



Slutrapport till Energimyndigheten
Utveckling av ny teknik för vindkraft på fartyg – Fas 2

Göteborg
30 April 2015

Ola Carlson, Chalmers
Per –Arne Nilsson, Propit AB



Förord

Det här projektet har möjliggjorts genom finansiering från Statens Energimyndighet och Västra Götalandsregionen. I tillägg har bidrag av olika natur, från Stena Rederi AB, Lloyd's Register EMEA och PROPit AB spelat en avgörande roll för att säkerställa industriella erfarenheter och aspekter på projekter.

I den här slutrapporten redovisas inga resultat från forskningsinsatserna i de olika delprojekten, utan för detta görs en hänvisning till den sammanfattande slutrapporten

"Development and Demonstration of New Technology for the use of Wind Turbines on Ships – Phase 2", likaså daterad 30 april 2015.

Här redogörs istället för projektet ur ett mer generiskt och administrativt perspektiv för att komplettera bilden av ett projekt, som utgör andra fasen i forskningen för att lägga grunden för senare kommersialisering av en teknologi, som lovar stora bränslebesparingar på handelsfartyg.

Projektet har koordinerats genom en Styrgrupp, bestående av
Ola Carlson, Biträdande Professor, Chalmers (Ordförande och Projektledare)
Per Stefenson, Stena Rederi AB
Olle Blidholm, PROPit AB
Per Arne Nilsson, PROPit AB



Executive Summary

The start-up company PROPit AB has developed a concept for harnessing sea winds for simultaneous electricity generation and thrust, by using conventional, but modified wind turbines onboard merchant vessels. The primary market should be tankers and bulk ships with large and open deck space, operating on routes and in areas with favourable wind conditions. The business idea is to create substantial fuel savings while simultaneously reducing harmful greenhouse gas emissions.

This is the third consecutive research project which has been completed since 2011 under the management of Chalmers University of Technology, with the objective of establishing sufficient evidence of the feasibility and performance of the technology. This current project has been enabled by the funding of the Swedish Energy Agency and the Region Västra Götaland and with the industrial support from Stena Rederi AB, Lloyd's Register and PROPit AB.

The project's objectives were to enhance knowledge within three domains

- the design of an optimal wind turbine including a dynamic control system
- important stakeholder opinions about the introduction of such a novel technology
- evaluation of conditions and preliminary planning for a demonstration project

Through extensive measurement campaigns at sea with a prototype wind turbine mounted on a model oil tanker in the scale of 1:12, significant amounts of data were recorded and analysed. This was used to validate a developed performance simulation tool which could be applied to various routes and weather conditions, to calculate accumulated yield for a given set of operating variables.

Fuel savings, essentially in conformance with earlier reports, could be estimated but now with higher accuracy. For a Panamax tanker in the North Atlantic, equipped with two one megawatt wind turbines and under a set of given conditions, annual fuel savings around 16 percent have been estimated. Given an HFO price of 354 USD/mt this means that the savings potential could be up to USD 590 000 per year. Certainly, there are high variations for seasons and routes and the research also points to opportunities for technology optimization, before going into commercialization.

In general, attitudes and opinions about the proposed innovation are positive, but to be proven successful, the technology must be adopted by the crew and other stakeholders. The probability of gaining positive green goodwill was suggested in some stakeholder interviews, while all expressed the need to be convinced about the financial benefits.

A demonstration project was designed to last for 16-18 months with a budget around 8-14 mSEK, depending largely on the choice of either a new-designed and -built turbine or a used and modified one. A partial risk assessment indicated no show stoppers but underlined the need for extensive crew training. A demonstration project should be run in three phases, design/construction, onshore operation and verification and sea operation on a merchant ship.

The project's key recommendation is to carry out a large scale demonstration project as a next step towards commercialization. This would include the remaining technical analysis identified in the pre-study, the completion of the risk assessment and technology verification.



Svensk Sammanfattning

Det entreprenörsdrivna företaget PROPit AB har utvecklat ett koncept för att utnyttja vindarna till havs för att kraftigt minska bränsleförbrukningen på stora handelsfartyg. Genom att installera konventionella, men modifierade vindkraftverk kan man både generera elektricitet för användning på fartyget och samtidigt en framåtriktad kraft för att bistå i fartygets framdrivning. Den primära målgruppen är olje- och gastankers samt bulkfartyg med stor, öppen däcksyta, vilka främst opererar i områden med fördelaktiga vindförhållanden. Affärsidén är att samtidigt reducera bränslenotan och minska utsläppen av växthusgaser.

Detta är det tredje forskningsprojektet sedan 2011 under ledning av Chalmers tekniska högskola. Syftet har varit att etablera ett tillräckligt kunskapsunderlag kring teknologins produktivitet för att den ska kunna tas till nästa steg mot kommersialisering. Det här projektet har möjliggjorts av finansiering från Statens Energimyndighet och Västra Götalandsregionen samt av industriellt stöd från Stena Rederi AB, Lloyd's Register och PROPit AB.

Projektets tre mål var att höja kunskapsnivån inom tre områden

- optimal utformning av en vindturbin för dessa driftsförhållanden, inklusive ett dynamiskt styrsystem
- uppfattningen hos viktiga intressentgrupper om hur en sådan ny teknologi kan introduceras i den marina sektorn
- utvärdering av förutsättningarna för och preliminär planering av ett demonstrationsprojekt

Genom omfattande mätkampanjer till sjöss med en vindturbinsprototyp monterad på en modell i skala 1:12 av en oljetanker, har en stor mängd data kunnat samlas och analyseras. Denna information har sedan använts för att validera ett nyutvecklat simuleringsverktyg, vilket i sin tur utnyttjats för att beräkna verkningsgrad och uppskattad bränslebesparing för olika rutter och vindförhållanden och ett antal andra, dokumenterade antaganden.

Bränslebesparingar i paritet med vad, som visats i tidigare rapporter, har nu kunnat beräknas, men med väsentligt högre säkerhet i kalkylerna. För en Panamax-tanker i Nordatlanten, utrustad med två vindturbiner med vardera märkeffekten en megawatt och under en uppsättning givna variabler, har den årliga besparingen beräknats till sexton procent. Givet ett pris för bunkeroljan på 354 USD/mt, motsvarar det på årlig basis USD 590 000. Det ska tilläggas att det är stora variationer för säsonger och rutter och forskningen pekar samtidigt på ytterligare potential i optimering av teknologin innan konceptet kommersialiseras.

Generellt konstateras att attityder och uppfattningar är positiva till den föreslagna teknologin, i ett antal olika intressentgrupper, vilka kunde beröras av dess genomförande i den marina sektorn. Det är dock viktigt att den primärt accepteras av besättning och andra nära intressenter för att kunna bli en kommersiell framgång. Möjligheten att få en positiv, grön goodwill nämndes i flera intervjuer med intressenter, medan samtliga efterfrågade önskade mer övertygande information om konceptets lönsamhet.

Ett demonstrationsprojekt för en period på 16-18 månader har beskrivits och dess budget uppskattats till cirka 8-14 mSEK. Kostnaden blir starkt beroende av om man väljer att köpa och modifiera en befintlig (använd) vindturbin eller att konstruera och bygga en skräddarsydd turbin i ett



lågkostnadsland, sannolikt Kina. Ytterligare arbete har gjorts med en riskanalys och det konstateras att det inte finns några avgörande hinder av riskkaraktär. Däremot pekas omfattande utbildning av besättningen ut, som en viktig faktor för både drift, underhåll och säkerhet. Ett demonstrationsprojekt bör bedrivas i tre faser, med design/konstruktion (alternativt modifiering), driftsättning och drift på land samt till slut genomförande av en längre driftperiod till havs på ett större, oceangående fartyg.

Projektet rekommenderar till slut att ett demonstrationsprojekt i större skala genomförs, som nästa och möjligen sista steg innan teknologin kan kommersialiseras. Detta skulle innefatta återstående teknisk analys och optimering, komplett riskanalys, teknologiverifiering, utbildning och uppföljning av hur installationen uppfattas av berörda intressentgrupper.



1 Bakgrund

Sedan år 2008 har beräkningar gjorts för hur vindströmmar över rotorbladen på en vindturbin kan optimeras genom att dels anpassa turbinens orientering mot vindens riktning och hastighet och dels hur turbinbladen kan vridas för att nå optimal effekt.

Vinden som träffar rotorbladen på en vindturbin ger en rotation, samtidigt skapas en kraft som vill stjälpas eller flytta hela turbinen i en riktning vinkelrätt mot rotorplanet. För ett konventionellt vindkraftverk på land absorberas den kraften av tornet och dess betongfundament, vilket håller turbinen kvar på sin plats.

På ett fartyg kan denna kraft utnyttjas för att driva fartyget framåt, som en extra drivkraft (axialkraft). Rotorplanet kommer på så sätt att få samma funktion som ett segel och axialkraften kan riktas och optimeras genom att anpassa anblåsningvinklar och bladvinkel.

En tidig utmaning har varit att kvantifiera och teoretiskt belägga axialkraft och turbinrotation (elgenerering) som en funktion av sann vindhastighet och anblåsningvinkel. När de positiva sambanden kunnat verifieras, grundades företaget PROPit AB och de första patentansökningarna registrerades. Därefter genomfördes enkla fältförsök med en liten turbin (2 m i diameter) monterad på en släpkärra efter en personbil och mätningarna bekräftade i stort de teoretiskt beräknade värdena.

Forskningen i projektets fas 1 kunde verifiera att grundprinciperna för tekniken fungerar. Installation och drift av stora vindturbiner ombord på gas- och oljetankers kan teoretiskt ske utan att på något negativt sätt påverka fartygets stabilitet eller drift. En avancerad prototyp har konstruerats, byggts och testats, vilken ger grund för fortsatta experiment både på land och ombord på fartyg.

En viktig kunskap från nämnda forskning är att existerande vindturbiner och turbinblad är konstruerade för att skapa maximalt effektuttag för en given turbinstorlek. Axialkraften (i turbinplanets normalriktning) bidrar dock inte till effekten utan är en kraft som konstruktionen måste bära. Därför ska den normalt minimeras. Ska turbinen utnyttjas på ett fartyg för att skapa en framåtdrivande kraft, vid sidan av att elektricitet genereras, kommer dock detta faktum i ett helt annat ljus.

Contact person at Chalmers: Ola Carlson

Email: ola.carlson@chalmers.se

Phone: +46 31 772 1637

Contact person at PROPit AB: Per Arne Nilsson

Email: pan@propit.se

Phone: +46 733 969040



2 Projektbeskrivning och uppfyllelse av syfte, mål och målgrupp

2.1 Syfte

Det övergripande syftet med hela forsknings- och utvecklingsprojektet är att utveckla vindkraftverk för användning på fartyg för att åstadkomma signifikanta bränslebesparingar. Projektets fas 2 har uppfyllt syftet genom att dess resultat, förutom att de påvisar betydande möjligheter till bränslebesparingar, även lagt grunden för nästa fas i arbetet fram mot kommersialisering. I projektets summerande rapport rekommenderas att nästa steg blir genomförandet av ett demonstrationsprojekt i större skala.

2.2 Mål

Projektets delmål formulerades enligt följande och resultaten finns beskrivna i projektets summerande slutrapport:

1. Genomföra forskning och utveckling rörande hur en vindturbin bör konstrueras för att erhålla största möjliga bränslebesparing i en fartygsapplikation (bladutformning, varvtal, 2- eller 3-bladig teknik). [Målet uppfyllt.]
2. Visa genom modellförsök i öppen sjö nyttan av vindkraftverk på ett fartyg i skala 1:12. [Målet uppfyllt.]
3. Studera hur genererad el kan nyttiggöras på ett optimalt sätt (inkoppling på fartygets elsystem). [Målet endast delvis uppfyllt. För området redovisades detaljerade förslag redan i projektets fas 1 och detta mål prioriterades ner till förmån för att omfördela resurser till genomförandet av land- och sjöbaserade mätkampanjer med vindkraftsprototypen.]
4. Utveckla en modell för hur styrningen av vindturbinerna skall ske för att skapa största möjliga bränslebesparing under varierande driftförhållanden. [Målet uppfyllt.]
5. Identifiera hur arbetsmiljörelaterade risker (visuellt, buller, vibrationer, fysiska risker) bör hanteras. [Målet uppfyllt.]
6. Skapa en ökad förståelse för vad som skapar förtroende och acceptans för denna nya teknologi hos olika intressentgrupper. [Målet uppfyllt.]
7. Genomföra en förstudie för ett demonstrationsprojekt, en pilotinstallation ombord på ett fartyg i kommersiell drift. [Målet uppfyllt.]

2.3 Projektbeskrivning

Projektet har bedrivits i enlighet med den i ansökan redovisade planen för genomförande. Området som skulle behandla hur elektricitet kan nyttiggöras ombord prioriterades ner något till förmån för vidareutveckling och komplettering av vindkraftsprototypen och Stenas modellfartyg Airmax. Även en viss del av projektreserven disponerades för dessa aktiviteter. Detta gjorde att mätkampanjerna till sjöss kunde genomföras enligt plan, vilket skapade omfattande mätstatistik, vilken i sin tur utnyttjades för att validera ett nyutvecklat simuleringsverktyg. Härigenom kunde beräkningar av bränslebesparingar genomföras för flera olika fall och med betydligt högre kvalitet än i projektets fas 1. Därmed konstateras att projektets övergripande syfte har uppnåtts, genom att föra teknologin ytterligare steg närmare kommersialisering.

Projektet organiserades i tre delprojekt, optimal bränslebesparing inklusive praktiska försök, acceptans för teknologin samt förstudie för demonstrationsprojekt. Projektets direkta forskningsmedel har fördelats mellan dessa tre delprojekt, med cirka 77 %, 10 % respektive 13 %.



Projektets huvudsakliga indikator är beräknad bränslebesparing för fartyg med installerade vindturbiner. Genom ett arbetsförfarande, som beskrivs i den summerande slutrapporten, har möjliga bränslebesparingar upp till 16 % kunnat beräknas i en teoretisk beräkningsmodell, vars metod kunnat valideras genom jämförelse med insamlade mätdata från sjöbaserade försök med vindkraftsprototypen. Vidare indikatorer beskrivs i rapporten, som djupintervjuer med tolv företag, vilka identifierats som näraliggande intressentgrupper. Projektet har sysselsatt ett tjugotal forskare och utvecklingsingenjörer på deltid under perioden från augusti 2014 till mars 2015.



3 Projektets övriga resultat och erfarenheter

Det finns stor nyfikenhet och ett växande intresse bland intressenter i den marina sektorn för den här teknologin. Man ser möjligheter till en "grön goodwill" och efterfrågar information om de finansiella villkoren och en investeringskalkyl för en storskalig installation. Gemensamt för alla de externa kontakter, som projektet upprättade är att man vill se ett framgångsrikt demonstrationsprojekt innan man på allvar vill gå in i diskussioner om installationer på egna fartyg.

En sidoeffekt av projektet är en listning av befintliga vindturbiner i norra Europa, i storleksklassen 300 KW. Det finns en marknad för begagnade vindturbiner, vilka för ett demonstrationsprojekt skulle modifieras för den annorlunda driftsmiljön. På motsvarande sätt upprättades kontakter med tillverkare och leverantörer av vindturbiner i Kina.

En återigen bevisad erfarenhet är det faktum att motiverade projektmedarbetare kan utföra stora arbetsinsatser. Arbetet med att genomföra effektmätningar till sjöss blev försenat, så det kom att ske under december-februari, vilket ställde stora krav på besättningen på modellfartyget, vilket den här bilden avslutningsvis får illustrera.

