



## Bundmalinger og svejse søms betydning for skibes friktionsmodstand

Wang, Xueting; Olsen, Stefan Møller; Martínez, Eduardo Andrés; Olsen, Kenneth Nørager ; Kiil, Søren

*Published in:*  
Dansk Kemi

*Publication date:*  
2019

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Wang, X., Olsen, S. M., Martínez, E. A., Olsen, K. N., & Kiil, S. (2019). Bundmalinger og svejse søms betydning for skibes friktionsmodstand. *Dansk Kemi*, 100(1), 20-22.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Bundmalinger og svejsesøms betydning for skibes friktionsmodstand

Ujævnheder fra sammensvejsning af sektioner og bundmalingens ruhed, forøger et skibs brændstofforbrug i de første måneder efter tørdok. Men hvad bidrager egentlig mest? Vi har forsøgt at besvare spørgsmålet ved brug af en pilotopstilling, som kan simulere forskellige typer af skibssider.

Af Xueting Wang<sup>a</sup>, Stefan Møller Olsen<sup>b</sup>, Eduardo Andres Martinez<sup>c</sup>, Kenneth Nørager Olsen<sup>d</sup> og Søren Kiil<sup>a</sup>

a: DTU Kemiteknik, b: Hempel A/S (DK), c: Hempel A/S (Spain), d: Maersk Line (DK)

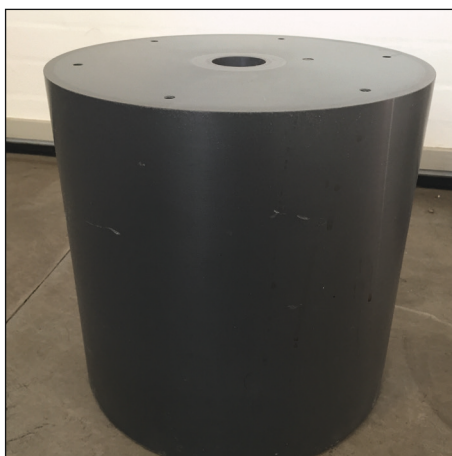
For at minimere friktionsmodstanden skal oceangående skibe have glatte skrog. Begroning er overordnet set det største problem, men så længe skibet er ubegroet, vil malingens ruhed og tilstedeværelsen af svejsesøm, fra samling af skibets sektioner, have stor betydning. Det er derfor af interesse at kvantificere de individuelle bidrag, så skibsejere og malingsproducenter kan vurdere, om det bedst kan betale sig at vælge særligt glatte bundmalinger, og/eller at reducere højden på svejsesøm. Skibs-

skrogets malede overflade er langt større end den del af overfladen, som indeholder svejsesøm (der er i gennemsnit omkring et lodretgående svejsesøm pr. 5 meter skibsside), men højden af svejsesøm måles i millimeter, hvor malingens ruhed typisk måles i mikrometer.

Formålet med indeværende arbejde har været at designe og konstruere eksperimentelt udstyr til måling af friktionsmodstand af ubegroede bundmalinger og svejsesøm.

## Fleksibel malingsrotor

Måling af friktionsmodstand (i vores tilfælde drejningsmoment) af forskellige overflader er blevet udført i pilot-skala udstyr, som vist på billedet til venstre i figur 1.



Figur 1. Til venstre: pilot-skala rotorudstyr til måling af friktionsmodstand. I midten: cylindrisk rotor udført i polyvinylklorid (uden påført bundmaling). Til højre: fleksibel rotor (af glat polyoxymethylen) med op til seks kunstige svejsesøm på den ydre overflade.



Basalt set er det en cylinder (billedet i midten af figur 1), som roteres i kunstigt havvand i umiddelbar nærhed af en koncentrisk og statisk cylinderskal. Dermed tilnærmes såkaldt Couette-flow mellem to parallelle vægge, og forskydningskraften, som etableres, er sammenlignelig med den for et oceangående skib [1,2]. Reynoldstallet for malingsrotoren er knap 60.000 for 100 RPM, svarende til en tangentialhastighed på 1,57 m/s eller 3,05 knob [3]. Flowet omkring cylinderen er derfor turbulent.

I forsøgsserien blev fire bundmalinger påført hver sin cylinder, og drejningsmomentet målt for hver af dem. Derudover fik vi fremstillet en fleksibel rotor (uden maling) til simulering af svejsetsøm på en skibsside, se billedet til højre i figur 1. Højde og diameter af den cylinder er henholdsvis 31 og 30 cm. Efter specifikation fra Maersk blev de kunstige svejsetsøm konstrueret med en bredde på 15 mm og højder på henholdsvis 0, 3, 5 og 9 mm. Cylinderen kan udstyres med 0, 2, 4, 6 eller 8, jævnt fordelte svejsetsøm (af balanceringshensyn kan kun et lige antal anvendes). Det svarer til en "densitet" på 0, 10, 20, 30 og 40 svejsetsøm pr. 5 meter skibsside. Bortset fra 0-værdien er det langt højere densiteter end på siden af rigtige skibe, hvor der i gennemsnit er et lodret svejsetsøm for ca. hver 5 m skibsside, men som det vil blive diskuteret nedenfor, så er det muligt at interpolere i forsøgsdata, og dermed finde den relevante fuldskalaværdi for friktionskraften.

Det er antaget, at de noget irregulære svejsetsøm man finder på rigtige skibe, kan approksimeres med den buede form som ses i figur 1 (højre billede). Endvidere har vi antaget, at svejsetsømmene ikke påvirker hinanden, og at den cylindriske geometri (relativt til en flad skibsside) ikke påvirker friktionsmodstanden. Detaljer og overvejelser om antagelserne er diskuteret i [3].

### Malingerne

Fire kommercielle bundmalinger, tabel 1, blev anvendt i undersøgelsen. Hempaguard X7 er en såkaldt ikke-polerende glat og elastisk maling baseret på silikonebinder, og med en ganske lille mængde aktiv pigmentbiocid (kobber pyrithione). De andre tre typer er traditionelle biocidholdige og polerende bundmalinger, baseret på akrylbinder og harpiks-derivater.

Yderligere detaljer om malingerne og deres påføring og hærkning kan findes i [3].

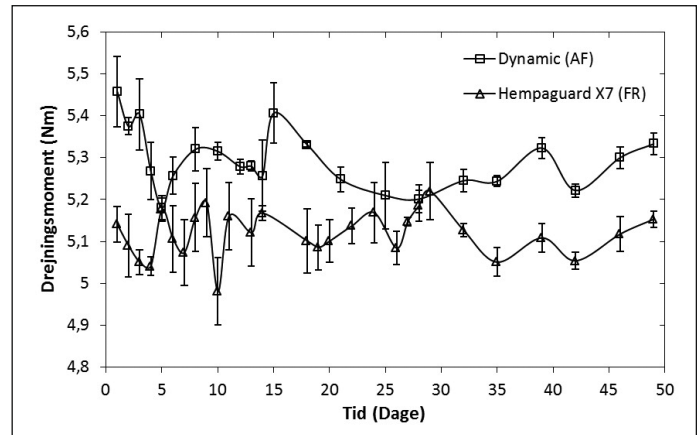
Hempaguard X7 89900 (silicone)
Antifouling Dynamic 79580 (akryl)
Antifouling Globic 9000 78900 (akryl)
Antifouling Olympic+ 72900 (akryl)

Tabel 1. Bundmalinger anvendt i friktionsstudiet. Alle er produkter fra malingsproducenten Hempel A/S.

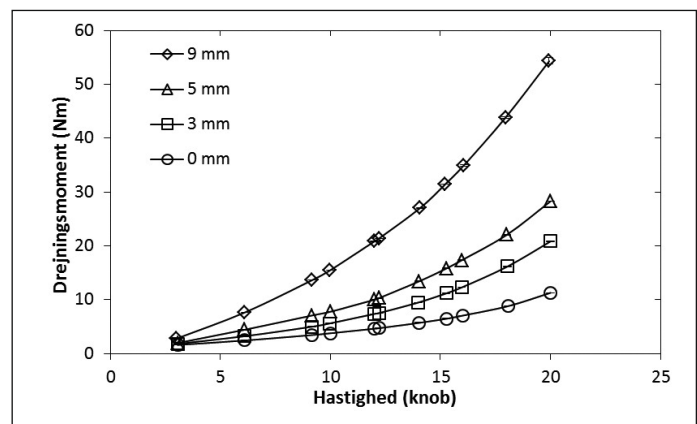
For at sammenligne malingernes bidrag til friktion udførte vi forsøg med neddykning i havvand. Udvalgte resultater er vist i figur 2. Det ses, at Hempaguard X7 bevirker et mindre drejningsmoment end Dynamic og at gennemsnitsværdien af Hempaguard over tid (5,1 mN) er omkring 5,6 procent mindre end det for Dynamic (5,4 mN) ved en hastighed på 12 knob. Nypåførte fouling release (silikone) malinger giver altså mindre friktion end klassisk antifoulingmaling.

### Forsøg med svejsetsøm

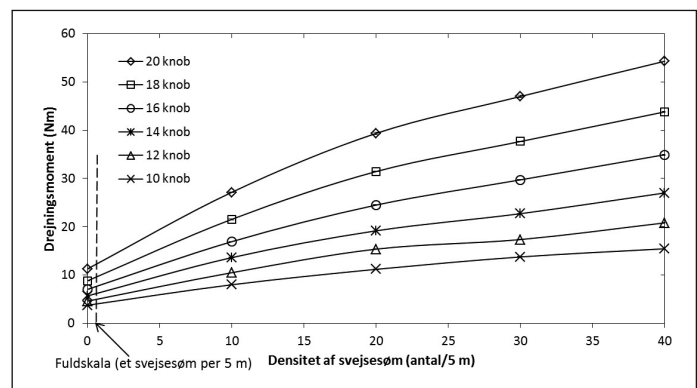
I figur 3 er vist, hvordan højden af svejsetsøm og tangentialhastighed af den roterende cylinder påvirker det målte drejningsmoment. Det ses, at begge parametre har indflydelse; jo højere



Figur 2. Det gennemsnitlige drejningsmoment over tid for nypåførte malinger af typen Hempaguard X7 og Dynamic. Vandtemperaturen var 20°C og den tangentielle rotorhastighed 400 RPM (omkring 12 knob). AF = antifouling og FR = fouling release er typeangivelser for malingerne. Figuren er gengivet på dansk fra [3].



Figur 3. Målte drejningsmomenter for forskellige højder (0, 3, 5, 9 mm) af otte svejsetsøm som funktion af tangentialhastighed af den roterende cylinder. Gengivet på dansk fra [3].



Figur 4. Målte drejningsmomenter for en cylinder med 9 mm høje svejsetsøm ved forskellige rotationshastigheder som funktion af "densitet" af svejsetsøm. Den stiplede linje indikerer, hvor svejsetsømsdensiteten er et enkelt svejsetsøm pr. 5 meter, svarende til en typisk fuldskala værdi (virkelig skibsside). Gengivet på dansk fra [3].

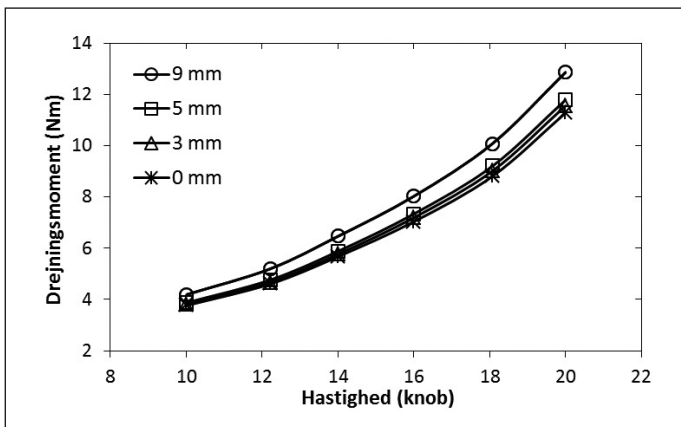
svejsetsøm og hastighed, jo højere drejningsmoment. Lignende resultater blev opnået for andre densiteter af svejsetsøm (ikke vist).

Som det ses i figur 4, stiger drejningsmomentet mest med flere svejsetsøm, når densiteten ligger imellem 0 og 20 svejsetsøm pr. 5 meter. Det kan forklares med, at svejsetsøm interagerer

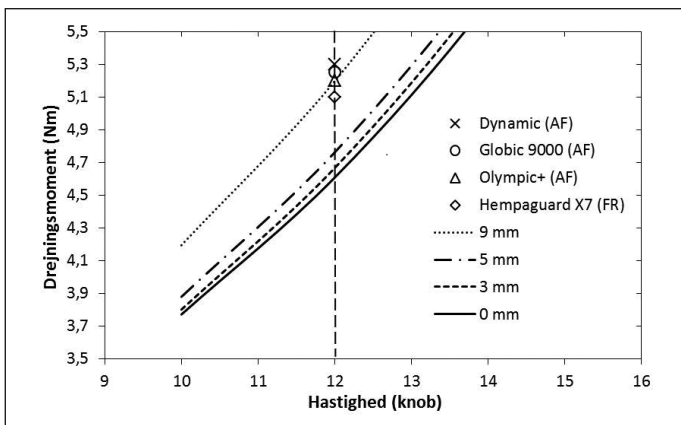
med hinanden ved høje densiteter; for 9 mm svejssesøm opstår en tydelig "shielding effect", hvor hvert svejssesøm påvirker bagvedliggende svejssesøm. For en højde på 3 mm svækkes denne effekt betydeligt (kun vist i [3]).

Ved anvendelse af interpolation og en antagelse om en lineær kurve imellem 0 og 10 svejssesøm pr. 5 meter, var det muligt at opnå et groft estimat af "fuldskala" værdier som indikeret i figur 4, hvor den lodrette stiplede linje skærer de forskellige kurver.

Vi gentog øvelsen for højder af svejssesøm på 3 og 5 mm, og de interpolerede data er vist i figur 5. Konklusion er klar; for svejssesøm under 5 mm er effekten af højden betydeligt reduceret sammenlignet med svejssesøm på 9 mm. Reduceres højden fra 9 til 5 mm falder drejningsmomentet med 8,4 procent ved en hastighed på 20 knob.



Figur 5. Interpolerede værdier for drejningsmoment af forskellige højder af svejssesøm ved fuldskala betingelser (et svejssesøm pr. 5 meter skibsside) som funktion af tangentialhastighed af roterende cylinder. Gengivet på dansk fra [3].



Figur 6. Sammenligning af drejningsmomenter for forskellige højder af svejssesøm ved repræsentativ fuldskala svejssesømsdensitet og for fire bundmalinger (i fravær af svejssesøm). Den stiplede linje angiver hvor sammenligningen er foretaget. AF = antifouling og FR = fouling release er typeangivelser for malingerne. Gengivet på dansk fra [3].

## Sammenligning af svejssesøm og bundmalinger

I figur 6 er vist, hvordan svejssesøm og bundmalinger påvirker drejningsmomentet af den roterende cylinder. Malingerne er kun målt ved 12 knob. Det ses, at drejningsmomentet for alle bemalede cylindre er højere end for de glatte cylindre med 5 mm svejssesøm. For 9 mm svejssesøm er det kun Hempaguard X7, som giver anledning til et lavere drejningsmoment. Tager man derfor i betragtning, at svejssesøm normalt ikke er over 5 mm (såfremt European Shipyard Standard følges), kan det kon-

kluderes, at bundmalingerne bidrager relativt mere til friktion end svejssesøm; en konsekvens af de store bemalede overflader.

## Økonomisk overvejelse

Beregninger fra virksomheden Hempels interne simuleringssoftware, baseret på input fra forskningsarbejdet, har vist, at en reduktion i højden af svejssesøm fra 9 til 5 mm (som ovenfor gav en reduktion i drejningsmoment på 8,4 procent), kan lede til en brændstofbesparelse på knap tre procent, afhængig af skibstype.

## Konklusion

Bundmalinger og svejssesøm bidrager begge til friktion af oceangående skibe. Et pilotanlæg, som kan kvantificere den relative betydning af de to bidrag, er designet og konstrueret. Målingerne viste, at så længe svejssesøm er under 5 mm høje, giver de ikke anledning til nævneværdig friktionsmodstand sammenlignet med bidraget fra bemalede overflader. Er de højere end 5 mm, kan det være en idé at slibe dem ned. På grund af deres store overflade giver bundmalingerne det største bidrag, og glatte silikonemalinger er at foretrække, fremfor traditionelle biocidholdige antifoulingmalinger. Det er dog vigtigt at bemærke, at konklusionerne fra arbejdet kun gælder for ubegroede overflader.

For en uddybende beskrivelse af emnet henvises til nedenstående referencer.

## Sponsorer

Tak til partnerskabet inden for Blue INNOship og økonomisk støtte fra Danmarks Innovationsfond, Den Danske Maritime Fond, A.P. Møller Maersk A/S og Hempel A/S.

E-mail:

Lektor Søren Kiil: sk@kt.dtu.dk

## Referencer

1. A. Lindholdt, K. Dam-Johansen, S.M. Olsen, D.M. Yebra, S. Kiil (2015) Effects of biofouling development on drag forces of hull coatings for ocean-going ships: a review, *J. Coat. Technol. Res.*, 12 (3) 415-444.
2. A. Lindholdt, K. Dam-Johansen, S.M. Olsen, D.M. Yebra, S. Kiil (2015) Estimation of long term drag performance of fouling control coatings using an ocean-placed raft with multiple rotors, *J. Coat. Technol. Res.*, 12 (6) 975-995.
3. X.T. Wang, S.M. Olsen, E.A. Martinez, K.N. Olsen, S. Kiil (2018) Drag resistance of ship hulls: effects of surface roughness of newly applied fouling control coatings, coating water absorption, and welding seams, *J. Coat. Technol. Res.*, 15, 657-669.