



# Silikonbaserad båtbottnfärg

Ett alternativ till konventionella färger – funktionsmässigt såväl som miljömässigt

---

*Theodor Kindeberg*

2014

**Miljövetenskap**

Examensarbete för kandidatexamen 15 hp

Lunds universitet



# Silikonbaserad båtbottnfärg

Ett alternativ till konventionella färger – funktionsmässigt såväl som miljömässigt

Theodor Kindeberg

2014

**Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet**

Handledare: Maria Hansson, Centrum för miljö- och klimatforskning,  
Lunds universitet



# Abstract

The settlement of marine organisms on boat hulls – known as biofouling – is a major concern in boating and over the years more or less environmentally harmful substances have been used to prevent it. However, the concept of biocide-free, so called foul-release coatings (FRC) that change the surface properties of the boat hull has gained more attention recently. In the present literature study, I have investigated if silicone-based FRCs could serve as satisfactory substitutes to biocidal antifouling coatings by analyzing available toxicity data and functionality assays. However, since the chemical compositions of these foul-release coatings are proprietary and not public, this study focuses on the main component polydimethylsiloxane (PDMS). Results from previous studies have shown that PDMS exhibit no or little toxicity to marine organisms. Nevertheless, if PDMS is released into the marine environment due to leaking silicone oils, because of their physiochemical properties such as low water solubility, benthic filter feeders and zooplankton could be immobilized or suffocated. Yet, previous research results indicate that no silicone FRCs used today suffer from this leakage problem and thus the risk would be considered insignificant.

In addition to the literature study, an interview-based survey among boat owners in Höganäs was performed in order to investigate their knowledge of silicone paints. Results were in line with my hypothesis – very few knew about this alleged, environmentally friendly alternative. Interestingly, not even respondents who said that the environment was the most important factor when choosing paint knew about these silicone paints.

In conclusion, my results suggest that there is considerable evidence for the advantages of these silicone coatings – from an environmental as well as from a functional perspective. However, in order to make a complete transition to biocide-free FRCs, legislative measures and information campaigns are needed.

# Innehållsförteckning

<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE & FRÅGESTÄLLNINGAR.....	2
MILJÖVETENSKAPLIG RELEVANS .....	2
<b>2. METOD</b> .....	<b>3</b>
2.1 LITTERATURSTUDIE .....	3
2.2 INTERVJUSTUDIE BLAND BÅTÄGARE.....	3
2.2.1 <i>Bearbetning av data</i> .....	4
<b>3. RESULTAT</b> .....	<b>5</b>
3.1 VAD ÄR DAGENS SILIKONBASERADE BÅTBOTTENFÄRG? .....	5
3.1.1 <i>Vad är polydimetylsiloxan (PDMS)?</i> .....	5
3.1.2 <i>Vad är hydrogel?</i> .....	6
3.2 FINNS DET NÅGRA RISKER MED SILIKONFÄRG? .....	6
3.3 VAD SÄGER BÅTÄGARNA? .....	7
<b>4. DISKUSSION</b> .....	<b>10</b>
4.1 RISKER MED DAGENS SILIKONFÄRG .....	10
4.2 BÅTÄGARES KUNSKAP OCH INSTÄLLNING .....	10
4.3 SILIKONBASERADE BÅTBOTTENFÄRGER SOM REALISTISKT ALTERNATIV .....	11
MILJÖVETENSKAPLIG RELEVANS .....	13
<b>5. SLUTSATSER</b> .....	<b>14</b>
<b>TACKORD</b> .....	<b>15</b>
<b>6. REFERENSER</b> .....	<b>16</b>
6.1 VETENSKAPLIGA ARTIKLAR & BÖCKER.....	16
6.2 INTERNETKÄLLOR & RAPPORTER.....	17
6.3 PERSONLIG KOMMUNIKATION .....	18

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Så fort en båt hamnar i vattnet inleds en kolonisering av dess skrov, så kallad ”fouling”. Till en början koloniseras skrovet av encelliga alger och bakterier men så småningom växer även större organismer som havstulpaner, musslor och nässeldjur fast på skrovet. Särskilt havstulpanen orsakar stora problem då dess hårda kalkskal kan vara mycket svårt att avlägsna (Havs- och vattenmyndigheten, 2012; Kamino, 2013).

Denna biologiska påväxt, även kallad biofouling, är ett stort problem för såväl kommersiell fartygstrafik som för fritidsbåtar. Påväxten ökar friktionen mellan båtskrovet och vattenytan vilket leder till ökad bränsleförbrukning och försämrad manövreringsförmåga. För långt gående fartyg kan påväxten även bidra till spridning av invasiva arter (Maréchal & Hellio, 2009; Piola et al., 2009). Det finns olika sätt att skydda skrovet mot biofouling men utmaningen ligger i att hitta ett sätt som är effektivt mot påväxt men samtidigt skonsamt för havsmiljön (Calow & Calow, 2011).

I vilken utsträckning denna påväxt sker är beroende av såväl kemiska, fysikaliska som mekaniska och ekologiska faktorer och den vanligaste metoden att skydda båtskrov mot påväxt är, och har varit, att använda båtbottnfärger innehållande biocider. Principen bygger på att färgen konstant läcker biocid som motverkar organismernas bindemedel eller inhiberar påväxtorganismerna (Grozea & Walker, 2009; Gittens et al., 2013). Vilket aktivt ämne som används varierar och har varierat över tid. Ett ämne som dominerade båtbottnfärger under lång tid var den organiska tennföreningen tributyltenn (TBT), som fungerade som bredspektrumbiocid (Lejars et al., 2012). TBT var väldigt effektivt mot påväxt och användes på såväl större fartyg som på fritidsbåtar men visade sig ha en rad negativa effekter på marina organismer. Utöver det faktum att TBT är väldigt persistent i marina sediment finns ett tydligt dos-responssamband mellan TBT-exponering och utveckling av hanliga könsorgan hos honor – så kallad imposex – hos havssnäckan *Nucella lapillus* (Walker et al., 2012). TBT ses dessutom som orsak till negativa effekter på en rad marina organismer som musslor och ostron och det bioackumulerar kraftigt (Gittens et al., 2013; Detty et al., 2013; Fernandez-Alba et al., 2002). År 2001 antog FN:s sjöfartsorgan, IMO, en konvention om att förbjuda organiskt tenn i båtbottnfärger som år 2008 trädde i kraft och användningen av TBT upphörde (Champ, 2003; IMO, 2014). På grund av dess persistens uppmäts dock fortfarande höga halter i marinor och hamnars sediment och vid exempelvis muddring eller oväder kan TBT frigöras och åter exponera marina organismer (Ytreberg, 2012).

Som ersättare till TBT har främst olika koppar- och zinkföreningar använts. I Sverige är idag olika kopparoxidföreningar vanligast förekommande och årligen används över 80 000 ton biocidfärger världen över (Turner, 2010; Ytreberg, 2012; Detty et al., 2013). Dessa färger har dock också visat sig ha negativa effekter på den marina miljön och man har även kunnat visa på synergieffekter mellan olika färger (Fernández-Alba et al., 2002). Olika försök att ta fram miljövänliga antifoulingfärger – med eller utan biocid – har gjorts under det senaste decenniet men många av dem har visat sig vara lika, och i vissa fall till och med mer, toxiska som de koppar- och zinkfärger som förbjudits (Karlsson & Eklund, 2004; Ytreberg et al., 2010).

Som alternativ till dessa biocidbaserade antifoulingfärger har man på senare år gått mer och mer mot så kallade ”foul-release”- eller ”non-stick”-färger vars princip bygger på att man förändrar båtskrovets ytegenskaper att bli hala och svåra för påväxtorganismer att fästa vid. De organismer som ändå får fäste faller av antingen genom hydrodynamiska krafter (båten färdas) eller genom försiktig mekanisk rengöring (Sommer et al., 2010). Dessa färger är alltså inte designade att vara toxiska utan fungerar som ett mekaniskt skydd. Utvecklingen har pågått i över 30 år och man har framförallt fokuserat på olika silikon- och fluoropolymerer där silikonpolymeren polydimetylsiloxan (PDMS) framträtt starkast (Feng et al., 2012; Stein et al., 2003). Utmaningen har legat, och ligger, i att hitta ett material som är effektivt mot ett brett spektra av organismer – allt ifrån bakterier och encelliga alger till havstulpaner och makroalger (Grozea & Walker, 2009).

## 1.2 Syfte & frågeställningar

I denna uppsats görs en litteraturstudie över forskningsläget inom silikonbaserad båtbottnfärg för fritidsbåtar, med fokus på huvudkomponenten polydimetylsiloxan (PDMS). På basis av toxicitetsdata ämnar jag undersöka om dagens silikonbaserade båtbottnfärger är ett miljövänligt, riskfritt alternativ till konventionella båtbottnfärger och försöka besvara frågan om de är så miljövänliga som tillverkarna och förespråkarna framställer dem. Detta kompletteras med en intervjustudie om båtägares kännedom och inställning till nämnda färg. Jag ämnar genom dessa två tillvägagångssätt försöka besvara följande frågeställningar:

- Är silikonbaserad färg (av typen Hempel SilicOne) ett möjligt alternativ till konventionella antifoulingfärger med biocider?
- Känner båtägare till denna färg?

Min hypotes är att dagens silikonbaserade båtbottnfärger är jämförelsevis skonsamma mot den marina miljön och att de utgör ett fullgott alternativ till konventionella, biocidbaserade båtbottnfärger med avseende på såväl deras funktion som deras skonsamhet mot miljön. Jag tror dock att gemene båtägare saknar kunskap om detta alternativ.

## Miljövetenskaplig relevans

Spridningen av båtbottnfärger i havsmiljön och dess påverkan på akvatiska organismer är allvarlig och förekommer över hela världen. Samtidigt är någon form av ”antifouling” nödvändig för att förhindra en ökad bränsleförbrukning och därmed inte bara ökade koldioxidutsläpp, utan även ökade utsläpp av svavel- och kväveoxider (Kiil et al., 2002). Trots vetenskapen om båtbottnfärgernas negativa påverkan på miljön har man gjort avvägningen att den positiva effekten på bränsleförbrukning överväger den negativa för den marina miljön. Dessa nya, biocidfria färger förutspås dock kunna eliminera behovet av den avvägningen varför studier på detta område är av största vikt. Tidigare uppskattning har gjorts att en komplett omställning till biocidfria foul-releasefärger skulle spara över 70 miljoner ton kopparbaserade biocider (Yebra & Catala, 2011 citerad i Lejars et al., 2012). Följaktligen skulle marina organismer skonas och risken för att få negativa effekter på hela marina ekosystem minskas avsevärt. Våra utsläpp av kemikalier i havsmiljön omfattas av EUs ramvattendirektiv och berör två av Sveriges miljökvalitetsmål – *Giftfri miljö* och *Hav i balans samt levande kust och skärgård* – varav inget av dem spås kunna uppnås till år 2020 (Miljömål.se, 2014). Följaktligen bör arbetet för att begränsa dessa utsläpp, exempelvis genom en omställning till biocidfria färger, anses vara av hög vetenskaplig relevans.



## 2. Metod

### 2.1 Litteraturstudie

Först och främst inleddes arbetet med att utröna vad dagens silikonbaserade båtbottnfärger för fritidsbåtar (exempelvis SilicOne) består av. Som nämnts ovan är inte tillverkarna skyldiga att redogöra för dessa biocidfria färgers sammansättning då de inte omfattas av Kemikalieinspektionens bekämpningsmedelsregister eller EUs biociddirektiv (Kemikalieinspektionen, 2014; Nendza, 2007). Jag har inte hittat några studier om de nya färger som är aktuella nu. Färgtillverkaren Hempel har dock tillverkat en silikonfärg avsedd för kommersiella fartyg kallad Hempasil X3 och om denna färg finns det något fler studier (Zargiel & Swain, 2014; Bernbom et al., 2013; Thorlaksen et al., 2010). Vid kontakt med Hempel har jag dock fått bekräftat att skillnaderna dem emellan är att Hempasil X3 är just avsedd för stora fartyg och sprayas på skrovet medan Hempel SilicOne är avsedd för fritidsbåtar och målas på. Innehållet i övrigt är detsamma vilket innebär att de två huvudkomponenterna är polydimetylsiloxan (PDMS) och hydrogel (Hillerup, 2014 pers. kom; Lejars et al., 2012; Gittens et al. 2013). Hydrogel är dock ett vitt begrepp som kan innebära flertalet olika polymerer och det finns inga uppgifter avseende vilken som används i den silikonbaserade båtbottnfärg som är aktuell idag. Följaktligen har jag valt att fokusera på den andra huvudkomponenten – PDMS. Störst vikt har här lagts vid att försöka ta reda på om eventuella utsläpp av PDMS utgör någon risk för den marina miljön.

För att undersöka detta har i första hand vetenskapliga artiklar analyserats, med fokus på toxicitetstester. Dessa artiklar har inhämtats främst genom sökningar i databaserna Web of Science och Google Scholar med hjälp av ett antal sökord (tabell 1). För att få information om silikonbaserade båtbottnfärger tillgängliga på den svenska marknaden har sökmotorn Google använts.

**Tabell 1** Använda sökord i databaserna Web of Science och Google Scholar samt i Google.

Web of Science/Google Scholar	Google
polydimethylsiloxane/PDMS AND foul	silikon båtbottnfärg
foul release	silicone antifouling
silicone coating	silicone foul release
PDMS toxicity/risk	Hempel Silic One
non-biocidal antifouling	International Intersleek
marine biofoul	

På grund av den ovan nämnda bristen på offentliga uppgifter om dessa färger är antalet oberoende, vetenskapliga tester av deras funktionalitet få. Publicerade studier har ofta varit utförda av personer som har direkt anknytning till färgtillverkaren eller vars objektivitet av andra skäl kan ifrågasättas. Exempelvis är en av de mer uttömmande artiklarna i ämnet (Thorlaksen et al., 2010) skriven av tre anställda på färgtillverkaren Hempel men samtidigt har andra, peer-reviewade artiklar använt sig av deras data så jag har valt att inkludera den, om än med försiktighet.

### 2.2 Intervjustudie bland båtägare

För att få en uppfattning om båtägares kunskap om och inställning till silikonbaserade båtbottnfärger intervjuades 41 stycken båtägare i Höganäs hamn under tre tillfällen i april. I valet mellan enkätstudie och intervjustudie valdes det senare främst på grund av den korta tidsramen och svårigheter att få tag i kontaktuppgifter till båtägare. Valet av just Höganäs hamn gjordes dels för att den är en av de större hamnarna i nordvästra Skåne, dels för att den framstår som en hamn som kommit förhållandevis långt i det övriga miljöarbetet med exempelvis installerad spolplatta och förhållandevis strikta regler för båtbottnunderhåll och tvättning (Höganäs båtsällskap, 2011).

Fem frågor ställdes (tabell 2) till slumpvist utvalda båtägare i nära anslutning till sjösättningen av deras båtar. Frågorna konstruerades så att de skulle vara lätta att svara på, svåra att missförstå och utan någon värdeladdning (Trost, 1994; Häger, 2004). Jag valde slutna svarsalternativ framförallt för att intervjuandet skulle gå snabbt och smidigt men även för att svaren blir lättare att bearbeta (Körner & Wahlgren, 2005). Medveten om den så kallade *intervjuareffekten* försökte jag presentera mig själv, ämnet och frågorna så sakligt och objektivt som möjligt för att undvika att respondenterna gav de svar de trodde jag förväntade mig. När det i det här fallet handlar om frågor om ens ”miljövänlighet” finns risken för *prestigebias* – att respondenten vill framstå som mer miljövänlig än den är (Körner & Wahlgren, 2005).

**Tabell 2** Frågor ställda muntligen till slumpvis utvalda båtägare i Höganäs hamn.

Känner du till silikonbaserad färg?	Ja	Nej	
Vilken typ av båt äger du?	Segelbåt	Motorbåt	Annan
Använder du båtottenfärg?	Ja	Nej	Vet ej
Om ja, vilken typ av färg?	Biocid	Biocidfri	Vet ej
Vilken faktor är viktigast för dig vid val av färg?	Pris	Funktion	Miljö

Intervjuerna genomfördes den 5:e, 16:e och 26:e april. De två första fungerade som pilotstudier där frågorna testades på två respektive fyra slumpvist utvalda respondenter. Detta ledde till att en av frågorna ströks. Frågan jag valde att utesluta var ”*Skulle du kunna tänka dig att byta till silikonfärg?*”. Anledningen till detta var att jag noterade att respondenterna hade väldigt svårt att svara på om de var benägna att byta till något de inte kände till. För att de skulle få information om vad det var hade jag behövt förklara för dem vad ett byte skulle innebära och min objektivitet och förmåga att påverka åt ena eller andra hållet skulle då inte kunna uteslutas. Vidare valde jag att ändra ordningsföljden på frågorna något. Frågan ”*Känner du till silikonbaserad färg?*” flyttades högst upp för att undvika att respondenten fick någon sorts förhandsinformation av mig.

Det i denna uppsats redovisade intervjutillfället skedde i samband med den stora sjösättningen i hamnen. Fördelen med att välja just denna dag (26:e april) var att det var väldigt många båtägare på plats i hamnen samtidigt. En eventuell nackdel var att många var stressade och kanske inte alltid gav så genomtänkta svar. Överlag var dock alla trevliga och tog sig tid att svara på mina frågor.

Svaren på frågorna jämfördes sedan med de i den av Transportstyrelsen utförda Båtlivsundersökningen 2010, bland annat för att undersöka om förhållandet mellan motorbåtsägare och segelbåtsägare var representativt för Sverige i stort. Båtlivsundersökningen genomfördes för första gången 2004 och kom till med syftet att:

*”ge fakta om båtlivet och båtbeståndet så att offentlig förvaltning, näringsliv och organisationer ska kunna planera och fatta beslut på riktiga grunder”* (Transportstyrelsen, 2010).

Båtlivsundersökningen 2010 innehåller ett avsnitt om båtottenfärger där åtta frågor med ett antal slutna svarsalternativ ställs.

### 2.2.1 Bearbetning av data

Svaren från intervjuerna lades in i Excel och kodades om för lättare hantering. För att undersöka om vissa variabler samvarierade (exempelvis de som kände till silikonbaserad färg och de som angav miljö som viktigaste faktor) användes funktionen *ANTAL.OMF*. För att undersöka ett eventuellt samband mellan typ av båt och miljö som viktigaste faktor utfördes hypotesprövning med Fishers exakta test då några av frekvenserna var för små (< 5) för att kunna användas för  $\chi^2$ -test (Körner & Wahlgren, 2005). Samma gällde för testet av sambandet mellan att känna till silikonbaserad färg och att ange funktion som viktigaste faktor. Signifikansnivå för att nollhypotesen ( $H_0$ ) skulle kunna förkastas sattes till 0,05 (5 %).

Övriga resultat presenterades grafiskt. De frågor med endast två svarsalternativ presenterades i form av cirkeldiagram medan de med tre svarsalternativ presenterades med stapeldiagram eller tabell (Ejlertsson, 2005).

## 3. Resultat

Inledningsvis redovisas resultaten från litteraturstudien där silikonbaserade båtbottnfärgers egenskaper och innehåll presenteras (3.1) följt av en fördjupning i PDMS (3.1.1) och hydrogel (3.1.2). Därefter presenteras resultaten från de studier som undersökt toxicitet hos eller risker med silikonbaserade båtbottnfärger (3.2). Slutligen redogörs för resultaten från intervjustudien bland båtägare (3.3).

### 3.1 Vad är dagens silikonbaserade båtbottnfärg?

Från att ha dragits med problem som dålig hållfasthet och höga kostnader nämns de silikonbaserade båtbottnfärger som finns på marknaden för fritidsbåtar idag som nästintill revolutionerande av färgtillverkarna själva och av konsumenttester i båttidningar (Bådnyt, 2014; Båtliv 2014). Eftersom dessa så kallade foul-releasefärger inte innehåller några biocider är de inte reglerade och tillverkarna behöver därför inte deklarerat deras innehåll och kemiska sammansättning (Feng et al., 2012; Kemikalieinspektionen 2014). Detta faktum utgör ett stort problem för oberoende forskares möjlighet att bedöma eventuella risker. För att få en uppfattning om innehållet får man förlita sig på patentinformation och råmaterialtillverkarnas information (Nendza, 2007).

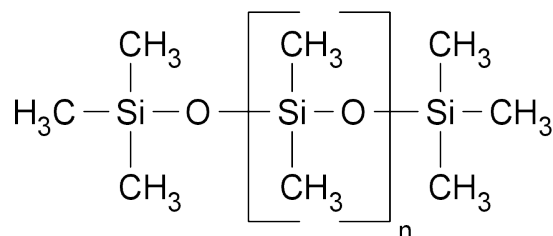
Efter att i flera decennier bestått av i princip enbart PDMS har det på senare år – i takt med att fler biocidfärger förbjudits runt om i världen – tillkommit fler kombinationer av PDMS, som exempelvis hydrogel (Lejars et al., 2012; Detty et al., 2013). Principen för de olika silikonfärgerna är dock densamma – förändrade fysikaliska ytegenskaper som gör att påväxtorganismer får svårare att fästa. I regel har man strävat efter att uppnå låg elasticitetsmodul<sup>1</sup>, låg ytspänning och hydrofoba ytegenskaper (Lejars et al., 2012). Mekanismerna bakom är komplicerade och att i detalj beskriva dem ligger utanför ramen för denna uppsats, de beskrivs dock ingående i Lejars et al. (2012) samt Detty et al. (2013). En ytterligare fördel med dessa ytegenskaper är att de – förutom att hålla påväxtorganismer borta – minskar friktionen mellan båt och vatten vilket leder till ytterligare lägre bränsleförbrukning och högre fart (Thorlaksen et al., 2010; Lejars et al., 2012).

För att de organismer som ändå lyckats fästa på skrovet ska falla av krävs att båten färdas i en viss hastighet, alternativt torkas av manuellt. Vilken hastighet som krävs varierar i litteraturen men ligger någonstans mellan 8-20 knop (Callow & Callow 2011; Gittens et al., 2013; Thorlaksen et al., 2010; Mirabedini et al., 2006).

En nackdel som dock nämns med silikonfärg är att det vid första målningen innebär en större arbetsbörda och kostnad än vid konventionell färg. Till skillnad från till exempel hård kopparbaserad bottenfärg behövs, förutom grundfärg, ytterligare ett lager av så kallad tie-coat som själva silikonfärgen (top-coat) binder till (Yachtpaint, 2014; Hempel, 2014). Har man dessutom redan målat sin båt med konventionell färg måste denna slipas ned till grunden vilket är ett förhållandevis omständligt och ofta kostsamt projekt (Sandgren, 2014. pers. kom). Detta var även något som nämndes bland de intervjuade båtägarna (se avsnitt 3.3).

#### 3.1.1 Vad är polydimetylsiloxan (PDMS)?

PDMS är syntetiska polymerer med alternerande silikon-syreföreningar och metylsidogrupper där antalet monomerer kan vara över 10 000 (figur 1), men vanligast för de PDMS som används i silikonfärger är mellan 20-100 så kallade siloxanenheter (Si-O-Si). Följaktligen är det ofta stora molekyler med hög molvikt (Henry et al., 2001; Nendza, 2007). Dessa har vanligtvis lågt ångtryck och låg vattenlöslighet



**Figur 1** Generell struktur för polydimetylsiloxan (PDMS). Antalet monomerer (n) kan variera mellan 10 till > 10 000 st. Figur modifierad från Henry et al., 2001.

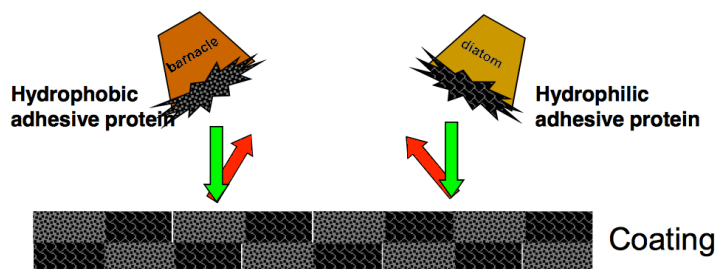
<sup>1</sup> Elasticitetsmodulen, *E*, anger substansens förmåga att deformeras elastiskt, det vill säga icke permanent, i förhållande till dess mekaniska spänning. Låg elasticitetsmodul minskar adhesionsförmågan hos påväxtorganismer (Yasani et al., 2014).

vilket gör att de varken sprids till atmosfären eller löser sig i vatten (Nendza, 2007).

Användningen av PDMS är utbredd och återfinns, förutom i dessa båtbottnfärger, även i hydrauloljor, skumdämpningsmedel, mat, läkemedel, kosmetika och vaxer (Henry et al., 2001; Stevens et al., 2001). Informationen om dess fysikalisk-kemiska egenskaper varierar men  $\log K_{ow}$  (partitionskoefficienten för n-oktanol och vatten) ligger någonstans mellan 2,86 och 4,25 (Watanabe et al., 1984; Sigma-Aldrich, 2014). PDMS har låg ytspänning ( $23 \text{ mN m}^{-1}$ ) och i kombination med dess hydrofobicitet har det visat sig vara väldigt effektivt mot större påväxtorganismer som havstulpaner och musslor då dess opolära yta minskar antalet möjliga vätebindningar (Callow & Callow, 2011; Martinelli et al., 2012). Trots sina hydrofoba egenskaper, sin låga ytspänning och elasticitetsmodul är PDMS dock inte särskilt effektiv mot mindre påväxtorganismer som bakterier och alger, främst diatomer, som fäster kraftigare till hydrofoba ytor (Callow & Callow, 2011; Lejars et al., 2012). Samma förhållande gäller för ytspänning där havstulpaner uppvisat starkast adhesion till ytor med hög ytspänning medan diatomer fäster starkast till ytor med låg ytspänning (Detty et al., 2013). På grund av detta har man utvecklat färger som kombinerar PDMS hydrofoba egenskaper med hydrofila silikonpolymerer i form av olika så kallade hydrogeler (Lin et al., 2013). En ytterligare anledning är att rena PDMS-färger inte är särskilt hållfasta utan behöver förstärkas med exempelvis hydrogel (Grozea & Walker, 2009).

### 3.1.2 Vad är hydrogel?

Hydrogeler är stora polymernätverk som, förutom att vara hydrofila och ej vattenlösliga, har en förmåga att svälla och absorbera till över 99 % av sin ursprungliga vikt i vatten (Lejars et al., 2012). Hydrogeler har, på grund av sina likheter med mänsklig vävnad och förmåga att reducera bakteriers vidhäftningsförmåga, främst används inom biomedicin som bland annat membran och som bärare av läkemedel eller proteiner (Peppas et al., 2000). På senare år har man dock börjat använda hydrogeler i kombination med PDMS för att motverka påväxt på båtar (Lejars et al., 2012). Medan tidigare generationers silikonfärger bestod av PDMS i kombination med silikonpolymerer med låg molvikt – så kallade silikonoljor – så är dagens en kombination av PDMS och hydrogel (Hillerup pers. kom., 2014; Thorlaksen et al., 2010). Vilken sorts hydrogel är dock svårt att klargöra men en som använts och förekommer i litteraturen är polyetylenglykol (PEG) (Grozea & Walker, 2009; Lejars et al., 2012). Som nämnts ovan är PDMS hydrofob och just hydrofoba ytor har visat sig ge dåligt skydd mot mindre påväxtorganismer som diatomer och andra alger. Diatomer fäster på båtskrovet genom hydrofoba, adhesiva proteiner (Detty et al., 2013). Att då blanda i en hydrogel – som är hydrofil – gör att man även får ett skydd mot dessa organismer som uppfattar båtens skrov som en vätska och därför inte fäster vid det (Lejars et al., 2012; Lin et al., 2013). Att kombinera PDMS och hydrogel ger en mosaik av hydrofila och hydrofoba ytor som effektivt reducerar vidhäftningsförmågan, adhesionen, av såväl bakterier och alger som havstulpaner och musslor (figur 2) (Lin et al., 2013; Detty et al., 2013; Rasmussen & Østgaard, 2003; Lejars et al., 2012).



**Figur 2** Illustration av silikonbaserad båtbottnfärg med hydrogel vars kombination av hydrofila- och foba ytor gör att varken havstulpaner (t. v.) eller diatomer (t. h.) kan fästa. Bild modifierad från Detty et al., 2013.

## 3.2 Finns det några risker med silikonfärg?

Som nämnts ovan är hydrogel ett samlingsnamn för flera sorters polymerer med liknande egenskaper. Eftersom färgtillverkarna inte redovisar innehåll samt att toxicitetstester på hydrogeler överlag är få till antalet fokuserar detta avsnitt på PDMS.

Användningen av PDMS har pågått sedan långt innan det blev ett ämne aktuellt för båtbottnfärger och dess användningsområde är, som nämnts ovan, mångsidigt. Följaktligen har ämnets toxicitet studerats genom åren och det finns i litteraturen ett antal mer eller mindre omfattande studier som utfört toxicitetstester på olika

marina organismer. På grund av dess relativt låga vattenlöslighet (höga log  $K_{ow}$ ) adsorberas PDMS till partiklar och organiskt material och kan därmed ackumuleras i marina sediment (Henry et al., 2001; Nendza et al., 2007; Griessbach & Lehmann, 1999). PDMS är därtill persistent och bryts ner väldigt långsamt i vattenmiljön (Henry et al., 2001; Feng et al., 2012).

Feng et al. (2012) utförde toxicitetstester på sjögurka (*Arbacia punctulata*) och fisk (*Oryzias latipes*) vid exponering för olika silikonbaserade färger. Man använde dels egenkomponerade färger med kända sammansättningar med och utan silikonolja samt tre kommersiella färger utan känd sammansättning. Två av dessa kommersiella färger – Intersleek 425 och 757 – är silikonelastomerer (International, 2014a; International, 2014b). Man kunde visa på effekter som embryonala störningar och ökad mortalitet hos sjögurkans larver. Vidare visade de att exponering för dessa två färger resulterade i en försämrad förmåga att blåsa upp simblåsan hos fisken samt försenad äggkläckning. Vilka mekanismer som gav upphov till dessa effekter kunde man dock inte bestämma. Man testade även att låta färgerna exponeras för rinnande havsvatten under en månad och de negativa effekterna reducerades då. Detta var i linje med författarnas hypotes om att de biologiskt aktiva molekylerna i färgerna läcker ut vid nedsänkning i havsvatten (Feng et al., 2012). Om dessa färger läckte silikonolja (se nedan) beskrevs dock inte.

Toxicitetstester på havsborstmusken *Nereis diversicolor* utfördes under 96 timmar respektive 28 dagar. Man använde sex olika koncentrationer av PDMS i sediment med 10 000 mg/kg som högsta koncentration. Här resulterade varken det akuta toxicitetstestet (96 timmar) eller den längre exponeringen (28 dagar) i någon mortalitet eller försämrad tillväxt (Craig & Caunter, 1990). Liknande resultat åstadkoms vid en tidigare studie där det konstaterades att det skulle krävas orrealistiskt höga koncentrationer av PDMS för att det skulle ge negativa effekter på *Nereis diversicolor* (Aubert et al., 1985). I samma studie fann man även att ackumuleringen av PDMS i den bentiska födokedjan var mycket låg till obefintlig (Aubert et al., 1985).

Henry et al. (2001) exponerade två bentiska makroinvertebrater, flugan *Chironomus tentans* och kräftdjuret *Hyallolella azteca*, för sediment med olika koncentrationer av PDMS. Både akut toxicitetstest (10 dagar) och analys av hel livscykel (42 dagar) utfördes där man tittade på mortalitet och tillväxt respektive överlevnad, tillväxt och reproduktion. Varken försämrad tillväxt eller ökad dödlighet observerades vid 10-dagarexponeringen. För livscykelanalysen exponerades *C. tentans* för PDMS-koncentrationer upp till 2600 mg/kg men inga effekter syntes i jämförelse med sediment utan PDMS. Inte heller för *H. azteca*, som exponerades för koncentrationer upp till 994 mg/kg PDMS, sågs några negativa effekter. Resultaten stödde författarnas hypotes om att PDMS är relativt icke-toxiskt för sedimentlevande invertebrater (Henry et al., 2001).

Nendza (2007) menar, i sin faroidentifiering av PDMS, att trots sin lipofilitet ackumuleras inte PDMS i marina organismer och därmed sker ingen biomagnifiering längs födokedjan. Å andra sidan nämner hon att även om nedbrytningshastigheten av PDMS är låg kan man inte bortse från dess metaboliter som kan vara mer biotillgängliga och därför utgöra större hot än deras större modernmolekyl PDMS. Vidare menar Nendza att även om PDMS inte visat sig vara toxiskt i konventionell mening – det vill säga genom att ämnet tar sig in i organismer och där utövar toxisk effekt – så kan det vara skadligt, och till och med dödligt, för små, bentiska filtrerare som fastnar eller kvävs av den oljefilm PDMS utgör. Artikelförfattaren understryker dock att det är endast de PDMS-färger som läcker silikonolja som är skadliga för den marina miljön (Nendza, 2007). Huruvida det var denna typ av färg som användes i ovan nämnda toxicitetstester utförda Feng et al. (2012) framgår inte.

I litteraturen har jag endast hittat en artikel där man utfört toxicitetstester för silikonbaserad färg med hydrogel tillsatt. Lin et al., (2013) exponerade diatomen *Navicula sp.* och musslan *Mytilus galloprovincialis* för polyakrylamidsilikon (PAS) tillsatt till silikon – en hydrogel som jag dock inte funnit några belägg för att den används i dagens färger. För diatomen undersökte man tillväxt och för musslan dess förmåga att utsöndra sitt bindemedel att fästa vid ytor med (Lin et al., 2013). Man såg ingen påverkan på tillväxten hos *Navicula sp.* och inte heller *Mytilus galloprovincialis* påverkades negativt (Lin et al., 2013).

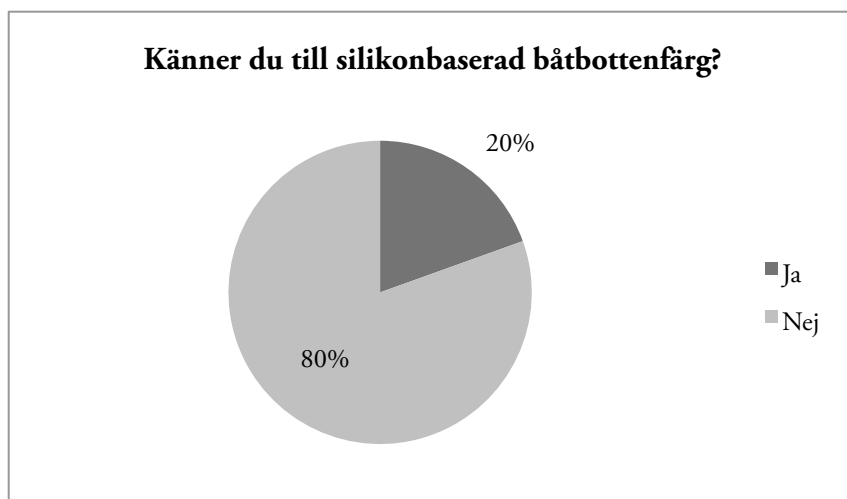
Sammanfattningsvis kan sägas att endast en av de studerade artiklarna (Feng et al., 2012) har visat på toxiska effekter av PDMS.

### 3.3 Vad säger båtägarna?

Sverige är ett av de länder med flest antal fritidsbåtar per capita (Havs- och vattenmyndigheten, 2014). Med nästan en miljon fritidsbåtar (år 2010) är Sverige en stor marknad för båtbottnfärger (Transportstyrelsen, 2010).

Därför är det även ur ett globalt perspektiv intressant att undersöka svenska båtägares kunskaper och åsikter om silikonbaserade båtbottnfärger, då en eventuell omställning i Sverige skulle kunna ge dessa färger en skjuts även internationellt. Samtliga respondenter i denna undersökning angav att de använder båtbottnfärg att jämföra med 50,1 % bland båtägare på Västkusten (mellan Trelleborg och norska gränsen) i Båtlivsundersökningen 2010 (Transportstyrelsen 2010).

Av de 41 stycken tillfrågade svarade endast en femtedel (8 st.) att de hört talas om silikonbaserad båtbottnfärg (figur 3). Av dessa åtta angav två stycken att de alldeles nyligen fått höra talas om det. Två stycken sade dessutom att de var villiga att byta till silikonbaserad båtbottnfärg men först vid nästa båtköp då själva bytet från biocidfärg till silikonfärg, som nämnts ovan, innebär mycket arbete.



**Figur 3** På frågan om man kände till att det finns silikonbaserad båtbottnfärg svarade knappt 20 % (8 st.) Ja och drygt 80 % (33 st.) Nej.

Endast 15 % av respondenterna (6 st.) angav miljö som viktigaste faktor vid val av båtbottnfärg medan något fler (20 %) angav att pris var den viktigaste faktorn. En av respondenterna som angav pris som viktigaste faktorn tillade dock att

*”Det hade varit miljö om det funnits några miljövänliga färger”.*

Flest respondenter, 66 procent, angav färgens funktion som viktigaste faktor (figur 4). Några sa dock att även om funktion var viktigast fick det inte vara till vilket miljömässigt pris som helst. Av dem som angav att miljö var den viktigaste faktorn var det ingen som kände till silikonbaserad båtbottnfärg. Det fanns däremot ett signifikant samband mellan att känna till silikonbaserad båtbottnfärg och ange funktion som viktigaste faktor ( $p < 0,05$ , Fishers exakta test, se tabell 3).

**Tabell 3** Sambandet mellan om man kände till silikonbaserad färg och valet av funktion som viktigaste faktor gav dock ett tvåsidigt p-värde på 0,035 vilket gör att nollhypotesen att det inte finns något samband kan förkastas.

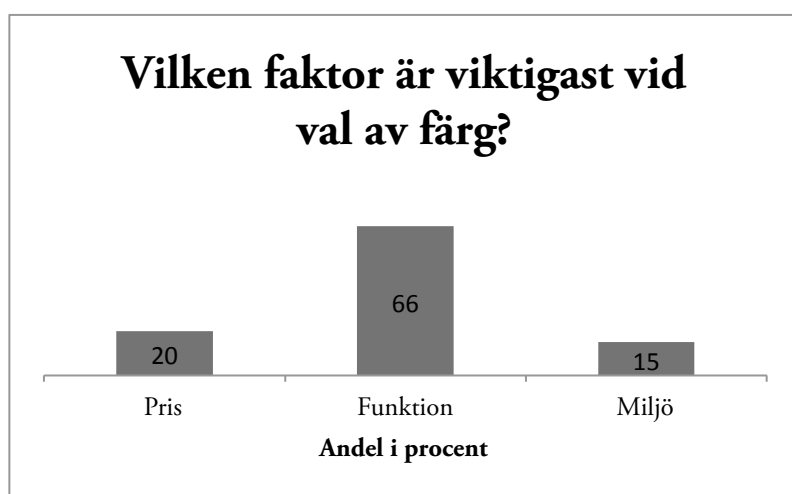
	Funktion viktigaste faktor	Total
Känner till	100 %	8
Känner inte till	57,6 %	33
p-värde	0,035	

Samma test utfördes för att undersöka om ägare av segelbåtar i högre utsträckning anger miljö som viktigaste faktor. Resultatet visade att det inte finns någon statistisk signifikant korrelation ( $p > 0,05$ ) mellan att äga segelbåt och ange miljö som viktigaste faktor vid val av båtbottnfärg (tabell 4).

**Tabell 4** Testet på sambandet mellan båttyp och miljö som viktigaste faktor genererade ett tvåsidigt p-värde på 0,267 vilket – med en signifikansnivå på 0,05 – inte är lågt nog för att förkasta nollhypotesen, nämligen att det inte är någon skillnad mellan vilken båttyp man äger och om man anger miljö som viktigaste faktor vid val av båtbottnfärg.

Båttyp	Miljö viktigaste faktor Andel	Total
Segelbåt	11,8 %	34
Motorbåt	28,6 %	7
p-värde	0,267	

I båtlivsundersökningen 2010 ställdes frågan om vad som är den rimligaste ersättningen eller komplementet till antifoulingfärg. Endast 6,8 % av de tillfrågade svarade ”alternativa färger” medan 43,4 % svarade vet ej (Transportstyrelsen, 2010).



**Figur 4** På frågan om vilken faktor som är viktigast vid val av färg svarade 20 % (8 st.) Pris, 66 % (27 st.) Funktion och 15 % (6 st.) Miljö.

Segelbåt var den dominerande båttypen (82,9 %) bland respondenterna. En övervägande del (85,4 %) av respondenterna använde biocidfärg medan 14,6 % inte visste vilken färg de använde (tabell 5). Av de som angav att de inte visste var det ingen som kände till silikonbaserad båtbottnfärg. Detta kan jämföras med Båtlivsundersökningen 2010 då 59 % av ägarna till bottenmålade båtar på västkusten uppgav att de målade med biocidfärg och 41 % att de inte visste (Transportstyrelsen, 2010).

**Tabell 5** Svarsandel i procent på frågorna Vilken typ av båt äger du? samt Vilken typ av färg använder du? 82,9 % äger en segelbåt, 17,1 % äger en motorbåt. 85,4 % målar med biocidfärg medan 14,6 % inte vet vilken färg de använder.

Vilken typ av båt äger du?		Vilken typ av färg använder du?		
Segelbåt	Motorbåt	Biocidbaserad	Biocidfri	Vet ej
82,9 %	17,1 %	85,4 %	0 %	14,6 %

## 4. Diskussion

### 4.1 Risker med dagens silikonfärg

Utifrån de toxicitetstester som genomförts ligger det nära till hands att säga att risken för skador på marina ekosystem är mycket låg. Att dra några korrekta slutsatser om risk utifrån de studerade artiklarna är dock svårt. Samtliga, med ett undantag, har utfört in vitro-tester där olika organismer i laboratorium har exponerats för olika koncentrationer av PDMS. Några av de lite äldre studierna (Aubert et al., 1985; Craig & Caunter 1990; Henry et al., 2001) är inte designade utifrån att PDMS når marina miljöer till följd av läckande båtbottnfärger utan snarare av andra, markbaserade antropogena utsläpp som via reningsverk når ut i ytvatten och sediment. Möjligen är dessa studiers val av koncentrationsintervall då för lågt i förhållande till vad som är möjligt om en majoritet av världens fartyg och fritidsbåtar skulle ställa om till silikonbaserad båtbottnfärg. Vidare finns inga uppgifter om det som i risksammanhang är en lika viktig del som toxicitetsdata – nämligen prediktioner om koncentrationer i miljön, så kallade PEC-värden (*Predicted Environmental Concentration*). Dessa PEC-värden divideras sedan med de högsta koncentrationer där inga effekter påvisats (PNEC – Predicted No Effect Concentration, ofta NOEC – No Observed Effect Concentration) och kvoten man får anger sedan en riskkvot eller *hazard quotient* (HQ). Är denna kvot över 1 har man en påtaglig risk. På grund av tillverkarnas underlåtenhet att redovisa exakt innehåll och sammansättning i dessa oreglerade färger är dessa siffror dock svåra – för att inte säga omöjliga – att få fram. Här ligger kanske den största utmaningen inom forskningen på dessa färger.

Ytterligare en anledning till varför de undersökta toxicitetstesterna är svåra att dra relevanta slutsatser från är att testerna inte redovisar vilken typ av PDMS man använt. Som nämndes tidigare kan antalet siloxanenheter (Si-O-Si) variera mellan 10 och >10 000 och torde således ha olika fysikalisk-kemiska egenskaper. Exempelvis kan varierande storlek påverka biotillgängligheten. Å andra sidan är det inte känt vilka polymerer som används i färgerna vilket ytterligare spår på osäkerheten.

Nendza (2007) genomför en farobedömning (hazard assessment) där hon sammanställer forskningen på PDMS i silikonbaserade båtbottnfärger och är den enda som, utöver konventionell toxicitet, diskuterar eventuella fysikalisk-mekaniska effekter på marina organismer. Det är en viktig aspekt, för även om PDMS inte visat sig vara avsevärt toxiskt i konventionell mening – att ett ämne tar sig in i en organism och där utövar effekt vid sin *site of action* – kan stora droppar och oljefilmer av PDMS ”fånga in” och immobilisera – eller till och med kväva – små filtrerare och zooplankton. En annan viktig aspekt – som både Nendza och Henry et al. (2001) resonerar kring – är PDMS låga biotillgänglighet som orsak till låg påvisad toxicitet. Med tanke på dess storlek är det troligt att PDMS har svårigheter att passera biologiska membran på grund av just det som – i brist på bra översättning – på engelska kallas *steric hindrance*. Det finns däremot anledning att tro – och Nendza (2007) snuddar vid ämnet – att trots PDMS låga nedbrytningshastighet så kommer metaboliter successivt att bildas. Metaboliter som kan vara mindre och vattenlösligare och därmed mer biotillgängliga. Då finns även risk att dessa metaboliter bioackumulerar och eventuellt biomagnifierar längs födokedjan. Även om merparten av PDMS dock är bundet i sediment ligger det nära till hands att misstänka att, likt fallet med TBT, dessa kan virvla upp och åter bli tillgängliga för marina organismer. Avslutningsvis kan sägas att för att kunna förutspå framtida risker vid en omställning till silikonfärger krävs information om dessa färger läcker och detta är något om vilket det saknas tillgänglig information.

### 4.2 Båtägares kunskap och inställning

Resultaten från intervjuundersökningen var till stor del i linje med min hypotes. Att samtliga respondenter bottenmålade sina båtar var dock en aning överraskande då endast 50,1 % av de tillfrågade på västkusten mellan Trelleborg och norska gränsen angav att de gjorde det i Båtlivsundersökningen 2010. Om detta tyder på att båtägare i just Höganäs hamn är mer benägna att bottenmåla än genomsnittet, eller om stora förändringar har skett sedan 2010 låter jag vara osagt. Det är även rimligt att tro att de 14,6 % som inte visste vilken färg de



målade med använde biocidfärg då samtliga av dessa svarade nej på frågan om de kände till silikonbaserad färg. Om de hade målat med silikonfärg hade de troligtvis känt till den.

Bara en femtedel av de tillfrågade kände till att det finns ett alternativ i form av silikonbaserad färg. Detta är egentligen inte särskilt förvånande då det är först i år som färgtillverkarna av dessa färger börjat satsa på marknadsföring. Informativa styrmedel, genom exempelvis informationskampanjer, torde då kunna vara en första insats för att sprida kunskap och i förlängningen få fler att byta färg. Viljan torde finnas där då drygt 4/5 av de tillfrågade anger att funktion eller miljö är de viktigaste faktorerna vid val av färg. Resultaten från litteraturstudien tyder på att dagens silikonbaserade båtbottnfärger är bättre i båda dessa avseenden.

Hypotesprövningen med Fishers exakta test genererade ingen statistisk signifikant skillnad ( $p > 0,05$ ) mellan vilken båt man ägde och huruvida man angav miljö som viktigaste faktor vid val av båtbottnfärg. Detta resultat var möjligen en aning förvånande då min förutfattade mening var att segelbåtsägare i gemen är mer miljömedvetna. Det är dock viktigt att notera att antalet motorbåtsägare i urvalet var väldigt få och inte representativt för fördelningen segelbåtsägare/motorbåtsägare i hamnen. Förklaringen till det ligger troligtvis i att den 26:e april var Höganäs hamns stora, organiserade sjösättningsdag då kranbil användes för att sjösätta båtar som inte kan sjösättas via trailer och slip, det vill säga segelbåtar och stora motorbåtar. Följaktligen var där inga ägare till små motorbåtar att intervjua. Respondenterna kan därför inte anses vara representativa för svenska båtägare med avseende på typ av båt.

Korrelationen mellan att ange funktion som viktigaste faktor och att känna till silikonbaserad färg var statistisk signifikant ( $p < 0,05$ ) och nollhypotesen kunde förkastas. Det skall dock understrykas att flera frekvenser är väldigt små och att det är svårt att dra några säkra slutsatser från dessa resultat. På samma vis är de 41 respondenterna att betrakta som ett bekvämlighetsurval och är näppeligen ett representativt stickprov ur populationen båtägare.

Slutligen ska det betonas att det kan ha funnits brister i frågeutformningen som sådan. Vad gäller den huvudsakliga frågan – om man kände till silikonbaserad båtbottnfärg – kan det ha varit så att respondenterna inte alltid helt förstod frågan. Möjligen kände man till produkten (exempelvis Hempel SilicOne) men kände inte till att den var silikonbaserad. Följaktligen svarade man nej på frågan trots att man kände till den. Likaledes kan respondenter ha haft svårigheter att förstå den förhållandevis teknokratiska termen ”silikonbaserad” och inte vetat vad det var. Liknande problem gäller frågan om vilken faktor som är viktigast vid val av färg. Då endast tre på förhand utvalda svarsalternativ (pris, funktion, miljö) erbjöds, kan man tänka sig att dessa tolkades olika av olika personer. Vad som är ”miljö” enligt en kan vara något annat för en annan. Likaledes kan innebörden i begreppet ”funktion” tolkas olika men min uppfattning var att samtliga tillfrågade tolkade det som det färgen är avsedd att göra – hålla påväxtorganismer borta. Detta nämnde jag också för de som frågade vad det innebar.

### 4.3 Silikonbaserade båtbottnfärger som realistiskt alternativ

För att dessa silikonfärger, som exempelvis Hempel SilicOne, på egen hand ska kunna konkurrera ut konventionella färger med enbart marknadskrafter anser jag att de bör uppfylla fyra kriterier. 1) de måste leva upp till epitetet ”miljövänliga”, 2) de måste uppfylla sin funktion på ett likvärdigt eller bättre sätt, 3) kostnad och/eller arbetsbörda får inte vara för stor, 4) förbud mot biocidbaserade färger måste komma på plats.

#### 1. De måste leva upp till epitetet ”miljövänliga”.

Trots att endast 15 % av de tillfrågade båtägarna angav att miljö var viktigaste faktor anser jag att färgernas miljövänlighet är avgörande för deras konkurrenskraft. Man kan förmoda att det råder kunskapsbrist bland båtägare om biocidbaserade färgers negativa miljöpåverkan och ökad kunskapsspridning skulle därför eventuellt kunna göra att miljö blir en viktigare faktor.

Tillverkarnas hemlighållande av färgernas kemiska sammansättning kan leda till minskat förtroende varför oberoende toxicitetstester är av största vikt. Räcker det faktum att de inte innehåller några faktiska biocider att de är harmlösa för den marina miljön? Färger som tidigare presenterats som miljövänliga har visat sig varit lika, och till med mer, miljöskadliga som sina föregångare (Karlsson & Eklund, 2004). Viktigt är att, likt Nendza (2007), även beakta eventuella ”fysiska” risker och inte stirra sig blind på invärtes effekter av att exponeras. Till syvende och sist är det dock färgernas benägenhet att läcka ut i vattnet som är avgörande – så länge de sitter på skrovet bör de inte kunna utgöra någon risk för icke-målorganismer (non-target). Mycket talar emellertid för att dessa färger är det mest miljövänliga alternativet på marknaden. Oavsett bör dessa färger omfattas av

kemikalielagstiftning och regleras med samma förutsättningar och krav som deras biocidsläktningar. Med tanke på vilka omfattande mängder som skulle hamna i direkt anslutning till marina ekosystem om världens fartygs- och fritidsbåtsflotta ställde om till silikonbaserade färger torde åtminstone en smula försiktighetstänk kunna tillämpas.

## **2. De måste uppfylla sin funktion på ett likvärdigt eller bättre sätt.**

Som en majoritet (66 %) av de tillfrågade båtägarna svarade så var färgens funktion av största vikt vid val av färg. Med funktion menas det färgen är konstruerad att göra – motverka påväxt på båtens skrov. Som jag kunnat visa i denna uppsats pekar flera studier – och konsumenttester – på att denna silikonbaserade hydrogelsfärg till och med fungerar bättre för ändamålet än konventionella färger. Tidigare problem som att färgen var känslig för yttre påfrestningar och över tid förlorade sina egenskaper verkar vara åtgärdade. Följaktligen får detta kriterium anses vara uppfyllt.

En viktig aspekt som det saknas klarhet i är huruvida dessa färger har en ”lägre hastighetsgräns” eller ej, det vill säga om färgernas förmåga att släppa ifrån sig påväxtorganismer endast uppnås över en viss hastighet. I flertalet studier talar man om att färgerna endast fungerar optimalt om båten relativt regelbundet färdas i över 15 knop (cirka 30 km/h) vilket får anses som en orimligt hög hastighet ur segelbåtsperspektiv. Hempel själva, å andra sidan, hävdar att det nu räcker med att komma upp i knappt 8 knop med jämna mellanrum för att de organismer (främst alger) som ändå fäst vid skrovet ska falla av. Här krävs onekligen ytterligare, oberoende forskning.

## **3. Kostnad och/eller arbetsbörda får inte vara för stor.**

Även om detta kriterium inte analyserats djupare inom ramen för denna uppsats så är det tydligt att detta kanske är det svåraste kriteriet att uppfylla. Som både båtägare och anställda på Hempel nämnt innebär en övergång till silikonfärg en större kostnad initialt och mer arbete. Även om en förhållandevis låg andel av respondenterna (20 %) angav att pris var den viktigaste faktorn är det rimligt att tänka sig att ett för högt pris avskräcker många. Marknadskrafterna och konkurrensen leder troligtvis till sjunkande priser framöver men menar man allvar med att användningen av biocider ska reduceras är det kanske hit eventuella subventioner borde riktas. Ekonomiska styrmedel används redan på området exempelvis genom Havs- och vattenmyndighetens så kallade LOVA-bidrag (lokala vattenvårdsprojekt). För närvarande satsas mycket på så kallade spolplattor i småbåtshamnar. Principen bygger på att man höstrycksspolar båten vid höstupptaget och det av båtbottnfärg förorenade spillvattnet samlas upp på en betongplatta för att sedan passera en trekammarbrunn och sedan renas (Havs- och vattenmyndigheten, 2012).

## **4. Förbud mot biocidbaserade färger måste komma på plats.**

Att enbart förlita sig på marknadskrafterna och folks goda vilja är troligen en aning naivt. Juridiska styrmedel i form av förbud mot biocidbaserade färger för privat bruk är sannolikt det som på allvar kan ge en ordentlig skjuts i omställningsarbetet. Även om konceptet med miljövänliga färger fortfarande är i sin linda torde såväl försäljningen som utvecklingen av dem kunna accelerera snabbt vid ett förbud av dess konkurrenter. Exakt vilken sorts färg som ska ersätta är möjligen för tidigt att säga. Snarare är det så att utvecklingen av biocidfria färger kommer leda till ytterligare förbättringar. Samtidigt kan man från lagstiftarhåll inte vänta hur länge som helst. En omställning är redan i senaste laget. Det måste dock – genom extensiv forskning – stå utom allt rimligt tvivel att dessa färger är de facto miljövänliga.

Möjligen är det så att helt andra alternativ till biocidbaserade färger visar sig vara bättre än silikonbaserade färger. Utan att gå närmre in på dessa alternativ kan nämnas att det forskas på nanoteknologi inom båtbottnfärger (Detty et al., 2013). Ett annat alternativ är att inte måla sina båtar alls utan istället regelbundet tvätta skroven. Detta kan göras antingen för hand på land eller på så kallade borsttvättar som börjar dyka upp längs Sveriges kuster. Vidare kan olika flytbryggor eller båtlyftar användas så att båten inte ligger under vatten i hamnen men dessa fungerar inte för segelbåtar (Havs- och vattenmyndigheten, 2012).

## Miljövetenskaplig relevans

Att båtottenfärger utgör ett stort problem ur miljösynpunkt är tydligt. Båtvärlden – den kommersiella och den privata – kan stå inför ett paradigmskifte likt den gjorde när tributyltenn förbjöds. IMOs förbud mot TBT antogs snabbt av många länder men att samma resultat kommer ses vid en konvention mot exempelvis kopparbaserade färger är kanske inte lika troligt. Detta främst på grund av att TBTs effekter på marina ekosystem var värre än de man hittills observerat för kopparoxidfärger.

Även om resultaten är något tvetydiga stödjer de ändå hypotesen om att silikonbaserade färger är ett realistiskt alternativ till konventionella båtottenfärger och kan vara en betydande del av lösningen till detta problem. Denna uppsats åskådliggör den tvärdisciplinära aspekten av en betydande teknikomställning. Utöver att genom intensifierad forskning utveckla ändamålsenliga egenskaper hos dessa färger behövs troligen även legislativa åtgärder och subventioner. Om de juridiska styrmedlen sker i form av bindande avtal i FNs regi eller om EU inför lagstiftning bör en omställning kunna ske snabbt och brett. Troligare är väl dock att länder som Sverige får agera föredöme och inleda omställningen. Så här långt har det dock inte hänt så mycket. Som med många av Sveriges övriga miljömål förmodas varken *Giffri miljö* eller *Hav i balans samt levande kust och skärgård* uppnås till 2020 och det är inte helt långsökt att tro att båtottenfärger är en betydande faktor i båda fallen.

En viktig aspekt som nämns med de silikonbaserade båtottenfärgerna är deras förmåga att minska bränsleförbrukningen och därmed minskade klimatutsläpp. Vi står inför en klimatkatastrof och alla insatser för att stävja den är betydelsefulla.

## 5. Slutsatser

Denna uppsats har belyst två delar av silikonbaserade båtbottnfärgers utveckling. Dels vilka eventuella miljörisker de utgör och dels båtägares kännedom om dessa färger. Resultaten har sammanfattningsvis visat att:

- Det finns omfattande vetenskaplig dokumentation på att konventionella båtbottnfärger innehållandes biocider är skadliga för miljön.
  - Det finns därför ett uppenbart behov av att utveckla nya metoder för att minska denna miljöpåverkan.
  - Silikonbaserade båtbottnfärger kan vara ett miljövänligt alternativ till biocidbaserade färger.
  - Det saknas emellertid till stor del vetenskapliga belägg för detta mycket på grund av att färgtillverkarna inte redovisar färgernas kemiska sammansättning och det därför är svårt att utföra adekvata studier och riskbedömningar.
- 
- I min genomförda intervjustudie angav 20 % av tillfrågade båtägare i Höganäs hamn att de känner till silikonbaserad färg, något som förmodligen beror på att det är först till årets säsong som färgtillverkarna satsat på marknadsföring.
  - På frågan om vilken faktor som är viktigast vid val av båtbottnfärg svarade en majoritet (66 %) funktion, följt av pris (20 %) och miljö (15 %). Då mycket tyder på att silikonbaserade färger är bättre både med avseende på funktion och miljö torde många båtägare vara intresserade av att byta.

Det finns uppenbarligen ett stort behov av såväl ytterligare studier som information till båtägare av silikonbaserade bottenfärgers egenskaper och miljöpåverkan, för att få till stånd en omställning. Sannolikt är det dock endast förändrad lagstiftning i form av förbud mot användningen av biocidfärger som kan påskynda en sådan utveckling.

# Tackord

Jag vill tacka min handledare Maria Hansson för inledande hjälp med brainstorming och konstruktiv kritik under arbetets gång. Jag vill även tacka de båtägare i Höganäs hamn som var vänliga att svara på mina frågor.

# 6. Referenser

## 6.1 Vetenskapliga artiklar & böcker

- Aubert, M., Aubert, J., Augier, H., Guillemaut, C., 1985. Study of the toxicity of some silicone compounds in relation to marine biological chains. *Chemosphere*, Vol 14, 127-138.
- Bernbom, N., Ng, Y.Y., Olsen, S.M., Gram, L., 2013. *Pseudoalteromonas* spp. Serve as initial bacterial attractants in mesocosms of coastal waters but have subsequent antifouling capacity in mesocosms and when embedded in paint. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol 79, 6885-6893.
- Callow, A.J., & Callow, M.E., 2011. Trends in the development of environmentally friendly fouling-resistant marine coatings. *Nature Communications*, Vol 2, 244.
- Champ, M.A., 2003. Economic and environmental impacts on ports and harbors from the convention to ban harmful marine anti-fouling systems. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 46, 935-940.
- Craig, N.C.D., & Caunter, J.E., 1990. The effects of polydimethylsiloxane (PDMS) in sediment on the polychaete worm *Nereis diversicolor*. *Chemosphere*, Vol 21, 751-759.
- Detty, M.R., Ciriminna, R., Bright, F.V., Pagliaro, M., 2013. Environmentally benign sol-gel antifouling and foul-releasing coatings, *Accounts of Chemical Research*, Vol 47, 678-687.
- Ejlertsson, G., 2005. Enkäten i praktiken – En handbok i enkätmetodik. Andra upplagan. Lund: Studentlitteratur.
- Feng, D., Rittschof, D., Orihuela, B., Wing Hin Kwok, K., Stafslin, S., Chisholm, B., 2012. The effects of model polysiloxane and fouling-release coatings on embryonic development of a sea urchin (*Arbacia punctulata*) and a fish (*Oryzias latipes*). *Aquatic Toxicology*, Vol 110-11, 162-169.
- Fernández-Alba, A.R., Hernando, M.D., Piedra, L., Chisti, Y., 2002. Toxicity evaluation of single and mixed antifouling biocides measured with acute toxicity bioassays. *Analytica Chimica Acta*, Vol 456, 303-312.
- Gittens, J.E., Smith, T.J., Suleiman, R., Akid, R., 2013. Current and emerging environmentally-friendly systems for fouling control in the marine environment. *Biotechnology Advances*, Vol 31, 1738-1753.
- Griessbach, E.F.C., & Lehmann, R.G., 1999. Degradation of polydimethylsiloxane fluids in the environment – a review. *Chemosphere*, Vol 38, 1461-1468.
- Grozea, C.M., Walker, G.C., 2009. Approaches in designing non-toxic polymer surfaces to deter marine biofouling. *Soft Matter*, Vol 5, 4088-4100.
- Henry, K.S., Wieland, W.H., Powell, D.E., Giesy, J.P., 2001. Laboratory analyses of the potential toxicity of sediment-associated polydimethylsiloxane to benthic macroinvertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol 20, 2611-2616.
- Häger, B., 2004. Intervjuteknik. Uppsala: Almqvist & Wiksell Tryckeri.
- Kamino, Kei., 2013. Mini-review: Barnacle adhesives and adhesion. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Vol 29, 735-749.
- Karlsson, J., Eklund, B., 2004. New biocide-free anti-fouling paints are toxic. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 49, 456-464.
- Kiil, S., Dam-Johansen, K., Weinell, C.E., Pedersen, M.S., 2002. Seawater-soluble pigments and their potential use in self-polishing antifouling paints: simulation-based screening tool. *Progress in Organic Coatings*, Vol 45, 423-434.
- Körner, S., & Wahlgren, L., 2005. Statistiska metoder. Andra upplagan. Lund: Studentlitteratur.
- Lin, C., Zhang, J., Wang, L., Zheng, J., Xu, F., Zhou, J., Yu, L., 2013. Study on Fouling-Resistant Performance Improvement of Silicone-Based Coating with Poly(Acrylamide-Silicone). *International Journal of Electrochemical Science*, Vol 8, 6478-6492.
- Lejars, M., Margaillan, A., Bressy, C., 2012. Fouling release coatings: a nontoxic alternative to biocidal antifouling coatings. *Chemical Reviews*, Vol 112, 4347-4390.
- Maréchal, J., & Hellio, C., 2009. Challenges for the development of new non-toxic antifouling solutions. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol 10, 4623-4637.
- Martinelli, E., Sarvothaman, M.K., Alderighi, M., Galli, G., Mielczarski, E., Mielczarski, J.A., 2012. PDMS Network Blends of Amphiphilic Acrylic Copolymers with Poly(ethylene glycol)-Fluoroalkyl Side Chains for Fouling-Release Coatings. I. Chemistry and Stability of the Film Surface. *Journal of Polymer Science Part A – Polymer Chemistry*, Vol 50, 2677-2686.

- Mirabedini, S.M., Pazoki, 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*, Vol 57, 421-429.
- Nendza, M., 2007. Hazard assessment of silicone oils (polydimethylsiloxanes, PDMS) used in antifouling-/foul-release-products in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 54, 1190-1196.
- Peppas, N.A., Huang, Y., Torres-Lugo, M., Ward, J.H., Zhang, J., 2000. Physicochemical foundations and structural design of hydrogels in medicine and biology. *Annual Review of Biomedical Engineering*, Vol 2, 9-29.
- Piola, R.F., Dafforn, K.A., Johnston, E.L., 2009. The influence of antifouling practices on marine invasions. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Vol 25, 633-644.
- Rasmussen, K., Østgaard, K., 2003. Adhesion of the marine bacterium *Pseudomonas* sp. NCIMB 2021 to different hydrogel surfaces. *Water Research*, Vol 37, 519-524.
- Sommer, S., Ekin, A., Webster, D.C., Stafslie, S.J., Daniels, J., VanderWal, L.J., Thompson, S.E.M., Callow, M.E., Callow, J.A., 2010. A preliminary study on the properties and fouling-release performance of siloxane-polyurethane coatings prepared from poly(dimethylsiloxane) (PDMS) macromers. *Biofouling: Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Vol 26, 961-972.
- Stein, J., Truby, K., Wood, C.D., Stein, J., Gardner, M., Swain, G., Kavanagh, C., Kovach, B., Shultz, M., Wiebe, D., Holm, E., Montemarano, J., Wendt, D., Smith, C., Meyer, A., 2003. Silicone Foul Release Coatings: Effect of the Interaction of Oil and Coating Functionalities on the Magnitude of Macrofouling Attachment Strengths. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Vol 19, 71-82.
- Stevens, C., Powell, D.E., Mäkelä, P., Karman, C., 2001. Fate and effects of polydimethylsiloxane (PDMS) in marine environments. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 42, 536-543.
- Thorlaksen, P., Yebra, D.M., Català, P., 2010. Hydrogel-based third generation fouling release coatings. *Gallois magazine - Royal Belgian Institute for Marine Engineers*. Vol 5, 218-225
- Trost, J., 1994. Enkätboken. Lund: Studentlitteratur.
- Turner, A., 2010. Marine pollution from antifouling paint particles. *Marine Pollution Bulletin*, Vol 60, 159-171.
- Walker, C.H., Sibly, R.M., Hopkin, S.P., Peakall, D.B., 2012. Principles of ecotoxicology. Boca Raton: CRC Press.
- Watanabe, N., Nakamura, T., Watanabe, E., 1984. Bioconcentration potential of polydimethylsiloxane (PDMS) fluids by fish. *The Science of the Total Environment*, Vol 38, 167-172.
- Yang, S.Y., Li, X., Yang, J., Shen, C.F., Yu, H.D., Lu, K., 2012. Environmental behavior and ecological effect of polydimethylsiloxane: a review. *The Journal of Applied Ecology*, Vol 23, 2319-2324.
- Yasani, B.R., Martinelli, E., Galli, G., Glisenti, A., Mieszkina, S., Callow, M.E., Callow, J.A., 2014. A comparison between different fouling-release elastomer coatings containing surface-active polymers. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Vol 30, 387-399.
- Ytreberg, E., 2012. Spridning av biocider från båtar – Undersökning av olika källor och dess bidrag. ITM-rapport 215. Stockholm: ITM.
- Zargiel, K.A. & Swain, G.W., 2014. Static vs dynamic settlement and adhesion of diatoms to ship hull coatings. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, Vol 30, 115-129.

## 6.2 Internetkällor & rapporter

- Bådnyt, 2014. [http://www.baadnyt.dk/component/com\\_categoryblock/Itemid,713/id,4512/view,article/](http://www.baadnyt.dk/component/com_categoryblock/Itemid,713/id,4512/view,article/) hämtad 2014-04-25
- Båtliv, 2014. <http://www.batliv.se/article.asp?newsid=6295#.U1977V7uXZp> hämtad 2014-04-25
- Havs- och vattenmyndigheten, 2012. Båtbottentvättning av fritidsbåtar – Översyn av kommunernas varierande regler som rör fritidsbåtshamnar. Rapport 2012:9, Diariennr. 701-11.
- Havs- och vattenmyndigheten, 2014. Fakta om båtlivet i Sverige 2014. <https://www.havochvatten.se/download/18.276e7ae81443563a7501cc9/1393418095428/fakta-om-batliv-2014.pdf> hämtad 2014-04-22.
- Hempel, 2014. Produktdatablad Hempel Silic One. [http://www.hempel.se/-/media/Global/Files/Yacht/Brochures/Hempel\\_SilicOne\\_SE.pdf](http://www.hempel.se/-/media/Global/Files/Yacht/Brochures/Hempel_SilicOne_SE.pdf) hämtad 2014-04-03

- Höganäs båtsällskap, 2011. <http://www.hbs.se> hämtad 2014-04-04.
- IMO, 2014. [http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-\(AFS\).aspx](http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-(AFS).aspx) hämtad 2014-04-24.
- International 2014a. <http://www.international-marine.com/products/info/intersleek-425.aspx> hämtad 2014-04-25.
- International, 2014b. <http://www.international-marine.com/products/info/intersleek-757.aspx> hämtad 2014-04-25.
- Kemikalieinspektionen, 2014. <http://www.kemi.se/sv/Innehall/Fragor-i-fokus/Batbottenfarger-och-antifoulingprodukter/> hämtad 2014-04-03.
- Miljömål.se, 2014. <http://www.miljomal.se> hämtad 2014-05-13.
- Sigma-Aldrich, 2014. Säkerhetsdatablad.  
<http://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=SE&language=sv&productNumber=469300&brand=ALDRICH&PageToGoToURL=http%3A%2F%2Fwww.sigmaaldrich.com%2Fcatalog%2Fsearch%3Finterface%3DProduct%2520Name%26term%3DPoly%2528dimethylsiloxane%2529%26N%3D0%2B%26mode%3Dmode%2520matchpartialmax%26focus%3Dproduct%26lang%3Den%26region%3DSE> hämtad 2014-04-23.
- Transportstyrelsen, 2010. Båtlivsundersökningen 2010 – en undersökning om svenska fritidsbåtar och hur de används. [http://www.transportstyrelsen.se/Global/Sjofart/Dokument/Fritidsbatar/Batlivsundersokningen\\_2010.pdf](http://www.transportstyrelsen.se/Global/Sjofart/Dokument/Fritidsbatar/Batlivsundersokningen_2010.pdf) hämtad 2014-03-28.
- Yachtpaint, 2014. Produktdatablad Trilux Hard Antifouling. <http://www.youtube.com/watch?v=WzhW20hLp6M> hämtad 2014-05-09.

## 6.3 Personlig kommunikation

- Hillerup, Dorthe., 2014. Hempel A/S, Danmark. +45 45 273719 [dh@hempel.com](mailto:dh@hempel.com)
- Sandgren, Joakim., 2014. Hempel Sverige. 0723895153





LUNDS UNIVERSITET

Miljövetenskaplig utbildning

Centrum för klimat- och  
miljöforskning

Ekologihuset

22362 Lund