

Begroning på skibe er en udfordring for skibsindustrien og for miljøet

Whitepaper udarbejdet under projektet Dansk Maritimt Testcenter med støtte fra Den Danske Maritime Fond og Orient's Fond.

Anne Sofie Kiil, Aron Lank Jensen og Torben Madsen

DHI – Maritime Tech

Udgivet: 30. november 2021

Kontakt: Anne Sofie Kiil (aski@dhigroup.com)

Hvorfor er begroning et problem?

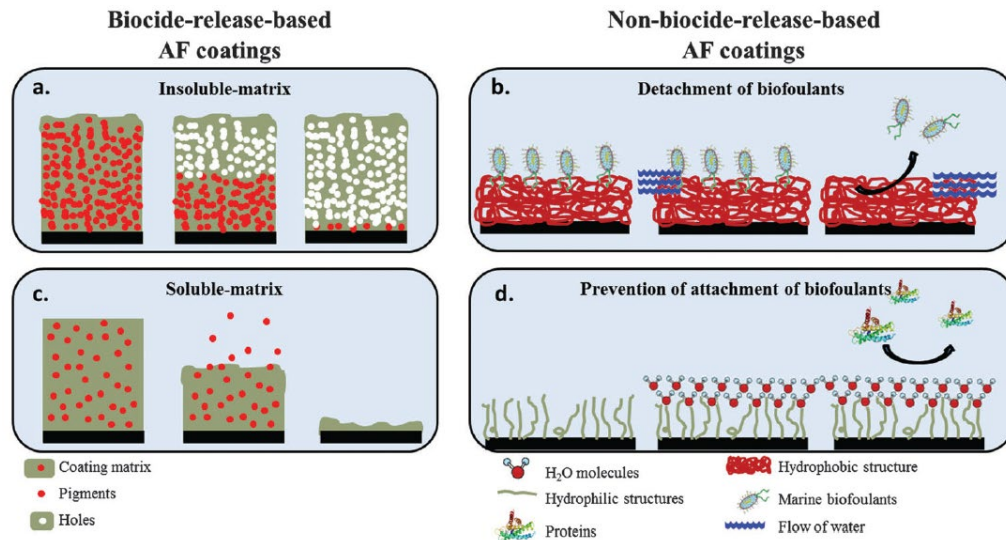
Begroning på skibe medfører korrosion, øget vandmodstand og dermed et øget brændstofforbrug. Derudover udgør skibe med begroning en risiko for spredning af ikke-hjemmehørende, invasive akvatiske arter til økosystemer rundt om på kloden. Begroningen (også kaldet *fouling*) begynder, når en ubeskyttet overflade kommer i kontakt med vand. Derfor beskyttes skibsskrog med dækkende maling med egenskaber, der reducerer og modvirker begroningen. Marin begroning starter med bakterier, der danner biofilm på skibets skrog eller en anden overflade under vand. Herefter begynder først alger, især kiselalger, at fæstne sig til overfladen, og senere følger organismer som protister, makroalger og larver fra rurer og muslinger. Mikrofouling er begroningsstadier, der ikke kan ses med det blotte øje, mens makrofouling kan ses med det blotte øje (IMO, 2011). Forekomsten af biofilm og mikrofouling øger vandmodstanden, og vandmodstanden øges markant, når der er makrofouling på skibets skrog.

Et øget brændstofforbrug er den væsentligste motivation for, at kommercielle skibsejere ønsker at få skibsskroget rensat. For containerskibe kan begroning på skrog mellem perioder i dok forøge brændstofforbruget med op til 20%, og begroning på nicheområder som propeller kan medføre et øget brændstofforbrug på op til 5% (FORCE). Eliminering af begroning på skibets overflader fører til forbedret brændstofeffektivitet, og samtidigt reduceres risikoen for spredning af levende organismer til nye økosystemer, hvor de potentielt kan etablere sig og blive til invasive arter. Invasive akvatiske arter kan udkonkurrere de naturligt forekommende organismer, hvilket kan være årsag til en forringet biodiversitet og skade økonomiske interesser som fx det lokale fiskeri. Spredningen af ikke-hjemmehørende, invasive akvatiske arter med begroede skibe eller udledning af ballastvand har fået betydelig international opmærksomhed. En effektiv håndtering af begroningen på skibe er derfor vigtig for at beskytte biodiversiteten i marine økosystemer.

Bekæmpelse af begroning

Bekæmpelsen af begroning på kommercielle skibe sker først og fremmest ved brug af bundmaling med antibegroningsegenskaber (*antifouling maling*). Det kan være med maling indeholdende biocid, der langsomt frigives og forhindrer begroning af overfladen (Figur 1a og c). Der benyttes forskellige biocider, men siden forbudet mod tributyltin (TBT) i starten af årtusindeskiftet anvendes især kobber og zink. En af de mest almindelige malingstyper er baseret på en selvpolerende co-polymer (SPC) maling (Figur 1c). Derudover bruges maling

uden biocid, eller med meget lavt biocid indhold, der forhindrer mikroorganismer i at etablere sig på skroget (Figur 1b og d). Disse antifouling malinger er ofte silikonebaserede og forhindrer organismene i at binde sig fast til skibsskroget, sådan at vandmodstanden fjerner organismene, når skibet sejler med normal hastighed (Nurioglu et al., 2015). Endelig bruges epoxy antifouling maling, der med en hård overflade giver gode betingelser for mekanisk rensning af begroning (Lewis, 2020; Tamburri et al., 2020).



Figur 1 Illustrationer af forskellige antifouling teknologier. Uopløselig matrix med en høj biocid-koncentration, hvorfra biocidet med tiden frigives (a.). Opløselig matrix med biocid, sædvanligvis også kendt som selvpolerende co-polymer (SPC), der langsomt opløses og frigiver biocid (c.). Biocid-fri antifouling maling (eller antifouling maling med lav biocid-koncentration), sædvanligvis silikone-baseret, som forhindrer fast binding af fouling-organismer (biofoulants) og medfører, at organismene løsriveres, når skibet sejler med normal hastighed (b.). Biocid-fri antifouling maling med aktive stoffer, der forhindrer organismene i at fæstne sig til overfladen (d.) (Nurioglu et al., 2015).

Antifouling maling er helt essentiel for at reducere begroning, og malingen giver sædvanligvis effektiv beskyttelse, når produktet anvendes i henhold til producentens anvisninger, og der vælges en maling, der passer til skibets aktivitet. Når antifouling malingen er påført på overfladen, har den en forventet levetid, og dens effektivitet falder med tiden. Til trods for effekterne af antifouling maling kan der forekomme begroning, når skibet ligger i havn eller forankret i længere tid, især områder med høj biologisk aktivitet. Mekanisk skrogrønsning udføres derfor typisk i dok med intervaller på 3-5 år. Undervandsrensning (in-water cleaning) er en alternativ metode, der udføres af dykkere eller robotter (fx Remotely Operated Vehicles, ROV).

Store containerskibe er normalt i dok ca. hvert 5. år, men undervandsrensning af skroget eller nicheområder kan være nødvendig mellem perioder i dok. Der benyttes forskellige metoder til rensning af skibsskrogets store flader og nicheområder som fx søkisten, propeller, thruster-tunnel eller sidekøl. Rensning af skroget er relativt let, og skroget er udsat for mekanisk påvirkning under sejladsen, der reducerer begroningen. Nicheområderne er mindre påvirket af mekanisk stress fra sejladsen og er dermed mere udsat for begroning. Begroning af nogle nicheområder såsom søkisten og thruster-tunellen har mindre effekt på brændstofforbruget, og dermed er det økonomiske incitament for rensning af disse områder mindre end for skroget.

En spørgeskemaundersøgelse henvendt til kommercielle skibsejere i Baltikum viste, at 72% af deltagerne brugte en form for undervandsrensning (COMPLETE, 2021). Undervandsrensning fører til spørgsmål om den anvendte procedure, og om rensningen tager relevante

sikkerhedshensyn for at beskytte det lokale vandmiljø fra påvirkninger med farlige kemiske stoffer og ikke-hjemmehørende invasive akvatiske arter.

Proaktiv og reaktiv bekæmpelse af begroning

Bekæmpelsen af begroning kan være proaktiv eller reaktiv. *Proaktiv rensning* udføres relativt ofte, og før begroning bliver etableret uden at være motiveret af hensyn til skibets ydeevne eller en risikovurdering. Proaktiv rensning er et middel til at nedsætte risikoen for begroning, da begroningen er let at fjerne i den tidlige fase. Med proaktiv rensning fjernes biofilmlaget, så makrofouling ikke når at udvikle sig. Mere skånsomme metoder ved proaktiv rensning fører til mindre slitage og fremmer længere holdbarhed af antifouling malingen. Fjernstyrede robotter, også kaldet Remotely Operated Vehicles (ROV), bruges til undervandsrensning af mikrofouling og evt. begyndende makrofouling. Renserobotterne benytter ofte højtryksspuling og er mest anvendelige på store skrogflader.

Reaktiv rensning udføres efter en faktisk observeret begroning eller påviste begroningsrelaterede effekter på skibets brændstofforbrug eller drivaksel (BIMCO, 2021a). Både skroget og nicheområder kan renses i dok eller i vand af dykkere, der anvender roterende børster. Begyndende begroning af skibsskroget kan i nogle tilfælde fjernes ved anvendelse af ROV med højtryksrensere. Der anvendes børstehoveder af forskellig hårdhed, og især metal børster giver mulighed for at fjerne etableret hård, kalkholdig makrofouling såsom rurer, muslinger og rørorm, men denne behandling indebærer en større risiko for skader på bundmalingen og afskalning af malingflager under rensningen. I forbindelse med rensning i vand er der grund til opmærksomhed på opsamling af det afrensede materiale, der typisk vil indeholde levende organismer og malingrester. Hvor effektiv er opsamlingen? Hvilken behandling anvendes for det havvand, der udledes under rensningen? Hvad er niveauerne af levende organismer og malingrester i vandet der udledes? Det er spørgsmål, der er relevante for at få et billede af, om rensningen udgør en risiko for det lokale vandmiljø. Tabel 1 giver et overblik over de forskellige rensetyper og deres effektivitet i forhold til rensning og opsamling.

Tabel 1 Oversigt over forskellige rensetyper egenskaber og begrænsninger, estimerede data af DHI, efter samtaler med producenter, kontrolmyndighed og artikler (COMPLETE, 2021; Floerl et al., 2010; Morrisey & Woods, 2015; Salminen et al., 2016; Scianni & Georgiades, 2019).

	Type	Begrøningsniveau [0-100 FR] ¹⁾	Renser nicheområder [ja/nej]	Påført kraft	Rensnings-effektivitet [%]	Opsamlings-effektivitet			Risiko for invasive akvatiske arter (IAS ²⁾)	
						Levende organismer	Biocider		IAS risiko ³⁾	Bemærkninger
							Opløst i vand	Partikulært		
ROV	Børste (proaktiv rensning)	10	Nej	Lav	90	Ingen opsamling	Medium	Lav	Lav	IAS risikoen er lav, selvom der ikke er opsamling, fordi rensningen udføres med et lavt begroningsniveau. Risikoen øges risikoen, hvis der renses på højere begroningsniveauer.
	Hydrojet (proaktiv og reaktiv rensning)	30	Nej	Lav	90	Høj	Medium	Lav	Lav	IAS risikoen er lav selv for et højere begroningsniveau på grund af effektiv opsamling af levende organismer.
Dok	Tørdok (reaktiv rensning)	100	Ja	Medium	100	Medium	Lav	Lav	Lav til medium	Under ophold i dok er det muligt at rense nicheområder med svær begroning. Håndteringen af det afrensede varierer mellem forskellige lande. God risikohåndtering med opsamling kan reducere IAS risikoen betydeligt ⁴⁾ .
	Flydedok (reaktiv rensning)	100	Ja	Medium	100	Medium	Medium	Medium	Lav til Medium	Bemærkningerne for tørdok gælder også for flydedok. Det gælder desuden, at flydedokke kan være uden

										overdække, hvorved risikoen øges for, at uønskede organismer (og partikler) udledes, hvis der ikke er afbødende handlinger.
Dykker	Brushcart (reaktiv rensning)	70	Ja	Høj	95	Ingen opsamling	Høj	Høj	Høj	Dykkeren kan rense nicheområder med svær begroning. IAS risikoen er høj, når der ikke er opsamling. God risikohåndtering med opsamling kan reducere IAS risikoen betydeligt.

- 1) Begroningsniveau (Fouling Rate (FR)) beskriver begroningen af en overflade (areal med begroning i procent af total overflade). FR dækker et interval fra 0 til 100. De angivne data indikerer det maksimale begroningsniveau, hvor der opnås en høj rensningseffektivitet med de forskellige metoder
- 2) Ikke hjemmehørende, invasive akvatiske arter (Invasive Aquatic Species, IAS)
- 3) IAS risiko vurderes på baggrund af begroningsniveau, rensningseffektivitet og opsamlingseffektivitet
- 4) I Danmark skal dok-faciliteter leve op til bekendtgørelse om overfladebehandling af skibe, BEK nr. 1188 fra 12. december 2011, og alt udledningssvand skal behandles (Salminen et al., 2016).

Da begroning er meget variabel afhængigt af mange faktorer, som fx skibets aktivitet og sejlroute, er det vigtigt at udarbejde en begroningsforvaltningsplan (biofouling management plan) for hvert skib. Skibet skal desuden opretholde en opdateret logbog (biofouling record book) som foreskrevet i begroningsvejledningen fra den Internationale Maritime Organisation (IMO, 2011).

En undersøgelse af kommercielle skibe med sejlruiter i Østersøen viste, at stort set alle skibene havde en begroningsforvaltningsplan, men denne plan var for generel til at opretholde en tilstrækkelig kontrol af begroningen for 60% af skibene (COMPLETE, 2021). Nye digitale løsninger kan gøre det lettere for skibsejere og myndigheder at anvende og tilgå begroningsforvaltningsplanen og -logbogen og få et overblik over den risikovurdering, der er knyttet til skibets begroningsstatus. Sådanne muligheder er fx tilgængelige i biosikkerhedsværktøjet Vessel Check® (Strydom et al., 2020). Derudover bliver der i *Det Baltiske COMPLETE Projekt* udviklet et beslutningsstøtteværktøj (COMPLETE, 2021), der skal hjælpe skibsejere med at vælge det bedst mulige antibegroningssystem baseret på en bred vifte af faktorer, der har indflydelse på begroningen af skibe. Dette er to eksempler på beslutningsstøtteværktøjer, der kan hjælpe skibsejere med en god forvaltning af begroning i overensstemmelse med IMO's begroningsvejledning og nationale lovkrav.

Internationale standarder

Undervandsrensning har forøget opmærksomheden på, at biocider (fx kobber og zink), der frigives under rensningen, kan føre til biocidkoncentrationer, der er højere end de lokale vandkvalitetskrav (US Environmental Protection Agency, 1999). Der er derfor blevet udviklet nye procedurer til undervandsrensning med opsamling i løbet af de seneste 10 år. Et større fokus på biosikkerhed og vandkvalitet har fremmet udviklingen af metoder til opsamling af malingrester, kemiske stoffer og potentielt invasive arter i rens vandet.

En korrespondencegruppe under den Internationale Maritime Organisation (IMO) er gået i gang med en revision af vejledningen for begroning (IMO, 2011) og arbejder med en ny "Revised guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species" (IMO, 2021). Desuden har den internationale skibsindustriorganisation BIMCO (Baltic and International Maritime Council) sammen med ICS (International Chamber of Shipping) udgivet en godkendelsesprocedure (BIMCO, 2021a) og en industristandard (BIMCO, 2021b) for virksomheder, der udfører rensning af skibe i vand.

BIMCO industristandard

Målgruppen for godkendelsesproceduren er virksomheder, der renser og opsamler makrofouling organismer, som har fæstnet sig på skibsoverflader under vandlinjen. Godkendelsen udstedes af en uafhængig instans (Approval Body), der verificerer rensesystemet på baggrund af testresultater og dokumentation fra en uafhængig testorganisation.

Virksomheden, der udfører rensningen, skal have procedurer, der beskriver håndtering af materiale såvel som opsamling, separering og/eller rensning af havvand. BIMCO industristandarden foreskriver, at der skal udføres tre forskellige tests, som hver især skal leve op til fire kriterier:

1. Renseprocessen fjerner mindst 90% af makrofouling (dvs., enkelte organismer eller kolonier af organismer, der kan ses med det blotte øje)
2. Behandlingen af opsamlede materiale i forbindelse med undervandsrensningen skal overholde disse krav:

- Mindst 90% (vægt) af materialet fra rensningen skal fjernes inden udledning af rens vandet
 - Mindst 95% af materialet der udledes, skal have en partikelstørrelse på $\leq 10 \mu\text{m}$
3. Rensningen må ikke forøge niveauet af totalt suspenderet stof (TSS) i det lokale vandmiljø
 4. Rensningen må ikke medføre et forhøjet niveau af biocider fra antifouling malingen (både opløst og partikulært) i det lokale vandmiljø.

Det fjerde kriterie er ikke afgørende for, om et rensesystem kan godkendes, men det har betydning for, om systemet kan blive brugt i havne, hvor der er lokale regler for udledningskrav for at overholde vandkvalitetsstandarder.

BIMCO industristandarden anvender partikelstørrelse og totalt suspenderet stof som proxy for organismer, malingsflager og andet materiale, der fjernes ved rensningen. Kravet om at mindst 95% af det partikulære materiale i det udledte rens vand skal være $10 \mu\text{m}$ eller mindre er baseret på antagelsen, at effektiv opsamling af små partikler vil sikre effektiv opsamling af mikroplankton (fx alger). Når partiklerne i rens vandet ikke identificeres (fx for at kvantificere indholdet af mikroplankton), og alene partikelstørrelsen bestemmes, er det særligt vigtigt, at størrelsen af partiklerne måles korrekt. Her vil det formodentlig være en udfordring, at partiklerne kan danne aggregater (sammensatte partikler, ofte bestående af biologisk materiale). En forbehandling af prøverne med et dispergeringsmiddel kan minimere risikoen, men det kan dog muligvis blive svært at vise, at maksimalt 5% af partiklerne er større end $10 \mu\text{m}$, fordi analyser af partikelstørrelse ikke kan skelne mellem aggregater og enkelt-partikler.

Det foreliggende udkast til revideret IMO begretningsvejledning (IMO, 2021) indeholder opdaterede anbefalinger til risikovurdering, inspektion, rengøring og vedligeholdelse. Når den reviderede vejledning udgives, vil den udgøre en fælles, global metode for håndtering og kontrol af begroning, der vil være praktisk anvendelig for at reducere risikoen i forbindelse med invasive akvatiske organismer.

Referencer

BIMCO. 2021a. *Approval procedure for in-water cleaning companies*. BIMCO and International Chamber of Shipping.

BIMCO. 2021b. *Industry standard on in-water cleaning with capture. Version 1.0*. BIMCO and International Chamber of Shipping.

COMPLETE. 2021. Proposal for a regional baltic biofouling management roadmap. *Baltic COMPLETE Project*. <https://balticcomplete.com/publications/project-reports/320-proposal-for-a-regional-baltic-biofouling-management-roadmap>

Floerl, O., Peacock, L., Seaward, K., & Inglis, G. 2010. Review of biosecurity and contaminant risks associated with in-water cleaning. *The Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australia*.

FORCE. *Performance of ships in service*. Retrieved August 23, 2021, from <https://forcetechnology.com/en/cases/performance-of-ships-in-service>

IMO. 2011. *Guidelines for the control and management of ship's biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species*. MEPC 62/24/Add.1, Annex 26, 1-27.

IMO. 2021. *Review of the 2011 Guidelines for the control and management of ship's biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species*. Report of the Correspondence Group on Review of the Biofouling Guidelines. Submitted by Norway.

Lewis, J. A. 2020. Chemical contaminant risks associated with in-water cleaning of vessels. *Department of Agriculture, Water and the Environment, Canberra, September, CC BY 4.0.*

Morrisey, D., & Woods, C. 2015. In-water cleaning technologies: review of information. *MPI Technical Paper No: 2015/38, Wellington New Zealand.* <http://www.mpi.govt.nz/news-and-resources/publications/>

Nurioglu, A. G., Esteves, A. C. C., & De With, G. 2015. Non-toxic, non-biocide-release antifouling coatings based on molecular structure design for marine applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 3(32), 6547–6570. <https://doi.org/10.1039/c5tb00232j>

Salminen, E., Hansen, J. H., Nielsen, C. W., & Wuokko, P. 2016. Nordic Shipyards Best Available Techniques (BAT). *Nordisk Minister Råd TemaNord*, 548.

Scianni, C., & Georgiades, E. 2019. Vessel in-water cleaning or treatment: Identification of environmental risks and science needs for evidence-based decision making. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00467>

Strydom, C., Robertson, A., & Andersen, M. J. 2020. Cloud-based vessel biosecurity management to mitigate the transfer of NIS. *PortPIC'20*.

Tamburri, M. N., Davidson, I. C., First, M. R., Scianni, C., Newcomer, K., Inglis, G. J., Georgiades, E. T., Barnes, J. M., & Ruiz, G. M. 2020. In-Water Cleaning and Capture to Remove Ship Biofouling: An Initial Evaluation of Efficacy and Environmental Safety. *Frontiers in Marine Science*, 7(June), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00437>

US Environmental Protection Agency. 1999. *Nature of discharge for the "Phase I Final Rule and Technical Development Document of Uniform National Discharge Standards (UNDS)."*