



CHALMERS

Anti-fouling silikonfärg för miljövänligt fartygsskrov

Undersökning av effektivitet, kostnad och miljöpåverkan

Examensarbete inom Sjökapstensprogrammet

EVGENY ZILBERSHTEIN

ANTON FROHM JOHANSSON

Kandidatarbete i mekanik och maritima vetenskaper

ANTON FROHM JOHANSSON

EVGENY ZILBERSHTEIN

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Avdelningen för avdelningsnamn

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2020

ANTIFOULING SILIKONFÄRG FÖR MILJÖVÄNLIGT FARTYGSSKROV

Undersökning av Effektivitet, Kostnad och Miljöpåverkan

ANTON FROHM JOHANSSON
EVGENY ZILBERSHTEIN

© ANTON FROHM JOHANSSON, EVGENY ZILBERSHTEIN 2020

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Tryckeri /Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Göteborg, Sverige 2019

Abstract

Throughout the years, vessels have been characterized by marine growth on the hull with several negative effects. Some of these are that fuel consumption increases while maneuverability of the vessel decreases. Roughly calculated, the total operational bunker cost, on a vessel with a heavy fouling growth, can be twice as large as for a ship without fouling.

There are some common species such as barnacles that grow on the hull and algae that settle as a layer of slime on the ship. The most common way to counteract hull growth is to use antifouling paints that either contain toxins that kill these organisms or Foul Release paints based on silicone that make the surface smooth so that the organisms cannot adhere to it.

By conducting a literature study, this work investigates the effectivity and total cost of the silicone paints that doesn't contain toxins, which is considered to be a more environmentally friendly alternative for the ships.

Keywords: marine coatings; antifouling; Foul Release; silicon; hull paint; biocide paint; PDMS; drag characteristics.

Sammanfattning

Fartyg har genom alla år präglats av skrovbeväxning med flera negativa effekter som följd. Några av dessa är att bränsleförbrukningen ökar medan fartygets manövreringsförmåga minskar. Grovt beräknat kan sammanlagda kostnader för drift och bunker bli dubbelt så stora på fartyg med mycket påväxt.

Det finns några vanliga arter som växer sig fast på skrovet, exempelvis havstulpaner eller alger som lägger sig som ett lager slem på fartyget. Det vanligaste sättet att motverka skrovbeväxningen är att använda antifouling-färg som antingen innehåller toxiner som dödar dessa organismer eller att använda Foul Release-färger baserade på silikon, vilka gör att ytan blir slät så att organismerna inte skall kunna fästa sig på den.

Genom litteraturstudier undersöker detta arbete effektivitet och den totala kostnaden för silikonfärger som antas vara ett miljövänligare, giftfri alternativ för fartygsskrov.

Nyckelord: *marine coatings; antifouling; Foul Release; silikon; bottenfärg; biocidfärg; PDMS; dragegenskaper.*

Ordlista

AF	Antifouling-färg – refererar allmänt till alla färger som motverkar påväxt.
AFM	<i>Atomic Force Microscopy</i> – metod som mäter grovhet av yta (μm)
BHAR	<i>British Maritime Technology Hull Roughness Analyzer</i> - se Rt(50)
CA	<i>Contact Angle</i> – mäter ytenergin
Cu	Koppar
Cu ⁺	Koppar jon
Cu-SPC	<i>Antifouling Self-Polishing-Copolymers</i> – bottenfärg med koppar där ”utarbetade” yttersta lagret polers bort av sig själv
Cu-Abl	<i>Ablative copper</i> – samma som Cu-SPC
FCC	<i>Fouling Control Coatings</i> – allmänt alla färger som motverkar påväxt.
FR	<i>Fouling Release</i> – refererar till silikonfärger med slät yta som huvudegenskap. Som motverkar påväxt från att sätta sig fast på den.
FRC	<i>Fouling Release Coating</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
PDMS	<i>Poly-Di-Methyl-Siloxane</i> – silikon, huvudkomponent i Foul Release-färger
Polymerer	Föreningar uppbyggda av långa molekyllängder.
Rt (50)	Metod som mäter grovhet på en yta (μm)
SPC	<i>Self-Polishing Copolymers</i> – En biocidfärg med självpolerande effekt för att få fram ny lager av färg med oanvänt gift. Innehåller kopparjoner eller/och andra gifter som motverkar påväxten.
TBT	<i>Tri-Butyl-Tenn</i> – Effektivt och väldigt miljöfarligt gift som är förbjudet idag. Användes tidigare i AF-färg
Ytenergi	Relaterar till egenskaper i förhållandet mellan två olika ytor. Enklart visar dessa egenskaper vatten, då vatten vid låg ytenergi ”pärlar” sig medan ju högre ökar skillnaden i ytenergin sträcker sig vatten på ytan som en jämn fil. Dessa egenskaper relateras till hydrofil, hydrofob eller amfifila egenskaper.
Zn	Zink

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	Syfte	1
1.2	Frågeställningar	2
1.3	Avgränsningar	2
2	TEORETISK BAKGRUND	3
2.1	Påväxtorganismer	3
2.1.1	Koloniseringsprocess och utveckling av påväxtorganismer	3
2.1.2	Marina miljön	4
2.1.3	Ytans påverkan på påväxtorganismerna	4
2.2	Antifouling-färg	4
2.2.1	Historiskt perspektiv	4
2.2.2	Biocidfärg	5
2.2.3	Fouling Release-färg	6
2.3	Fartyg	6
2.3.1	Slow steaming och FRC	8
3	METOD	9
3.1	Minimerat litteraturstudie	9
3.2	Strukturerad sökplanering	9
3.3	Källsökningen	10
3.3.1	Vetenskapliga grundkällor	10
3.3.2	Grundkunskapslitteratur	11
3.3.3	Tidigare studentarbeten inom samma kategori	11
3.3.4	Regelverk och andra källor	11
3.4	Källgranskning	12
4	RESULTAT	13
4.1	Vattenmotstånd och bunkerförbrukning	13
4.2	Totala kostnader av bottenfärg under fartygets livslängd	19
4.3	Toxicitet och miljöpåverkan	21
5	DISKUSSION	26
5.1	Vattenmotstånd & bunkerförbrukning	26
5.2	Diskussion pristillämpningar	27
5.3	Diskussion toxicitet	28
5.4	Förslag till vidare studier	29
6	METODDISKUSSION	30

7	SLUTSATS	31
7.1	Bunkerförbrukning	31
7.2	Silikonens kostnad	31
7.3	Toxicitet	32
	LITTERATURFÖRTECKNING	33
	APPENDIX	35

Tabellförteckning

Tabell 1 – Sammanfattning av testresultat från olika forskningar på utförandet av bunkerförbruknings tester.....	13
Tabell 2 - Visar olika dragkraft uppmätt i $\Delta C_{m,H} (\cdot 10^2)$ vid olika underlagsgrovhet uppmätt enligt RT(50) (Lindholdt, 2015)	15
Tabell 3 – Mätningar på ytenergin av olika färgtillverkarna enligt (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006).....	16
Tabell 4 - Tröghetsmomentkoefficient med skillnad i % enligt (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006).....	17
Tabell 5 – BHAR Ytråhet testresultatet efter ny applicering (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007).....	17
Tabell 6 - Totala kostnaden för ett fartygs livscykel i en modell över 30 år Demirel Kemal Yigit (2018)	20
Tabell 7 - Uppskattade färgkostnader (Lejars, Margailan, & Bressy , 2012).....	21
Tabell 8 – Sammanställning av metaller som läcker ut från alla tester på silikonfärger hela går att hitta i appendix i tabell 10.	25
Tabell 9 – Visar referenser till grovhetmätningar för olika typer av ytor.....	35
Tabell 10 – Sammanställning av alla metaller som läckte ut i vattnet från varje färg vid olika föråldringstider (Piazza, o.a., 2018).....	35

Figurförteckning

Figur 1 – Påväxtutveckling på en yta under vatten. (Lejars, Margailan, & Bressy , 2012) ..	3
Figur 4 – Cylinder i vatten som roteras. En cylinder som är slät och en som är applicerad med färg. från (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006).....	7
Figur 5 – Samlade resultat från Lindholdts (2015) 1 månad experimentet med statisk nedsänkning samt 2, 5 månader som undersökte vattenmotstånd i cylindermetoden vid 500 RPM.	14
Figur 6 – Samlade resultat från Lindholdts (2015) 1 månad experiment med statisk nedsänkning samt 2,5 månader som undersökte vattenmotstånd med cylindermetoden vid 900 RPM.	14
Figur 7 – Samlade resultat från Lindholdts (2015) 1 månad experiment med statisk nedsänkning samt 2,5 månader som undersökte vattenmotstånd med cylindermetoden vid 1500 RPM.	15
Figur 8 – Mätningar på tröghetsmoment (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007).....	18
Figur 9 – Påväxt på olika färger i statiska och dynamiska förhållanden (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007)	19
Figur 10 – Färg och varvskostnader återskapad figur av Anton Frohm Johansson baserad på graf (Demirel Kemal Yigit, 2018)	20
Figur 11 – Jämförelse dödlighet av havstulpaner som exponerades för de olika silikonfärgerna på 0% utspädning. (Piazza, o.a., 2018).....	23
Figur 12 - Jämförelse dödlighet av havstulpaner som exponerades för de olika silikonfärgerna på 50% utspädning. (Piazza, o.a., 2018).....	23
Figur 13 – Jämförelse dödlighet av havstulpaner som exponerades för de olika silikonfärgerna på 100% utspädning. (Piazza, o.a., 2018).....	23
Figur 14 – Jämförelse av sim rörlighet för havstulpaner som exponerades till de olika silikonfärgerna på 0% utspädning. (Piazza, o.a., 2018).....	24
Figur 15 – Jämförelse av simrörlighet för havstulpaner som exponerades till de olika silikonfärgerna på 50% utspädning. (Piazza, o.a., 2018).....	24
Figur 16 – Jämförandet på simrörlighetens påverkan för havstulpaner som exponerades till silikonfärgerna på 100% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)	25

Tackord

Vi skulle vilja tacka vår handledare Lena Granhag samt hennes kollega Maria Lagerström för att få igång vårt arbete med gemensam brainstorming samt hur vi skulle tackla vissa problem. Och alla andra fina insatser som de var villiga att göra för oss. Även vilja tacka Erik Ytreberg som hjälpte oss i slutet av arbetet samt Nils Lagnemo som var villig att ta sig tiden att hjälpa med korrekturläsning. Sist men inte minst Chalmers bibliotekarier.

1 Inledning

Nästan alla fartyg målas med bottenfärg som skydd mot skrovpåväxt. *Fouling Release Coating* (FRC) eller *Fouling Release* (FR) färger anses som ett av de mest miljövänliga alternativen, jämfört med vanliga biocidfärger som släpper ut gifter i den marina miljön. FR-färgen är huvudsakligen baserad på silikon. Den innehåller flera typer av oljor som skapar en slät yta och begränsar vidhäftningsförmågan hos påväxtorganismer till skrovet. (Hellio & Yebra, 2009; Lejars, Margailan, & Bressy, 2012; Noguer, 2016)

Silikonerna har en självrenande effekt, som gör skrovet rent med hjälp av hydrodynamiken då fartyget rör sig genom vattnet och påväxten spolats av med strömmen (Hellio & Yebra, 2009). För att detta skall lyckas måste fartyget hålla minst en hastighet av 15 knop. Det finns även de som påstår att vissa FR-färger klarar av att hålla rent skrovet redan vid 8–10 knop, vilket i sin tur kan öppna upp en helt ny marknad för fartyg som kör på ”*slow steaming*” (Ciriminna, Briht, & Pagliaro, 2015).

Problemet med skrovpåväxt beror på att tillgången på fasta ytor är begränsade för den stora biologiska mångfalden i havsmiljön. Problemet blir då att all fri yta som inte är bevuxen, koloniserar av de organismer som lever fastsittande. Denna process börjar redan efter några minuter, när ett nytt introducerat föremål hamnar i vattnet. Fartygsskrov tillhör dessa ytor. Vid minsta andel påväxt påverkas fartygets effektivitet att röra sig genom vattnet negativt. Konsekvenserna blir högre kostnader i bunkerförbrukning och utsläpp av avgaser i miljön. Skrovbevuxningen kan också innebära sämre styrning och därmed lägre säkerhet vid framförandet av fartyget. (Lejars, Margailan, & Bressy, 2012; Noguer, 2016).

I examensarbetet Tegneman & Jallow (2013), som gjordes för att undersöka hur väl svenska rederier kände till FR-färger, visade det sig att kunskapen var ganska låg. Rederierna visste om att den typen av färg existerade. Dock valde de att inte använda sig av den typen av färg på grund av att de inte ville byta från biocider, som redan fungerade tillräckligt bra, eller då fartygen hade risk att vara i is-miljö vilken utgör ett hot för den typ av färg då isen nöter av färgen.

1.1 Syfte

Arbetet undersöker om silikonbaserade FR-färger kan minska bränsleförbrukningen och om totala kostnader för användning av silikonfärg är tillräckligt låga för att göra detta alternativ mer aktuell för rederier.

Idag finns mycket kunskap om hur sjöfart och människan i allmänhet kan påverka miljön. Gifter och bekämpningsmedel utgör risker för naturen, därför görs försök att minska användandet av dessa. I detta arbete undersöks därför hur bra silikonfärg är som kandidat för giftfritt alternativ, vilka substanser silikonbaserade FR-färger innehåller och vad de kan ha för negativa effekter på miljön.

1.2 Frågeställningar

1. a) Hur håller silikonbaserade FR-färger nere bunkerförbrukningen jämfört med biocidfärger?
b) Hur skiljer sig priset för användning av silikonfärg jämfört med biocidfärg? (pris per liter färg samt pris för målning)
2. Finns det några negativa miljöeffekter med silikonbaserade FR-färger? (Finns det farliga substanser i silikonfärger och vad kan de ha för miljöpåverkan?)

1.3 Avgränsningar

Rapporten baseras på litteraturstudier som undersöker artiklar och publikationer med innehållande information om silikonfärg som jämförs med andra alternativ inom biocidfärger. Rapporten avgränsas till den avsatt tid på två läsperioder och motsvarar 15 högskolepoäng. Arbetet undersöker huvudsakligen den europeiska områden med bakgrundsfakta i första hand hämtas ur studier inom denna områden. Men eftersom forskningen av alternativa lösningar ständigt pågår i hela världen så undersöker rapporten flera studier som gjordes även runt om i världen.

2 Teoretisk bakgrund

I detta avsnitt redovisas tekniska och teoretiska fakta samt grundkunskap om ämnet så att den som läser får en översiktlig förståelse av området.

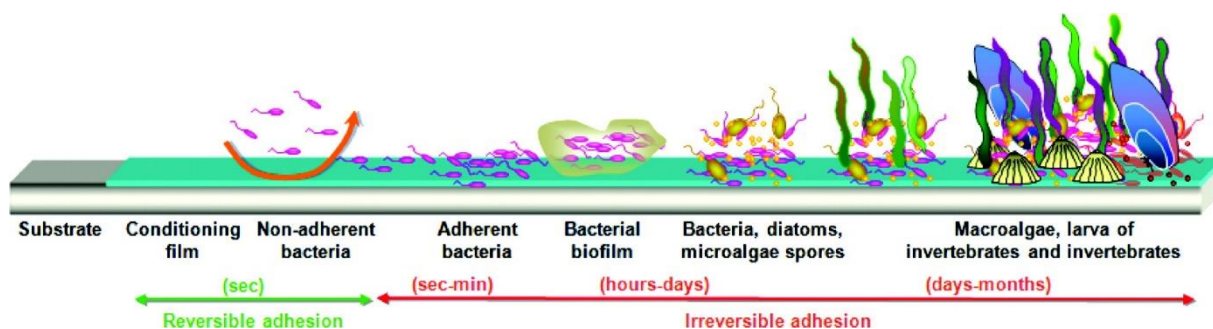
2.1 Påväxtorganismer

Utifrån cirka 4000 påväxtorganismer som finns identifierade över hela världen är de mest förekommande på fartygsskrov havstulpaner, alger, mossdjur, rörmaskar och musslor. Den första påväxten på fartygsskrovet är mikroorganismer som bakterier, kiselalger (diatoméer) och sporer av alger (Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012).

2.1.1 Koloniseringsprocess och utveckling av påväxtorganismer

Koloniseringsprocessen av ogiftiga ytor i vattnet kan beskrivas i flera steg se *figur 1*.

- Molekylär påväxt: Processen börjar efter några sekunder i vatten då en tunn film som består av proteiner, polysackarider och glykoproteiner bildas.
- Primär kolonisering: består av encelliga bakterier och diatoméer som skapar biofilm. Först fixeras isolerade planktoniska bakterier i högar på en yta. Sedan förankras bakterier på ytan via *exopolymer*. När biofilmen är mogen, fångar den upp näringsämnen genom förbiströmmande vatten. När detta sker kan biofilmen utvecklas i makroskopisk skala (som kan bli upp till flera meter under optimala förhållanden).
- Sekundär kolonisering: efter ca en vecka ger denna mikrobiella biofilm tillräckligt med näring för att möjliggöra kolonisering av flercelliga arter till exempel: sporer av makroalger, vanligtvis kallad *micro fouling* (slem).
- Tertiär kolonisering som inkluderar ökad fångst av partiklar och organismer, såsom larver av marina makroorganismer; Detta sker efter några veckor. Dessa inkluderar makroalger, svampdjur, mossdjur, havsborstmaskar, havstulpaner manteldjur, m.m. I praktiken gäller detta händelseförlopp dock endast för ett begränsat antal organismer. Närvaron av en biofilm är inte alltid nödvändig och vissa marina arter kan bosätta sig på orörda ytor. (Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012; Nogue, 2016).



Figur 1 – Påväxtutveckling på en yta under vatten. (Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012)

2.1.2 Marina miljön

Flera faktorer påverkar vidhäftningen för organismer på ytorna. Faktorerna är: salthalt, pH, temperatur, näringshalter, strömhastigheter på vattnet och solens strålningsintensitet. Dessa faktorer varierar både säsongsmässigt, geografiskt och med förändringen av djupet. Temperaturen på havets ytvatten varierar med latitud, från cirka -2°C vid polerna till 28°C vid ekvatorn, dock kommer temperaturer lokalt upp till 35°C . I områden nära polerna med temperaturer lägre än 5°C , växer organismerna framför allt under en kort period under sommaren. Medan i vatten med högre temperatur, exempelvis vid ekvatorn, sker beväxningen under alla säsongerna. Det är också viktigt med tillgång på tillräckliga halter av järn (Fe) och calcium (Ca) som är nödvändiga ämnen för bildning av biofilm (Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012; Noguier, 2016)

2.1.3 Ytans påverkan på påväxtorganismerna

Koloniseringsprocesser beror på ytans egenskaper. Ytenergin hos substrat är en av de mest relevanta fysikalisk-kemiska parametrar som påverkar sedimenteringen och påväxtens vidhäftningsstyrka. Som regel anses hydrofoba organismer hålla sig till hydrofoba ytor och tvärtom hydrofila organismer till hydrofila ytor. Bakteriell vidhäftning kan minska eller öka med ökande ytenergi, beroende på de fysikaliska och kemiska egenskaperna hos bakterier. Mossdjur t.ex. föredrar att bosätta sig på ytor med låg energi ($10\text{--}30\text{ mN/m}$), havstulpaner föredrar ytor med högre energi ($30\text{--}35\text{ mN/m}$) medan hydrozoer bosätter sig på alla typer av ytor (Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012).

Grovhet och porositet påverkar koloniseringsprocessen eftersom ytojämnheter skapar en längre yta (större area) att fästa sig vid samtidigt som alla fördjupningar i materialet utgör ett skydd. Det är också känt att havstulpaner reagerar på ljus och söker därför mörka ytor. Genom observationer anses att havstulpaner skiljer på färger och föredrar de mörkröda och svarta färgerna istället för blått, gult och vitt (Hellio & Yebra, 2009).

Ytråhet – är grovhet på en yta. Ytråhet kan mätas med ett antal olika metoder genom jämförandet av den högsta toppen μm på en våg i färgen och sedan den lägsta μm i en "vågdal". Några kända metoder att mäta ytråhet är RT (50) och *Atomic Force* (AFM). Varje metod innebär sitt grovhetsmedelmått för materialet. Varje metod innehåller också sina felkällor som bör diskuteras vid varje separat experiment. (Noguier, 2016; Lindholdt, 2015)

2.2 Antifouling-färg

Antifouling-färg (AF) är färg som målas på skrovet för att motverka skrovpåväxt. AF-uttrycket används allmänt för alla färger som har denna funktion oavsett om färgen är giftig eller ej. Inom AF-färg finns underkategorier: biocid-färger som läcker ut olika gifter och giftfria färger som gör ytan såpass slätt att organismerna inte kan vidhäfta och leva på den.

2.2.1 Historiskt perspektiv

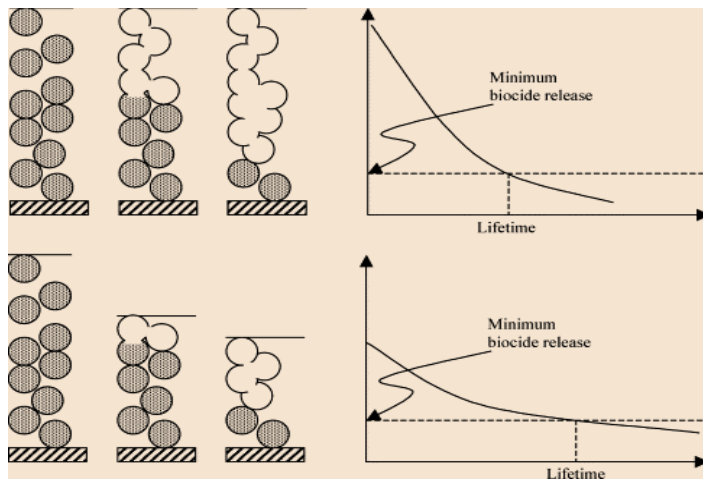
I över 2000 år har man varit orolig för skrovpåväxt. Det sägs att redan i Fönikarnas- och Kartaginers tid användes koppar för att motverka skrovpåväxt genom att blanda ner koppar med vax, tjära och asfalt. Grekerna var också tidiga, redan för ca 2500 år sedan försökte de motverka påväxt med hjälp av olja som blandades med arsenik & svavel. En av de första moderna bottenfärgerna började tillverkas mellan 1860–1908. 1908 skapade amerikanerna deras första riktiga bottenfärg. (Noguier, 2016)

De riktiga framstegen inom bottenfärger gjordes efter andra världskriget när man började använda petroleumbaserade syntetiska polymerer. Det blev då enklare att massproducera starka gifter. Det mest kända giftet av denna art var *Tri-Butyl-Tenn* (TBT) som upptäcktes av Van de Knok med hans arbetskollegor. Biocidbottenfärg med TBT blev patenterad 1977. (Noguer, 2016)

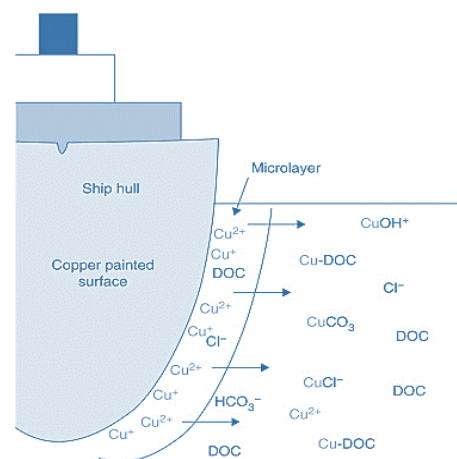
Efter att man undersökte denna bottenfärg under lång tid insåg man att den inte bara var toxisk för organismerna på skrovet utan man märkte också att den påverkade runtomkring levande marina arter. Några av effekterna var att ostron utvecklade deformationer och vissa valthornssnäckor fick könsförändringar. Det ledde till att EU 1989 förbjöd användandet av TBT-färger för båtar under 25 meter (Bighiu, 2017) och 2008 blev det olagligt att använda TBT-färg inom alla *International Maritime Organisation* länder (IMO, 2001).

2.2.2 Biocidfärg

Giftiga *antifouling*-färger (AF) kallas även biocidfärger, de vanligaste typerna av biocidfärger idag innehåller koppar. Dessa har huvudsakligen två funktionssätt: den ena är självpolerande *Self-Polishing Copolymers* (SPC) som fungerar genom att de hela tiden släpper ut en jämn mängd av det giftiga ämnet då yttersta lagret av färgen poleras bort med tiden. Den andra är ”hård färg” som i början läcker mera gift än vad den gör mot slutet se *figur 2* (Bighiu, 2017).



Figur 2 – Skillnad mellan biocid fyllnad och därmed livstid på hård färg (övre bilden) och SPC (nedre bilden) (Hellio & Yebra, 2009)



Figur 3 – Reaktion mellan kopparjoner och vatten (Hellio & Yebra, 2009)

Kopparbaserade biocidfärger avger en instabil kopparjon (Cu^+) figur 3. Den oxideras väldigt fort och bildar ett nytt ämne Cu^{2+} som är betydligt mer stabil. Efter detta sker en kemisk reaktion mellan Cu^{2+} , icke organiska och organiska joner i vattnet bara några mikrometer från bottenytan. Detta skapar en giftig miljö för organismerna som är väldigt nära fartygsskrovet. Men kopparjoner i sig klarar inte av att hålla borta alla typer av organismer, det finns också ett antal påväxtarter som klarar av att leva i en hög kopparhaltig miljö. (Hellio & Yebra, 2009)

För att motverka dessa arter och att behålla så rent skrov som möjligt får man blanda in flera ytterligare biocider som kallas för boost-biocider. Dessa brukar vara *zinc-pyrithione*, *copper-pyrithione*, *chlorothalonil*, *diuron*, *seanine* med mera. (Hellio & Yebra, 2009). Dessa boost-biocider blandas in i en mindre andel av färgen då den riktar sig mot färre arter. Vanligtvis innehåller biocidfärger 35–50 vikt% koppar och <10 vikt% boost-biocider (Bressy & Lejars, 2014). För att se effektiviteten på färgen, gör man några grundtoxintester på ett visst antal olika marina arter så som sjöborrar, mikroalger, sjöpungrar, fiskar, ostron, musslor, havstulpaner, kräftdjuren *Artemia* samt även däggdjursceller. Testerna mäter först antalet organismer som dör

genom LC⁵⁰-prov och sedan antalet organismer som överlever efter att de lämnar den giftiga miljön som mäts i EC⁵⁰. (Hellio & Yebra, 2009)

Den tillsatta mängden av koppar eller andra typer av biocidföreningar i färgen avgör hur fort biocidhalten läcker ut. Läckage hastigheten påverkas även av vattenflödet, temperatur, pH-värde, salthalt och påväxten (Hellio & Yebra, 2009). Förbättring av biocidfärger pågår ständigt, det gör att koppar och andra biocidhalter kan minskas utan att minska bekämpningseffekten. Men på grund av ett ökat miljötryck, efterfrågan på alternativa lösningar ökat, då har man skapat en icke toxin-bottenfärg så kallade *Foul Release Coating* (FRC).

2.2.3 Fouling Release-färg

Silikon – *Polydimethylsiloxan* (PDMS) är en färglös vätska vid rumstemperatur som har två till sex kiselatomer. Detta är grundämnet i silikonfärgen som också relativt billigt att framställa. Silikon har vattenbortstötande egenskaper, den är elastisk och kan självläka vid skada (Kemikalieinspektionen, 2011). Redan 1961 patenterades för första gången silikon i bottenfärg, men det var först på 1980-talet som den blev tillgänglig på den stora försäljningsmarknaden (Noguer, 2016).

Foul Release Coating (FRC) är en färg med slätt yta som huvud egenskap, vilket förhindrar vidhäftning av påväxtorganismerna. Den anses vara ett av de miljövänligare alternativen att hålla borta skrovpåväxt. Detta är av anledning att den typen av färg är gjord på silikon och inte innehåller några kända gifter (Hellio & Yebra, 2009; Lejars, Margailan, & Bressy, 2012; Noguer, 2016). Dock enligt Lejars, Margailan, & Bressy (2012), finns det misstankar om att silikonfärgens oljor kan ha en skadlig påverkan. Det är framförallt PDMS-oljor som varje färgtillverkare brukar lägga till för att framhäva egenskaperna av silikonerna. Den silikonfärg som har de bästa egenskaperna för detta är mjuka elaster, (elaster är lätttrörliga polymerer som har egenskapen att kunna töjas utan att brista, gummi är en elastomer).

Grundprincipen är att vattenflödet över fartygsskrovet spolat bort mikroorganismerna innan de hinner fästa. Silikonerna i färgen skapar en slät yta med låg friktionskoefficient och låg ytenergi som bildar en s.k. ”non-stick”-miljö vilket motverkar vidhäftning mellan organismer och fartygsskrovet. Om marina arter ändå lyckas att förankra sig på skrovet blir förankringen försvagad av silikonens ytegenskaper. Därför kan dessa organismer antingen spolat av vid en viss hastighet när båten kör eller vid varv besök genom spolning med högtryck. (Lejars, Margailan, & Bressy, 2012).

Det har bevisats att organismerna kan vidhäfta sig i en statisk vattenmiljö på fartygets skrov, men att de snabbt åker av när fartyget börjar köra (Noguer, 2016). De flesta är eniga om att fartyg som använder silikonfärg bör hålla hastigheter på minst 15 knop, då de börjar bli som mest effektiva mot påväxt och man bevisar detta med experiment, att det är vid denna hastighet som havstulpaner först åker av effektivt (Noguer, 2016; Bressy & Lejars, 2014; Noguer, 2016; Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007; Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006). Det finns de som hävdar att man kan få en lyckad verkningsgrad redan vid 8–10 knop som skulle öppna upp en ny marknad för de som kör i *slow steaming* (Lejars, Margailan, & Bressy, 2012; Ciriminna, Briht, & Pagliaro, 2015).

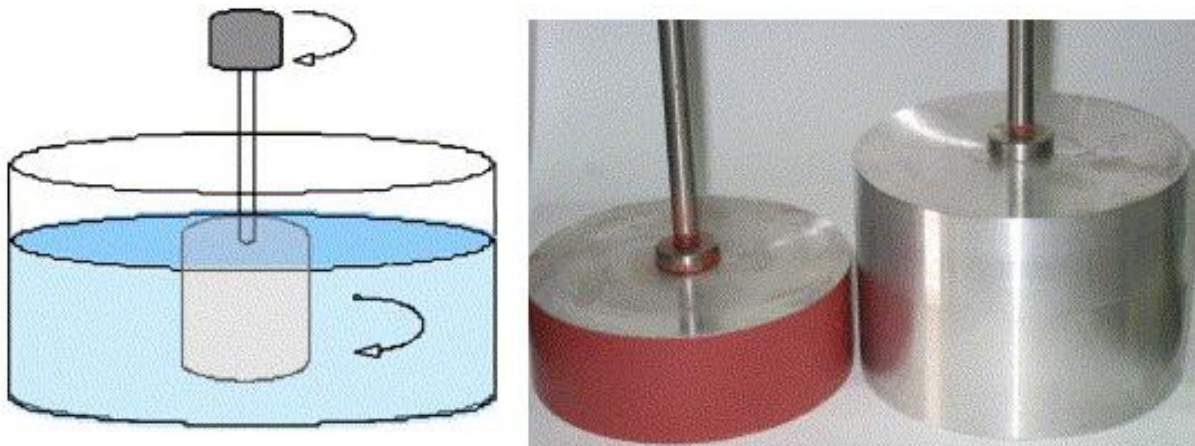
2.3 Fartyg

Tröghetsmoment / friktionsmoment i vätska är den kraft som motsätter sig fartygets egen rörelseenergi. För att övervinna denna motkraft måste propellern roteras hela tiden för att få framdrivning. Motkraften har flera komponenter men två stycken har stor inverkan på fartygets

hastighet genom vattnet: skrovets utformning och skrovets ytråhet. Båda påverkar friktionen mot vattnet. Eftersom skrovmaterialiet med ojämna ytor, skav, rost och skrovpåväxt mest påverkar friktionen kan bottenfärg motverka dessa effekter genom att skapa en slätare yta (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006).

Skrovmaterialiets friktion kan mätas på ett antal olika sätt. I dynamiska förhållanden kan man använda antingen en cylinder som roteras i vatten eller en skiva som har ett flöde runt sig. Samma teknik kan användas när man mäter inverkan från bottenfärgen. Enheter som krafterna mäts i, är milli Newton/meter (mN/m) dessa kan anges som friktion konstant i tabeller som ger samma slutresultat. (Noguer, 2016; Lindholdt, 2015).

Experiment med cylinderrotorn görs genom att cylindern roteras vid en viss- eller olika hastigheter. Hastigheten bestäms genom att beräkna vad RPM skall behöva vara vid den specifika diametern på cylindern. Cylindern är fast bultade i botten och i toppen för att undvika onödiga vibrationer som kan påverka resultatet. För att kunna avgöra hur mycket trögare en färg är jämfört med andra färger, börjar experimentet med cylindrar som klassas helt släta *figur 4*. Vidare appliceras de representativa färgerna för att avgöra vad den specifika färgen har i tröghetsmomentkoefficient. (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006).



Figur 2 – Cylinder i vatten som roteras. En cylinder som är slät och en som är applicerad med färg. från (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006)

I det statiska testet mäter man hur mycket vatten kan glida upp mot ett föremål med hjälp av ytspänning vid vattenkontaktsvinkel 0, vilket anger hur mycket ytenergi som finns i materialet i enheten mN/m. Dessa tekniker möjliggör att man kan se hur mycket bränsleförbrukning man kan spara in i teorin genom att välja rätt bottenfärg, innan man ens har applicerat den (Noguer, 2016; Lindholdt, 2015).

Som tidigare nämnts kan dessa krafter utnyttjas av FR-färg för att hålla rent fartygsskrovet, beroende på vilken hastighet fartyget har samt vilken ytfriktion och ytenergi fartygets undervattens kropp har, släpper olika organismer lättare från skrovet eller så vill inte organismerna försöka förankra sig fast i bottenfärgen då de känner instinktivt att de inte är en beboelig yta. (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006; Lejars, Margailan, & Bressy, 2012).

2.3.1 Slow steaming och FRC

Slow steaming är ett begrepp som refererar till fartyg som av olika anledningar väljer att köra långsammare för att minimera bunkerförbrukningen. På grund av att många i handelsflottan kör långsammare än 15 knop så är det inte aktuellt för dem att använda sig av en FRC-färg (Lejars, Margailan, & Bressy, 2012; Tegneman & Jallow, 2013) Nu när viss forskning börjar hävda att bottenfärg baserat på PDMS, kan göra skrov rent redan vid 8–10 knop skulle det kunna göra färgen attraktiv för detta segment som kör på *slow steaming* också (Bressy & Lejars, 2014).

3 Metod

Idet här kapitlet redovisas metodvalet och tillvägagångssättet vid planering av studieformat, datainsamling och beskrivning av källoval med tanken på urvalsmetod, validitet, reliabilitet.

Det råder inga tveksamheter kring uppfattning om att metod och strategivalet är avgörande för arbetsgången och resultatet. Därför innan man bestämmer sig för en metod eller strategi, bör man vara väl medveten om sitt syfte i undersökningen. Det bör ställas frågor så som vilka medel finns det tillgängliga, tidsramar och vilken strategi som passar bäst att genomföra undersökningen för att nå målet (Denscombe, 2018).

3.1 Minimerat litteraturstudie

Vid valet och utformning av vår studie gick vi igenom några möjliga forskningsstrategier som skulle allmänt passa för att svara på samma typer av frågor som vi hade viljan att undersöka. Strategier som: surveyundersökningar, fallstudier eller eget experiment, dessa skulle innebära direkt kontakt med rederier eller fartyg, färgtillverkarna och färgförsäljarna. Fort blev det klart att dessa strategier är mer tidskrävande och kan vara allt för kostsamma. Samtidigt som vi haft i åtanke att det kan också finnas svårighet med att etablera kontakt med ovannämnda, ansåg vi en bättre möjlighet - att föra en litteraturstudie och undersöka vetenskapliga artiklar inom detta område.

Metod som vi valde vid denna undersökning är minimerat litteraturstudie. Metoden bygger på en systematisk forskningsöversikt som brukar förknippas med evidensbaserad praktik (Denscombe, 2018). Detta innebär undersökning av tillgängliga, vetenskapliga texter och sammanställning av dessa vilket fortsättningsvis ska kunna leda till svar på frågeställningarna. Informationssökningen och urvalet görs med bestämd sökordsplanering med kriterier som redovisas vidare i 3.3.

Förutom sökandet i databaser använde vi oss också delvis av snöbollsmetoden som enligt Denscombe (2018) refererar endbart till urval av personer men kan också vara applicerbar vid litteraturstudie då varje källa som blir utvald undersöks för sina referenser och vilka som har citerat denna, för att på sådan vis leda vidare till nya källor som är direkt kopplade till ämnet. Detta gjorde att vi kunde fördjupa undersökningen i relaterade frågor med direkt koppling till berörd text.

3.2 Strukturerad sökplanering

Att kunna svara på frågeställningen behövdes det nödvändiga data från vetenskapliga källor för att sammanställas och analyserades. För att bättre förstå vad skulle vi börja söka, delade vi sökningen in i fyra sökområden. På sådan sett kunde vi bättre identifiera sökningsmålet och vilka specifika sökord som skulle passa.

1. Antifouling-färg allmänt – Grundläggande data som ger nödvändig kunskap i ämnet i stora drag. Därifrån kan man specificera forskningen och gå vidare med fördjupade undersökningar.
2. Silikonfärg specifikt – utförliga och specifika data gällande silikonfärg och dess egenskaper samt jämförelse med andra alternativ som giftiga SPC-färger.
3. Bränsleförbrukning – områden där man tittar närmare och undersöker förhållandena mellan bränsleförbrukning, skrovpåväxt och själva skrovfärgen.

4. Kostnader – områden som tittar närmre på frågor om förhållandena mellan kostnader. T ex om det är värt att införa ny och dyrare alternativ av en färg, skulle det minska den totala kostnaden eller skulle det öka.

Allmän planering av sökord (eng/swe): marine; coatings; antifouling; Foul Release; silicon; bottenfärg; biocidfärg; comparison; drag characteristics; kostnad; PDMS.

Allmän planering av databaser och sökmotorer: Chalmers bibliotek, Google Scholar, Scopus, Web of Science.

Eftersom de flesta artiklar är på engelska översattes sökord till engelska vid varje sökning.

I litteratursökning ingick: vetenskapliga studier, avhandlingar, rapporter, artiklar, böcker och berörda lagtexter.

3.3 Källsökningen

I källvalet använder vi oss av flerstegsurvals som grundas på slumpmässigt urval enligt Denscombe (2018). Slumpmässigt urval begränsas av sökordsramen tillsammans med ålderkriterier och andra sökkriterier som ”sökoperatörer” dessa syns i tabell nedan. Sökningen inkluderar bara artiklar som gäller själva forskningsmaterialet och tar inte upp lagtexter samt vetenskapliga artiklar som blivit utvalda genom hänvisning eller snöbollsmetoden som beskrivs i 3.3.4.

Urvalet presenteras i en tabell där visas sökordningen för separat sökordsgrupp. Därför varje tabell innehåller egna sökord och kriterier som tilläggs efter varje sökning för att minska resultaten.

Senare, efter max tre sökningar valde vi källorna ifrån de första 20 som visades i resultaten. Urvalet av slutliga källor beskrivs vidare i 3.4 Källgranskning.

3.3.1 Vetenskapliga grundkällor

SÖK- ORDNING	SÖKMOTOR /DATABAS	SÖKORD	KRITERIER	RESULT AT	UTVALD KÄLLA
FÖRSTA	Scopus	foul AND release AND "antifouling" AND "Marine coatings"	inga	301	
ANDRA		foul AND release AND "antifouling" AND "Marine coatings"	2012-2019	219	
TREDJE		LIMIT-TO: Chemistry OR Chemical Engineering	Sortera: Citat	91	(Lejars, Margailan, & Bressy, 2012) (Ciriminna, Briht, & Pagliaro, 2015)

SÖK-ORDNING	SÖKMOTOR / DATABAS	SÖKORD	KRITERIER	RESULTAT	UTVALD KÄLLA
FÖRSTA	Google Scholar	FRC		313000	
ANDRA		FRC AND Copolymer		3060	
TREDJE		FRC AND Copolymer	Ej tidigare än 2016	619	(Noguer, 2016)

SÖK-ORDNING	SÖKMOTOR / DATABAS	SÖKORD	KRITERIER	RESULTAT	UTVALD KÄLLA
FÖRSTA	Google Scholar	Hazards AND PDMS		5360	
ANDRA		Hazards AND PDMS AND FRC		87	(Nendza, 2007) (Piazza, o.a., 2018)

3.3.2 Grundkunskapslitteratur

SÖK-ORDNING	SÖKMOTOR / DATABAS	SÖKORD	KRITERIER	RESULTAT	UTVALD KÄLLA
FÖRSTA	Chalmers Bibliotek	”antifouling coatings”	Inga	4733	
ANDRA			Hel text; på pappersutskrift	2	(Hellio & Yebra, 2009)

3.3.3 Tidigare studentarbeten inom samma kategori

SÖK-ORDNING	SÖKMOTOR / DATABAS	SÖKORD	KRITERIER	RESULTAT	UTVALD KÄLLA
FÖRSTA	Chalmers Arkiv	antifouling OR foul release	Inga	215	
ANDRA		”antifouling” OR “foul release”	Exakta ord med operatör “OR”	37	(Tegneman & Jallow, 2013)

3.3.4 Regelverk och andra källor

SÖK-ORDNING	SÖKMOTOR / DATABAS	SÖKORD	KRITERIER	RESULTAT	UTVALD KÄLLA
		IMO			(IMO, 2001)
		Kemikalieinspektionen			(Kemikalieinspektionen, 2011)

SÖK- ORDNING	KRITERIER	RESULTAT	UTVALD KÄLLA
	Från Handledaren		(Demirel Kemal Yigit, 2018)
	Från Handledaren		(Bressy & Lejars, 2014)
	Från Handledaren		(Bighiu, 2017)
Snöboll	Från (Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012)	Handlade om Tröghetskraft minskning	(Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006)
Snöboll	Från (Noguer, 2016)	Stod en kortfattad mening om vårt ämne citerat till	(Lindholdt, 2015)

3.4 Källgranskning

Här kommer beskrivning av källgranskningen med utgångspunkt på kriterierna som första steg och som följd undersökning av trovärdighet (validitet) och tillförlitlighet (reliabilitet).

”Den kvalitativa forskningens trovärdighet är inte lätt att bedöma med hjälp av kriterier som brukar användas för kvantitativ forskning. Det är till exempel inte möjligt att kontrollera forskningskvaliteten och fyndkvaliteten genom att upprepa forskningen på det sätt som naturvetenskapsmän kan upprepa ett experiment.” (Denscombe, 2018)

Av anledningen att all litteraturstudie, även den som studerar naturvetenskapliga ämnen kan betraktas som kvalitativa, eftersom det alltid handlar om översikt av flera studier, med flera variabler och möjligheter till att dra olika slutsatser, beroende på antal källor som håller ena eller andra riktning. Eftersom litteraturstudie kan handla om olika tolkningar, blir det väldigt viktigt att ta med sig i undersökningen källor som man kan lita sig på till högsta möjliga grad och som är faktiskt relevanta just för undersökningen.

Därför efter att källorna gick igenom urvalsprocessen med sökord och sökkriterier så skulle dessa vidare utredas enligt punkterna nedan:

- Det skall tydligt framgå från abstraktet att källan har direkt koppling till silikonfärg i just fartyg industri.
- Artikel skall ha i referenserna kända källor.
- Artikeln som dessutom ha blivit citerad skall få högre prioritet.
- Artikeln skall ha en känd utgivare eller att den har skrivits inom en känd institution.
- Källan skall antingen innehålla djupare undersökning och beskrivning av silikonfärgens egenskaper eller skall den innehålla jämförelse av silikonfärg mot andra färger i minst en aspekt så som miljö, kostnad eller effektivitet.
- Nyare källor skall alltid prioriteras först.

4 Resultat

I detta avsnitt redovisas fakta, siffror och tabeller gällande antifouling-färg baserade på silikon som jämförs mot andra biocidfärger som hittades i litteraturen. Resultatet presenteras i samma ordning som frågeställningarna: *vattenmotstånd och bunkerförbrukning, totala kostnader av bottenfärg under fartygets livslängd samt toxicitet och miljöpåverkan.*

En tabell som sammanfattar hur alla test utfördes i de olika referenserna *tabell 1* presenteras för att ge en bättre förståelse under läsningens gång som ett komplement gällande bunkerförbrukning och vattenmotstånd.

Tabell 1 – Sammanfattning av testresultat från olika forskningar på utförandet av bunkerförbruknings tester.

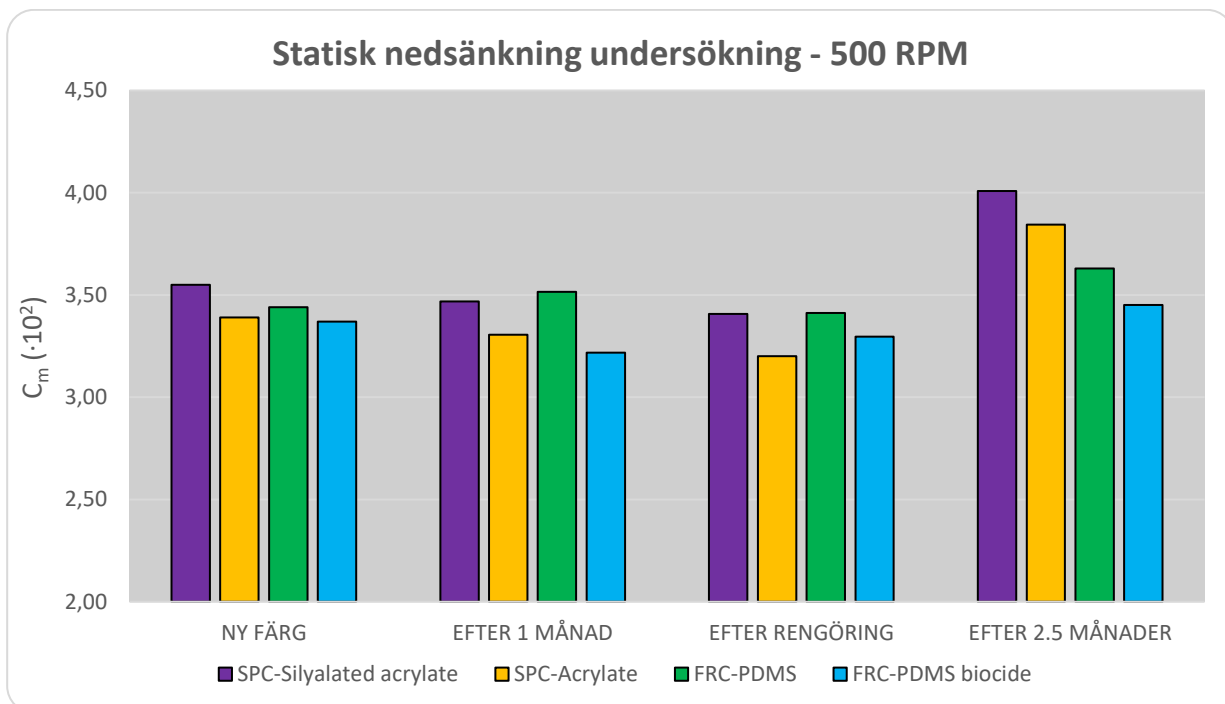
	Ny applicerad färg försök i Labbmiljö	Fält testförsök med att låta färgen få påväxt i statistiska förhållanden	Fält test med dynamisk rengöring	Fält test med dynamisk och mekanisk rengöring kombination	Antal Gift färger	Antal Giftfria silikonfärger	Test som utfördes på olika hastigheter som är med i resultatet
(Lindholdt, 2015)	X	X	–	X	3	1	3
(Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006)	X	–	–	–	3	1	4
(Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007)	X	X	X	–	2	2	1

4.1 Vattenmotstånd och bunkerförbrukning

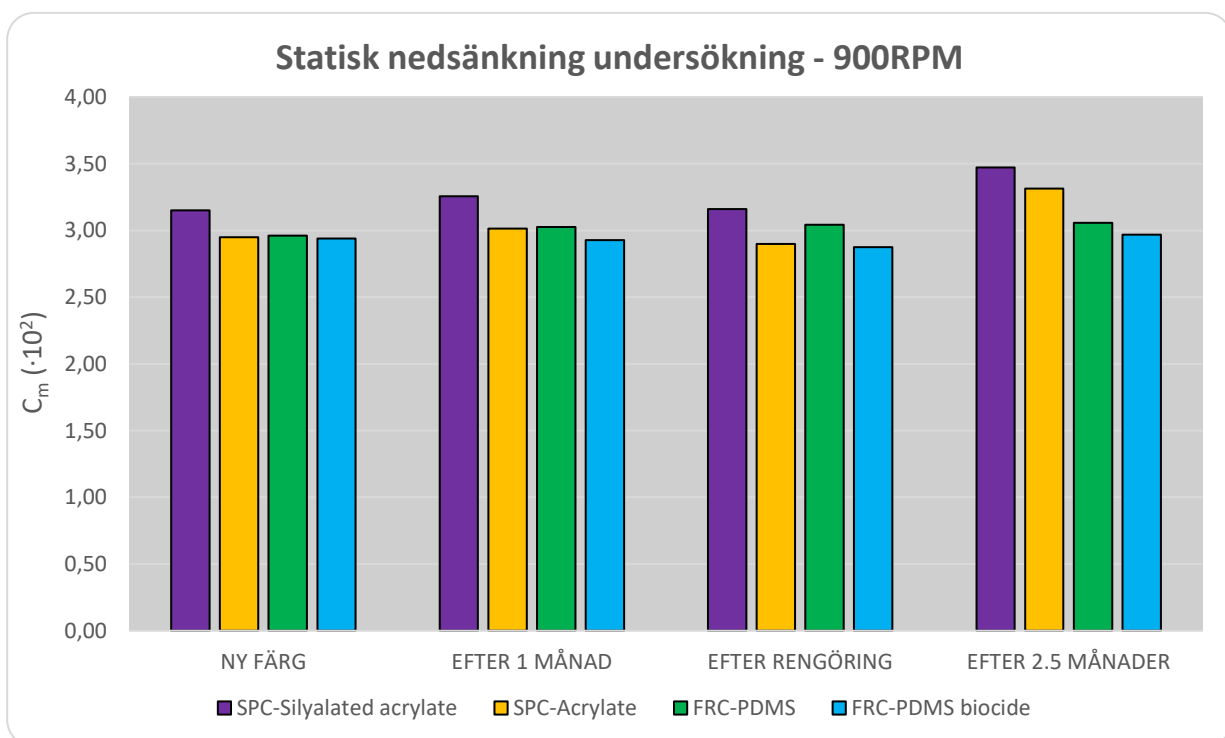
Som nämndes tidigare i teoretiska bakgrunden, har ytfriktionen och ytenergin stor påverkan på bunkerförbrukningen. Förutom själva påväxten, beror också ytfriktionen på flera andra faktorer som: skrovform, skrovkorrosion, skarv på plåten och andra mekaniska ojämnheter. Vidare har olika skrovfärger sina egenskaper som antingen förbättrar eller försämrar friktionen mot vattnet (Lindholdt, 2015).

I Lindholdts (2015) experiment mättes vattenmotstånd i naturligt sjövatten på cylinderrotor med olika ny applicerade AF-färger som först testades i dynamiska förhållanden. Därefter fick cylindrarna stå i en statisk miljö under ett intervall av en månad, för att sedan göra om det dynamiska testet. Efter detta hade cylindrarna mekanisk rengöring med hjälp av en mjuksvamp och slutligen stod cylindrarna 2,5 månad ytterligare i statisk nedsänkning med följande undersökning av motståndskraft igen. Sammanlagt undersöktes fyra olika färger: SPC- Silylated acrylate biocide, SPC- Acrylate biocide, FRC- PDMS biocide samt FRC- PDMS biocide free

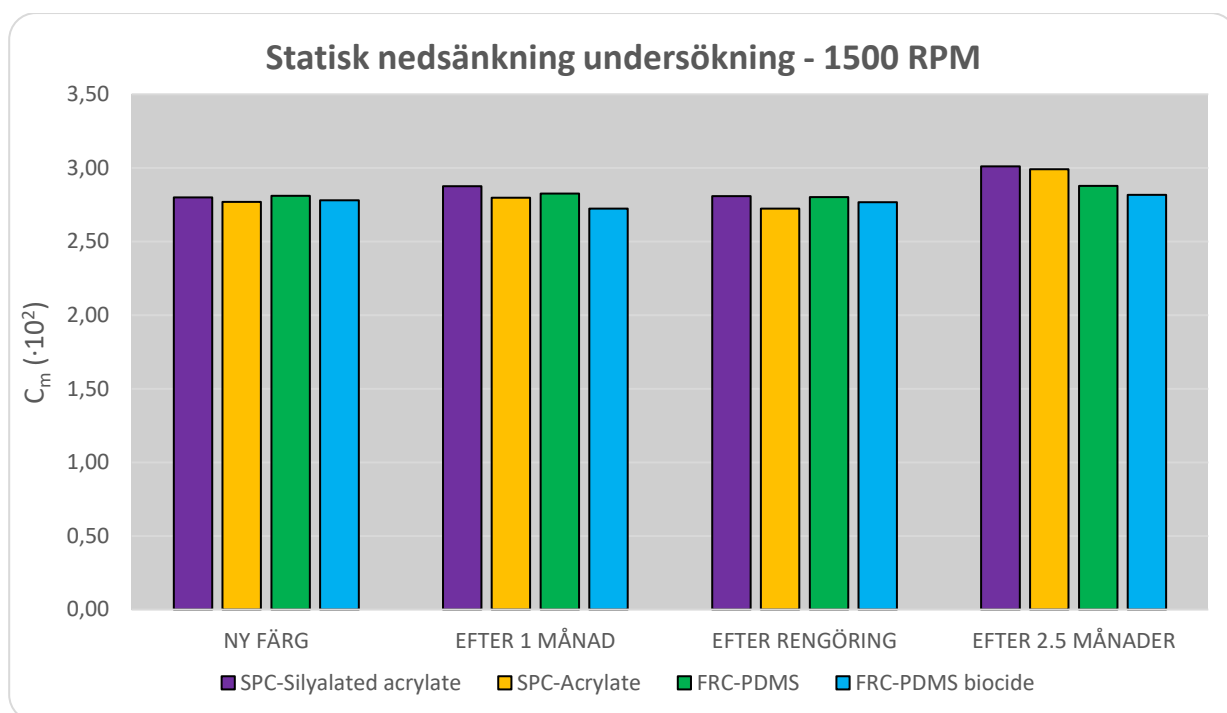
Resultaten visar mindre skillnad mellan färger efter 1 månad men större skillnad efter 2.5 månaders statisk nedsänkning då FRC-färger hade störst fördel jämfört med SPC-färger enligt Lindholdts (2015) se *figurer 5 och 6.*



Figur 3 – Samlade resultat från Lindholdts (2015) 1 månad experimentet med statisk nedsänkning samt 2, 5 månader som undersökte vattenmotstånd i cylindermethoden vid 500 RPM.



Figur 4 – Samlade resultat från Lindholdts (2015) 1 månad experiment med statisk nedsänkning samt 2,5 månader som undersökte vattenmotstånd med cylindermethoden vid 900 RPM.



Figur 5 – Samlade resultat från Lindholdts (2015) 1 månad experiment med statisk nedsänkning samt 2,5 månader som undersökte vattenmotstånd med cylindermetoden vid 1500 RPM.

I resultat enligt Lindholdts (2015) av 1-månads experimentet utreddes också påverkan av skiktet som är under färgen. Det har kommit fram att det ytliga lagret inte är den enda faktorn för ytråheten på färgen, även skrovmaterialiet hade en indirekt påverkan på ytterskiktet. En förändring i underlagsgrovhet innebär större ytråhet vid ytan. SPC-färgen i undersökningen blev mer påverkad av underlagsgrovheten än FRC, som visas i *tabell 2* nedan:

Tabell 2 - Visar olika dragkraft uppmätt i $\Delta C_{m,H} (-10^2)$ vid olika underlagsgrovhet uppmätt enligt RT(50) (Lindholdt, 2015)

TYP FÄRG \ RT (50) [μm]	0 μm	210 μm	320 μm
FRC	2,77	2,78	2,84
SPC	2,80	2,87	3,08

Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006), gjorde också ett experiment med en cylinderrotor. Denna mätte färgernas tröghetsmoment i vattnen. I sitt arbete undersökte de ytans ojämnhet och vilken ytfriktion färgerna hade på cylinderrotorn vid en viss hastighet, samt vilken teoretisk kraft som krävs för att rengöra skrovbotten i en labbmiljö.

Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006), mätte ytråheten efter applicering på materialet med *Atomic force microscopy* (AFM) som mäter i skalan μm . SPC-färgerna fick ett medel mått på 0,330–0,470 μm . Experimentet visade att SPC-färgerna har väldigt kort avstånd mellan färgvägorna och spetsiga toppar som ger en grov miljö. Därefter undersöktes silikonfärgen. Resultatet blev att färgen hade ett medel mått på 0,077–0,116 μm i undersökningen. FR-färgen i sig hade brett mellan topparna som var långa och släta. Denna

kombination på FR-färgen skapar en lägre ytfriktionsmiljö jämfört med SPC-färgerna enligt Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006).

Testet som gjordes av Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006) skedde i en labbmiljö och fick olika resultat på hur mycket ytenergi som uppstod mellan färgerna. Appliceringen gjordes på det sätt som leverantören ansåg var det bästa alternativet för just den färgen. SPC skulle sprayas på och FRC målas med en borste. Ytenergin som uppmättes i detta experiment på skivorna varierade mellan 26,5–36,1 mN/m och den kritiska ytenergin varierade mellan 24,7–33,8 mN/m enligt *tabell 3*.

Tabell 3 – Mätningar på ytenergin av olika färgtillverkarna enligt (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006)

	STATIC SURFACE TENSION (mN/m)			CRITICAL SURFACE TENSION (mN/m)
	POLAR	DISPERSED	TOTAL	
SPC 1 (TIN-BASED)	6,8	28,3	35,1	33,8
SPC 2 (TIN-BASED)	5,5	28,2	33,7	32,4
SPC 3 (TIN-FREE)	8,5	27,6	36,1	32,7
PDMS	0,2	26,2	26,4	24,7

I denna del i experiment kom de fram till att ytenergin och den kritiska ytenergin var lägre för silikonfärgen som syns i *tabellen 3* enligt Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006). Men det är även här som man ser hur PDMS bidrar med en lägre ytenergi då Polar komponent 0,2 mN/m se *tabell 3* är så mycket lägre än de andra bottenfärgerna. PDMS är det som gör att färgen får sin låga ytenergikaraktär och till viss del bidrar med en lägre ytfriktion. Enligt Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006), och fler referenser i denna artikel undersökt förhållandet mellan vidhäftningsmöjlighet av marina organismer för ytor relaterat till ytenergin. Det har kommit fram att ytor med ytenergin på ca 23 mN/m var minst gynnsamma för påväxten att fästa vid. Därför blir dessa ytor lättare att göra rent från organismer både på mekanisk och hydrodynamiskt sätt enligt Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006).

Vidare i undersökningen gjordes cylinderexperimentet för att se hur stort tröghetsmomentet blev i vattnet vid olika hastigheter. Resultatet som Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006) fick syns nedan i *tabell 4*.

Tabell 4 - Tröghetsmomentkoefficient med skillnad i % enligt (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006)

HASTIGHET (Knop)	PDMS	SPC 1		SPC 2		SPC 3	
	C _f	C _f	ΔDrag %	C _f	ΔDrag %	C _f	ΔDrag %
6,5	0,263	0,337	22	0,326	19	0,333	21
10,4	0,221	0,261	17	0,263	16	0,268	17
18,2	0,197	0,226	13	0,226	13	0,231	15
24,7	0,18	0,197	9	0,2	10	0,204	12

Experimentet resulterade i att tröghetsmomentet kunde reduceras med 9–22% då användes en silikonbottenfärg, vilket innebär att cylindern kunde snurra enklare i vattnet än vad SPC-färgerna gjorde som syns i *tabell 4*.

Swain, Kavanagh, & Cassè, (2007) gjorde fältexperiment på fyra olika färger. Två var silikon och två andra var SPC-(biocid) där den ena var Cu-SPC och den andra var Cu-Abl. De gjorde ett småskaligt experiment som jämförde färgerna på liknande nivåer som Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006) men det som skiljer dem åt är att Swain, Kavanagh, & Cassè, (2007) gjorde fält test se *tabell 1* med att låta ytorna utveckla påväxt under 60 dagar i statistiskt vattenförhållanden se *figur 9*. Efter detta kontrollerade de hur mycket påväxt som reducerades efter att cylinderrotorn snurrade med hastigheten på ca 5m/s (10 knop) som syns i *figur 9*.

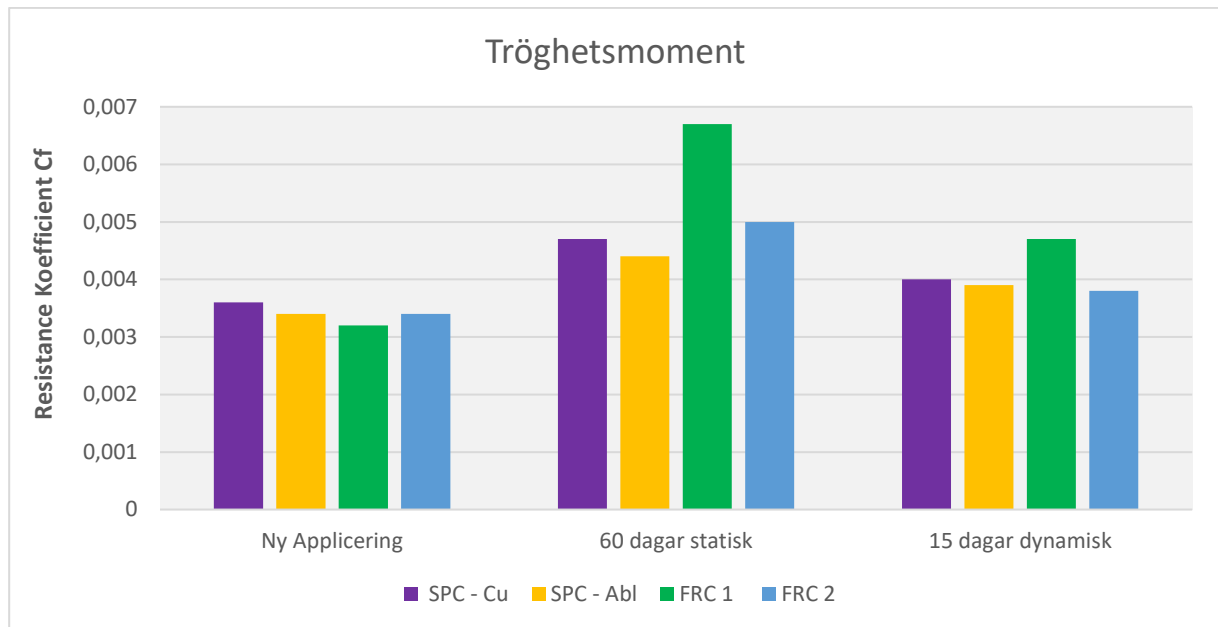
Appliceringen av färgerna gjordes enligt tillverkarnas rekommendationer som var att spraya på dem enligt Swain, Kavanagh, & Cassè, (2007). De började kolla tjockleken med hjälp av *British Maritime Technology Hull Roughness Analyzer* (BHAR). Resultatet för färgerna blev som i *tabell 5* nedan:

Tabell 5 – BHAR Ytråhet testresultatet efter ny applicering (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007)

Färg	Ytråhet
FR 1	38 μm
FR 2	55 μm
Cu-Abl	75 μm
Cu-SPC	83 μm

Vidare i experimentet som utfördes av Swain, Kavanagh, & Cassè, (2007) testades det vilka färger som hade lägst tröghetsmoment i vattnet vid ny applicering, då var det FRC1 som hade den lägsta resultat med 0,0032 C_f. Efter att de fått vara 60 dagar nere i stillastående vattnet och

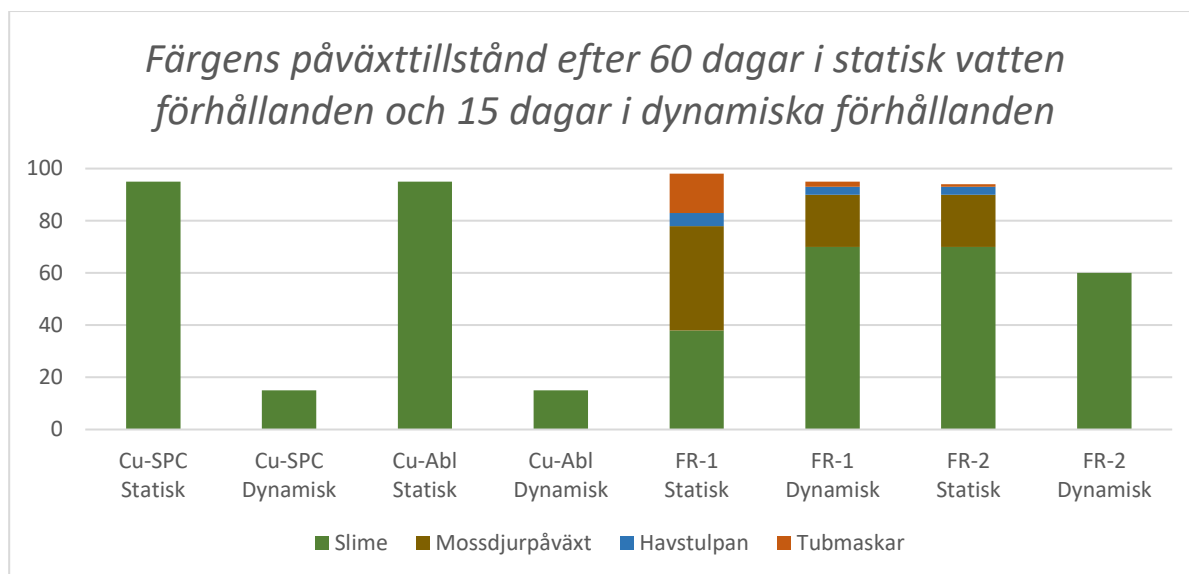
sedan 15 dagar under dynamiska vattenförhållanden på ca 10 knop hade FRC1 det högsta tröghets momentum på 0,0047 Cf; FRC2 fick lägst med 0,0038 Cf; Cu-Abl fick 0,0039 Cf som syns i *figur 8* Efter att de fått vara 60 dagar nere i stillastående vattnet och sedan 15 dagar under dynamiska vattenförhållanden på ca 10 knop hade FRC1 det högsta tröghetsmomentet på 0,0047 Cf; FRC2 fick lägst med 0,0038 Cf; Cu-Abl fick 0,0039 Cf som syns i *figur 8*.



Figur 6 – Mätningar på tröghetsmoment (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007)

Enligt (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007) var det nästan ingen skillnad mellan FRC2 och Cu-Abl i tröghetsmoment vid 10 knop som syns i *figur 8*. Men de påpekar i sitt experiment att FRC1 och FRC2 färgen är inte gjorda att vara stillastående så här länge samt att det kan vara missledande då de som använder dessa färg ligger inom den rekommenderade hastigheten på 19 knop.

I testet fick de även data på organismer som började växa på de olika färgplattorna i det statiska tillståndet. För AF-biocidfärgerna var det enbart slime/alger som täckte en yta på ca 95% men efter den dynamiska kraften var det enbart 15% slime/alger kvar som syns i *figur 9*. När det kom till FR-färgerna hade båda färgerna slime, mossdjur, havstulpaner och tubmaskar, vilket visas nedan i *figur 9*



Figur 7 – Påväxt på olika färger i statiska och dynamiska förhållanden (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007)

Det *figuren 9* påvisar är att FR färgerna var mer effektiva i dynamiskt tillstånd än statiskt för att hålla rent skrovet enligt Swain, Kavanagh, & Cassè (2007) något även Lejars, Margailan, & Bressy (2012) skriver om i sin rapport.

Enligt Lejars, Margailan, & Bressy (2012) har alger (Ulva) och bakterier en negativ påverkan för silikonfärg. För alger och bakterier klarar av att sitta kvar på fartygsskrovet i dynamiska förhållanden. I vissa fall klarar de även hastigheter upp till 30 knop enligt Lejars, Margailan, & Bressy (2012). Diatoméer och Ulva är kända att bosätta sig på ytor som är vattenbortstötande med låg ytenergi.

Lejars, Margailan, & Bressy (2012) skriver att det gjordes en kort fältundersökning på silikonfärg som kunde visa minskningen av bunkerförbrukningen än när det användes SPC-färger. I den undersökningen jämfördes ett antal olika fartyg, däribland bulk, tankers och containerfartyg. Tankerfartygen lyckades spara upp till 10% bunker, bulkfartygen kom upp till 22% medan container inte fick någon direkt skillnad överhuvudtaget då hastigheterna är generellt högre och tröghetsmoment skillnaden mellan färgerna blir lägre. Testet utfördes under minimal tid för att sedan göra en modell, för att kunna estimeras om alla bulkfartyg och tankerfartyg kunde lyckas lika bra som i undersökningen så skulle man kunna spara grovt 16 miljoner metriska ton per år.

4.2 Totala kostnader av bottenfärg under fartygets livslängd

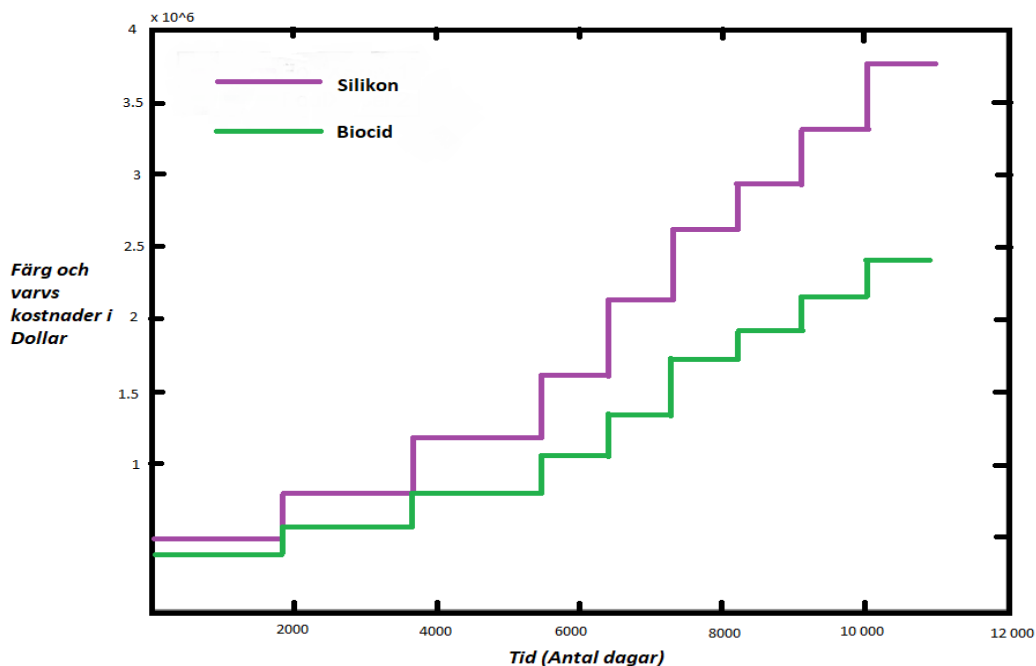
Att evaluera den totala kostnaden är en komplex uppgift som beror på flera faktorer. I denna litteraturundersökning använde vi en källa som fullständigt analyserar denna process och anger siffror med tabeller för hela livscykeln. Studien är en modell gjord av Demirel Kemal Yigit (2018).

Faktorer som undersöks av Demirel Kemal Yigit (2018) i sin beräkningsmodell är: för färg- och applicering kostnad, varvskostnad, livslängden av färgen och underhållskostnad för rengöring av skrov, bunkerförbrukningsskillnadskostnaden.

Modellen sträcker sig över 30 år, som anses vara en normal livslängd för ett fartyg enligt Demirel Kemal Yigit (2018). Modellen styrks genom att använda data från ett fartygs dagliga bunkerförbrukningsrapporteringar som är totalt 6,6 år. För sedan skapa en teoretisk bunkerförbrukningsmodell som jämfördes med den verkliga data, de fick en felmarginal på 1,65%. Enligt Demirel Kemal Yigit (2018) undersökning med deras modell av detta fartyg, fick de följande resultatet i *tabell 6*:

Tabell 6 - Totala kostnaden för ett fartygs livscykel i en modell över 30 år Demirel Kemal Yigit (2018)

	Varv & Färg kostnad	Bunker förbruknings kostnad (HFO)	Total Kostnad(\$)
Silikon	3.75×10^6	200.00×10^6	203.75×10^6
Biocid	2.45×10^6	208.00×10^6	210.45×10^6
Totala skillnaden	1 300 000\$	8 000 000\$	6 700 000\$



Figur 8 – Färg och varvskostnader återskapad figur av Anton Frohm Johansson baserad på graf (Demirel Kemal Yigit, 2018)

Bunkerpriser i modellen är samma för hela perioden, vilket gör att om det sker en förändring på totala bunkerkostnaden så beror det inte på prisförändring utan på förbrukningen. Detsamma gäller prissättningen på färgen som appliceras på fartyget enligt Demirel Kemal Yigit (2018) som syns i både *tabell 6* och *figur 10*.

När det kom till varvskostnader för färgapplicering använde man sig av KW/h för verktygen då färgtillverkare samt varv ville hålla sådana kostnader för sig själva. Detta ser man i *kostnadsfiguren 10* är en klar skillnad av appliceringskostnader över tid. Demirel Kemal Yigit

(2018) påpekar att silikonfärgen däremot behöver mindre varvtid då antal appliceringslager är färre än SPC och att härdtiden på färgen är betydligt kortare.

En uppskattad jämförelse på kostnader från Lejars, Margaillan, & Bressy , (2012), baserad på estimeringar och generella prissättningar från färgtillverkare visas i *tabell 7*:

Tabell 7 - Uppskattade färgkostnader (Lejars, Margaillan, & Bressy , 2012)

	LIVSTID	UPPSKATTATD APLICERINGSKOSTNAD	TOTAL KOSTNAD PER ÅR
SPC	5	75\$ / m ²	15\$ / m ²
PDMS	5-10	116\$ / m ²	11,6\$ / m ²

Enligt deras egen felkällanalys var det att färgtillverkarna inte gärna delade med sig av data för kostnader av att applicera bottenfärgerna. Lejars, Margaillan, & Bressy, (2012) påstår att en typisk FRC-färg är generellt sett tre gånger så dyr som en vanlig SPC-färg. FRC normalkostnad är 100-150\$/L medan en typisk AF-SPC-färg kostar 30-40\$/L. De påpekar även att fartyg med FRC-färg behöver vara mindre tid på varv då den enbart behöver appliceras en gång jämfört med SPC-färger som generellt behöver två till tre lager. Detta gör att mer färg behövs vid användning av SPC samt längre tid för fartyget att stanna i torrdocan. När det kommer till livslängden av FRC-färgen anses den kunna klara av en 10-årsperiod. Även om FRC estimeras att klara av 10 år skriver färgtillverkarna 5 år, vilket är lika mycket som normallivslängd på en SPC-färg enligt Lejars, Margaillan, & Bressy , (2012).

4.3 Toxicitet och miljöpåverkan

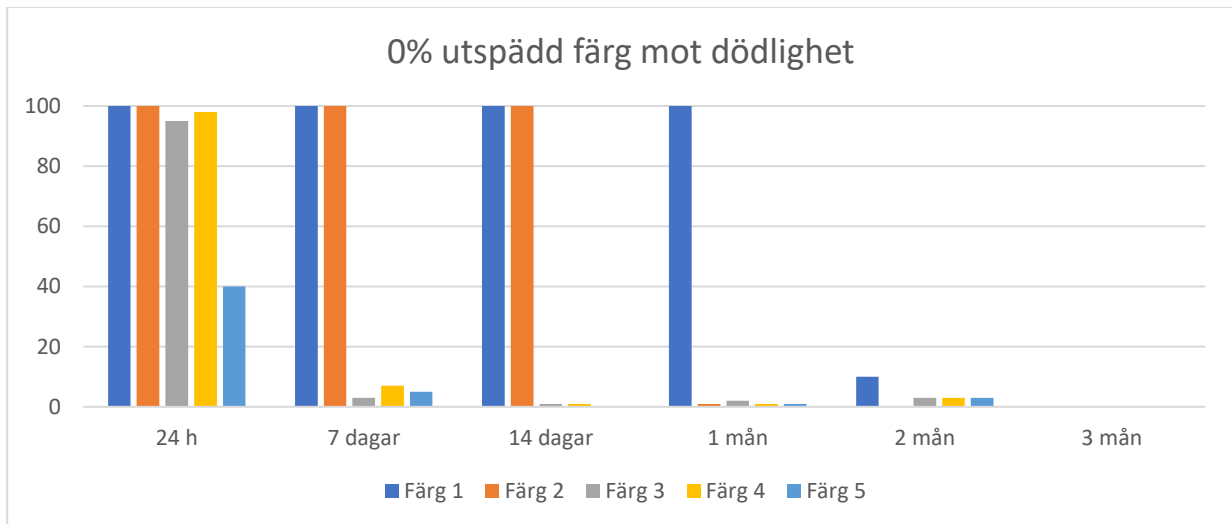
Enligt Lejars så finns det viss oro att PDMS-oljorna kan vara farliga för naturen. I en studie som utfördes av (Nendza, 2007) framgår att det finns ca 1-10% silikonoljor i silikonfärg, som används som mjukmedel. Detta är för att minska friktionen, öka flexibiliteten och förbättra skrovrengöringen genom att oljorna bildar en tunn film på färgen. Enligt (Nendza, 2007) vill inte färgtillverkarna uppge hur mycket oljor som faktiskt läcker ut i den marina miljön. Oljefilmen på skrovet kan skadas då och beväxningen åker av kan delar av filmen åka med. Enligt (Nendza, 2007) finns det redan liknande silikonoljor som är klassade som toxiska för den marina miljön, som kallas *oligomeric metabolites*, men det finns även de som inte anser ha någon miljöpåverkan då man ännu inte lyckats identifiera några toxiska effekter från PDMS. Dock skriver de att det inte kan uteslutas att oljorna från silikonfärgen är farliga, därför gjorde de vidare litteraturstudier. Resultatet blev att man fick fram att små mängder *oligomeric metabolites*-oljor bildades i färgen. Oljorna var i så små mängder att de inte skulle ha några miljöpåverkningar förutom när man gjorde att PDMS-koncentrationerna var ovanligt höga, 100 ppm -1000ppm. Djuren som testades i experimenten var fiskar, musslor, plankton och andra mikroorganismer men samma personer som utförde dessa experiment gjorde om dem och fick helt andra resultat, så som att inga av de utsatta djuren tog någon skada förutom när de nådde >2000ppm. Då skapades hög dödlighet bland blåmusslor som dog på grund av syrebrist och även mikroorganismer. Gummit i silikonerna anses inte vara miljöfarligt mer än att det skräpar ner den marina miljön som partiklar i haven enligt (Nendza, 2007).

Enligt (Nendza, 2007) upptäcktes en indirekt effekt vid högre koncentrationer av oljorna, att det bildades ett filmlager på botten och oljefilmen hade ingen tendens att flytta sig i sedimenten. Det

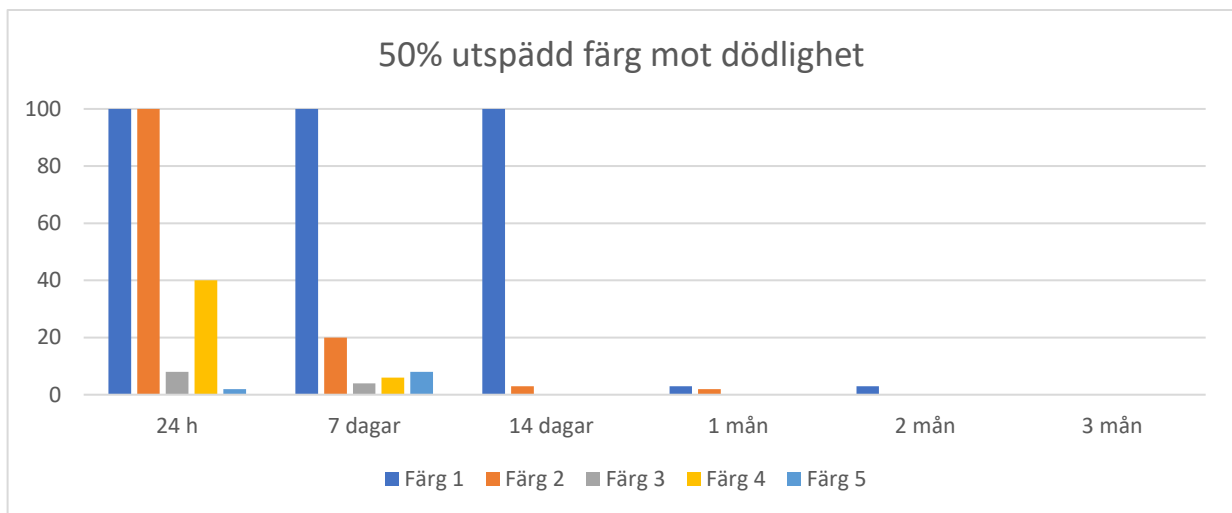
de kom fram till att oljefilmen kunde göra att blåmusslorna och andra bottenlevande organismer som filtrerar vatten för föda kan bli igenpluggade, syretillförseln blir förstörd eller att små organismer fastnar i oljorna som dör av syrebrist. Silikonolja har inte haft några effekter på fiskar gällande detta. Sedan utfördes mindre undersökningar av olika forskare vidare på detta, vilket styrker att det kan vara en potentiell risk med silikonfärger (Nendza, 2007). Men denna effekt klassas inte som toxisk eller miljöfarlig av *European Commission, 2003, OSPAR(2003, 2004a), European Commission, 2000* enligt (Nendza, 2007), då PDMS inte har några tendenser att ackumuleras i höga koncentrationer i naturlig miljö och klassas där av inte som ett farligt ämne. De vill inte utesluta att PDMS är farligt då man inte har tillräckligt med läckage-data från färgtillverkarna och vad färgerna innehåller. Enligt (Nendza, 2007) så finner de en potentiell hypotetisk risk med högtrafikerade områden i trånga farvatten så som *Dover Strait, Strait of Gibraltar* med mera. De gjorde en uträkning om 800t skulle spridas ut på en area av 3600km² varje år skulle 1 ton täcka 4km² eller 0,25g/m². Det skulle motsvara en film på 0,23 mm då den har en ungefärlig sammansättning på 1,1g/m². Bildandet av filmlagret påverkas av olika saker, exempelvis tidvattensströmmar m.m. Om utsläppen skulle ske under en tioårsperiod skulle ett lager på ca 2 mm kunna bildas. Därutöver skriver de att trenden att använda FRC i framtiden kommer öka med 10-20%. (Nendza, 2007)

Enligt (Piazza, o.a., 2018) så har de tagit fram en ny typ av evalueringsmodell för att testa den potentiella toxicitetnivån i miljövänliga bottenfärger. De använder silikonfärger med PDSM som test färg. Då ett nytt antal studier tyder på att FRC kan släppa ut en viss mängd gift i praktiken enligt (Piazza, o.a., 2018) och även skada marina miljön som beskrevs i det tidigare stycket av (Nendza, 2007). Enligt (Piazza, o.a., 2018) testas man inte kommersiellt miljövänliga bottenfärger för toxicitet. För deras egenskap av att rengöra skrovet med de dynamiska krafterna gör att de inte går under antifouling-reglerna. Det är därför så kallade miljövänliga bottenfärger inte behöver testas för potentiell miljörisk eller direkta giftutsläpp för det mesta, enligt (Piazza, o.a., 2018). Ett problem som de möttes av var att färgtillverkarna var väldigt tysta om färgernas innehåll.

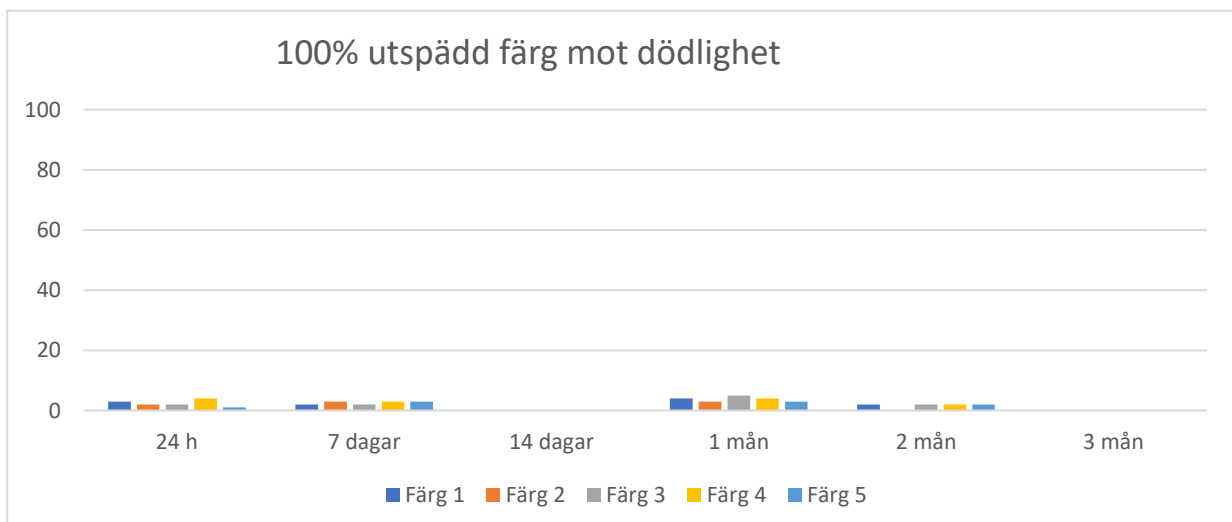
(Piazza, o.a., 2018) valde att kombinera olika metoder för att skapa sin egen modell. Det de gjorde var att måla med fem olika silikonbottenfärger på glasskivor för att sedan låta vatten flöda runt dem i vattenbehållare och ta prover på larver från havstulpaner, för att se hur de reagerade när färgen föråldrades. För att skynda på denna process adderade de en lösning som gör att färgen föråldrades på 90 dagar. De var tydliga med att nämna att detta experiment inte representerar en vanlig vattenmiljö då koncentrationen blir väldigt hög i vattenbehållaren. Men att det ger en indikation på vad som skulle kunna hända med färgen; utan att kunna bestämma miljörisken i vattenmiljön. Resultatet som de fick presenteras i *figurerna 11 – 16* och *tabell 8, 10* nedan.



Figur 10 – Jämförelse dödlighet av havstulpaner som exponerades för de olika silikonfärgerna på 0% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)

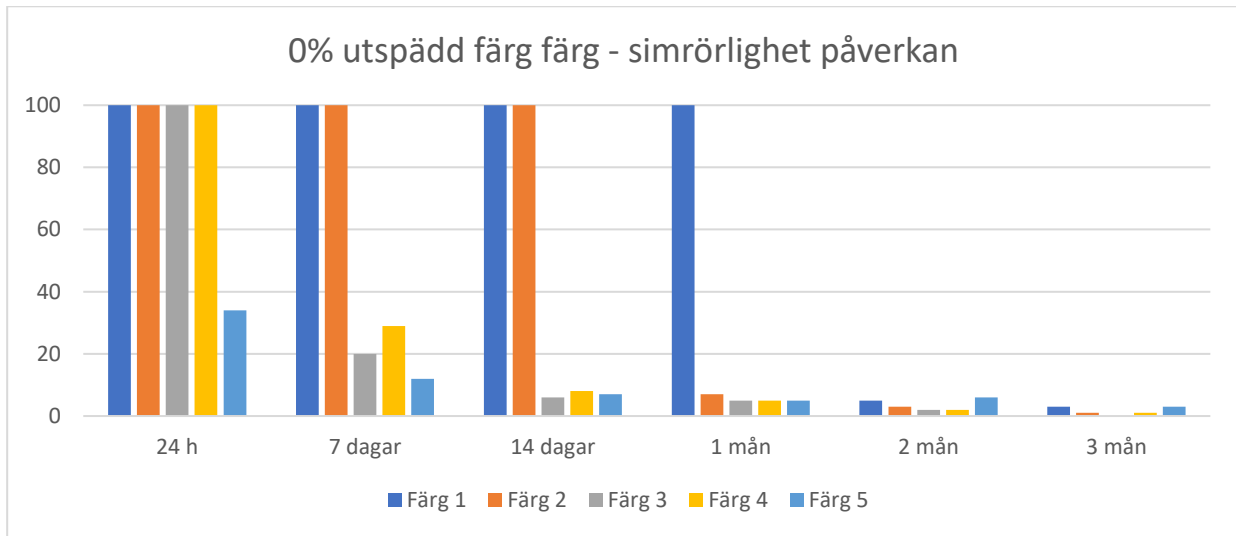


Figur 9 - Jämförelse dödlighet av havstulpaner som exponerades för de olika silikonfärgerna på 50% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)

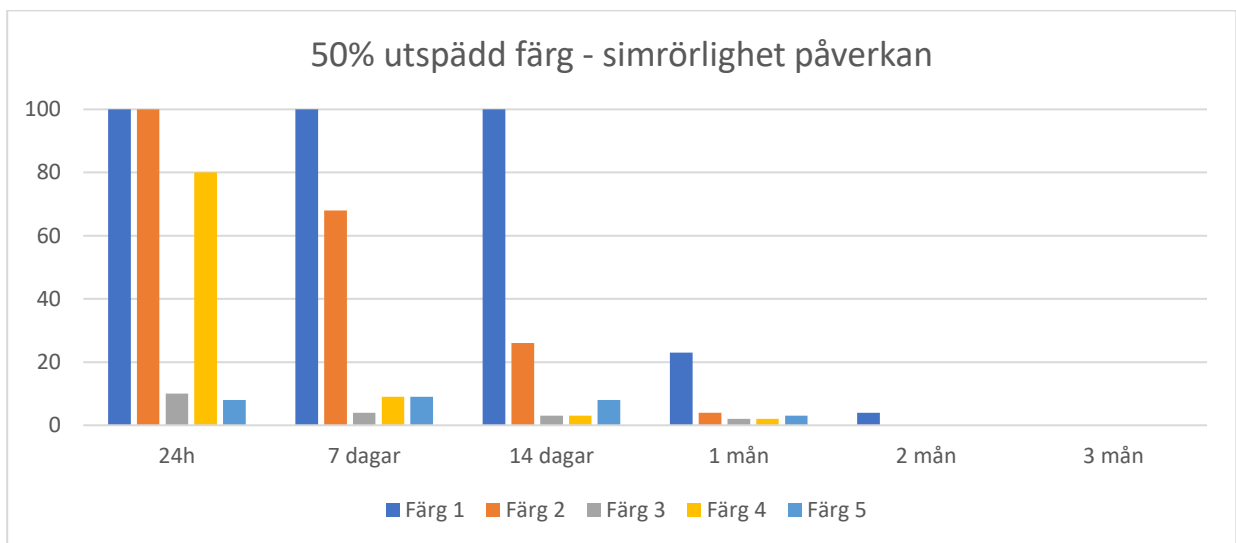


Figur 11 – Jämförelse dödlighet av havstulpaner som exponerades för de olika silikonfärgerna på 100% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)

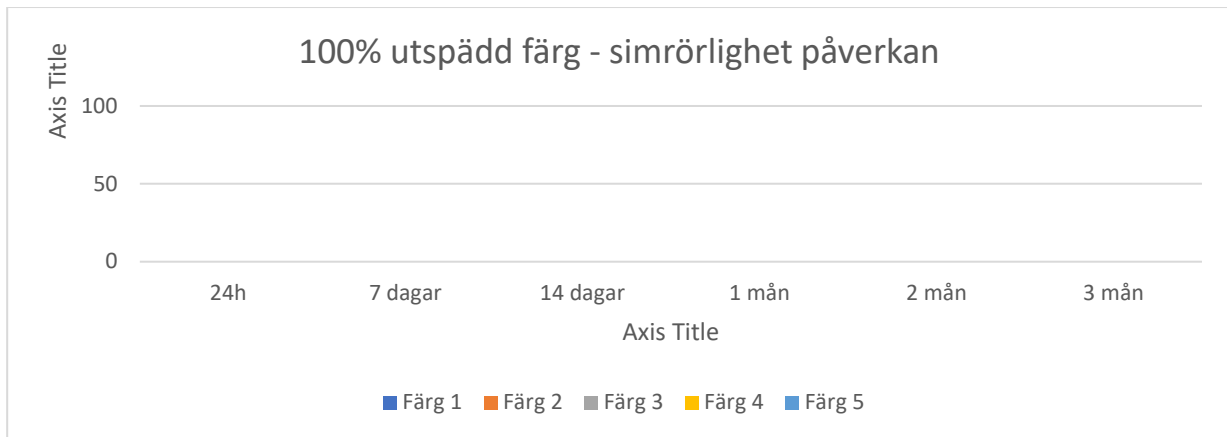
Dödligheten på larverna mättes genom att de klassades som döda om de inte rörde sig inom 10 sekunder. Det var 100% dödlighet på färg 1 och 2 på de tre tidsförsöken som inte var utspädda i *figur 11* men enbart färg 1 som hade 100% dödlighet på det fjärde försöket. De testade även hur sim rörligheten blev negativt påverkad som syns i figurena nedan.



Figur 12 – Jämförelse av sim rörlighet för havstulpaner som exponerades till de olika silikonfärgerna på 0% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)



Figur 13 – Jämförelse av simrörlighet för havstulpaner som exponerades till de olika silikonfärgerna på 50% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)



Figur 14 – Jämförandet på simrörlighetens påverkan för havstulpaner som exponerades till silikonfärgerna på 100% utspädning. (Piazza, o.a., 2018)

Resultatet skiftade i jämförelse med dödlighetstestet, där färgerna hade en längre tidspåverkan på larverna, även 50% utspädd färg hade en stor påverkan på larverna jämfört med dödlighets testerna.

Under tiden de testade *dödligheten* och *sim rörligheten* valde man att kolla vad som hittades i vattnet som färgerna läckte ut för att se något samband. Det som de lyckades identifiera var förhöjda nivåer av metaller: ^{51}V , ^{52}Cr , ^{55}Mn , ^{60}Ni , ^{63}Cu , ^{66}Zn , ^{75}As , ^{111}Cd , ^{208}Pb .

De skapade en tabell på den förhöjda nivån på metaller som läckte ut av FRC i vattenmiljön som går att finna ett urklipp nedan och hela i Appendix i *tabell 10*.

Tabell 8 – Sammanställning av metaller som läcker ut från alla tester på silikonfärger hela går att hitta i appendix i *tabell 10*.

Produkter	Föråldringstid	Metaller (µg/L)								
		^{51}V	^{52}Cr	^{55}Mn	^{60}Ni	^{63}Cu	^{66}Zn	^{75}As	^{111}Cd	^{208}Pb
FÄRG 5	7 Dagar	3,7	5,6	0,6	4,7	15,6	68,9	3,8	0,1	1,8
FÄRG 1	7 Dagar	3,9	5,7	0,2	5,1	11,5	67,1	2,5	0,1	1,4

(Piazza, o.a., 2018) fick fram att FRC-färgerna hade väldigt höga mängder metaller som läckte ut i vattenmiljön. Med resultatet de fick, kunde de inte göra en direkt koppling till mängden döda larver och mängden metaller som släpps ut; som blev i vissa fall helt motsägelsefullt. Då testet med metallinnehåll i färg 5: (7 dagar) och färgen 1: (7 dagar) så innehåller färg 5 högre metallinnehåll som syns i *tabell 8*. Dock har färgen 1 högre dödlighet än 5 efter 7 dagar som syns i *figur 11*. Deras slutsats blir att den modellen som de har skapat är för att se en potentiell miljöfara, men representerar inte miljöpåverkan som skapas direkt när färgen kommer i kontakt med vattnet. De konstaterade att färgen släppte ut mer metaller i början än vad vissa biocidfärger gjorde. Även andra forskare har fått likande svar enligt (Piazza, o.a., 2018). En av dessa forskare har fått fram att silikonfärgerna av olika tillverkare innehöll mellan 25-50% zink och en annan forskare fick 11-57% zink som vanligen används som en boost-biocid för färger som bekämpar skrov påväxt med gift.

5 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras resultaten från olika synvinklar gällande miljö-, kostnad- och effektivitets-aspekter. Ordningen följer samma struktur som i resultatdelen för att kunna tydligt hänvisa till det tidigare avsnittet.

5.1 Vattenmotstånd & bunkerförbrukning

Ytråhet

I jämförelsen av färgernas ytråhet visade resultatet vilken betydelse det har på hur lätt fartyget glider genom vattnet och även skapandet av en hämmande miljö för skrovbeväxning som kan förankra sig i bottenfärgen. När (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) jämförde bottenfärgernas ytråhet visade de att silikonerna var slätare än AF-biocidfärgerna som syns i stycket om *ytråhet sida 21*. Även Swain, Kavanagh, & Cassè visade att silikonfärgerna var slätare än SPC-färgerna i *tabell 5*, men att hämmandet av skrovbeväxningen för släta ytor inte hade lika stor påverkan som S. Mojtaba Mirabedini presenterade, även Lejars, Margailan, & Bressy rapporten hade liknade åsikter som Swain, Kavanagh, & Cassè. Detta resultat syns i *figur (9)* av (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007). (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) och (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007) fick olika resultat på ytråheten som berodde på mätteknikerna, för AFM går in noggrannare i detalj än BHAR-metoden, men slutresultatet blev detsamma då silikonfärgerna var betydligt slätare än AF-biociderna. (Lindholdt, 2015) valde att testa påverkan av underlagets grovhet, genom att testa hur mycket färgen kunde minska vattenmotsståndet beroende på hur grovt underlaget var. Silikonfärgen fick bättre resultat i denna undersökning än SPC-färgen se *tabell 2*, genom att det blev tydligare och tydligare ju grövre underlaget var. Något som är en bristande faktor i (Lindholdt, 2015) experiment var att underlagsgrovheten inte testades för påväxt.

Ytenergi

Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari (2006) undersökte ytenergin och fick fram att FRC-färgen hade lägst ytenergi. Enligt (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) så var PDMS-komponenten den största bidragande faktorn till att den statiska och kritiska ytenergin blev låg se *tabell 3*. Färgen förväntas effektivt kunna rengöra skrovet för att den rekommenderade ytenergin på 23 mN/m var så pass nära den kritiska ytenergin. Deras resultat bevisades indirekt i (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007) undersökning i *figur 9*. Trots att testet låg utanför den rekommenderade hastigheten för silikonfärgerna så fick FR2 enbart en yta med slime kvar och hade lägst ytenergi jämfört med de andra färgerna efter de dynamiska testerna, fast den sämsta var FR1-färgen som misslyckades på detta moment då den hade mer än bara slime kvar som syns i samma figur. Resultatet är att det finns skillnader mellan färgerna. (Lejars, Margailan, & Bressy, 2012) skriver att det är ett vanligt problem att dessa färger får påväxt av alger, framförallt en sort som kallas Ulva (grönalger) och att det är ett förekommande problem med ytor som har låg ytenergi att just dessa fäster sig och inte åker av.

Vidare i undersökningen kommer man till ett av huvudmomenten, tröghetskraften, som bildas beroende på hur lätt vattnet flödar runt fartygets undervattensskropp. Resultat för tröghetskraften varierar mellan olika studier/färger. (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) fick fram att en ny applicerad silikonbottenfärg har en låg tröghetskraft vid lägre hastigheter syns i *tabell 4*. Som mest fick silikonerna 22% lägre dragkraft än de andra färgerna som var vid den lägsta hastigheten. Medan när de körde som fortast fick de som mest 9% lägre i dragkraft vid användning av en silikonbottenfärg som syns i samma tabell. (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) ger en tydlig indikation på att om man använder

en ny applicerad silikonbottenfärg så skulle man kunna spara bränsle då färgen glider lättare genom vattnet. Men resultatet från de andra forskarna visar att detta inte alltid stämmer. Om vi tar (Lindholdt, 2015) experiment och läser av vid ny applicerad färg fick han ett resultat som gick helt emot denna teori då en vanlig SPC-färg fick lägre tröghetsmoment vid ny applicering och fick fortsatt samma resultat tills det hade gått 3,5 månad med beväxning in i experimentet som syns i *figurerna 5,6,7*. En sak som han gör är mekanisk rengöring med en mjuk tvättsvamp. Det går utanför denna undersöknings begränsningar och gör att hans resultat efter 3,5 månad inte har lika stor vikt i undersökningens slutsats. Men det går inte att förneka (Lindholdt, 2015) resultat, då de påpekar att det kan ta tid för färg att bli stimulerad i vattnet. Som kan ha påverkat tröghetsmoment resultatet för silikonbottenfärgen utan biocid i *figurerna 5,6,7*. I tröghetsmoments-experimentet som (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007) utförde fick de två stora skillnader mellan sina silikonfärger (FR1 och FR2) som syns i *figuren 8*. Den ny applicerade bottenfärgen FR1 gav det lägsta tröghetsmomentet och FR2 hade samma tröghetsmoment som en SPC-färg. Men efter att de varit nedsänkta i vattnet fick FR1 och FR2 sämst tröghetsmoment då de inte har giftegenskaper för att hålla rent skrovet i statiskt vatten. Däremot efter att de varit i de dynamiska förhållandena så var FR2 nu den färg med lägst tröghetsmoment men FR1 fortfarande den färg som hade det sämsta tröghetsmomentresultat som syns i samma figur. SPC-färgen var dock väldigt nära FR2 i det sista momentet *figur 8*. Det de inte hade med var hur färgerna reagerade vid högre hastigheter då de valde att hålla 10 knop som medelfart på undersökningen. Däremot fick (Lindholdt, 2015) och (Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) samma resultat, att ju fortare man körde desto mindre tröghetsmomentskillnad blev det mellan färgerna som syns i *figurerna 5,6,7* och *tabell 4*.

(Lejars, Margailan, & Bressy, 2012) nämner en undersökning som gjordes på fartyg under kort tid, där bulkfartyg lyckades spara i vissa fall upp till 10%- och tankfartyg 22% bunker medan containrar inte fick några direkta skillnader som kan vara troligt då den typen av fartyg generellt kör ganska fort. Och som vi har sett från (Lindholdt, 2015; Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006) är ju fortare fartyget körde desto mindre tröghetsmomentskillnad blev det mellan färgtyperna.

Sedan gjorde (Demirel Kemal Yigit, 2018) en modell i prisskillnad. Avsnittet som jämförde två bottenfärger som indikerade att FRC fick lägre bunkerkostnader än biocidfärgen i *tabell 6*. Även det styrker att bunkerförbrukningen var lägre för FRC då priset för HFO var alltid detsamma. Men en faktor som saknades var väderförhållanden.

(Tegneman & Jallow, 2013) gjorde en undersökning på hur svenska rederier använder silikonfärg och en av redarna berättade att is var ett stort problem för silikonen då den blev helt bortnött från fartyget. Sedan var det många i den undersökningen som valde att inte gå över till silikon för man hade för lite kännedom om färgen.

Problemet med denna undersökning var att testerna som utfördes för att se om de kunde spara bunker eller ej. Gav det i indirekta siffror eller att de skedde under korta undersökningsperioder då man enbart hade modeller över långtidsöversikt. Sedan fanns det en tydlig indikation på att färgegenskaperna mellan olika tillverkare har en enorm betydelse då man tydligt kunde se olika tröghetsresultat mellan forskarna när de jämförde färgerna.

5.2 Diskussion pristillämpningar

I de källor vi hittade fanns väldigt lite information om kostnader för att applicera färg på ett fartyg och de få källor som hittades i denna litteraturstudie gav liknande resultat i *tabellerna 6,7*. Enligt (Demirel Kemal Yigit, 2018) gav deras modell att silikonfärgen var betydligt mycket dyrare än SPC vid applicering se *tabell 6* och *figur 10*. Men de skriver att man sparar tid på att fartyget

kommer ner i vattnet fortare vilket tillåter att fartyget kan bli operativt tidigare. (Lejars, Margaillan, & Bressy , 2012) stödjer påståendet som (Demirel Kemal Yigit, 2018) skriver. För (Lejars, Margaillan, & Bressy , 2012) fick också att appliceringskostnadsestimeringen blir betydligt mycket dyrare än SPC-bottenfärgsapplicering och färgkostnaden. Om man ser på den totala kostnaden så blir det billigare att använda sig av silikon, men att silikonfärgen potentiellt inte lämpar sig för alla typer av fartyg då man baserar en viss inkänningsstid för att använda färgen för att bli lönsam. Resultatet man ser i *figur (10)* indikerar en tydlig prisskillnad som är gjord för födseln av fartyget enligt (Demirel Kemal Yigit, 2018)

Men det båda källorna har gemensamt är endast estimeringar och modeller som inte representerar den verkliga miljön då dessa totala kostnader är baserat på att man kan spara bränslekostnader vid användning av silikon. Detta blev till viss del motbevisat beroende på vilken typ av silikonfärg man använder. Det gör att denna undersökningsfråga behöver mer faktiska data från riktiga fältexperiment. Utöver det tar man inte i beaktande som nämnts tidigare att silikonfärg inte alltid klarar av potentiellt alla väderförhållanden vilket kan skapa en merkostnad, något som ingen av källorna har med.

5.3 Diskussion toxicitet

Miljövänliga silikonfärger som anses kunna stoppa den onödiga mängder utsläpp av metaller i miljön och minimera andra miljöeffekter som anses kunna ske med att använda silikonfärg enligt (Hellio & Yebra, 2009; Lejars, Margaillan, & Bressy , 2012; Noguer, 2016)

Den första källan som berörde toxiciteten på en djupare nivå var en litteraturstudie som påstår att silikonfärgen inte är så miljövänlig som man trott. Enligt (Nendza, 2007) skapar PDMS-oljor en potentiell indirekt miljöfarlig risk, då den kan stoppa syre- och födotillförseln för olika typer av botten levande organismer samt även agera som en fälla för små mikroorganismer. Men detta anses inte som ett troligt problem än så länge av (*European Commission, 2003, OSPAR (2003, 2004a), European Commission, 2000*) enligt (Nendza, 2007). Då oljorna inte ska kunna ackumuleras i några större mängder naturligt. Det gör att testerna som gjordes inte anses vara ett bevis för den potentiella miljöfaran som PDMS-baserade färgerna gör enligt (Nendza, 2007). Detta har försvårat forskningen då de inte har fått tillgång till all väsentliga data. För färgtillverkarna blir inte tvungna att dela med sig av färgens innehåll och egenskaper som färgen har i form av utläkningsdata etc.

Detta problem existerar än idag enligt (Piazza, o.a., 2018). Ytterligare tester har gjorts som fått liknande svar, vilket påvisar en viss potential för gifthinnehåll i färgen som kan skada havstulpanslarver åtminstone, något (Nendza, 2007) hade enbart som en avvikelse i sin litteraturstudie och ansåg att indirekta effekten var mer farlig för den bottenlevande miljön då bland annat oljorna stoppar vatten- och syreutbytet på grund av den låga ytenergin som PDMS har. Men (Piazza, o.a., 2018) gjorde ett fältexperiment där de skyndade på föråldringsprocessen för FR-färgen. Fältexperimentet skulle kunna skapa en grund till strängare regler för de miljövänliga alternativen. Resultatet var oväntat då man fann stora mängder metaller i läckagedata se *tabell 8,10*, något dessa färger skall vara kända för att inte innehålla. Samt att de påstod att mängden metaller som läcktes ut, de första dagarna i deras experiment var högre än vad vissa biocidfärger läcker ut i början av deras livscykel. Problemet blev att de inte kunde göra en direkt koppling till den dödliga utgången som blev för havstulpanslarverna i *figur 11* relaterat till mängden metaller som läckte ut i vattnet som syns i *tabellen 8*. Silikonfärg-testet 5 och 1 hade helt två olika resultat vid samma tidpunkt på 7 dagar, vilket tydliggjorde att det finns mer verksamma aktiva ämnen i silikonfärgen som de inte lyckades att identifiera som troligtvis var anledningen till dödstalet av havstulpanerna. De märkte att de okända ämnena var tydligt

närvarande i alla färger då påverkan av sim rörligheten för havstulpanlarverna fanns i alla färger även i 50% testerna var det tydligt att se effekterna hade generellt längre tids påverkan i sim rörligheten se *figurerna 14,15*.

Om man ser på testet som (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007) gjorde fick de en tydlig beväxningsskillnad mellan silikonfärgerna i *figur 9* även om det inte finns någon som helst koppling med giftinnehåll som skulle kunnat vara anledningen med beväxningsskillnaden mellan färgerna går det inte att utesluta en viss hypotetisk chans då det som (Nendza, 2007) fick som en avvikelse och (Piazza, o.a., 2018) skrev att färgerna tycks släppa ut sina giftiga ämnen de första dagarna under sin livscykel skulle kunna tyda på att den färg som användes i (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007) experimentet kunnat vara en färg som hade liknande egenskaper som färg 1 i (Piazza, o.a., 2018) undersökning, om färgen varit i sitt naturligt tillstånd utan föråldringsmedel men då inga såna tester utfördes hade det lika gärna kunnat vara färg 5 i *figur 9*.

Men resultaten som (Piazza, o.a., 2018; Nendza, 2007) och de andra forskarna som de hänvisar till påvisar om ett behov av mer forskning och strängare regler av silikonfärg som inte möjliggör att kunna undanhålla färgegenskaper och dess innehåll. Det värsta scenariot som (Nendza, 2007) ansåg kunna bli, var ett framtida problem när utökad användning av silikonfärg kan skapa ett filmlager som skulle kunna bli 2 mm på ett 3600km² stort område över en tioårsperiod i trånga farvatten. Detta skulle kunna bli en effekt av oreglerad färgförsäljning för ett miljövänligt skrov. Trots denna hypotes anses inte silikonfärgen som en miljörisk för att det inte kan ackumuleras naturligt enligt (Nendza, 2007). Men de båda källorna anser trots resultaten att silikonbottenfärgen är ett bra miljöalternativ för färger som använder biocid.

5.4 Förslag till vidare studier

Silikonfärger utvecklas vidare och förbättras för att nå ännu bättre resultat genom att vara miljövänliga, att bespara bunker och samtidigt att hålla appliceringskostnader nere. I forskning som pågått de senaste åren syns det tydlig trend för vidareutveckling av silikon och även andra *Foul Release* metoder. Då vi har sett att det finns nyare typer av silikonfärgs blandningar med förbättrade egenskaper men fungerar på andra sätt som klassas miljövänligt. Där finns alternativet att fortsätta undersökningen på dessa färger eller alternativt göra intervju- och fältstudier genom att undersöka om rederiers åsikt på hur väl silikonfärg fungerar för dem. Man skulle också på en djupare nivå kunna studera regelverk vad som klassas som miljövänligt och varför det har blivit som det är i dag.

6 Metoddiskussion

I vårt övervägande tillsammans med handledaren, blev det tydligt och klart att litteraturstudien kommer att passa väl till att uppnå målet med undersökningen. I bedömningen togs faktorer som tid, resurser och baskunskap, där vi hade begränsningar i samtliga områden. Fältstudier, uppställning av experiment eller långa observationer togs bort fort då det gick över vår baskunskap om hur dessa skulle kunna utföras på ett konkret sätt, samtidigt som tidsramen som vi haft i vårt förfogande inte skulle räcka.

Därav baseras denna studie enbart på litteraturgranskning. Därav för att besvara frågeställningar som vi hade ställt fick vi leta efter tidigare dokumenterade forskning som berör intervjuer med rederier och tillverkarna, fältstudier med experiment eller teoretiska versioner som baseras på modeller och estimeringar på en vetenskaplig nivå.

Fördelen med en litteraturstudie är tillgång till all utarbetad erfarenhet som redan finns och allmänt tillgänglig. Vilket ger möjlighet att analysera och dra slutsatser över studier som drevs i längre tid och med stora investerade resurser. En sådan översikt är nödvändig för att upptäcka tendenser och likheter i ämnet (Denscombe, 2018).

Nackdelen med litteraturstudie är i första hand begränsningen att kontrollera data och metod som andra har producerat och bestämt. Det finns inga möjligheter att direkt observera eller påverka experimentets gång eller att prova annan metod. Dessutom för att driva en fullständig litteraturstudie måste man ha tillräckligt med producerat material och den måste vara tillgänglig (Denscombe, 2018).

En annan nackdel är att man kanske aldrig kan komma åt den bästa källa som stödjer eller motverkar hypotesen. Eftersom det kan även hända att i uppsjö av all information, missas viktiga artiklar som skulle kunna påverka slutsatsen åt ena eller andra hållet. Därför bland de stora utmaningarna i litteratursökningen är att hitta rätt innehåll utan att ha någon bakgrund eller direkt experthjälpmedel. Man måste börja bläddra i hundratals sidor av text med försök att filtrera det viktigaste. I början görs detta ganska intuitivt. Det läggs många timmars läsning med något försök till metodisk dokumentation av hur man kommit fram till det ena eller andra. Men, efter ett tag när man blir tillräckligt mättad, kommer det fram ett tydligt mönster av hur den insamlade data skulle delas in, vilket gör att vidare sökningen av material blir mer effektiv.

Bristen i vår undersökning är att vi studerar framförallt bara en typ av bottenfärg och metod av rengöring. Då det har framkommit en del data, som inte visas i vår studie, att det finns nyare typer av silikonfärger som också uppbyggda på ett annat sätt vilket gör att arbeten ger inte helhetsbild för hela silikonbottenfärg industri.

7 Slutsats

Silikonfärger är definitivt bra som alternativ lösning för skrovfärger som värt att ta hänsyn till om man behöver välja mellan olika slags färger. Den är mindre skadlig för miljö än biocid färger enligt alla våra källor, den går lättare igenom vatten och påväxtorganismerna har svårare att behålla vidhäftningen när det finns dynamiska krafter.

Ändå är allting inte klart med silikonfärg och dess innehåll. Det finns många faktorer som beskrivs mer i detalj ur olika synvinklar i samma ordning som frågeställningarna gjorde.

7.1 Bunkerförbrukning

Slutsatsen som vi kommer till genom utfört arbete är att färger baserade på silikon har potential att minska bunkerförbrukning. Organismerna har svårare att behålla vidhäftningen till skrovet när fartyget rör sig genom vattnet. Utöver det är silikonfärg slätare än andra färger och gör att fartyget glider betydligt lättare genom vattnet. Detta skapar bättre förutsättning för besparing redan från början. Men detta är i teorin, eftersom studierna visade att det fanns många tillverkare med flera olika silikonfärger och några av färgerna hade värre resultat gällande friktions moment än SPC-färger. Dessutom ju högre hastigheterna blev desto mindre tröghetsmomentkillnad uppstod mellan silikonfärg och SPC som syns i *figurerna 5,6,7* och *tabell 4*. Vi måste tillägga att uppställda experiment innehåller brister som att de inte alltid återspeglar realiteten i sin högsta grad, som även forskarna påpekade. Vilket i sin tur ställer önskemål till flera långa fältstudier som följer fartyg genom åren även utvecklingen av bottenfärger så de håller måttet av vad de lovar. (Swain, Kavanagh, & Cassè, 2007; Noguer, 2016; Mirabedini, Pazokifard, Esfandeh, Mohseni, & Akbari, 2006; Lejars, Margaillan, & Bressy, 2012).

7.2 Silikonens kostnad

Silikon färg är både dyrare vid inköp och vid appliceringen jämfört med SPC färg. Men det finns några faktorer som gör att denna färg ändå blir lönsam att använda i längre sikt:

1. Den kräver mindre underhåll och i teorin kan den hålla upp till 10 år innan fartyget skall målas om. Medan andra färger håller upp till 5 år.
2. Bunkerbesparing som utgör majoriteten av lönsamheten.

Källorna som vi använder i studien stödjer denna hypotes och visar långsiktigt att fartyg kommer att kunna göra besparingar trots det högre kostnaderna i början. Dock måste man också ta hänsyn till att källorna är endast teoretiska modeller som inte alltid representerar verkligheten. Till exempel fartyg som brukar gå på *slow steaming*, ankrar längre tid eller har långa tider vid kaj samt hamnar i vatten med is då kan underhållskostnaderna växa eftersom ovannämnda faktorer är ogynnsamma för silikonfärgen. Sen något som kan motargumentera är faktorn bränslebesparingar i tröghetsmomenttesterna. Då färgtillverkarnas produkter fick olika resultat trots att de påstod att de skulle klara av samma sak som syns i *tabell 4* och *figurerna 5,6,7,8*. Så det betyder med den data vi har samlat in att kunskapen om silikonfärgen behövs breddas med mer forskning på ämnet så som nämns i kapitlet 6.1

7.3 Toxicitet

I dagsläget finns det inget som tyder på att silikonfärg skall klassas som giftig och skadlig för miljön. Det finns dock forskning som indikerar att silikonfärg kan potentiellt vara ett mindre miljövänligt alternativ än vad det tidigare förespråkats, då kraven i regelverket för silikonfärger att uppfylla det som anses vara miljövänligt är väldigt låga enligt (Piazza, o.a., 2018; Nendza, 2007). För tillfället klassas PDMS (silikonet som är huvudkomponenten i färgen) endast som nedskräpande. Detta gör att färgtillverkarna inte är tvungna att redovisa andra tillsatser som kommer i små mängder men som kan vara giftiga.

Samtidigt visar studien som är gjort av (Piazza, o.a., 2018) att silikonfärgen läcker ut metaller som används bland annat för att motverka skrovpåväxt i biocidfärger. Det påpekas att dessa experiment är inget bevis på giftighet eller direkt fara för miljön av anledningen att uppställning av experimentet sker i orealistisk miljö med föråldringmetoder just för att vissa själva möjligheten att det läcker ut någonting. Men de kunde konstatera att det fanns något eller några oidentifierade ämnen som hade en skadlig påverkan på havstulpanslarver. Även scenariot som (Nendza, 2007) tar upp kan få skadlig påverkan i haven påsikt. Detta skapar väldigt mycket osäkerhet i arbetet vad som anses miljövänligt och tyder på att mer forskning krävs inom detta område.

Litteraturförteckning

- Bighiu, M. (2017). *Use and environmental impact of antifouling paints in the Baltic Sea*. Department of Environmental Science and Analytical Chemistry. Stockholm: Stockholm University. Hämtat från urn:nbn:se:su:diva-139590
- Bressy, C., & Lejars, M. (2014). Marine Fouling : An Overview. *The Journal of Ocean Technology*, 9. Hämtat från <https://www.researchgate.net/publication/271179593>
- Ciriminna, R., Briht, F., & Pagliaro, M. (2015). Ecofriendly Antifouling Marine Coatings. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. Hämtat från <https://doi.org/10.1021/sc500845n>
- Demirel Kemal Yigit, U. D. (2018). Life Cycle Assessment of Marine Coatings. *Department of Naval Architecture, Ocean and Marine Engineering, University of Strathclyde* (s. 16). Glasgow: Springer Publishing. doi:10.1007/978-3-319-74576-3_23
- Denscombe, M. (2018). *Forskningshandboken* (4:1 uppl.). Studentlitteratur.
- Hellio, C., & Yebra, D. (2009). *Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies*. Woodhead Publishing. Retrieved from https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpAMACT008/cid:kt006KCH33/viewerType:khtml/root_slug:advances-in-marine-antifouling/url_slug:front-matter?&view=collapsed&zoom=1&page=1
- IMO. (den 5 Oktober 2001). *International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships*. Hämtat från international maritime organization: [http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-\(AFS\).aspx](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-(AFS).aspx)
- Kemikalieinspektionen. (2011). *KEMI*. Hämtat från Kemikalieinspektionen: https://webapps.kemi.se/flodesanalyser/Amnesinformation/siloxaner_sv.htm
- Lejars, M., Margailan, A., & Bressy, C. (2012). Fouling Release Coatings: A Nontoxic Alternative to Biocidal. *Chemical Reviews*, 43. Hämtat från <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/cr200350v>
- Lindholdt, A. (2015). *Fuel efficiency and fouling control coatings in maritime transport*. Lyngby: Danmarks Tekniske Universitet (DTU). Hämtat från https://orbit.dtu.dk/files/117046213/Phd_thesis_rev._June_2015_Asger_Lindholdt.pdf
- Mirabedini, M. S., Pazokifard, S., Esfandeh, M., Mohseni, M., & Akbari, Z. (2006). Comparison of drag characteristics of self-polishing co-polymers and silicone foul release coatings: A study of wettability and surface roughness. *Progress in Organic Coatings*, 421-429. Hämtat från <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2006.10.001>
- Nendza, M. (2007). Hazard assessment of silicone oils (polydimethylsiloxanes, PDMS) used in antifouling-/foul-release-products in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1190-1196.
- Noguer, A. C. (2016). *Experimental investigation of the behaviour and fate of block copolymers in fouling release coatings*. Lyngby: Technical University of Denmark (DTU). Hämtat från [https://orbit.dtu.dk/en/publications/experimental-investigation-of-the-behaviour-and-fate-of-block-copolymers-in-fouling-release-coatings\(06d9d812-50b4-4646-bb73-1eab9c6b0dd4\).html](https://orbit.dtu.dk/en/publications/experimental-investigation-of-the-behaviour-and-fate-of-block-copolymers-in-fouling-release-coatings(06d9d812-50b4-4646-bb73-1eab9c6b0dd4).html)
- Piazza, V., Gambardella, C., Garaventa, F., Paolo, M., Chiavarini, S., & Faimali, M. (2018). A new approach to testing potential leaching toxicity of fouling release coatings (FRCs).

Marine Environmental Research, 141, 305-312.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.09.024>

Swain, G., Kavanagh, C., & Cassè, F. (2007). Measuring the Performance of Today's Antifouling Coatings. *Journal of Ship Production*. Hämtat från https://www.researchgate.net/publication/233604470_Measuring_the_Performance_of_Today's_Antifouling_Coatings

Tegneman, O., & Jallow, D. (2013). "Foul release"-teknikens utbredning - En studie av svenska rederiers användning av båtottenfärger med "foul-release"-egenskaper. Sjöfart och Marin teknik. Gothenborg: Chalmers University of Technology. Hämtat från <https://hdl.handle.net/20.500.12380/179940>

Appendix

Tabell 9 – Visar referenser till grovhetmätningar för olika typer av ytor.

Description of condition	NSTM rating	k _s (µm)	Rt50 (µm)
Slät yta	0	0	0
Antifouling FRC	0	10	100
Antifouling SPC	0	30	150
Lätt slime / Tung slime	10-20 /30	100 / 300	300 / 600
Skal påväxt lätt	40-60	1000	1000
Skal påväxt medium / tung	70-80 / 90 – 100	3000 / 10000	3000/ 10000

Tabell 10 – Sammanställning av alla metaller som läckte ut i vattnet från varje färg vid olika föråldringstider (Piazza, o.a., 2018)

PRODUKTER	Föråldringstid	Metaller (µg/L)								
		⁵¹ V	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁶⁰ Ni	⁶³ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	¹¹¹ Cd	²⁰⁸ Pb
Havsvatten	24 timmar	4,2	6,8	0,1	3,1	2,0	8,3	1,8	0,2	1,5
	7 Dagar	4,2	6,8	0,1	3,1	2,0	8,3	1,8	0,2	1,5
	14 Dagar	3,2	4,6	0,2	1,4	0,5	7,7	2,4	0,1	0,1
	30 Dager	3,2	4,6	0,2	1,4	0,5	7,7	2,4	0,1	0,1
	2 Månader	3,2	4,6	0,2	1,4	0,5	7,7	2,4	0,1	0,1
Filtrerat havsvatten	24 timmar	4,1	5,8	0,2	1,9	3,2	7,5	2,0	0,1	0,1
	7 Dagar	4,1	5,8	0,2	1,9	3,2	7,5	2,0	0,1	0,1
	14 Dagar	4,6	7,2	0,4	2,1	4,7	10,2	2,2	0,1	0,1
	30 Dager	4,6	7,2	0,4	2,1	4,7	10,2	2,2	0,1	0,1
	2 Månader	4,6	7,2	0,4	2,1	4,7	10,2	2,2	0,1	0,1
FÄRG 1	24 timmar	3,7	7,2	1,3	3,5	10,3	86,7	2,2	0,1	0,8
	7 Dagar	3,9	5,7	0,2	5,1	11,5	67,1	2,5	0,1	1,4
	14 Dagar	4,0	7,5	0,4	6,1	9,0	47,9	2,1	0,1	1,2

PRODUKTER	Föråldringstid	Metaller (µg/L)								
		⁵¹ V	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁶⁰ Ni	⁶³ Cu	⁶⁶ Zn	⁷⁵ As	¹¹¹ Cd	²⁰⁸ Pb
FÄRG 1	30 Dagar	3,5	5,3	3,4	5,1	6,6	56,9	1,5	0,1	0,9
	2 Månader	3,7	6,0	0,6	4,3	7,1	43,4	1,4	0,1	0,1
FÄRG 2	24 timmar	3,8	6,6	2 2	3,5	185,3	468,6	1,4	0,3	1,0
	7 Dagar	4,0	7 2	0,6	4,4	11,3	59,1	1,7	0,1	0,9
	14 Dagar	7,0	8,5	1,9	6,0	11,6	55,6	2,0	0,1	1,3
	30 Dagar	3,2	4,4	0,4	3,4	2,4	39,4	0,8	0,1	0,1
	2 Månader	4,1	8,4	0,5	5,6	8,9	43,5	1,7	0,1	0,5
FÄRG 3	24 timmar	4,2	8,7	3,2	6,7	247,3	240,5	2,6	0,9	2 2
	7 Dagar	3,9	7 7	0,4	4,4	7,9	56,7	1,8	0,1	0,9
	14 Dagar	3,5	6,7	0,3	2,6	4,7	28,5	1,6	0,1	0,6
	30 Dagar	3,1	4,6	0,5	3,3	3,1	39,8	0,9	0,1	0,2
	2 Månader	3,9	6,6	0,7	4,1	7 2	38,1	1,4	0,1	0,8
FÄRG 4	24 timmar	4,0	7,3	2,0	5,1	151,6	181,1	2,6	0,1	1,1
	7 Dagar	4,4	7,3	1,1	4,3	13,5	26,2	2,9	1,6	1,8
	14 Dagar	3,2	5,3	0,3	3,2	5,8	31,8	1,3	0,3	0,9
	30 Dagar	3,6	5,6	0,7	4,5	1,9	44,4	1,2	0,1	0,0
	2 Månader	4,3	6,8	0,2	5,6	10,5	27,8	1,6	0,1	0,0
FÄRG 5	24 timmar	3,7	6,6	2,0	4,7	156,0	199,7	1,8	0,1	1,5
	7 Dagar	3,7	5,6	0,6	4,7	15,6	68,9	3,8	0,1	1,8
	14 Dagar	3,6	6,5	0,3	4,3	5,6	25,4	1,5	0,1	0,9
	30 Dagar	3,3	6,4	0,4	4,1	4,2	26,1	1,5	0,1	0,7
	2 Månader	3,7	5,5	0,5	3,1	3,4	32,4	1,2	0,2	0,4