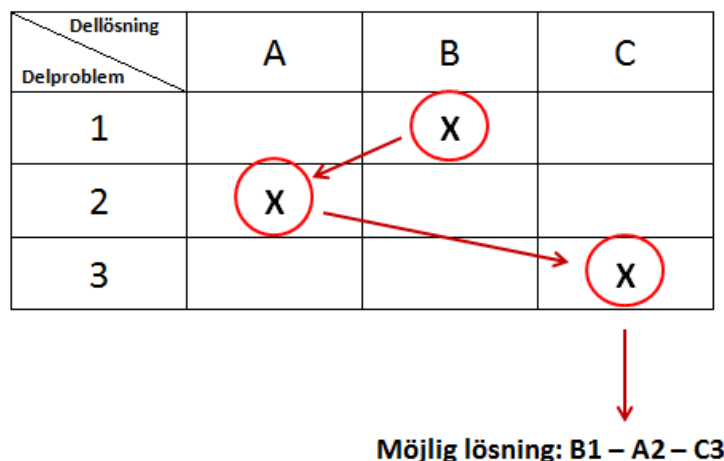
Analysen av dellösningarna till det tredje delproblemet *Undvika kondens på rutor* redovisas i tabell 3. I matrisen elimineras dellösningarna *Vindrutetorkare på insidan* samt *Dränering*. *Vindrutetorkare på insidan* elimineras på grund av att kondensen inte försvinner utan endast transporteras bort från rutor. Dellösningen *Dränering* är i stort behov av vidareutveckling och är mer tidskrävande än vad projektets tidsramar tillåter varav den inte anses vara realiserbar.

Tabell 3: Elimineringssmatris över Undvika kondens på rutor

Undvika kondens på rutor <i>Kriterier</i>	Torr luftström på rutorna	Kombinerade ventilationssystem	Dubbelglas med kombinerade ventilationssystem	Kondensrepellerande fönsterrutor	Kondensutfällande punkt	Uppvärmda fönsterrutor	Vindrutetorkare på insidan	Dränering
Minimerar kondensen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Försvinner fukten?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Ja
Energieffektiv	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Generar inga emissioner	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Hållbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Ja
Realiserbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		Nej
Skaktålig	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Monterbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Påverkar ej säkerheten	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Rimlig storlek	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja		
Behåll?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej

4.5 Möjliga konceptlösningar med hjälp av morfologisk matris

Delkoncepten som uppfyller kraven i kravspecifikationen kombineras ihop till kompletta lösningar med hjälp av en variant på en morfologisk matris. I denna listas delproblem mot dellösningar, varav en mängd olika kombinationer erhålls. Principen för hur ett koncept erhålls redovisas i figur 28.



Figur 28: Schematisk bild över en morfologisk matris

Om samtliga olika varianter kombineras ihop fås en mängd ej realiserbara lösningar. Dessa har eliminerats och endast de konceptförslag som anses vara realiserbara redovisas i tabell 4. De olika dellösningarna som koncepten består av finns utförligt beskriva i avsnitt 4.3. Exakt hur dessa är tänkta att fungera är inte fastställt utan bestäms under vidareutvecklingsfasen.

Samtliga dellösningar inkluderas inte i den morfologiska matrisen då dessa kan appliceras på alla koncept, och leder till ett mer tidskrävande arbete då en onödigt stor matris erhålls. Exempelvis kan eluppvärmda rutor användas oavsett om torr luft fläktas mot rutor eller inte.

Ett kryss i tabell 4 anger att konceptet består av den dellösningen.

Tabell 4: Konceptförslag efter genomgången morfologisk matris

Lösningar för respektive delproblem:	Koncept nummer:										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Generering av värme</i>											
Luftvärmepump	x	x	x			x				x	x
Dieselvärmare		x	x		x		x				
Elektriska element				x							
Elektrisk värmare								x	x	x	
<i>Minimering av värmeläckage</i>											
Isolering	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Värmeväxlare		x		x	x	x			x		x
<i>Kondens på rutor</i>											
Varm och torr luftström	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
Eluppvärmda fönsterrutor				x							x
Kondensrepellerande skikt				x							

4.6 Konceptval med stöd av Kesselringmatrix

För att erhålla det koncept som i störst utsträckning uppfyller kundönskemålen används en Kesselringmatrix, se tabell 5. I en Kesselringmatrix viktas samtliga önskemål på en skala från 1 till 5 efter hur viktiga de anses vara för kunden. Viktningen 5 betyder att kriteriet är mycket viktigt, medan 1 motsvarar en lägre prioritet från kunden. Viktningen multipliceras sedan med ett värde som anger hur väl varje lösning uppfyller respektive önskemål. Produkterna för respektive kriterium och koncept summeras ihop för att slutligen erhålla en totalsumma. Det eller de koncept med högst totalsumma vidareutvecklas. Dagens klimatanläggning medtas i matrisen som referens för att säkerställa att det koncept som utvecklas är bättre än det befintliga.

Vid viktningen av kriterierna läggs stor vikt på energiförbrukningen, kylningsmöjligheten och kondensskriterierna; risk för kondensbildning samt möjlighet att eliminera kondens. Ett resultat av att fokusera viktningen på dessa kriterier är att andra faktorer, exempelvis krocksäkerheten, erhåller ett lägre betyg då de anses ha en mindre påverkan på bilens uppvärmning.

Tabell 5: Kesselringmatrix

Kriterier:	Vikt:	Ideal:	Koncept:											
		Betyg:	REFERENS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Energiförbrukning	5	5	1	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4
Totalkostnad - tillverkning	2	5	4	3	1	2	2	2	1	4	4	3	2	1
Utvecklingsbarhet - svårighet att utveckla	3	5	5	3	2	3	2	3	2	4	4	3	3	2
Möjlighet till återvinning	2	5	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2
Beroende av batterikapaciteten	4	5	4	4	4	4	2	4	4	5	2	2	4	4
Risk för kondens på rutorna	4	5	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4
Möjlighet att eliminera kondens från rutorna	5	5	2	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	4
Ljudnivå i kupén(både ljud inifrån och utifrån)	2	5	4	4	2	4	3	2	2	4	4	2	4	2
Vikt	3	5	4	3	1	2	3	3	2	4	4	3	3	2
Storlek	3	5	4	3	1	2	3	1	2	2	4	3	3	2
Krocksäkerhet	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Antal kritiska punkter/delar	3	5	3	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3	3
Möjlighet till kylning	5	5	4	4	4	4	4	1	4	1	1	1	4	4
Mängd av underhåll som krävs	2	5	4	4	2	3	3	2	3	2	5	3	4	3
Återanvändning av värme	4	5	0	2	4	2	4	4	4	2	2	4	2	4
Minimering av energispill efter användning	2	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Utsläpp av emissioner/miljöpåverkan vid användning	4	5	1	4	2	2	4	2	4	2	4	4	4	4
Summa:			158	180	150	157	158	141	169	157	168	154	178	176

Kesselringmatrisen visar att koncept 1 är det bästa alternativet, men marginalen till koncept 10 samt 11 är liten. Överlag är skillnaderna mellan koncepten små, vilket beror på att de flesta koncept är snarlika och till stor del är varianter av varandra, därför tas större hänsyn till de kriterier som viktas högst.

Vid en jämförelse av koncepten går det att utläsa att de viktigaste kriterierna, energiförbrukning och de två kondensskriterierna, ger liknande värden för de tre starkaste kandidaterna. Troligen är energiförbrukningen för koncept 11 lägre än för koncept 1 och 10 eftersom värmepumpen medför att en stor del av värmen kan återanvändas, vilket minskar uppvärmningsbehovet. Koncept 11 visar sig alltså vara ett starkare koncept än både 1 och 10, varav det väljs. Vid ett val av vidareutveckling av koncept 11 kan värmepumpen även anpassas till en personbil vilket kan resultera i en hög verkningsgrad och därmed kan mer energi sparas. Nackdelen med koncept 11 jämfört med de andra två kandidaterna är att en värmepump måste integreras i den redan utrymmesbegränsade bilen.

Förutom att dimensionera de ingående komponenterna i detaljkonstruktionen av koncept 11 är det viktigt att utreda beroendet av batterikapaciteten och hur det kan minimeras. Detta då konceptet består av en luftvärmepump samt en värmepump som båda är elektricitetsberoende varav körsträckan reduceras hos en elbil. Dessutom måste de ingående delarna anpassas så att de kan implementeras i bilen på ett funktionellt sätt.

5. Vidareutvecklingsarbete med fokus på detaljkonstruktion

Vidareutvecklingsfasen i projektet inriktar sig på att detaljkonstruera de ingående delarna som utgör det valda konceptet. Delarna kan delas in i tre huvudgrupper; isolering, luftvärmepump och värmeväxlare. Inom isoleringsdelen beaktas även värmeläckaget genom fönsterrutorna. Förutom att dimensionera de ingående delarna utreds det även hur dessa schematiskt ska implementeras i bilens konstruktion.

5.1 Val av isoleringsmaterial

Mineralull är den vanligaste formen av isoleringsmaterial i byggnader och i passivhus implementeras en stor volym av detta material för att minimera värmeledningen i väggarna. För att erhålla liknande isolerande egenskaper i bilar, där utrymmet är en begränsande faktor, krävs ett mer högpresterande material. I tabell 6 jämförs två högpresterande material, vakuumisoleringspaneler och aerogel som laminerad filt, med den mer vanliga glasullen. Uppgifterna är hämtade ur Praktiska tillämpningar av högpresterande värmeisolering i Ombyggnadsprojekt(Eriksson, 2012) samt Glasull(XL-bygg, 2011).

Tabell 6: Isoleringsmaterial

	VIP- Vakuumisoleringspaneler	Aerogel som laminerad filt	Glasull (Mineralull)
Flexibilitet	Något flexibel	Flexibel och fullt böjbar	Flexibel
Tålighet	Ömtåligt, höljet får ej skadas	Ej ömtålig, men dammar	Ej ömtålig
Värmeledning λ [W/mK]	0.008 (≈ 0.025 om skadad)	0.014	0.036
Livslängd- λ -värde [år]	>30	60, simulerat åldringstest	≈ 100
Paneltjocklek [mm]	6-40	10	45
Densitet [kg/m ³]	150-220	150	16-19
Brandklass	Euroklass A1	Euroklass C	Euroklass F
Användningstemperatur [°C]	-50 till +90, sönderfaller vid 150	< +200	< + 80
Fuktegenskaper	Mycket diffusionströgt hölje	Hydrofobt material diffusionsöppet	
Pris	600 kr/m ² , 10mm	300 kr/m ²	37.5kr/m ²
	900 kr/m ² , 20mm		
	1 300 kr/m ² , 40mm		

Vakuumisoleringspaneler består av ett poröst material som vakuumslukas i ett metallskal. Konstruktion är stötkänslig och bör vid implementering i en bil skyddas av exempelvis ett skum. En skadad panel ökar värmeledningens och försämrar följaktligen de isolerande egenskaperna. Panelerna kan göras sex millimeter tunna vilket är positivt vid implementering i bil. Dagens vakuumpaneler har ett metallskikt som är behandlat med brom, vilket förbättrar dess brandegenskaper och panelen är brandklassad som Euroklass A1. Euroklassen visar att panelen är obrännbar och ej bidrar till brandutveckling. Varma dagar då solens strålar träffar bilen, kan plåten erhålla mycket höga temperaturer. Det är då viktigt att isoleringen kan hantera temperaturer upp mot 80 till 90 °C. Vakuumpaneler börjar brytas ned vid 150 °C, så höga temperaturer är ej troliga i isoleringsskiktet då det inte är placerat precis intill plåten. Priset på vakuumpaneler är väsentligt högre än för den mer vanligt använda glasullen, men då utvecklingen av vakuumpanelerna ständigt går framåt är det rimligt att anta att priset på tillverkningen kommer att reduceras. Genom att standardisera vissa former, exempelvis formen av ett biltak, kan kostnaderna minska ytterligare.

Ett alternativ till vakuumisolering är aerogel som laminerad filt. Aeroget i sig är små partiklar som vid isolering är intryckta i en filt. Partiklarna är ofta kiselbaserade och filtens funktion är att hålla partiklarna på plats. Filten är väldigt formbar och de försämrade isolerande egenskaperna som

uppstår vid en stöt är ej lika momentana som hos vakuumpanelen. Partiklarna sitter ej fast utan filten dammar konstant, men vid exempelvis stötar ökar antalet partiklar som lossnar. Dammet försvårar implementering i en bil då det bidrar till en försämrad kupémiljö. Om isoleringsmaterialet kan inneslutas in ett väldigt tätt material kan dammet undvikas. Isolering gjord av aerogel tål högre temperaturer än vakuumisolering, upp till 200 °C. Den är därmed mycket tålig för de temperaturer som kan uppstå runt en bilkupé. Enligt tabell 6 har aerogel brandklassen C, vilket betyder att materialet brinner men bidrar ej till brandutvecklingen. Priset på isoleringen är, likt för vakuumisolering, högt jämfört med den vanliga glasullen. Till skillnad från vakuumisolering är det dock inte troligt att aerogel kommer bli billigare då stora delar av kostnaderna ligger i materialet.

För ändamålet att implementera isolering i ett fordon är vakuumisoleringspaneler ett bättre alternativ än aerogel. Vakuumisoleringspanelerna är tunna och kan formas efter bilens konturer. Vid storskalig användning kan panelerna serieproduceras och i kombination med fortsatt utveckling kan priserna pressas. När bilen skrotas, kan panelerna tas ut och återanvändas på nytt. En skadad panel kan alltid vakuumsörslutas igen. Aerogelen som dammar gör den svår att implementera i en bil, dammet kan spridas och skapa en försämrad miljö för användaren. Framtagningen av aerogelen är även extremt energikrävande och är därav ett sämre val ur miljösynpunkt.

5.1.1 Termografering av Volvo S60

Som ett steg mot att effektivisera uppvärmningen av bilkupén är det nödvändigt att lokalisera energiläcket ut ur kupén. Då ingen sådan information finns tillgänglig bestämdes att en termografering med hjälp av en värmekamera skulle utföras. Detta fungerade även som beräkningsunderlag för var eventuell isolering skulle göra mest nytta.

Termograferingen utfördes på Volvo Torslanda den 8 mars 2012. Vädret vid mättillfället var mulet och utomhustemperaturen var cirka 2 °C. Ett mulet väder är att föredra vid värmekameramätningar då risken minskar att yttre faktorer, som exempelvis solstrålning, påverkar mätresultatet. Mätningen utfördes med en värmekamera av modellen Flir b50.

För att ha en referenspunkt att jämföra med, utfördes en mätning av bilen då kupén var ouppvärmad. Därefter värmdes den upp till maximal temperatur, cirka 30 °C, för att erhålla en så stor temperaturdifferens som möjligt mellan bilens kupé och den yttre omgivningen. Vid en stor temperaturdifferens sker värmeläcket fortare och blir enklare att detektera.

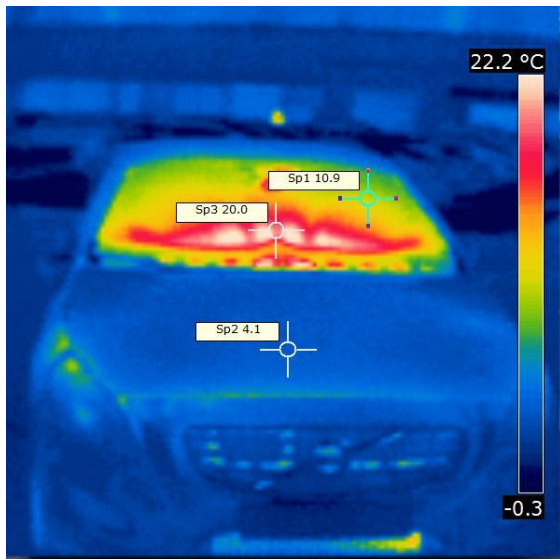
Bilens klimatanläggning kan ställas in så att luften cirkulerar på flertalet olika sätt i bilen. Därför utfördes mätningar vid flera inställningar, för att se om och hur mycket värmeläcket påverkades. En mätning utfördes från utsidan av bilen då kupén hölls varm och bilens fläktar var riktade mot rutorna. Samma analys utfördes även med fläktarna riktade mot golvet för att se hur rutorna påverkades av den varma luftströmmen.

För att avgöra om det var någon skillnad mellan mätningarna från in- eller utsidan av bilen utfördes även en mätning från bilens insida med den varma luftströmmen riktad mot golvet. Samtidigt gjordes en mätning av bagageutrymmet för att se om, och i så fall hur, detta påverkades av dessa inställningar. Dessutom utfördes en mätning då bilens recirkulering var påslagen samt en mätning 15 minuter efter bilens avstängning för att se hur snabbt värmen försvinner ut ur kupén. Resultatet av mätningen presenteras nedan med värmekamerabilder och förklarande text.

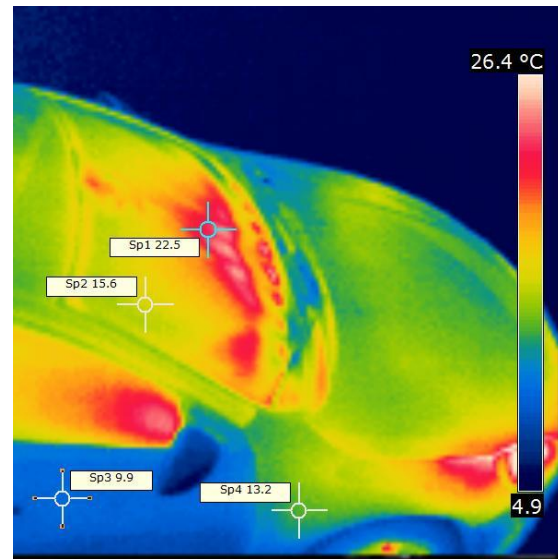
Referensmätningen då bilkupén var kall visade att utsidan av bilen hade en temperatur av cirka 2 till 3 °C, detsamma som utetemperaturen. Figur 29 visar bilen då kupén har värmts upp till 30 °C på cirka 15 minuter, med fläktarna riktade mot bilens rutor. I figuren kan det utläsas att vindrutans utsida är den del som värmts upp mest. Den del av vindrutans utsida som värmts upp mest är den del där den varma

Luften från värmesystemet träffade rutan. Bilens övriga hölje hade inte ökat nämnvärt i temperatur. Det bör dock påpekas att värmekameran kan ge missvisande mätresultat då mätningen utförs mot transperanta föremål, vilket sker i fallet med bilens rutor. Mätningarna indikerar dock på att rutorna är en stor utsläppskälla av värme, även om de exakta temperaturerna inte är korrekta.

Figur 30 visar bilen i ett senare skede där kupén varit uppvärmd i 60 minuter. Där är recirkuleringen påslagen och luftflödet är riktat mot golvet. Vindrutan har då uppnått en högre temperatur än i figur 29, vilket även gäller bilens tak och motorhuv. Detta tyder på att ett betydande värmeläckage sker främst genom rutorna, men även genom bilens övriga skal. Att stora delar av läckaget sker genom rutorna är något som styrks av samtliga mätningar, då rutorna var de som blev varmast.

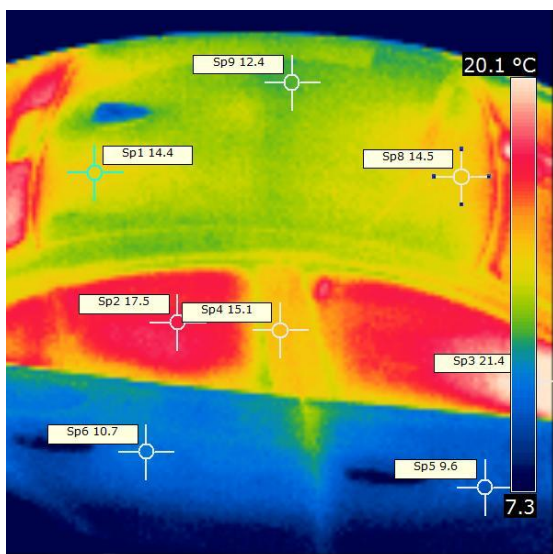


Figur 29: Varm kupé med fläkt på vindrutan

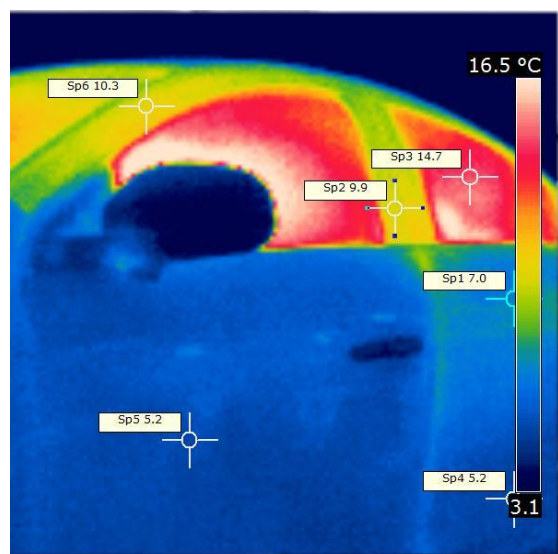


Figur 30: Främre vy, varm kupé med recirkulation

Vid en jämförelse av läckaget genom bilens plåthölje var taket varmare än dörrarna, se figur 31. Denna temperaturskillnad beror på att dörrarna är tjockare och isolerar bättre. Att taket blir så varmt som 15 °C tyder på ett betydande värmeläckage. Både i figur 31 och 32 ses en tydlig skillnad mellan dörren och dörrstolpen, där dörrstolpen har en betydligt sämre isolerande förmåga.



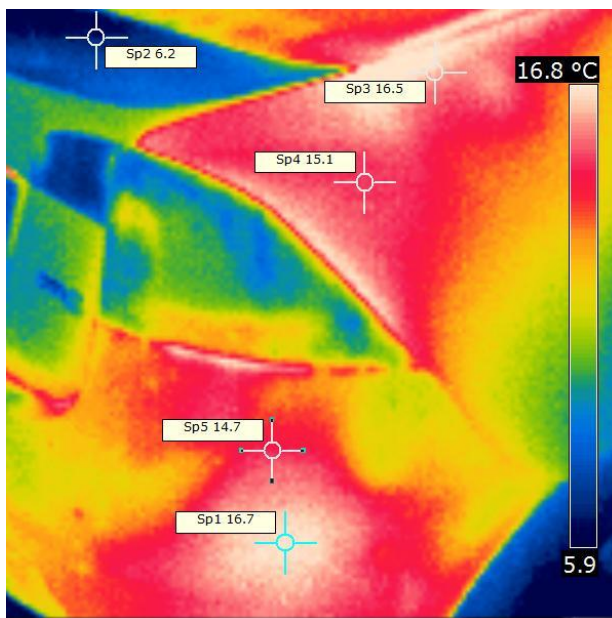
Figur 31: Takvy, Varm kupé med recirkulation



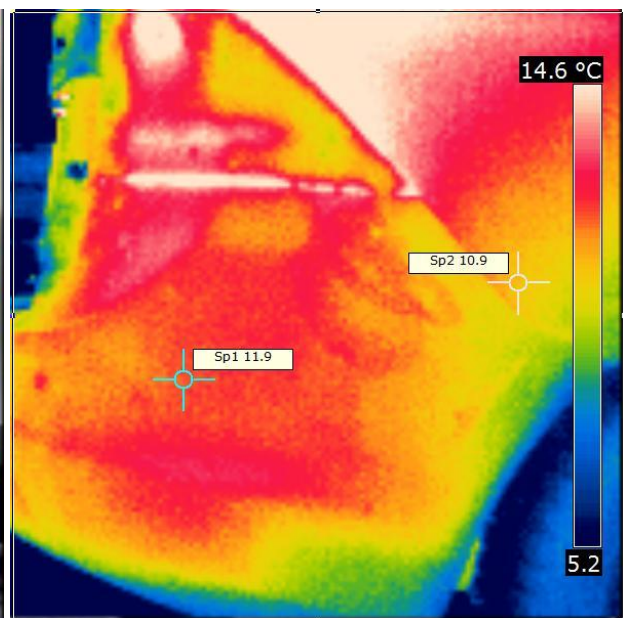
Figur 32: Sidovy, dörr då kupén varit varm länge

En av de största energiförlusterna vid kupéuppvärmningen av dagens konventionella bilar sker genom luftevakueringen ut ur bilen. Den uppvärmda kupélufte släpps då ut till omgivningen för att ersättas med ny kall luft som måste värmas upp för att fortsatt erhålla behaglig kupétemperatur. Detta syns tydligt i figur 33 där plåtskalet som sitter ovanför kanalerna för luftevakuering har värmts upp betydligt mer än det resterande bilskalet. Mätningarna tyder på att skalet kan uppnå så höga temperaturer som 16-17 °C vilket är 10 grader varmare än ovanpå bagageluckan och 15 grader varmare än utomhustemperaturen. Genom att recirkulera luften återanvänds den varma kupélufte och luftevakueringen över bakskärmarna stängs. I figur 34 ses det tydligt att temperaturen sänkts med cirka 5 grader då recirkuleringen varit påslagen.

Ett problem med att recirkulera luft är dock att kupélufte blir fuktig och kondens kan fällas ut på rutorna, varav det kan vara svårt att minska energianvändningen enbart genom en användning utav recirkulation. Dock visar detta att det finns stor energibesparingspotential vid tillvaratagande av värmeenergin hos den evakuerade luften. En värmeväxlare skulle kunna överföra värmeenergin från den utgående luften till den nya kalla ingående luften. Följaktligen skulle temperaturen på den ingående luften öka och därmed minskas energiåtgången för uppvärmningen utav denna luft.



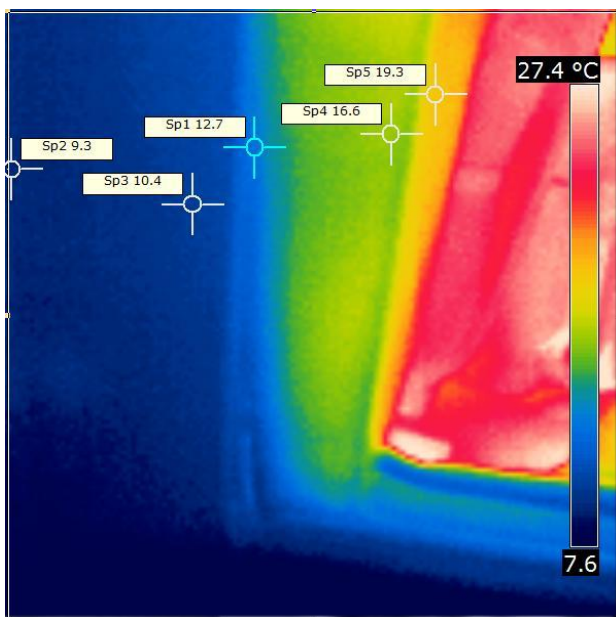
Figur 33: Varm kupé sen mätning



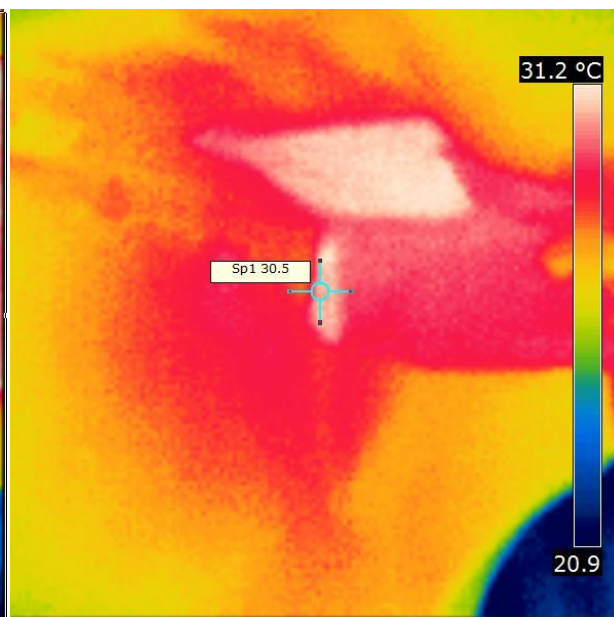
Figur 34: Varm kupé vid recirkulation

Generellt överensstämmer mätningarna från bilens insida väl med mätningarna från utsidan. Dock kunde inte mätningen från utsidan påvisa värmen i bagageutrymme, se figur 36, vilken härstammar från att avskärmningen från bilens kupé endast sker genom den tunna hatthyllan och baksätena. Alltså bör energibesparingspotentialen genom isolering utav dessa områden övervägas gentemot den energiåtgång som en uppvärmning av bagageutrymme innebär. En aspekt som måste beaktas är huruvida möjligheten att temperera bagageutrymme ska finnas, vilket kan påverka valet om isolering ska implementeras eller ej.

Figur 35 visar på en temperaturskillnad mellan dörrens in- och utsida på ungefär 10 grader. Denna temperaturdifferens tyder på att dörren har vissa isolerande egenskaper. Dock är temperaturen inne i kupén betydligt högre, vilket innebär att det är möjligt att erhålla en större temperaturdifferens med en mer välisolerad dörr. Tjockleken på dörren genererar i goda möjligheter till en implementering utav isolering.

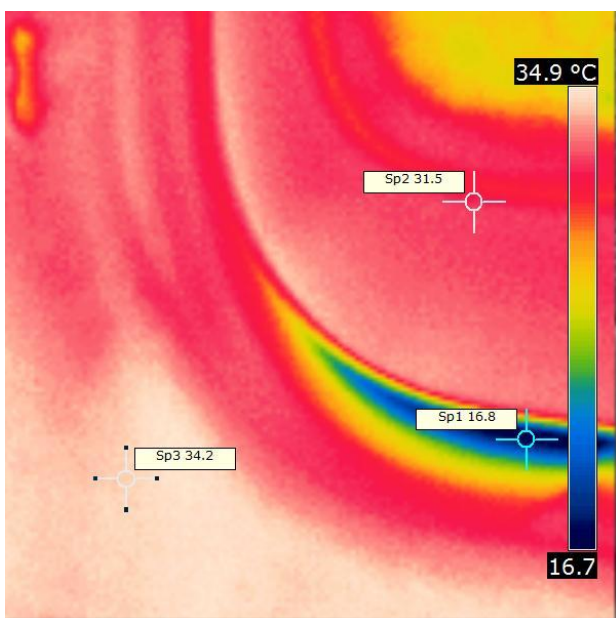


Figur 35: Temperaturskillnad i bakdörren vid varm kupé

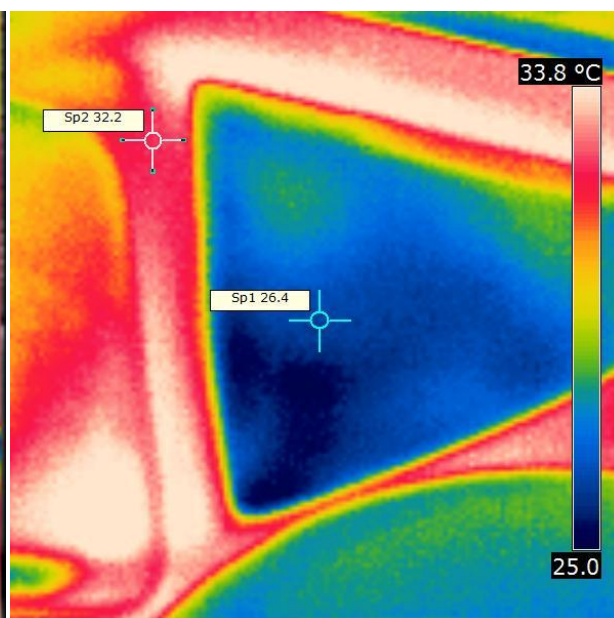


Figur 36: Bagagetemperatur då bilens kupé hålls varm

Resultatet av termograferingen av bilens insida påvisade även värmeläckage vid spalterna mellan dörrarnas kanter och bilens hölje, se figur 37. Dessa spalter har idag som uppgift att hålla dörrlisterna is- och fuktfria. Vidare detekterades läckage genom förvaringsfacket i dörrarna, se figur 38, vilket inte gick att utläsa vid analysen från utsidan. Detta kan bero på att det finns en luftspalt i dörren mellan förvaringsfacket och utsidan av dörren vilket gör att värmen fördelas i luftspalten och därmed bidrar till att värma upp hela dörren.



Figur 37: Läckage genom framdörr vid varm kupé



Figur 38: Läckage genom fack i bakdörr vid varm kupé

Det totala resultatet visar att bilen är relativt oisolerad mot värmeläckage, främst genom rutorna men även genom tak och dörrar. Vidare visade termograferingen att en stor andel värme försvinner ut via luftevakueringen. En återanvändning av denna värmeenergi skulle resultera i en stor

energibesparing, eventuellt med hjälp av en värmeväxlare. Mätningen som gjordes 15 minuter efter bilens avstängning visade att bilen kyls ned cirka 5 grader på utsidan, vilket är en ganska stor nedkylning. Dock var bilen fortfarande varm, vilket kan vara onödigt då bilen inte längre var i bruk. Detta påvisar att onödigt mycket energi tillfördes kupén innan avstängning.

5.1.2 Isoleringens påverkan för värmeöverföringen i bilen

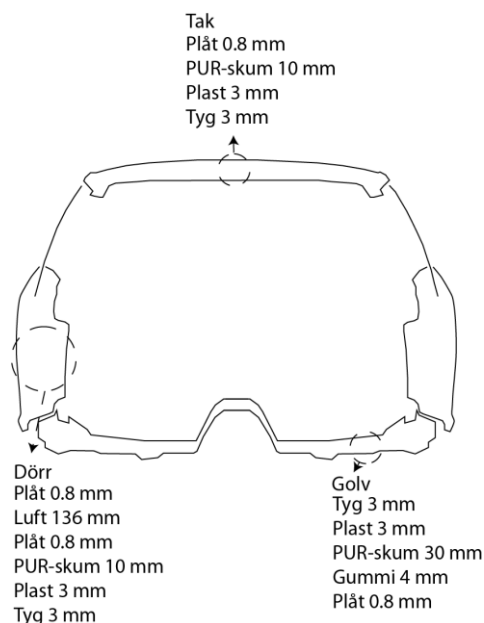
Värmekameramätningarna visade att värme försvinner ut genom tak, dörrar och fönsterrutor i bilen. Värme försvinner också ut genom golvet, men detta var svårt att mäta med kameran. För att ta reda på var mest värme släpps ut och alltså vilka delar av bilen som är viktigast att isolera görs beräkningar på alla delarna var för sig. Dessa beräkningar görs både med och utan den nya isoleringen. Vidare genomförs beräkningar på en värmeväxlare, vars uppgift är att växla luften inne i kupén med utomhusluften. Då mätningarna utfördes på en Volvo S60 kommer även beräkningarna att utföras med denna modell som utgångspunkt. Vid beräkningarna antas bilen stå stilla, då beräkningar med bilen i rörelse blir för komplexa att genomföra då exempelvis strömningen runt bilen har en betydande inverkan. Ett antagande görs också om att värme endast leds ut genom tak, golv och dörrar, då värmestrålningen och konvektionen är betydligt mindre än värmeledningen i dessa fall. Vid beräkning av värmeöverföringen genom fönsterrutorna kommer däremot värmestrålningen och konvektionen inkluderas.

För att kunna beräkna värmeöverföringen ut genom kupén används värmeledningsförmågan för varje material. Dessa hämtas från Petersson(2009) och Incropera(2007) och sammanställs nedan. I figur 39 visas vilka material som ingår i de olika delarna samt tjockleken på dessa.

Den isolering som finns i dagens bilar har som främsta uppgift att isolera mot ljud från omgivningen. Framförallt används PUR-skum, vars främsta egenskap är dess ljudisolerande förmåga. Som tabell 7 visar är PUR-skum även ett relativt bra värmeisoleringsmaterial, men ändå betydligt sämre än vakuumisoleringen som är tänkt att implementeras i bilen. Vid beräkningarna kommer vakuumisoleringen genomgående vara 10 mm tjock, men som nämnts tidigare kan tjockleken varieras mellan 6-40 mm. För övrigt kommer plåten att försummas vid beräkningarna då denna leder värme mycket väl.

Tabell 7: Värmeledningsförmåga för diverse material.

Material:	Värmeledningsförmåga (k) [$W/m * K$]:
PUR-skum	0.027
Plåt	50
Tyg	0.06
Gummi	0.13
Skumgummi	0.035 - 0.040
Plast	0.46
Vakuumisolering	0.008

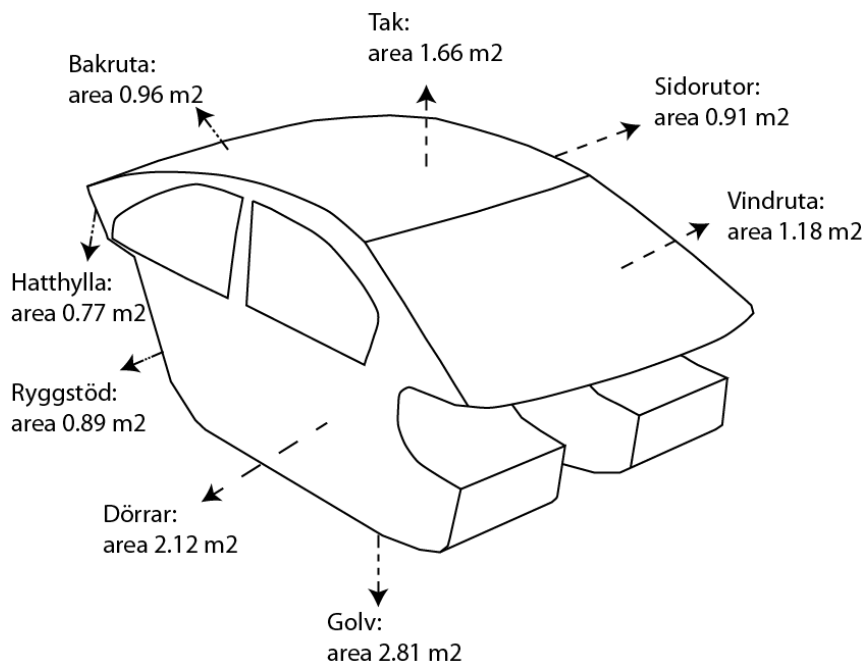


Figur 39: Bil i genomskärning sedd bakifrån samt mått på material i golv, dörrar och tak.

Med tillgång till informationen ovan kan nu beräkningar göras för varje del i bilen. I rapporten kommer endast resultatet från beräkningarna att presenteras. För fullständiga beräkningar se Bilaga B. Genomgående kommer ekvation 1 användas för värmeledningen i materialet.

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{L}{k \cdot A}} [W] \quad [1]$$

Ekvationen är hämtad ur Introduction to Building Physics (Hafentoft, 2001) och visar effektförlusten som försvinner ut genom den beräknade arean. Här är $\Delta T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, som är ett extremfall då temperaturen utanför bilen $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ är och temperaturen inne i kupén $25 \text{ }^\circ\text{C}$. L är tjockleken på materialet, k är värmeledningsförmågan och A är arean på den beräknade ytan. Alla areor som kommer användas i beräkningarna presenteras i figur 40.



Figur 40: Areor på bildelar som beräknas

5.1.2.1 Värmeöverföring genom golv

Som synes i figur 39 består golvet idag utav tyg, plast, PUR-skum, gummi och plåt. Med givna värden insatta i ekvation 1 kan en total värmegenomförel beräknas till 105 W. För att inte behöva ändra geometrin på bilen minskas PUR-skummet från 30 mm till 20 mm och istället kompletteras golvet med 10 mm vakuumisolering. Ett nytt värde på effektförlusten beräknas då till 61 W.

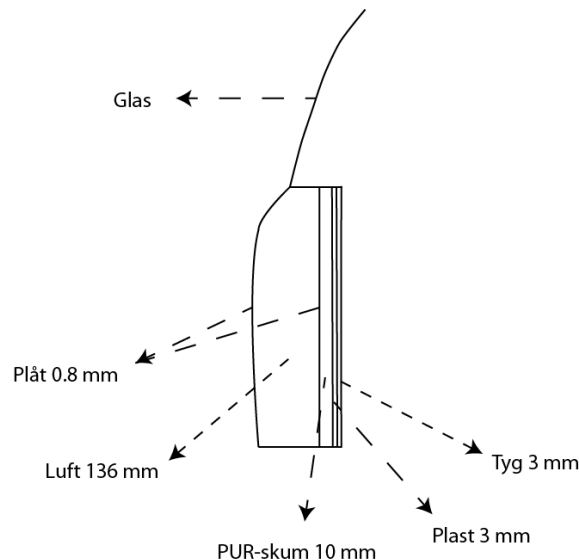
5.1.2.2 Värmeöverföring genom tak

Taket innehåller samma material som golvet bortsett från gummit. Det är också i regel mindre tjocklekar på de olika materialen. Framför allt är PUR-skummet tunnare vilket leder till att värmeöverföringen genom taket är 175 W. Genom att byta ut PUR-skummet mot vakuumisolering behöver inte geometrin på bilen förändras, vilket leder till att det istället leds ut 57 W genom taket.

5.1.2.3 Värmeöverföring genom dörrar

Då dörrarna till stor del består av tomrum, innehållande kablar och dylikt, är det svårare att beräkna värmeöverföringen här jämfört med den som sker i golv och tak. I figur 41 visas tomrummet som en bred luftspalt. Då luften inte står still i denna spalt överförs värmen främst här genom konvektion

och strålning. Alltså används inte värmeledningsförmågan för luft utan istället räknas ett λ -värde fram med hjälp av ekvationer och tabeller tagna ur Introduction to Building Physics(Hagentoft, 2001). För att beräkna detta värde behövs temperaturdifferensen i luftspalten. Denna differens valdes till 5.5 grader, då temperaturen inte sjunker märkvärt genom luftspalten samt att detta värde finns givet i figur 3.30 i Introduction to Building Physics(Hagentoft, 2001). Med hjälp av detta beräknas ett λ -värde i luftspalten till $4.68 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.



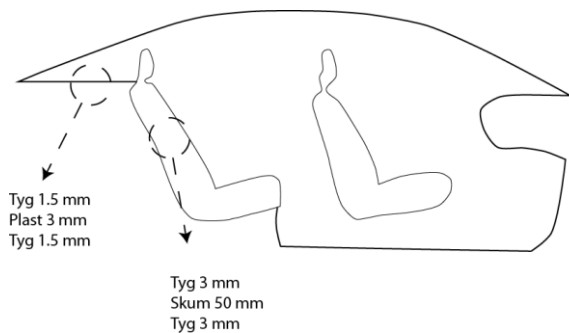
Figur 41: Dörr i genomskärning.

Värmeöverföringen genom dörrarna beräknas då till 149 W innan respektive 51 W efter implementeringen av isoleringen. Då det finns tillräckligt med plats kvar i dörren behålls PUR-skummet och vakuumisoleringen placeras mellan detta skikt och plasten.

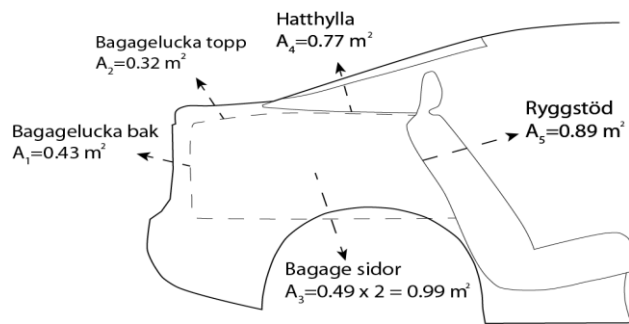
5.1.2.4 Värmeöverföring till bagageutrymmet

Då en värmeväxlare implementeras i bilen kommer luftflödet ändras. Det kommer inte längre finnas ett luftutflöde i bagaget och på grund av detta finns nu möjlighet att isolera ytorna mellan kupén och bagage, vilket ger en mindre volym att värma upp. Ytorna som beräknas är ryggstöden i de bakre sätena och hatthyllan(figur 42). Då bagaget inte kommer ha samma temperatur som utomhustemperaturen är en bättre uppskattning $0 \text{ }^\circ\text{C}$ i bagaget. Denna temperatur är svår att räkna fram, men det anses vara ett rimligt antagande. Små förändringar av temperaturen påverkar dessutom resultatet av värmeöverföringen mycket lite. Ryggstöden, som innehåller mycket skumgummi, släpper i dagsläget igenom endast 17 W och är därmed redan tillräckligt isolerade. Areorna som används för dessa beräkningar presenteras i figur 43.

Det återstår att beräkna om det är lönsamt att isolera hatthyllan, vilket kräver att samtliga bagagedelars värmeöverföringsbidrag är uträknade. Då golvet i bagageutrymmet är välisolerat, samt att det där finns stora värmealstrande batterier, går det att bortse från värmeöverföringen genom golvet.



Figur 42: Mått på material i hatthylla och ryggstöd



Figur 43: Areor i bagage

Väggarna i bagaget samt luckan består av samma material som dörrarna och beräknas därför enligt samma beräkningsgång. Luftspalten är däremot inte lika tjock, men då konvektionen och strålningen inte är beroende av tjockleken på spalten kan samma effektförlust per kvadratmeter användas. Dessa beräkningar visar att det försvinner 122 W ut genom bagaget innan det har isolerats och 68 W efter isoleringen är gjord.

5.1.2.5 Värmekonduktion genom fönsterrutor

Mycket värme försvinner även ut genom bilens fönsterrutor. Denna transport utav värme består av ledning (konduktion), konvektion och strålning. U-värde är ett måttetal som inkluderar alla dessa värmeöverföringar, men bortser från fönstrets lutning. Hänsyn till lutningen kommer därför tas i slutet av uträkningarna. U-värden inkluderar även värmeöverföringen genom karmar och lister på fönsterrutorna. Då karmar och lister inte ser likadana ut i bilar som i bostäder, används istället Ug-värden som endast inkluderar värmegenomföringen genom rutan. Ug-värdena som används i följande beräkningar har hämtats ifrån ASHRAE Handbook – 2001 Fundamentals (Bemisderfer, 2001).

Vanligt enkelglas i byggnader har ett Ug-värde på 5.9 W/m²K och är 3 mm tjocka. I bilar går det inte att finna dessa värden. Det är däremot vedertaget att glasen är tjockare (4 mm) och ett troligare Ug-värde beräknas till 4.4 W/m²K. Denna beräkning grundar sig på ett antagande om att det är endast värmeledningen som påverkas vid ökad tjocklek på rutan. Med denna information kan värmeöverföringen räknas ut likt enligt ekvation 2.

$$q = U * \Delta T = 4.4 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] * 45 [K] = 199.4 [W/m^2] \quad [2]$$

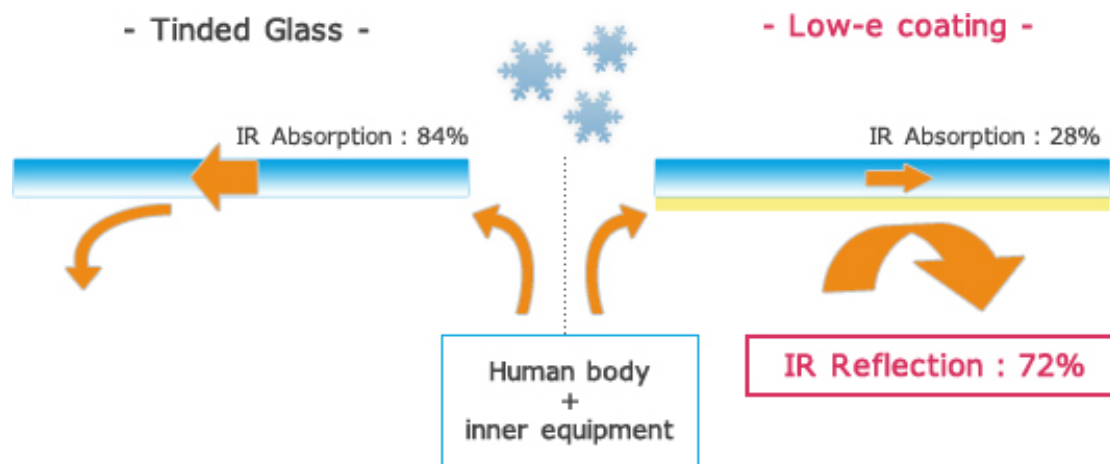
Detta är mycket större än vad värmeöverföringen är för såväl dörrar som tak. Genom att använda dubbelglas på samtliga rutor, förutom framrutan där det finns risk för att ljusbrytningar kan uppkomma, kan värmeutflödet minskas rejält. Detta är inget nytt. Exempelvis används dubbelglas som sidofönsterrutor i många av Scania ABs lastbilar. Typiska Ug-värden på dubbelglas med 6.4 mm gasspalt med Argon och 3 mm tjockt glas är 2.9 W/m²K. Ett nytt värde på värmeöverföringen beräknas då enligt ekvation 3.

$$q = U * \Delta T = 2.9 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] * 45 [K] = 130.5 [W/m^2] \quad [3]$$

För att kunna använda dubbelglas krävs eluppvärmda rutor som startas vid risk för kondens och is. Detta leder till ökad elförbrukning, men då en varm luftström inte längre behövs för att värma rutorna kan fläktarna arbete mindre.

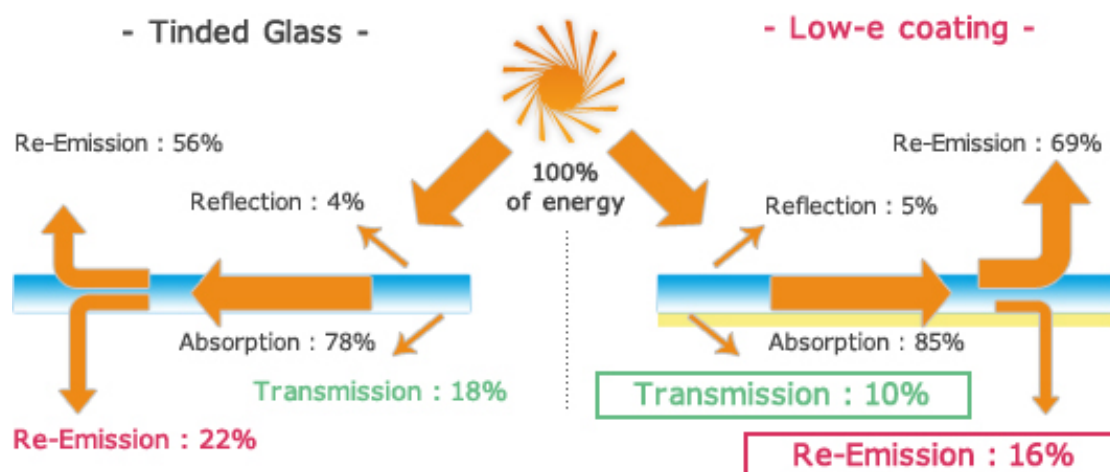
För att minska värmeförlusterna genom fönsterrutorna finns det idag många lösningar som minskar IR-genomstrålningen. Ett bra exempel är lågemissionsglaset som finns i flertalet varianter och av

olika tillverkare. Lågemissionsglas består av ett skikt som reflekterar en stor del av IR-strålning inne i kupén. Detta skikt består vanligen av någon metalloxid, likt tennoxid. Reflektion av IR-strålning är fördelaktigt på vinterhalvåret då temperaturen är lägre utanför bilen. En större del av värmeinstrålningen hålls då, med hjälp av detta repellerade skikt, kvar inne i kupén, se figur 44.



Figur 44: Principiell skiss över lågmissionsglas under vinterhalvåret (AGC Automotive, 2012)

På sommarhalvåret blir bilen väldigt varm då solinstrålningen går igenom rutorna och omvandlas till kortvågig värmeinstrålning inne i kupén. Mycket energi åtgår då för att kyla ner bilen. Lågemissionsskiktet har då en annan bra egenskap då det släpper igenom mindre utav solstrålningen. Figur 45 visar detta nedan.



Figur 45: Principiell skiss över lågmissionsglas under sommarhalvåret (AGC Automotive, 2012)

Ett dubbelglas med emissionskikt har ett U-värde på 2.16 [W/m²K], vilket är beräknat med en emissionsfaktor (ϵ) på 0.2 som gäller för ett emissionskikt med tennoxid.

$$q = U * \Delta T = 2.16 \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] * 45 [K] = 97.2 [W/m^2] \quad [4]$$

Denna värmeöverföring, enligt ekvation 4, gäller för sidorutorna som antas helt vertikala. Framrutan som fortsatt kommer bestå av enkelglas får ett Ug-värde på 3.7 W/m²K då det kompletteras med ett emissionskikt. Då framrutan lutar ökar dock Ug-värdet till 4.1 W/m²K. Bakrutan kompenseras också för dess lutning och nytt Ug-värde blir då 2.55 W/m²K. Genom att beräkna areorna på fönsterrutorna och multiplicera dessa med de uträknade värmeöverföringsvärdena ovan erhålls ett värde över hur

stor sammanlagd effekt, Q , som försvinner ut därifrån, enligt ekvation 5 och 6. Areorna presenteras sedan tidigare i figur 40.

$$Q_{fönster,innan} = Q_{sidorutor} + Q_{Framruta} + Q_{Bakruta} =$$

$$199.4 * (0.91 + 1.18 + 0.96) = 607.4 [W] \quad [5]$$

$$Q_{fönster,efter} = Q_{sidorutor} + Q_{Framruta} + Q_{Bakruta} =$$

$$(97.2 * 0.91) + ((4.1 * 45) * 1.18) + ((2.55 * 45) * 0.96) = 415.6 [W] \quad [6]$$

Som resultatet visar minskar den totala värmeöverföringen genom rutorna mycket vid införandet av dubbelglas och emissionsskikt. Däremot är det nya värdet fortsatt högt vid en jämförelse med det totala värmeutflödet genom övriga delar i bilen. Här finns alltså fortsatt stor potential till att kunna minska effektbehovet ytterligare. Glas isolerar dåligt och genom att byta material i fönsterrutorna skulle ännu mer effekt kunna sparas. Det kommer bland annat allt fler fönsterglas av transparent plast på marknaden, men sikten genom dessa är fortfarande inte tillräckligt god för att kunna implementeras i bilar.

5.1.3 Isoleringens påverkan på effektbehovet för kupéuppvärmningen

Den sammanlagda värmeöverföringsminskningen, vid en utomhustemperatur på $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och kupétemperatur på $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, då isoleringen implementeras blir 507 W eller 44% . Den största minskningen har bytet av fönsterrutorna bidragit till, men som nämnts tidigare finns här också den största potentialen att minska effektbehovet ytterligare. Vidare behöver det undersökas hur fönsterhissarna skall fungera då sidorutorna nu består av dubbelglas istället för enkelglas. Viktigt blir att sluta tätt kring alla kanter på rutan så att argonet inte läcker ut. Om detta görs kan troligen fönsterhissarna fungera på samma sätt som idag.

Då isoleringen är dyr och väger mycket är frågan om det är lönsamt att isolera alla delarna som beräknats. Exempelvis visade beräkningarna att golvet i dagsläget var bättre isolerat än de övriga ytorna. Då golvarean även är stor är det troligen inte lönsamt att isolera golvet. Den totala effektminskningen blir då istället 463 W . De värden som tidigare har nämnts är framräknade för extremfallet med en utomhustemperatur på $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. För att få en rimligare effektförlust görs också ovanstående beräkningar med medeltemperaturen för varje månad i Stockholm (SMHI, 2012). Resultatet blir att effekten sänks med 143 W .

Materialkostnaden för att lägga till isoleringen är $2\,730\text{ SEK}$. Här tas ingen hänsyn till de indirekta kostnaderna som uppkommer vid implementeringen av det nya materialet i bilen. Det tas heller ingen hänsyn till den extra kostnaden som uppkommer vid byte från enkelglas till dubbelglas. I detta fall är det troligen inte materialkostnaden som kommer öka nämnvärt utan snarare kostnaderna för att ändra exempelvis ramarna där rutorna fästs i.

I beräkningarna är vakuumisoleringen 10 mm tjock. Genom att ändra denna tjocklek kan andra värden på värmeöverföringen och materialkostnaden erhållas. Exempelvis blir materialet billigare per kubikmeter då tjockleken ökas. Noggrannare beräkningar behöver alltså göras för att erhålla optimal tjocklek för de olika ytorna i bilen. I detta arbete ges endast en indikation på att mycket effekt kan sparas genom att isolering implementeras i bilar. Då vakuumisolering är en relativt ny på marknaden finns det stora möjligheter att materialkostnaden kommer minska vid en storskalig tillverkning. På grund av detta är värdet som angivits för materialkostnaden troligen högt räknat.

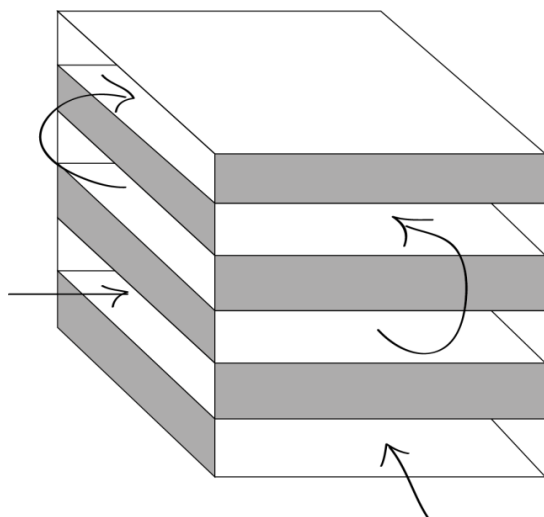
Något som också behöver beaktas är den ökade vikten i bilen på grund av den tillagda isoleringen och ändringen till dubbelglas i rutorna. Denna beräknas till 17.45 kg , men kan bli lägre då det antagligen

inte behövs lika tjock isolering på samtliga ytor. På grund av denna vikt uppkommer extra kostnader, då det krävs mer energi att driva en tyngre bil. Då arbetet fokuseras på en elbil kommer denna kostnad bli liten på grund av det låga elpriset. Däremot kommer batteriet hålla kortare tid då det krävs mer energi för att driva bilen. För att beräkna denna extra förbrukning antas att det är endast rullmotståndet som ökar då vikten på bilen ökar, vilket är ett rimligt antagande med tanke på att bilens geometri är oförändrad. Rullmotståndskoefficienten är 0.012 för bildäck, vilket är tagit ur Fundamentals of Vehicle Dynamics(Gillespie, 1992). Vid ett antagande om en medelhastighet på 60 km/h blir det ökade effektbehovet, på grund av viktökningen, 34 W.

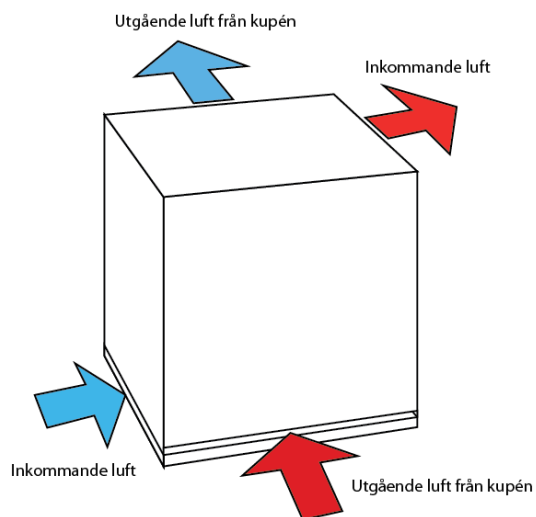
5.2 Värmeväxlare

En värmeväxlare används då värmeenergi önskas växla från ett medium till ett annat. För att spara energi vid tempereringen av en bilkupé implementeras därför en värmeväxlare i bilen för att växla den tempererade kupélufte med uteluften. För detta ändamål är en tvärflödes kubisk kompaktvärmeväxlare den mest lämpade värmeväxlaren då den kan växla luft med luft och är effektiv redan vid små volymer. För att luften ska flöda som planerat genom hela värmeväxlaren, krävs det att luften vänder efter varje luftspalt, enligt figur 46. Detta kan praktiskt åstadkommas med ett hölje runt hela värmeväxlaren där avskärmningar tvingar luften till nästa luftspalt. Vidare fungerar höljet som skydd för värmeväxlaren så att de tunna kanalväggarna inte kan ta skada.

Figur 46 och 47 visar principen för en kompaktvärmeväxlare där två medium flödar i avskilda kanaler genom hela värmeväxlaren. Medierna kommer aldrig i kontakt med varandra utan värmeenergin överförs genom väldigt tunna metallväggar som skiljer dem åt. I projektet konstrueras värmeväxlarens väggar, med en tjocklek på 0.1 mm, i aluminium på grund av dess höga värmeledningsförmåga, låga densitet samt relativt låga pris. Ett alternativt material som fungerar bättre sett till dess värmeledningsförmåga är koppar. Dock skulle koppar bli alldeles för dyrt att använda.



Figur 46: Principiell skiss över en tvärflödes kompaktvärmeväxlare med dess vändningar



Figur 47: Schematisk bild över luftintagen till värmeväxlaren

Många nya bilar är konstruerade med ventiler under handskfacket vid passagerarens fötter som samlar upp luft till recirkulationsfunktionen. Luften transporteras sedan genom kanaler till instrumentbrädan för vidare distribuering till kupén. Vid implementering av värmeväxlaren kan detta befintliga system användas. En stor fördel är att dessa kanaler redan finns och alltså behöver inte

bilens konstruktion ändras för att implementera luftkanalerna. Kupélufte transporteras från utrymmet under handskfacket till värmväxlaren där den kan växlas med uteluft. Uteluften erhåller därigenom en temperatur närmare den evakuerade kupélufte och behöver ej tempereras lika mycket innan den fördelas ut i kupén.

Vid drift skapas högre tryck i den främre delen av bilen och lägre tryck i den bakre delen. Trycket i bilen höjs med hastigheten som bilen färdas i. I dagsläget utnyttjas tryckdifferenserna vid utformningen av det befintliga klimatsystemet då övertrycket bidrar till ett naturligt luftflöde från bilens främre del till den bakre. Flödet går över framrutan, längs taket och slutligen utefter bakrutan tills det når hatthyllan för att sedan evakueras ut till omgivningen genom bagageutrymmet. Luftflödet bidrar på så sätt till en reducerad risk för kondens på bilens bakruta.

En placering av värmväxlaren med dess luftintag i den främre delen av bilen innebär att det traditionella luftflödet inte kan utnyttjas på samma sätt då luften inte längre evakueras i den bakre delen, vilket bland annat kan resultera i en ökad risk för kondensbildning på bakrutan. Att istället ha evakueringen i bakre delen av bilen hade i det avseendet varit mer optimalt. Dessutom hade fördelningen av friskluft då kunnat vara jämnare. Det innebär dock att kanaler som löper genom hela kupén måste införas för att sammanlänka evakueringen med värmväxlaren. Även om värmväxlaren placeras i bilens bakre del kommer det skapa ett behov av långa luftkanaler trots att in- och utflödet är placerat i den bakre delen av kupén. Detta på grund av att den värmväxlade luften kan ha för låg temperatur för att skickas in i kupén utan att värmas upp ytterligare, och värmekällan som kan höja luftens temperatur ytterligare är placerad i bilens främre del. Vidare innebär en placering i den bakre delen av bilen vissa dimensioneringsproblem då det luftflöde som uppkommer runt bilen vid drift motverkar en placering av luftintaget i den bakre delen.

Då en placering i bilens bakre del skulle resultera i en omfattande omkonstruktion av bilens luftdistribueringsystem anses det vara mer rimligt att placera värmväxlaren i den främre delen. I bilens främre del återfinns även luftvärmepumpen som värmer upp luften ytterligare innan den distribueras till kupén. Det eventuella problemet med kondensutfällningen på bilens bakruta löses genom en direkt uppvärmning av denna, likt den som redan idag finns implementerad i flertalet fönsterrutor. Vidare anses inte kondensutfällningen på bilens bakruta bidra till någon större negativ inverkan på bilens säkerhet, då de främre rutorna är de viktigaste att behålla kondensfria ur säkerhetssynpunkt.

Det finns fall då värmväxlaren inte bidrar positivt till kupétempereringens effektförbrukning. Om kupétemperaturen överstiger yttretemperaturen då kupén är i behov av kylning är det till exempel inte fördelaktigt att använda värmväxlaren. Även vid små temperaturskillnader kan värmväxlarens effektförbrukning vara högre än besparingen den ger. Därför är det nödvändigt att införa ett reglersystem som kan evakuera luften utan att värmväxla den.

5.2.1 Dimensionering av värmväxlare

För att dimensionera värmväxlaren testas extremfall av temperaturdifferenser vid ett luftflöde på 200 kg/h, vilket är ett vanligt flöde vid dessa temperaturdifferenser för kylning utav bilens kupé, enligt Filip Nielsen. Detta för att det som blir dimensionerande för värmväxlaren, som luftens hastighet, antal gap(värmväxlarens luftspalter), tryckfallet i värmväxlaren samt de yttre måtten, uppstår då temperaturdifferensen är stor. Ett extremfall, som går att återfinna i arktiskt klimat på vinterhalvåret, är då utetemperaturen är $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och kupétemperaturen önskas vara $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

För att kunna dimensionera värmväxlaren utförs beräkningar enligt exempel 11.1 samt 11.2 i Fundamentals of Heat and Mass Transfer(Incropera, 2007). I exemplen utförs beräkningarna på en motströms kompaktvärmväxlare, men denna kan antas identisk med en tvärströms

kompaktvärmewäxlare vid tillräckligt många vändningar(figur 46). Nedan redovisas beräkningarna med förklaring av antaganden och ansatta värden. Övriga beräkningar och formler redovisas i Bilaga C.

De antaganden som gjorts för dimensioneringen av värmewäxlaren är antaganden som är allmänna och vedertagna för beräkningar på en tvärströms kompaktvärmewäxlare, enligt Incropera(2007). Dessa presenteras nedan.

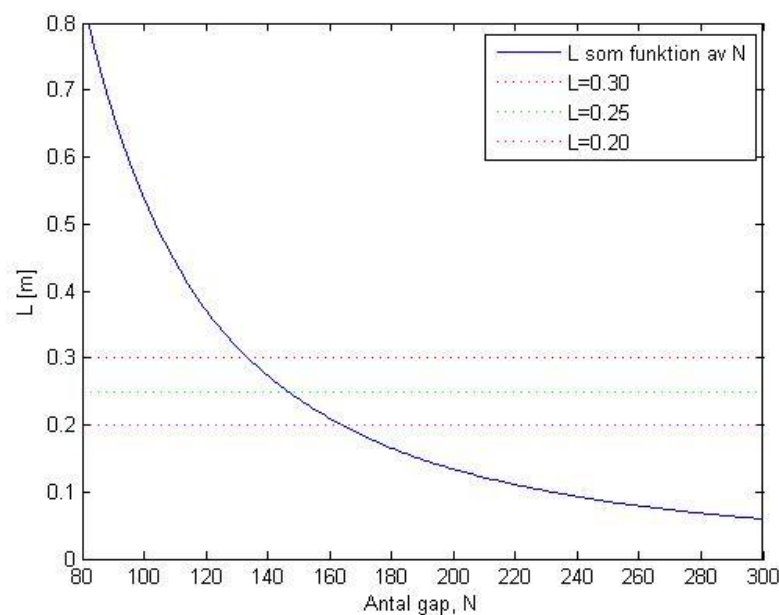
- Värmeförlusten till omgivningen är försumbar.
- Ändringen i potentiell- och kinetisk energi är försumbar.
- De storheter som används i beräkningarna är konstanta.
- Det termiska motståndet hos plattorna är försumbart.
- De föroreningsfaktorer som skulle kunna uppstå antas vara försumbara.
- Alla gap har identisk värmeledningsförmåga.
- De yttre måtten för värmewäxlaren är stora jämfört med gapens bredd.
- Gapvidden $a \ll L$ (sidolängden).
- Flödet i kanalerna är laminärt.

Då de två medierna har samma massflöde och specifika värmekapacitet leder detta till att de två luftflödena har identiska temperaturskillnader, vilket kan antas resultera i att denna temperaturdifferens är samma som den logaritmiska temperaturdifferensen. Vidare antas det att temperaturverkningsgraden hos värmewäxlaren är identisk med den som ofta återfinns i passivhus, vilken motsvarar 80 %.

Längden är beroende av antalet gap, N, i värmewäxlaren, enligt ekvation 7.

$$L = \frac{q}{\Delta T_{lm(N-1)*N}} * \frac{2}{h*L} = \frac{5316.7}{N(N-1)} [m] \quad [7]$$

För att kunna dimensionera värmewäxlaren på ett bra sätt samt se hur längden på värmewäxlaren och antalet gap påverkar varandra, jämförs de mot varandra i ett diagram. Se figur 48.



Figur 48: Värmewäxlarens längd som funktion av antalet gap

I figur 48 kan det utläsas att sidlängden på värmeväxlaren minskar när antalet gap ökar. Då värmeväxlaren inte kan vara alltför stor med tanke på det begränsade utrymmet i bilen måste alltså antalet gap vara relativt högt. Den kan dock inte göras alltför kompakt, då gapen inte kan vara hur små som helst. En minskning av gapstorleken resulterar i ökad medelhastighet på luftflödet samt att luftflödet kan bli turbulent.

Genom att beräkna vilken gapstorlek, medelhastighet samt vilket tryckfall värmeväxlaren ger upphov till för olika längder och gapstorlekar optimeras värmeväxlarens storlek. Efter dessa jämförelser väljs $L = 0.2 \text{ m}$, vilket motsvarar att värmeväxlaren kommer att bestå av $N = 164$ gap då övriga parametrar erhåller acceptabla värden.

Sidlängden på ett gap, a , beräknas genom att den totala längden divideras med antalet gap enligt ekvation 8.

$$a = \frac{L}{N} = 0.0012 \text{ [m]} \quad [8]$$

Innan beräkningarna gjordes ett antagande om att gapstorleken $a \ll L$. En kontroll av detta visar att sambandet fortfarande gäller, enligt ekvation 9.

$$\frac{L}{a} = \frac{0.2}{0.0012} = 166.67 \quad [9]$$

En alltför hög medelhastighet kan medföra sämre värmeledning samt bidra till att ljudnivån i kupén ökar, vilket kan störa bilens passagerare. Därför beräknas medelhastigheten på luftflödet i gapen, u , enligt ekvation 10.

$$u = \frac{\dot{m}}{\rho * L^2 / 2} = 1.99 \text{ [m/s]} \quad [10]$$

Detta anses vara en relativt låg hastighet, vilken därmed inte kommer ha någon betydande påverkan på ljudnivån i bilkupén. Eftersom värmeväxlaren dessutom kommer vara placerad i motorrummet anses inte ljudet bli lika märkbart inne i kupén där det finns fläktar som distribuerar luften, vilka antas ha en högre ljudvolym än den som luftflödet orsakar i värmeväxlaren.

Då ett antagande om att laminär strömning råder gjordes vid beräkningarna behöver Reynoldstalet beräknas för att kontrollera att det faktiskt är laminär strömning, enligt ekvation 11.

$$Re_D = \frac{\rho * u * D_h}{\mu} = 425.56 \quad [11]$$

Ett Reynoldstal mindre än 2000 visar att strömningen mellan två parallella plattor är laminär, enligt White(2009). Då beräkningarna visar att laminär strömning råder kan de antaganden som gjorts antas vara korrekta. Med laminär strömning kan tryckfallet beräknas enligt ekvation 12.

$$\Delta p = \frac{64}{Re_D} * \frac{\rho u^2}{2D_h} * L = 50.97 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad [12]$$

Anledningen till att tryckfallet behöver beräknas och inte kan vara alltför stort är att bilens fläktar inte fungerar vid större tryckfall. Enligt Filip Nielsen är tryckfallet på luftsidan över evaporatorn i dagens klimatenhet cirka 35 Pa, vid ett luftflöde på 200 kg/h. Det beräknade tryckfallet i detta fall anses därför ha en rimlig storlek.

En kontroll av systemets robusthet görs för att veta att det även fungerar vid fall som inte anses lika extrema. En bra utgångspunkt för detta är att välja Stockholms årsmedeltemperatur, vilken är 7.42 °C (SMHI, 2012). Vid denna temperatur ändras luftens egenskaper, vilket leder till ett ökat tryckfall.

Tryckfallet, som vid denna temperatur är 63.15 N/m^2 , anses även i detta fall vara ett lågt tryckfall vilket är inom fläktarnas kapacitet.

5.2.2 Effektbesparing värmeväxlare

Då de genomförda beräkningarna anses robusta kan det minskade effektbehovet nu räknas ut med den givna verkningsgraden. För att kunna göra detta behövs det tas fram hur mycket effekt som ventileras ut i dagsläget och på så sätt hur mycket som kan återanvändas. Detta beräknas som tidigare med en genomsnittlig utomhustemperatur för Stockholm. Genom att sedan multiplicera detta värde med verkningsgraden fås den totala besparingen, enligt ekvation 13.

$$Q_{VWX} = \dot{m} * C_p * \Delta T * \eta = 0.056 * 1006.7 * (20 - 7.42) * 0.80 = 562.9 \text{ [W]} \quad [13]$$

Med samma beräkning för extremfallet, med en utomhustemperatur på $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, fås en effektminskning på $2\,022 \text{ W}$. En implementering av värmeväxlaren innebär också en ökad totalvikt av bilen vilket i sin tur leder till ökat rullningsmotstånd. Värmeväxlaren och dess hölje konstrueras i aluminium, totalvikten blir därmed 1.91 kg . Det ökade rullmotståndet beräknas till 3.76 W .

För att luften i värmeväxlaren ska kunna flöda på önskat vis tillsätts ytterligare en fläkt till systemet. Den nya fläkten implementeras efter värmeväxlaren, i kanalsystemet som leder ut ur bilen, med uppgift att dra ut kupélufte. Enligt Stefan Svedhem förbrukar en integrerad fläkt i sin tänka miljö, det vill säga med hänsyn tagen till exempelvis mottryck från kanaler, cirka 275 W vid maximalt flöde (120 l/min). Antaget att fläkten arbetar linjärt förbrukar den vid det aktuella flödet, 46.3 l/min , cirka 106 W .

Kostnaden för att implementera värmeväxlaren är svår att uppskatta då den behöver konstrueras specifikt enligt den dimensionering som gjorts. Om en jämförelse ändå görs med existerande värmeväxlare på marknaden ses att dessa kostar ett par tusen kronor. Då den värmeväxlare som kommer att implementeras i bilen tillverkas i stor skala, samt att den har mindre dimensioner än de flesta andra, bör priset vara lägre än de som existerar på marknaden.

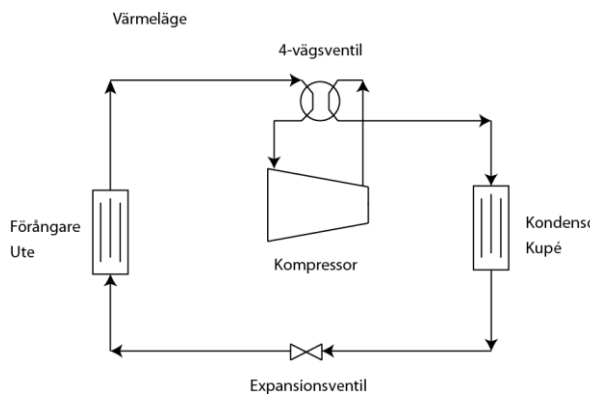
5.3 Luftvärmepump

Användningen av värmepumpar i fordon är ingen ny tanke, år 1965 lämnades en patentansökan in till United States Patentoffice för en värmepump som skulle värma upp kupén i en personbil (Alexander, 1967). Värmepumpen skulle även användas för att kyla kupén. Toyota använde en värmepump i elbilen RAV4 EV år 1997 och ett antal andra biltillverkare har på senare år infört värmepumpar i sina elbilsmodeller. Att inte bilar med förbränningsmotor använder värmepump för att generera värme under drift beror på att den positiva värmeeffekt värmepumpen ger försvinner när bränslet ska omvandlas till rörelseenergi som sedan överförs till värmepumpens kompressor. I en elbil drivs kompressorn av el direkt från batteriet.

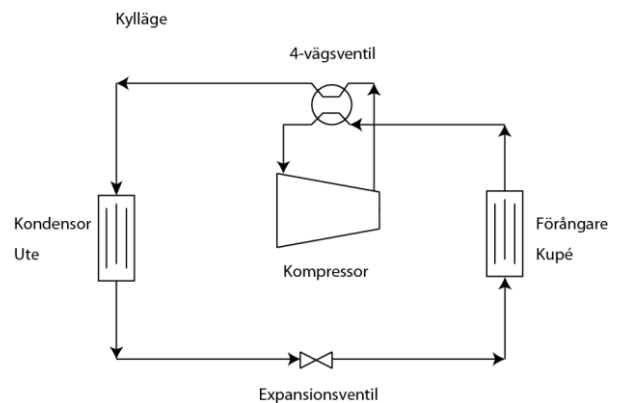
5.3.1 Luftvärmepumpens konstruktion

Konstruktionen bygger på kylprocessen där värme överförs från ett lågtemperaturområde till ett högtemperaturområde (Çengel, 2007), det är därför möjligt att utnyttja en värmepump både till att kyla och värma ett utrymme. Värmepumpar delas in i olika kategorier beroende på mellan vilka medium värmeöverföringen sker. Exempelvis kan värme hämtas ur berggrunden, jordlagret, havet, sjöar och vattendrag samt ur luften (Energimyndigheten, 2012). För ett fordon som befinner sig i rörelse vid användning så är luften det enda rimliga alternativet att hämta värme ifrån. En värmepump består av förångare, kompressor, kondensator, expansionsventil samt ett cirkulerande

köldmedium. För att värmepumpen ska kunna användas för att generera kyla behövs även en 4-vägsventil som kan vända på köldmediets flöde(Çengel, 2007), se figur 49 och 50.



Figur 49: Schematiskt flöde vid värmeläge



Figur 50: Schematiskt flöde vid kyläge

Kompressorns uppgift är att komprimera det överhettade köldmediet till lämpligt tryck och det är dess effekt som avgör energiförbrukningen. Kondensorn avger värme till den inkommande luften genom värmeväxling när köldmediet kondenseras. Strypventilen sänker trycket på köldmediet vilket också innebär en tempsänkning och därmed kan värme överföras från utomhusluften till köldmediet, förutsatt att köldmediets temperatur understiger utomhusluftens temperatur. I förångaren växlar utomhusluften värme med köldmediet som förångas och flödar vidare till kompressorn. För en kylprocess tas inte den värme som avges i kondensorn tillvara, där är det istället förångarens värmeupptagning som kylvärmen. Att använda en värmepump för att både värma och kyla kupéluft innebär problem med avfuktningen av luften, en värmepump i standardutförande klarar inte av att utföra båda uppgifterna parallellt. I dagens klimatanläggning kyls luften ner till 4 °C för att fukt ska fällas ut innan den åter igen värms upp till önskad temperatur. För att kringgå detta problem kan ytterligare en värmekälla användas när kupéluft ska avfuktas med värmepumpen. Eventuellt kan värmepumpen konstrueras så att det blir möjligt att kyla och värma luften parallellt, en konstruktion som inte existerar idag.

Ett annat problem som kan uppstå med luftvärmepumpar är att i fuktiga klimat vid temperaturer under 2 °C behöver förångaren avfrostas med jämna mellanrum för att inte förlora effekt i värmeöverföringen(Çengel, 2007). En avfrostning sker antingen genom att flödet reverseras eller att ett elektriskt värmeelement integreras i förångaren. I båda fallen bidrar detta till förluster i värmepumpens energieffektivitet. Att avfrosta genom en reversering av flödet innebär även att ingen värme genereras av värmepumpen under den tiden avfrostningen sker. Även fläktarna som driver luft genom kondensorn och förångaren sänker energieffektiviteten genom att vara energiförbrukare. En värmepumps energieffektivitet mäts med hjälp av en kvot mellan den utvunna värmeeffekten och den totala tillförda effekten enligt ekvation 14, kvoten benämns Coefficient of Performance, COP.

$$COP_{VP} = \frac{Q_{ut}}{W_{in}} \quad [14]$$

Ett COP_{VP} på 3 innebär att på 1 W tillförd eleffekt kan 3 W i form av värmeenergi genereras. COP_{VP} sjunker med temperaturen och har sitt maximala värde runt ett par plusgrader.

5.3.2 Dimensionering av luftvärmepump

Beräkningar för hur stor effekt en värmepump, som ska förse en bilkupé med värme, förbrukar gjordes med vissa antaganden. Efter införande av isolering samt värmeväxlare kunde den maximala värmeeffekt som behövdes för att värma kupén till 25 °C vid -20 °C utomhus antas till 3 kW. En beräkning gjordes även med årsmedeltemperaturen i Stockholm(SMHI, 2012), då antogs

värmeeffektbehovet till 1.2 kW (Holmberg, 2012). Med isoleringens och kupévärmeväxlarens besparing på 142.5 W respektive 562.9 W blev det nya värmeeffektbehovet cirka 0.5 kW. Kondensorn och förångaren antas kunna växla temperatur med genomgående luft med en förlust på 5 °C. Vilket innebär att om den inkommande luften ska uppnå en temperatur på 45 °C så måste köldmediet i kondensorn minst ha en temperatur på 50 °C. Temperaturen i den inkommande luften antogs behöva vara 45 °C för att uppnå och bibehålla önskad kupétemperatur på 25 °C vid -20 °C samt 30 °C för att uppnå 20 °C vid 7.42 °C (Holmberg, 2012). Endast kompressorns effektbehov beräknades och det vid ett förbestämt värmeeffektbehov, detta på grund av att det är kompressorn som till största del avgör hur mycket effekt som värmepumpen kräver. Fläktar som vanligtvis sitter i anslutning till förångaren och kondensorn försummas i beräkningen, luftflödet genom kondensorn sköts av kupéns luftvärmeväxlare och finns medräknat i den beräkningen. Luftflödet genom förångaren behöver forceras med en fläkt när bilen ej är i rörelse, vid drift antas luftflödet som fartvinden orsakar vara fullt tillräcklig. Kompressorn antas ha en isentropisk verkningsgrad på 60 % (Çengel, 2007). Kondensorn, förångaren, expansionsventilen, 4-vägsventilen samt köldmediets kanaler lämnades utanför beräkningen då effektbehovet är det intressanta.

Tre stycken olika fall beräknades. Det första fallet är det mest extrema som värmepumpen ska klara av med -20 °C utomhus och 25 °C i kupén. Fall två beräknas med Stockholms årsmedeltemperatur 7.42 °C utomhus och en kupétemperatur på 20 °C. Fall tre tar upp värmepumpens effekt vid kylning med utomhustemperatur på 30 °C och önskad kupétemperatur på 15 °C.

Kylmediet R-134a valdes, det fanns en mängd andra sorter men ång- och vätsketabeller samt P-h diagram för R-134a fanns tillgängligt i Thermodynamics(Çengel, 2007). Beräkningarna finns presenterade i Bilaga D och gav följande resultat.

Tillförd effekt(ekvation 15) samt COP(ekvation 16) med utomhustemperatur -20 °C och önskad kupétemperatur 25 °C då värmeeffektbehovet är 3 kW.

$$W_{kompressor} = 1.198 [kW] \quad [15]$$

$$COP_{VP} = \frac{Q_{ut}}{W_{kompressor}} = 2.28 \quad [16]$$

Tillförd effekt(ekvation 17) samt COP(ekvation 18) med utomhustemperatur 7.42 °C och önskad kupétemperatur 20 °C då värmeeffektbehovet är 0.5 kW.

$$W_{kompressor} = 0.0960 [kW] \quad [17]$$

$$COP_{VP} = \frac{Q_{ut}}{W_{kompressor}} = 5.21 \quad [18]$$

Tillförd effekt(ekvation 19) vid kylning med utomhustemperatur 30 °C och kupétemperatur 15 °C.

$$W_{kompressor} = 0.40 [kW] \quad [19]$$

5.3.3 Luftvärmepumpens påverkan på effektbehovet

Besparingen som värmepumpen gav vid årsmedeltemperaturen uppgick till cirka 80 % av det kvarstående värmeeffektbehovet, vilket är det effektbehov som kvarstår efter värmeväxlarens och isoleringens värmeeffektbesparing. Motsvarande värde vid -20 °C blev cirka 60 %. Rimligheten i beräkningarna kan diskuteras, ett COP på 5.21 vid 7.42 °C är fullt möjligt även om det verkar lite

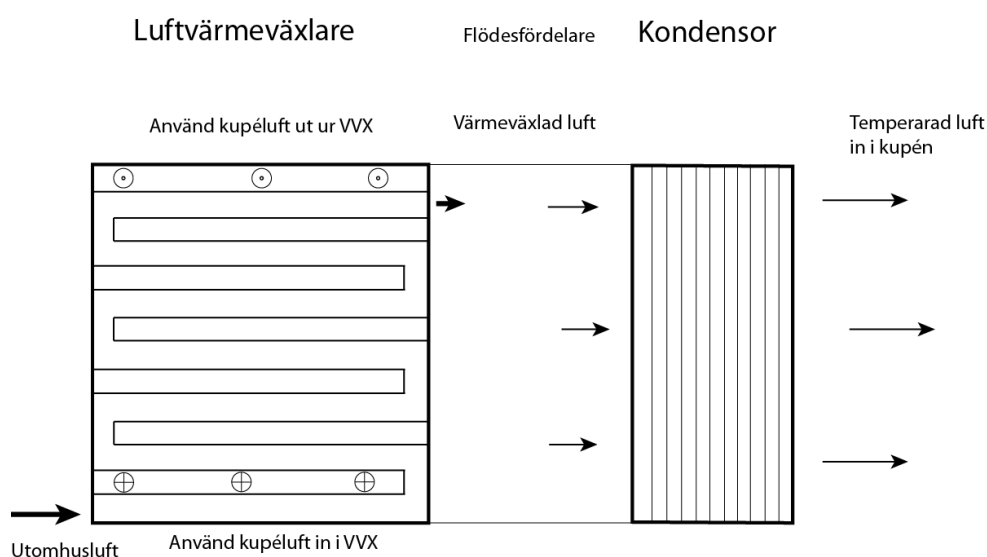
högt. Även ett COP på 2.28 vid -20 °C verkar vara för högt, vid så låga temperaturer används vanligtvis inte luftvärmepumpar på grund av det låga energiinnehållet (Energimyndigheten, 2012). En beräkning av detta slag är inte helt ackurat då antaganden och förenklingar stör precisionen på utslaget. Att bestämma COP helt teoretiskt och med god precision kräver en mer djupgående analys av alla ingående delar i värmepumpen.

5.4 Komponenternas placering i bilen

Vakuumisoleringen implementeras i kupéns dörrar och tak samt i hatthyllan som avgränsar kupén från bagaget. I taket kommer den nya isoleringen sitta mellan plåten och plasten. Det finns därav en risk att isoleringen går sönder om tunga föremål träffar taket och bucklar till plåten. Taket tar dock sällan skada utan oftare är det karossens sidor som skadas på grund av mindre stötar. Isoleringen i dörrarna skyddas därför utav ett lager PUR-skum. Hatthyllan består idag endast av ett plastskikt som omsluts av ett tyglager. Under hatthyllan sitter ett plåthölje som skyddar hatthyllan från att skadas av saker i bagageutrymmet. Den nya isoleringen implementeras därför på undersidan av plasten där risken för att den skadas är minst.

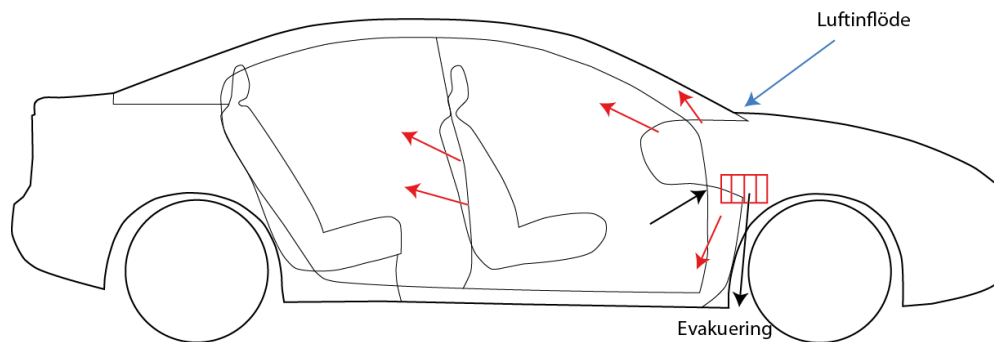
Bakrutan och sidorutorna har ersatts med dubbelglas istället för det tjocka enkelglaset som de tidigare var tillverkade av. Alla rutorna, inklusive framrutan, har kompletterats med ett emissionsskikt som sitter på insidan av det inre glaset. Då dubbelglaset bidrar till ökad risk för isbildning på utsidan av glaset används eluppvärmning av rutorna i form av integrerade värmeslingor. Värmeslingorna bidrar på så sätt också till att risken för fuktbildningen på rutorna minskar. Dessa värmeslingor styrs med reglersystem som aktiveras vid risk för isbildning samt kondensutfällning.

Den kubiska kompaktvärmeväxlaren implementeras mellan motorrummet och bilens kupé. Som luftintag till kupévärmväxlaren används det befintliga luftintaget som finns hos dagens personbilar. Luften tas in vid motorhuvens närmast vindrutans och fördelas till värmväxlarens inluftskanal. Den värmväxlade friska luften distribueras via en luftkanal till luftvärmepumpens kondensator, se figur 51, där lufttemperaturen höjs ytterligare. Därefter sitter kupéfläkten som fördelar ut luften i kupén genom justerbara luftmunstycken. Luftmunstyckena sitter utspridda på instrumentpanelen, vid vindrutans nedre del samt i vissa bilar även på B-stolparna, mellan framsätena riktade mot baksätet och på sidostolpen i bagageutrymmet i instrumentpanelen. Distributionskanalerna som fördelar luften till luftmunstyckena längre bak i bilen finns i bilens golv samt sidor.



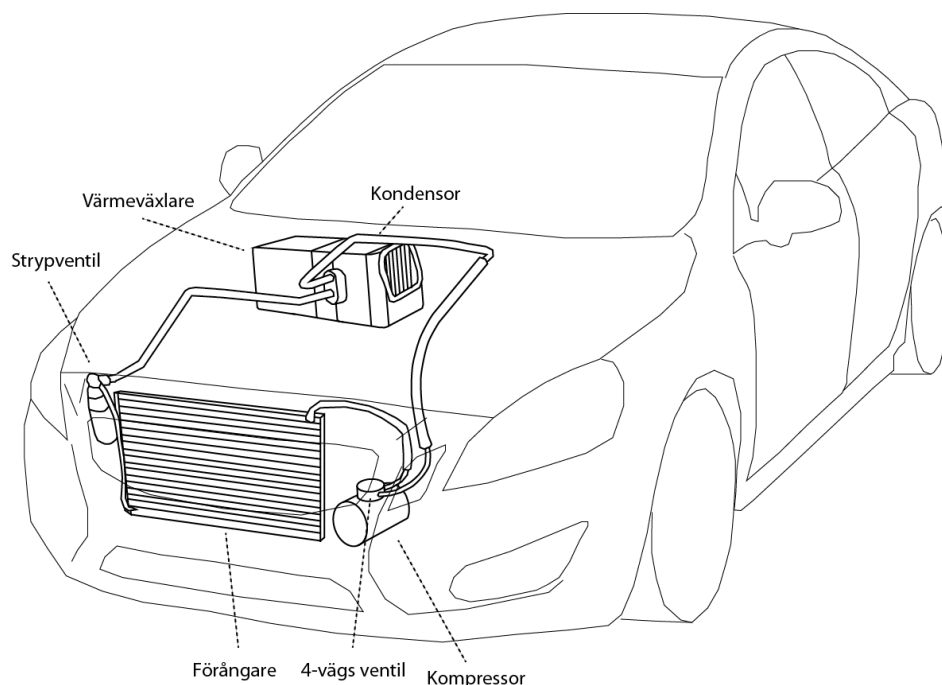
Figur 51: Luftens passage genom värmväxlaren samt luftvärmepumpen

Den varma kupélufte dras in i den luftkanal som används för recirkulation, och återförs till värmeväxlaren, där den värmeväxlas med den nya friska luften. Därefter evakueras den brukade luften genom en ventil som är belägen bakom det högra framhjulet, se figur 52. Det hade varit bra att använda de befintliga luftevakueringsventilerna då luften strömmar naturligt bakåt i bilen på grund av tryckskillnaden mellan fram- och bakdel. Det finns dock ingen möjlighet att under projektets tidsramar utreda placeringen av de nya luftkanalerna som behöver implementeras för att kunna återföra luften bakifrån bilen till värmeväxlaren. Genom att använda den redan befintliga recirkulationskanalen som är belägen under instrumentpanelen på passagerarsidan behöver således ingen ny luftkanal användas.



Figur 52: Luftens väg genom bilen

Då dagens bilar är utrustade med AC-anläggningar finns redan samtliga ingående delar som behövs till värmepumpen. Även dess placering är därmed fastställd i motorrummet, se figur 53. Kupéluftens in- och utflöde går genom värmeväxlaren. Efter värmeväxlaren placeras kondensorn för att värma upp tilluften till rätt temperatur innan den når kupén. Storleken på kompressorn, förångaren samt kondensorn antas inte ta mycket större plats i värmepumpsutförandet än i AC-utförandet.



Figur 53: Placering av värmepump och värmeväxlare i bilen

5.5 Konceptets totala effektminskning

Med hjälp av effektbehovet, som i texten om luftvärmepumpen antogs till 1.2 kW, kan den totala effektminskningen beräknas. I beräkningen tas det hänsyn till att det krävs energi för att driva fläktarna i värmeväxlaren samt att effektförbrukningen ökar med den ökade vikten på bilen. Den totala effektminskningen blir då 977 W vilket är en minskning med 80 %, enligt tabell 8. Denna minskning är större än den verkliga då detta värde är uträknat då bilen redan är rätt tempererad. Vid uppvärmning av bilen fungerar inte värmeväxlaren optimalt. I beräkningarna har det dessutom inte tagits hänsyn till förluster i kondensorn och förångaren. Även den extra effektförbrukningen som uppkommer för att driva fläkten i förångaren har bortsets från.

Tabell 8: Konceptets totala effektsparning

Effektbesparingar:	
Isolering	90.1 W (7.4 %)
Fönster	52.5 W (4.3 %)
Värmewäxlare	563.1 W (46.2 %)
Värmepump	415.8 W (34.1 %)
Förluster:	
Ökat rullmotstånd	-38.0 W (3.1 %)
Effektförbrukning fläkt VVX	-106.4 W (8.7 %)
TOTAL EFFEKTMINSKNING:	977 W (80 %)

6. Slutsats och rekommendationer

För att energieffektivisera tempereringen av kommande generationers bilkupéer implementeras isolering, luftvärmepump och värmeväxlare i bilen. Dessa minskar effektbehovet genom att förhindra den uppvärmda kupéluftens från att läcka ut samt att återanvända den värme som idag medvetet släpps ut genom luftevakueringsventilerna. Vidare möjliggör luftvärmepumpen en effektiv omvandling av el till värme.

Resultaten från beräkningarna visar att det totala effektbehovet för kupétempereringen minskar med 977 W, motsvarande 80 %, då beräkningarna är utförda med medeltemperaturen per månad i Stockholm. Detta är en betydande minskning och förutom att det minskar effektbehovet så minskas beroendet av batterikapaciteten om en elbil används, vilket ökar den sträcka bilen kan framföras utan att batterierna behöver laddas upp. Trots att kostnaden för bilen kommer öka vid implementeringen av de nya koncepten, anses det minskade effektbehovet bidra till att elbilen blir mer attraktiv på marknaden. Att den varma kupéluftens energi kan värmväxlas med den kalla ingående luften samt användandet av luftvärmepumpen bidrar till den största effektminskningen. Anledningen till att isoleringen inte bidrar nämnvärt till minskningen av effektbehovet är att det är svårt att isolera rutorna. Med nuvarande material i rutorna är det svårt att reducera värmeläcketaget utan att implementera dubbelglas. Den största potentialen till att öka rutornas isoleringsförmåga ytterligare är att byta material från glas till transparent plast, vilket i dagsläget inte är möjligt då plastrutorna inte kan uppfylla lagkraven om 75 % ljusgenomsläpplighet. Forskning pågår dock inom området och inom en snar framtid bör detta kunna användas.

Trots att isoleringen av bilen inte är den största bidragande faktorn till att minska effektbehovet vid kupétempereringen implementeras isoleringen för att den bidrar till ökad komfort i bilen genom att hålla kupétemperaturen relativt konstant. I beräkningarna tas heller ingen hänsyn till att isoleringen stänger ute värmen under varma sommardagar, vilket minskar effektbehovet för att kyla kupén. I dagsläget är materialkostnaden relativt hög, men den kan förmodligen sänkas vid tillverkning i större skala.

De antaganden som gjorts vid beräkningarna av isoleringen är representativa för verkligheten trots att de är förenklade. Ett antagande som dock skulle kunna gjorts annorlunda är antagandet om användningen av medeltemperaturen per månad vid effektberäkningen. Det hade varit mer rättvisande att använda medeldagstemperaturen då bilen sällan framförs nattetid. Dessa siffror var dock svåra att ta fram och beräkningarna var i huvudsak till för att visa på den energibesparingspotential som finns.

Värmväxlaren som placeras mellan motorrummet och bilkupén är kubisk med sidlängd 20 cm. Då utrymmet är begränsat skulle denna gärna göras ännu mindre. Det kan dock vara svårt då värmväxlaren, bortsett från energiutbytet, måste dimensioneras med avseende på andra storheter såsom luftflöde och tryckfall. Huruvida 20 cm är den optimala sidlängden är inte helt fastställt, men denna storlek ger rimliga värden på luftflöde, tryckfall och övriga dimensionerande storheter. Vid serieproduktion skulle dess exakta placering behöva utredas noggrannare, så att den integreras väl i det utrymmesbegränsade motorrummet. Ytterligare en sak som behöver analyseras mer ingående är värmväxlarens distributionskanaler. I lösningsförslaget används de befintliga recirkulationskanalerna för transport av luften mellan kupén och värmväxlaren, vilket inte kräver någon rekonstruktion av bilen. Denna placering av distributionskanalerna leder dock till att det traditionella luftflödet, som i dagsläget skapas av ett lägre tryck som råder i bakre delen av bilen där luftevakueringen sker, ändras när luften till värmväxlaren tas från recirkuleringskanalerna vid det främre passagerarsätet. Detta behöver dock inte vara något negativt eftersom den varma kupéluftens som återförs till värmväxlaren kan skapa ett varmt luftflöde vid passagerarnas fötter, vilket ökar

kupékomforten. Dessutom behöver den varma luftens egentliga flöde genom bilen utredas för att säkerställa god luftcirkulation.

Då luftvärmepumpen består av samma komponenter som AC-anläggningen kommer varken vikten eller kostnaden öka nämnvärt vid införandet av denna. Vidare bidrar luftvärmepumpen till ett smart utnyttjande av den tillgängliga energin, vilket anses vara en mycket väl fungerande lösning. Värmepumpen är dock inte lika effektiv i verkligheten som resultatet visar. För att erhålla ett rimligare resultat skulle noggrannare beräkningar behöva utföras för att se hur stora förlusterna är i kondensorn och förångaren. Det skulle även behöva utredas hur mycket effekt som fläkten och elementet i förångaren förbrukar.

Vid låga temperaturer fungerar värmepumpen inte alls lika effektivt. Om kupén också är kall har värmeväxlaren ingen värme att utbyta med tilluften. Sammantaget kan detta leda till att det tar lång tid för kupén att värmas upp. En tillsatsvärmare, i form av ett PTC-element, kan då användas som komplement till värmepumpen vid dessa temperaturer.

För att uppfylla syftet delades projektet upp i en primär- respektive sekundär systemgräns, vilken låg till grund för de problem projektet inriktades på. Det primära delproblemet, uppvärmning av bilkupén, anses väl uppnått då tempereringen av bilkupén effektiviserats med 80 %. Projektet avgränsades i stor mån från de sekundära delproblemen och avsåg att försöka lösa dessa om tid fanns, då lösningen skulle bli än mer konkurrenskraftig. Det bör nämnas att en energieffektivisering av kupéuppvärmningen är något som är av störst vikt i länder med kallt klimat som Sverige, medan det i övriga världen oftast är nedkylningen som står för den största delen av energiförbrukningen. Det framtagna konceptet minskar dock även behovet av kylning då värmeväxlaren och isoleringen implementeras. I dagsläget finns dessutom produkter på marknaden som löser några av de övriga problemen, vilka kan implementeras som komplement till uppvärmningskonceptet., vilka kan implementeras som komplement till uppvärmningskonceptet. Exempelvis kan solceller vara en lösning på hur energi kan genereras och med hjälp av ett sms till en bränslevärmare kan klimatanläggningen fjärrstartas för att erhålla en tempererad vid rätt tidpunkt.

Genom att det primära delproblemet lösts anses projektets syfte vara uppnått. De avgränsningar som gjordes vid projektets start angående att endast ta fram en schematisk principlösning samt att ej ta hänsyn till motorns spillvärme fullföljdes. I ett framtida arbete skulle det dock kunna utredas om elmotorns spillvärme kan tas till vara på, även fast verkningsgraden på konventionella motorer är hög. Projektet skulle även kunnat avgränsas ytterligare, vilket hade gjort att mer resurser hade kunnat läggas på att detaljkonstruera konceptet. Det skulle dock ha varit betydligt svårare att ta fram en fungerande lösning, då en helhetssyn krävs då lösningen är beroende av sin omgivning för att vara realiserbar.

De faktiska resultaten bör ses mer som riktvärden än exakta värden, då antaganden gjorts vid beräkningarna. Den inbördes storleksordningen på värdena anses dock vara rimlig. För att säkerställa att konceptet fungerar bör praktiska tester utföras som komplement till de teoretiska beräkningarna. Bland annat skulle de värmekameramätningar som gjordes behöva kompletteras med ytterligare mätningar då bilen är i rörelse. Detta då luftmotståndet har en nedkylningseffekt på bilen vilket ökar värmeläckaget. Den mätning som gjordes användes som en indikation på var läckaget sker, och inte för att se vilka faktiska temperaturer som råder i bilen.

Konceptet är avsett för personbilar med snåla dieselmotorer alternativt eldrivna motorer. Då luftvärmepumpen inte bidrar till att någon energi sparas vid implementering i bilar drivna av diesel, fungerar detta koncept bäst för elfordon. Dock kan det finnas möjlighet att implementera vissa av dessa dellösningar i andra fordon. I lastbilshytter, där det finns en sovplats för föraren, finns stort behov av ett behagligt kupéklimat. Klimatanläggningen måste vara igång längre tid vilket leder till att

mycket energi förbrukas. Som nämndes tidigare i rapporten är redan många sidorutor i lastbilar tvåglasfönster. Genom att även isolera andra ytor bättre samt försöka återanvända värmen med hjälp av en värmeväxlare, kan mycket energi sparas. Samma gäller dagens tåg och bussar som även de är dåligt isolerade. I tåg finns det också stora möjligheter att implementera luftvärmepumpar då tågans klimatanläggningar ofta drivs utav el.

7. Diskussion

Arbetet har till stor del följt det planeringsschema som sattes upp i början av projektet vilket bidragit till att stress sällan uppkommit. Då tiden trots allt varit begränsad har mindre tid ägnats åt vissa aktiviteter. Exempelvis hade en grundligare kostnadsanalys kunnat genomföras för att ytterligare stärka resultatet. Det mesta arbetet har utförts i grupp vilket gjorde projektet tidskrävande, men de svårigheter som uppkommit har genom grupparbetet kunnat lösas snabbare.

Då det endast fanns ett fåtal tidigare undersökningar att utgå från vid projektets början behövdes mycket tid läggas på anskaffning av information. Detta gjordes främst för att erhålla en tydlig bild över vad som var det egentliga problemet. Annars har mest tid lagts på beräkningarna för isoleringen och värmeväxlaren. Anledningen till detta var att många personer behövde rådfrågas för att tillhandahålla information kring hur beräkningarna skulle genomföras då dessa var komplicerade.

Då projektet var mycket omfattande skulle tydligare avgränsningar, i början av projektet, bidragit till att mer tid kunnat läggas på konstruktionen av konceptförslaget. Att konstruera isolering, värmeväxlare och luftvärmepump till en färdig nivå hade troligen kunnat delas upp i tre helt skilda kandidatarbeten. Då luftvärmepumpen och värmeväxlaren är de delar som bidrar till den största effektbesparingen är det också här fokus borde ligga vid ett framtida arbete. Vidare är det även här som det mesta arbetet finns kvar att göras då en implementering av luftvärmepump och värmeväxlare bidrar till större förändringar på bilens konstruktion än vad isoleringen gör.

Trenden i samhället tyder på att miljöfrågorna i framtiden kommer ges ett allt större utrymme. För att minska samhällets beroende av fossila bränslen kommer troligen allt mer forskning och utveckling satsas på elbilen. På grund av detta finns det stora möjligheter att delar av detta koncept kommer finnas på marknaden om några år. Bilarna kommer bli lite tyngre och komponenterna något dyrare då detta koncept implementeras. Det är dock troligt att bilar som släpper ut mycket koldioxid kan komma att beskattas i framtiden, likt företag idag får betala för sina koldioxidutsläpp, och de nya elbilarna kan då bli ekonomiskt lönsamma för brukarna. Det återstår en hel del arbete på hur batterierna ska tillverkas för att de ska hålla längre, men detta anses vara ett steg på vägen.

Källförteckning

Böcker:

- Andrén, L. och Tirén, L. (2011) *Passivhus - En handbok om energieffektivt byggande*. Hyltebruk: Hylte Tryck AB.
- Bemisderfer, C. H. et al. (2001) *Ashrae Handbook – 2001 Fundamentals*. Atlanta: Ashrae.
- Çengel, Y. A. och Boles, M. A. (2007) *Thermodynamics: An Engineering Approach*. Sjätte upplagan. Singapore: McGraw-Hill.
- Gillespie, T.D. (1992) *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. USA: Society of Automotive Engineers.
- Hagentoft, C-E. (2001) *Introduction to Building Physics*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Incropera, F P. et al. (2007) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. USA: John Wiley Sons Inc.
- Kesselring, F. (1951) *Bewertung von Konstruktionen*. Düsseldorf: VDI-Verlag. Citerad i Pahl, G. och Beitz, W. *Engineering Design*. (2003) Fjärde utgåvan. London: Springer-Verlag.
- Kyrkander, A., Linde, A. och Helmfridsson, J. (2010) *Passivhus: Ett utbildningsmaterial*. Värnamo: Fältt & Hässler AB.
- Mörtstedt, S-E. och Hellsten, G. (2010) *Data och diagram*. Sjunde upplagan. Kina: Liber.
- Petersson, B-Å. (2009) *Tillämpad Byggnadsfysik*. Upplaga 4:1. Lund: Studentlitteratur AB.
- Volvo Cars. (2012) *Instruktionsbok – Volvo S60*. Web Edition.
- White, F. M. (2009) *Fluid Mechanics*. Sjätte upplagan. Singapore: McGraw-Hill.

Rapporter:

- Energimyndigheten. (2009) *Heta pumpar*. Bromma: CM gruppen.
- Eriksson, E. (2012) *Praktiska tillämpningar av högpresterande värmeisolering i Ombyggnadsprojekt*. Under tryckning. Göteborg: Skanska Sverige AB.
- García Linera, C. och Álvarez González, C. (2011) *Energy Efficient Windows*. Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Holmberg, T., Blomstrand, M. och Svedhem, S. (2012) *Pilotprojekt, EV Konzept Arena – Energieffektivt klimatsystem för elfordon*. Under tryckning. Trollhättan: Innovatum Teknikpark
- Huang, C-C D. (1998) *A dynamic computer simulation model for automobile passenger compartment climate control and evaluation*. Michigan: Michigan Technological University.
- Lundgren, C. och Nilsson, M. (1995) *Kupéklimat i en elbil*. Göteborg: Chalmers University of Technology.

Karlsson, E-L. (1997) *Modellering och simulering av kupéklimat*. Göteborg: Chalmers University of Technology.

Patent:

Alexander, M. H. (1967) *Automotive Heat Pump*. US3304735

Websidor:

AGC Automotive. (2012) Value-add Automotive Glass. <http://www.agc-automotive.com/english/products/loweglass.html> (2012-05-10)

De store bygningers Økologi. (2008) Vacuum isolering. <http://www.dsbo.dk/Home/area1/Leksikon/Vacuumisolering/tabid/478/Default.aspx> (2012-05-07)

International Heating Products. (2012) PTC element. http://www.ihp.se/produkter/ptc_element.html (2012-05-07)

NASA. (2002) Ideas that Gel. <http://www.jpl.nasa.gov/news/features.cfm?feature=490> (2012-05-07)

Passivhus nordnord. (2009) <http://www.passivhusnordnord.se/vanstermeny/omkonferensen/omkonferensen/press/bilder.4.3d9ff17111f6fef70e9800045573.html> (2012-05-07)

Stena Stål. (2012) Aluminium. <http://www.stenastal.se/Produkter/Aluminium/> (2012-04-17)

S/Y Blue Bird. (2012) Dieselvärmare. <http://www.sybluebird.se/default.htm?url=WordDocuments%2Fdieselvrmare1.htm> (2012-05-09)

Transportstyrelsen. (2009) Tonade bilrutor. www.transportstyrelsen.se (2012-04-17)

Volvo Personvagnar. (2011) Volvo Personvagnar introducerar app. <http://www.volvocars.com/se/top/about/news-events/pages/default.aspx?itemid=214> (2012-05-07)

XL-bygg .(2011) Glasull. <http://www.xlbygg.se/Sortiment/Isolering/Glasull/Om-glasull/> (2012-05-07)

Muntliga källor:

Claesson, Erik (erikcl@student.chalmers.se) (2012-02-07) Luftströmmar och fukt i kupéer. Personlig e-post till Filip Nielsen (FKARLS21@volvocars.com)

Claesson, Erik (erikcl@student.chalmers.se) (2012-02-07) Frågor angående passivhusteknik. Personlig e-post till Hans Eek (hans.eek@passivhuscentrum.se)

Claesson, Erik (erikcl@student.chalmers.se) (2012-02-07) Frågor angående passivhusteknik. Personlig e-post till Stellan Gedell (stellan.gedell@chalmers.se)

Helmersson, Sofie (hsofie@student.chalmers.se) (2012-03-06) Studentfrågor energieffektivisering. Personlig e-post till Magnus Bäckelie (mbackelie@student.chalmers.se)

Helmersson, Sofie (hsofie@student.chalmers.se) (2012-02-29) Luftvärmepump till bil. Personlig e-post till Stefan Svedhem (stefan.svedhem@innovatum.se)

Willhammar, Anna (annawi@student.chalmers.se) (2012-02-28) Värmeväxlare studentfrågor. Personlig e-post till Lars-Erik Åmand (lars-erik.amand@chalmers.se)

Willhammar, Anna (annawi@student.chalmers.se) (2012-02-09) Kandidatarbete om passivhus. Personlig e-post till Paula Wahlgren (paula.wahlgren@chalmers.se)

Willhammar, Anna (annawi@student.chalmers.se) (2012-02-28) Lån av värmekamera. Personlig e-post till Marek Machowski (paula.wahlgren@chalmers.se)

Willhammar, Anna (annawi@student.chalmers.se) (2012-03-15) Isolering. Personlig e-post till Pär Johansson (par.johansson@chalmes.se)

Willhammar, Anna (annawi@student.chalmers.se) (2012-03-21) Studentfrågor isolering. Personlig e-post till Elin Eriksson (elin.eriksson@skanska.se)

Bilaga A – Kravspecifikation

Chalmers	Dokumenttyp	Kravspecifikation	Skapad: 2012-02-16		
	Kandidatarbete	Implementering av passivhusteknik i bilar	Modifierad: 2012-03-20		
Kriterier	Krav/ Önskemål	Enhet	Mätvärde	Kravställare	Verifieringsmetod
1. Effektbehov					
1.1 Effekt tillförd kupén	K	W	5000	Biltillverkare och kund	Beräkningar
1.2 Totalt effektbehov	K		Lägre än dagens bilar	Biltillverkare och kund	Beräkningar
2. Livslängd					
2.1 Minsta livslängd	K	år	10	Biltillverkare	Informationssök beräkningar
2.2 Önskad livslängd	Ö	år	30	Kund	Beräkningar
3. Kostnad					
3.1 Totalkostnad	Ö	SEK	Inte högre än befintlig	Biltillverkare och kund	Beräkningar
3.2 Driftskostnad	K	SEK	Lägre än dagens	Kund	Beräkningar
4. Underhåll					
4.1 Underhållsfri	Ö			Kund	
4.2 Kan underhållas av brukaren	Ö			Kund	Test
5. Miljöpåverkan					
5.1 Möjlighet att separera material för återvinning	K			Biltillverkaren	
5.2 Undvika material som försämrar människors hälsa och miljö	K			Kund	
5.3. Ej brandfarliga material	K		Ska inte öka brandrisken	Kund	
5.4 Återvinningsbara material				Biltillverkaren	
5.4.1 100 % Återvinningsbara material	Ö				
5.4.2 X % Återvinningsbara material	K	%	95		
6. Kupéklimat					
6.1 Tid till tempererad kupé	K		Inte längre tid än idag	Kund	
6.2 Temperaturintervall	K	°C	Varm direkt (Ö) 15-30	Kund	

6.3 Relativ fuktighet	Ö	%	20-100	Kund	
6.4 Luftombyte	K	Antal ggr/h		Kund	
6.5 Fukteliminering från rutorna	K		Säkerställa god sikt, se vindruta ljusgenomsläpplighet	Kund	
6.6 Buller	K	dB	Inte högre än befintlig	Kund	
9. Säkerhet					
9.1 Sikt					
9.1.1 Vindruta ljusgenomsläpp	K	%	75	Transportstyrelsen	
9.1.2 Övriga rutor i förarens siktfält, ljusgenomsläpp	K	%	70	Transportstyrelsen	
9.2 Brandsäkerhet	K		Inte påverka	Biltillverkare och kund	
9.3 Krocksäkerhet	K		Inte påverka	Biltillverkare och kund	
9.3.1 Airbag	K		Inte påverka		
9.3.2 Deformering	K		Inte försämra		
9.4 Lätt att ta sig i och ur bil	K		Inte försämra	Kund	
10. Vikt					
10.1 Totalvikt	K	Kg	5 % av Volvo C30 E	Biltillverkaren	
	Ö	Kg	Så lite som möjligt		
10.2 Storlek (inom vilka mått en bil får vara)	K	m	längd: bredd: höjd:	Transportstyrelsen	
11. Klara olika klimat					
11.1 Utomhustemperatur	K	°C	minus 30 till plus 30	Kund	
12. Hållfasthet					
12.1 Skaktålig	K	N	100, i samtliga led	Kund	Skakprov

Bilaga B – Beräkning isolering

- Beräkningar gjorda på ett extremfall med $\Delta T = 45^\circ\text{C}$ (-20°C utomhus och 25°C inne i kupén).
- Bortser från plåten då denna har mycket dålig isoleringsförmåga.
- 10 mm vakuumisolering används i beräkningarna.
- Värmeöverföringen kommer genomgående beräknas med hjälp av:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{L \cdot A}{k}} \text{ [W]} \quad [1]$$

Golv

Innan implementering av isolering:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Golv,innan}} &= \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{gummi}}}{k_{\text{gummi}}} + \frac{L_{\text{PUR}}}{k_{\text{PUR}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}}} \right) * A_{\text{Golv}} \\ &= \left(\frac{45}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.004}{0.13} + \frac{0.03}{0.027} + \frac{0.003}{0.46}} \right) \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] * 2.81 [\text{m}^2] = 105.3 \text{ [W]} \end{aligned}$$

Efter implementering av isolering:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Golv,efter}} &= \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{gummi}}}{k_{\text{gummi}}} + \frac{L_{\text{PUR}}}{k_{\text{PUR}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}} + \frac{L_{\text{vakuum}}}{k_{\text{vakuum}}}} \right) * A_{\text{Golv}} \\ &= \left(\frac{45}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.004}{0.13} + \frac{0.02}{0.027} + \frac{0.003}{0.46} + \frac{0.01}{0.008}} \right) * 2.81 = 61.0 \text{ [W]} \end{aligned}$$

Tak

Innan implementering av isolering:

$$Q_{\text{Tak,innan}} = \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{PUR}}}{k_{\text{PUR}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}}} \right) * A_{\text{Tak}} = \left(\frac{45}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.01}{0.027} + \frac{0.003}{0.46}} \right) \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] * 1.66 [\text{m}^2] = 175.0 \text{ [W]}$$

Efter implementering av isolering:

$$Q_{\text{Tak,efter}} = \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}} + \frac{L_{\text{vakuum}}}{k_{\text{vakuum}}}} \right) * A_{\text{Tak}} = \left(\frac{45}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.003}{0.46} + \frac{0.01}{0.008}} \right) * 1.66 = 57.2 \text{ [W]}$$

Dörrar

Beräkning av λ -värde för luftspalten i dörrarna. Värmeöverföring främst genom konvektion och strålning.

- $\varepsilon =$ emissiviteten för ytorna som innesluter luftspalten = 0.97 (för svartmålad plåt)
- $\sigma =$ Boltzmanns konstant = $5.673 * 10^{-8} \text{ [W/m}^2 * \text{K}^4]$
- $T_{\text{medel}} =$ medelvärde på temperaturen i luftspalten = $\frac{253\text{K} + 258.5}{2} = 255.75 \text{ [K]}$

$$k_{\text{strålning}} = 4 * \epsilon * \sigma * T_{\text{medel}}^3 = 3.68 [W/m^2 * K]$$

$$k_{\text{konvektion}} = (\text{figur 3.30(Incropera, 2007)}) = 1 [W/m^2 * K]$$

Detta ger ett totalt λ -värde på $4.68 W/m^2 * K$. Detta värde kan användas i ekvation I.

Innan implementering av isolering:

$$Q_{\text{Dörrar, innan}} = \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{PUR}}}{k_{\text{PUR}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}} + \frac{1}{\lambda_{\text{total}}}} \right) * A_{\text{Dörrar}}$$

$$= \left(\frac{45}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.003}{0.46} + \frac{0.01}{0.027} + \frac{1}{4.68}} \right) \left[\frac{W}{m^2} \right] * 2.12 [m^2] = 149.2 [W]$$

Efter implementering av isolering:

$$Q_{\text{Dörrar, efter}} = \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{PUR}}}{k_{\text{PUR}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}} + \frac{1}{\lambda_{\text{total}}} + \frac{L_{\text{vakuum}}}{k_{\text{vakuum}}}} \right) * A_{\text{Dörrar}}$$

$$= \left(\frac{45}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.003}{0.46} + \frac{0.01}{0.027} + \frac{1}{4.68} + \frac{0.01}{0.008}} \right) * 2.12 = 50.6 [W]$$

Bagage

- Då hatthyllan isolerats antas bagaget ha en temperatur på 0°C och vid ingen isolering av hatthyllan antas bagaget ha samma temperatur som kupén (25°C).
- Isolerar inte ryggstödet då detta redan är tillräckligt isolerat.

$$Q_{\text{Ryggstöd}} = \left(\frac{\Delta T}{2 * \left(\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} \right) + \frac{L_{\text{skumgummi}}}{k_{\text{skumgummi}}}} \right) * A_{\text{Ryggstöd}} = \left(\frac{25}{2 * \left(\frac{0.003}{0.06} \right) + \frac{0.003}{0.46}} \right) \left[\frac{W}{m^2} \right] * 0.89 [m^2]$$

$$= 16.5 [W]$$

- Väggarna i bagaget samt bagageluckan består av samma material som dörrarna och beräknas därför på samma sätt. Använder samma effektbehov/ m^2 och multiplicerar med arean för väggarna och luckan.

Innan implementering av isolering:

$$Q_{\text{Bagage, innan}} = 70.25 \frac{W}{m^2} * 1.74 m^2 = 122.2 [W]$$

Efter implementering av isolering:

$$Q_{\text{Bagage, efter}} = \left(\frac{\Delta T}{\frac{L_{\text{tyg}}}{k_{\text{tyg}}} + \frac{L_{\text{PUR}}}{k_{\text{PUR}}} + \frac{L_{\text{plast}}}{k_{\text{plast}}} + \frac{1}{\lambda_{\text{total}}}} \right) * A_{\text{Bagage}} = \left(\frac{25}{\frac{0.003}{0.06} + \frac{0.003}{0.46} + \frac{0.01}{0.027} + \frac{1}{4.68}} \right) * 1.74$$

$$= 67.9 [W]$$

Effektminskning för isoleringen:

Totalt innan:

$$Q_{Tot.innan} = Q_{Golv} + Q_{Tak} + Q_{Dörrar} + Q_{Fönster} + Q_{bagage} \\ = 105.3 + 175.0 + 149.2 + 607.4 + 122.2 = 1159.1 [W]$$

Totalt efter:

$$Q_{Tot.efter,1} = 61.0 + 57.2 + 50.6 + 415.6 + 67.9 = 652.3 [W]$$

Utan extra isolering i golvet:

$$Q_{Tot.efter,2} = 105.3 + 57.2 + 50.6 + 415.6 + 67.9 = 696.6 [W]$$

Minskning:

$$\Delta Q_1 = Q_{Tot.innan} - Q_{Tot.efter,1} = 506.8 [W] \text{ (44\% minskning)}$$

Utan extra isolering i golvet:

$$\Delta Q_2 = Q_{Tot.innan} - Q_{Tot.efter,2} = 462.5 [W] \text{ (40\% minskning)}$$

Nytt effektbehov:

- Samma beräkningar som ovan fast räknat med medeltemperaturen för Stockholm (SMHI, 2012).

$$\Delta Q_{Stockholm} = 142.5 [W]$$

Ökning p.g.a. ökat rullmotstånd:

- Enda som ökar är rullmotståndet
- $C_r = \text{rullmotståndskoefficient (asfaltskörning)} = 0.012$
- $V_{medel} = \text{medelhastighet} = 60 \frac{km}{h} = 16.67 [m/s]$

$$B = m * g * C_r * V_{medel} = 17.45 * 9.81 * 0.012 * 16.67 = 34.24 [W]$$

Viktökning:

Isolering:

- *Beräknas utan isolering i golvet.*
- $L_{vakuu} = \text{tjocklek vakuuisolering} = 0.01 [m]$
- $\rho_{vakuu} = \text{densitet vakuuisolering} \approx 200 \frac{kg}{m^3}$
- $L_{PUR,tak} = \text{tjocklek PUR – skum i taket} = 0.01 [m]$
- $\rho_{PUR} = \text{densitet PUR – skum} \approx 60 \frac{kg}{m^3}$

Densiteten för vakuuisolering ligger mellan 150-220 kg/m³. Densiteten väljs till 200 kg/m³ då densiteten ökar med minskande tjocklek på isoleringen. Då PUR-skum tas bort från taket tas det hänsyn till detta i beräkningen.

$$m_{vakuu} = (\rho_{vakuu} * A_{tot} * L_{vakuu}) - (\rho_{PUR} * A_{Tak} * L_{PUR,tak}) \\ = 200 * 4.55 * 0.01 - 60 * 1.66 * 0.01 = 8.1 [kg]$$

Fönster:

- $L_{enkelglas} = \text{tjocklek enkelglas} = 0.004 [m]$
- $\rho_{glas} = \text{densitet glas} \approx 2500 \frac{kg}{m^3}$
- $L_{dubbelglas} = \text{tjocklek dubbelglas} = 0.006 [m]$

$$\begin{aligned} m_{\text{ökn.glas}} &= \rho_{\text{glas}} * (L_{\text{dubbelglas}} - L_{\text{enkelglas}}) * (A_{\text{sidorutor}} + A_{\text{bakruta}}) \\ &= 2500 * (0.006 - 0.004) * (0.91 + 0.96) = 9.35 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$m_{\text{tot.isolering}} = m_{\text{vakuum}} + m_{\text{ökn.glas}} = 17.45 \text{ [kg]}$$

Kostnad:

Materialkostnad:

- *Beräknas utan isolering i golvet.*
- $p_{\text{vakuum}} = \text{pris vakuumisolering} = 600 \left[\frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \right]$

$$K_{\text{mtrl}} = A_{\text{tot}} * p_{\text{vakuum}} = 4.55 * 600 = 2730 \text{ [SEK]}$$

Bilaga C – Beräkning värmeväxlare

Givna data. Tabellvärden hämtade ur Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Incropera, 2007).

- Densitet för luft: $\rho = 1.3947 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ (tabellvärde)
- Viskositeten för luft: $\mu = 159.6 * 10^{-7} \text{ [Ns/m}^2\text{]}$ (tabellvärde)
- Termisk konduktivitet: $k = 22.3 * 10^{-3} \text{ [W/m * K]}$ (tabellvärde)
- Värmeväxlarens verkningsgrad: $\eta = 0.8$
- Massflödet: $\dot{m} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \frac{200}{3600} = 0.056 \text{ [kg/s]}$
- Specifik värmekapacitet för luft: $c_p = 1006 \text{ [J/kg * K]}$ (tabellvärde)
- Temperatur uteluft: $T_{c,i} = -20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (ansatt enligt extremfall)
- Temperatur på värmeväxlad luft som tillförs kupén: $T_{c,o} = 15 \text{ [}^\circ\text{C]}$, (beräknat då $\eta = 0.8$, enligt $T_{c,o} = T_{c,i} + (T_{h,in} + T_{c,i}) * \eta$)
- Önskad temperatur inne i bilkupén: $T_{h,i} = 25 \text{ [}^\circ\text{C]}$ (ansatt enligt extremfall)
- Logaritmiska temperaturdifferensen: $\Delta T_{lm} = \Delta T = \text{abs}(T_{c,o} - T_{c,i}) = 10 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- Nusselttal: $Nu_D = 7.54$ (tabellvärde)

Beräkningsgången som följs vid dimensioneringen återfinns i exempel 11.1 och exempel 11.2 i Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Incropera, 2007).

Först beräknas värmeöverföringen q från den varma luften till den kalla luften.

$$q = \dot{m} * c_p * |(T_{c,i} - T_{c,o})| = 2.236 * 10^3 \text{ [W]}$$

Temperaturen på den varma kupéluftens när den släpps ut till omgivningen efter värmeväxlingen beräknas enligt:

$$T_{h,o} = T_{h,i} - \frac{q}{\dot{m} * c_p} = -15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Konvektion värmeöverföringstalet, h , löses ut från formeln för Nusselt talet: $Nu_D = \frac{h * D_h}{k}$, där den hydrauliska diametern $D_h = 2 * a = \frac{2 * L}{N}$ beräknas med hjälp av gapvidden a , antal gap N och längden på värmeväxlarens sida L . För att kunna utföra ovanstående beräkning görs antagandet att gapvidden $a \ll L$ och att flödet i kanalerna är laminärt.

$$h = \frac{Nu_D * k * N}{2 * L} = 0.0841 \frac{N}{L} \text{ [W/m * K]}$$

Konvektionskoefficienten, U , beräknas enligt ekvationen nedan. I detta fall är $h_h = h_c$ eftersom medierna är samma, luft.

$$U = \frac{1}{1/h_c + 1/h_h} = \frac{h}{2}$$

För att slutligen kunna beräkna längden L , multipliceras konvektionskoefficienten med den totala värmeöverföringsaren $A(L^2(N - 1))$ enligt:

$$UA = \frac{L^2(N - 1)}{1/h_c + 1/h_h} = \frac{q}{\Delta T_{lm}}$$

L löses nu ut, vilket ger:

$$L = \frac{q}{\Delta T_{lm}(N - 1) * N} * \frac{2}{h * L} = \frac{5316.7}{N(N - 1)} [m]$$

Nedan följer en ungefärlig beräkning av vikten. Först beräknas vikten på plattorna, sedan beräknas vikten av det omslutande höljet. Dessa adderas slutligen ihop och den totala vikten erhålls enligt nedan, där L är 0.2 m, $t_{al,plattor}$ är 0.0001 m, $t_{al,hölje}$ är 0.001 m, ρ_{al} är 2702 kg/m³ och N är 164.

$$Vikt_{plattor} = L^2 * t_{al,plattor} * \rho_{al} * (N + 1) = 1.78 [kg]$$

$$Vikt_{hölje} = L^2 * (2 * t_{al,hölje}) * \rho_{al} * 6 = 1.3 [kg]$$

$$Vikt_{total} = Vikt_{plattor} + Vikt_{hölje} = 3.1 [kg]$$

Värmeväxlarens ökade rullmotstånd, B , beräknas på samma sätt som i Bilaga B enligt nedan, där Cr är 0.012 och v_{medel} är 60 km/h.

$$B = Vikt_{total} * g * Cr * v_{medel} = 6.05 [W]$$

Fläkten förbrukar cirka 275 W vid maximalt flöde (120 l/min). Antaget att fläkten arbetar linjärt, kan den förbrukade effekten beräknas enligt nedan, vid luftflöde motsvarande 46.3 l/min erhålls då:

$$Q_{fläkt} = \frac{46.3}{120/275} = 106.10 [W]$$

Bilaga D – Beräkning luftvärmepump

Antaganden:

- Kompressorns isentropiska verkningsgrad $\eta_{is}=0.6$
- Värmeförluster i värmeväxlarna uppgår till 5 °C
- Köldmedium R134a

Beräkning nr 1

- Temperatur omgivning -20 °C vid uppvärmning av kupé
- Önskad temperatur vid uppvärmning av kupé 25 °C
- Lufttemperatur ut ur kondensator 45 °C

Beräkning nr 2

- Temperatur omgivning 7.42 °C vid uppvärmning av kupé, Stockholms årsmedeltemperatur år 2011.
- Önskad temperatur vid uppvärmning av kupé 20 °C
- Lufttemperatur ut ur kondensator 30 °C

Beräkning nr 3

- Önskad temperatur vid nedkylning av kupé 20 °C
- Temperatur omgivning 30 °C vid nedkylning av kupé
- Lufttemperatur ut ur förångaren 15 °C

Uppvärmning från -20 °C till 25 °C

- Temperatur omgivning, $T_{omg\ max} = -20$ °C
- Önskad temperatur kupé, $T_{kupé} = 25$ °C
- Lufttemperatur ut ur kondensorn 45 °C

Efter kondensorn:

Mättad vätska

$$T_3 = 45 + 5 \text{ °C} = 50 \text{ °C} \quad (5 \text{ graders förlust i kondensorn})$$

Tabell A-11 saturated refrigerant-134a ger

$$\Rightarrow h_3 = h_f = 123.49 \text{ [kJ/kg]}$$

$$p_3 = 1.32 \text{ [MPa]}$$

Efter förångaren:

Mättad ånga

$$T_1 = -(20 + 5) \text{ °C} = -25 \text{ °C} \quad (5 \text{ graders förlust i förångaren})$$

Tabell A-11 saturated refrigerant-134a ger

$$p_1 = 0.10655 \text{ [MPa]}$$

$$h_1 = 235.3 \text{ [kJ/kg]}$$

$$s_1 = 0.950425 \text{ [kJ/kg]}$$

Efter kompressor:

Tabell A-13 superheated refrigerant-134a med $P=1.30$ [MPa] ger

$$s_{2,s} = s_1 = 0.950425 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{2,s} = 287.7 \text{ [kJ/kg]}$$

$$p_2 = p_3 = 1.32 \text{ [MPa]} \approx 1.30 \text{ [MPa]}$$

$$\eta_{id,komp} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,v} - h_1} \Rightarrow h_{2,v} = \frac{h_{2,s} - h_1}{\eta_{id,komp}} + h_1 = 310.16 \text{ [kJ/kg]}$$
$$\eta_{id,komp} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,v} - h_1} \Rightarrow h_{2,v} = \frac{h_{2,s} - h_1}{\eta_{id,komp}} + h_1 = 322.63 \text{ [kJ/kg]}$$

Efter strypventil:

$$p_4 = p_1 = 0.10655 \text{ [MPa]}$$

$$h_4 = h_3 = 123.49 \text{ [kJ/kg]}$$

Resultat:

$$Q_{ut} = (h_2 - h_3) * \dot{m} = 3 \text{ [kW]} \Rightarrow \dot{m} = 0.016 \text{ [kg/s]}$$

$$W_{kompressor} = (h_2 - h_1) * \dot{m} = 1.198 \text{ [kW]}$$

$$COP_{VP} = \frac{Q_{ut}}{W_{kompressor}} = 2.28$$

Uppvärmning från 7.42 °C till 20 °C

- Temperatur omgivning, Stockholms medeltemperatur år 2011(SMHI, 2012)
 $T_{omg,medel} = 7.42$ °C
- Önskad temperatur kupé, $T_{kupé} = 20$ °C
- Lufttemperatur ut ur kondensorn 30 °C

Efter kondensorn:

Mättad vätska

$$T_3 = 30 + 5 = 35 \text{ [°C]} \text{ (5 graders förlust i kondensorn)}$$

Tabell A-11 saturated refrigerant-134a ger

$$\Rightarrow h_3 = h_f = 100.865 \text{ [kJ/kg]}$$

$$p_3 = 0.88 \text{ [MPa]}$$

Efter förångaren:

Mättad ånga

$$T_1 = 7.42 - 5 = 2.42 \text{ [°C]} \text{ (5 graders förlust i förångaren)}$$

Tabell A-11 saturated refrigerant-134a ger

$$p_1 = 0.320 \text{ [MPa]}$$

$$h_1 = 251.854 \text{ [kJ/kg]}$$

$$s_1 = 0.93009 \text{ [kJ/kg]}$$

Efter kompressor:

Tabell A-13 superheated refrigerant-134a med $P=0.90$ [MPa] ger

$$s_{2,s} = s_1 = 0.93009 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_{2,s} = 273.36 \text{ [kJ/kg]}$$

$$p_2 = p_3 = 0.888 \text{ [MPa]} \approx 0.90 \text{ [MPa]}$$

$$\eta_{id,komp} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,v} - h_1} \Rightarrow h_{2,v} = \frac{h_{2,s} - h_1}{\eta_{id,komp}} + h_1 = 287.70 [kJ / kg]$$

Resultat:

$$Q_{ut} = (h_2 - h_3) * \dot{m} = 0.5 [kW] \Rightarrow \dot{m} = 0.0027 [kg/s]$$

$$W_{kompressor} = (h_2 - h_1) * \dot{m} = 0.0960 [kW]$$

$$COP_{VP} = \frac{Q_{ut}}{W_{kompressor}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = 5.21$$

Nedkyllning:

Efter förångaren:

$$T_1 = 15 - 5 = 10 [^{\circ}C] \text{ (5 graders förlust i förångaren)}$$

Mättad ånga

Tabell A-11 saturated refrigerant-134a ger

$$p_1 = 0.49525 [MPa]$$

$$h_1 = 252.915 [kJ/kg]$$

$$s_1 = 0.9141 [kJ/kg]$$

Efter kondensorn:

Mättad vätska

$$T_3 = 30 + 5 = 35 [^{\circ}C] \text{ (5 graders förlust i kondensorn)}$$

Tabell A-11 saturated refrigerant-134a ger

$$\Rightarrow h_3 = h_f = 98.78 [kJ/kg]$$

$$p_3 = 0.887 [MPa]$$

Efter kompressor:

Tabell A-13 superheated refrigerant-134a med P=0.90 [MPa] ger

$$s_{2,s} = s_1 = 0.9141 [kJ/kg]$$

$$h_{2,s} = 268.89 [kJ/kg]$$

$$p_2 = p_3 = 0.887 [MPa] \approx 0.90 [MPa]$$

$$\eta_{id,komp} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_{2,v} - h_1} \Rightarrow h_{2,v} = \frac{h_{2,s} - h_1}{\eta_{id,komp}} + h_1 = 279.54 [kJ / kg]$$

Resultat:

Samma massflöde som vid uppvärmning

$$\dot{m} = 0.015 [kg/s]$$

$$W_{kompressor} = (h_2 - h_1) * \dot{m} = 0.40 [kW]$$

