

Årsrapport Kompetenscentrum Gasväxling, CCGEx, 2015

Mars 2016

Sammanställd av Prof. Anders Hultqvist

Föreståndare CCGEx, Enhetschef Förbränningsmotorteknik

Årsrapport Kompetenscentrum Gasväxling, CCGEx, 2015

Sammanfattning

Kompetenscentrum gasväxling, CCGEx, har vid slutet av året 2015 nått mitten av sin tredje period. Finansiering från energimyndigheten, KTH, Scania, Volvo Cars och Volvo GTT är avtalad för perioden 2014-2017. Centrumets tredje verksamhetsperiod innefattar en fortsättning med en inriktning av verksamheten inom fyra huvudområden, "Cold Side – Compressor off Design", "Integrated Hot Side – iHOT" samt "Exhaust After Treatment". Ett nytt område "Gas Exchange Systems" har lagts till och skall utvecklas under 2016. Samtliga projekt har syfte att fördjupa förståelsen för gasväxlingsprocesser och därigenom lägga grunden för ett framtida, mera effektivt gasväxlingssystem.

Alla projekt, doktorander och aktiviteter är nu organiserade inom dessa områden. Fokuseringen inom områdena har ökat möjligheten till samsyn mellan akademi och industri om vilka frågor som behandlas och vad respektive projekt syftar till att besvara och tillföra. Områdesfokuseringen har också underlättat för industrin och akademi att i samarbete identifiera och tillföra "in-kind" bidrag vilket för projekten framåt och långt förbi möjligheterna som akademien har självt.

Akademiskt resultatmässigt har 2015 varit ett mellanår då fler av studenterna är nytillkomna. Dock har centret producerat 2 disputerade doktorer från två av centrumets fyra institutioner/ämnen. Sex vetenskapliga artiklar har publicerats och centret har varit fysiskt representerat på åtta konferenser.

Budgeten för 2015 anpassades till att det vid årets början inte fanns full industriell medfinansiering säkrad av typen "in-kind" för att kunna möta upp energimyndighetens och KTHs bidrag. Under årets gång har ytterligare industribidrag tillkommit genom Volvo GTT, BorgWarner och ViF. Dessutom har industrins in-kind bidrag tagit fart med uppstarten av projekt och doktorander vilkas aktiviteter är väl förankrade hos industripartnerna. Vi utgår från att 2015 var programmet i princip fullt finansierat med en positiv syn på kommande in-kind bidrag från industrin.

English Summary

By the end of 2015, Competence Center for Gas Exchange, CCGEx, reached the middle of its third period. Funding from the Swedish Energy Agency, KTH, Scania, Volvo Cars and Volvo GTT i agreed for the 2014–2017 period. The center's third period of activity involves a continuation of the operations in four prime areas, "Cold Side – Compressor off Design", "Integrated Hot Side – iHOT", and "Exhaust After Treatment". A new area, "Gas Exchange Systems", has been added and will be developed further in 2016. The purpose of all projects is to obtain a deeper knowledge of gas exchange processes, and thereby lay the foundation for a future, more efficient gas exchange system.

All projects, PhD Students and activities are now organized within these areas. The area focus has increased the possibility for a joint academy and industry view regarding which issues are dealt with, and what the respective projects aim to answer and provide. The area focus has also facilitated for the industry and academy to jointly identify and provide "in-kind" contributions, which take the projects forward and provide possibilities that go far beyond those that the academy itself possesses.

When it comes to academic results, 2015 has been an intermediate year, since several of the students are new. Nevertheless, the Center has produced two doctors defending their theses from two of the center's four departments/areas. Six scientific articles have been published and the center has been represented physically/in person at eight conferences.

The budget of 2015 was adjusted for the fact that, at the beginning of the year, there was no full industry co-financing secured by way of "in-kind" to meet the contributions of the Swedish Energy Agency and KTH. During the course of the year, further industry contributions have been added via Volvo GTT, BorgWarner and ViF. Furthermore, in-kind contributions from the industry have escalated with the start-up of projects and with postgraduate students coming on board, and whose activities are firmly established with the industry partners. By the end of 2015, the program was essentially fully funded, with a positive outlook regarding future in-kind contributions from the industry.

Innehåll

Sammanfattning.....	2
English Summary	3
Inledning.....	5
Bakgrund	5
Organisation	6
Programråd.....	7
Föreståndare	7
Ledningsgrupp	7
Vetenskapligt Råd.....	8
Forskare	8
Huvudresultat.....	8
Utveckling av partnerskap.....	9
Genomförande Forskningsprojekt	10
CoDOp-projekt om kompressordrift utanför optimal driftpunkt.....	10
Höjdpunkter inom forskningen – CoDOp-projekt (2015).....	11
Integrerat HETA SIDAN-projekt	12
Höjdpunkter inom forskningen – integrerat HETA SIDAN-projekt (2015)	14
Förbättringar under året	14
Avgasefterbehandling (EAT).....	15
Projektresultat (sedan starten 2015-03-11):.....	15
Förbättringar inom EAT under 2015	16
Plan för nya åtgärder inom EAT under 2016.....	16
Forskningsprojekt, bemanning och rollfördelning	17
Interaktion/mötesforum	18
Ekonomi.....	20
Projektpresentationer:	23
Publikationslista (2015).....	33

Inledning

Energimyndigheten beslutade 2013 om en ny finansieringsperiod 2014-2017 för kompetenscentrumen samlade inom Swedish Combustion Engine Consortium (SICEC) relaterat till förbränningsmotorteknik. Denna period innebär för KTHs förbränningsmotorcentrum (CICERO 2006-2009, CCGEx 2010-2013) att det går in i sin tredje finansieringsomgång. Syftet med årsrapporten för 2015 är att redovisa nuläget samt översiktlig plan för 2016.

Bakgrund

Kompetenscentrum Gasväxling (CCGEx) (tidigare CICERO) startades 2006 som ett tredje svenskt kompetenscentrum inom förbränningsmotorteknik.

Sverige har en stark motorindustri som för sin överlevnad är beroende av att kunna förnya sina produkter så att de miljö- och energimässigt ligger väl framme i internationell konkurrens. Den nuvarande trenden med allt strängare utsläppskrav, vilka lägger allt mer vikt på CO₂ utsläpp, minimering av energianvändning, ökande andel biobränslen och hybridmotorer innebär att marginalerna för de i motorn ingående komponenter, system och processer blir allt mindre.

Svensk fordonsindustri står i och med detta inför ett antal stora utmaningar i form av krav på effektivare motorer, hårdare optimeringar, minskade utsläpp samt stark internationell konkurrens.

Vägen att möta dessa utmaningar är en övergång till ett mer kunskaps- och beräkningsbaserat arbetssätt med mindre beroende av prototypstestning och lösningar byggda på praxis och "trail and error".

Detta skapar ett starkt behov att identifiera, förstå och arbeta innovativt med de bakomliggande fysikaliska processer som utnyttjas i de system och komponenter som krävs för framtida högeffektiva förbränningsmotorkoncept.

Den svenska motorindustrin har varit tidiga med överladdning och är starka inom detta område ur ett internationellt perspektiv. Betydelsen av detta område ökar med nya förbränningsystem som kräver höga EGR-halter och laddningstryck. Ventilsystem med variabla öppnings- och stängningstider och lyft kommer mer och mer. För att behålla industrins konkurrenskraft är det viktigt med kontinuerlig kompetensförsörjning inom området. Det gäller såväl sakkunskap som forskare med relevant kompetens. Området gasväxling och överladdning är specifikt för Competence Center Gas Exchange (CCGEx) och enskilt för KTH, det täcks inte av något annat kompetenscentrum.

CCGEx:s syfte är att utföra akademisk forskning med högsta kvalitet inom området förbränningsmotorers gasväxling i nära samverkan med fordonsindustrin och därmed bidra till ett effektivt, hållbart och konkurrenskraftigt transportsystem baserat på effektiva alternativbränsle anpassade motorsystem i kombination med elektrifiering.

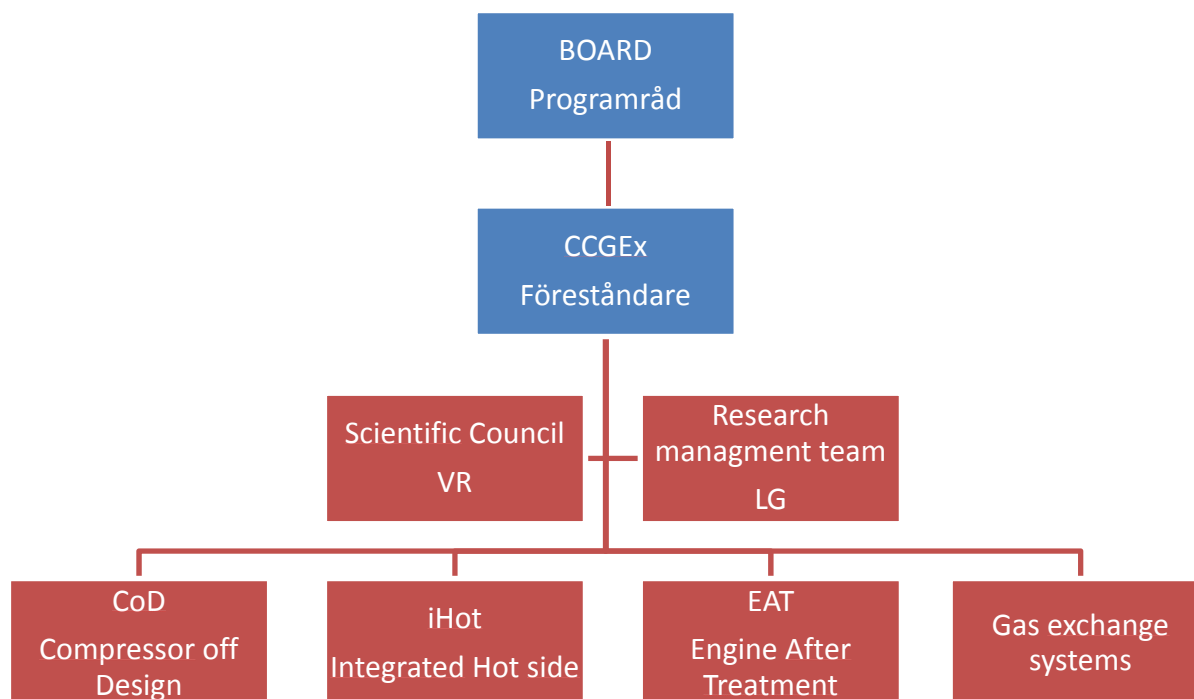
Genom att utnyttja avancerade analys-, mät- och syntesmetoder ska den fysikaliska förståelsen öka för grundläggande relevanta fenomen. Genom denna ökade förståelse kommer forskare inom CCGEx att kunna identifiera nya tekniska möjligheter och lösningar inom gasväxling, EGR-system, överladdning och efterbehandlingsystem.

Organisation

Deltagande organisationer inom CCGEx är, liksom i tidigare perioder, KTH, Energimyndigheten samt de svenska fordonsföretagen Scania CV, Volvo Cars och Volvo GTT. Från KTH involverade enheter / institutioner ingår förbränningsmotorteknik, fluidmekanik och MWL akustik. Under 2015 har också ett första närmande till Wärtsilä Oy., Finland, gjorts och samarbeten med Borg Warner, Tyskland samt Energiteknik på KTH har inletts.

Utgångspunkten för formulering av forskningsuppdrag är förhållanden på verkliga motorer. Fenomenen kan sedan renodlas vid grundläggande strömnings- och akustiska undersökningar, med användande av en kombination av simulerings- och experimentella verktyg. Att få en stabil grund för förståelsen av förloppen i motorn och finna svagheter/utvecklingsbehov hos modeller vilka möjliggör ökad simuleringsbaserad utveckling i industrin är slutmålet. Länken över simuleringsverktyg med reducerat antal dimensioner ("reduced order models"), fungerar som koppling mellan industriell tillämpning samt möjligheten att göra ansatser till fysikalisk analys för formulering av behov av detaljstudier inom såväl fluidmekanik, akustik som motorsystem.

En genomgående tanke i organisation och arbetssätt är att främja samarbete över gruppgränser samt att involvera yngre disputerade forskare i centrets ledning. Centret är organisatoriskt placerat på ITM skolan. Det löpande arbetet i centret leds av en föreståndare samt två vice föreståndare med hjälp av ledningsgruppen. Föreståndaren får sitt uppdrag från programrådet/styrelsen som består av nyckelpersoner från respektive deltagande part. Under året tackade Arne Johansson KTH och Gunilla Efraimsson KTH för sig och lämnade plats åt Jan Wikander, ITM och Mikael Lindström, CHE.



Figur 1: CCGEx organisation

Operativt leds arbete av en ledningsgrupp (LG) bestående av föreståndare, vice föreståndare samt yngre disputerade forskare från de ingående ämnena.

De vetenskapliga ledarna (professorer på respektive enhet) ingår, tillsammans med föreståndare och vice föreståndare, i ett vetenskapligt råd (VR), vilket fungerar som remissinstans för ledningsgrupp och ska säkra vetenskaplig höjd och relevans inom centrumets forskningsområden och projekt.

Huvudhandledare för de lic/doktorsprojekt som drivs inom centret är docenter inom LG och professorer inom VR. Centret eftersträvar projekt som utnyttjar den breda kompetens som finns inom centret och strävar därför mot att så många projekt som möjligt involverar biträdande handledare med en annan profil än huvudhandledaren.

Huvuddelen av CCGExs forskningsverksamhet genomförs av forskarstuderande med målsättning att dessa ska avlägga licentiat- och/eller doktorsexamen. Samtidigt är det av vikt att inom respektive forskningsområde tidigt och kontinuerligt eftersträva möjligheten till arbetsfördelning där industriparter engageras inom forskningen för att utnyttja kompetens och resurs hos alla centrumets deltagare. Förutom dessa medverkar disputerade forskare samt de vetenskapliga ledarna (professorer + docenter) som är knutna till centret.

För samverkan med industrin finns arbetsgrupper (AG) kopplade till de olika forskningsområdena samt till enskilda projekt. Dessa arbetsgrupper träffas regelbundet för att diskutera arbetsfördelning och projektresultat inom pågående projekt, nya forskningsområden samt projektidéer.

Inom CCGEx olika funktioner har 2015 följande personer varit engagerade:

Programråd

Sören Udd	SICEC Ordförande
Jan Wikander	KTH
Mikael Lindström	KTH
Per Lange	Scania
Lucien Koopmans	VCC
Johan Wallesten	Volvo GTT
Anders Johansson	Energimyndigheten

Föreståndare

Föreståndare	Jonas Holmborn tom 2015-06 / MFM Anders Hultqvist from 2015-07/ MFM
Vice Föreståndare	Mats Åbom / MWL
Vice Föreståndare	Mihai Mihaescu/ Mekanik

Ledningsgrupp

Anders Hultqvist	MFM
Mats Åbom	MWL
Andreas Cronhjort	MFM
Mihai Mihasecu	FIMech
Ramis Örlü	FIMech
Susann Boij	MWL (delvis)
Bengt Fallenius	FIMech & CICEROLab ansvarig
Mikael Karlsson	MWL

Vetenskapligt Råd

Jonas Holmborn	MFM tom 2015-06 ordf.
Mats Åbom	MWL
Anders Hultqvist	MFM from 2015-07 ordf.
Laszlo Fuchs	Fluid Mech
Henrik Alfredsson	Fluid Mech
Hans Boden	MWL

Forskare

Område "Cold Side – Compressor off Design"	
Mihai Mihaescu, Assoc. Prof.	Områdesledare
Raimo Kabral,	PhD Student, MWL
Bertrand Kerres,	PhD Student, MFM
Elias Sundström,	PhD Student, FIMech
Område "integrated Hot Side – iHOT"	
Mihai Mihaescu, Assoc. Prof.	Områdesledare
Chris Ford,	Post-doc, FIMech
Shyang Maw Lim,	PhD Student, FIMech
Marcus Winroth,	PhD Student, FIMech
Ted Holmberg,	PhD Student, MFM
Nicholas Anton,	Industrial PhD Student (Scania), MFM
Område "EAT"	
Mikael Karlsson	Områdesledare
Ghulam Mustafa Majal	Doktorand MWL
Zhe Zhang	Doktorand- Asso.projekt
Arun Prasath	Doktorand ICE
Mireia Altimira	Forskare Mek
Giovanni Lacrina	Post-Doc

Huvudresultat

CCGEx leveranser och resultat tydliggörs lättas genom publikationer, konferensdeltagande och examinationer av doktorer. Till detta bör också läggas det utbyte av kunskap, erfarenheter och resurser som möjliggörs genom att delar av experimentella kampanjer, men också simuleringar, genomförs hos de industripartnerna i centrumet. I dessa kategorier har CCGEx 2015 levererat följande;

Doktorsavhandlingar	2st
Martin Söder	<i>"Creation and destruction of in-cylinder flows."</i> PhD thesis, KTH - Mechanics, ISBN 978-91-7595-471-4, 08.05.2015.
Lin Zhou	<i>"Acoustic characterization of orifices and perforated liners with flow and high-level acoustic excitation."</i> PhD thesis, KTH The Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration

	Research, ISBN 978-91-7595-614-5, 09.06.2015.
Examensarbeten	1st
Ander Eza	Flow simulations with relevance to a centrifugal compressor and the effect of the inlet geometry. Erasmus Student, KTH - Mechanics, 25.02.2015.
Publikationer	6 st
	<ul style="list-style-type: none"> • Renew. Sust. Energ. Rev. • J. Sound Vibration • Flow Turbul. Combust. • Exp. Fluids • Energy Convers. Manage. • ASME J. of Fluids Engineering
Conference Contributions	<ul style="list-style-type: none"> • European Turbomachinery Conference, ETC11, Madrid, Spain • 21st AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Dallas, USA • ISUAAAT14, Stockholm • ICJWSF15, Stockholm • NOVEM 2015, Dubrovnik, Croati, Internoise 2015 • Workshop on ICE Simulations using OpenFOAM, Milano, Italy • Svenska Mekanikdagar, Linköping
Kampajer hos industripart	1st
Nytt industrisamarbete	BorgWarner Turbo systems Engineering GmbH, Kirchheimbolanden, Germany

Utveckling av partnerskap

Industriella och akademiska partnerskap är en av grundbultarna i ett väl fungerande kompetenscentrum. Sedan starten har olika former av partnerskap och samarbetsmetoder provats och utvecklats. I nuvarande fas har vi en mycket bra relation mellan de akademiska delarna och de industriella partners som varit med i uppbyggnaden. På högre nivåer drivs strategiska diskussioner om forskningsinriktning, relevans och parternas behov av resurser samt dess användning. Utförandet av forskning sker i gott samarbete mellan industri och akademi där respektive part är både givare och mottagare. Teknikexperter samverkar med seniorforskarna direkt och vi uppnår tillsammans mer än vi skulle var för sig.

För att ytterligare lyfta centrumet krävs ett bredare deltagande från industrin vilket också ger tillgång till finansiering för att bekosta löner, material till experiment, ny utrustning etc. Inom centrumet har det sökts en breddning till underleverantörer av överladdningssystem och Borg Warner Turbo Systems Engineering från Kirchheimbolanden, blev en ny samarbetspartner under 2015. Borg Warner bidrog "in-kind" med hårdvara, mätdata och modeller till forskningen i centrumet. Ett viktigt tillskott till våra traditionella OEM:er. Under 2016 förväntas Borg Warner gå med som fullvärdig medlem.

Under året har också Wärtsilä besökts för att marknadsföra centrumet och undersöka nyttan för dem att gå med i centrumet. Små framgångar har gjorts och vi skall gemensamt jobba fram projektförslag under våren 2016. Wärtsilä är inbjudet att besöka KTH under våren 2016 för att fortsätta diskussionerna och besöka våra olika laboratorieresurser.

Akademiska kontakter har knutits till Ben Gurion University, Israel, genom projektet om Partikelagglomeration. Partikelagglomeration syftar till att sammanföra partiklar så att totalantalet blir färre och de större kvarvarande därmed lättare att fånga eller mindre farliga för människan. Idéer därifrån har vidareutvecklats och tillsammans med andra grupper på KTH undersöks nu hur man kan kombinera strömning och stående akustiska vågor för att effektivisera agglomerationsprocesserna. Potentiellt finns här grundteknologi för en härd av applikationer i produkter.

Genomförande Forskningsprojekt

CCGEx har under 2015 bedrivit forskning inom tre forskningsområden ; "Cold Side – Compressor off Design" , "Integrated Hot Side – iHOT" samt Engine After Treatment (EAT). Beredning och formulering av ett fjärde forskningsområde "Gas Exchange Systems" har genomförts under året där resultatet och förslag till forskningsupplägg presenterats för programråd och rekommenderats till uppstart i under 2016.

Under 2015, fortsatte forskningsansträngningarna inom CCGEx att ha fokus på de nu väldefinierade forskningsområdena "Kalla sidan" (Cold Side) inom kompressordrift utanför optimal driftpunkt (Compressor Off-design Operation), och ett integrerat "HETA SIDAN-projekt". Information om de framsteg som gjorts rapporterades den 12 november vid CCGEx-dagen och finns på CCGEx-webbplatsen <https://www.ccgex.kth.se/research-ccgex/research-day-2015-1.606534>

Inom ramarna för CoDOp- och HOTSIDE-projekten har de experimentella ansträngningarna för närvarande fördubblats genom experiment på CICERO Lab och MWL Lab för utvärdering av kompressorflöden och aeroakustik, såväl som för att mäta flöden i cylindrar och avgaskanaler. Dessutom användes omfattande mängder experimentdata som erhållits vid University of Cincinnati, USA, på en akademisk kompressorrigg för att verifiera och godkänna de beräkningsverktyg som använts.

I de här två riktningarna ligger fokus på att förstå och ta itu med instabilitet i kompressorflöden och generering av buller som alstras i en turbo, såväl som att optimera integreringen av strömningmaskiner med förbränningsmotorn.

Inom EAT har nu samtliga positioner bemannats och de tre forskningsprojekten har fått generell riktning samt innehåll. De första resultaten har uppnåtts samt presenterats för motparterna i industrin.

CoDOp-projekt om kompressordrift utanför optimal driftpunkt

Sammanfattning: Använda avancerade experiment- och beräkningstekniker i syfte att förutsäga och förstå kompressionssvallningar – "compressor surge".

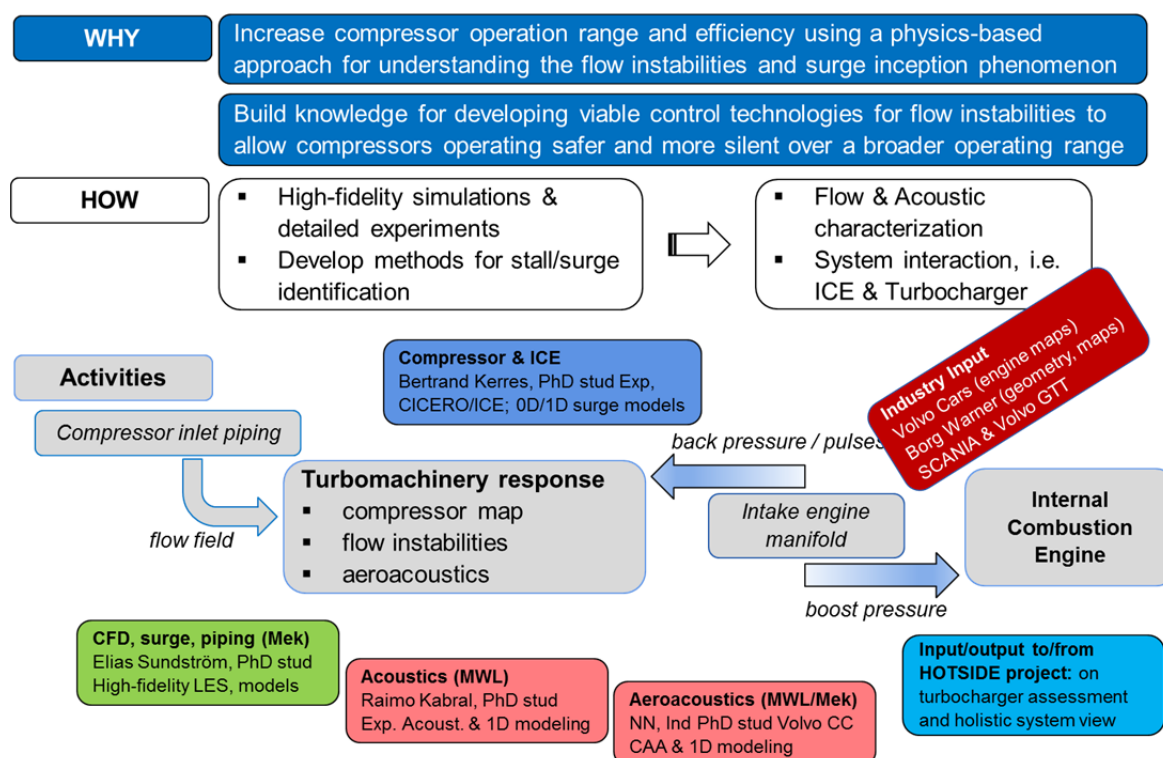
Projektet siktar på en fysikalisk förståelse för fluidrelaterad instabilitet som utvecklas med en centrifugalkompressor vid låga inströmningstal i syfte att kunna kontrollera/stävja detta oönskade fenomen. Avancerade databeräkningar och experimentdata används för att utveckla nya sätt att

förutse oönskad instabilitet och utveckla mer exakta modeller för att teoretiskt kunna förutse scenarier.

Det sätt som installationen av kompressorn utförs på i bilmotorer påverkar kompressormappen nära surge-området (rörsystemen för in- och utlopp påverkar kompressorns karakteristika). Följaktligen ligger projektets fokus på att fastställa denna inverkan via beräkningar såväl som via experiment. Olika indikatorer som kan användas för att utvärdera stabiliteten hos kompressionsystemen utforskas.

Ett annat av CoDOp-projektets fokusområden är att undersöka effekten av att koppla kanalsystemets akustiska egenskaper till turbokompressorns surge-marginal. Därtill hanteras innovativa tekniker för bullerkontroll hos motorinsug av modernare och mindre typ. Konceptet med optimal flödeskanalvägg för akustisk impedans vidareutvecklas och en modifierad så kallad Cremer-impedansmodell föreslås. Den modifierade modellen och dess inverkan på skingrandet av de akustiska vågorna undersöks i detalj.

En allmän flödesplan som visar forskningsaktiviteterna inom ramarna för CoDOp-projektet presenteras i figur 2.



Figur 2: Översikt över aktuella och förutsedda aktiviteter inom projektet Compressor off-Design Operation, eller "kompressordrift utanför optimal driftpunkt"

Höjdpunkter inom forskningen – CoDOp-projekt (2015)

Samarbetet mellan doktorander från de olika institutioner som var involverade i CoDOp-projektet (dvs. KTH-MWL, KTH Maskinkonstruktion och KTH-Mekanik) stärktes avsevärt under 2015. Det här ledde till flera gemensamma publikationer (publicerade eller godkända för publicering).

Med hjälp av avancerade 3D-beräkningar av flödesdata används modaltekniker för flödesupplösning för att extrahera koherenta egenskaper i flödet och karakterisera deras relativa bidrag till varierande energinivåer vid associerade frekvenser. På så sätt erhålls ett medelvärde för att identifiera de flödesstrukturer som orsakar särskilda instabiliteter. Ett karakteristiskt flödesläge som motsvarar surge-fenomenet påvisades med hjälp av Fouriers ytspektra och DMD-tekniker (Dynamic Mode Decomposition). Läget beskriver den pumpande effekten som uppstår vid surge. Vidare identifierades en smalbandseffekt vid halva rotationsordningen för axeln som motsvarade två dominerande samroterande virvlar upp mot kompressorhulets yta. Det här är ett fenomen som inte har rapporterats av andra forskare tidigare.

”Detrended” variationsanalys är en metod för att hitta samband i en dataserie, och användes först för att hitta samband inom DNA-sekvenser. Vi använde den här metoden på tidsbestämda trycksignaler för att utvärdera kompressionssystemets stabilitet och härleda den så kallade Hurst-exponenten som en dimensionslös indikator på systeminstabilitet (dvs. surge).

Utifrån experimentbaserade akustiska mätningar gjorda på CICERO Lab påvisades den första framgångsrika bestämningen av hela dataproceduren (aktiva + passiva delar) för två portar, och tillämpades på turbokompressorsystem. Denna mätmetod för två portar användes för att undersöka surge-initieringen genom att studera förstärkningen av ljud. En ny typ av kompakt ljuddämpare, baserad på så kallad Cremer-impedans, där en metod baserad på en konverterad vågekvation utökades för att kunna tillämpas i en kontext av kompressorbuller.

Integrerat HETA SIDAN-projekt

Sammanfattning: HOlistic approach Targeting to reduce/recover exhaust losses and increase Spark Ignited & Diesel Engines performance (HOTSIDE) – holistiskt tillvägagångssätt för att reducera/återvinna avgasförluster och öka prestanda hos Otto- och Dieselmotorer. Integrerad användning av 1D- och 3D-flödesmodeller tillsammans med mätningar för att utvärdera avgasflödet, maximera uppsamlingen av energin hos avgaserna och öka ICE-effektiviteten.

Avgasflödet i gasväxlingsprocessen sker i 3 dimensioner, är väldigt oregelbunden och instabil. Det har egenskaper (t.ex. sekundära flödesmönster, flödesreversering) som är svåra att analysera med sedvanliga verktyg och metoder, och därför är kunskapen ännu inte komplett på det här området. Det är viktigt att korrekt kunna utvärdera de betydande förluster som är förknippade med avgasflödets invecklade strukturer. Vidare används system med turboladdare för att återvinna en del av avgasernas energi, och deras prestanda är väldigt beroende av flödesförhållandena uppströms (t.ex. homogenitet hos avgasflödet och energin hos det pulserande flödet).

Alla komponenter i avgassystemet, från avgasventil, avgaskanaler och turbin, är så nära sammanlänkade att de ur gasväxlingssynpunkt bör ses som ett system. Därtill kommer att eventuella störningar och förändringar av kvaliteten på avgasflödet uppströms från turboladdarens turbin ändrar turboladdarens övergripande prestanda, och därmed även motorns prestanda (här finns en stark koppling till kalla sidan).

Målet med HETA SIDAN-projektet är att få en bättre förståelse för det pulserande avgasflödet och dess samverkan med radialturbinen, för att energin hos avgasflödet ska komma till bättre användning (exergi). Både experimentella och beräkningsbaserade verktyg används för att karakterisera avgasflödets pulserande beteende vid olika strategier för avgasventilerna.

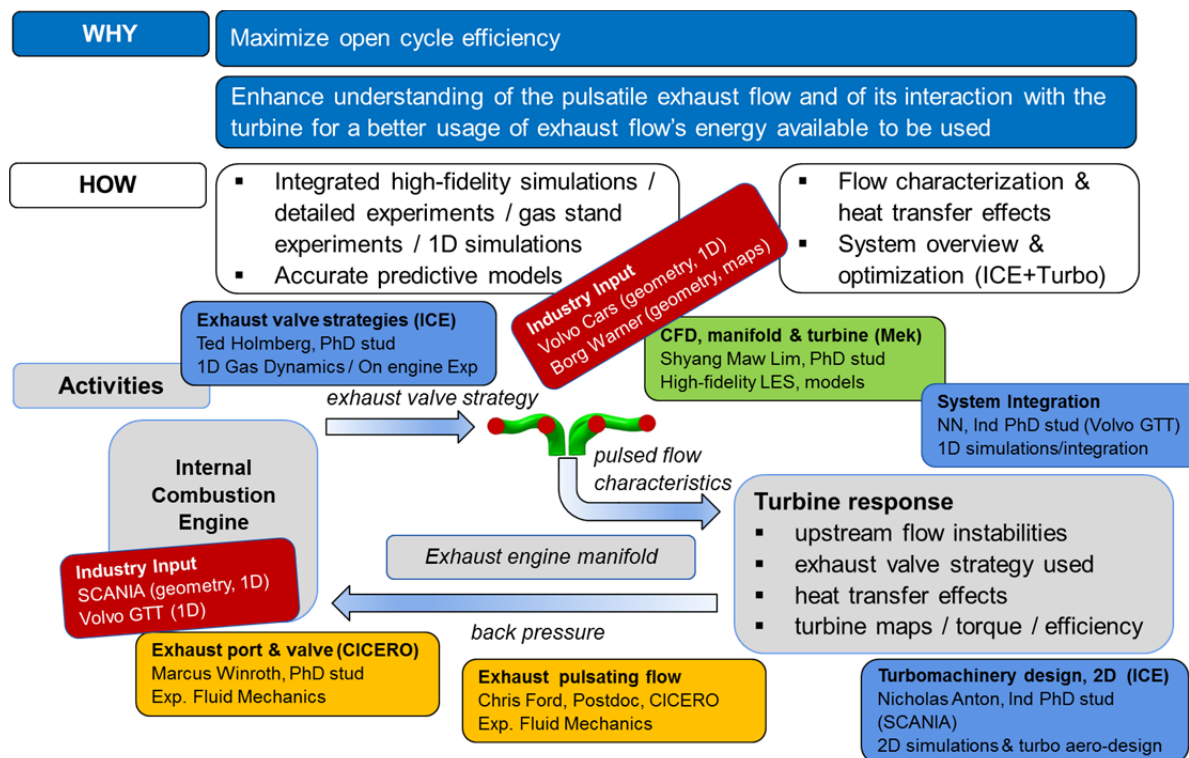
Beräkningsmässigt utförs analysen av avgassystemet på ett integrerat sätt (på olika integrerings- och komplexitetsnivåer) för att få fram en realistisk kvantifiering av turbinens prestanda och konsekvenserna för motorns effektivitet. Avancerade CFD-beräkningar kombineras med 1D-beräkningsmodeller för en heltäckande utvärdering med och utan beaktande av värmeöverförings effekter. Vanligtvis avgör GT Power-simulationer de olika strategierna för hanteringen av avgasventilerna såväl som villkoren för avgasflödet nedströms/tryckförhållandena.

För en experimentell kvantifiering av avgaserna håller nya metoder på att utvecklas vid CICERO Lab. Därigenom utvecklades en praktisk metod som kan tillämpas inom industrin för att mäta instabila inströmningstal för gaser med varierande densitet. Den så kallade virvelavlösningsmätaren använder bara tryckinstrument, vilket säkerställer att den är robust nog för flöden inom industrin. Fyra tryckmätningar används: två mikrofoner i differentialkonfiguration för att detektera avlösningsfrekvenserna, såväl som stockningssensorer och sensorer för statiskt tryck för att avgöra machtalet (och utifrån detta i slutändan densiteten).

Experiment utfördes för att kvantifiera flödet i avgaskanalen, där utloppskoefficienten hos avgasventilen mättes under statiska och dynamiska förhållanden. Målet är att få ökad kunskap kring vad som påverkar de flödesrelaterade förlusterna under den första delen av ##utblåsningsslaget.

En annan uppgift införlivad i HETA SIDAN-projektet är att undersöka möjligheterna att variera ventilmanövreringen på avgassidan av en turboladdad förbränningsmotor för att öka motorns effektivitet. Turboladdare har i allmänhet en fast geometri, och på samma sätt är även motorns ventilmanövrering fast. Det här innebär en kompromiss mellan olika parametrar såsom transientsvar, hållbarhet och effektivitet i motorns arbetsområde. Genom att variera ventilmanövreringen på avgassidan kan motorn anpassas bättre för de krav som ställs av turboladdaren, och möjliggöra att mer fokus kan läggas på effektiviteten när turbiner utformas. Den här uppgiften ska utföras genom prestandatester på motorn i testriggar och genom prestandatester i stationärt tillstånd, såväl som via 1D-simuleringar.

En allmän flödesplan som visar forskningsaktiviteterna inom ramarna för "HETA SIDAN-projektet" presenteras i figur 3.



Figur 3: Översikt över aktuella och förutsedda aktiviteter inom "HETA SIDAN-projektet"

Höjdpunkter inom forskningen – integrerat HETA SIDAN-projekt (2015)

Verifieringsfasen för CFD-"solvern" slutfördes och en utvärdering av värmeöverföringens effekter på turbinens prestanda under jämna flödesförhållanden utfördes. En studie utfördes av känsligheten hos den turbulensmodell som användes. Baserat på dessa preliminära studier bestämdes beräkningsstrukturen och de första beräkningarna under pulserande flödesscenarier utfördes.

Både de numeriska och experimentella studier som utförts vid KTH-Mekanik visar att det kvasistatiska antagandet som användes vid modelleringen av avgasflödet i porten är felaktigt.

Virvelavlösningsmätaren har testats under flertalet stabila och pulserande flödesförhållanden och uppvisat god noggrannhet. Den har visat sig erbjuda möjlighet att mäta tidsberoende massflöden vid växlande densitetsflöden både i pulserande och stadiga flödesscenarier, med avseende på förbränningsmotorns avgasflöde.

Testriggen med encylindrig motor modellerades med hjälp av 1D-simulationsverktyg och en preliminär studie utfördes, som visade hur olika strategier för avgasventiler påverkar mängden energi som är tillgänglig för turbokompressorernas turbin.

Förbättringar under året

Samarbetet mellan doktorander från de olika institutioner som var involverade i CoDOP-projektet (dvs. KTH-MWL, KTH Maskinkonstruktion och KTH-Mekanik) stärktes avsevärt under 2015. Det här ledde till flera gemensamma publikationer (publicerade eller godkända för publicering). Här måste vi lyfta fram den första studien som utgör en undersökning av början till ##surge-instabilitet med hjälp av den så kallade Hurst-exponentmetoden, som är en känsligare och mer exakt metodologi för att förutse fenomen i samband med centrifugalkompressorer.

I HETA SIDAN-projektet krävs större insatser för ett bättre samarbete mellan doktorander på KTH Maskinkonstruktion och de på KTH Mekanik. Men det är också viktigt att ha i åtanke att HETA SIDAN-projektet i jämförelse med CoDOp-projektet har pågått en kortare tid, och att de flesta av doktoranderna har deltagit i programmet mindre än 18 månader.

Avgasefterbehandling (EAT)

Arbetet på EAT-området inleddes under 2015. Projektupplägget och de första forskningsresultaten visas nedan:

- 1) **Partikelkaraktisering och -agglomeration (PCA)** som involverar sammanlagt tre doktorander.
- 2) **Insprutning och transport av Urea-vattenlösning i SCR-system** för bilar, som involverar en forskare och en postdoktoral student

Projekresultat (sedan starten 2015-03-11):

- Första 1D-modelleringen av partikelagglomeration
- Etablerade ett nätverk med inriktning på partikelgruppering (Particle Grouping)
 - Stöd i form av grundläggande studier och referensfall för en lösning vid höga frekvenser
 - Associerat projekt med akustiska metamaterial för att förbättra grupperingen
- Inrättande av ramverk för modellering och kontinuerliga studier av parametrar i SCR-projekt

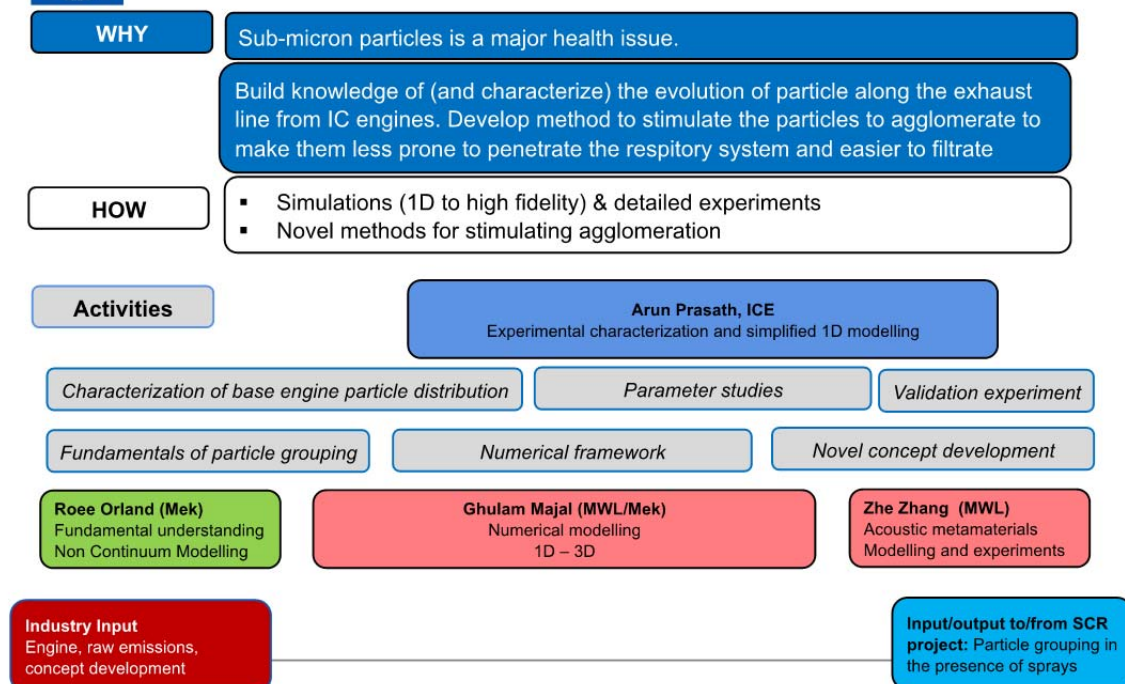
Kort- och långsiktiga framtidsplaner

- Fas ett av SCR-projekt (modellering av ramverk och utvärdering) rapporteras under våren 2016
 - Milstolpe för möjlig fortsättning av projekt (detaljerade undermodeller och väggfilmer)
- Riggning för karakterisering och testning av UWS-spray 2015–2016 (associerat projekt)
- Utveckla fokusområdet: nya relevanta forskningsämnen och samarbeten (t.ex. med nya industripartner och/eller CERC och KCK)
- Identifiera och ansöka vid utlysningar av EU-projekt (H02020) och andra nationella/internationella finansieringsmöjligheter

I figur 4 nedan illustreras uppbyggnaden av forskningsområdet EAT .



Overview: Particle characterization and agglomeration



Figur 4: Översikt över aktuella och förutsedda aktiviteter inom Engine After Treatment området

Förbättringar inom EAT under 2015

- + Forskningsområde uppstartat
- + Struktur för interaktion med industripartner upprättad och fungerar
- + Nätverk med inriktning på partikelgruppering (Particle Grouping) etablerad och fruktbringande
- Vissa förseningar på grund av sen rekrytering av doktorand, samtidigt som forskare var sjukskriven

Plan för nya åtgärder inom EAT under 2016

- Dra nytta av centerstorleken via externa projekt när projekten startats upp
- Ta kontakt med fler industripartner nu när området är etablerat och igång

Forskningsprojekt, bemanning och rollfördelning

Kalla sidan – kompressordrift utanför optimal driftpunkt	
Mihai Mihaescu, Assoc. Prof.	Projektsamordnare
Raimo Kabral, doktorand, KTH-MWL	Roterande maskiner och innovativ bullerkontroll (Rotating Machines and Innovative Noise Control)
Bertrand Kerres, doktorand, KTH-MFM	Kompressormappar för motorinstallation
Elias Sundström, doktorand, KTH-Mekanik	Large Eddy-simuleringar av 3D-flödet i centrifugalkompressorer (Large Eddy Simulations of the 3D flow in centrifugal compressors)
Integrated Hot Side – iHOT	
Område "integrated Hot Side – iHOT"	
Mihai Mihaescu, Assoc. Prof.	Projektsamordnare
Chris Ford, Postdoktorand, KTH-Mekanik	Utvärdering av avgasflöden genom experimentell fluidmekanik (Exhaust flow assessment by experimental fluid mechanics)
Shyang Maw Lim, doktorand, KTH-Mekanik	CFD och värmeöverföringens effekter på effektiviteten hos en radialturbin; utloppsports-, avgasrörs- och turbinintegrering (CFD and heat transfer effects on the efficiency of a radial turbine; Exhaust ports- exhaust manifold-turbine integration)
Marcus Winroth, doktorand, KTH-Mekanik	Gasdynamik hos flöden i cylindrar och avgaskanaler (Gas dynamics of in-cylinder and exhaust port flows)
Ted Holmberg, doktorand, KTH-MFM	Samverkan mellan förbränningsmotorns avgaspulser och turbin (Interaction between ICE exhaust pulses and turbine)
Nicholas Anton, industridoktorand (Scania), KTH-MFM	##Konstruktion av strömningsmaskiner; 2D-simuleringar och turbo-aero-konstruktion (Turbomachinery design; 2D simulations and turbo-aero design)

Avgasefterbehandling (EAT)	
Partikelkaraktisering och -agglomeration (PCA)	
Kontroll av partikelagglomeration med avseende på relevans för efterbehandling av gasprocesser (Control of particle agglomeration with relevance to after-treatment gas processes)	Ghulam Mustafa Majal
Innovativa lösningar för bullerkontroll i bilmotorers inlopps- och avgassystem (Innovative solutions for noise control in automotive intake and exhaust systems)	Zhe Zhang
Experimentell karakterisering av partiklar i bilmotorers avgassystem (Experimental characterization of particulates in automotive exhaust systems)	Arun Prasath (Startar i februari 2016, ingår ej i rapporten)
Insprutning och transport av Urea-vattenlösning i SCR-system för bilar (Injection and transport of Urea-Water-Solution in automotive SCR systems (SCR))	
Förstudie – mätverktyg och modelleringsstrategier (Prestudy – numerical tools and modelling strategies)	Mireia Altimira
Experimentell karakterisering av urea- sprayer i tvärfloden (Experimental characterization of urea sprays in cross flows)	Giovanni Lacrina (Utförs i maj 2016, ingår ej i rapporten)

Interaktion/mötesforum

Forskningen bedrivs främst i form av doktorandprojekt där handledare och doktorand har kontakt och diskussioner på daglig/vecko basis. Varje forskningsområde drar nytta av en frekvent och livlig kommunikation. Sålunda möts forskare, doktorander och industriexperter cirka en gång i månaden för att diskutera de senaste de senaste fynden, framgångar eller motgångar samt planera kommande aktiviteter. Ofta kan inte alla närvara på plats och då finns möjligheter att delta on-line via Skype, telefon eller liknande.

Centrumet samlades under 2015 i sin helhet med alla forskningsområden, KTH funktioner och industrirepresentanter vid två tillfällen. Under dessa tillfällen presenterades och diskuterades främst centrumets generella riktning och strategiska områden relaterat till industrins behov. Samtidigt gavs vår International Advisory Board (IAB) chansen att samla in väsentlig information om möjliga förbättringar till gagn för centrats utveckling.

Programrådet har gett i uppdrag till föreståndare och vice föreståndare att leda centrumet. Detta realiserar genom en centrumledningsgrupp bestående av :

- Föreståndare
- Vice föreståndare
- Forskare (doktorer, docenter) inom CCGEx vilka representerar de tre forskningsdisciplinerna (förbränningsmotorteknik, fluidmekanik samt akustik)

Ledningsgruppen har till första uppgift upprätta och underhålla CCGEx vision/mission/strategy samt CCGEx road map vilka ligger till stöd för att formulera forskningsteman (research areas) som ska rikta till att uppfylla de centrum mål som finns i uppdragsbeskrivning och styrelsens uppdrag till CCGEx. Ledningsgruppen har fasta mötestillfällen var fjortonde dag där uppdrag distribueras till ledningsgruppen och uppföljning av uppdrag sker.

Ledningsgruppen har till sitt stöd ett Vetenskapligt Råd (VR) för att säkra forskningshöjd/relevans och tillgång till "linjens" resurser. I CCGEx VR ingår de centrum anslutna fyra professorerna för förbränningsmotorteknik, fluidmekanik och akustik, samt föreståndare. Rådet har under 2015 samlats vid tre tillfällen. Inför 2016 kommer rådets möten att sättas till - en gång för och efter respektive styrelsemöte. Bemanningen kommer att utökas till att inkludera seniorforskarna.

Ekonomi

Finansieringen, och med den tillgängliga medel inom CCGEx, utökades i den nya perioden till 8 MSEK/år i kontantbidrag från energimyndigheten. Samma bidrag i form av viss kontant del (1mSEK) och större del natura säkrades från KTH. De tre huvudindustriparterna ökade i den nya perioden sitt åtagande till att omfatta totalt 1.7 MSEK/år och part (fördelat på kontant och natura). Vid periodens början, 2014, var emellertid inte det industriella bidraget inte säkrat upp till fulla 8 MSEK/år som energimyndigheten och KTH avdelat. Med detta i åtanke lades budgeten för 2014 att motsvara de 6.5 MSEK i medfinansiering som var säkrade.

Under 2015 har ett intensivt arbete lagts ner i beredningen och genomförandet av forskningsprojekten för att få en överenskommelse och planering för naturabidraget från de parter (KTH och industri) som har sådana åtaganden. Lösningar på naturabidragen har uppnåtts i de flesta fall med Industridoktorander eller in-kind doktorander plus provning, testutrustning och prototyper.

Ett intensifierat arbete med att knyta ytterligare industriparter till centrumet har pågått under året. Framsteg har nåtts med intresse från ett antal nya företag, men inget slutgiltigt åtagande och tilläggskontrakt har förts i hamn. Turbotillverkaren Borg Warner har dock utan formellt avtal tillfört hårdvara, geometrier och turbomappar till centrumets Compressor off-Design projekt.

Under 2016 förväntas Borg Warner gå med som medlem i centrumet och genom deras bidrag kan vi fylla på med två post Docs. Vidare förväntas expanderad verksamhet och större bidrag inom EAT området med mätkampanjer och simuleringsverksamhet för att påverka partiklar och effektivitet hos partikel filter och SCR system.

I följande tabell presenteras en sammanställning av budget och resultaträkning för 2015. Man kan konstatera att:

- 1) Vid årets slut hade inte alla kontantbidrag från industrin bokats i redovisningssystemet. Dessa framskrivs till 2016 och upptages i denna budget.
- 2) Omkostnaderna för ledningsfunktionen överskred budgeten på grund av byte av föreståndare i halvårsskiftet.
- 3) Värmare i CICERO labbet installerades inte på grund av minskat behov.
- 4) Rekryteringen av doktorand till MMK dröjt in till 2016 och därför har budgeterad lön inte upparbetats.
- 5) Rekrytering doktorander till MWL och VCC har varit fördröjda och således har budgeterad lön inte upparbetats.
- 6) Utfallet på utgående balans ligger i nivå med förväntat, B2015.

Ekonomiuppföljning 2015 - CCGEx

	<u>Budget 2015</u>	<u>Utfall 2015</u>
INTÄKTER		
KTH medfinansiering	1 000 000	1 000 000
Energimyndigheten	8 000 000	8 000 000
Scania	800 000	800 000
Volvo Car	600 000	600 000
Volvo Lastvagnar	800 000	
Annan finansiering, Chalmers	450 000	120 000
SUMMA INTÄKTER	11 650 000	10 520 000
KOSTNADER		
Ledning		
Föreståndare inkl OH	400 000	962 667
Jonas H. 40% av Anders H from 2015.07		
Nora, 20%, inkl LKP och OH (admin)	44 056	28 634
Mats Åbom, 10%	200 000	200 000
Susann B , 10%, MWL	170 000	170 000
Andreas C, 10%, MFM	170 000	170 000
Mihai, Mekanik	170 000	170 000
Ramis, Mekanik	170 000	170 000
IAB, Roland Baar, Christian Paschereit, lön inkl OH	100 000	154 391
Styrelseordförande	200 000	200 000
Resekostnader	50 000	140 031
Driftkostnader (repr m m)	50 000	79 749
Verksamhetsutveckling, internat	45 000	100 000
Konferens	50 000	
Delsumma ledning	1 819 056	2 545 472
CICERO Lab		
Labchef, 25% N. Tillmark/ B. Fallenius	330 000	330 000
Lokalhyra lab	120 000	138 000
Driftkostnader lab	30 000	62 488
Utrustning / infrastruktur/avskrivning	20 000	25 942
Air heater installation	200 000	
Delsumma CICEROlabb	700 000	556 430
ITM MMK		
Cold Side: compressor off design "Surge and installation" Bertrand Kerres	950 000	950 000
iHOT : "ICE exhaust pulses and Turbine interaction" Ted Holmberg	950 000	950 000
EAT (Exhaust After Treatment) start 201604 Arun Prakatsh	950 000	
iHOT : "Turbine interaction with exhaust pulses" Nicholas Anton - Scania	200 000	100 000
Installation/driftsättning Volvo HVEP	200 000	200 000
Labdrift - provspecifikt	30 000	30 000
Utrustning / infrastruktur motorlabb	20 000	20 000
Delsumma MMK	3 300 000	2 250 000
SCI, MWL		
Cold Side: "Acoustics & Liners" Raimo Kabral	450 000	900 000
Cold Side: "Liners" Lin Du	200 000	200 000
iHOT: "TurboMachinery Acoustic Fl.Sim" PhD NN - VCC	200 000	
EAT (Exhaust After Treatment) start 201509 PhD Ghulam	950 000	317 000
EAT: coordinator / researcher Mikael Karlsson	300000	150000
Delsumma MWL	2 100 000	1 567 000
SCI, MEKANIK		
Cold Side: "TurboMachinery measurement" Chris Ford	350 000	350 000
iHOT : "Exhaust Valve Flow" Marcus Winroth	950 000	950 000
Cold Side: coordinator / researcher Mihai Mihaescu	450 000	450 000
iHOT: coordinator / researcher Mihai Mihaescu	450 000	450 000
Cold Side: "LES of Flow in a Centrifugal compressor" Elias Sundström	950 000	950 000
iHOT: "Flow Effects on the Efficiency of Radial Turbine " Shyang Maw Lim	950 000	950 000
EAT : Ureaspray simulation Researcher	600 000	500 000
EAT - Visiting professor Hermanson	75 000	75 000
EAT - visiting professor/PostDoc Katoshevsky	25 000	
Delsumma Mekanik	4 800 000	4 675 000
SUMMA KOSTNADER	12 719 056	11 593 902
RESULTAT 2015	-1 069 056	-1 073 902
Ingående balans 2015	1 505 219	1 505 219
Utgående balans 2015	436 163	431 317

Avstämning av kontant och natura/in-kind bidrag för 2015 presenteras nedan. Centrumet får ett signifikant uppsving av in-kind bidrag under 2015-2016 på grund av tillsättningen av tre industrifinansierade doktorander. En var för huvudmedlemsföretagen.

CCGEX 2014-2017		Budget och utfall				Anm.
		A2014	A2015	B2016	B2017	
Kontant						
KTH	kr	1000000	1000000	1000000	1000000	2xPost Doc.
Energimyndigheten	kr	8000000	8000000	8000000	8000000	
Scania	kr	800000	800000	800000	800000	
Volvo Cars	kr	600000	600000	600000	600000	
Volvo GTT	kr	800000	0	800000	800000	
BW	kr			950000	950000	
VTT	kr					
ViF	kr					
Kontant Summa		11200000	10400000	12150000	12150000	
Inkind						
KTH	kr	8569227	8093989	8000000	8000000	Ind. Dokt.+utr. Ind. Dokt. In-kind Dokt.+utr. Prov. Utr.
Energimyndigheten	kr	-	-	-	-	
Scania	kr	3384419	3064685	4850000	3000000	
Volvo Cars	kr	1548477	2256421	2700000	2500000	
Volvo GTT	kr	72250	132600	3800000	2500000	
BW	kr	274400	274400	300000	300000	
VTT	kr	200000	0	0	0	
ViF	kr	900000	644000	0	0	
In-kind Summa		6379546	6372106	11650000	8300000	32701652
						(Grand total)
Fördelning		2014	2015	2016	2017	
KTH	kkr	9569	9094	9000	9000	
Energimyndighet	kkr	8000	8000	8000	8000	
Industri	kkr	8580	7772	14800	11450	

Värt att notera är att KTHs medfinansiering väl täcker upp dess åtaganden, även mot en fullt utnyttjad energimyndighetsram om 8MSEK. Industrin ligger några hundratusen kort mot 8MSEK, men detta är orsakat av administrativa svårigheter med att få inköpsorder från några partner på plats och uppstart av överrenskomna industridoktorandprojekt. Detta ska vara korrigerat under första halvan av 2016 med råge.

Projektpresentationer:



KTH CCGEx

Centrifugal Compressor: The Sound of Surge

Elias Sundström

elias@mech.kth.se

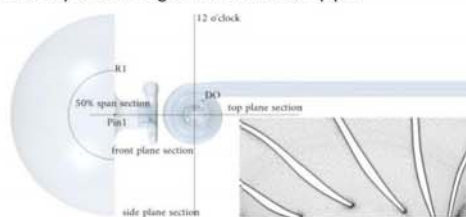
The compressor surge is a fluid-dynamics driven phenomenon which limits the compressor performance at low mass flow rates and may lead to compressor damage. Under these conditions a characteristic amplified sound is generated, denoted as the whoosh noise, resulting in a notable discomfort. The project aim is to predict and characterize the acoustic near-field under stable and unstable (surge) operating conditions using the Large Eddy Simulation approach. The unsteady features of the flow field are quantified by means of Fourier transformation analysis and Mode Decomposition techniques. The modal flow decomposition elucidates a mode occurring at the surge frequency. The mode explains the oscillating pumping effect occurring during surge. It also shows distinct sound source mechanisms on the impeller surface which generates sound waves that propagates upstream at the speed of sound. The surface spectra contours reveal the shape of the pressure pulsation during surge and support that a pressure gradient occurs with the oscillating modes found with the modal decomposition.

Introduction and Motivation:

There are several different acoustic noise generation mechanisms that are being provoked in a turbocharger compressor, which can be categorized according to their different acoustic and appearance characteristics; monopoles, dipoles and quadrupoles. The assessment of the flow inside the centrifugal compressor that generates sound is a challenging task when experimental methods are considered. The confinement of the geometry complicates flow visualization measurements and sophisticated setups are required to deliver high quality images. The aim of the present study is to elucidate the differences and the occurrences of acoustic noise sources triggered by the unsteady flow phenomena inside the centrifugal compressor towards off-design operating conditions. In order to visualize the flow features in the confined compressor geometry, detailed Large Eddy Simulations are performed enabling the analysis of the spectral properties.

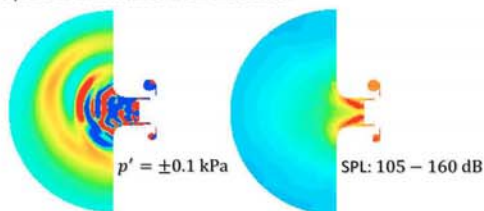
Setup:

A production turbocharger compressor with a ported shroud is used in the numerical analysis. The figure shows side and front views of the CAD geometry. The flow enters at the hemispherical inlet. It is directed to the compressor via the bell mount inlet and gradually accelerates towards the impeller. The flow expands into the larger volute volume to high pressures and eventually it is discharged in the volute exit pipe.

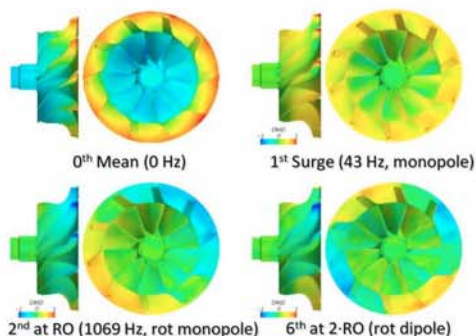


Results:

Turbulent fluctuations are dominant in the vicinity of the impeller whereas the acoustical pressure fluctuations, are more dominant in the hemispherical domain upstream of the bell mount. There sound waves at different wave lengths are seen to propagate upstream at the speed of sound. At distances exceeding a wavelength the pressure falls off like the inverse square of the distance from the source.



Dynamic Mode Decomposition (DMD) scalar field (based on pressure) for dominant mode shapes at the surge condition.



Summary and Conclusion:

Because the instantaneous velocity and pressure field is rather complex to quantify over time we make use of diverse post-processing methods to enhance the understanding of the large flow structures occurring in the compressor flow during off design operating conditions. With modal decomposition a characteristic mode corresponding to the surge phenomena was found. The mode describes the pumping effect occurring with surge. The frequency surface spectra contour indicates that a pulsating pressure gradient is responsible for the pumping seen in the modal decomposition.

Acknowledgement:

A special thanks to the Competence for Gas Exchange (CCGEx), the Swedish Energy Agency (STEM), Volvo Group, SCANIA and BorgWarner for supporting this project. Also, the Swedish National Infrastructure for Computing via HPC2N and PDC, the Parallel Computing Center at KTH, are acknowledged for providing necessary computational resources. Last but not least we are grateful to University of Cincinnati for sharing the experimental data used in this study.



KTH CCGEx

Turbocharger Compressor Surge for Different Inlet Geometries

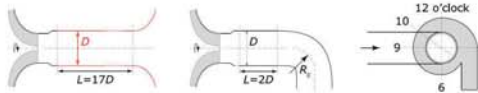
Bertrand Kerres

kerres@kth.se

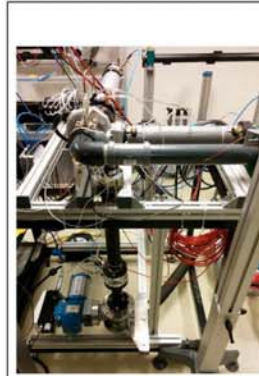
This project aims at improving turbocharger compressor maps for installations in automotive engines, where the inlet and outlet piping influence the compressor characteristics close to the surge regime. An investigation of different bends at the compressor inlet shows that the surge line can be shifted towards lower mass flows, increasing operating range. Different indicators of surge are tested, of which the Hurst exponent is a good choice due to its well-defined behavior for the onset of instabilities.

Introduction

Modern internal combustion engines are often equipped with a turbocharger in order to increase the power density and reduce friction losses for similar power output. The operating range of the turbocharger is dependent on its installation, e.g. the compressed volume after the turbocharger and the inlet geometries.



A straight inlet and a bended inlet are compared with respect to their effect on compressor total pressure ratio (TPR), efficiency, and surge margin. Different orientations of the bended inlet relative to the volute are tested.

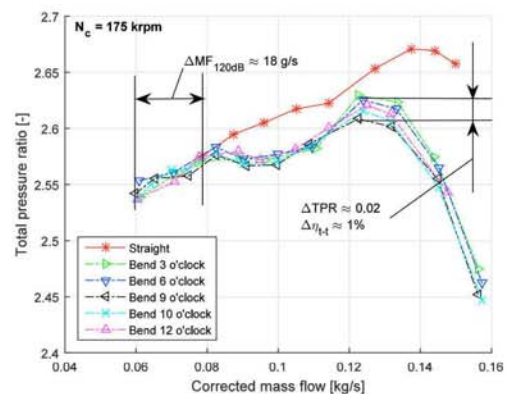
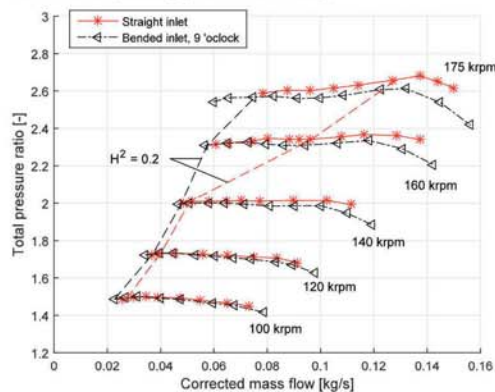


Setup:

The turbocharger compressor is tested on a cold gas stand. The compressor flow is controlled by a throttle after the compressor. In addition to the standard sensors for compressor maps, four static wall pressure sensors are located upstream and downstream the compressor in order to characterize the pressure fluctuations in unstable operation regimes. Using a transparent inlet pipe, the wall streamlines close to surge can also be visualized.

Results:

In order to have a quantitative surge criterion, the Hurst exponent of the outlet pressure signal is calculated, where a value close to zero indicates surge. The bended inlet leads to reduced TPR and thus efficiency at higher mass flows, which is due to the pressure losses in the bend. The bended inlets give an increase in the surge margin at high impeller speeds, where the exact position of the surge lines depends on the chosen threshold. The orientations of the bend relative to the volute have a very small effect on peak TPR. At the compressor inlet, swirling backflow can be observed in operating points close to surge.



Summary and Conclusion:

A bended inlet increases the surge margin at the cost of TPR and efficiency at higher mass flows. The orientation of the bend has only very small effects on TPR and system stability. The Hurst exponent is a good indicator of compression system stability, with a well-defined limit for surge. Visualizing the wall streamlines of the swirling backflow is a quick method to understand the flow field and validate CFD calculations against.

Acknowledgement:

This project is supervised by Docent Andreas Cronhjort, KTH Division of Internal Combustion Engines, and Associate Professor Mihai Mihaescu, KTH Department of Mechanics.

The CCGEx partners Scania AB, Volvo AB, Volvo PV AB, BorgWarner, and Energimyndigheten are acknowledged for their support.



KTH CCGEx

Compressor acoustics and innovative noise control

Raimo Kabral

kabral@kth.se

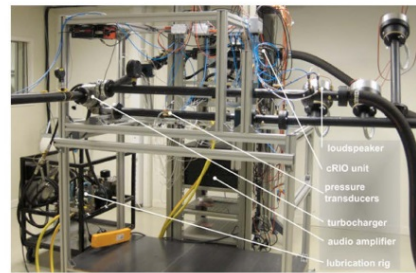
The goal of this project is to develop improved techniques for studying scattering and generation of sound in centrifugal compressors. In particular, to extend previous work to more in depth investigation in unstable flow and sound field coupling including the in-duct sound generation. The experimental work is performed in the unique turbocharger test facility at KTH CCGEx by implementing advanced experimental tools and procedures. In addition, innovative flow channel liners consisting of micro-perforated plates or metallic foams are treated in complementary noise control studies. The investigation involves experimental study of acoustic liners on dedicated high temperature test rig and numerical analyses by means of Comsol Multiphysics® FEM software. The efforts are being taken to determine high temperature acoustical properties as well as to find techniques for the optimization of such noise control solutions. The work is part of a Marie-Curie network on aero-acoustics named FlowAirS (see www.flowairs.eu).

Introduction and Motivation:

Turbochargers (TC) are essential components of modern “rightsized” internal combustion engine units. Although, the principle of TC originates from the early 20th century, two restrictive problems are still encountered today – the high level of compressor noise and compressor surge.

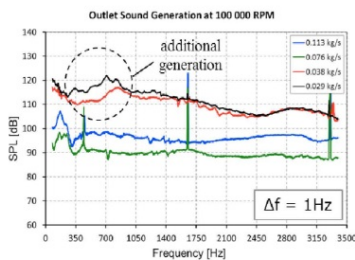
In order to achieve effective noise control, the accurate source characterization data i.e. the acoustic source data independent of the coupled flow-channel system, must be known first. Moreover, it is also assumed herein that passive acoustic properties of the compressor contour could play significant role in the surge initiation process. Therefore, the acoustic properties of the TC, including acoustical scattering and sound generation as well as the effects of flow-acoustic coupling, are studied herein by means of detailed and accurate methods. In addition, the optimization techniques for innovative noise control materials, enabling compact jet effective noise control, are also developed.

Setup:

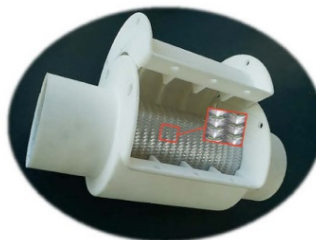


The TC acoustic characterization facility at KTH CCGEx (See the photo) have been used to determine accurate acoustical scattering and source data (full two-port data) at realistic operating conditions.

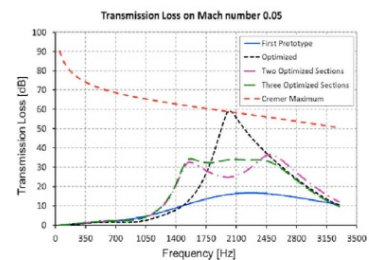
Results:



The sound pressure level (SPL) spectrum of generated sound in the outlet branch of the compressor at constant rotor frequency. The mass flow is varied from maximum to minimum i.e. near surge operation.



The prototype of compact silencer consisting of straight flow channel made of micro-perforated panel (MPP), and adjoining cavity. Such compact silencer concept can provide a very high level of sound dissipation.



Sound transmission loss spectra from the optimization of the compact silencer prototype. The optimization technique is based on so called Cremer optimal acoustic impedance concept.

Summary and Conclusion:

A high level of noise is increased further while operating the compressor near surge conditions which may require additional noise control. An effective noise control can be achieved by means of compact silencer concept when optimized according to the specific sound source. Moreover, the straight-flow compact silencer can provide a fibrous-free noise control with a negligible penalty of pressure drop.

Acknowledgement:

Prof. Mats Åbom, Marcus Wallenberg Laboratories for sound and vibration research (MWL), KTH.
 Prof. Hans Bodén, MWL, KTH.
 Dr. Magnus Knutsson, Volvo Car Corporation.





KTH CCGEx

Wall Treatment Effects on the Heat Transfer in a Radial Turbine

Shyang Maw Lim

smlim@mech.kth.se

This project aims to assess the effects that the treatment (in numerical sense) at the wall has on the heat transfer assessment in a turbocharger turbine operating under continuous flow condition. Adiabatic and non-adiabatic wall modeling treatments are analyzed by using Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes (URANS), Large Eddy Simulations (LES) and Detached Eddy Simulations (DES). From this study, one can understand the importance of near wall modeling treatment in adequately predicting the heat transfer effects on turbine performance. Additionally, this work will serve as a guideline for future studies looking into heat transfer effects on the turbine performance under pulsating conditions.

Introduction and Motivation:

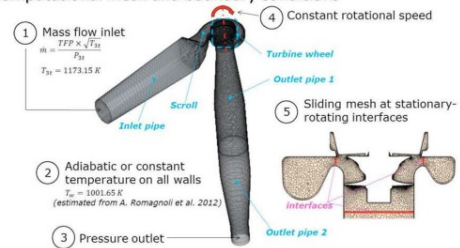
In practice, turbocharger is not thermally insulated and heat transfer is known to have influence on its performance. Most of the literature focuses on the heat transfer effects on the performance of the compressor, with little focus on the heat transfer affecting the performance of turbine. As for the effects of heat transfer on the turbine performance, most studies concluded that the effects of heat transfer on the turbine performance are small. For example, in an experiment with unsteady flow from the engine eliminated before arriving at the turbine, only small efficiency improvement for turbine was observed in hot condition, compared with cold condition [J.R. Seranno et al. 2007]. The difference in shaft power between adiabatic and non-adiabatic case for a turbine was found to be as small as 1%, from Large Eddy Simulation (LES) with near wall treatment [F. Hellström et al. 2010]. However, recent experimental measurements performed on a combustion test rig at University of Hanover showed 55% reduction in actual turbine power due to heat losses associated with the turbine [S. Shaaban et al. 2012]. Contradicting results reported in literature suggest that more work need to be done to understand the effects of heat transfer on turbine performance.

Setup:

1. Summary of mesh setup

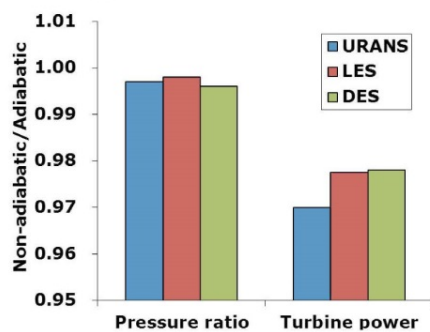
URANS/LES (near wall modelling: standard wall functions)	No. of mesh	No. of prism layer	Average mesh size in core fluid region	Y^+_{max}
URANS/LES (near wall modelling: standard wall functions)	~3.2 million	3	~1.6mm	~30
DES (near wall modelling: SST- k_{ω})	~7 million	12	~1.6mm	~1

2. Computational mesh and boundary conditions

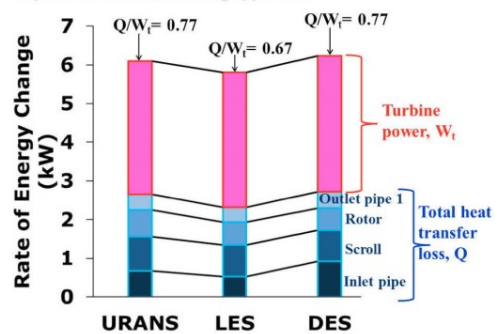


Results:

- Heat transfer has little effects on pressure ratio but relatively significant effects on turbine power.



- Heat transfer loss at various locations is highly dependent on the modelling approach.



Summary and Conclusions:

- Adiabatic condition can be considered to reduce computational efforts when prediction of pressure ratio is of interest under continuous flow conditions.
- Small reduction in turbine power of about 3% is observed in this study at non-adiabatic condition, as compared with the adiabatic wall assumption.
- URANS and DES predicted higher heat transfer loss as compared with LES, especially at regions where the development of boundary layer is important (e.g. inlet pipe and scroll).
- Future work will target heat transfer effects on turbine performance under pulsating conditions.

Acknowledgements:





KTH CCGEX

Vortex Meter Design for Unsteady Mass-Flow Measurement

Chris Ford

cford@mech.kth.se

An experimental investigation is underway, exploring the influence of vortex shedder (a bluff body comprising a fore-body and tail) geometry on the shedding characteristics and pressure loss for application to a vortex shedding mass flow meter. Results thus far have demonstrated the sensitivity of the shedding to the tail length and suggest some interesting (and as yet not understood) dynamic behaviour. The intention of the project is to consider a parametric characterisation of the behaviour to inform design of vortex meters suitable for the intended measurement range; to maximise resolution/response rate and minimise pressure loss.

Introduction and Motivation:

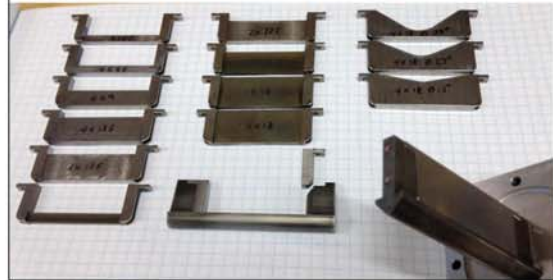
Most mass flow metering devices measure only time-mean values. However, it is often the time dependent mass flow which is of interest; particularly in the case of turbomachinery, for example.

The present study is aimed at developing a robust, pressure based vortex shedding meter and an associated data reduction strategy, to enable the determination of an unsteady mass flow.

A vortex shedding meter is a simple device. It utilises the alternating wake shedding generated by a bluff body in cross flow to determine the velocity of the oncoming fluid. To measure mass flow the meter needs: 1) a method of establishing the shedding frequency and 2) a means of computing the fluid density. Pressure measurements are used to complete both of these tasks to ensure that the meter is suitable for practical flows which may contain contaminants.

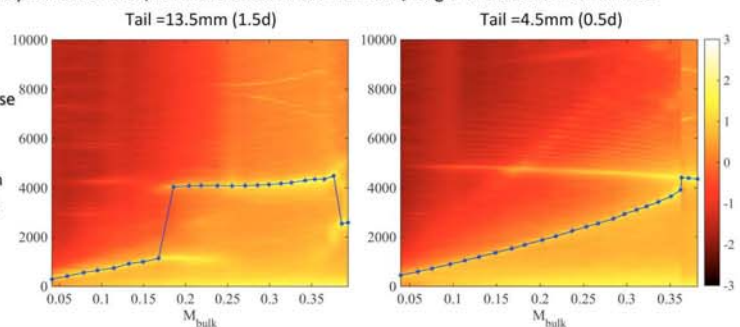
Setup:

An investigation is underway to establish the influence of different vortex shedder designs on the linearity and pressure loss of a fluid metering device. Examples of different shedder 'tails' may be seen below. Experimental work is conducted at the CICERO pipe flow facility.



Results:

Initial results indicate that the shedding behaviour has a very strong dependency on the design of the tail. The length of the body has the largest influence (compared to thickness) and is seen to create radically different shedding behaviour. Shorter tails produce characteristics which are less linear and have more significant low frequency noise. However, at moderate bulk Mach numbers, longer tails tend to incur a mode shift. Shedding begins at elevated frequency and non-constant Strouhal numbers. This is exemplified by the two spectrograms (right) which show the characteristic frequency response of the shedders at different mass flow rates. Note that the long tail incurs a mode shift, whereas the short tail realises a lock-on at much higher Mach number, which is thought to result from locally sonic conditions. These behaviours are strictly different.



Summary and Conclusion:

Experiments have been conducted exploring the influence of the tail geometry on the shedding characteristics of a bluff body for application to a vortex shedding meter. The present work is still underway and so it is not possible to draw full conclusions yet. However, the characteristic of the shedder has been observed to be sensitive to the tail length in particular, and especially at elevated Mach number. Further work is underway to explore the reasons for this, and to characterize the behavior in terms of the correct non-dimensional quantities.

Acknowledgement:

Co Workers: Professor P.H. Alfredsson, Dr. N. Tillmark
Funding: Lars-Erik Thunholm Foundation



KTH CCGEx

Gas dynamics of exhaust valves

Marcus Winroth

marwin@mech.kth.se

Due to tougher legislations on exhaust emissions from combustion-engine vehicles, the development of more efficient engines with lower emissions is important topic within the vehicle industry. In a Diesel engine approximately 30-40 % of the supplied energy is lost through the exhaust gases. Some of this energy can be recovered using a turbocharger. To maximize the energy recovery, the energy losses related to the exhaust valve and port need to be better understood. This PhD project aims to increase the understanding of the energy losses caused by the exhaust valve.

Introduction and Motivation:

In order to decrease computational time when designing engine systems, it is common to use 1D simulations. In these simulations complex fluid problems are simplified using mapped coefficients to describe the flow. This project focuses on experimentally testing some of the assumptions (quasi-steadiness and independence of pressure ratio) made when determining the discharge coefficient (C_D) of the exhaust valve.

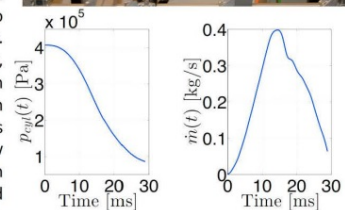
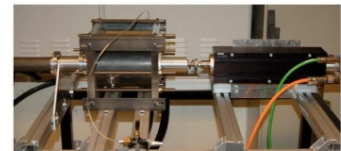
$$C_D = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{ideal}}$$

The results of these experiments will be compared to numerical results already produced within CCGEx (Yue Wang, PhD thesis, 2013).



Setup:

The photo shows the experimental setup with a cylinder of 120 mm diameter. The valve is operated using a linear motor, which allows for a controllable valve lift profile. The exhaust port has a straight section, with a length of approximately 1 port diameter, connected to an outlet pipe. The outlet pipe can be changed to test the effects of downstream conditions. The pressure is measured in the cylinder, in the valve seat and at two positions in the outlet pipe. The initial temperature in the cylinder is also monitored. This makes a dynamic measurement of the mass flow possible (1), by measuring the pressure in the cylinder as function of time and determining the mass that have left the cylinder using the isentropic relationship (2) and the gas law (3).

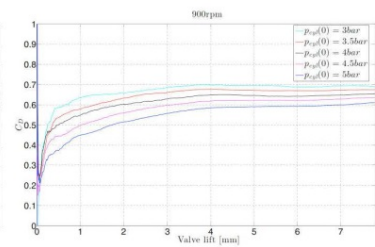
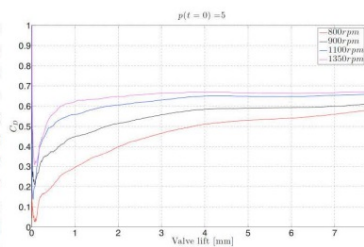


$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (2)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{V}{\gamma R T_0} \left(\frac{p_0}{p}\right)^{(\gamma-1)/\gamma} \frac{dp}{dt} \quad (1) \quad m(t) = \frac{V p(t)}{R T(t)} \quad (3)$$

Results:

Preliminary results show that the discharge coefficient has a large pressure ratio dependence, even for choked conditions (right figure). The discharge coefficient also shows a large dependence on valve opening speed (left figure). These results indicate that 1D simulations that assumes quasi-steady flow and independence of pressure ratio may be questionable. Further investigations are needed to understand the observed behaviour to be able to improve the models used in 1D simulations.



Summary and Conclusion:

This project aims to widen the understanding of the energy losses connected to the exhaust valve of a internal combustion engines. The setup has been shown to produce reliable results that indicate that the method used in industry today, to experimentally map the energy loss of the flow past the exhaust valve, is inadequate. In order to improve the empirical models used in 1D simulations a deeper understanding of the flow dynamics is needed. The experiments will be extended using two valves and by investigating the effect of the valve position.

Supervisors: Prof. Henrik Alfredsson, Dr. Ramis Örlü





KTH CCGEX

Valve strategies for improved exhaust energy utilization in turbocharged engines

Ted Holmberg

tedho@kth.se

This project aims to improve the understanding of how the pulsating exhaust flow from the internal combustion engine interacts with the exhaust turbine of the turbocharger. Variable valve actuation on the exhaust side is used to influence the pulse properties to find optimum turbine power as a function of pumping losses for a given load point. The interaction will be primarily studied with 1-D simulation supported by tests on a single-cylinder diesel engine equipped with a hydraulic variable valve actuation system and a six-cylinder engine equipped with a fixed geometry turbocharger.

Introduction and Motivation:

The modern turbocharged internal combustion engine is a compromise between transient response, durability and fuel efficiency. To improve the trade-off research has been primarily been focused on the charging system. Which resulted in technologies such as variable geometry turbochargers (VGT) and two-stage turbocharging.

This work will study how variable valve actuation (VVA) on the exhaust side can be used to create a more efficient charging system. Because of this new degree of freedom the valve strategy can be optimized for fuel efficiency in some load points and transient response in others. This might enable the use of alternative charging configurations with higher peak efficiency.

Method:

Air Flow Bench

Measure exhaust valve discharge coefficients (c_d) at realistic pressure ratios in order to improve the accuracy of 1-D engine simulation.

1-D Simulation in GT-Power: Single-cylinder engine

Investigate the effects of exhaust valve strategies on pumping losses and potential work in the exhaust flow.

Engine tests: Single-cylinder engine with VVA

Validate the single-cylinder 1-D simulation results when changing exhaust valve strategies.

1-D Simulation in GT-Power: Six-cylinder engine

Study the effects of the exhaust valve strategies when additional complexity in the form of pulse interaction in the exhaust manifold and turbine interaction are introduced.

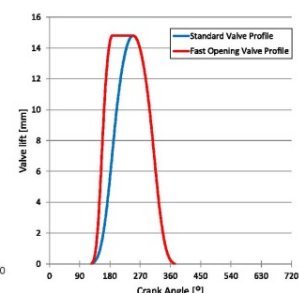
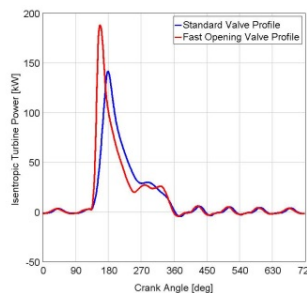
Engine tests: Six-cylinder engine with fixed geometry turbo.

Replicate a selection of the exhaust valve strategies with custom made camshafts to validate the results from the six-cylinder 1-D simulation.

Results (preliminary):

One way to increase turbine power is by implementing a faster valve opening, this increases the peak mass flow from the cylinder to the exhaust manifold and thereby the power. This is generally not possible with a fixed valvetrain as the valve acceleration increases rapidly with high engine speeds.

A variable valve train however has the potential to increase the opening speed at low engine speed without exceeding the maximum allowable valve acceleration.



Summary and Conclusion:

Not available

Acknowledgement:

Supervisor: Andreas Cronhjort

Co-Supervisor: Anders Hultqvist





KTH CCGEx

Innovative Solutions for Noise Control in Automotive Intake and Exhaust Systems

Zhe Zhang

zhez@kth.se

The project aims to find methods for the control of automobile engine intake and exhaust system noise. Acoustic metamaterial is a potential solution due to its ability in tailoring elastic wave dispersion through local resonances. An understanding of the working mechanism of acoustic metamaterials, which is different from the Bragg-scattering based phononic crystals, is needed. The enhancement of the low frequency sound attenuation ability of acoustic metamaterials will be developed with the usage of advanced computational tools and models.

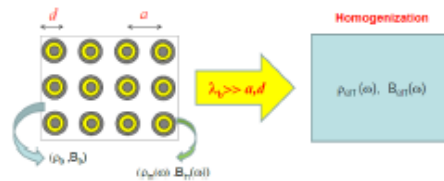
Introduction and Motivation:

Engine related noise is a major source of disturbance in modern societies and therefore worth paying careful attention to. Traditional engine noise control methods, such as the application of porous materials, is not sufficiently effective due to its inability in the attenuation of low frequency noise. Therefore, the issue of finding new compact engine noise control solutions in the low to intermediate frequency range is crucial for the development of new fuel efficient vehicle propulsion systems for modern turbo-charged IC-engines.

Acoustic metamaterials, a newly emerged type of artificial composite structures composed of periodic arrangement of scatters, can tailor elastic wave dispersion (i.e., band structure) through local resonances to achieve a range of anomalous properties. Unlike the Bragg-scattering based phononic crystals whose lattice constant is multiple of half wavelength of the incident waves, acoustic metamaterials exhibited spectral gaps with lattice constants two orders of magnitude smaller than the relevant sonic wavelength. Therefore, acoustic metamaterial is a worthy research point for the sake of the development of quieter vehicle engines.

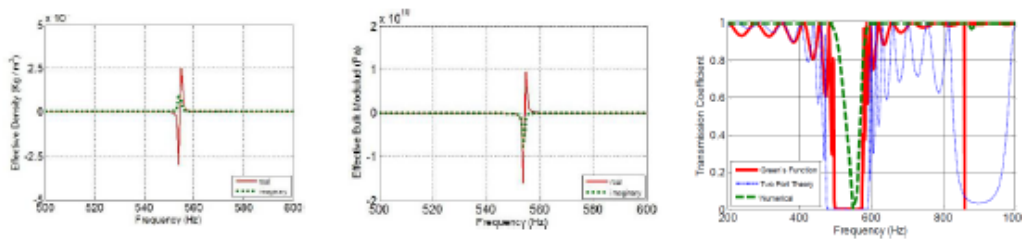
Research Methods:

Metamaterials are always considered as an equivalent medium with effective properties. As a counterpart of electromagnetic metamaterials whose permittivity and permeability can be negative in certain frequency ranges, the effective mass density and bulk modulus of acoustic metamaterials can also be negative. What is odd about acoustic metamaterials is that when one or both of the two effective parameters are negative, a band gap emerges with the incident wave either decaying or being reflected.



Example:

For the case in which locally resonant thin aluminum patches (Maaz Farooqui et al.) are flush mounted to a duct walls aiming at creating stop bands in a specific frequency range, the effective mass density and bulk modulus as well as the transmission coefficient are illustrated below. As can be seen, double negativity can be found in a certain frequency range, in which an absolute stop band appears. Also, the location and width of the band gap prove to be tunable with a modification of the geometrical parameters and material properties of the patches.



Prospects:

When serving as an automobile intake and exhaust duct muffler, acoustic metamaterials should meet certain requirements, such as low-frequency sound attenuation capability, low pressure drop and limited geometry sizes. The limitation of models as the patches mentioned above should be understood. Theoretical deduction, numerical calculation and experiments should be carried out for further research. Also, the effect of flow on the consistency and robustness of acoustic metamaterials is worth investigating.

Acknowledgement:

This project is supervised by Prof. Mats Åbom, KTH Marcus Wallenberg Laboratory and Prof. Hans Boden, KTH Marcus Wallenberg Laboratory.



KTH CCGEx

Control of particle agglomeration with relevance to after-treatment gas processes

Ghulam Mustafa Majal

gmmajal@kth.se

The project aims to find methods for stimulating agglomeration of particles in internal combustion engine exhaust systems by manipulation of the hydrodynamic and acoustic fields. An understanding of the evolution of particulate characteristics (e.g. particle mass, particle number, size distribution) as traveling along the exhaust system components and connections with relevance to modern engines is needed. The enhancement of the aforementioned understanding will be developed with the usage of advanced computational tools and models.

Introduction and Motivation:

Particulate emission from internal combustion engines is known to contribute to air pollution. Modern internal combustion engines show a tendency to form fine particles that are prone to penetrate through the human respiratory system and cause respiratory disorders. These particles not only have adverse health effects on human beings but also on animals as well as flora.

Ambitious forthcoming emission legislation in the European Union, US and around the world even further increase the demand on developing techniques which can curtail the number of air pollutants in the environment. In the context of exhaust gases, the manipulation of suspended particles through the use of forced pulsatile flow conditions and/or acoustic fields is a relatively new area. A more fundamental understanding of the physical phenomena is therefore needed in order to come up with a predictive model that can be applied to simulate a real engine exhaust system.

Particle agglomeration enables us to obtain larger particles, which in turn are less prone to penetrate the lungs. They also are easier to filtrate.

Setup:

The numerical setups will be based on simplified cases of single & two-phase flows using 1d models. Suitable benchmark cases will be identified in order to perform model validation. The goal then would be to carry out sensitivity studies in order to analyze the effect of different parameters on agglomeration. Later on more complex models as well as 2d and 3d geometries will be considered.

Initial numerical experiments based on the 1d model presented in Sazhin et al. 2007 have been done. The model looks at an oscillating Stokesian flow in the frame of reference moving with the phase velocity of the wave. An additional simplification has been made by only taking into account the drag force. In this model the dimensional gas velocity in the x -direction at time t is given by:

$$v_g(x, t) = V_a - V_b \sin(kx - \omega t),$$

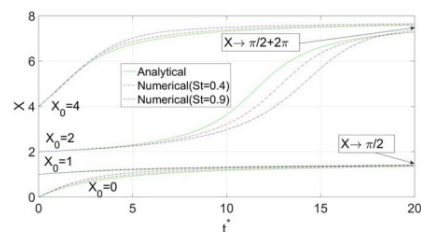
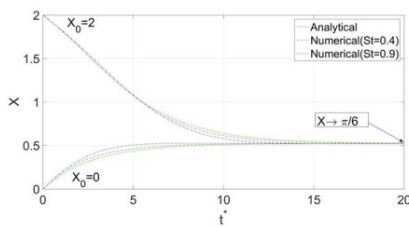
where V_a is the mean flow velocity, V_b is the amplitude of the velocity oscillation, k is the wave number and ω is the angular velocity. Under these the equation governing the dynamics of a particle in such a flow field is given by:

$$\ddot{x} = \frac{1}{\tau_p} (v_g - \dot{x}),$$

where x is the particle location, $\tau_p = \frac{\rho_p D_p^2}{18\mu}$, ρ_p is the particle density, D_p is the particle diameter and μ is the dynamic viscosity of the gas.

Results:

For the case of small Stokes number Sazhin et al. 2007 determined that the parameter $\beta = \frac{U_a - 1}{U_b}$, where U_a and U_b are the non dimensional versions of V_a and V_b , plays an important role in determining whether grouping occurs. Three cases were separately analysed: $|\beta| < 1$, $|\beta| = 1$ and $|\beta| > 1$. It was reported that grouping only occurs for the first two cases and not for the last case. The figures below show the cases of $|\beta| < 1$ (left) and $|\beta| = 1$ (right). The analytical solution is compared to the numerical solution for different Stokes number and initial conditions. For each case the solution is set to converge to a limiting value $x = x_{lim}$, where grouping is said to occur. The x_{lim} values have also been indicated in each figure.



Summary and Conclusion:

The limitations of this model need to be fully understood. More complex models and approaches able to accurately assess particles in a pulsating flow scenario without/with considering forcing need to be examined. Sensitivity studies need to be carried out in order to examine the significance of other parameters with regards to agglomeration. The possibility of incorporating acoustic forcing also needs to be explored.

Thus far it has been observed that under certain assumptions on the flow the β parameter plays a crucial role in determining whether particle grouping occurs or not.

Acknowledgement:

This project is supervised by Docent Mihai Mihaescu, KTH Department of Mechanics, Prof. Mats Åbom, KTH Marcus Wallenberg Laboratory, Docent Lisa Prahl Wittberg, KTH Department of Mechanics and Dr. Mikael Karlsson, KTH Marcus Wallenberg Laboratory.

The CCGEx partners Scania AB, Volvo AB and Volvo Cars are acknowledged for their support.

The Swedish Energy Agency is acknowledged for their funding.



Atomization and Mixing of Urea Water Solution



Mireia Altimira

PROJECT CONTENT/SCOPE:

1. Inventory of simulation strategies and proposals for updates
2. Investigation of the sensitivity of UWS droplets mixing to input data.
3. Characterization of the exhaust gas flow and its influence on mixing properties and wall-film formation.

PROJECT RESULTS

- Sensitivity study of mixing to different injection conditions and strategies.
- Sensitivity of mixing to exhaust gas flow-rate and pulsation
- Effects of jet intermittency

FUTURE PLAN SHORT & LONG TERM:

- Implementation in OpenFoam (possibilities)
- Summarize result in project report (spring 2016)
 - Strength/weaknesses of current strategies.
 - Where could we contribute/improve current strategies

Reference group:

Sharif Nahidh, Volvo GTT
Mats Laurell, Volvo Cars
Klas Olofsson, Scania

**Last reference group meeting:
150930**

Publikationslista (2015)

Semlitsch, B., Wang, Y., and Mihaescu, M. (2015) *Flow effects due to valve and piston motion in an internal combustion engine exhaust port*. *Energy Convers. Manage.*, **96**, 18–30.
[dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.058](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.058)

Aghaali, H. and Ångström, H.E. (2015) *A review of turbocompounding as a waste heat recovery system for internal combustion engines*, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, **49**:813-824,
[dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.144](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.144)

Bodén, H., and Kabral, R. (2015) “The effect of high temperature and grazing flow on the acoustic properties of liners,” In the Proceedings of Internoise 2015.

Kalpakli Vester, A., Örlü, R. and Alfredsson, P. H. (2015) *Pulsatile turbulent flow in straight and curved pipes – interpretation and decomposition of hot-wire signals*. *Flow Turbul. Combust.*, **94**, 305–321. [dx.doi.org/10.1007/s00348-015-1926-6](https://doi.org/10.1007/s00348-015-1926-6)

Kalpakli Vester, A., Örlü, R. and Alfredsson, P. H. (2015) *POD analysis of the turbulent flow downstream a mild and sharp bend*. *Exp. Fluids*, **56**, 57. [dx.doi.org/10.1007/s00348-015-1926-6](https://doi.org/10.1007/s00348-015-1926-6)

Fjällman, J., Mihaescu, M., and Fuchs, L. (2015) *Exhaust Flow Pulsation Effect on radial turbine performance*. In the Proceedings of the 11th European Turbomachinery Conference, ETC11, Madrid, Spain.

Sundström, E., Semlitch, B. and Mihaescu, M. (2015) *Similarities and Differences Concerning Flow Characteristics in Centrifugal Compressors of Different Sizes*. In the Proceedings of the International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, ICJWSF, 2015, Stockholm, Sweden.

Lim, S. M., Dahlkild, A. and Mihaescu, M. (2015) *Wall Treatment Effects on the Heat Transfer in a Radial Turbine Turbocharger*. In the Proceedings of the International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows, ICJWSF, 2015, Stockholm, Sweden.

Lim, S. M. and Mihaescu, M. (2015) *Turbocharger Turbine Performance; a Sensitivity to the Boundary Conditions*. 14th International Symposium on Unsteady Aerodynamics and Aeroelasticity of Turbomachines, ISUAAAT14, Stockholm, I14-S14-1.

Sundström, E., Semlitsch B., and Mihaescu, M. (2015) *Centrifugal Compressor: the Sound of Surge*, AIAA Paper 2015-2674. arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2015-2674

Note: The Doctoral students involved in the Center are caring out the educational and research activities as established in the Individual Study Plans

Planerade examen (2016)

Elias Sundström (KTH-Mechanics) will defend his Licentiate thesis with the title “Compressor Flow Instabilities at Low Mass Flow” on the 28th of April, 2016 (time 13:00, place: E3, KTH).

Raimo Kabral (KTH-MWL) will defend his PhD thesis before the end of the year (HT2016, KTH).

Marcus Winroth (KTH-Mechanics) will defend his Licentiate thesis HT2016/VT2017.

Publikationslista (2016)

Kerres B., Cronhjort A., Mihaescu M., “Experimental investigation of upstream installation effects on the turbocharger compressor map”, Accepted for publication, Proceedings of the 12th International Conference on Turbochargers and Turbocharging, London, UK, May 2016.

Kerres B., Nair V., Cronhjort A., Mihaescu M., “Analysis of the Turbocharger Compressor Surge Margin Using a Hurst-Exponent-based Criterion”, Accepted for publication, Proceedings of the SAE World Congress 2016, Detroit, MI, USA, April 2016.

Sundström E., Kerres B., Mihaescu M., ”Evaluation of Centrifugal Compressor Performance Models Using Large Eddy Simulation Data”, Accepted for publication, Proceedings of the ASME Turbo Expo 2016, Seoul, South Korea, May 2016.

Kabral, R., Du, L., Åbom, M., and Knutsson, M. *Optimization of compact non-fibrous silencer for the control of compressor noise*, Accepted for publication, SAE Technical paper 16SNVH-0051, 2016.

Further journal articles are planned to report the current work within CCGEx.