

Trafikverket

[Adress]

Reference:

TRV 2018/76560

RAPPORT

Datum

2020-11-01

SSPA Rapportnummer:

RE40188895-01-00-A

Projektledare:

Sofia Werner

Författare

Sofia Werner

+46 (730) 729062

sofia.werner@sspa.se

Sammanfattande projektrapport för projekt

”Ytråhetens påverkan på propellerdesign och smart fartygsunderhåll
(RÅHET)”

SSPA Sweden AB



Christian Finnsgård
Avdelningschef
Research Department

SSPA Sweden AB



Sofia Werner
Ansvarig metodutveckling hydrodynamik
Research Department

SSPA Sweden AB

Huvudkontor: Box 24001, 400 22 Göteborg • Telefon: 031-772 90 00 • Fax: 031-772 91 24

Besöksadress: Chalmers Tvärgata 10, 412 58 Göteborg.

Lokalkontor: Fiskargatan 8, 116 20 Stockholm • Telefon: 031-772 90 00 • Fax: 08-31 15 43

Webb: www.sspa.se • E-post: postmaster@sspa.se • Org. nr.: SE556224191801

Revisionshistorik

Rev.	Datum	Beskrivning	Signatur
	Click or tap to enter a date.		

Sammanfattning och rekommendationer

Ett fartygs skrovyta påverkas under sin livstid av bevaxning, underhållsarbete och skador. Detta påverkar motståndet genom vattnet och därigenom bränsleförbrukningen. I denna studie demonstreras hur numerisk modellering av ytråheten kan användas för att lösa praktiska frågeställningar kring fartygsdesign och fartygsunderhåll.

Det visas att det är möjligt att med hjälp av numeriska flödesberäkningar (CFD) peka ut de områden på ett fartyg där underhållsarbete gör mest nytta. Därvid kan underhållsarbetet göras mer kostnadseffektivt vilket förväntas leda till lägre bränsleförbrukning.

Man belyser även vikten av att inkludera ytråhet i simuleringarna vid design och utvärdering av propeller och Energy Saving Device. Att designa för verklig driftförhållande förväntas leda till lägre bränsleförbrukning och högre konkurrenskraft, både för redare och underleverantörer av t.ex propellar.

Sammantaget förväntas projektet bidra till att minska sjöfartens klimatpåverkan

Kunskapsluckor rörande modellering av ytråhet i numeriska flödesberäkningar (CFD) för fartyg har uppmärksammas. Det är av stor vikt att forskningen fortsätter att studera dessa frågor och förbättrar de numeriska metoderna, för att man med tillförlitlighet ska kunna inkludera ytråhet i fartygsdesign, propellerdesign, optimering av underhållsarbete och andra tillämnningar. Detta är viktiga steg mot att minska sjöfartens energianvändning.

Innehållsförteckning

1	Inledning	3
2	Projekts aktörer och samarbetspartners	4
3	Projektresultat	5
3.1	Grundläggande utveckling av beräkningsmetodiken	5
3.2	Smart underhåll.....	6
3.3	Effekt av råhet på propeller/ESD design	7
4	Resultatspridning	10
5	Effekt	12
6	Behov av fortsatt forskning	13

1 Inledning

Projektet "Ytråhetens påverkan på propellerdesign och smart fartygsunderhåll (RÅHET)" beviljades FoI medel för sjöfartsområdet från Trafikverket (TRV 2018/76560). I denna rapport sammanfattas projektets aktiviteter, resultat och spridning.

Ett fartygs skrovyta påverkas under operation av beväxning, underhållsarbete och skador. Detta har en stark inverkan på motståndet genom vattnet och därigenom bränsleförbrukningen.

Fartygsoperatören följer kontinuerligt upp bränsleförbrukningen och kan på så sätt avgöra när fartygets yta behöver åtgärdas till exempel genom dockning.

Forskare på Chalmers och SSPA har under ett flertal år arbetat med metoder för att prediktera ytråhetens effekt på fartygsskrov med numeriska metoder (CFD). Syftet med detta projekt var att demonstrera hur numeriska metoder kan användas för att lösa praktiska frågeställningar kring fartygsdesign och operation.

Den första frågeställningen handlar om att effektivisera fartygsunderhåll genom att koncentrera dyrt och resurskrävande underhåll till de delar av fartyget där de gör mest nytta. Om underhållsarbetet kan göras mer kostnadseffektivt kan det göras oftare och därmed sparas bränsle och CO₂-utsläpp.

Den andra frågeställningen gäller design av propeller och så kallade Energy Saving Device. Det behövdes undersökas i vilken utsträckning ytråheten påverkar inströmningen till propellern och hur det i sin tur påverkar propellerns verkningsgrad och varvatal. Om denna påverkan är väsentlig bör det tas i beaktan vid design vilket inte är rådande praxis.

Båda frågorna syftar till att sänka fartygens bränsleförbrukning, vilket ger mer hållbar sjöfart och högre konkurrenskraft både för redare och propellerdesigners.

2 Projekts aktörer och samarbetspartners

Projektet har utförts av SSPA Sweden AB: Dr Sofia Werner (projektledare), Dr Keunjae Kim och Michael Leer Andersen, och Chalmers tekniska högskola, avdelningen för Marin Teknik: Professor Rickard Bensow och doktorand Jennie Andersson.

Flowtech International som utvecklar CFD-koden Shipflow anlätades för att implementera metoder för ytråhet och möjlighet att dela upp fartygets yta i delar med olika ytråhet. Flowtech utförde även för egen räkning en stor forskningsinsats kring metoder för ytråhet.

Referensgruppen bestod av Stena Teknik och propellertillverkaren Kongsberg (tidigare Rolls-Royce) i Kristinehamn.

Personal från Stena Line har varit behjälplig med diskussioner kring fartygsunderhåll.

Värdefulla diskussioner och informationsutbyte har skett med deltagarna i forskningsprojektet "Hållbart fartygsunderhåll", finansierat av Trafikverket genom Lighthouse.

3 Projektresultat

3.1 Grundläggande utveckling av beräkningsmetodiken

Eftersom det är ett relativt nytt forskningsfält att studera ytråhet med CFD för fartyg så behövde projektet först genomföra grundläggande forskning och utveckling kring metodiken.

Normalt kvantifieras ytråhet för ett fartyg med värdet Average Hull Roughness (AHR), vilket mäts med ett mekaniskt instrument som dras över skrovet på ett antal positioner. I CFD-koderna sätts istället ytråheten med en parameter kallad Equivalent Sand Grain Roughness, k_s och för det mesta med tillhörande så kallade "roughness functions". Ett stort problem är att bestämma vilket värde på k_s som motsvarar en given AHR, eller en given ytbeskaffenhet i verkligheten, till exempel ytan på ett nymålat skrov, eller ett skrov med beväxning. Vidare är k_s beroende av hur ytråheten implementerats i respektive CFD-kod, så det värde som representerar en specifik yta i en kod kan motsvara en annan yta i en annan kod. Det går utmärkt att genomföra CFD-beräkningarna, men man vet inte vilket fall i verkligheten de simulerar. Värt att notera är också att denna modellering bara har validerats i fall utan ett varierande tryckfält och utan krökta ytor.

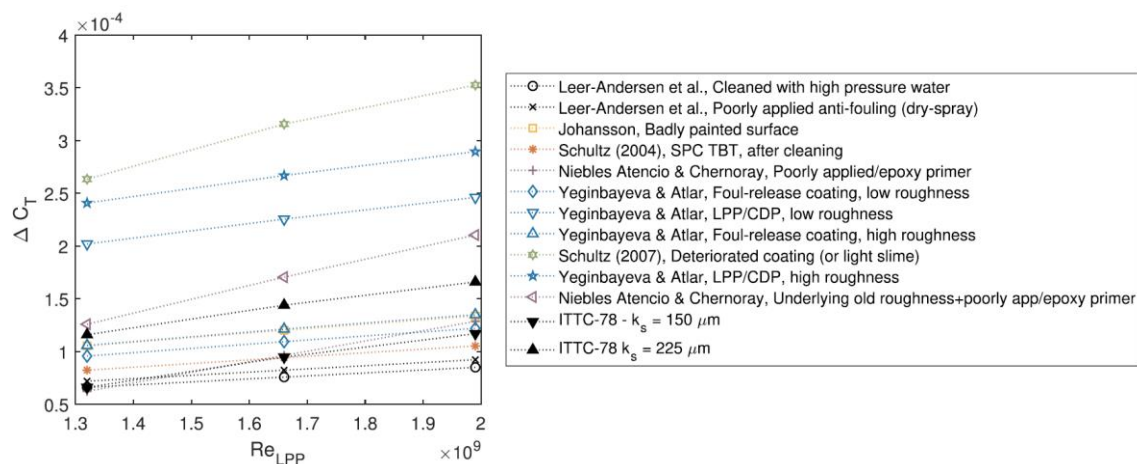
Översiktsstudie

Forskarna från Chalmers utförde en studie där de gick igenom publicerad forskning kring denna frågeställning samt utvärderade vilken effekt de olika föreslagna modellerna skulle få om de användas för en CFD-prediktering på ett fartygsskrov. Det resulterade i **Artikel A** (se Appendix och publikationslistan Tabell 1.)

Man fann en stor mängd publicerad forskning kring fartygs skrovkondition och hur beväxning och andra försämringar av skrovytan påverkar fartygets bränsleförbrukning. Det verkar dock inte finnas någon konsensus om *hur* man modellerar detta med CFD. Studien visade att en mängd olika strategier används både för beräkningar och för experimentella studier av ytråhet. Figur 1 visar att den predikterade motståndökningen med de olika modellerna kan skilja sig med flera hundra procent.

Det konkluderades att för att korrekt kunna modellera ytråhet med CFD krävs mer detaljerad beskrivning av ytans egenskaper än den endimensionella parametern AHR, t.ex. hur skrovligheten ser ut.

För att förbättra kunskapsläget rekommenderar forskarna att enhetliga metoder för experiment och karakterisering av ytråhet tas fram, samt att detaljerade flödesmätningar i fullskala utförs.



Figur 1 Ökat motstånd på grund av dåligt underhållsarbete eller färgskador för ett tankfartyg predikerat med olika modeller från litteraturen. (Andersson et.al 2020)

Experimentell studie

I det tidigare projektet "Skin Friction Database" finansierat av Energimyndigheten utfördes under 2018 modellförsök med en 7 meter lång platta i SSPA:s släpränna. På plattan applicerades olika typer av ytråhet som sjögräs, havstulpaner och typisk fartygsfärg av olika kvalitet. Dessa modellförsöksmätningar användes i det nuvarande projektet för att försöka kalibrera k_s i CFD-beräkningarna.

Detta tillvägagångssätt, och alla andra publicerade modeller för ytråhet inom sjöfart, utgår från att ytråhetens effekt kan approximeras som ett tvådimensionellt flöde (plan yta) och att man därför kan använda plattor för att ta fram k_s och tillhörande så kallade roughness functions. För att undersöka detta antagande genomfördes ett nytt experiment inom detta projekt. Skrovlig färg applicerades både på test-plattan och på en 7 meter lång fartygsmodell. Detta gav dock ingen confirmation av antagandet. Det kan betyda att grundantagandet inte håller, det vill säga att ytråhetens effekt är påverkade av skrovets kurvatur, men det kan också vara något annat problem med testmetodiken, skaleffekter eller annat. Modellförsöken är dokumenterade i SSPA rapport RE40188895-02 och resultaten diskuteras i **Artikel C**.

Projektets metodval

De två inledande studierna visar tydligt att det alltså råder stora kunskapsluckor kring CFD-modelleringen av ytråhet för fartyg. Projektet valde ändå att fortsätta med de tillämpade frågeställningarna, medvetna om metodernas osäkerhet.

Som en temporär lösning användes publicerade data för ytråhetens effekt på ett fartygs motstånd från en studie av ett fartyg i drift. Denna information användes för att uppskatta hur k_s kan sättas i CFD-beräkningarna för att representera vissa nivåer av ytråhet. Denna procedur beskrivs i **Artikel B** och **C**. Det skall dock betonas att det inte är en noggrann lösning och att mer forskning behövs på området. Detta diskuteras i kapitel 6.

3.2 Smart underhåll

Den första praktiska frågeställningen som projektet studerat handlar om skrovunderhåll. Alla fartyg i operation genomgår regelbundet underhåll av skrovytan. Det genomförs som regel i en torr-docka och då rengörs skrovet från beväxning innan ny bottenfärg appliceras. I vissa fall avlägsnas det gamla

färglagret med sandblästring, antingen över hela skrovet (full-blast) eller fläckvis (spot-blast). Ett annat alternativ är att utföra lättare rengöring av skrovytan medan fartyget ligger i vattnet med hjälp av dykare eller undervattensrobotar.

Underhållsarbetet och bottenfärgen utgör en stor kostnad för fartygsoperatören men är samtidigt ett av de absolut viktigaste medlen att begränsa bränsleförbrukningen och därmed utsläppen av CO₂. I denna del av projektet ville man titta på möjligheten att göra underhållsarbetet mer kostnadseffektivt för att därigenom åstadkomma en större CO₂-utsläppsbesparing för samma ekonomiska utgift.

Arbetet redovisas i **Artikel B**. Fem fartygsskrov som representerar av olika typer av lastfartyg används som exempel. Fartygens yta delas upp i två områden med olika ytråhet. Områdenas storlek och placering varierar på en rad kombinationer. De scenarier som exemplifieras är dels torrdockning och dels rengöring i vattnet ("under-water hull cleaning"). En operatör skulle till exempel kunna investera i dyrare bottenfärg eller utföra helblästring på vissa delar av skrovet och nöja sig med billigare färg eller lokal blästring på resten av skrovet. Vid rengöring i vattnet med dykare är kostnaderna direkt i proportion till antal kvadratmeter som rengörs, och arbetet utförs ofta under tidspress vid hamnuppehåll. Det är uppenbart att det vore stor fördel om man visste vilka områden på fartyget som skall behandlas först.

I artikeln formuleras en nya prestandaindikator: Cleaning Efficiency Index, som anger relativ bränslebesparing per ytenhet. Resultaten visar, vilket var tidigare känt, att förskeppet och akterskeppet är viktigast att behandla. Att bara behandla förskeppet ger högst index, efterföljt av både förskepp och akterskepp, och efter det endast akterskepp. Det visar sig också att det är mer effektivt att behandla de vertikala sidorna av skrovet än botten, vilket inte var känt.

Resultaten får verklig nytta först när de kan kopplas till kostnader. Utgifterna för underhållsarbete måste balanseras mot bränsleförbrukning under den efterföljande driftperioden. För att kunna göra denna avvägning behövs en uppskattning av skillnaden i bränsleförbrukningen mellan olika scenarier tillsammans med kostnader för underhållsarbetet per ytenhet.

Resultaten för en sådan beräkning är helt beroende av bränslepris, fartygsmaskinens bränsleeffektivitet, och kostnader för underhållsarbete, vilket naturligtvis skiljer stort runt om i världen. I artikeln redovisas en beräkningsprocess och ett uträknat exempel.

Slutsatsen av denna delstudie är att det är möjligt att utföra beräkningar som vägleder fartygsoperatörer att utföra det mest effektiva och miljöbesparande underhållet.

3.3 Effekt av råhet på propeller/ESD design

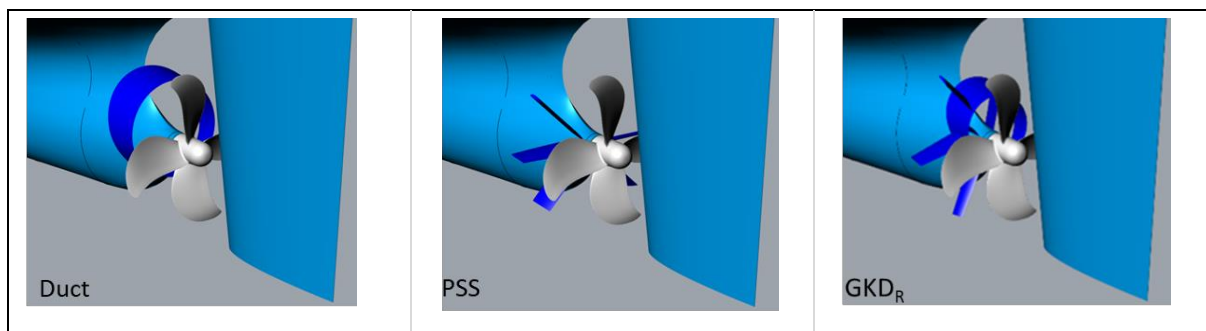
Den andra praktiska frågeställning som projektet behandlar rör design av propeller och s.k. Energy Saving Device (ESD). (En ESD är exempelvis stator-blad eller en dysa som placeras framför propellern med syfte att reducera bränsleförbrukningen.) Nuvarande praxis när propellar och ESD designas är att anpassa designen till den strömning som råder bakom det aktuella fartygsskrovet. Vanligtvis görs detta baserat på modellförsök, och i bästa fall uppskattar man empiriskt eller med CFD hur strömningen kommer att se ut i fullskala. Hittills har CFD-beräkningarna ofta utgått från att skrovet är hydrauliskt glatt, dvs jämnare än det någonsin kommer att vara ens i nyskick. Med ett skrov som är skrovligt på grund av bevaxning och ommålning blir inströmningen till propellern annorlunda. Det är rimligen denna kondition som propellern bör optimeras för. En förändrad strömbild kan också påverka varvtalet. Möjligtvis antar man en felaktig varvtalsmarginal, vilket påverkar layout på huvudmaskinen och man riskerar att maskinen arbetar i sub-optimalt driftområde.

För att undersöka ytråhetens inverkan på propeller och ESD-design utfördes omfattande CFD-beräkningar och designarbete för ett typiskt tankfartyg. Arbetet redovisas i **Artikel C** och **D**.

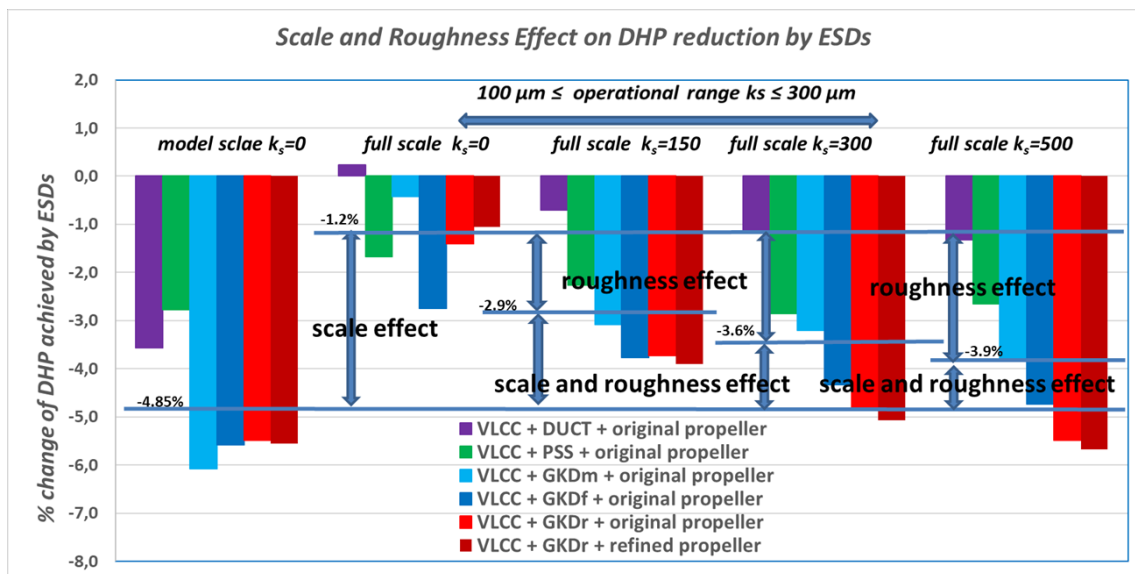
Resultaten visar att skrovets ytråhet inte bara påverkar motståndet utan även propulsionsverkningsgraden och varvalet. Tidigare har man mest kopplat ytråheten till ökning av motståndet, vilket man kan uppskatta och lägga på som en korrektion på den uppskattade effektförbrukningen. Resultatet visar vikten av att inkludera ytråheten i flödesberäkningarna för att korrekt simulera det förhållande som propellern arbetar i.

För att visa effekten av att ytråhet inkluderas i designprocessen, designades en propeller och tre olika generiska ESD:s till exempelfartyget (Figur 2). En av dem, GKD, designades först för att vara optimala i modellskala, dvs det skalförhållande som används i släprännor (testanläggningar för fartygsdesign). Därefter optimerades designen för fullskala, men utan ytråhet. Till sist togs även ytråheten med i designen. Detsamma gjordes för propellern. Resultatet visade tydligt att designen ändras både för propeller och för ESD:n när ytråhet tas i beaktan.

Som ett extra resultat visas också hur skaleffekt och ytråhet samspelar och hur det påverkar prognosen av energivinsterna, vilket tidigare inte visats så tydligt. Figur 3 sammanfattar detta: I modellskala predikteras stora bränslebesparingar för de olika ESD:erna. Detta är vad man skulle se vid experiment i släpränna. Utförs predikteringen i fullskala men utan att ytråheten tas med, försvinner det mesta av den positiva effekten. Dessa skaleffekter har påpekats av experter i branschen de senaste åren. Men utförs beräkningarna *med* ytråhet, försvinner en del av skaleffekterna. Man kan också se att både skaleffekterna och effekten av ytråheten slår olika för de olika typerna av ESD. Detta påvisar vikten av att utföra riktade beräkningar för varje enskilt fall, i fullskala och *med* ytråhet.



Figur 2 Tre typer av Energy Saving Devices som undersöks i studien: dya (duct), stator-blad (PSS) och den generiska som är designad i studien



Figur 3 Predikterad bränslebesparing för olika typer av Energy Saving Devices.

4 Resultatspridning

Publikationerna i projektet listas i tabellen nedan:

Tabell 1 Publikationer inom projektet

No	Titel	Författare	Publikation
A	Review and comparison of methods to model ship hull roughness	Jennie Andersson ^a , Dinis Reis Oliveira ^a , Irma Yeginbayeva ^b , Michael Leer-Andersen ^c , Rickard E. Bensow ^a ^a Chalmers University of Technology, Department of Mechanics and Maritime Sciences ^b Jotun A/S, Norway ^c SSPA Sweden AB,	Applied Ocean Research 99 (2020) https://doi.org/10.1016/j.apor.2020.102119
B	A Numerical Study on Efficient Maintenance of Ship Hulls	Keunjae Kim ^a , Michael Leer-Andersen ^a , Sofia Werner ^a ^a SSPA Sweden AB	Ännu inte publicerad
C	Roughness Effects on Ship Design and Operation	Keunjae Kim ^a , Michael Leer-Andersen ^a , Sofia Werner ^a ^a SSPA Sweden AB	The 14th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS) 22-26 September, 2019, Yokohama, Japan
D	Hydrodynamic Design of Propulsion Devices taking into account Full Scale Roughness Effects	Keunjae Kim ^a , Michael Leer-Andersen ^a , Sofia Werner ^a ^a SSPA Sweden AB	33rd Symposium on Naval Hydrodynamics (SNH) Online, October, 2020
E	Model test of roughhull and plate	Sofia Werner ^a ^a SSPA Sweden AB	SSPA rapport RE40188895-02

Utöver dessa publikationer planeras två enklare artiklar för SSPA's kundmagasin Highlights under 2021: en artikel om ytråhetens effekt på propellerdesign och en artikel om smart underhåll. SSPA Highlights når över 600 personer och företag i branschen både i Sverige och internationellt.

Artikel A är publicerad i Applied Ocean Research vilket en mycket ansedd och högt rankad vetenskaplig tidskrift med peer review. Mottagare är främst andra forskare och utvecklare av beräkningsmetoder, som har stor nytta av att se denna sammanställning av en väldigt fragmentarisk och splittrad "best-practice". Förhoppningsvis triggas det fortsatta studier och mer samordning av utvecklingen. Indirekt är kännedomen om denna brist på säkra metoder även viktig för designers, tillverkare och varv, då de påverkas av och använder metoderna på brukarnivå.

Artikel B är inte publicerad ännu. Den planeras att skickas till en lämplig konferens där främst fartygsoperatörer och redare deltar. (På grund av rådande omständigheter med inställda konferenser har projektet ännu inte bestämt vilken konferens det blir.) Projektet vill med denna artikel visa fartygsoperatörer och redare att det är möjligt att optimera fartygsunderhåll med hänsyn till kostnadseffektivitet.

Artikel C är granskad med peer-review och presenterades på PRADS 2019. Det är en ansedd konferens där både varv, fartygsdesigners och forskare deltar.

Artikel D är även den peer-review granskad och presenterades på ONR online konferens. Vid ONR deltar främst forskare och utvecklare inom marin hydrodynamik, till exempel utvecklare av mjukvara för CFD-beräkningar. Med artikel C och D har projektet spridit både grundläggande ny kunskap och praktiska aspekter till designers såväl som till forskare och utvecklare.

Seminarier och work shop's med industrin har på grund av pandemin inte varit möjliga i den utsträckning som varit önskvärt, både för att fysiska möte inte varit möjligt men också för att industripartnernas personal delvis varit tillgänglig och haft svårt att prioritera detta ämne. Projektet har dock haft mindre möten och dialog med Stena Teknik, Stena Line och Kongsberg.

Projektets projektledare är medlem av Specialist Committee for Combined CFD/EFD Methods” under ITTC (International Towing Tank Committee). Resultaten har presenterats för kommitteen, som består av 10 hydrodynamiker från 7 länder. Projektets konklusioner kommer att inkluderas i kommittens slutrapport 2021, vilken når alla organisationer med modelltestanläggning världen över.

5 Effekter

Projektets förväntade effekter kan sammanfattas i tre punkter:

- 1) Projektet har påvisat stora kunskapsluckorna och brist på enhetliga metoder för att prediktera ytråhet på fartyg. Detta förväntas leda till att branschen inte nöjer sig med existerande metoder, och att fortsatt forskning på området initieras och finansieras.
- 2) Projektet har visat att det är möjligt att genom CFD-beräkningar vägleda fartygsoperatörer att utföra fartygsunderhåll på de områden där det gör mest nytta och därvid göra underhållet mer kostnadseffektivt. Det bör leda till lägre bränsleförbrukning och mer hållbar sjöfart.
- 3) Projektet har belyst vikten av att inkludera ytråhet i simuleringarna vid design och utvärdering av propeller och Energy Saving Device. Att designa för verklig driftförhållande förväntas leda till lägre bränsleförbrukning och högre konkurrenskraft, både för redare och underleverantörer av t.ex propellrar.

Sammantaget förväntas projektet bidra till att minska sjöfartens klimatpåverkan.

6 Behov av fortsatt forskning

I projektet planerades att även studera effekten av ytråhet på propellerkavitation. På grund av att beräkningsmetoderna visade sig vara längre från mogna metoder än förväntat tog det inledande arbetet med metodutvecklingen längre tid än planerat. Man valde i projektet att inte studera kavitation. Detta ämne är inte oviktigt och bör studeras vidare.

Projektet uppmärksammande stora kunskapsluckor kring modellering av ytråhet i numeriska flödesberäkningar (CFD) för fartyg:

- Hur skall en given yt-egenskap, exempelvis en uppmätt ytråhet eller en beskrivning av bevaxning, översättas till input i CFD-metoderna, till exempel Equivalent Sand Grain Roughness k_s ?
- Är de flödesegenskaper som tas fram med experiment eller beräkningar för plana skrovliga ytor även giltiga för kurvade ytor som på att fartygsskrov?

Det är av stor vikt att forskningen fortsätter att studera dessa frågor och förbättrar de numeriska metoderna, för att man med tillförlitlighet ska kunna inkludera ytråhet i fartygsdesign, propellerdesign, optimering av underhållsarbete och andra tillämpningar. Detta är viktiga steg mot att minska sjöfartens energianvändning.