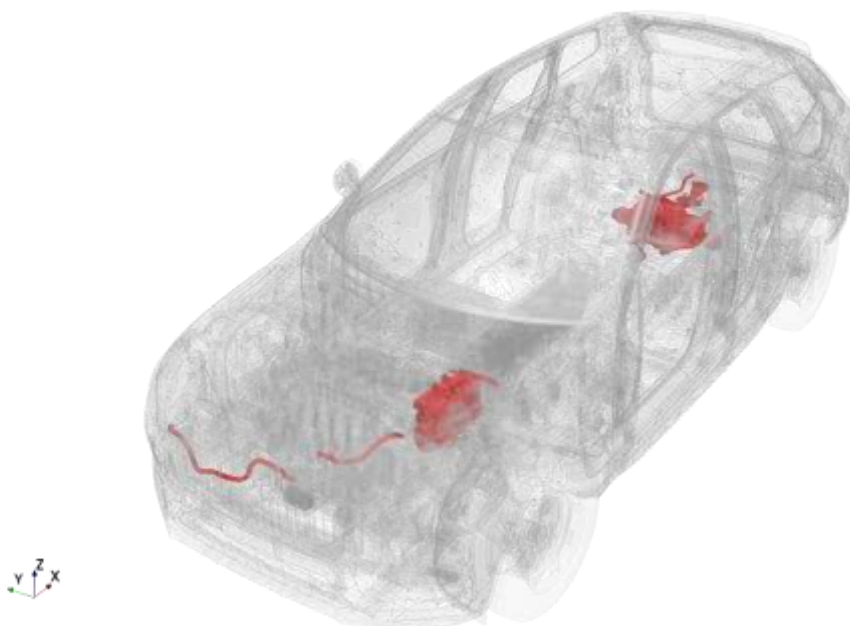


Modellering av uppvärmning/nedkylning av hybridkomponenter p.g.a. omgivande luftflöden

Publik rapport



Författare: [Alexander Broniewicz](#)

Datum: [2018-01-30](#)

Projekt inom [Elektronik, mjukvara och kommunikation](#)

FFI Fordonsstrategisk
Forskning och
Innovation

VINNOVA

Energisystem

TRAFIKVERKET

FMG

SCANDIA

SCANIA

VOLVO

SCANIA

VOLVO

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	3
2 Executive summary in English.....	3
3 Bakgrund.....	3
4 Syfte, forskningsfrågor och metod	5
5 Mål	5
6 Resultat och måluppfyllelse	6
7 Spridning och publicering	7
7.1 Kunskaps- och resultatspridning	7
7.2 Publikationer.....	7
8 Slutsatser och fortsatt forskning	7
9 Deltagande parter och kontaktpersoner.....	7

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Projektet inriktar sig i huvudsak på att prediktera värmeöverföringen mellan utvalda elkraftskomponenter i en el/elhybrid motorrumms installation och den omgivande luften, som indata till termodynamiska 1D modeller av elkraftskomponenter och dess kylsystem. Projektet tillämpade 3D CFD (Computational Fluid Dynamics) beräkningar för att prediktera värmeöverföringstal och lufttemperaturer i installationen. Användandet av 3D CFD beräkningar möjliggör att effekterna av det komplexa flödet kring bilen samt i motorrummet predikteras korrekt. Detta är något som inte kan göras enbart i 1D beräkningar. Resultaten validerades mot fysiska tester i Volvo Cars Termodynamiska Vindtunnel. Den utvecklade modellen visar god överensstämmelse med uppmätta temperaturer på komponentytorna. Den beräkningsmetodik som utvecklades i projektet är ämnad att användas i den virtuella produktutvecklingen på VCC, för att därigenom på ett effektivare och snabbare sätt optimera slutprodukten. Projektet utfördes i samarbete mellan VCC och Chalmers Tekniska Högskola.

2 Executive summary in English

The development of electrified vehicles provides new challenges for ensuring cooling performance and heat management. That is especially the case for hybrid electric vehicles (HEV), where traditional power components, such as the internal combustion engine and the exhaust system, are located in close proximity to electrical components. At the same time, numerical methods become more and more important for the vehicle development process, in order to test different set-ups early on and to reduce the amount of resources needed for physical testing.

This project is about the thermal modelling of electrical components in a hybrid electric vehicle, in order to be able to assess the thermal impact of the surrounding air on component temperatures and hence be able to design solutions to ensure them to operate at the right temperature. So far, this is usually done with 1D simulation tools, which do not provide the necessary complexity to find problematic areas early in the design phase. The scope of this project is limited to two components and their respective cooling flow: the DC/DC converter that is located in the engine bay and the electric rear axle drive. Tests in the VCC climatic wind tunnel were performed to obtain relevant boundary conditions and a set of validation data.

The numeric model was set-up in the commercial CFD software StarCCM+, assuming that all losses inside the electric components are transferred into thermal energy which goes through the solid walls to the surface and into the cooling channels.

The obtained results for the surface temperatures are in good agreement to the measured data for most points, which shows that the model performs well in that respect. Future work will show how the model could be used to simulate component warm-up or the heat pick up by the coolant that passes through the components. Another benefit of this project was the increased cooperation between VCC and the electro-technical division at Chalmers.

3 Bakgrund

Elektrifierade fordon har en mycket bättre energieffektivitet i framdrivningen jämfört med fordon med konventionell drivlina. Trots att priser per körd km för drivmedel är lågt är det av största vikt att erhålla en så effektiv användning som möjligt av den energi som kan lagras ombord på bilen, detta främst i syfte att möjliggöra en tillräcklig elkörsträcka.

Förutom själva framdrivningen drar även klimat-, kylsystemet, lampor samt övrig kringutrustning energi vilket påverkar körsträckan negativt. Förlusterna i de elektriska komponenterna är beroende av kylslingans temperatur och återkopplar till kylslingan med sina förluster. Detta betyder att kylslingan och de elektriska komponenterna behöver sam-optimeras för att nå bästa möjliga verkningsgrad i framdriften. I Figur 1 visas en principskiss över ett elfordon och hur fluiden i kylslingan värms upp i och mellan de olika komponenterna.

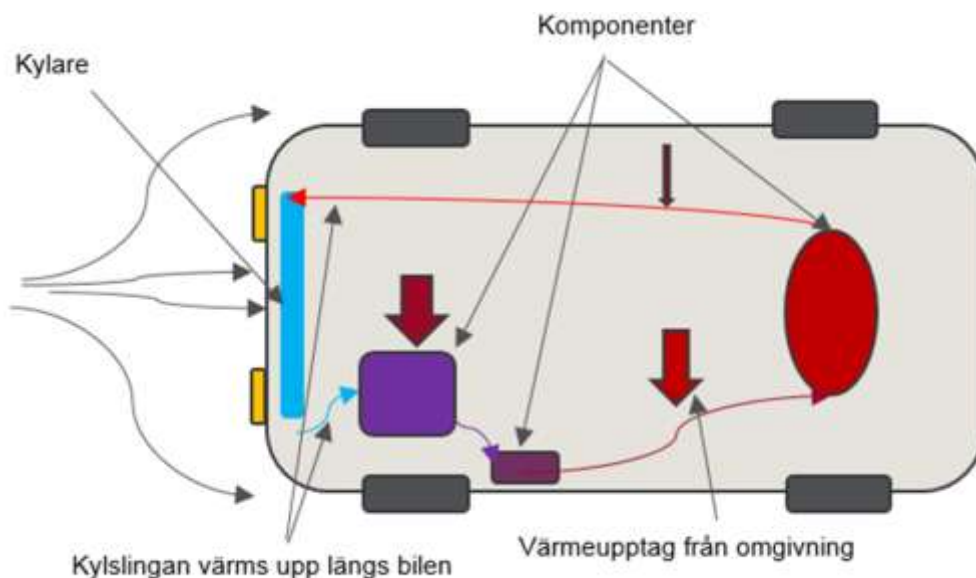


Figure 1 Illustration av värmeflöden i ett elektrifierat fordon

Idag används NEDC (New European Drive Cycle) som bas för att bestämma energiförbrukning i fordon. Testet tillåter att klimatsystemet samt lampor är avstängda under testet. Detta gör att de förbrukningssiffror som rapporteras av tillverkarna skiljer sig från de som kunden uppmäter. Detsamma gäller elbilar vilka inte klarar av de angivna körsträckorna utom i extrema fall. Det pågår arbete med en ny cykel WLTC (WLTP) som skall möjliggöra mer realistiska energiestimeringar vid framdrift av ett fordon. Dock ignoreras återigen omgivningstemperatur och klimatisering i detta arbete. För att kunna erbjuda kunderna ett mer trovärdigt mått på energiförbrukning erfordras beräkningar där hela energikonsumtionen i fordonet, såväl framdrift som klimatisering beaktas. Dessutom är det troligt att det i framtiden kommer användas mera realistiska testprocedurer där hela energiförbrukningen i fordonet klassificeras givet en viss ytermiljö. För att kunna åstadkomma detta erfordras en kunskapsplattform och modellverktyg där kylslingan och hybridkomponenterna sam-simuleras.

Det är dock inte bara elkraftskomponenterna och kylslingan som samverkar termiskt utan den omgivning som kylslangar och kraftkomponenter befinner sig i påverkar i högsta grad den termiska statusen på systemet. Som exempel kan nämnas att om man kör på en landsväg i Norrland under vintern så kan nämnda komponenter komma att omges av luft som flödar med ca 20 m/s och har en temperatur kring noll grader. De höga lufthastigheterna tillsammans med den låga lufttemperaturen kommer att ge en kraftig kylning av komponenterna. Om samma bil istället färdas med samma hastighet på en landsväg i Kalifornien så kommer den luft som omger komponenter och slangar att kunna vara i storleksordning 80 grader. Då kommer luftflödena istället att kraftigt värma nämnda komponenter. För att kunna ta med värmeförluster och värmeförlust till elkraftskomponenter och kylslingan behöver luftflöden och lufttemperaturer beräknas. Syftet med det projekt är att göra just detta, som support till det av FFI finansierade projektet "VeHICLE: virtuell hybridkylning."

Med en fungerande simuleringsmodell för el- och hybridkomponenter kan fordonet prestandadimensioneras utifrån en statistisk bas, med olika temperaturer och olika cykler istället

för ett fåtal specialfall. I förlängningen kommer vi kunna dimensionera kylsystem olika för olika marknader för att uppnå maximal energieffektivitet och kostnadseffektivitet.

Utvecklingen i fordonsindustrin går mot kortare och kortare utvecklingscykler. För att Volvo Cars skall kunna upprätthålla sin konkurrenskraft måste man följa med i denna utveckling. Virtuellt produktutveckling med simulering som en självklar komponent är en nödvändighet för att nå önskvärda ledtider och upprätthålla konkurrenskraften i svensk fordonsindustri. Med virtuella metoder i produktutvecklingen kan man dessutom undvika dyra ändringar i sena projektfaser och minska behovet av kostsamma fysiska provobjekt.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Syfte:

- Öka kunskap om hur elkraftkomponenter beter sig under olika lastfall i en el-hybridinstallation
- Skapa termisk 3D modell av elkraftkomponenter i en komplett beräkning av bilens termiska prestanda

Forskningsfrågor:

- Hur beter sig elkraftkomponenter från en termisk synpunkt i en komplex installation?
- Hur kan 1D förlustresultat användas för modellering?

Metod:

- Huvudsaklig metodik utgörs av 3D strömningstekniska beräkningar (CFD) inkl. koppling till 1D beräkningar
- I projektet utvecklade numeriska modeller valideras mot experiment utförda i termodynamisk vindtunnel och därigenom ges ökad kredibilitet.

5 Mål

Ett av Volvo Cars mål är att minska utvecklingscykeltiden för ett bilprojekt i syfte att snabbare och kostnadseffektivare leverera relevanta bilar till marknaden. För att lyckas måste ett optimerat och balanserat förslag levereras vid projektstart och endast små ändringar göras i senare projektfaser. För att nå detta är projektet en viktig pusselbit då virtuell utveckling möjliggör utveckling, optimering och verifiering av bilar utan kostsamma och tidskrävande prototyper, även i tidiga projektfaser. Ett fokuserat arbete mot mer virtuellt driven produktutveckling är en nödvändighet för upprätthållandet av VCC's konkurrenskraft.

Projektet är relevant för delprogrammet Elektronik, Mjukvara och Kommunikation delvis genom sitt fokus på el- och hybriddrivlinor men även genom sitt fokus på utveckling av virtuella produktutvecklingsredskap. Den beräkningsmetodik som projektet utvecklade kommer att vara en viktig pusselbit i att möjliggöra en ökad grad av *decoupled engineering* och mjukvaruutveckling i tidiga projektstadier. Som exempel kan nämnas att vid utvecklingen av mjukvaran som reglerar användandet av elmotorn innan man förfogar över ett fysiskt provobjekt så behövs en termodynamisk simuleringsmodell av bilen för att förstå den omgivning som elmotorn befinner sig i och de laster den utsätts för.

Genom att projektet genomfördes i samarbete med Chalmers tekniska Högskola så kommer det att gynna kunskapsutbyte mellan fordonsindustrin och akademien inom den, för svensk konkurrenskraft, så viktiga hybrid- och elbilstekniken.

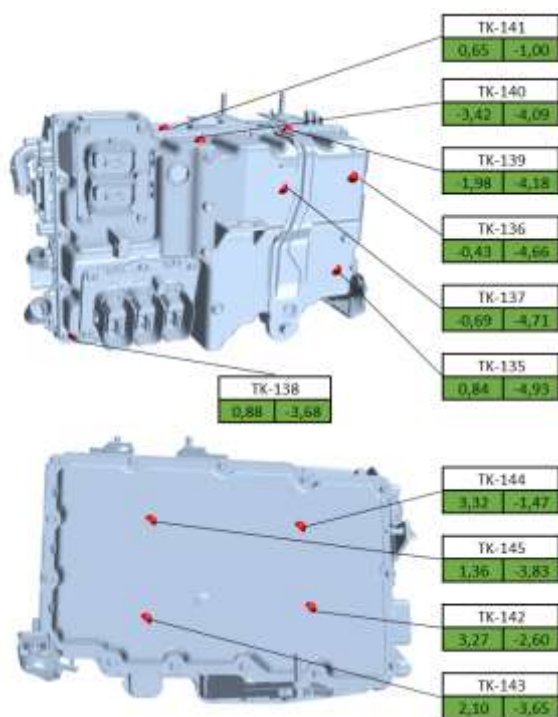
I dagsläget ligger verkningsgraden hos en typisk eldrivlina på ca 85% vilket innebär att ca 15% av energin går förlorad till värme. Vinstpotentialen är därmed stort i att förstå värmeflödet i bilen

och med det i så hög grad som möjligt omvandla förlusterna i eldrivlinan till användbar energi i andra delar av bilen. En metod för att modellera en hybrid- eller elbil ur ett termiskt perspektiv möjliggör en energioptimering för en minskad total energiåtgång.

En mer kostnadseffektiv produktutveckling är också av högsta vikt ur ett miljöperspektiv eftersom det möjliggör ett lägre konsumentpris och därigenom en större genomslagskraft på marknaden för hybrid- och elbilar. För varje bil som säljs med hybriddrivlina istället för med traditionell förbränningsmotor minskar utsläppen med 50g CO₂ per km.

6 Resultat och måluppfyllelse

Målet att skapa en numerisk modell för de valda elektriska komponenternas termiska beteende under olika körförhållanden uppnåddes framgångsrikt. En jämförelse mellan ett antal bestämda referenspunkter i simuleringen och mätningarna visade på en överenskommelse för yttemperaturer i intervallet $\pm 5^\circ\text{C}$ för nästan alla punkter, vilket vi anser vara tillfredsställande. Resultaten visade också att det är ett giltigt antagande att de värmeförluster som erhållits från 1D-beräkningar ska fördelas jämnt över en viss referensregion inom modellen.



De undersökta körförhållandena varierades i vindhastighet mellan 50-150 km / h, och omgivningstemperaturen mellan 25°C och 45°C. Värmebelastningen varierades bl.a via simulerad körning i uppförsbacke, max fläkthastighet, minskat kylflöde, luftkonditionering av, etc. Resultaten för referenstestet (50 km / h, 25 °C) och det maximala belastningsfallet (50 km / h, 45 °C, samt alla värmebelastningar enligt ovan) för växelriktaren (CIDD) presenteras i Figur 2. De visade resultaten är den absoluta skillnaden mellan simulering och test, vilket innebär att ett negativt värde innebär att simuleringen under predikterar yttemperaturen i den aktuella punkten. Resultaten för referenstestet framgår av det vänstra siffervärdet och för det högsta belastningsfallet av det högra. Resultaten för alla andra testfallen och ERAD-

yttemperaturerna finns publicerade i publikationen som härrör från detta arbete, se nedan.

Figure 2 Absolute difference in surface temperature between simulation and test

Målet att modellera upp- och nedkylning kunde inte uppnås p.g.a. den begränsade tidsramen.

Sammanlagt anses dock att projektet har uppnått sitt mål att skapa ett ramverk för numerisk optimering av termodynamiska egenskaper i ett el- eller hybridfordon, samt ett fundament för vidareutveckling för att även kunna modellera upp- och nedkylning under relevanta driftförhållanden.

7 Spridning och publicering

7.1 Kunskaps- och resultatsspridning

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	x	
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	x	Industridoktorandprojekt "Industriellt applicerbar simuleringsmodell för hybrid- och elbilar för analys av termodynamisk status i komplett bil" (VIPP)
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	x	
Introduceras på marknaden		
Användas i utredningar/regelverk/tillståndsärenden/ politiska beslut		

Projektet kommer att drivas delvis vidare inom industridoktorandprojekt

7.2 Publikationer

Projektens resultat publicerades i ett konferensbidrag till "Vehicle Power and Propulsion Conference" (VPPC) 2017. Konferensen handlade om alternativa framdrivningssystem, och focusen låg mest på elektriska framdrivningssystem.

8 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet ger ett ökad förståelse kring elektriska kraftkomponenter och deras beteende i ett elfordons motorrum. En metod utvecklades vilken kommer att tillämpas för att utföra termodynamiska beräkningar på komponenttemperaturer.

Fortsatt forskning kommer att ske inom ett industridoktorandprojekt och mindre interna forskningsprojekt. Aspekter vilka kommer att betraktas är t.ex. upp- och nerkyllning av elkraftkomponenter, samt effekter från luftsidan på kylslangarna.

9 Deltagande parter och kontaktpersoner

Volvo Cars

Alexander Broniewicz

Emil Willeson

Randi Franzke

Chalmers

Prof. Torbjörn Thiringer