

## Måling af bundmalingers friktionsmodstand

**Kiil, Søren; Dam-Johansen, Kim; Olsen, Stefan Møller**

*Published in:*  
Dansk Kemi

*Publication date:*  
2017

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

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Kiil, S., Dam-Johansen, K., & Olsen, S. M. (2017). Måling af bundmalingers friktionsmodstand. Dansk Kemi, 98(3), 20-22.

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

### 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.

# Måling af bundmalingers friktionsmodstand

Bundmalinger anvendes på skibsbunde for at undgå begroning, som øger friktionsmodstanden, og dermed brændstofforbruget, når skibet sejler. Malingerne kan enten være så glatte og elastiske, at begroningen "vaskes af", når skibet sejler eller malingen kan afgive aktive stoffer, der afskrækker eller dræber begroningsorganismerne. Men hvilken maling giver mindst friktion set over hele skibets levetid?

Af Søren Kiil<sup>a</sup>, Kim Dam-Johansen<sup>a</sup> og Stefan Møller Olsen<sup>b</sup>  
a) DTU Kemiteknik, b) Hempel A/S

Skibsbunde uden beskyttelse bliver begroet af dyre- og planteorganismer som vist i figur 1. Det er uønsket, idet begroningen resulterer i en større gnidningsmodstand, og dermed et forhøjet brændstofforbrug for fartøjet (eller lavere fart for et sejlskib). Store oceangående skibe vil udlede større mængder af sure gasser (SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>) og drivhusgassen CO<sub>2</sub>. Derudover er der omkostninger til genbemaling og tabt fortjeneste, når et skib ligger stille i tørdok for at få fjernet begroningen.

Til beskyttelse mod begroning anvendes typisk en bundmaling. Den mest udbredte (over 90% af de store skibe) afgiver aktive stoffer, der afskrækker eller dræber begroningen. Men også malinger, der er så glatte og elastiske, at begroningen ikke kan holde sig fast, når skibet sejler, finder stadig større anvendelse (7-10% af de store skibe).

Mange undersøgelser af, hvordan forskellige bundmalinger påvirker "trækket" (friktionen) på et skib eller en model af et skib er igennem årene udført [1]. Fælles for studierne er, at de udføres på "friske" malinger, inden begroning kan registreres. Det betyder, at målingerne kun er relevante for en meget lille del af den samlede levetid (tre-fem år) af en bundmaling. Man kan indvende, at der vel ikke findes nogen begroning på en velfungerende bundmaling, men det gør der. Der vil som



Figur 1. Inspektion af begroning på en skibsside [4].

minimum være et tyndt slimet algelag, og når malingen har siddet på skibet i måneder eller år, vil der pletvis begynde at optræde begroingsorganismer. Omfanget afhænger naturligvis af malingstype, geografisk sejlområde og skibets sejlmønster (især hastighed er vigtig).

Formålet med indeværende arbejde har været at designe og konstruere nyt eksperimentelt udstyr til måling af friktionsmodstanden af bundmalinger, inklusiv eventuel begroning over tid. Det var håbet ved projektets start, at det vil give et mere realistisk billede af, hvor effektive malingerne er over en større del af malingernes levetid. Detaljer fra forskningen kan findes i Asger Lindholdts ph.d.-afhandling [2] og to artikler, der er publiceret fra afhandlingen [1,3].

## Hvordan skal apparatet se ud?

Ved projektets start traf det sig så heldigt, at DTU kort forinden var fusioneret med Risø. Det betød, at DTU Kemiteknik fik adgang til havvand på det nydannede Risø Campus, og at vi derfor kunne anbringe en eksponeringsstation i Roskilde Fjord. Godt nok er saltindholdet kun 1.2 vægt % (mod 3.5 vægt % i de store oceaner), og det er ikke tropiske stilstande, men der er stadig masser af begroning i sommerperioden i form af f.eks. alger, rurer, og muslinger.

Vi besluttede at simulere en sejlede skibsside med en roterende cylinder som de to, der er vist i figur 2. Hver cylinder blev malet med en udvalgt bundmaling og en "tømmerflåde" bygget til at håndtere i alt fire cylindere og deres medfølgende motorer, se figur 3.

Målingen af, hvor meget friktion hver cylinder (rotor) gav anledning til, foregik hver uge på et nærliggende laboratorium, hvor apparatet, vist i figur 4, side 22, blev anvendt. Malingstromlerne neddyppes i havvand en ad gangen, og de kan drejes rundt med forskellige hastigheder samtidig med, at drejningsmomentet måles. Jo højere drejningsmoment, jo større friktionsmodstand. Først måles fra lav til høj hastighed og derefter fra høj til lav for at kortlægge en eventuel hystereseffekt (det vil sige, om begroningen vaskes af). Tromlerne blev flyttet frem og tilbage imellem eksponerings- og måleopstilling i en beholder med havvand, så begroningen ikke tørrede ud. En kraftmomentmåling direkte på havrotorerne blev overvejet, men der viste sig at være for mange praktiske problemer med det, og ideen blev opgivet.

Grundet cylinderens krumning svarer betingelserne ikke helt til en skibsside, men krumningen betyder næppe noget for



Figur 2. Rotortromler med bundmaling. Billedet viser to forskellige slags bundmaling, efter de har været eksponeret i godt 50 uger i Roskilde Fjord. Det ses tydeligt, at malingen til højre (silicone-baseret slip-let maling med en lille mængde biocid) er væsentligt mindre begroet end malingen til venstre (fluor-baseret slip-let maling uden biocid). Fra [3].

begroingen, og da vi fra tidligere studier ved, hvilken værdi forskydningsspænding (beregnet fra kraftmomentet) i måleparatet svarer til på en skibsside, er det muligt at "opskalere" målingerne.

### Eksponering over to sæsoner

For at opnå så realistiske betingelser som muligt anvendtes en cyklus med to ugers statisk neddykning efterfulgt af tre ugers dynamisk operation (8.1 knob), svarende til sejlmønstret af en såkaldt bulk carrier. Cyklusen blev anvendt med de samme ▶



Figur 3. Forskningsstation (tømmerflåde) i Roskilde Fjord med fire neddyppede malingscylindere (to af dem kan skimtes med deres røde farve under vandet). Hver cylinder har sin egen motor. Efter [3].





5 grunde til at kigge efter VPO-mærket, når du vælger varmepumpeinstallatør:

## Nr.2

# En VPO-installatør er en del af Danmarks stærkeste professionelle netværk af varmepumpe-specialister

Varmepumpeordningen har sekretariat ved Teknologisk Institut og uddanner danske installatører af varmepumper, så du som husejer kan føle dig tryk og sikker i dit valg.

Læs alle fem gode grunde på [www.vpo5.dk](http://www.vpo5.dk)

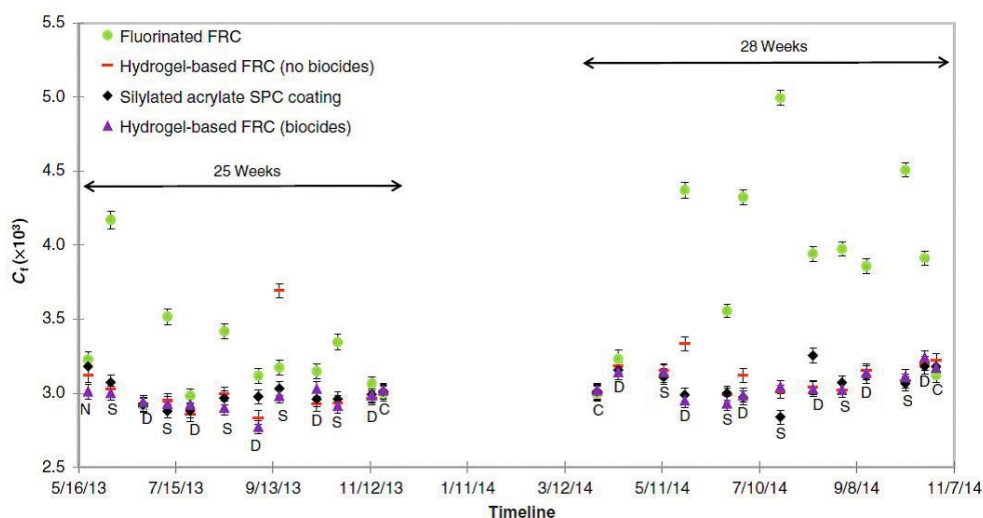


**VARMEPUMPEORDNINGEN - VPO**  
KVALITETSSIKRINGSORDNINGEN FOR VARMEPUMPEINSTALLATØRER



Figur 4. Laboratorie setup til måling af friktionsmodstand på en (begroet) malingscylinder. Sidstnævnte er neddyppet i havvand i den hvide tank og kan ikke ses på billedet. Efter [3].

bemalede tromler over to vækstsæsoner (henholdsvis 25 og 28 uger). Om vinteren blev flåden løftet på land, og malingsstromlerne blev forsigtigt rengjort og opbevaret inden døre, så de var klar til den efterfølgende sæson. En kraftig efterårsstorm gav anledning til en del bekymring, da flåden stadig var i vandet, men den lå i ly for vestenvinden og overlevede det hårde vejr.



Figur 5. Målte friktionskoefficienter,  $C_f$ , fra to sæsoner (2013 og 2014) i Roskilde Fjord. Data repræsenterer et gennemsnit af friktionsmålinger foretaget ved 9,5 og 15,8 knob og målt med den højeste hastighed først. "N" angiver den "friske" maling, "S" statiske betingelser, "D" dynamiske og "C" repræsenterer mekanisk rengøring af malingsoverfladen. FRC henviser til slip-let malinger ("fouling-release coatings") og SPC til en maling, der frigiver aktivt stof ("self-polishing coating"). Efter [3].

## Valg af bundmalinger

Til forsøgene blev der anvendt fire forskellige bundmalinger, hvoraf tre var af de glatte typer, såkaldt "fouling release coatings" eller "slip-let malinger". Den ene var baseret på fluorkemi og to andre på silikonekemi, en af dem med en lille smule aktivt stof (biocid) tilsat. Den sidste bundmaling var en traditionel type med biocidfrigivelse (silyleret akrylatkemi).

Malingerne blev sprøjtepåført og hærdetiden var mindst en uge. Den tørre filmtykkelse for malingerne var i alle tilfælde omkring  $100 \mu\text{m}$ , og alle malingerne indeholdt pigmenter. Yderligere detaljer kan findes i [3].

## Resultater af forsøgene

De vigtigste resultater fra måleperioden over to sæsoner er vist i figur 5. Det ses, at friktionen typisk var højere efter de statiske perioder sammenlignet med perioderne med rotation. Desuden blev det fundet, at overfladefriktionen af de undersøgte bundmalinger mindskedes i følgende rækkefølge: Fluor-baseret slip-let maling (højeste overfladefriktion), silicone-baseret slip-let maling uden biocid, silyleret akrylat selvpolerende maling (traditionel antifouling maling) og silicone-baseret slip-let maling med biocid (laveste overfladefriktion). Bortset fra den fluor-baserede slip-let maling var forskellen i overfladefriktion mellem bundmalingerne lille. Efter 25 ugers eksponering og mekanisk rengøring var forskellen i overfladefriktion mindre end 1%, hvilket var under den eksperimentelle usikkerhed ved de undersøgte hastigheder, der er relevante for større kommercielle skibe. I figur 2, side 21, er vist, hvordan to af malingerne så ud, efter den anden forsøgsserie var afsluttet.

## Konklusion

Det viste sig muligt at måle overfladefriktionen af fire bundmalinger over to vækstsæsoner i Roskilde Fjord. Dermed er der etableret en realistisk reference til, hvordan bundmalinger kan undersøges eksperimentelt for deres effekt på brændstofforbruget over en langt større del af malingernes levetid. Det er tidskrævende (dyre) målinger, men i kommerciel sammenhæng giver det en meget overbevisende sammenligning af forskellige malinger. Fremtidigt arbejde vil fokusere på tropiske forhold, hvor begroingen er mere voldsom end i Roskilde Fjord.

For en uddybende beskrivelse af emnet henvises til nedenstående referencer.

Tak til Hempel Fonden for støtte til forskningsarbejdet og tak til Asger Lindholdt, der i sit ph.d.-projekt udførte det krævende arbejde med opbygning af forskningsstationen i Roskilde Fjord og gennemførte de mange målinger i feltet.

E-mail:  
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, Fuel efficiency and fouling control coatings in maritime transport, Ph.D. Thesis, DTU Chemical Engineering, 2015.
3. 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.
4. Webpage: [phys.org/news/2016-10-barnacle-ship-biofouling.html](http://phys.org/news/2016-10-barnacle-ship-biofouling.html). Office of Naval Research. Tilgæet december 2016.