

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Marina framdriftssystem och systemanalys för vindassisterade fartyg	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Marine propulsion systems for wind assisted vessels	
Universitet/högskola/företag Chalmers tekniska högskola AB	Avdelning/institution Mekanik och maritima vetenskaper
Adress 412 96 Göteborg	
Namn på projektledare Rickard Bensow	
Namn på ev övriga projektdeltagare Arash Eslamdoost, Rui Lopes, Seemontini RoyChoudury, Rikard Johansson	
Nyckelord: 5-7 st Vindpropulsion, propeller, skaleffekter, CFD, marina framdrivningssystem	

Förord

Projektet har varit samfinansierat mellan Energimyndigheten och Kongsberg Maritime AB. Arbetet har utförts i första hand av en post-doktor vid Chalmers och personal vid Kongsberg Hydrodynamic Research Centre i Kristinehamn. Forskningsinriktning och -resultat har vidare diskuterats tillsammans med designers och säljingenjörer vid Kongsberg samt forskare vid RISE för att säkerställa relevans både kring forskningsfrågor och resultat.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Summary	3
Inledning/Bakgrund	4
Genomförande	6
Resultat	6
Diskussion.....	9
Publikationslista.....	10
Referenser, källor.....	11
Bilagor	11

Sammanfattning

Projektet har kretsat kring nya hydrodynamiska frågeställningar hos framdrivningssystemet för ett fartyg med vindassistans. När delar av framdrivningen görs genom segling kommer propellern att avlastas och operera under andra förhållanden än normalt. Detta påverkar både hur propellern ska designas och analyseras och hur den påverkar skrovet och vice versa. Väletablerade metoder för att genomföra studier i modellskala och använda semi-empiriska formler för att bestämma prestanda i fullskala har också visat sig tveksamma under dessa förhållanden.

Vi har under projektet fått bättre kunskap om hur CFD-verktyg kan användas för att prediktera prestanda för fartyg i både modell- och fullskala; det rör t.ex. totala effektbehovet men också propellerprestanda och kraftpåverkan på skrov och roder. Metoderna är tillämpbara för både reguljär framdrift och för vindassisterad framdrift. Osäkerheterna, och därmed vikten av att göra rätt, är dock större vid vindassisterade fall.

Vidare har skaleffekter studerats, d.v.s. i vilken grad kan man göra prediktioner i modellskala, t.ex. modellförsök, och sedan göra uttalanden om prestanda för det riktiga fartyget. Detta är ju en etablerad teknik för vanliga fartyg. Här ser vi att för vindassisterade fartyg är detta generellt inte möjligt med god tillförlitlighet. Använder vi etablerade skalningsmetoder på resultat från CFD i modellskala och jämför med CFD i fullskala har vi fått stor spridning i resultaten. Trender i vissa parametrar skiljer sig också mellan prediktioner i modellskala jämfört med i fullskala. Dessa resultat gäller för det fall vi studerat och mer arbete är nödvändigt för att kunna generalisera resultaten.

En propellerdesign gjord med vindassistans i åtanke har jämförts med en standarddesign för samma fartyg. Man ser då att det finns prestandavinster med den nya designen, men de är måttliga, upp till ca 3% i bränsleförbrukning.

Inom projektet initierades en internationell workshop kring motståndsberäkningar i fullskala. Analysen av resultaten hann inte avslutas inom projektet utan att fortlöper under 2024. Vidare planeras nya forskningsprojekt baserat på erfarenheter från projektet, bl.a. att studera interaktionseffekterna i mer detalj och hur man kan justera modellförsöksprocesser för att kunna ta hänsyn till problemen vi noterat i detta projekt. Ett projektet inriktat på roderdesign och propeller-roder-interaktion har också startats.

Summary

The project has worked with several hydrodynamic questions related to the marine propulsion system of a ship with wind assisted propulsion. When part of the propulsion is achieved by sailing, the propeller will become unloaded and work in different conditions than normal. This concerns both how the propeller should be designed and analyzed as well as how it affects the hull and vice versa. Well established methods to perform studies in model scale and use semi-empirical formulas to determine performance in full scale have also been shown to have limitations in these conditions.

We have during the project evolved our understanding on how CFD tools can be used to predict the vessel performance in both model and full scale; this concerns e.g. the total power demand but also propeller performance and forces on hull and rudder. The methods are applicable both for regular propulsion in addition to for wind propulsion. The uncertainties with using CFD methods, and therefore also the need to do simulations correctly, are higher for wind assisted cases.

Further, scale effects have been studied, i.e. to what extent it's possible to do predictions in model scale, e.g. model basin tests, and then do estimates of performance for the real ship. This is an established methodology for regular vessels. We can see that for ships with wind propulsion this is not generally possible with good reliability. Using established scaling procedures based on model scale CFD results and comparing with full scale CFD we note a large spread in predictions. Trends in some important parameters differ in the case we have studied. More studies are however necessary in order to be able to generalize this conclusion.

A propeller design was made specifically considering wind assisted propulsion and compared with a regular commercial design for the same vessel. We noted that there are gains in performance with the new design but they are minor, up to about 3% reduction in fuel consumption.

Within the project, an international workshop on resistance predictions in CFD in full scale was initiated. We were not able to finalize the analysis of the results before the end of the project but the work will continue during 2024. Further, new research ideas and proposals were sparked by the results from this project, among others to look further into the interaction effects between hull, propeller and rudder including how model scale test procedures and scaling can be modified to suit wind assisted ships. One project devoted to rudder design and propeller rudder interaction has also been initiated.

Inledning/Bakgrund

Genom det stora behovet av omställning till minskad förbrukning av fossila bränslen inom transportsektorn har intresset för att återigen använda seglande fartyg ökat drastiskt på senare år. Koncept har utvecklats, och är på väg att implementeras kommersiellt, för både nästan helt seglande nya fartyg, t.ex. det välkända OceanBird, till eftermonterade system, t.ex. Flettnerrotorer, som ett kompletterande framdrivningssystem. De helt seglande vinddrivna fartygen ses främst som en möjlighet på oceangående trafik där man har större möjligheter att navigera efter vinden och finna marginaler i tidtabellen. I närsjöfart är det rimligt att man får förlita sig på vad vi kan kalla motorseglande, eller vindassisterade, fartyg som alltid går för maskin med mer eller mindre konstant fart men med minskad motoreffekt beroende på hur god vinden är; både för att det inte finns utrymme att manövrera efter vind i vältrafikerade farleder och för att säkert kunna hålla tidtabell på dessa kortare rutter. När det gäller vindassisterade fartyg finns en stor variation i hur mycket minskad bränsleförbrukning man uppskattar att man kan få beroende på typ av trafik och rutt; även i gynnsamma förhållanden kan man anta att det är svårt att nå över runt 40% av vindeffekt där resten måste ges av maskin och det marina framdrivningssystemet, d.v.s. propeller och roder eller motsvarande. För vinddrivna fartyg ligger förväntan på närmre 90% i vindeffekt i snitt, och att maskin och propeller används bara vid stiltje eller riktigt hårt väder och vid delsträckor i närsjöfart. I bägge fallen är det förväntat att vindassisterad sjöfart kommer att utgöra en viktig komponent i omställningen mot minskade utsläpp av växthusgaser inom sjöfart, både nationellt och internationellt. Svensk sjöfartsnäring ligger i framkant vad gäller vindassisterad sjöfart. Trafikverkets satsning på wPCC (wind powered car carrier) har lagt en god grund för svensk kompetens inom området som utvecklats vidare inom ett flertal nationella och internationella projekt. Flera olika svenska rederier har också genomfört försök med installationer för vindassistans och har börjat diskutera konkreta projekt med t.ex. Kongsberg som leverantör av det marina propulsionssystemet. Det är tydligt att Sverige har ett välfungerande samarbete mellan akademi, institut och näring (vilket inkluderar både underleverantörer, designbolag och rederier) och ligger i täten inom området internationellt. Tittar man på de studier som gjorts inom området är det uppenbart att fokus legat på seglingsaspekterna, såsom segeldesign, aerodynamiska interaktionseffekter, avdrift, ruttplanering, och hur mycket effekt/besparing man får av vinden. Detta är förstås naturligt då det är här de största kunskapsluckorna har funnits. Men som förklarats ovan så krävs för alla koncept ett marint framdrivningssystem för att garantera fart, kurs och säkerhet, och inom detta område har det gjorts väldigt lite hittills, inte bara i Sverige utan även internationellt. Inom forskningsprojektet SailProp arbetade Chalmers i samarbete med SSPA och Kongsberg med design- och optimeringsprocesser för propellern för seglande fartyg vilket var ett av de tidiga projekten som hanterade denna fråga. Det finns fortfarande få tidskriftspublikationer eller konferensartiklar som behandlar den hydrodynamiska delen av framdrivningssystemet. Men inom ITTC, och från de studier vi har gjort, finns ett stort antal hydrodynamiska frågeställningar kring vindassisterade fartyg som kräver ytterligare arbete. Som exempel kan nämnas att propellern generellt

kommer att arbeta med lättare last än normalt, men framför allt kommer det att krävas att den fungerar över ett mycket större spann av belastning. Med god tillgång till vind blir propellern lätt lastad, men vid stiltje, eller ännu mer vid hård vind föröver då segelinstallationer bromsar, kommer den att vara rejält tungt lastad. I dessa off-design-konditioner är hydrodynamiken mer komplicerad: dragkraftsförlust p.g.a. överstegring (stall) eller massiv kavitation är stora riskfaktorer; besvärliga problem med trycksideskavitation och dålig verkningsgrad är att vänta; interaktionseffekter med skrovet kommer att förändras, och roder och bihang kommer att påverkas av den potentiellt förändrade sugfaktorn från propellern; vid (motor)segling kommer fartyget naturligt att ha ett visst mått av avdrift, vilket innebär att man får snedanströmning till propeller. Dessutom vet vi att dagens designverktyg fungerar dålig i dessa situationer och en väsentlig effekt i dessa off-design-konditioner är att skaleffekter är viktiga att hantera, d.v.s. hur påverkas prestanda av om studien görs i modellskala relativt för ett riktigt fartyg. I designkonditioner kan detta hanteras med semi-empiriska korrekationer och erfarenhet, men detta saknas för den ovanliga situationen som (motor)seglande fartyg utgör.

Utgångspunkten för detta projekt var att utveckla kunskap och verktyg för att kunna analysera och designa ett framdrivningssystem som kan fungera väl under dessa stora variationer i operation. Kongsberg har sett ett stort behov av att kunna svara på flera av dessa frågor i kundrelaterade projekt och flera av frågorna har lyfts fram också av RISE/SSPA i diskussioner med dem.

En grundtanke har varit att detta arbete måste utföras i fullskala, effekterna från vindpropulsionen på det marina framdriftssystemet antogs ha potentiellt annan karaktär i modellskala och då ge missvisande guidning i designarbetet; denna tanke visade sig i slutändan vara korrekt. CFD, datorsimuleringstekniker för strömningsproblem, är idag tillräckligt tillförlitligt för motståndsberäkningar i modellskala men det finns osäkerhet kring laminära effekter i modellskala och hur tillförlitligheten är i fullskala. En stor del av arbete kom därför att handla om dessa frågor. Bland annat har en internationell öppen workshop organiserats kring motståndsberäkningar i fullskala med stort intresse från en stor mängd aktörer; närmre 50 olika organisationer från hela världen har skickat in resultat.

Med den förbättrade kunskapen kring hur CFD-verktygen ska användas för rimligt tillförlitliga resultat i fullskala har flera av de olika frågeställningar som nämnts ovan studerats. Detta inkluderar skaleffekter för propellern för både en standarddesign och en som anpassats för de lättare laster som förväntas för motorseglande fartyg. Dessa propellrar har också studerats i snedanströmning. Slutligen har ett fartyg simulerats i självdrift för olika grad av vindassistans, för de bägge propellrarna och i både modell- och fullskala.

Den viktigaste slutsatsen från projektet är att analys- och designarbete måste göras i fullskala. För fartyget i självdrift ser vi olika trender i modell- och fullskala för flera viktiga kvantiteter; viktigast att nämna är effektbehovet och sidkrafter på skrov och roder.

Genomförande

Projektet har drivits som ett post-doc-projekt inom det University Technology Centre (UTC) som Kongsberg Sweden AB och Chalmers, institutionen för Mekanik och Maritima vetenskaper, driver tillsammans. Post-docen har varit anställd på Chalmers och utfört merparten av studierna, samtidigt som personal vid Kongsbergs Hydrodynamic Research Centre i Kristinehamn har deltagit och diskuterat de vetenskapliga frågorna och utfört delar av studierna. Seniora forskare vid Chalmers har också deltagit i diskussionerna. Resultat har sedan spridits via vetenskapliga artiklar och konferensdeltagande samt i interna möten på Kongsberg med brett deltagande inom företaget. Delar av arbetet har också inneburit deltagande i internationella workshops samt i organisationen av en öppen internationell workshop.

Arbetsplanen innehöll fyra steg:

- Validering och vidareutveckling av CFD-metoder för fullskaleberäkningar
- Detaljerad analys av propellerdesign för vindassisterade/-drivna fartyg
- Interaktionseffekter inom det marina propulsionssystemet för vindassisterade/-drivna fartyg
- Operation av det marina propulsionssystemet för vindassisterade/-drivna fartyg

Det visade sig att det första steget var mer krävande än förutsett vilket ledde till att mer resurser lades på detta jämfört med vad som var planerat. Alla steg har dock behandlats på något sätt inom projektet.

Arbetet har varit alltså i hög grad kretsat kring CFD-metodik (Computational Fluid Dynamics), d.v.s. hur ska man göra tillförlitliga och noggranna datorsimuleringar, för att kunna prediktera prestanda för framdrivningssystemet. Resultaten jämförts med existerande experimentella data där denna varit tillgänglig. Effekter på prestandan har sedan analyserats och diskuterats.

Utvecklingen av fullskale-CFD har involverat tre steg. Initialt studerades kraven för att kunna prediktera propellerprestanda i modell- och full-skala; dessa studier inkluderade också utmaningen att ta hänsyn till laminärströmning på propellerbladen i modellskala vilket kraftigt påverkar hur en uppskalning av resultat från modellförsök eller -beräkningar kan göras. I ett andra steg studerades tillförlitligheten i självdriftssimuleringar i fullskala. Detta genomfördes genom deltagande i det internationella samarbetsprojektet JoRes, där mätningar i på ett fartyg gjorts och CFD-resultat från flera olika organisationer har gjorts. För det tredje steget organiserade vi själva en öppen internationell workshop kring motståndsprediktioner i modell- och full-skala. Detta har tidigare inte gjorts eftersom experimentella data inte varit tillgängliga. Genom ett samarbete med RINA (Royal Institution of Naval Architects) identifierades dock en delvis bortglömd studie där detta gjordes på 1950-talet. Ett CFD-case skapades och vi bjöd in öppet att delta i att göra prediktioner för detta fall. Nära 50 organisationer över hela världen har under våren och sommaren 2024 bidragat med resultat.

En propeller för ett mindre tankfartyg valdes som studieobjekt. Det är en kommersiell design från Kongsberg gjord för en svensk redare. En variant utvecklades sedan som skulle kunna vara lämplig för vindassistans till fartyget i fråga, avsedd för lättare last (d.v.s. minskad motorframdrivning med hjälp av segel) och med mindre bladarea. Dessa bägge propellrar studerades sedan i modell- och fullskala och vid normala konditioner samt vid snedströmning (för om fartyget opereras med avdrift p.g.a. seglen).

Slutligen simulerades fartyget i självdrift med de bägge propellrarna och varierande tillskjuten framdriftskraft från tänkta segel i både modell- och fullskala.

Resultat

När det gäller metodutvecklingen för CFD-prediktioner av självdrift i fullskala är den generella slutsatsen efter projektet att detta kan göras med en precision som är ungefärligt jämförbar med framdriftsprov med fartyg, s.k. sea trials.

Uppskattningsvis menar vi med detta att man med CFD kan förvänta sig att prediktionen av effektbehovet kan ha en avvikelse på ca +/- 7%. Detta är baserat på JoRes-projektets samlade analys av ett flertal organisationers resultat. Metodiken för att nå denna precision varierar mellan CFD-kod och användare och behöver utvecklas av respektive organisation. Vissa rekommendationer finns redan hos ITTC (International Towing Tank Conference) [7] och det kan förväntas att dessa kommer att uppdateras efter JoRes. Det ska dock noteras att för prediktioner av enskilda kraftkomponenter, t.ex. roderkraft, eller strömningsfält, t.ex. inströmningen till propellern, var spridningen större. Vidare identifierades speciellt att ytråhet och ojämnheter på skrovet medför en stor osäkerhet när CFD-resultat jämförts med det riktiga fartyget; detta gäller både att karaktärisera ytråheten korrekt och komplett på fartyget som att modelleringen av detta fenomen inte är tillräckligt väl utvecklad. Det finns ännu ingen publik rapport kring dessa resultat, men JoRes kommer att göra geometrier och data öppet tillgängliga under 2025.

I fallet med ett isolerat skrov och frågan om att bestämma dess motstånd i vattnet finns vårt eget arbete dokumenterat i [6]; artikeln är under granskning och kommer förhoppningsvis att publicera under 2024. Det planeras även en samlande artikel om erfarenheterna och resultaten från den workshop som delvis genomförts inom projektet. Experimenten som använts som valideringsdata inkluderar olika ytkonditioner på skrovet i fullskala samt försök med ett flertal modeller med olika skalning. Vår CFD gjordes både i modell- och fullskala och med variation i ytråhetsmodellering. För fullskala underpredikterar vi generellt motståndet, även om resultaten är acceptabla om vi inkluderar ytråhet och tillåter det att dess position i vattnet är rörligt, s.k. free trim and sinkage. Vårt att notera är också att använder man ITTC-78-metoden för att baserat på modellförsöken som gjordes prediktera motståndet i fullskala så överpredikterar man kraftigt motståndet.

Ytterligare arbete är alltså nödvändigt framöver för att förbättra tillförlitligheten med CFD i fullskala. Det kan dock förväntas att trender och relativa studier har

högre noggrannhet, d.v.s. att man kan prediktera skillnad i prestanda mellan, säg, två olika propellrar.

Tittar vi i stället på de studier vi har gjort kring propellerberäkningar, så kan dessa delas in i två kategorier: Den första rör hur vi bäst genomför beräkningar för propellern i modell- och fullskala, precis som beskrivits ovan för fartyget. Publikationer som beskriver detta arbete i detalj är [1-4]. Den andra rör hur propellern eventuellt beter sig annorlunda för ett motorseglande fartyg; det vi tittat på här är fallet med propellern i snedströmning representerande ett fartyg med avdrift. Den publikation som beskriver detta arbete i detalj är [5].

Tillförlitligheten med CFD för propellerberäkningar och experiment visar på brister i modellskala, till skillnad från vad man anser för skrovet. Det beror på att propellern är liten och man får effekter av laminärströmning på bladet vilket förändrar kraftigt hur propellern beter sig. Dessa effekter förekommer alltså i experimenten men de modeller, s.k. transitionsmodellering, som finns för detta inom CFD är begränsade. Våra studier visar på att prediktionerna generellt förbättras om man använder transitionsmodellering i CFD:n. Noterbart är att skillnaden mellan CFD och experiment ökar kraftigt för en lättare lastad propeller, d.v.s. vid högframdrivningstal J , samt att vikten av att inkludera laminäreffekterna är ännu större då. Detta är viktigt då vindframdriften innebär just att propellern opererar lättare lastad.

För propellern i modellskala har vi även studerat hur den semi-empiriska skalningen som används i ITTC-78-metoden fungerar jämfört med CFD-beräkningar i fullskala [4]. Vi har alltså använt CFD-resultat i modellskala, gjort fullskaleprediktioner enligt ITTC-78 och sedan jämfört med CFD-resultat i fullskala. Vi kan då se att ITTC-78-metoden uppvisar brister och inte är konsistent i relation till skalfaktorn. Detta anser vi beror på att enbart skalning av friktionskrafter tas upp i ITTC-78-metoden och inte tryckkrafter. För applikationer inom motorsegling blir detta extra viktigt då vi förväntar oss mindre bladarea och relativt tjockare blad och tryckkrafterna kommer då att ha stor inverkan. Skalning enligt denna metod av resultat från modellskaleförsök kommer därför troligen att ge stora fel.

I fullskala har vi tittat på hur ytråhet påverkar våra CFD-resultat [2]. Här såg vi stora skillnader beroende på vilken typ av ytråhetsmodellering som användes i CFD:n. För en metod, med väggupplöst CFD, var effekten inte märkbar, medan om väggfunktioner användes vid modelleringen var effekten kraftig. Då det inte finns experimentella resultat vet inte vad som är korrekt, men det är rimligt att förvänta sig att resultaten borde ligga någonstans mitt emellan.

I studien kring propellern operation i snedströmning, ett fall som förväntas vara vanligt förekommande för motorseglande fartyg, noterar vi att prestanda faktiskt ökar något vid snedströmning [5]. En komplicerande faktor i analysen är att slutsatserna beror i viss grad på hur vi betraktar propellern, vilket koordinatsystem som används; alltså om vi tittar på krafter i fartygets framdrivningsriktning eller i axelns riktning. Trenderna i resultaten är desamma men magnituden påverkas. Här, som i ett par andra fall som beskrivits ovan, är skillnaderna större för en lätt

lastad propeller och alltså av relevans för fartyg med vindassistans. Skillnaderna är dock mindre i fullskala jämfört med modellskala.

Flertalet av dessa propellerstudier har gjorts både för en kommersiell propellerdesign, en lätt lastad propeller för en tanker, och för en propeller designad med vindassisterad framdrivning i åtanke. Alla slutsatser och trender som beskrivits ovan är giltiga för bägge propellrarna. Precis som trenderna generellt visat sig vara starkare för lättare lastade konditioner så är de också starkare för propellern anpassad för vindassistans.

Slutligen har en studie genomförts för ett fartyg i självdrift med varierande bidrag från ett tänkt segelsystem. Vindframdrivningen har här enbart modellerats genom att mindre propellerdragkraft har krävts för att uppnå kraftbalans vid motorsegling vid konstant fart. Studien har gjorts för fem olika konditioner upp till ca 25% bidrag till dragkraften från vindframdrivningen; i fallet med mest bidrag har effektbehovet minskat med nästan 30%. Här har vi gjort simuleringar i både modell- och fullskala för bägge propellrarna. Denna studie finns ännu inte publicerad. På grund av att fallet har kommersiellt intresse kan vi inte delge exakta geometrier eller resultat här.

För det totala effektbehovet ger den nya propellern, anpassad för vindframdrift, något bättre prestanda i alla fall då vindframdriften bidrar. Som mest fås en minskad effekt med 2,6% jämfört med standardpropellern. I drift utan vindassistans är dock effektbehovet 0,4% högre. Det finns alltså viss potential att ha en specialdesignad propeller. I övrigt finns flera viktiga slutsatser från denna studie:

- Sidokrafterna på skrovet påverkas i fullskala både av storleken av bidraget från vindframdrift och propellerdesignen. Detta är inte fallet i modellskala där vinden inte verkar påverka.
- Sidokrafterna på rodret är inte påverkade i fullskala, men i modellskala har propellerdesign en effekt.
- Vakfraktionen är opåverkad av vindframdrift i fullskala (men beror naturligt på propellerdesign) men ökar med ökad vindframdrift i modellskala.
- Sugfaktorn visar svaga och otydliga trender i fullskala, men ökar med ökad vindframdrift i modellskala.
- Den relativa rotativa verkningsgraden är i stort sett opåverkad.

Diskussion

De generella slutsatserna från projektet kan sammanfattas till

- CFD i fullskala börjar bli relativt etablerat och tillförlitligt. Det finns dock osäkerheter kring t.ex. ytråhetsmodellering. Man kan förvänta sig att

trender i hur prestanda beror på design kan predikteras, men inte absolutvärden. Mer data och studier är nödvändiga för att bättre fastställa noggrannheten.

- Propellerprestanda är svårt att prediktera med god noggrannhet med CFD, framförallt i modellskala men troligen även fullskala; i det senare fallet saknas helt valideringsdata.
- För att bestämma prestanda för ett fartyg med vindframdrift förefaller det nödvändigt att göra studierna med CFD i fullskala.

Projektet har gett värdefull kunskap kring hur vi kan förbättra designprocessen för motorseglande fartyg. Vi lyckades inte genomföra en planerad utveckling av riktlinjer för design av propellrar för dessa fall, men vi kunde se att en propeller designad för vindframdrift hade fördelar jämfört med en standarddesign, och vi har fått goda indikationer kring hur det vidare arbetet med denna fråga ska drivas.

Vidare utveckling av noggrannhet och tillförlitlighet för CFD i fullskala krävs, men är beroende av att mer data görs tillgänglig. Det finns en medveten om detta internationellt och det finns ansatser i denna riktning. Det är dock mycket komplicerat att ta fram dessa data med god noggrannhet.

Ytterligare frågor kring design och prestandaanalys för motorseglande fartyg har också klargjorts genom projektet och ytterligare forskningsprojekt finns planerade kring detta.

Publikationslista

- [1] Alves Lopes, R., Eslamdoost, A., Johansson, R., RoyChoudhury, S., & Bensow, R. (2024). A numerical study on the influence of crossflow transition on a marine propeller in open water. *Ocean Engineering*, 310. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118573>
Artikeln beskriver effekterna av att ta hänsyn eller ej till laminär-turbulent transition vid CFD för en propeller i modellskala. Olika modeller för att inkludera transitionen är studerade, vilket leder till olika resultat. Det är förväntat att dessa effekter är viktiga när man studerar propellrar för propulsion med vindassistans.
- [2] Alves Lopes, R., Eslamdoost, A., Johansson, R., Roychoudhury, S., & Bensow, R. (2024). *Numerical assessment of surface roughness on a full scale propeller*. 8th International Symposium on Marine Propulsors. Berlin, Tyskland. <https://doi.org/10.15480/882.9338>
Studier gjordes kring hur ytråhet kan inkluderas i CFD för en propeller i fullskala. Två olika implementationer jämfördes med kraftigt annorlunda resultat. Ytråhet har studerats i viss omfattning för skrovberäkningar och har där stor påverkan på resultaten, men det finns få tidigare studier för propellrar.
- [3] Alves Lopes, R., Eslamdoost, A., Johansson, R., Roychoudhury, S., & Bensow, R. (2023). *Crossflow transition modelling for a marine propeller*

at model scale. 25th Numerical Towing Tank Symposium, NuTTS 2023. Ericeira, Portugal.

Available via <https://blueoasis.pt/nutts-2023/#proceedings>

Studierna som gjordes inom ramen för denna artikel är i hög grad inkluderade och förklarade i [1]

- [4] Khraisat, Q., Alves Lopes, R., Persson, M., Vikstrom, C., & Bensow, R. (2023). *Assessing Scale Effects on a Propeller in Uniform Inflow Condition*. 25th Numerical Towing Tank Symposium, NuTTS 2023. Ericeira, Portugal.
Available via <https://blueoasis.pt/nutts-2023/#proceedings>
CFD gjordes här för en propeller i fullskala och flera olika nedskalade versioner, ner till en storlek där det gjorts modellförsök. ITTC-78 metoden användes sedan för att jämföra alla resultat i fullskala. Slutsatsen är att för denna moderna propeller med låg bladarea fungerar inte ITTC-78 metoden.
- [5] Alves Lopes, R., Eslamdoost, A., Johansson, R., RoyChoudhury, S., & Bensow, R. (2024). *Propeller characteristics in oblique flow at model-scale and full-scale*. 35th Symposium on Naval Hydrodynamics Nantes, France.
En propeller har analyserats i snedanströmning, vilket är förväntat att ske under stora delar av operation under motorsegling. Prestanda- och kraftvariationer för olika grad av snedanströmning har jämförts.
- [6] Alves Lopes, R., Eslamdoost, A., Johansson, R., RoyChoudhury, S., Hogström, P., Ponkratov, D., & Bensow, R. (2024). *Resistance Prediction using CFD at Model- and Full-Scale and Comparison with Measurements*. Under review in Ocean Engineering.
Beräkningar av motstånd för ett fartygsskrov har gjorts, i fullskala och för en serie skalmodeller, och jämfört med publicerade experimentella resultat, för motsvarande skalor. Simuleringsresultaten i fullskala underpredikterar motståndet medan att använda ITTC-78 och modellskaleresultaten överpredikterar motståndet. Problem med att ta hänsyn till ytråhet förväntas vara en av huvudanledningarna till skillnaderna, både inom CFD och för ITTC-78.

Övriga referenser

- [7] ITTC, 1978 ITTC performance prediction method. ITTC - quality system manual recommended procedures and guidelines 7.5-02-03-01.4, 2021.

Bilagor

Administrativ bilaga

Ekonomisk slutredovisning