

## Slutrapport projekt 31886-2. Energy systems modeling in shipping

### Introduktion - Projektet i ett större sammanhang

Projektet utgör första delen av ett doktorandprojekt med målet att öka förståelsen av energisystemet ombord på fartyg genom modellering av energiflöden. Projektet påbörjades i juni 2011 (med 6 månader fördröjning för doktorandrekrytering). Förlängning har beviljats till och med 20140430. Finansiering av andra delen av projektet (till doktorsexamen) har beviljats med startdatum 20140601.

### Institutionens forskning inom området

Studien är även en del av ett större forskningsprogram vid institutionen för Sjöfart och Marin Teknik där utveckling av verktyg för att utvärdera och förbättra teknik som bidrar till en uthållig energiförsörjning för sjöfarten är ett övergripande mål.

Forskningsprojekten inleddes 2009 med

1. förstudie kring potentialen för energieffektivisering, utförare civ ing Henrik Lassesson, projektledare bitr prof Karin Andersson
2. förstudie kring energiledningssystem inom sjöfart, utförare civ ing Hannes Johnson, projektledare civ ing Björn Södahl, vetenskaplig handledare bitr prof Karin Andersson

Båda projekten övergick i doktorandprojekt på olika sätt, för Hannes Johnson direkt efter avslutad förstudie, för energieffektiviseringsprojektet med ett uppehåll på ett år innan det nya projektet kom till, då med anställning av Francesco Baldi som doktorand inom energisystemmodellering med bitr prof Karin Andersson och lektor Cecilia Gabriellii som handledare - start juni 2011. Till projektgruppen kom även en doktorand anställd vid Chalmers i samverkan med Danmarks Tekniska Universitet (DTU), där doktorandstudierna bedrivs, kring Waste Heat Recovery. Detta doktorandprojekt finansieras av institutionens medel inom Lighthouse/Vinnova med doktorand, M Sc Ulrik Larsen samt lektor Fredrik Haglind, DTU och lektor Cecilia Gabriellii, Chalmers som handledare. Hittills har Hannes Johnson och Francesco Baldi presenterat licentiatavhandlingar, Ulrik Larsen planerar disputation vid DTU vid halvårsskiftet 2014.

Samtliga delprojekt är starkt kopplade till fallstudier och samverkan med företag inom rederibranschen, och underleverantörer inom exempelvis motortillverkning och energistyrningssystem.

### Bakgrund, energisystemmodellering

Med en globalt ökande konkurrens om resurser, däribland fossil olja, tillsammans med krav på att minska utsläppen av koldioxid, uppstår ett behov av

att finna olika vägar fram till en uthållig användning av energi inom alla sektorer. Oavsett vald energibärare är en sparad kilowattimme den bästa ur såväl uthållighets-/miljöperspektiv som ekonomiskt.

Energieffektivisering har under senaste tiden uppmärksammats inom internationell shipping genom IMO (International Maritime Organisation), där man kommit överens om att arbeta för att ta fram flera olika mätetal och en arbetsmetodik för energieffektivitet hos fartyg.

Inom sjöfarten hanteras frågan om växthusgaser (GHG) av IMO och inte i de internationella klimatförhandlingarna. Man har inom IMO i dag operationaliserat GHG-minskning genom energieffektivisering och lanserat verktyg i arbetet, genom det operationella SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) som är ett obligatoriskt dokument där man beskriver sin energiledning ombord<sup>1</sup> och som har två olika ledningsverktyg, EEDI (Energy Efficiency Design Index) som är ett mått på ett fartygs energiprestanda i förhållande till liknande fartyg och EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) som är ett uppföljningsverktyg för drift av fartyg.

SEEMP är obligatoriskt, EEDI är obligatoriskt för nybyggda fartyg, och användning av EEOI är frivilligt.

## Resultat

I projektet "Energy systems modeling in shipping" har energisystemet ombord på fartyg studerats i termer av energi- och exergianalys för att identifiera källor till energi-ineffektivitet och -förluster med fokus på en effektiv användning av bränslet till framdrivning och övriga energibehov ombord. Ett specifikt fartyg, för vilket en stor mängd driftdata var tillgängliga, har använts för att illustrera energi- och exergiflöden. Detta fartyg är ett förhållandevis (energiflödesmässigt) enkelt exempel. Det finns fartyg med betydligt mer komplexa energisystem, ett extremfall är stora kryssningsfartyg, som både är ett fartyg och fungerar som ett mindre, autonomt samhälle med flera tusen "innevånare".

Modellering av delsystem som motorer har utförts, med målet att kunna integrera modellerna i en större energisystemmodell och för att ha ett transparent verktyg för att förstå dynamiken i delsystemet. Arbetet har visat på betydelsen av driftförhållanden (operationsprofil) på fartygets energiprestanda, men även den potentiella betydelsen av att inkludera exempelvis värmeåtervinning (WHR) i fartygets energisystem.

En slutsats är att för att fortsätta arbetet mot ett bättre beslutsstöd behövs ett nytt angreppssätt i designprocessen, där yttre och interna begränsningar som hastighet, strömningmotstånd, våghöjd och omgivningstemperatur inte är konstanta, dvs man tar hänsyn till operationsprofiler. Detta innebär att man inte har konstanta värden på parametrar i modelleringen utan i stället så kallade stokastiska variabler. På detta sätt inför man en "robust optimering" eller

---

<sup>1</sup><http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>

”optimering under osäkerhet” vilket har utvecklats för andra tekniksektorer, men inte tillämpats på fartygs energisystem.

Inom del 2 av projektet kommer följande punkter därför att vara centrala:

- 1) Att genom driftdata utreda hur den verkliga driften av fartygs energisystem avviker från designförhållanden och hur detta påverkar energieffektiviteten.
- 2) Att föreslå en metodik för att förbättra designprocessen för fartygs energisystem utgående från en förbättrad förståelse av relationen mellan stokastiska parametrar och designparametrar i modellering.
- 3) Att genom modellering och verifiering studera tillämpning av metodiken på olika energisystem ombord som framdrivning, kylning, HVAC och WHR
- 4) Att testa tillämpningen av modelleringsmetodiken på ett helt fartygssystem

Driftdata från fler fartygstyper än den kemikalietanker som användes i första delen av projektet kommer att inkluderas för tillämpning och verifiering av modellerna. Förslag på fartyg är passagerarfärja eller kryssningsfartyg, beroende av möjligheten att få tillgång till driftdata från existerande fartyg.

För att stödja den vidare modellutvecklingen och stärka nätverket till andra grupper som arbetar med modellering av delar av fartygs energisystem har Francesco Baldi tillbringat två månader under våren 2014 vid University of Strathclyde, department of Naval, Ocean and Marine Engineering, hos professor Atila Incecik och lecturer Gerasimos Theotokatos.

### Arbetets betydelse

Doktorandprojektet är av akademisk art och har ett övergripande syfte att leda till vetenskapliga artiklar och avhandlingar. Den tillämpade karaktären hos projektet gör dock att kontakter med rederier och andra avnämare för gemensam analys av data och informationsutbyte är ett viktigt inslag. Ett exempel inom denna del är arbetet med ombordmätning och utvärdering av energiprestanda hos fartyg på Laurin. Här har Francesco deltagit i dagligt arbete och avstämningsmöten som har lett till konkreta energibesparingsåtgärder ombord.

### Leveranser

Arbetet har hittills presenterats i en licentiatavhandling och vid ett antal konferenser. Kontinuerligt uppdaterad publikationslista för Francesco Baldi finns i Chalmers Publication library<sup>2</sup>  
Ytterligare publikationer är insända till tidskrifter men inte slutligt accepterade.

---

<sup>2</sup> <http://publications.lib.chalmers.se/lists/publications/people/html/index.xsql?ids=178145&names=Baldi%2C+Francesco+%281986%29+%5B178145%5D&lyear=1900&hyear=2020&sort=year&format=default&rows=100>

Presentationer av arbetet kommer närmast att hållas på konferensen Applied Energy, ICAE 2014 i slutet av Maj, <sup>3</sup> samt ECOS 2014 , International Conference on Efficiency, cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems.<sup>4</sup>

#### **Ekonomisk slutrapport.**

Projektet har pågått fram till 20140430 (förlängning pga senarelagd projektstart för doktorandrekrytering).

Vid projektstart gjordes en kalkyl som innefattade en naturinsats från Chalmers för handledartid. Det har visat sig att finansieringen varit tillräcklig för att innefatta även en del sådan tid. En del av förklaringen är att ombordstudier har blivit betydligt billigare än förväntat, beroende på att det har varit möjligt att göra studier när rederiets fartyg befunnit sig i Nordsjön och inte på rutten mellan Huston och Sydamerika, vilket är det vanligaste. Detta har inneburit minskade reskostnader.

Även vad gäller konferenser så har Francesco sökt och fått medel för resor från olika stiftelser, varför även dessa medel har förbrukats till mindre del.

Det innebär att en viss omDisposition från reskostnader till personalkostnader har kunnat göras.

En slutlig ekonomisk sammanställning för projektet inges separat.

Göteborg 20140602

Karin Andersson  
Bitr professor, projektledare

---

3

<http://www.applied-energy.org/CMS/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=11>

<sup>4</sup> <http://ecos2014.abo.fi/ocs/index.php/2014/ECOS2014>

## Publicering

### 2014

Baldi F, Gabriellii, C, Andersson, K "Energy and exergy analysis of a ship, the case study of a chemical tanker", Presentation vid ICAE2014, international Conference Applied Energy, Taipei May 30-June 2 2014.

<http://www.applied-energy.org/CMS/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=11>

Francesco Baldi<sup>\*1</sup>, Ulrik Larsen<sup>2</sup>, Cecilia Gabriellii<sup>1</sup> and Karin Andersson<sup>1</sup>  
"Analysis of the influence of the engine, propeller and auxiliary generation interaction on the energy efficiency of controllable pitch propeller ships" (ID ME-CS-N), presenteras vid ICMT 2014, International Conference on Maritime Technology, Glasgow 7<sup>th</sup> – 9<sup>th</sup> July 2014

Francesco Baldi<sup>a</sup>, Hannes Johnson<sup>b</sup>, Cecilia Gabriellii<sup>c</sup>, Karin Andersson<sup>d</sup>, "Energy and exergy analysis of ship energy systems, the case of a chemical tanker" presenteras vid ECOS 2014, (27<sup>st</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems

### 2013

Baldi, F. (2013). Improving Ship Energy Efficiency through a Systems Perspective. Göteborg: Chalmers University of Technology.

Baldi, F. ; Bengtsson, S. ; Andersson, K. (2013). The influence of propulsion system design on the carbon footprint of different marine fuels, *Low Carbon Shipping Conference, London 2013*.

### 2012

Baldi, F. ; Gabriellii, C. ; Andersson, K. et al. (2012). From Energy Flows to Monetary Flows - An Innovative Way of Assessing Ship Performances Through Thermo-Economic Analysis, *International Association of Maritime Economists Conference (IAME 2012 Taipei)*.. [