Fartygsskrov som vektor för spridning av akvatiska främmande arter

Lena Granhag, Maritim miljövetenskap, Avd Maritima Studier,

Inst för Mekanik och Maritima Vetenskaper, Chalmers Tekniska Högskola

lena.granhag@chalmers.se

Rapporten Fartygsskrov som vektor för spridning av akvatiska främmande arter

är finansierad av Havs- och Vattenmyndigheten och utförd under 2016-2021

1. Innehållsförteckning

1. Innehållsförteckning 2

2. Sammanfattning 3

3. Bakgrund 4

3.1. Spridning av främmande arter via fartygsskrov 4

3.2. Förflyttning och etablering av främmande arter 5

3.3. Placering på fartyget och betydelse av fartygets hastighet 6

3.4. Guidelines, intitiativ och tillstånd 6

3.5. Rengöring av fartyg 7

3.6. Biologiskt avfall 8

4. Antifoulingfärger och rengöring 9

4.1. Fartygsfärger 9

4.1.1. Mjuka bottenfärger 9

4.1.2. Hårda bottenfärger 10

4.1.3. Foul-Release färger 10

4.2. Skador på färg vid rengöring 10

5. Miljöbelastning i havet 11

5.1. Främmande arter på skrov med och utan rengöring 11

5.2. Att bedöma risk för introduktioner 11

5.3. Belastning från kemikalier 12

5.4. Belastning från färgflagor 12

6. Skrovrengöring idag och i framtiden 13

6.1. Verksamhet idag 13

6.2. Tillgängliga verktyg för att optimera rengöring 13

7. Slutsatser och kunskapsbehov 14

8. Referenser 15

2. Sammanfattning

I denna rapport beskrivs sjöfart som vektor för spridning av marina främmande arter och hur påväxt på skrov (biofouling) kan minskas med antifoulingfärg och skrovrengöring. Vidare beskrivs vilken miljöpåverkan från biologiska och kemiska föroreningar som finns förknippade med verksamheten. Rapporten hänvisar till studier och dokument från länder där man arbetat med frågan under de senaste decennierna (Nya Zealand, Australien). Det pågår ett globalt arbete kring biofouling och In-Water Cleaning (IWC), där Biofouling guidelines framtagna inom International Maritime Organization (IMO 2011) är under revidering (2021) enligt dokument från 2013 (IMO 2013).

Sjöfart är ansedd som den största vektorn för införsel av marina främmande arter (Seebens et al 2013, Davidson et al 2018). Arterna kan förflyttas både med fartygs barlastvatten och som påväxt på fartygsskrov (Bailey et al 2020). Effektiviteten hos antifoulingfärg som används för att förhindra påväxt på skrov minskar med tid efter applicering och varierar beroende på typ av påväxt. För att avlägsna den biologiska påväxt som leder till ökat motstånd och högre bränsleförbrukning för fartygen kan därför rengöring, när fartygen ligger i vattnet (IWC) behövas mellan fartygens planerade underhåll och ommålningar i torrdocka. Globalt sker skrovrengöring både på färg med och utan biocider. För att minska utsläppen i samband med skrovrengöring kan man samla upp avfallet och denna teknik finns eller är under utveckling i många rengörings-utrustningar. Om avfall från skrovet filtreras med en slutlig maskstorlek på 10 µm så kommer de flesta biologiska förökningskroppar att samlas upp (undantaget vissa mindre algsporer samt bakterier). Även färgflagor större än 10 µm kommer att samlas upp. Vid rengöring av kopparinnehållande färg har läckaget av koppar visat sig öka under en viss tid (timmar/dagar) efter rengöring (Earley et al 2014). För att undvika extra läckage av biocider och färgpartiklar är den mest hållbara kombinationen rengöring på biocidfri hård färg se *Guide on best practices of biofouling management in the Baltic Sea* (https://balticcomplete.com/publications/project-reports/321-guide-on-best-practices-of-biofouling-management-in-the-baltic-sea) och referenser däri.

Generellt anses risken att förflytta arter mindre för fartyg som enbart trafikerar inom samma fartområde än för fartyg som går i trafik mellan olika geografiska områden och därigenom kan ha påväxt från fler ställen samt utanför en bestämd region. I större hamnar är det även möjligt att påväxt kan förflyttas mellan fartyg ("jump ship") eller mellan fartyg och strukturer i hamnen, som kajer och andra fundament. Påverkan av främmande arter som etablerar sig i hamnar sprider sig även utanför sjöfartssektorn och tex kan musslor som zebramusslan sätta igen industriers kylvattenintag (Great Lakes US, Canada) eller slussar (Themsen, London). Att främmande arter etableras kan även påverka marina industrier som fiske och turism (Bax et al 2003).

3. Bakgrund

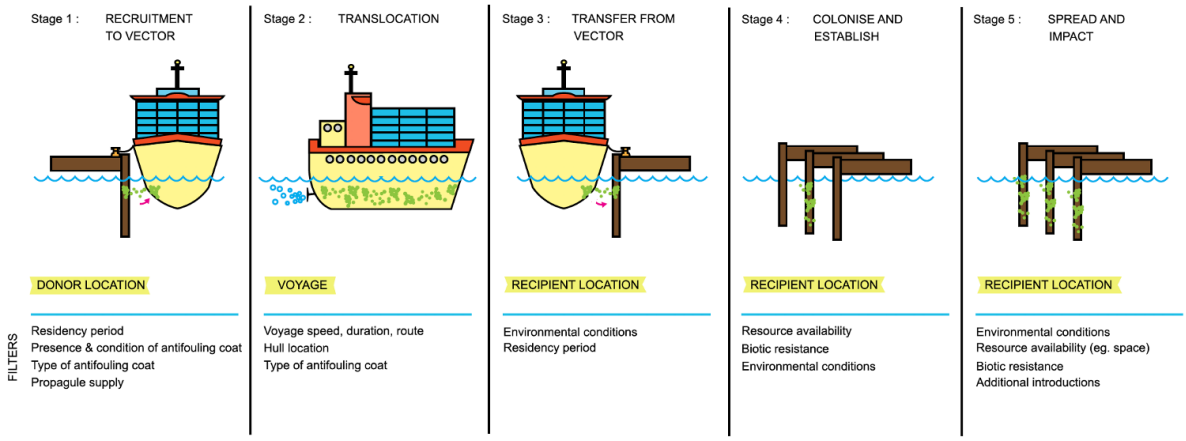
3.1. Spridning av främmande arter via fartygsskrov

Spridning av främmande arter i marina miljöer är ett globalt problem, då de kan utgöra hot mot habitat, konkurrera ut arter och sprida sjukdomar. Att främmande arter introduceras i nya miljöer betraktas idag som ett av de fem största hoten mot biologisk mångfald och marina ekosystem (Hewitt & Campbell, 2007). Fastsittande marina organismer behöver hårda underlag som till exempel klippor eller fartygsskrov att fästa vid. De flesta fastsittande organismer som havstulpaner och musslor förökar sig med frisimmande larver vilka fäster sig (settlar) på ett hårt substrat där de sedan växer upp till vuxna individer. I havet är det brist på hårda substrat varför alla ytor som sänks ner under vatten snabbt koloniseras av olika växter och djur. Påväxt (biofouling) förflyttas idag mellan olika havsområden genom att organismerna fäster på fartygsskrov och sprids sedan vidare i de nya områdena genom att larver och algsporer släpps från de vuxna individerna.

En stor andel av de marina arter som introduceras till nya havsområden förflyttas som påväxt på skrov. Till exempel har 80% av de nyintroducerade marina arterna till Nya Zeeland och 60% av arterna till Kalifornien introducerats som biofouling (Scianni & Geogiades 2019 och referenser däri). Risken för introduktioner av främmande arter ökar då ursprungsområdet och det nya området har liknande salthalt och temperatur och fartygstrafik inom samma temperaturzoner utgör störst risk för introduktioner (Seebens et al 2013). I ett exempel från Nordsjön, där 186 fartyg undersöktes i torrdocka Hamburg, hittades non-native species i 96% av prover tagna från skrovet (Gollasch 2002).

3.2. Förflyttning och etablering av främmande arter

De fem steg (*stages*) som påverkar förflyttning och etablering av främmande arter med sjöfart, från donator- *(donor-)* till mottagarhamn *(recipient location)* beskrivs i Schimanski et al (2017) som: rekrytering till vektor *(recruitment to vector)*, förflyttning *(translocation),* överföring från vektor *(transfer from vector*) kolonisering och etablering, *(colonise and establish)* samt spridning och påverkan *(spread and impact).*



Figur 1 Bild från Schimanski et al (2017): Fem steg, *stages* och vilka sk *filters* som påverkar förflyttning och etablering av främmande arter från donator-, till mottagarhamn

Hur mycket påväxt som kan fästa beror dels på mängden larver i vattnet (*propagule supply*) samt på fartygets trafikmönster och hur lång tid det ligger vid kaj för lastning och lossning (Fig 1, Steg 1 rekrytering till vektor). Vidare kommer fartygets hastighet och längd på transporten, plats på skrovet samt vilket antifoulingsystem som används påverka hur mycket påväxt som kan fästa och sitta kvar (Fig 1, Steg 2 förflyttning). Fartyg som rör sig mer frekvent, som passagerar- och RoRo-fartyg tillbringar oftast bara några få timmar vid kaj. Andra fartyg som tex militärfartyg, pråmar och vissa tankfartyg kan tillbringa veckor eller till och med månader stillaliggande, vilket ökar risken för kraftig påväxt. Miljöförhållanden som salthalt, temperatur och näringstillgång i det nya området, i kombination med tillgängliga ytor och möjliga konkurrenter/predatorer är viktigt för Steg 3-5 (överföring från vektor, kolonisering och etablering, spridning och påverkan). Vidare påverkar organismernas reproduktionsförmåga (mängd av larver och storleken på larver i vattnet) spridningen. Vid en studie av reproduktion hos mossdjur/bryozoer visade Schimanski et al 2017, att fler larver producerades från unga bryozoer som fick mat frekvent, vilket ansågs efterlikna trafikmönster för fartyg med korta frekventa rutter.

3.3. Placering på fartyget och betydelse av fartygets hastighet

Påväxt på fartygsskrov finns både på de släta ytorna på fartygets sidor samt på andra delar av skrovet med speciella funktioner (sk niche areas). De vanligaste niche areas är sjökistor för intag av havsvatten, kylvattensystem, mätinstrument, områden där bockar varit placerade vid målning, propellrar, drev och bogpropellrar (MAF 2011). Dessa områden står för en stor taxonomisk variation och stor andel av den totala påväxten, i relation till ytan som dessa niche areas utgör (Davidson et al 2009, Coutts et al 2010b). Enligt Moser et al 2017 är proportionen av niche areas i relation till fartygets undervattensyta *Wetted Surface Area* (WSA), störst för passagerarfartyg med 27%, för bogserbåtar 25%, fiskebåtar 21% samt bulk och tankfartyg 7-8%. Baserat på den globala flottan med drygt 120 000 kommersiella fartyg (mellan 1999-2013) uppskattades ca 10% av WSA vara niche areas. Den totala potentiella skrovytan för kommersiell sjöfart i Östersjön har uppskattats till 656 km2 varav 31% utgjordes av fartyg som trafikerar svenska hamnar (COMPLETE project report, Biofouling roadmap).

Även fartygens hastighet påverkar påväxten och snabbare fartyg har mindre påväxt medan fler arter kan fästa ordentligt till skroven på långsammare fartyg (Minchin & Gollasch 2003). Fartyg som rör sig med hastighet med över 18 knop har visat sig ha mindre påväxt än fartyg som rör sig med lägre hastigheter (Coutts 2010a). Här spelar det stor roll vilken typ av bottenfärg som används (se mer om bottenfärgers olika egenskaper i 4.1 samt 4.2). Sjöfartsindustrin och antalet fartyg har ökat globalt de senaste årtiondena vilket möjliggör en ökad förflyttning av främmande arter. Samtidigt går transporterna snabbare vilket ökar risken att de arter som fäst också överlever resan till nya områden (Ruiz et al 2000).

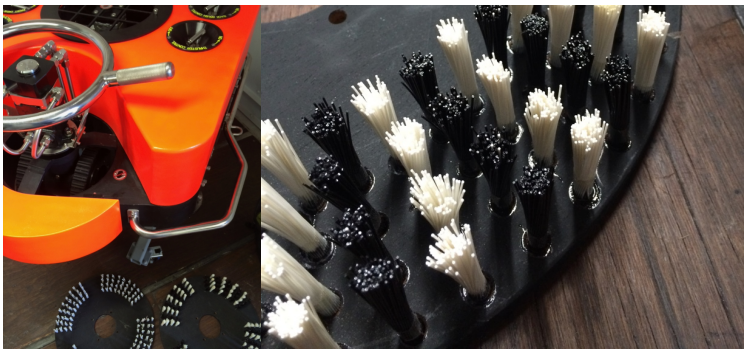
3.4. Guidelines, intitiativ och tillstånd

För att begränsa spridningen av främmande arter med fartygsskrov för kommersiell sjöfart har IMO tagit fram *Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species* (Biofouling guidelines, IMO 2011). Riktlinjerna är rekommendationer och under revision (2021). I Australien, Nya Zeeland och Nederländerna samt i Kalifornien har man arbetat med att ta fram nationella rekommendationer för rengöring. Under hösten 2018 startade IMO programmet GloFouling för att arbeta globalt med att minska spridningen av främmande arter med fartygsskrov som vektor och det finns flera internationella projekt som tex: MERC, USA som utför tester av skrovrengöringsutrustning (http://www.maritime-enviro.org/Evaluations.php) samt initiativ inom industrin som har utarbetat en gemensam skrovrengörings-standard *Industry Standard on In-water cleaning with capture* (BIMCO och ICS 2021).

Det finns idag inte några globala regleringar kring rengöring av fartygsskrov och hur förfarandet att få tillstånd för rengöring går till varierar stort mellan länder och världsdelar. Som exempel får man inte lov att göra rent alls i vissa delstater i Australien och det finns restriktioner i Nya Zealand och Kalifornien (Scianni et al 2021). Varken i Sverige eller grannländerna Danmark, Finland, Tyskland samt Polen finns några specifika nationella riktlinjer gällande skrovrengöring utan man hänvisar till IMO. Genom arbete inom projektet COMPLETE har man arbetat fram förslag på en regional Biofouling management roadmap för Östersjöländerna: Proposal for a regional Baltic Biofouling Management Roadmap (COMPLETE Project report Biofouling roadmap)

3.5. Rengöring av fartyg

Undervattensrengöring av fartygsskrov kan utföras med olika metoder såsom borstar eller vattenjet vilka opereras antingen med dykare eller fjärrstyrt från fartyg/kaj. En sammanställning av olika tekniker för att rengöra fartygsskrov finns i rapporten Analyzing the Current Market of Hull Cleaning Robots (WPI 2016). Globalt finns många rengöringsfirmor som använder sig av olika tekniker. Vilken hamn som är nästa destination för fartyget samt när fartygen kan utföra rengöring bidrar till var, geografiskt, rengöringen sker. Grad av påväxt kan beskrivas med olika system som tex US Naval Ships Technical Manual (NSTM) och Fouling Rate eller Level of Fouling (LOF) från Nya Zeeland (Naval Sea Systems Command 2006, Floerl et al 2005). Baserat på grad av biofouling avgörs rengöringsutrustning/styrka. Beroende på vilken teknik som används för rengöring kommer färgen att utsättas för olika krafter. Vid användning av dykare med borstar (figur 2) generas krafter med borstar upp till 0,01 MPa medan de krafter som genereras av vattenjet generellt är svagare (Oliveira och Granhag 2016).



Figur 2. Exempel på rengöringsutrustning med borstar som opereras av dykare detaljbild av borstar till höger

Skrovytans storlek varierar med fartygstyp och storlek, som exempel har ett 200 meter långt RoRo-fartyg en skrovyta på ca 2400-3000 kvadratmeter (vid rengöring av de vertikala sidorna).

3.6. Biologiskt avfall

Vid rengöring av fartygsskrov är syftet att få bort biologiskt material. Hur mycket av växterna och djuren som lossnar beror på rengöringsteknik samt typ av påväxt, om det är unga eller gamla individer samt deras växtsätt. Som exempel kan en havstulpan vid rengöring lämna kvar sin basplatta då dess vidhäftning (lim) mellan färg och djur är starkare än inom djuret (Figur 3).

Figur 3. Havstulpaner på skrov, notera basplatta av havstulpan (mitten av bilden) som sitter kvar efter att andra delar av djuret/skalet lossnat

Om påväxten består av fintrådiga grönalger så kan flera cm långa filament lossna vid rengöring och i avfallet kan även färgflagor komma med (Figur 4).

Figur 4. Algfilament ca 10-20mm långa och färgflaga ca 3mm, i skrovrengöringsavfall från RoRo-fartyg som opererar i Östersjön

Hur rengöring av påväxt på skrov påverkar spridning av främmande arter är ett område där det behövs mer kunskap. Krav på uppsamling av avfallsrens vid skrovrengöring finns sedan maj 2021 i Östersjöhamnarna Tallinn och Stockholm.

4. Antifoulingfärger och rengöring

4.1. Fartygsfärger

Bottenfärger som används för att skydda mot biofouling, sk antifouling-färger kan kategoriseras som mjuka eller hårda. Egenskaperna hos dessa varierar; de kan vara antingen biocidinnehållande eller biocidfria. De mjuka bottenfärgerna kan delas upp i polerande eller självpolerande. Den stora skillnaden mellan polerande och självpolerande bottenfärger handlar om de kemiska reaktionerna som sker vid kontakt med vatten; polerande färgers mekanismer består av hydratisering och upplösning, medan mekanismen för självpolerande färger är hydrolys (Lejars et al 2012). De hårda färgerna har istället en olöslig färgmatris. Hur effektiva och giftiga bottenfärger är beror både på mängden biocid samt hur den aktiva substansen läcker ut från produkten. Färgen hålls ihop av ett bindemedel vilket tillsammans med biociden kontrollerar hur och med vilken hastighet biocider läcker till vattnet.

4.1.1. Mjuka bottenfärger

Polerande biocidfärger innehåller biocider samt bindemedel som är lösliga i havsvatten. Dessa bindemedel består av stora mängder rosin och dess derivat. När polerande bottenfärger kommer i kontakt med havsvatten, löses de upp och släpper ifrån sig både biocider och bindemedel. För att förlänga färgens livstid förstärks bindemedlen med syntetiska organiska material som har mer resistenta egenskaper, och kontrollerar färgens upplösning. Polerande biocidfärgers effektivitet beräknas räcka upp till 36 månader (Lejars et al., 2012).

Självpolerande biocidfärger består av molekyler som lätt hydrolyseras vid kontakt med havsvatten. Biocidinnehållande självpolerande färger reglerar biocidläckaget genom att kontrollera bindemedlens erosionshastighet. Erosionen sker långsamt och kontrollerat med tiden, och färgen kan samtidigt släppa ifrån sig biocider med en konstant hastighet vilket ger en lång livstid (Buskens et al., 2013; Hellio & Yebra, 2009). Perioden mellan ommålning för fartyg kan vara upp till fem år lång (Lejars et al., 2012). Det finns även sk hybridfärger som är en kombination av polerande och självpolerande färger.

4.1.2. Hårda bottenfärger

Hårda bottenfärger skapar en yta som klarar mekanisk påfrestning och därmed är väl lämpad till att utföra upprepad rengöring på (Lejars et al., 2012). De innehåller bindemedel med hög molekylvikt som är olösliga i havsvatten, till exempel epoxi, vinyl, akryl eller klorerade gummipolymerer. På fartyg kallas dessa färger ofta ”isbrytarfärger” då de används av isbrytare och sitter kvar även på fartyg som utsätts för mekanisk påfrestning / vid operation under is-förhållanden.

4.1.3. Foul-Release färger

Foul-Release färger är verksamma genom annan mekanik där en glatt yta gör att påväxten inte kan fästa (limma fast) så starkt och därmed lättare lossnar när fartyget gör fart genom vattnet. Foul-Release färger behöver anpassad rengöring då de är känsliga för mekanisk påfrestning. Att hitta rätt kraft för rengöring av Foul-Release färger med borstteknik kan vara en utmaning, medan rengöring med vattenjet kan utföras med mer kontrollerade krafter/ tryck (Oliveira och Granhag 2016)

4.2. Skador på färg vid rengöring

Om skrovrengöring utförs med krafter som inte matchar påväxtens vidhäftningsstyrka kan detta leda till att färgen skadas eller dess yta förstörs. Proaktiv rengöring (även kallat grooming) är rengöring som utförs frekvent på tidiga stadier av mjuk påväxt, denna typ av ”skonsam” rengöring kan leda till ett slitage från 0 µm/event (Oliveira and Granhag, 2020) till 25 µm/event (Morrisey et al., 2013, p. 93, ablative coatings and light brushing). Vid reaktiv rengöring av hård påväxt (djur med kalkskal) kan slitage på upp till 75 µm/event förekomma (Morrisey et al., 2013, p. 93, ablative coatings, hard brushing). Förutom att färglagret blir tunnare vid rengöring kan även större partiklar, färgflagor lossna. Storleken på färgpartiklar som genereras vid rengöring och underhåll av fartyg varierar beroende på vilken rengöringsmetod som används, färg-typ samt ålder och partiklarnas storlek kan vara från några mikrometer upp till flera centimeter (Bohnander 2009, Turner 2010 och Soroldoni et al. 2018). De biocider som är associerade med färgpartiklar kan vara persistenta i den marina miljön (Thomas et al 2003). Direkt efter rengöring kan även ett ökat läckage av biocider från färgen på skrovet förekomma (Earley et al 2014). Hur riskerna för detta läckage kan bedömas beskrivs under rubriken Miljöbelastning i havet nedan.

5. Miljöbelastning i havet

5.1. Främmande arter på skrov med och utan rengöring

Risken att främmande arter sprids från fartygsskrov förekommer både för fartyg som ligger i hamn (utan att göras rent) och för fartyg som görs rent utan att avfallet samlas upp. Påväxt kan påverkas av rengöring på olika sätt och huruvida tex evertebrater förstörs eller dör, beror tex på om de har hårda skal som kan stängas och skydda de mjuka delarna av djuret samt om de kan överleva efter att de lossnat från skrovytan. Vidare är det de för området främmande arterna (Non Indigenous Species, NIS) som kan utgöra ett hot mot det marina ekosystem de etableras i. För att få reda på hur många och vilka främmande arter ett skrov innehåller behövs omfattande undersökningar. Tidigare studier visar att en varierande andel, 25-68 %, av skrovpåväxten kan utgöras av NIS (Gollasch 2002, Granhag och Lundmark 2020 samt referenser däri). Hur stor undervattensyta fartyget har varierar med fartygstyp, där tankfartyg har störst yta under vatten (Whitman Miller et al 2018). Även andra parametrar varierar med fartygstyp såsom hastighet samt resans längd och rutt, vilka påverkar organismernas förmåga att introduceras till nya miljöer (Coutts et al 2010b).

5.2. Att bedöma risk för introduktioner

För att förutspå om påväxten innehåller invasiva arter kan fartygstrafik från olika bioregioner tilldelas olika risk. Detta tillvägagångssätt har använts tex av Bouda et al (2018) för att göra riskanalys av introduktioner till Port of Arzew i Algeriet. I riskbedömningarna är det viktigt att inkludera om fartygen passerat hamnar med mycket trafik som kan vara "hot spots" för många främmande arter. Om organismerna överlever beror till stor del på temperatur och salthalt i den nya hamnen/ området i förhållande till salthalt och temperatur i organismernas ursprungsområde (Gollasch och Läppekoski 2007). Ett tillvägagångsätt för att bedöma risker vid förflyttning av främmande arter med fartygs barlastvatten mellan hamnar i Nord och Östersjön har utarbetats av Gollasch och Leppäkoski (2007). Denna riskbedömning baserades på likheten i salthalt och temperatur mellan *givar* och *mottagar*hamn. Hur detta resonemang kan användas för att bedöma risk för förflyttning av påväxt på skrov med fartyg till Göteborgs hamn undersöktes av Trots-Lindblad och Johansson (2015). Vid genomgång av fartyg som anlöper Göteborgs hamn bedömdes de fem hamnar med flest anlöp (Fredrikshamn, Zeebrügge, Kiel , Rotterdam och Immingham att vara *mellan* eller *hög* risk, baserat på temperatur och salthalt (Gollasch och Läppekoski 2007, Trost-Lindblad och Johansson 2015). De rekommendationer som används gällande rengöring av fartygsskrov i Nya Zeeland är att om större påväxt etablerats, utgör fartygen en risk och rengöring tillåts inte. Fartyg som anlöpt hamn i Nya Zeeland med hård påväxt (som havstulpaner och musslor) kan därför skickas ut på internationellt vatten igen för att rengöras.

Däremot är rengöring tillåten av fartyg med s.k. mjuk påväxt vilken består av alger (ibland kallat ”slime”) om avfallet samlas upp och tas omhand. Hur länge fartyget stannar i hamn är också av betydelse för hur risken bedöms, då fler larver och propaguler (alger) hinner släppas från fartyg som ligger stilla under längre tid (MPI 2013). Ett tillvägagångssätt man använt i Nya Zeeland är att bedöma den biologiska risken för utvalda arter inom bredare taxonomiska påväxt-grupper (MAF 2011).

5.3. Belastning från kemikalier

Hur antifoulingfärg och kemikalier påverkas vid rengöring beror på vilken typ av färg som rengörs. Vid rengöring med borstar av hård färg slits färre partiklar av (viktmässig) i jämförelse med rengöring av mjuk färg (Stragnefeldt 2018). Direkt (timmar/ dagar) efter rengöringstillfället kan biocidinnehållande färger ge ett ökat läckage av biocider (Earley et al 2014). I Nya Zeeland använder man modellen ”Marine antifoulant model to predict environmental concentrations” (MAMPEC) för att räkna ut vilken belastning av metaller som kommer ut i miljön vid varje rengöringstillfälle och begränsar sedan antal rengöringar som får utföras i detta område under en viss tid (MPI 2017). Det samlade giftläckaget från (ett uträknat antal) rengöringar får inte överstiga de biologiska gränsvärdena för området (NZ EPA 2013). I detta fall samlas avfallet från skrovrengöringen inte upp. Under tex förhållanden i Östersjön där Miljökvalitetsnormer för koppar är (Cu) 1,45ug/L skulle detta tillvägagångssätt innebära att man räknar ut hur många skrovrengöringar som skulle kunna genomföras innan man når detta värde i ett visst område. Ett annat alternativ är att man föreslår filtrering och uppsamling. Uppsamlingsmetoder för kopparjoner är dock en stor utmaning.

5.4. Belastning från färgflagor

Antifoulingfärger är sammansatta av olika ingredienser (se Fartygsfärger ovan) och de bindemedel som används i bottenfärgerna varierar och påverkar färgens livslängd (Watermann och Eklund 2019). Färgpartiklar/flagor kan innehålla biocider (om de kommer från biocidfärg), och de kan även koloniseras av mikroorganismer (Gaylarde et al 2021). En undersökning från Tyska bukten, av mikroplastpartiklars sammansättning visade att de kom från fartygs antifoulingfärg (Dibke et al 2021). Färgpartiklarna kan återfinnas långt från källan/utsläppet och spridningen beror på flera faktorer som storlek, form och densitet (Soroldoni et al 2018, Havs- och vattenmyndigheten, 2012a). Vidare påverkar de hydrodynamiska egenskaperna i den omgivande akvatiska miljön partiklarnas mobilitet. Flera studier påvisar bioackumuleringen av framför allt koppar från biocidinnehållande bottenfärgpartiklar, bland annat i en studie av den marina havsborstmasken *Arenicola marina* (Turner et al 2008).

6. Skrovrengöring idag och i framtiden

6.1. Verksamhet idag

Operatörer för skrovrengöring arbetar både i och utanför hamnar. I många fall erbjuds service där fartyget befinner sig, till exempel när det ligger och väntar på redden. På COMPLETE projektets websida finns en karta över Östersjön som visar var operatörerna är baserade (har kontor) och opererar generellt (https://balticcomplete.com/maps). Gällande den skrovrengöring som utförs utanför hamnområden (och utanför gränser för myndigheternas tillsynsområden) finns idag ingen översikt. Data/ uppgifter kring hur avfallet som produceras vid rengöring tas omhand är begränsade men i vissa fall skickas avfallet till lokal avfallshantering. Enligt den danska rapporten *Non-indigenous species from hull fouling in Danish marine waters* (Naturstyrelsen 2016) så sker viss uppsamling av avfallet när skrovrengöringen utförs i hamn men att detta inte är fallet när den utförs vid ankringsplatser eller längre ut från land. Vidare sägs i rapporten att det inte utförs någon behandling av det processade vattnet men att de som utför rengöringen ofta har krav att ta prover från omkringliggande vatten när aktiviteten utförs (Naturstyrelsen 2016, s.7). Det finns ett par pågående pilotprojket där man bland annat studerat avfallets potential att användas till energi/biogas tex i Gibraltar/Algeciras (Barcenas 2018).

6.2. Tillgängliga verktyg för att optimera rengöring

Flertalet faktorer behöver tas med vid beslut om rengöring I) val av metod (vattenjet eller borste med olika styrka) samt II) *när* och *hur ofta* rengöringen utförs. Både ur energibesparingssyfte samt för att minimera risken för att förflytta främmande arter är en rengöring innan fartyget börjar med normal operation efter att ha varit stillaliggande en längre period det bästa alternativet. Att rengöra skrovet ofta är bra utifrån bränslebesparingsperspektiv då fartyget sådant fall i princip alltid har ett rent (och slätt) skrov. Även utifrån risken att sprida främmande arter så kommer en frekvent rengöring leda till att färre evertebrater hinner växa upp till en storlek där de kan bilda förökningskroppar. Olika fartygssegment har olika rengöringsbehov. *Passagerarfärjor* på fasta rutter rengör ofta och på bestämda kajer, tex varje vecka. *Fraktfartyg* som går på bestämda rutter kan ha planerad rengöring vid vissa av anlöpen, tex en gång per månad. *Tankfartyg* som opererar på spotmarknaden, ligger och väntar på last och transport och har svårare att i förväg bedöma sitt behov av att rengöra. Det finns initiativ och beslutsverktyg med fokus på biofouling och skrovunderhåll framtagna både inom industri och akademi. Som exempel (för Östersjön) Biofouling Decision Support Tool (baserat på Bayesian statistics) utvecklat inom projektet COMPLETE, (för Östersjön och Nordsjön) HullMASTER utvecklat inom projektet Hållbart fartygsunderhåll, Chalmers, samt det internationella systemet Vesselcheck (https://www.vessel-check.com/auth/home-page).

7. Slutsatser och kunskapsbehov

Påväxt på fartygsskrov är en betydande vektor för spridning av akvatiska främmande arter. Rengöring av skrov i vatten (In-Water Cleaning) är ett led i att förhindra/minska påväxt och därigenom spridning. Vid rengöring är det viktigt att både det biologiska och kemiska avfallet samlas upp och /eller filtreras. Tillvägagångssättet för att bedöma hur färgen påverkas av olika rengöringsutrustningar (vilket idag utförs av skrovrengöringsoperatör och färgtillverkare) behöver standardiseras och göras mer objektiva med bedömning av en tredje oberoende part. Att neka fartyg med mycket påväxt att komma till kaj och kräva rengöring på internationellt vatten (vilket appliceras i NZ och AUS) är svårt i ett geografiskt område som Europa, med många länder på korta avstånd från varandra.

Filtrering av skrovrengöringsavfallet med maskstorlek 10 µm skulle ta bort förökningsmöjligheter för större organismer som evertebrater och även för många makroalger medan alger med förökningskroppar under 10 µm, samt en del växtplankton och bakterier kommer igenom denna maskstorlek. Att filtrera till 10µm är därför en åtgärd som förväntas få bra effekt även om den inte löser hela problematiken med införsel av främmande arter.
Genom MAMPEC-modelleringar kan man tex visa hur koppar-belastning från skrovrengöring på biocidfärg kan se ut. Kopplat till ev användning av denna metod återstår dock frågor kring var geografiskt samt på vilka typer av färger som rengöring utförs på. En mindre del av rengöringsverksamheten sker vid kaj, främst på linjetrafik och färjor medan en stor del av rengöringarna sker när fartyg ligger på ankarplatser och i områden utanför tillsynsområden för hamnar och miljömyndigheter.

Generellt anses risken att förflytta arter mindre för fartyg som enbart trafikerar inom samma fartområde än för fartyg som samlat på sig påväxt från fler områden utanför en bestämd region. I alla större hamnar finns dock möjligheten att påväxt kan förflyttas mellan fartyg ("jump ship") eller mellan strukturer i hamnen (som kajer och andra fundament) och fartygen.

Många parametrar påverkar beslut vid val av antifoulingsystem samt rengöring och utöver spridning av främmande arter och biocider som sker vid själva rengöringstillfället behöver man för att få en helhetssyn inkludera miljöaspekten för olika antifoulingsystem under hela tidsperioden för deras användning.

8. Referenser

Bailey SA and 28 co-authors (2020) Trends in the detection of aquatic non-indigenous species across global marine, estuarine and freshwater ecosystems: A 50-year perspective. Diversity and distributions 26:1780-1797

Barcenas M (2018) Valuation of ship hull biofouling waste for energy production - Economic feasibility of biogas production from ship hull fouling waste collected in the hub port of Algeciras, Spain, Master thesis in Industrial Engineering 15 credits, Chalmers

Bax N, Williamson A, Aguero M, Gonzales E and W Geeves (2003) Marine invasive alien species: a threat to global biodiversity. Marine Policy 27 p 313-323

BIMCO och ICS (2021) Industry Standard on In-water cleaning with capture https://www.bimco.org/news/priority-news/20181008---hull-cleaning-standard

Bohlander, J. (2009) Review of options for in-water cleaning of ships. MAF Biosecurity New Zealand Technical Paper No: 2009/42. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington, New Zealand.

Buskens, P., Wouters, M., Rentrop, C., & Vroon, Z. (2013) A brief review of environmentally benign antifouling and foul-release coatings for marine applications. Journal of Coatings Technology and Research, 10(1), 29–36. doi: 10.1007/s11998-012-9456-0

Bouda A, Bachari N I, Nacef L and B Bensari (2018) Risk Analysis of Invasive Species Introduction in the Port of Arzew, by Calculation of Biofouling Surface on Ships' Hulls. Environ Model Assess (2018) 23:185–192

COMPLETE project report Biofouling roadmap https://balticcomplete.com/attachments/article/320/Proposal%20for%20a%20Regional%20Baltic%20Biofouling%20Management%20Roadmap%20COMPLETE%2020210309.pdf

Coutts, A.D.M (2010a) The Nature, Extent and Survivorship of Biofouling Organisms at Different Hull Locations on Various Vessel Types, PhD thesis, Victoria University of Wellington

Coutts, A.D.M., Piola, R.F., Hewitt, C.L., Taylor, M.D., & Gardner J.P.A. (2010b) Effect of vessel voyage speed on survivorship of biofouling organisms at different hull locations. Biofouling: The journal of Bioadhesion and Biofilm Research. Volume 26. doi:10.1080/08927014.2010.492469

Davidsson IC, Brown CW, Systma M and G Ruiz (2009) The role of containerships as transfer mechanisms of marine biofouling species. Biofouling 25: 645–655

Dibke C, Fisher M and BM Scholz-Böttcher (2021) Microplastic Mass Concentrations and Distribution in German Bight. Waters by Pyrolysis−Gas Chromatography−Mass Spectrometry/Thermochemolysis Reveal Potential Impact of Marine Coatings: Do Ships Leave Skid Marks? Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 2285−2295

Earley, P.J., Swope, B.L., Barbeau, K., Bundy, R., McDonald, J. a, Rivera-Duarte, I. (2014) Life cycle contributions of copper from vessel painting and maintenance activities. Biofouling vol.30 No 1, 51-68. https://doi.org/10.1080/08927014.2013.841891

Floerl O, Inglis G och B Hayden 2013 A Risk-Based Predictive Tool to Prevent Accidental Introductions of Nonindigenous Marine Species, Environmental Management, DOI: 10.1007/s00267-004-0193-8

Gaylarde CC, Neto JAB and E Monteiro da Fonesca (2021) Paint fragments as polluting microplastics: A brief review, Marine Pollution Bulletin 162: 111847

Gollasch, S. (2001) The importance of Ship Hull Fouling as a Vector os Species Introductions into the North Sea. Biofouling: The journal of Bioadhesion and Biofilm Research. Volume 18. doi: 10.1080/08927010290011361

Gollasch, S., Leppäkoski, E. (2007) Risk assessment and management scenarios for ballast water mediated species introductions into the Baltic Sea. Aquatic Invasions, Volume 2. doi: 10.3391/ai.2007.2.4.3

Granhag och Lundmark (2020) Fritidsbåtar som vektor för spridning av främmande arter i svenska vatten -jämförelse med kommersiell sjöfart, hamnar och mariner (Rapport från Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper, Chalmers)

Havs- och vattenmyndigheten (2012) Båtbottentvättning av fritidsbåtar HaV 2012:10

Hellio, C., & Yebra, D. (2009). Introduction. I Hellio, C., & Yebra, D. (Ed.), Advances in marine antifouling coatings and technologies (s. 1-15). Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Hewitt and Campbell (2007) Mechanisms for the prevention of marine bioinvasions for better biosecurity. Marine Pollution Bulletin 55 doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.01.005

IMO (2011) RESOLUTION MEPC.207(62) Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species

IMO (2013) Guidance for evaluating the 2011 Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species (MEPC.1/Circ.811)

Naturstyrelsen (2016) Miljö og Födevareministeriet Denmark, Non-indigenous species from hull fouling in Danish marine waters

Naval Sea Systems Command (2006) Chapter 081 – Water-borne underwater hull cleaning of Navy ships, in: Naval Ship's Technical Manual. Washington DC

Lejars, M., Margaillan, A., & Bressy, C. (2012) Fouling Release Coatings: A Nontoxic Alternative to Biocidal Antifouling Coatings. Chemical Reviews, 112(8), 4347-4390. doi: 10.1021/cr200350v

Luoma, E., Nevalainen, L., Altarriba, E., Helle, I (2021) Developing a conceptual influence diagram for socio-eco-technical systems analysis of biofouling management in shipping – A Baltic Sea case study. Mar. Pollut. Bull. 170

MPI Ministry for Primary Industries New Zealand (2013) In-water cleaning of vessels: Biosecurity and chemical contamination risks MPI Technical Paper No:

2013/11

MAF The Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand (2011) Draft Anti-fouling and In-water Cleaning Guidelines. Discussion Paper No: 2011/13MAF 2011 Ministry for Agriculture and Forstry, New Zeeland Risk Analysis: Vessel Biofouling

Minchin D and Gollasch S (2003) Fouling and ships hulls: how changing circumstances and spawning events may result in the spread of exotic species. Biofouling 19:111-122

NZ EPA (2013) https://epa.govt.nz/assets/FileAPI/hsno-ar/APP201051/0debf639ae/APP201051-APP201051-Evaluation-and-Review-Final.pdf

Oliveira D.R, & Granhag L (2016) Matching forces applied in underwater hull cleaning with adhesion strength of marine organisms. J Mar Sci Eng. 4:66–78. doi:10.3390/ jmse4040066

Oliveira, D.R., & Granhag, L(2020) Ship hull in-water cleaning and its effects on fouling-control coatings. Biofouling 36, 332–350. https://doi.org/10.1080/08927014.2020.1762079

Pagoropoulos, A., Kjaer, L.L., Dong, Y., Birkved, M., McAloone, T.C (2018) Economic and environmental impact trade-offs related to in-water hull cleanings of merchant vessels. J. Ind. Ecol. 22, 916–929. https://doi.org/10.1111/jiec.

Ruiz GM, Fofonoff PW, Carlton JT, Wonham MJ, Hines AH (2000) Invasion of coastal marine communities in North America. Apparent patterns, processes and biases. Annual Reviews in Ecology and Systematics 31: 481-531

Seebens H, Gastner M T, Blasius B (2013) The risk of marine bioinvasion caused by global shipping. Ecology Letters 16:782-790

Schimanski K B, Goldstein S J, Hopkins GA, Atalah J, Floerl O (2017) Life history stage and vessel voyage profile can influence shipping-mediated propagule pressure of non-indigenous biofouling species Biological Invasions 19 (7)

Scianni, C., Georgiades, E., (2019) Vessel in-water cleaning or treatment: identification of environmental risks and science needs for evidence-based decision making. Front. Mar. Sci. 6 (467), 1–12. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00467.

Scianni C, Lubarsky K, Ceballos-Osuna L and T Bates (2021) Yes, we CANZ: initial compliance and lessons learned from regulating vessel biofouling management in California and New Zealand. Management of Biological Invasions 12(3): 727–746

Soroldoni, S., Castro, I. B., Abreu, F., Duarte, F. A., Choueri, R. B., Möller Jr., O. O., Fillmann, G., & Leaes Pinho, G. L. (2018). Antifouling paint particles: Sources, occurence, composition and dynamics. Water Research, 137, 47-56. doi: 10.1016/j.watres.2018.02.064

Stragnefeldt F (2018) Slitage av båtbottenfärger från skrovrengöring. Kandidatarbete inom Miljövetenskapliga programmet, Inst för Biologi och Miljövetenskap, Göteborgs Universitet

Thomas K V, McHugh M, Hilton H, Waldock M (2003) Increased persistence of antifouling paint biocides when associated with paint particles. Environmental Pollution 123:153–161

Trost-Lindblad och Johansson (2015) Främmande arters spridning med fartygsskrov som vektor – en kartläggning av trafikmönster till Göteborgs hamn. Kandidatarbete Sjöfart och logistikprogrammet Chalmers

Turner A (2010) Marine pollution from antifouling paint particles. Marine Pollution Bulletin 60: 159-171

Watermann, B., Eklund, B. (2019) Can the input of biocides and polymeric substances from antifouling paints into the sea be reduced by the use of non-toxic hard coatings? Mar. Pollut. Bull. 144: 146-151

WPI (2016) Worchester Polytechnic Institute, Analyzing the Current Market of Hull Cleaning Robots

Närliggande verksamheter/ Rapporter

Rengöring av fritidsbåtar på land och i vatten beskrivs i rapporterna:

ITM rapport 215 Spridning av biocider från båtar – Undersökning av olika källor och dess bidrag samt

Båtbottentvättning av fritidsbåtar HaV 2012:10

Reviderade riktlinjer om Båtbottentvättning av fritidsbåtar från 2015