



Godkänd/Approved By	Telefax	Lagringsdata/File	Reg nr/Reg no	
FAH Per-Inge Larsson	0520 86820	PreDev	FAH0900060.1	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by	Telefon/Phone	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
FAHK Magnus Johansson	0520 84963	2009-06-29	0.1	1 (1)

Fördelning/To

För kännedom/For Information

Teknisk slutrapport av projektet 'Charging Research&Development', dnr. AL90B 2004:01363.

Charging Research & Development

Bakgrund:

Det kan knappast ha passerat någon förbi att en av de största utmaningarna, om inte den allra största, bilindustrin står inför är att minska utsläppen av skadliga ämnen från fordonen. Ny emissions- och CO₂-lagstiftningar, som kommande Euro6 och US2010, kräver nya teknologier, effektivare drivlinor, optimering och anpassning till alternativa drivmedel och högre grad av hybridisering och elektrifiering. Medlemmarna i ACEA (Association des Constructeurs Europeen d'Automobile) har även förbundit sig till att gradvis minska CO₂-emissionerna till 130 g/km mellan 2012 till 2015.

Detta innebär att bilindustrin pressas till att förbättra befintliga tekniker och utveckla nya, mer avancerade tekniker för att kunna utveckla bränslesnålare och mer miljöanpassade fordon. Låga emissionsnivåer och miljövänliga tekniker har även blivit ett viktigt konkurrensvapen i strävan efter att övertyga en allt kräsare och mer miljömedveten marknad.

En av de mest lovande och kostnadseffektiva metoderna för att minska emissionerna och därmed nå t.ex. Euro6-utsläppsnivåer är att använda överladdningsteknik tillsammans med downsizing. Traditionellt sett ses turbo och överladdning som ett sätt att förbättra motorns prestanda. Idag och i framtiden kommer överladdningstekniken, om det används på rätt sätt, att innebära att en motor med mindre slagvolym kan användas (downsizing), vilket innebär att emissionerna reduceras utan att bilens köregenskaper påverkas. Det kan göras både genom att förbättra och implementera redan befintliga tekniker, men även genom att utveckla helt nya, mer avancerade överladdningstekniker. Syftet med 'Charging and Research'-projektet har varit att bygga upp kunskap om avancerade överladdnings- och gasväxlingssystem, vilket är en förutsättning för att åstadkomma downsizing, och därmed nå kommande emissionskrav.

Det viktigaste delmålet är att öka förståelsen för de mekaniska och strömningsmekaniska fenomen och mekanismer som sker i motorns gasväxlingssystem, med ett starkt fokus på turboladdaren, både som enskild komponent men även dess interaktion med övriga delsystem. Ökad kännedom om komponenterna i överladdningssystemet möjliggör effektivare utveckling av motorer, och i slutändan även effektivare och mer miljöanpassade motorer. Ett viktigt delmål för detta projekt är också utveckla simuleringssystemer med olika komplexitet inom dessa områden. För att nå dessa mål används både mätteknik samt numeriska metoder, där hela spannet från lågdimensionella till tidsupplösta 3-dimensionella beräkningar har används.

Projektet:

Inledningsvis i projektet, som påbörjades under 2004, bedrevs arbetet internt av GM Powertrain Sweden AB, men under 2005 började de två industridoktorander Anna Svärd och Fredrik Hellström att doktorera inom projektet vid KTH, Kungliga Tekniska Högskolan. De bidrag som erhållits inom ramen av detta bidragsprogram har gått till att finansiera delar av det arbete som dessa industridoktorander utfört. Sedan början av 2008 har arbetet uteslutande bedrivits av dessa industridoktorander.

Parallellt med doktorandarbetet genomfördes interna undersökningar vars syfte var att implementera och ta till vara resultat från doktorandprogrammen. Studier genomfördes även för att studera de delar av överladdningstekniken som begränsar möjligheten att simulera turboladdade motorer och som inte ingick i doktorandprogrammen. Detta gäller t.ex. turbons lagersystem och instabila arbetspunkter för turbons kompressor, s.k. surge, där arbete bedrivs idag för att inkludera detta i simulering. Resultat från de inledande interna undersökningarna kan nu även användas i industridoktorandernas pågående arbete.



Godkänd/Approved By	Telefax	Lagringsdata/File	Reg nr/Reg no	
FAH Per-Inge Larsson	0520 86820	PreDev	FAH0900060.1	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by	Telefon/Phone	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
FAHK Magnus Johansson	0520 84963	2009-06-29	0.1	2 (2)

Enligt den ursprungliga projektplanen skulle de två industridoktoranderna, en med inriktning på simulering i 3-D, CFD och en experimentalist, bedriva forskning för att kartlägga delar av överladdningstekniken som idag inte är tillräckligt kända. De skulle även ta fram turbinmodeller i 3-D CFD. Utvecklingen av 1-D modeller som är länkade till de 3-D modeller skulle även tas fram för att ge möjlighet till snabba prediktiva simuleringar, vilket även var inriktningen för en del av det interna arbetet som skedde parallellt med doktorandernas arbete. Fokus för doktorandprogrammet har således varit tredimensionella beräkningar av flödet i turbiner, och avancerade mätningar i flödesrigg för turboaggregat. Mätningarna fokuserar på att studera hur pulserande flöde påverkar turbinens förlustmekanismer samt att generera provdata som stöd till beräkningar av flödet. Resultaten från mätningar och beräkningar ska tjäna som grund för en förenklad turbinmodell som kan användas i programvara för simulering av hela motorsystem med turboladdare.

Som tidigare rapporterats vid de tidigare lägesrapporterna ligger projektet som helhet efter något tidsmässigt. Detta beror på att industridoktorand Fredrik Hellström blev pappa under 2006, vilket innebar att Fredrik var föräldraledig under sammanlagt fem månader under 2007/2008. Industridoktorand Anna Svärd blev sjukskriven i mars 2008, och valde sedan att avbryta sin forskarutbildning i och med att GM Powertrain Sweden, Site Södertälje, blev uppköpt av AVL under hösten 2008. Vi har tyvärr ännu inte lyckats ersätta denna vakanta industridoktorandplats.

Till följd av dessa förseningar i projektet har projektplanen fått revideras något under projektets gång. Dessutom har ändringen av de för projektet tillgängliga resurserna, samt de mycket goda resultat som erhållits från projektet, gjort att projektets inriktning ändrats något under projektets gång. Fokus för Fredrik Hellströms del är idag att utöka förståelsen för den komplexa strömnings- och termodynamiska fysiken i turboladdaren. Sedan projektet bytt inriktning har projektet alltså blivit mer fokuserat mot att undersöka interaktionen mellan avgasturbinen och övriga delsystem. Detta för att i framtiden kunna optimera både turbin och grenrör för att öka verkningsgraden på överladdningssystem. Detta kan sedan användas för att uppfylla framtida krav på emissioner och bränsleförbrukning, samtidigt som motorns prestanda kan bibehållas.

I och med att Anna Svärd avslutade sin forskarutbildning i förtid, fanns det inga mätresultat av hög kvalitet att jämföra de simulerade resultaten från Fredrik Hellströms beräkningar mot. Att kunna validera de numeriska resultaten är av yttersta vikt för att kunna säkerställa kvaliteten på dessa. Då Hellström försvarande av sin licentiatavhandling kommenterade granskaren att resultaten från simuleringarna ej var validerade. Denna kritik har även framförts vid granskning av Fredrik Hellströms vetenskapliga artiklar vid publicering.

Standardmetoden för att mäta ett turboaggregats funktionella prestanda är att använda ett sk. gas stand. Gas stand är en flödesprovrigg med kapacitet att blåsa het luft med ett för förbränningsmotorn typiskt massflöde. Denna mätmetod är standard i branschen, men då endast turboladdareleverantörerna, några universitet samt några få aktörer i branschen har denna typ av utrustning är högkvalitativ data därifrån sparsmakad samt behäftad med okända mätosäkerheter eftersom en detaljerad och enhetlig mätstandard idag saknas helt.

I Trollhättan har GM Powertrain Sweden under vintern 2008/09 idrifttagit ett gas stand. I detta kan vi nu göra egna mätningar för att validera de lovande resultat som Fredrik Hellström med sina simuleringar predikerat med bl. a avseende på hur ett stort eller ostört inloppsflöde i turbinen påverkar dess prestanda. Detta kommer att höja kvaliteten på Fredrik Hellströms arbete betydligt, då detta ger goda möjligheter till att förbättra de numeriska modeller som används. Gas standet kan också komplettera Fredrik Hellströms beräkningar, då man kan utföra flera mätningar med parametriska variationer. Kombinationen av mätningar med stor variation av olika parametrar och den djupare insikt av flödesfenomen som beräkningar ger, kommer att avsevärt förbättra insikten av det komplexa flödet i turbinen, och in- och utflödets inverkan på dess prestanda. Undersökningar av dessa parametrars variationer var i den ursprungliga planen tänkt att utföras av Anna Svärd. I och med detta planerade arbete i gas stand kommer vi närmare det planerade slutmålet. Dessutom kommer våra egna mätningar att möjliggöra att vi internt på GM Powertrain Sweden sedan kan undersöka och kvantifiera mätosäkerheter i denna typ av mätningar, vilket till viss del kompenserar för bortfallet av det arbete från början var avsett att industridoktorand Anna Svärd skulle utföra.

Resultat:

Inom projektet 'Charging research&development' har en rad olika tekniker och fenomen undersökts. Projektet har bedrivits i olika sk. 'Work Packages' (enl. en projektrutin inom GM Powertrain som kallas PrePhase00) inom vilka



Godkänd/Approved By	Telefax	Lagringsdata/File	Reg nr/Reg no	
FAH Per-Inge Larsson	0520 86820	PreDev	FAH0900060.1	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by	Telefon/Phone	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
FAHK Magnus Johansson	0520 84963	2009-06-29	0.1	3 (3)

olika delutredningar har genomförts. Nedan följer exempel på några av alla de delutredningar som utförts inom projektet.

Under Work Package 1 (WP1) genomfördes två delutredningar:

Inom delutredningen 'Turbine Map Pre-processing' konstaterades att det inte blev någon förbättring av simulerade turbiner efter att man använt turbindesign-programmet Rital. En sammanställning av mätningar som genomförts i ett oberoende gas stand (ej det som numer GM Powertrain Sweden besitter) gjordes. Det konstaterades att stationär mätdata från oberoende gas stands ger simuleringsresultat som ligger närmre verkligheten, men att det pulserande flödets påverkan på turbinen fortfarande inte återspeglas korrekt i beräkningsmodellerna.

Undersökningen 'Guidelines for Compressor Inlet' gav djupare insikt om hur insugssystemets design påverkar prestandan hos kompressorn samt gav möjlighet att prova på mätmetoder för att mäta upp flödesfält i rör, vilket sedan har utvecklats ytterligare för att förbättra möjligheterna att validera 3D beräkningar av flöde. Kompressormodellen som togs fram i undersökningen visade på mycket lovande resultat. Påverkan av kompressorinlopp på kompressorprestandan kunde dock inte kartläggas helt, men arbetet fortsätter med vidare surgeundersökningar. Den numeriska metod som utvecklade i denna studie används idag inom utvecklingsarbetet på GM Powertrain.

Under Work package 2 genomfördes tre delutredningar:

Inom delutredningen 'Surge Investigation' konstruerades en speciell provrigg för att mäta surge i radialkompressorer. Riggerna gav/ger stora möjligheter till att variera de geometrier och faktorer som påverkar instabilitet i kompressorn vid låga flöden (surge). Provsraser genomfördes med olika inloppsgeometrier till kompressorn för att förstå hur dessa påverkar systemets stabilitet. Ett antal geometrier valdes sedan för vidare undersökning med avseende på förbättringspotential av motorer. Beträffande hur surge hanteras i simulering togs två enkelt mätbara indikatorer på surge fram och testades i riggen. Dessa resultat publicerades och presenterades på SAE World Congress 2008.

För att designa ovan nämnda mätrigg användes de två industridoktorandernas expertis inom mätning, beräkning och analys av resultat. Att skapa en naturlig länk mellan industridoktorander och GM Powertrain var ett av huvudsyftena med delutredningen. Detta gjordes genom att kombinera interna delutredningar och doktorandprojekten.

För delutredningen 'Turbocharger Bearing Losses' togs det också fram en speciellt för ändamålet dedikerad mätrigg. Denna gjorde det möjligt att verifiera beräkningsmodeller för lagerförluster i turbosystemet. Detta ledde till att hantering av turbolagerfriktion i motorsimuleringar sågs över, och till att en metod för att modifiera provdata från komponentprover på turbon, för att representera turbon på ett bättre sätt i simuleringar, kunde tas fram.

Inom denna delutredning genomfördes även körningar av en mätserie på en twin scroll turbin, vilken sedan analyserades grundligt. Kunskaperna från delutredningen presenterades i juni 2007 vid 7. Tagung, Direkteinspritzung im Ottomotorren vid Haus der Technik i Essen.

Kontinuerligt medan detta arbete bedrevs, förutom att bidra med betydande expertis inom respektive område till det arbete som bedrevs på GM Powertrain Sweden, fördjupade sig doktoranderna inom sina respektive områden - beräkning och mätning av det transoniska och icke stationära flödet i radialturbiner. Litteraturstudier genomfördes och uppdaterades fortlöpande. Fredrik Hellström, som jobbar inom turbinberäkning i 3D CFD, nådde snabbt en kunskapsnivå där han började producera resultat som är nydanande och leder mot projektmålen. Anna Svärd arbetade fortsatte under denna period att arbeta med att skapa en flödesrigg för turbinmätning i pulserande flöde i samarbete med kompetenscentret KTH CICERO. Systemval för pulsgenerator gjordes och flera delsystem som krävdes för att kunna prova och mäta turbiner konstruerades, för att därefter tillverkas.

Det interna arbetet i Work Package 3 fokuserade till stor del på olika aspekter av surge.

Den beräkningsmodell för kompressorer som används i motorsimulering i dag hanterar inte surge på ett riktigt sätt. Mätningar från surgeriggen som togs fram under Work Package 2 användes under denna delutredning för att göra en beräkningsmodell för surge i 1D-simulering.



Godkänd/Approved By	Telefax	Lagringsdata/File	Reg nr/Reg no	
FAH Per-Inge Larsson	0520 86820	PreDev	FAH0900060.1	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by	Telefon/Phone	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
FAHK Magnus Johansson	0520 84963	2009-06-29	0.1	4 (4)

Fredrik Hellström genomfördes en numerisk undersökning som fokuserade på att öka förståelsen av pulserande flöde i motorliknande geometrier samt i turbinen.

Den experimentella delen av projektet inom WP3 fokuserade som tidigare på att designa och konstruera en rigg för mätningar pulserande flöde.

Surgeriggen vidareutvecklades för att ge provdata som var mer lika motorprov med pulserande flöde. Det senare resulterade i ett examensarbete. I februari 2008 presenterade Martin Wall, examensarbetare från KTH, sitt examensarbete 'Surge Noise in Centrifugal Compressors'. Examensarbetet syftade till att undersöka de akustiska egenskaperna hos en centrifugalkompressor i olika driftpunkter. Arbetets fokus lades på att kartlägga och karaktärisera de ljud som uppstår när kompressorn arbetar nära sin surge-gräns, ljud som kan uppfattas mycket störande av en förare. Martin Wall anställdes senare av GM Powertrain Sweden där han fortsatte arbeta med ett DFSS-projekt, Design For Six Sigma, som byggde vidare på det arbete som gjort i examensarbetet, och vilket ledde till förbättrad kunskap om hur man skall mäta och analysera denna typ av ljud.

Vidare gjordes två ingående benchmarkingstudier, en av olika komponenter som kan användas för att utöka kompressormappen, samt en studie av olika lager.

Under WP3 skrevs även SAE-bidraget, 'Surge definitions for radial compressors in automotive turbochargers'.

Work Package 4 är den fas projektet befinner sig i för tillfället, och det är under denna fas som industridoktorand Fredrik Hellström varit föräldraledig och industridoktorand Anna Svärd valt att lämna företaget. I mars 2008 försvarande Fredrik Hellström sin licensiatavhandling.

Under WP4 har Fredrik Hellström fortsatt arbeta med att kartlägga fenomen kring pulserande flöde. Bl.a. har påverkan av rakt och modifierat inloppsrör till turbinen undersökts. För beräkning av inloppsprofilens inverkan har tidsupplöst 3D-modellering använts. Även inverkan av pulsernas specifika form har undersökts. Under senare delen av 2009/början 2010 är det planerat att Fredrik Hellström skall arbeta vid UC, University of Cincinnati. Detta bl.a. för att förfina sina mättekniska kunskaper.

Internt GM Powertrain Sweden har arbetet fokuserat på att idriftsätta gas standet. (Var vänlig se ovan för mer information) Detta har bl.a. inneburit arbete med att få gas standet att fungera tillfredställande rent praktiskt, samt att kartlägga vilka mätosäkerheter som finns, för att senare säkerställa mätsäkerheten även för dessa.

För mer ingående information för projektets olika delutredningar var vänlig kontakta:
Industridoktorand Fredrik Hellström, fredrik.hellstrom@gm.com.
Teknisk Projektledare, Dr. Fredrik Westin, fredrik.westin@gm.com.

Hittills utgivna och accepterade publikationer:

Hellström, F and Fuchs, L, 'Numerical computation of the pulsatile flow in a turbocharger with realistic inflow conditions from an exhaust manifold'. ASME Turbo Expo 2009, Power for Land, Sea and Air, 8-12 June, 2009,

Hellström, Fredrik, 'Numerical computations of the unsteady flow in a radial turbine', Licentiate Thesis in Mechanics, Stockholm, Sweden 2008, ISSN 0348-467X

Hellström, F and Fuchs, L, 'Effects of inlet conditions on the turbine performance', ASME Turbo Expo 2008, Power for Land, Sea and Air, 9-13 June, 2008,

Hellström, F and Fuchs, L, 'Large Eddy Simulation of the pulsatile flow in a turbocharger: Assessment of the unsteady flow field', ETMM7, 7th International Symposium on Engineering Turbulence Modeling and measurements, Limassol Cyprus 2008

Martin Wall, 'Surge Noise in Centrifugal Compressors', M Sc Thesis in Acoustics.

Andersen, J . Lindström, F & Westin, F, 'SAE2008-01-0296 : Surge Definitions of Radial Compressors in Automotive Turbochargers', SAE World Congress 2008.



Godkänd/Approved By	Telefax	Lagringsdata/File	Reg nr/Reg no	
FAH Per-Inge Larsson	0520 86820	PreDev	FAH0900060.1	
Utfärdare (intern postadress, namn)/Issued by	Telefon/Phone	Datum/Date	Utgåva/Issue	Sida/Page
FAHK Magnus Johansson	0520 84963	2009-06-29	0.1	5 (5)

Hellström, F and Fuchs, L, 'Numerical computations of pulsatile flow in a turbo-charger', 46th AIAA Sciences Meeting and Exhibition, 7-10 January 2008

Andreas Dahl, Hans Drangel, Fredrik Lindström, Raymond Reinmann 'Simulation Study based on the 2.0L ECOTEC SIDI turbo Engine Improving Low End Torque by Exhaust Valve Deactivation' 7. Tagung, Direkteinspritzung im Ottomotoren vid Haus der Technik i Essen, June 2007.

Hellström, F and Fuchs, L; 'Numerical computations of steady and unsteady flow in bended pipes' ; 37:th AIAA Fluid Mechanics Conference, 25 - 28 June 2007

Accepterade publikationer:

Hellström, F, Renberg, U and Westin, F, 'Predictions of the performance of a radial turbine with different modeling approaches- Comparison of the results from 1-D and 3D CFD', SAE World congress 2010, Detroit, USA

Projektet har även lett till uppslag till, och uppstart av, nya doktorandprojekt inom kompetenscentret KTH CICERO, vilket får anses vara ett mått på att arbete sker inom områden som är relevanta för högskoleforskning och svensk fordonsindustri.

Annat resultat- och kunskapsförmedling:

Kunskap och resultat från projektet har förmedlats enl. vanligt förekommande rutiner inom GM Powertrain, i detta fall projektrutinen 'PrePhase00'. Detta sker genom enklare presentationer, skriftliga rapporter samt kontinuerligt vid avstämningsmöten. Inom vissa av delprojekten sker även presentationer av hela eller delar av verksamheten på större konferenser. Inom delprojektet Charging Research&Development följs doktorandarbetet med intresse från GM Powertrain, och deras kunskap och resultat efterfrågas internt.

Arbetet inom projektet har som synes hittills resulterat i en rad olika undersökningar som använts som input till flera utvecklingsprojekt inom GM Powertrain, såväl inom Sverige som globalt. Att intresset internt GM varit såpass stort för resultaten från detta projekt, och att resultaten har använts som beslutsunderlag för hur strategin kring vissa av de berörda områden skall se ut i framtiden, tyder på att projektets fokus ligger rätt i tiden och att det berör ett område där djupare kunskap och förståelse saknas. Att resultaten från projektet även väckt stort intresse inom den akademiska världen, och resulterat i flera artiklar och konferensbidrag, stöder detta ytterligare.