

Lena Mårtensson

Zoofysiologi – Marine Paint  
Göteborgs universitet

## Marin påväxt – ett svårlöst problem

eller

### Konsten att limma i havsvatten

(några havsorganismers recept)

Ett föremål som sänks ner i havet blir snabbt övervuxen av bakterier, alger och olika ryggradslösa djur. För alla dessa organismer är ytorna nödvändiga för att de ska kunna föröka sig. Eftersom naturligt fria ytor är en bristvara, så blir de mänskligt gjorda en möjlighet som genast tas tillvara av olika marina organismer. Det första som sker är att det bildas ett lager av olika molekyler som finns i havet. Ovanpå detta lager sätter sig bakterier och encelliga alger och bildar ett slemlager, som kallas för en biofilm. Biofilmen blir sedan lockbete för andra organismer som alger, musslor, havsborstmaskar eller havstulpaner. Hur fort koloniseringen går, beror delvis på vattnets temperatur och salthalt. I varmare vatten blir ytan fullbeväxt på ett par veckor och påväxtlagret kan bli upp till 1 dm tjockt, medan det i kalla vatten kan ta månader för att få ytan helt täckt av



Figur 1. Problemet med marin påväxt har funnits så länge människan har utnyttjat havet. (Med tillstånd från KFS/Distr.Bulls)

organismer. Båtagare är inte så glada över det frodiga marina livet på deras båtar - varken ägare till små fritidsbåtar eller internationella redare med stora supertankers. Påväxten skapar förutom en ökad vikt, också en skrovlig yta som ger upphov till ökad friktion mot vattnet. Detta bidrar till att farten genom vattnet minskar, och vill man ändå hålla uppe farten så ökar bränsleåtgången och därmed också utsläppet av t ex koldioxid. Det blir alltså både ekonomiska och miljömässiga problem. Svårigheterna med påväxt är inte nya utan det finns 2000 år gamla recept för hur man ska förhindra den på båtar (Figur 1). Men vilka strategier har vi idag och hur kan framtiden se ut?

KORRESPONDENS TILL  
Lena Mårtensson  
Zoofysiologi  
Göteborgs universitet  
[Lena.Martensson@zool.gu.se](mailto:Lena.Martensson@zool.gu.se)

## Marina lim

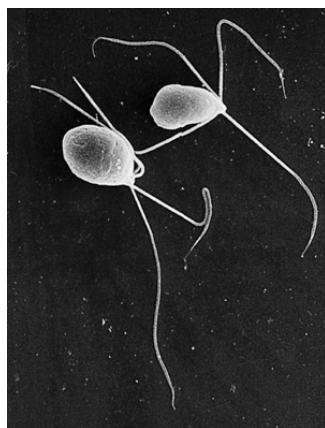


Figur 2. Blåmussla med sina byssstrådar förankrade till en fast yta. Byssstråden består av speciella proteiner som ger tråden både styrka och elasticitet. I förankringen mellan byssstråden och underlaget finns de proteiner som kan limma och hålla kvar musslan. Till skillnad från flertalet andra påväxtorganismer kan blåmusslan släppa sin förankring och limma sig fast på något annat ställe.

(Med tillstånd från Professor Herbert Wait, University of California, Santa Barbara, USA)

Man har funnit mer än 2500 arter, som bildar påväxt på olika typer av konstruktioner som har sänkts ned i havet. De flesta är encelliga organismer som bakterier och diatoméer (encelliga alger med kiselvägg). Dessa organismer tillverkar en slemliknande substans som gör att de håller sig kvar på ytan. Vi känner igen det som det bruna slemmet man får i handen, när man tar på något som har varit i vattnet en längre tid. Färgen kommer från diatoméernas kiselskal.

Ovanpå slemlagret (biofilmen) fäster sedan de större organismerna, som kan vara antingen mjuka eller hårda. De mjuka är lättare att ta bort, medan de hårda har ett kalkskal och sitter hårdare fast. Antingen de är växter eller djur, så fäster de med egentillverkat lim som består av proteiner. Lim från olika arter skiljer sig åt i sin uppbyggnad. Ett havstulpanslim är alltså olikt ett mussellim som i sin tur är annorlunda än tarmtångslim. Utifrån ett evolutionärt perspektiv kan man säga att marina lim har uppkommit flera gånger under tidens lopp. Följaktligen är egenskapen att limma och hålla sig fast på en yta en viktig egenskap. Tittar man på livscyklerna hos de olika organismerna är det oftast en frisimmande larv som måste hitta en yta att sätta sig fast på. Detta behövs för att den ska kunna omvandlas till en vuxen individ. Det innebär också att djuret eller växten oftast blir sittande på den valda platsen under resten av sitt liv. Det gäller därför för larven att undersöka den tilltänkta ytan så bra som möjligt och, om ytan duger, sätta sig fast med sitt lim. Det är viktigt att sitta fast ordentligt för att inte helt plötsligt lossna och flyta iväg.



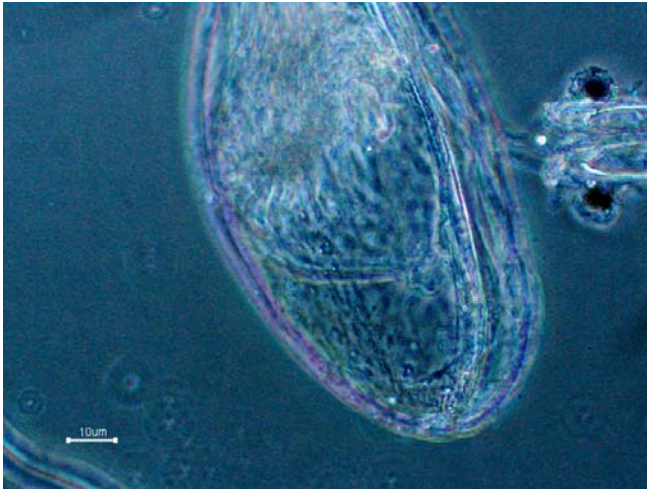
Figur 3. Zoosporer från tarmtång visas i den vänstra bilden. När sporena finner en yta så frisätts lim och själva sporen baddas in i limmet. Därefter gror algen. Bilden till höger visar en båtsida där hela sidan är beväxt med tarmtång. Bevuxningen gör att fartyget förbrukar mer bränsle men ändå går långsammare genom vattnet. För att förhindra påväxt av alger finns det ofta algicider (giftämnen mot alger) i båtbottnfärgerna.  
(Med tillstånd från Dr. M.Callow, University of Birmingham, UK och Mr. Johnny Eliasson, Solt-Nielsen, NL)

Bland de olika metoder som har uppkommit genom evolutionens gång använder sig till exempel blåmusslor av trådar (Figur 2). Trädsekretet tillverkas i en körtel

och flyter fram i en skåra på musselfoten för att förankras på en yta innan det stelnar till den färdiga tråden. Härdningen av proteinerna i trädsekretet sker vid kontakten med havsvattnet. Trådarna kallas för byssstrådar.

Limmet från grönalgen tarmtång (*Enteromorpha sp.*) består av glykoproteiner som finns lagrade i algens sporer. När sporen träffar på en lämplig yta frisätts limmet och sväller och via en okänd självhårdande process formas en limkudde kring sporen så att den sitter

fast och kan fortsätta att utvecklas till en fullskalig alg (Figur 3).



Figur 4. Ett cyprisskal som är kvarlämnat efter omvandlingen till fastsittande havstulpan. På höger sida av bilden ses två par ögon och dess vidhängande nerver. Ögonparet har blivit avkastat och kvar hos den fastsittande havstulpan finns enbart ljusorgan som kan skilja ljus från mörker.

De organismer som ställer till mest problem för båtägare och för sjöfarten är havstulpaner. Havstulpanernas livscykel inkluderar sex på varandra följande nauplius-larver där den sista omvandlas till en cyprislarv, som är det sista larvstadiet. Cyprislarven är en unik larvform för cirripederna (bl a havstulpaner och långhalsingar) och under detta larvstadium, då de inte äter något, är sökandet efter en yta att sätta sig fast på det helt över-skuggande målet. Inuti larven finns två cementkörtlar där limmet lagras.

När larven har funnit en yta, ställer den sig på antennerna och frisätter lim från körtlarna via cementkanaler i antennerna och limmar sig fast. Därefter sker omvandlingen från en frimsimmande larv till ett fastsittande vuxet djur. Under omvandlingen kastas skalet av och även fasettögonen försvinner. På en fastsittande individ behövs de inte längre, och de har därför inte något överlevnadsvärde (Figur 4).

Havstulpanernas lim består av en unik uppsättning proteiner. Dessa proteiner är inuti larven flytande för att sedan kunna härdas till ett mycket starkt och hårt lim. Hur härdningen av limmet sker är ännu okänt.



Figur 5. Så här mycket påväxt kan det finnas på en båt som inte har tillräckligt skydd mot marin påväxt. När båten ser ut så här, går den knappast att använda för sjöfart. (Med tillstånd från Johnny Eliasson, Stolt-Nielsen, NL)

### Båtbottnfärger

Marin påväxt har varit ett problem så länge som människan utnyttjat havet för handel, fiske eller transport. För att skydda fartygskroven har många idéer kommit fram under årens lopp – huvudsakligen gjordes skroven giftiga genom att måla dem med tjära eller genom att använda järn- eller kopparplåt som skydd för träet. När järnskrov började användas kunde man inte längre skydda dem med kopparplåt. Järnet rostade på grund av galvaniska strömmar. Utveck-

lingen av båtbottnfärger började på 1800-talet. De bestod av allt från blymönja, kvicksilver, arsenik, tennföreningar fram till dagens färger, som framförallt innehåller kopparoxid, som det ämne som ska förhindra påväxt (Figur 5). I och med att medvetenheten har ökat om skadeeffekter, så har kraven ökat på att minska giftutsläppet från båtbottnfärger.

Under 1970-talet och fram till 2003 använde man framförallt tennorganiska föreningar (tributyltenn, TBT) i båtbottnfärger för att förhindra påväxt. Användningen

av TBT motverkade effektivt påväxten under en lång tid. Problemet var att TBT orsakade kraftiga skador på den marina faunan, framförallt på blötdjur. Ostron fick skalförtjockning och valthornssnäckor blev sterila (honsnäckor utvecklar hanliga könskaraktärer; imposex). Efter de första rapporterna om ostron och snäckor följde en ökande ström av rapporter om anrikning av TBT i näringskedjan. Särskilt oroande blev rapporterna, när det framkom att halterna av TBT inte enbart kunde lokaliserats till begränsade havsvikar utan också återfanns i de öppna haven. Detta visade på hur spridd miljöföroreningen med TBT var. Kanske är det en av de största negativa miljöpåverkningar som vi människor belastat den marina miljön med.

År 2001 bestämde FNs sjöfartsorganisation (International Maritime Organisation, IMO), att TBT-användningen ska förbjudas inom all sjöfart. Från och med 2003 får inte nymålning ske med färg innehållande TBT på båtar under 12 m, och från och med 2008 får TBT inte finnas på några fartyg. All användning av TBT ska vara borta från den marina miljön. Kontrollen av bestämmelsen sker i och med att det ska finnas intyg på vilken typ av färg som båten är målad med, och hamnmyndigheten ska kunna ta skrapprov på fartygets färg och kontrollera att intyget stämmer med verkligheten.

### **Vad finns idag istället för TBT och hur kan man utveckla nya båtbottnfärger?**

*Att undvika marin påväxt: Naturens egna metoder*

Alla biologiska ytskikt i den marina miljön, från alger till havssköldpaddor och valar är utsatta för marin påväxt. Under evolutionen har olika substanser och strategier utvecklats till ett naturligt försvar mot påväxt på den egna individen. Olika svampdjur, koraller, alger och bakterier har ett kemiskt försvar där speciella molekyler frisätts på djurets eller algens yta. Andra djur har en ytstruktur som gör det svårt för en zoospor eller larv att fästa. En annan metod som speciellt fiskar använder sig av, är att tillverka så mycket slem så att underlaget blir glatt. Ett djur som försöker sätta sig fast på en sådan yta, spolats genast iväg, dels på grund av den glatta ytan, dels också beroende på att slemlagret hela tiden förnyas.

Ett mycket stort intresse har ägnats åt att finna en av dessa naturens egna substanser, som skulle kunna ingå i en båtbottnfärg. Det finns ett antal substanser, som är framtagna från olika marina organismer just i detta syfte och som fungerar i laboratoriemiljö. Problem har dock uppstått när dessa substanser blandas med färg. Substanserna måste kunna finnas kvar i färgen och samtidigt frisättas från ytan för att kunna hindra påväxten. Detta kräver att molekylerna har väldigt speciella ytkemiska egenskaper. Många naturliga substanser saknar dessa egenskaper, andra är för komplicerade

och dyrbara att syntetisera i stor mängd eller så är de för giftiga för att använda i större skala.

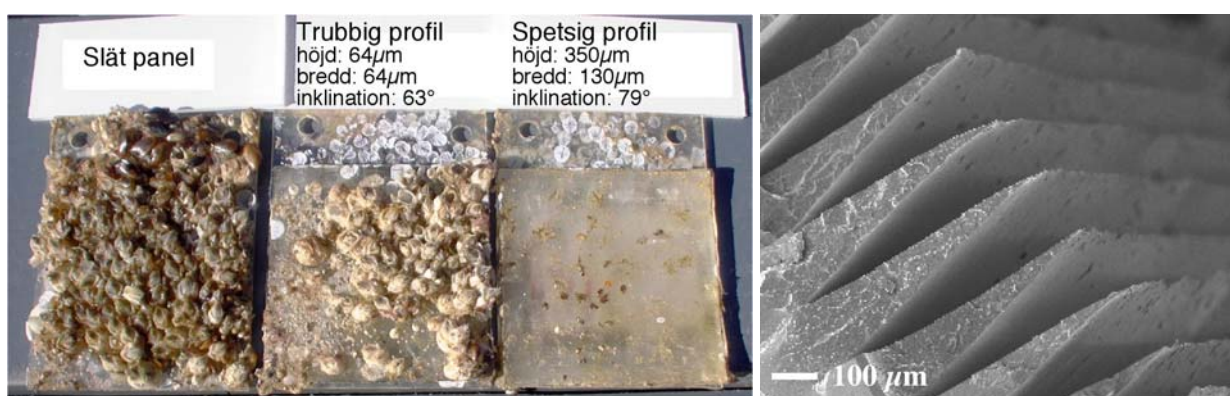
En naturlig substans som idag finns i båtbottenfärger, om än i liten skala, är ämnet capsaicin. Capsaicin är det starka ämnet i spansk peppar, som påverkar vissa typer av nervfibrer att frisätta signalsubstanser, och som ger upphov till brännande smärta och klåda. Många organismer är känsliga för capsaicin och undviker därför en capsaicin-behandlad yta.

### *Att bekämpa marin påväxt: Människans metoder*

#### *1. Att tillverka glatta ytor*

Tanken är att kunna skapa en yta som är så hal att de organismer som normalt växer på båtskrovet inte kan sätta sig fast utan glider av när fartyget går igenom vattnet. En sådan yta går att skapa med hjälp av silikonpolymerer tillsammans med silikonolja. Det blir en extremt glatt yta, så djuren och algerna kan inte hålla sig kvar om fartyget går i 18 knop eller mer. En nackdel, förutom att fartygen måste gå så snabbt, är att silikonfärgerna inte tål mekanisk nötning. En skada i en silikonfärg får snart besök av en havstulpan och sedan dröjer det inte länge förrän det finns en än större skada i färgen och många fler havstulpaner.

Det pågår en intensiv materialforskning kring silikonpolymererna. Denna forskning stöts framförallt av amerikanska flottans forskningsorganisation (Office of Naval Research, ONR). Forskningen syftar till att göra silikonfärgerna mer tåliga och att de ska kunna fungera även vid lägre fart än 18 knop. Ett annat problem är att få silikonfärgerna att fästa till fartygsskrovet; det vill säga få ytan mot fartyget så fästande som möjligt och den andra sidan mot havet så hal som möjligt.



*Figur 6. På en yta med en spetsig profil fäster inga havstulpaner. I bilden till vänster visas ett fälttest där man kan se hur ytstrukturer påverkar hur larven fäster. Den högra bilden visar i stark förstoring hur en yta med spetsig profil ser ut. (Med tillstånd från Dr. Kent Berntsson, Tjärnö Marinbiologiska Laboratorium.)*

#### *2. Att tillverka strukturerade ytor*

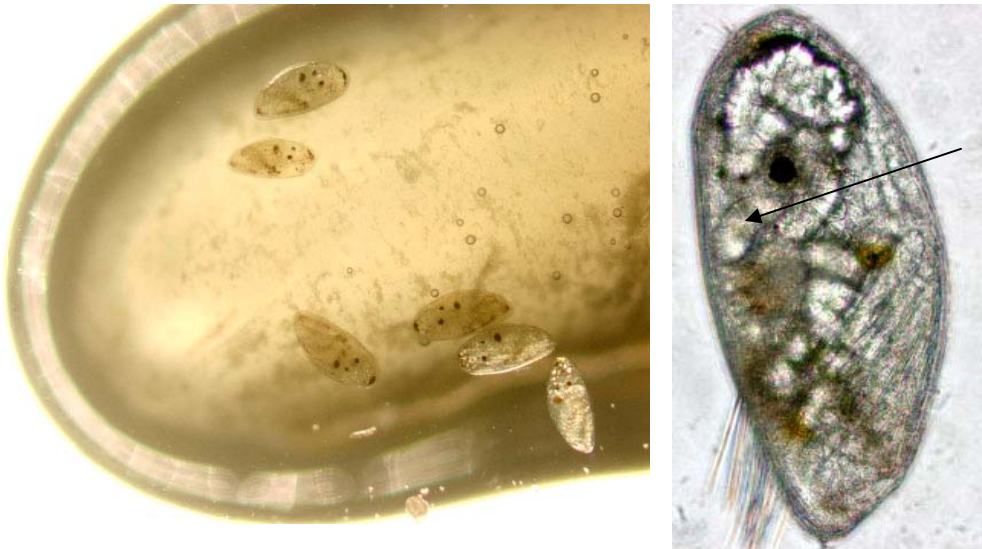
Från naturen har man sett att vissa ytor har mindre påväxt än andra. En förklaring till detta är att en naturlig yta kan ha en speciell struktur som ratas av till exempel havstulpanslarver. Hur en sådan yta kan se ut finns beskrivet från forskning gjord vid Tjärnö marinbiologiska laboratorium, som ligger vid bohuskusten.

Det forskningen gav svar på var, att om en yta är räfflad på ett speciellt sätt, så ville inte eller kunde inte havstulpanernas larver limma sig fast på ytan (Figur 6)

### 3. Selektiv bekämpning

Att en molekyl ska vara verksam mot uppåt 3000 olika organismer, fungera under lång tid och inte ha några negativa miljöeffekter är orimligt utifrån dagens kunskap. Det är som om ett läkemedel skulle vara lika effektivt mot cancer som mot förkylning, en dos skulle vara tillräcklig för att bota, dessutom ofarligt och helt utan biverkningar. För oss är det självklart att läkemedelsindustrin måste finna olika läkemedel för olika sjukdomar.

När det gäller marin påväxt delar man också upp bekämpningen mot olika organismer, som bakterier, alger, musslor eller havstulpaner. På så sätt kan man reducera problemen till något mer greppbart och konkret. Frågeställningen kan då gå från 'Hur förhindras marin påväxt?' till 'Hur limmar en havstulpan och hur kan det förhindras?'



Figur 7. En cyprislarv från en havstulpan ser ut ungefär som ett risgryn med ben, fast mycket mindre. Bilden till vänster visar en del av ett risgryn och ett antal en halv millimeter långa larver. Bilden till höger visar en cyprislarv i 200 gångers förstoring. Pilen visar på cementkörteln där limmet finns lagrat.

### Forskning på havstulpaner

Havstulpanerna utgör i de nordiska vattnen det största problemet när det gäller påväxt på fartyg och fasta installationer. Därför lägger vi vid Göteborgs universitet stor möda på att undersöka havstulpanernas biologi, allt från larvernas beteenden till att studera deras arvs-massa.

Det finns många substanser som gör att havstulpanernas larver inte kan limma sig fast. De flesta är giftiga och fungerar genom att döda larverna. Detta är egentligen inte nödvändigt, men kanske det enklaste sättet. Att mer sofistikerat försöka förhindra specifika biologiska funktioner, utan att för den skull döda larven, kräver ingående kunskaper. Det är den kunskapen som vi håller på att bygga upp. Vi kan delvis utnyttja kunskaper

som finns om andra mer välstuderade djur som till exempel råttor, mus, zebrafisk eller fruktflugor, men vi måste samtidigt bygga upp en helt ny metodik om hur man kan forska på havstulpaner. Målet är att kunna använda sig av olika substanser som på ett mycket specifikt sätt förhindrar larven att limma sig fast. Det kan vara genom att förhindra att cement från larven frisätts, genom att störa olika känselorgan så att larven uppfattar en båtbottnen som ogästvänlig eller på annat sätt få larven att förändra sitt beteende (Figur 7). Allt detta är möjligt om vi har tillräcklig mycket kunskap om larvens nervsystem och hur nervsystemet reglerar olika funktioner. Vi vet att vissa neurotransmittorer som finns hos oss människor också finns hos havstulpanlarverna. En sådan substans är dopamin. Dopamin hos människa reglerar många olika funktioner, framförallt i hjärnan. Hos havstulpanlarven har dopamin effekt på frisättning av lim och dessutom effekt på en rad andra processer. Eftersom det finns många olika substanser som förhindrar funktionerna av dopamin så är



Figur 8. Ett båtskrov med havstulpaner som har limmat sig fast. När båten ser ut så här, går den alltför sakt och förbrukar alltför mycket bränsle. Det medför att båten är både oekonomisk och miljöstörande. (Med tillstånd från Johnny Eliasson, Stolt-Nielsen, NL)

det möjligt att använda sig av dessa vilket förhindrar larven från att limma. Tanken är, att om man blandar ett sådant ämne i en färg så att det frisätts och tas upp av havstulpanlarven, så förhindras limningen. Men så fort larven försvinner från båtbottnen, så ska den i bästa fall vara opåverkad och kan limma sig fast någon annanstans. En annan typ av substans som vi studerar är kateminerna. Katemin är ett syntetiskt ämne som gör att när larven kommer i kontakt med kateminet i båtbottnenfärgen, så simmar larven därifrån. Det som är viktigt är att ämnet inte

dödar larven eller att det förändrar larven på ett varaktigt sätt. Det skall enbart förhindra den från att sätta sig fast på den behandlade ytan. Det finns dock en risk med att använda olika biologiskt aktiva substanser och det är att den omgivande marina miljön kan påverkas. Därför är det så viktigt att samtidigt som man arbetar med nya substanser måste det finnas forskning som pågår parallellt om vilka risker det finns om man släpper ut olika nya substanser i miljön. Det gör att innan en färg med ny substans släpps ut så skall det finnas en uppskattning av riskerna, hur stora de är och hur man kan kontrollera att den marina miljön inte påverkas negativt. (Jämför med biverkningar på kort och lång sikt av läkemedel.)

## Avslutning

Marin påväxt är ett gammalt problem och påverkar sjöfarten och andra marina näringar runt om hela vår jord. Den bidrar till ökade bränslekostnader och därmed större koldioxidutsläpp från sjöfarten, ökar påfrestningarna för fasta marina installationer och bidrar till att sprida främmande arter till nya områden (Figur 8). För

att de marina näringarna ska kunna betraktas som hållbara i ett längre perspektiv, måste påväxten hindras utan att den marina miljön förstörs. Detta är en grannliga uppgift med tanke på den mängd av olika organismer som växer på marina ytor. Troligen måste man hitta en kombination av ämnen och tekniska metoder, som kan skydda både den marina miljön och de marina näringarna.

### **Mer att läsa:**

#### *Marin påväxt – färger och sjöfart*

Townsin, R.L. (2003) The Ship Hull Fouling Penalty. Biofouling, Vol 19 (Supplement), pp 9–15.

Brady Jr, R.F. (2000) No more tin. What now for fouling control? Journal of Protective Coatings and Linings, Vol 17 (6), pp 42-46.

Hare, C.H. (2000) Marine fouling and coatings for its control.

Journal of Protective Coatings and Linings, Vol 17 (6), pp 50-65.

Omae, I. (2003) Organotin antifouling paints and their alternatives. Applied Organometallic Chemistry, Vol 17, pp81-105.

#### *Marin påväxt – biologi*

de Nys, R. and Steinberg, P.D. (2002) Linking marine biology and biotechnology.

Current Opinion in Biotechnology, Vol 13, pp 244–248.

Callow, M.E. and Callow, J.A. (2002) Marine biofouling: a sticky problem. Biologist, Vol 49, pp 1-5.

Callow M.E. and Clare A.S. (2003) Some new insights into marine biofouling. World Super Yacht issue, 1 pp 34-39.

#### *Naturens egna metoder*

Steinberg, P.D., deNys, R. and Kjelleberg, S. (2002) Chemical cues for surface colonization. Journal of Chemical Ecology, Vol 28, (10) pp1935-51.

Clare, A.S. (1995) Natural ways to banish barnacles. New Scientist, February 18.

#### *Strukturerade ytor*

Bers, A.V. and Wahl, M. (2004) The Influence of Natural Surface Microtopographies on Fouling. Biofouling, Vol 20 (1), pp 43-51.

Berntsson, K. (2001) Larval behaviour of the barnacle *Balanus improvisus* with implications for recruitment and biofouling control. PhD thesis, Göteborg University.

*Kateminer*

Dahlström, M., Mårtensson, L.G.E., Jonsson, P.R., Arnebrant, T. and Elwing H. (2000) Surface active adrenoceptor compound prevent the settlement of cyprid larvae of *Balanus improvisus*. *Biofouling*, Vol 16 (2-4) pp 191-203.

Webbadresser

<http://www.biosciences.bham.ac.uk/labs/callowj/PDF%20files/iob.pdf>

<http://www.biosciences.bham.ac.uk/external/biofoulnet/>