



|  |                                  |                                       |
|--|----------------------------------|---------------------------------------|
| Författare<br>Örlnk Magnus Berg  | Förband<br>4.Sjöstridsflottiljen | Kurs<br>ChP 08-10T                    |
| Handledare<br>Tekn. Dr. Kk Stefan Silfverskiöld  |                                  |                                       |
| Uppdragsgivare<br>FHS/MVI/MTA  | Beteckning                       | Kontaktman<br>Kmd (pa) Nils Bruzelius |
| <p><b>Självsanerande ytbeläggning i nanostruktur –<br/>är det möjligt att applicera på elektrooptiska sensorer och till vilken nytta?</b></p> <p><b><u>Sammandrag</u></b></p> <p>Då marina enheter numera deltar i internationella missioner, kommer den nya miljön som enheterna opererar i att påverka bland annat deras sensorer.</p> <p>Den här studien avhandlar några av de nu framtagna självsanerande ytbeläggningarna och ger en presentation av hur de fungerar på några marina elektrooptiska sensorers yttersta linser.</p> <p>Studien försöker ge svar på ytbeläggningarnas transmittans och hur effektivt de kan sanera bort oönskade saltlager tillsammans med andra nedsmutsande partiklar från sensorlinserna samt den militära nyttan av att använda självsanerande ytbeläggning.</p> <p><b>Nyckelord:</b> Nanoteknik, ytbeläggning, självsanerande ytor, sensorlinser</p> |                                  |                                       |

**Abstract:**

**Self cleaning nanostructured coatings –  
is it possible to apply on electro-optical sensors and what is the benefit?**

This study deals with now developed self-cleaning coatings and gives a presentation of how they work on some electro-optical sensor lenses used in the navy. The study also examines the coatings transmittance and how efficient they can clean the sensor lenses from undesired salt layers and other soiling particles.

After the introduction the study presents basic facts of the chosen sensors, nanotechnology, surface wettability and also salts and salinity. Thereafter the study describes current nano-research on self-cleaning coatings and possible results there of, when the coatings are applied on the different sensors.

In the study I give my opinion of the military benefit of using self-cleaning coatings, which from a general point of view is that there mostly are positive effects using such a coating, in a technical perspective.

The study ends with conclusions that there are self-cleaning coatings based on TiO<sub>2</sub>-nanoparticles which can transmit within the visual spectra and also can clean undesired soiling particles. But can not confirm that these coatings have the desired effect on salt crystals, or transmit within wavelengths spectrum for IR-detectors and lasers.

**Key words:** Nanotechnology, coating, self-cleaning surfaces, sensor lenses

## **Självsanerande ytbeläggning i nanostruktur –**

**är det möjligt att applicera på elektrooptiska  
sensorer och till vilken nytta?**



Foto: Magnus Berg

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INLEDNING</b> .....   | <b>3</b>  |
| 1.1      | ANALYS AV STUDIEN .....  | 5         |
| 1.2      | SYFTE .....  | 5         |
| 1.3      | PROBLEMFÖRMULERING OCH FRÅGESTÄLLNING .....                        | 5         |
| 1.3.1    | <i>Frågeställning</i> .....  | 6         |
| 1.4      | AVGRÄNSNINGAR .....  | 6         |
| 1.5      | METOD .....  | 7         |
| 1.6      | CENTRALA BEGREPP OCH FÖRKORTNINGAR.....                            | 8         |
| 1.6.1    | <i>Centrala begrepp</i> .....                                      | 8         |
| 1.6.2    | <i>Förkortningar</i> .....   | 9         |
| 1.7      | MATERIAL .....   | 9         |
| 1.8      | TIDIGARE ARBETEN MED ANKNYTNING TILL DETTA ÄMNE .....              | 10        |
| <b>2</b> | <b>EO SIKTESSENSORER FÖR MARINT BRUK</b> .....                     | <b>11</b> |
| 2.1      | TV-KAMERA .....  | 12        |
| 2.2      | IR-KAMERA .....  | 13        |
| 2.3      | LASER FÖR AVSTÅNDSMÄTNING .....                                    | 14        |
| 2.4      | SUMMERING SENSORER I KAPITEL 2.....                                | 15        |
| <b>3</b> | <b>NANOTEKNIK</b> .....  | <b>16</b> |
| 3.1      | UPPBYGGNAD AV NANOSTRUKTUR.....                                    | 16        |
| 3.1.1    | <i>Top-down</i> .....  | 16        |
| 3.1.2    | <i>Bottom-up</i> .....   | 17        |
| 3.2      | SLUTSATSER KAPITEL 3 .....   | 18        |
| <b>4</b> | <b>VÄTBARHET OCH SALTER</b> .....                                  | <b>19</b> |
| 4.1      | VÄTBARHET.....   | 19        |
| 4.1.1    | <i>Hydrofob yta</i> .....  | 22        |
| 4.1.2    | <i>Hydrofil yta</i> .....  | 23        |
| 4.2      | SALTER .....   | 24        |
| 4.2.1    | <i>Saltvatten</i> .....  | 25        |
| 4.3      | SLUTSATSER KAPITEL 4 .....   | 26        |
| <b>5</b> | <b>NANOFORSKNING</b> .....   | <b>28</b> |
| 5.1      | NANOBELÄGGNINGAR .....   | 29        |
| 5.2      | SLUTSATSER KAPITEL 5 .....   | 36        |
| <b>6</b> | <b>TROLIGT RESULTAT AV DEN SJÄLVSANERANDE YTBELÄGGNINGEN</b> ..... | <b>38</b> |
| 6.1      | TV-KAMERA .....  | 38        |
| 6.2      | IR-KAMERA .....  | 38        |
| 6.3      | LASER FÖR AVSTÅNDSMÄTNING .....                                    | 39        |
| 6.4      | SLUTSATSER KAPITEL 6 .....   | 39        |
| <b>7</b> | <b>MILITÄR NYTTA MED SJÄLVSANERANDE YTBELÄGGNING</b> .....         | <b>40</b> |
| 7.1      | SVAR PÅ FRÅGESTÄLLNINGEN .....                                     | 43        |
| 7.2      | FÖRSLAG PÅ FORTSATT STUDIER/FORSKNING .....                        | 44        |
| <b>8</b> | <b>SAMMANFATTNING</b> .....  | <b>47</b> |
| <b>9</b> | <b>KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING</b> .....                       | <b>49</b> |

## 1 Inledning

Att ständigt ha tillgång till rena sensorer har alltid varit önskvärt för militärer. Nya operationsområden med miljöpåverkan som högre salthalt i vattnet, sandpartiklar i lufthavet m.m., påverkar våra sensorer på ett negativt sätt. Den typen av påverkan är vi inte särskilt vana vid i svenska marinen. På något sätt måste vi hitta lösningar för att komma runt den nya problematiken. Ny teknik med nanostruktur på ytbeläggningar skulle kanske vara en framkomlig väg.

*... våra svenska marina enheter har nu, under sin pågående utlandsmission, varit till sjöss i fyra dygn. Vädret har varit klart men relativt blåsigt, vilket har medfört att sensorerna ideligen har fått vattenspray över sig, trots den låga patrulleringsfart som enheterna haft i området. Den höga salthalten i havet, den starka solen och den höga temperaturen i luften ger obönhörligen ett avtryck på sensorerna i form av att de saltkristaller som bildats när havsvattnet som sprayas upp avdunstat, lägger sig i lager på lager på sensorernas yttersta linser. Natten mellan tredje och fjärde dygnet drog det dessutom förbi ett stort moln av mycket små sandpartiklar genom luften, vilket kom från en ökenstorm några mil inåt land. Sandpartiklarna, som normalt studsar bort från linsen, fastnar nu i det något klibbiga saltkristallagret och bygger på den orena ytan. Resultatet är att enheterna har betydligt sämre sensorer till hands nu jämfört med när de påbörjade patrulleringen. Det börjar skymma och i stridsledningscentralen får man in rapporter om att det finns små flyktigbåtar i det svenska ansvarsområdet. Dessa är svåra att upptäcka, så sensorerna måste vara i topptrim för att enheterna ska kunna hitta båtarna...<sup>1</sup>*

Nu finns två egentliga alternativ: att låsa siktet och skicka upp någon ur besättningen för att göra rent med rengöringsmedel och trasa är en möjlig lösning på våra ”äldre” fartyg som korvetter typ Stockholm och Göteborg eller

---

<sup>1</sup> Scenariot är fritt uppdiktat av författaren. Dock bygger det på erfarenheter från eget deltagande i missionen ML02 år 2007

minröjningsfartyg typ Koster, om än inte ett bra alternativ eftersom siktet inte kan användas under tiden för rengöringen. På den nyare korvetten typ Visby är det dock inte ens möjligt att personal går fram till siktet under gång på grund av dess placering. Detta visar jag med bild 1.1, där siktet är inringat.



**Bild 1.1** Siktets placering på Korvett typ Visby.<sup>2</sup> Foto: Per Rödseth

Torkarblad finns installerat på siktets TV-kamera, men att använda torkarblad fungerar bara när det är mycket vatten på yttre linsen, som vid kraftigt regn eller mycket vatten från överbrytande sjö. Om vattnet redan har hunnit torka blir effekten istället att torkarbladet repar ytan och det blir en försämring för sensorn. Möjligtvis skulle det kunna installeras ett spolmunstycke med färskvatten och eventuellt rengöringsmedel vid varje sensorlins, som för bryggans vindrutor. Men då tillkommer problemet med att ha slangar för spolvätskan till siktet som ska kunna rotera obehindrat. Det är nog även så att innan operatören kan se effekterna av försämringen på sensorn på grund av salt eller annan smutsbeläggning, har det antagligen gått långt och sensorn har redan fått nedsatt effekt.

Om nu ytan på de yttre linserna kunde hållas ren genom att applicera en ytbeläggning med självsanerande funktion, kan det möjligen vara lösningen på den problematiken.

---

<sup>2</sup> Något beskuren bild av HMS Nyköpings besök i staden Nyköping, [www.femorefortet.se/nutidens-forsvar.htm](http://www.femorefortet.se/nutidens-forsvar.htm)

## **1.1 Analys av studien**

Det självständiga arbetet (benämns här efter som studie) görs av två egentliga anledningar. För det första är det ett moment ingående i kursen ChP T/MPU att skriva ett självständigt arbete (SA) i form av en uppsats i militärteknik.<sup>3</sup> För det andra väljer jag ämnet till studien därför att jag tycker det är intressanta frågor att få svar på. Hur mycket nytta kan vi få av den här nya tekniken och vad innebär det för oss i marinen?

Intresset baseras på min bakgrund som eldledare och senare luftförvarsofficer på korvetter typ Göteborg samt egna erfarenheter från missionen ML02 i Medelhavet.

## **1.2 Syfte**

Syftet med denna studie är att studera om det finns en självsanerande ytbeläggning, framställd med nanoteknik, som är möjlig att applicera på fartygens elektrooptiska siktessensorer (benämns här efter som EO-sensorer) yttersta lins, det vill säga på TV-kamera, IR-kamera samt på laser för avståndsmätning. Härvid vill jag undersöka om det finns framtagen teknik som kan hålla linserna rena från saltkristallager och annan beläggning som försämrar prestanda på EO-sensorerna samt att beläggningen i sig inte försämrar sensorerna. Eftersom jag i studien inte kommer att genomföra egna försök eller tester kommer studien vara beroende av de testresultat jag kan finna i litteraturen.

## **1.3 Problemformulering och frågeställning**

I Försvarens utvecklingsplan (FMUP)<sup>4</sup> står det bland annat att Försvarens militärstrategiska mål är att utveckla en insatsorganisation som ska kunna verka nationellt och internationellt. Samtliga insatsförband i Försvarens makten ska kunna verka i en internationell miljö och en expeditionär förmåga ska utvecklas. Det innebär att marinen avses kunna verka i operationsområden som ligger långt utanför våra egna farvatten. Vilket också innebär att den miljö marinen måste kunna verka i ser annorlunda ut än i svenska

---

<sup>3</sup> Kursbeskrivning militärteknik; Självständigt Arbete, ICP018

<sup>4</sup> HKV Försvarens utvecklingsplan 2010-2019 (FMUP 2010) sid 11

farvatten. Det är oftast högre salthalt i vattnet, högre temperatur i luften och mer troligt att det flyger små sand- eller jordpartiklar i luften, från den torra markytan inåt land.

Problemet marinen, eller rättare sagt de fartyg som är ute på uppdrag, nu har att hantera är bland annat hur de ska hålla sina EO-sensorer rena för att ha full prestanda när de ska användas. Avlagringar från det salta vattnet och små partiklar som fastnar på sensorernas linser är förvisso något fartygen måste hantera i hemmavatten, men problemet ökar betydligt i den nya miljön, som nämnts i inledningen.

Vi måste med andra ord hitta nya lösningar för att se till att det är en konstant ren yta på linserna. Här kan en ytbeläggning i nanostruktur med en självsanerande effekt kanske vara en framkomlig väg.

### **1.3.1 Frågeställning**

Studien behöver besvara frågorna:

- Vilka självsanerande ytbeläggningar finns med förmågan att få bort de oönskade saltlagren och andra partiklar som försämrar de elektrooptiska siktessensorernas prestanda?
- Vilka olika våglängder släpper dessa självsanerande ytbeläggningar igenom?

### **1.4 Avgränsningar**

- Jag avser endast titta på ytbeläggning som ger en självsanerande (renande) effekt och är framställd/framtagen med nanoteknik. Syftet är att ytbeläggningen ska appliceras på EO-sensorer (våglängdsområde  $\sim 0,4 - 14,0\mu\text{m}$ ).
- Det är huvudsakligen förmågan att få bort saltavlagringar på sensorernas yttersta linser jag kommer att studera. Övriga varianter av nedsmutsande partiklar som exempelvis avgaspartiklar och orenheter i luftmassan,



kommer inte att studeras i detalj, men kommer att nämnas eftersom även dessa partiklar försämrar EO-sensorerna.

### **1.5 Metod**

Detta arbete har dels genomförts som en litteraturstudie, för att inhämta kunskap och kontrollera vad som finns skrivet i ämnet. Dels är studien en kvalitativ studie där jag värderar ytbeläggning med nanoteknik mot EO-sensorernas prestanda. Jag har inhämtat information genom samtal med personal på Marinbasen (MarinB) i Karlskrona, SAAB Systems i Järfälla och Försvarets Materielverk (FMV) i Stockholm. Jag har även genomfört besök på Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI) i Linköping och diskuterat ämnet med forskarna Hans Kariis och Steven Savage, om för- och nackdelar samt möjligheterna till att använda en självsanerande ytbeläggning på avsett vis. Detta i syfte att få en mer vetenskaplig grund för studien och för att stämma av att jag inte tolkat litteraturen felaktigt.

Studien är indelad enligt följande:

I kapitel 1 inleder jag med ett scenario för att belysa ett problemområde. Jag gör en kort analys och därefter formuleras syftet, problemet, frågeställningar samt avgränsningar. Här finns även centrala begrepp och förkortningar för att lättare förstå efterföljande textmassa.

I kapitel 2-4 beskriver jag bakgrundfakta, där kapitel 2 ger teknisk information och beskriver de sensortyper jag avser i studien. Kapitel 3 handlar allmänt om nanoteknik och framställning av nanostruktur, där de två olika framställningssätten ”Top-down” och ”Bottom-up” beskrivs mer noggrant. Kapitel 4 avhandlar grunderna för ytors vätbarhet och fakta om salter.

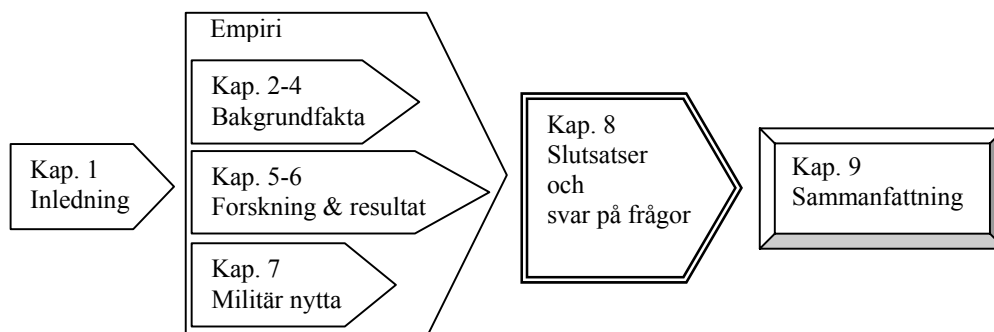
Kapitel 5 beskriver den nanoforskning som bedrivs och som har anknytning till självsanerande strukturer.

I kapitel 6 knyter jag ihop kapitel 2-5 och beskriver vad som är det troliga resultatet av en självsanerande ytbeläggning på respektive sensorapertur, eller om det ens går att applicera.

I kapitel 7 tar jag resultatet från studien och knyter an det med den militära nytta vi skulle kunna ha av rena sensorer.

Produkten av min empiri från kapitel 2 – 7 resulterar vidare i kapitel 8 som innefattar viktiga slutsatser och svar på frågeställningarna.

Studien avslutas i kapitel 9 med sammanfattning och förslag till fortsatta studier i ämnesområdet.



**Bild 1.2** Beskrivning av flödet i studien samt kapitelindelning

## 1.6 Centrala begrepp och förkortningar

### 1.6.1 Centrala begrepp

Självsanerande ytbeläggning avser en mycket tunn beläggning eller film, vilken kan appliceras på en yta och hålla ytan ren från salt- eller smutsavlagringar utan att den behöver ianspråktaga personella resurser.

Nanoteknik eller nanoteknologi som det också benämns, är sedan ett antal år tillbaka definierat som ett område mellan 1-100nm, där man har kontroll på materians struktur. Dock finns det fortfarande något avvikande definitioner i litteraturen.<sup>5</sup>

Elektrooptiska sensorer (EO) är de sensorer inom våglängdsområdet 0,4 – 14,0µm som nyttjar elektromagnetisk strålning. Strålningen kan vara antingen emitterad

<sup>5</sup> Jeremy Ramsden, *Nanotechnology*, sid 10

(emission) strålning från objektet eller reflekterad (reflektion) strålning från andra strålkällor.<sup>6</sup>

Transmittans Genomsläpplighet, anger hur stor andel av infallande strålning som en yta släpper igenom<sup>7</sup>.

### 1.6.2 Förkortningar

|               |   |
|---------------|---|
| nm            | Nanometer ( $10^{-9}$ meter)  |
| $\mu\text{m}$ | Mikrometer ( $10^{-6}$ meter)   |
| $\lambda$     | Lambda, symbol för våglängd   |
| UV            | Ultraviolet ( $\lambda$ 0,2 – 0,4 $\mu\text{m}$ )                     |
| IR            | Infraröd eller Infra Red ( $\lambda$ 0,8 – 14,0 $\mu\text{m}$ )       |
| TIR           | Termisk IR ( $\lambda$ 2,0 – 14,0 $\mu\text{m}$ )                     |
| MWIR          | Mellanvågs IR eller Mid Wave IR ( $\lambda$ 3,0 – 5,0 $\mu\text{m}$ ) |
| LWIR          | Långvågs IR eller Long Wave IR ( $\lambda$ 8,0 – 12,0 $\mu\text{m}$ ) |
| Nd:YAG        | Neodym(Nd) yttrium-aluminium-granat(YAG)                              |
| OPO           | Optisk parametrisk oscillator (metod för våglängdskonvertering)       |
| EO            | Elektrooptisk   |
| psu           | practical salinity unit ("tillämpad salthaltsenhet")                  |
| ML01-02       | Marin insatsstyrka Libanon 01 respektive 02 (genomfördes 2006-07)     |
| ME01          | Marinens insats i eunavfor 01 (pågående mission 2009)                 |

### 1.7 Material

Litteraturen för min studie består huvudsakligen av böcker och artiklar på engelska avseende nanotekniken och självsanerande ytbeläggningar. En anledning till det är att det inte har forskats så mycket om detta i Sverige. Det har varit viss brist på litteratur i ämnet, vilket beror på att det är en förhållandevis ny teknik jag tittar på i studien och att forskarna befinner sig i framkanten på denna forskning. I och med

<sup>6</sup> Lärobok i Militärteknik (LIM) vol. 2: Sensorteknik, sid 53

<sup>7</sup> www. <http://www.energikunskap.se>

att forskningen kring självsanerande ytbeläggningar är ny, kan det innebära att slutsatserna jag drar av det använda materialet har en begränsad hållbarhet.

En hel del information om till exempel vätbarhet och salter har jag sökt och hittat via Internet. Jag har också fått mycket bra hjälp av FOI med diskussioner och hjälp att få tag i rätt litteratur. Viss litteratur som är upptagen i kapitel 10 *Käll- och litteraturförteckning* har jag använt som kunskapsbank och för källgranskning i studien men inte refererat till i texten.

### **1.8 Tidigare arbeten med anknytning till detta ämne**

Det finns ingen tidigare C-uppsats i FHS regi som avhandlar detta ämnesområde.

På andra universitet och högskolor finns det ett antal arbeten som har en tydlig anknytning till detta ämne och avhandlar ytors vätbarhet samt till del forskning om självsanerande ytor. Här bör nämnas två, för min studie, viktiga artiklar:

*Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties*, (Tokyo 2000) av A. Nakajima et al samt *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*, (Kanagawa 2004) av X Zhang et al.

## 2 EO siktessensorer för marint bruk

Då jag vill se hur jag kan hålla EO- sensorerna rena på våra marina fartyg, börjar jag med att i det här kapitlet kort beskriva vilka EO-sensorer jag avser.

På våra marina ytenheter i Sverige har vi sikten med två till tre EO-sensorer (TV-kamera, IR-kamera, Laser för avståndsmätning). Sikten används primärt för att rikta in pjäser ombord mot ett mål, men används även frekvent för att upptäcka, identifiera och dokumentera olika föremål. Inte minst sedan marinen har börjat genomföra missioner utomlands är siktetsensornerna, TV och IR, igång nästan dygnet runt för detta ändamål.



**Bild 2.1** Förliga siktet på korvetten HMS Sundsvall under mission ML02 år 2007. Foto: Magnus Berg

EO-sensornerna jag tittar på nyttjar elektromagnetisk strålning inom det spektrala våglängdsområdet  $\sim 0,4 - 14,0\mu\text{m}$  (se bild 2.2), samt har olika material i sina yttersta linser (redovisas för respektive sensortyp). Valet av material är knutet till vilket våglängdsområde sensorn ska operera i då transmissionen är olika genom olika material. Sensorerna är dock inte bara beroende av rätt material i linserna, de är väderkänsliga också. Den negativa påverkan är olika för sensorerna beroende på

vädertyp. Exempelvis påverkar regn och snö samtliga sensorer medan IR-kameran inte blir lika påverkad av torrdis som TV-kameran.

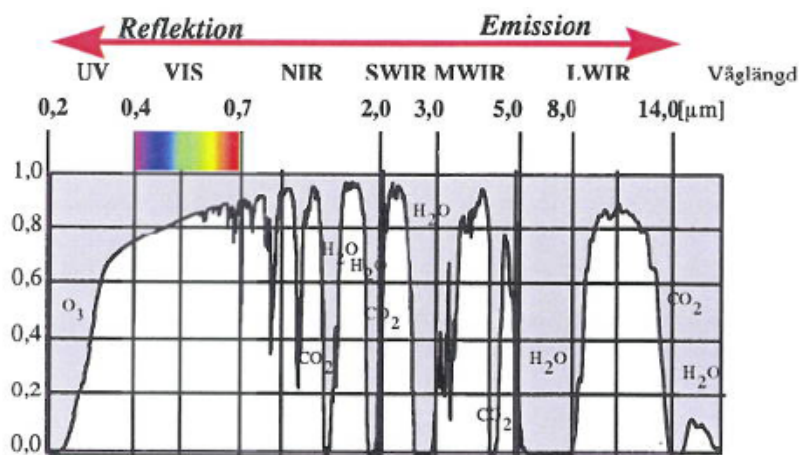


Bild 2.2 Den del av spektrala våglängdsområdet som är intressant för studien.<sup>8</sup>

## 2.1 TV-kamera

TV-kameran är en passiv sensor som jobbar i det visuella spektrumet 0,4 – 0,7 μm. TV-kameran bearbetar signaler som i realtid visas som en svartvit bild (äldre system) eller en färgbild (nya system) på en eller flera displayer i stridsledningscentralen, manöverbryggan eller annan plats där en terminal/monitor finns placerad i fartyget. TV-kameran används som nämnts ovan, för inriktning, identifiering eller verifiering av det objekt som filmas. Detta kan även spelas in och arkiveras samt nyttjas som bevisföring i en internationell domstol i samband med internationella insatser, vilket skedde under missionen ME01 våren 2009.

En funktion med TV-kameran är att låsa siktet mot mål genom så kallad ”kontrastlåsning” där operatören letar efter så stora färgkontraster (ljus-mörkt) som möjligt på målet och låter sedan kameran hålla låsning mot det området. Tillsammans med fartygens gyroinformation får operatören även en riktning eller bäring till målet, men inte avstånd.

<sup>8</sup> Bild kopierad från Utbildningsmaterial på LMS: ChP T / MPU 08-09 Sensorteknik/Dokument / Optronik / Bild / Bild 4

Den yttersta linsen på TV-kameran är vanligtvis av en glaskvalité som benämns BK7<sup>9</sup> eller på engelska "Float glass" som huvudsakligen består av kiseldioxid (SiO<sub>2</sub>) eller på engelska "silica". Men monterad i ett sikte finns det ofta en yttre glasskiva på själva höljet (se bild 2.1 den understa linsen), där även torkarbladet finns monterat.<sup>10</sup> Det innebär att den skyddande glasskivan måste ha god transmission i avsett våglängdsområde samt att det är där jag vill kunna applicera den självsanerande belägningen.

## 2.2 IR-kamera

Även IR-kameran är en passiv sensor som presenterar realtidsbilder på displayer utifrån de emitterade eller reflekterade signaler ur de olika spektrala våglängdsområdena 3-5µm och 8-12µm som den mottager. Båda dessa spektrala områden finns som bekant inom våglängdsområdet för TIR, men skiljer sig spektralt i indelningen MWIR och LWIR (se kapitel 1.6.2. *Förkortningar*).

Yttersta linsen på våra IR-kameror består vanligtvis av germanium och ibland av zinksulfid. Vanligt glas (eller BK7) kan inte användas då IR-våglängder inte kan transmittas genom glas. Dock kan Safirglas eller annat specialglas användas för sensorer som opererar inom MWIR, men Safirglas är dyrt och besvärligt att bearbeta på grund av att safiren är mycket hård. Germaniumet är relativt mjukt och måste därför beläggas med ett hårdare ytskikt. Det ytskiktet har olika kvalitéer och normalt blir transmissionen sämre ju hårdare beläggning man använder.<sup>11</sup>

IR-kameran används i mångt och mycket parallellt med TV-kameran, men gör sig bäst nattetid då kontrasterna mellan varmt och kallt ofta blir tydligare. Det är med andra ord ett mycket gott komplement till TV-kameran avseende upptäckt och identifiering nattetid, då möjligheterna att spela in och arkivera är lika goda. Även här används funktionen "kontrastlösning" för att hålla kvar målen i siktet.

---

<sup>9</sup> Information från Henrik Ludwigs, SAAB systems

<sup>10</sup> Information från Håkan Eriksson, MarinB

<sup>11</sup> Hans Törnblom, *IR-teknik. Kurskompendium för ChPT 08-10 / MPU 08/09*, sid 17

### **2.3 Laser för avståndsmätning**

Idag används siktets laser ombord på fartygen som avståndsmätare. Det är en aktiv sensor som ska presentera ett exakt avstånd till belyst mål och med hjälp av fartygens gyro levereras även riktning eller bäring till målet. Presentationen sker på displayerna till TV- och IR-kamerorna och kan därmed dokumenteras.

De moderna lasrarna är så kallat ögonsäkra lasrar<sup>12</sup> och använder våglängder över 1,54µm, medan de äldre använder våglängder runt 1,064µm och är farliga för ögonen (ögats känsliga våglängdsspektrum ligger mellan 0,2-1,4µm). Lasringen på våra avståndsmätare sker med en Nd:YAG laser<sup>13</sup> (se kapitel 1.6.2. *Förkortningar*) och får då våglängden 1,064µm. Genom att använda OPO-skiftning<sup>14</sup> kan man få fram den ögonsäkra våglängden 1,57µm.<sup>15</sup>

För att få använda de äldre lasrarna i fredstid är man tvungen att använda filter med olika dämpning (10-50dB). Vid mindre dämpning än 50dB är det av säkerhetsskäl nödvändigt att använda speciella laserglasögon på personal utombords eller inne på MB. Dessa glasögon är framtagna för att klara de specifika våglängder våra sikten använder och ska inte användas med en tro om att de klarar alla farliga laserstrålar. Glasögonen är märkta OD (optisk densitet) vilket definieras som

$$OD = -\log(\text{transmissionen})$$

omvandlat till dB blir

$$10 OD = -10 * \log(\text{transmissionen}) = \text{dämpning (dB)}^{16}$$

---

<sup>12</sup> FOI orienterar om *Elektromagnetiska vapen och skydd*, nummer 1 2001, sid 39

<sup>13</sup> SAAB, [www.saabgroup.com](http://www.saabgroup.com) (dokument id: P-300028)

<sup>14</sup> Mer information om OPO-skiftning kan läsas i FOI orienterar om *Elektromagnetiska vapen och skydd*, nummer 1 2001, sid 10

<sup>15</sup> SAAB, [www.saabgroup.com](http://www.saabgroup.com) (dokument id: P-300028)

<sup>16</sup> FOI orienterar om *Elektromagnetiska vapen och skydd* nummer 1 2001, sid 44



De yttre linserna på lasrarna består av en mindre lins på sändaren och en större på mottagaren. Båda linserna består ofta av glaskvalitén BK7 (samma som på TV-kameran).<sup>17</sup> På mottagarlinsen appliceras sedan ett interferensfilter så att endast rätt våglängd (egna sändarens våglängd) kan tas emot. Anledningen till det är att man på så sätt skyddar lasern mot störande signaler.

## **2.4 Summering sensorer i kapitel 2**

Med våra olika EO-sensorer har vi olika våglängdsområden mellan 0,4-12 $\mu$ m att ta hänsyn till. Materialet i de yttre linserna varierar och består vanligen av glas (BK 7) på TV-kamera och laser. På IR-kameran används oftast germanium istället då IR-våglängderna inte kan transmittas genom glas. Samtliga EO-sensorer är väderkänsliga och får försämrade effekter i olika väderleksförhållanden.

Möjligheterna att spela in och arkivera information är goda med både TV- och IR-kamera där även värden från lasern kan presenteras.

---

<sup>17</sup> Information från Henrik Ludwigs, SAAB systems

### 3 Nanoteknik

Då denna studie avhandlar om huruvida vi kan använda de nyligen upptäckta teknikerna för att framställa en självsanerande yta med hjälp av nanoteknik, vill jag i detta kapitel ge en generell introduktion av vad nanoteknik är samt hur nanoteknik kan användas.

#### 3.1 Uppbyggnad av nanostruktur

Nanoteknik som är definierat till området 1-100nm (se 1.6.1 Centrala begrepp) är något väldigt litet. Som en jämförelse för att bättre förstå inom vilken storleksdimension nanotekniken opererar, så är diametern på en DNA-sträng mellan 2-12nm, röda och vita blodceller befinner sig inom 2000-5000nm och tjockleken på ett vanligt papper är 100000nm.

Nanoteknik erbjuder nya dimensioner med möjlighet till att tillverka mycket små produkter men också möjlighet till att skapa ändrade egenskaper på material.

Begreppet nanoteknik är inte så gammalt. Det startade egentligen 1989 när Don Eigler vid IBM:s forskningslaboratorium, Silicon Valley, Kalifornien, USA, tog en bild på sin skrift "IBM" som han lyckats skriva med hjälp av 35 xenonatomer. Bilden var uppförstorad 50 miljoner gånger för att skriften skulle vara synlig.<sup>18</sup>

För att på maskinell väg komma till nanostrukturer används huvudsakligen två olika framställningstekniker, "Top-down" och "Bottom-up".

##### 3.1.1 Top-down

Top-down, innebär att man använder så kallad makro- eller mikroteknik (det vi använder till vardags) och omsätter den i nanoformat. Det innebär att nanostrukturen framställs genom nerskalning och minimering. Processerna för detta går dock från precisionsarbete till ultra precisionsarbete.<sup>19</sup> Det finns många exempel på att forskarna bygger extremt små men fungerande maskiner, så kallade

---

<sup>18</sup> Vetenskapsrådet, *Där guld glimmer blått*; sid 10

<sup>19</sup> Jeremy Ramsden, *Nanotechnology*, sid 72

MEMS (micro electro mechanical systems) eller NEMS (nano electro mechanical systems) som det står i viss litteratur. Dessa maskiner kan ha olika utseenden och bland annat har försök gjorts för att få maskiner i storlek och utseende med insekter. Vid Berkeleyuniversitetet i USA har ett projekt drivits för att få fram en mekanisk fluga (micromechanical flying insect, MFI). Spännvidden över vingarna är inte mer än 25mm.<sup>20</sup>

För att få fram olika ytor på material kan top-down teknik användas. Processen kan till exempel användas om man vill få en yta som består av små taggar och kan då få funktioner som är vattenavstötande (se 4.1.1 *Hydrofob yta*).

Exempel på produkter framställda med top-down-teknik är

- Mikro- och nanoelektronik komponenter
- MEMS och NEMS
- Nanostrukturer som ytbeläggningar, olika membran, beläggningar på solceller
- Nanofibrer framställda genom ”electro spinning”

### 3.1.2 Bottom-up

Den andra tekniken är uppbyggnad (Bottom-up). Med den tekniken bygger man upp strukturen atom för atom eller molekyl för molekyl och får därigenom fram nya egenskaper.<sup>21</sup> I viss litteratur jämföras detta med en process för ”själv-sammansättning” (self-assembly<sup>22</sup>), vilket exempelvis kan innebära att en viss materia med känd sammansättning och struktur appliceras på ett underlag (som också har känd sammansättning) och sedan låter man materia fästa och strukturera sig med underlaget. Beroende på vilken materia man använder, kan man få både hydrofobiska (se 4.1.1 *Hydrofob yta*) och hydrofila (se 4.1.2 *Hydrofil yta*) egenskaper.

---

<sup>20</sup> FOI, Jan-Ivar Askelin, *Framsyn nr 2-2002, Storheten sitter i litenheten*

<sup>21</sup> Frank Simonis & Steven Schilthuisen, *Nanotechnology innovation opportunities for tomorrow's defence*

<sup>22</sup> Jeremy Ramsden, *Nanotechnology*, sid 77

I vissa applikationer är det i nuläget en långsam process, men fördelarna är många vilket borgar för att denna framtagningsprocess kommer att utvecklas.

T.ex. kan det framställas:

- Nanokompositer som kolnanofiber/nanorör, vilka bl.a. har hög elektrisk ledningsförmåga och tål höga temperaturer.
- Nanostrukturer som ytbeläggningar
- Biologiska processer
- Nanomedicin

### **3.2 Slutsatser kapitel 3**

Tekniken är relativt ny och genom att det handlar om så små dimensioner är det inte helt lätt att arbeta med. Båda processerna top-down och bottom-up kan användas vid framtagning av nya materialegenskaper, vilket i sig skapar nya förutsättningar för vad som kan framställas och hur det kan användas.

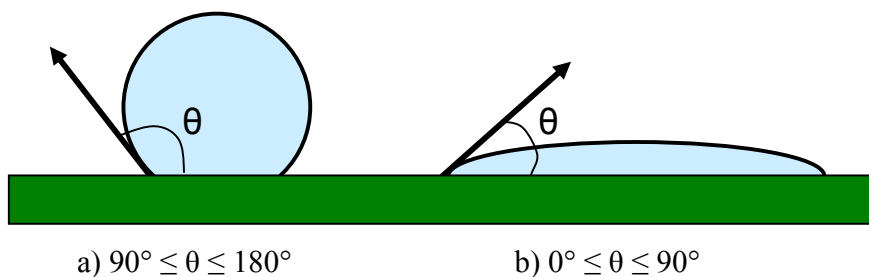
Ett bra exempel är hur man kan mala ner en metall, t.ex. aluminium, till pulver (små nanopartiklar), vilket är en top-down process. Därefter konsoliderar man pulvret igen och får en annan struktur på aluminiumet vilket ger nya egenskaper, vilket är en bottom-up process. I det här fallet ökar livslängden på aluminiumet genom att utmattningskurvan för metallen planar ut och metallen utmattas aldrig till sin bristningsgräns, med andra ord har det skapats nya möjligheter.

## 4 Vätbarhet och salter

### 4.1 Vätbarhet

För att komma åt det problem jag har satt upp, det vill säga hålla sensorernas yttersta linser rena från framförallt saltavlagringar, måste jag först förstå hur vattnet beter sig när det spolats upp på sensorerna, innan jag kan hitta en teknik att bearbeta problemet med. Till att börja med redogör jag i detta kapitel för hur man anger vätbarhet, därefter skillnaden mellan en hydrofob och hydrofil yta samt avslutar kapitlet med vad salter är.

Vätbarheten för en yta mäts med en vätskas kontaktvinkel (KV) mot ytan, vilket i bilden nedan anges med grekiska symbolen theta ( $\theta$ ). Vätskedroppar som behåller en någorlunda rund form mot ytan får branta vinklar med KV som finns inom spannet  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  (se bild 4.1 a), och ytan benämns då hydrofob. Om droppen istället fördelas ut över ytan, så blir det flackare vinklar. KV hamnar då istället inom spannet  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  (se bild 4.1 b) och ytan benämns hydrofil.



**Bild 4.1** Vattendroppe på hydrofob (a) respektive hydrofil (b) yta

Eftersom det i verkligheten är väldigt få ytor som är helt jämna så blir vattendropparnas beteende inte riktigt så enkelt. Det finns teorier som beskriver beteendet på ojämna ytor där de två vanligast använda är Wenzels teori och Cassies teori.<sup>23,24</sup>

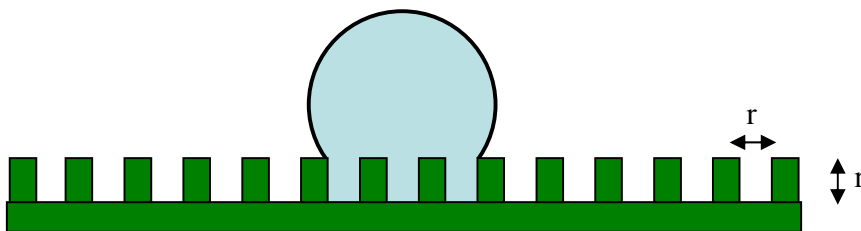
<sup>23</sup> <http://www.ramehart.com/goniometers/glossary.htm>

<sup>24</sup> <http://www.answers.com/topic/wetting>

Enkelt beskrivet anser Wenzels teori att vattnet fyller ut hålrummen/porerna i den ojämna ytan. Det visas i ekvationen (1)

$$\cos\theta^* = r \cos\theta \quad (1)$$

där  $\theta^*$  är KV mot den ojämna ytan,  $\theta$  är KV mot en ideal jämn yta (jämför med  $\theta$  i bild 4.1) och  $r$  är ojämnhetsfaktorn.



**Bild 4.2** Vattendroppe på ojämna yta enligt Wenzels teori

Cassies teori beskriver den effektiva KV  $\theta_c$  för vattnet på ett ojämnt kompositmaterials yta. Teorin förklarar hur ökad ojämnhet på ytan ökar den synbara ytvinkeln med ekvationen (2) nedan.

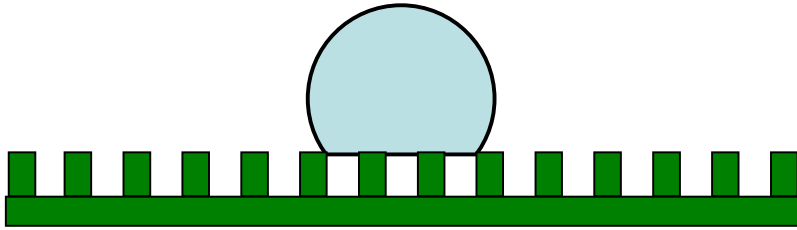
$$\cos\theta_c = \gamma_1 \cos\theta_1 + \gamma_2 \cos\theta_2 \quad (2)$$

där  $\theta_1$  är KV för komponent 1 i materialet med areadel  $\gamma_1$  och  $\theta_2$  är KV för komponent 2 med areadel  $\gamma_2$ .

Om  $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$ ,  $\theta_1 = \theta$  och  $\theta_2 = 180^\circ$  kan ekvationen reduceras till ekvation (3).

$$\cos\theta_c = \gamma_1(\cos\theta_1 + 1) - 1 \quad (3)$$

vilket ger att med liten  $\gamma_1$  och stor  $\theta_1$  är det möjligt att skapa ytor med mycket stor KV. Det är bland annat möjligt om  $\theta_2$  representeras av luft, då blir  $\theta_2 = 180^\circ$ .



**Bild 4.3** Vattendroppe på ojämn yta enligt Cassies teori

Vid FOI i Linköping finns det bland annat en speciell laborationsutrustning för att mäta vinkeln på vätskedroppar mot olika ytors beskaffenhet (se bild 4.4 nedan). Med hjälp av den kan en ytas egenskap i detta avseende bestämmas, det vill säga huruvida ytan är hydrofob eller hydrofil.

Det bör också nämnas att dessa förhållanden gäller plana horisontella ytor. Vad jag vill visa med ovanstående bilder och formler är grundprinciperna för vätkbarhet.

Om ytan vinklas eller är helt vertikal så kommer givetvis jordens dragningskraft påverka droppen och få den att röra sig neråt. Sensorlinserna (TV och laser) eller dess skyddsglas är ofta helt plana medan linsen på IR-kameran ofta är konvex. När siktet används så hamnar linserna normalt i just lutande eller vertikala lägen vilket då påverkar vattendropparna.



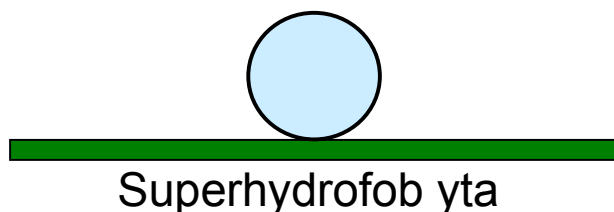
**Bild 4.4** Mätutrustning vid FOI för kontroll av vätskedroppars KV på olika ytor.  
Foto: Hans Kariis/FOI

#### 4.1.1 Hydrofob yta

En hydrofob yta är vattenavvisande, vilket gäller för de flesta vätskor, det vill säga vätskeavvisande (under resterande redovisning kommer jag endast referera till vatten som vätska).

För att få till stånd en hydrofob yta kan underlaget ha markant olika utseenden. Ytan kan vara någorlunda slät eller taggig. Att ha den kombinationen av slät och taggig yta är bland annat den principen lotusblomman eller familjen lotusväxter (*Nelumbonaceae*) har.

Sedan länge har mänskligheten beundrat lotusblommans skönhet och renhet. Trots damm runt om i naturen synes lotusblomman alltid lysa ren och klar. Hemligheten upptäcktes av två tyska botanister (Barthlott och Neinhuis)<sup>25</sup> och ligger i att blommans blad har en superhydrofobisk yta det vill säga ytan är helt vattenavstötande. Det innebär att vattendropparna rinner av och samtidigt tar de med sig små dammpartiklar. De flesta blomblad är hydrofoba, men detta ger alltså en dimension till.



**Bild 4.5** Vattendroppe på en superhydrofob yta. Ytan definieras superhydrofobisk när  $\theta$  är större än  $150^\circ$ .<sup>26</sup>

På lotusbladet finns fullt av små taggar vilket får samma effekt som en fakirs spikmatta, det vill säga fakiren kan lägga sig på uppe på spikspetsarna utan att bli helt perforerad. Det är också vad Cassies teori bygger på. Dock är taggarna på

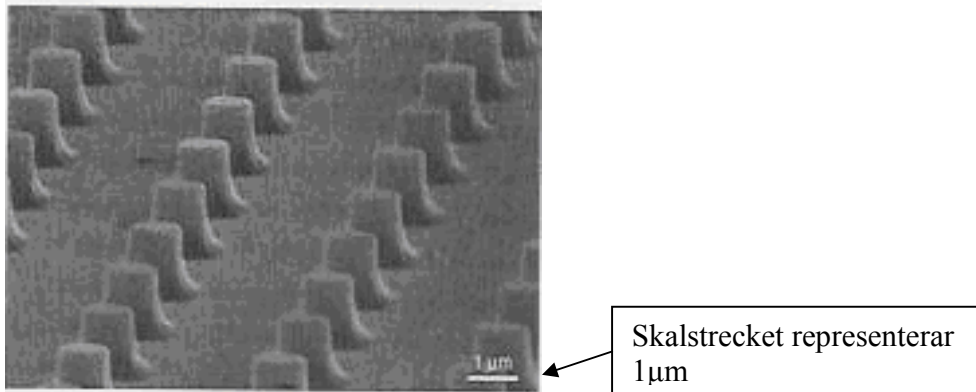
---

<sup>25</sup> Ralf Blossey artikel, *Self-cleaning surfaces – virtual realities*, i artikelserien *nature materials* VOL 2, may 2003, sid 302

<sup>26</sup> A. Nakajima et al, *Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties*, (Tokyo 2000), sid 7044 introduction



bladen så små att vi inte kan se dem för blotta ögat. Sådana ytor är möjliga att framställa på maskinell väg numera vilket visas i bild 4.6 nedan.



**Bild 4.6** Maskinellt framtagen mikrospike-matta<sup>27</sup>

Ytan upplevs som glansig, len och alldeles slät, nästan som lacken på en nyaxad bil för att ta en liknelse. Ytan på ”taggarna” skapas genom att molekylstänger sitter så tätt ihop att vattenmolekylerna inte kan tränga ner mellan stängerna. Sådana stänger kan man tillverka genom den så kallade ”self-assembly”-principen. Om man vet vilka atomer man parar ihop, kommer de att arrangera sig på önskat sätt, vilket i fallet med bilvax innebär att topparna på stängerna består av t.ex. fluor (F)-atomer, vilket ger en ”glatt” yta och därmed en hydrofob effekt.

#### 4.1.2 Hydrofil yta

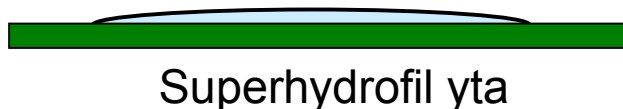
Till skillnad från den hydrofoba ytan, så fungerar en hydrofil yta genom att den fördelar ut vattendroppen. Man kan säga att den naturliga ytspänningen som vattnet (och många andra vätskor) har försvinner och droppen plattas till mot underlaget. Resultatet blir att vattnet bildar en tunn film på ytan. Detta är en princip som forskarna ser som användbar för att få en beläggning som gör det imfritt på exempelvis bilrutor.<sup>28,29</sup> De små, små dropparna som ger den immiga

<sup>27</sup> Bilden är skannad från artikeln *Self-cleaning surfaces – virtual realities*, (Villeneuve d'Ascq 2003) av Ralf Blossey. Författaren till artikeln har i sin tur tagit bilden från Bico, J., Marzolin, C. & Quéré, D. Pearl drops. *Europhys. Lett.* **47**, 220-226 (1999).

<sup>28</sup> University of Arkansas, <http://www.azom.com/news.asp?newsID=16234>,

<sup>29</sup> Artikeln *Nanocoating could eliminate foggy windows and lenses*, <http://www.physorg.com/news6083.html>

ytan på fönstret kan inte få sin droppform, då de istället sprids ut över ytan och försvinner.



## Superhydrofil yta

**Bild 4.7** Vattendroppe på en superhydrofil yta. Ytan definieras superhydrofil när  $\theta$  är nära  $0^\circ$ .

### 4.2 Salter

Efter att ha tagit reda på hur vattnet beter sig mot olika ytor kommer jag i detta underkapitel skriva om salter och havssalterna, vilka skapar en oönskad beläggning av saltkristaller som torkar fast på linserna. Det är ju framförallt saltkristaller jag ser som det stora problemet.

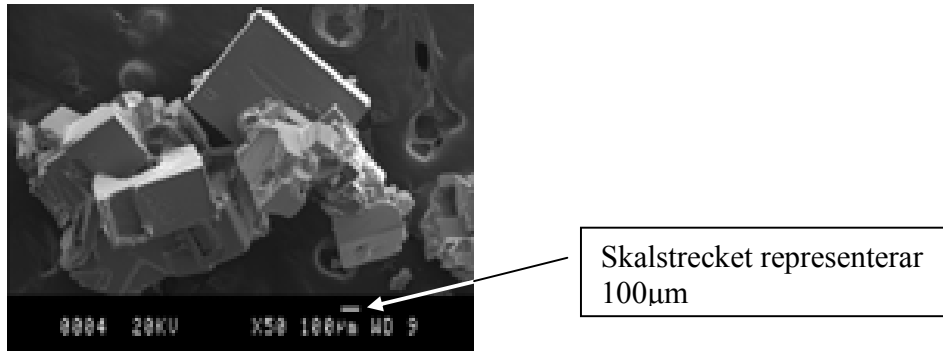
Natriumklorid (NaCl) bildar det salt som är vanligast i vatten. NaCl är joner i en kemisk förening av grundämnena natrium och klor. Joner är laddade partiklar som kan vara atomer vilka blir av med eller tar emot en elektron ( $e^-$ ). Natrium har en kärna med 11st protoner (positiva) och tre skal med elektroner (innerst 2st därefter 8st respektive 1st elektron). Den yttersta elektronen kan lätt frigöras och natriumet blir då en positiv jon ( $Na^+$ ). Klor å sin sida har 17st protoner i sin kärna och tre skal med elektroner (innerst 2st därefter 8st respektive 7st elektroner). Klor tar gärna emot en elektron för att därigenom likna en ädelgas med fyllda elektronskal, om dock negativt laddad ( $Cl^-$ ). När natrium och klor reagerar med varandra kommer en elektron från varje natriumatom gå över till var sin kloratom.<sup>30</sup>

I vatten är saltet helt upplöst i form av joner. När vattnet avdunstat framträder saltet i form av kristaller. Saltkristallerna i sig har lätt för att fastna på olika ytor och i varandra på grund av sin kantiga struktur. Det gör att de lätt lägger sig lager på lager. Saltkristaller bryter av den elektromagnetiska strålningen genom att

---

<sup>30</sup> [www.skolutveckling.se/notnavet/kemi/kemiskafferiet/modul%203/](http://www.skolutveckling.se/notnavet/kemi/kemiskafferiet/modul%203/)

många små oregelbundna saltkristaller resulterar en diffus spridning vilket ger försämrad bildkvalitet och sämre transmittans för sensorn.<sup>31</sup>



**Bild 4.8** Natriumkloridkristaller (NaCl) kristalliserade ur lösning. Bilden hämtad från KRC bildbank OH-materiel<sup>32</sup>

#### 4.2.1 Saltvatten

Salterna som finns i olika vatten innehåller framförallt NaCl, vars sammansättning jag beskrivit i underkapitlet ovan.

Man mäter numera vattnets salthalt, eller salinitet som det också benämns, i psu (practical salinity unit, "tillämpad salthaltsenhet"). Det tidigare sättet (vilket fortfarande används) är att mäta salthalten i promille (‰). Båda måtten bygger på hur många tusendelar salt det finns i en definierad mängd vatten och representerar därmed samma måttstock. Ju saltare vattnet är desto högre psu- eller ‰-värde. Generellt har vattnet en aning högre salthalt ju djupare man kommer. För den här studien är det dock ytskiktet som är av huvudsakligt intresse.

Sötvatten har en salthalt under 1-2 psu, men är tjänligt som dricksvatten först om salthalten understiger 0,5 psu och benämns då ofta som färskvatten. Om salthalten befinner sig mellan 2-30 psu benämner man vattnet som brackvatten, eller bräckt vatten som det ofta kallas i folkmun. Över 30 psu benämns det havsvatten.

<sup>31</sup> Information inhämtad via mail från Hans Kariis, FOI

<sup>32</sup> Kemilärarnas resurscentral: [www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/visa\\_PDF.asp?ID=212&nr=1](http://www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/visa_PDF.asp?ID=212&nr=1)

Östersjön, som är världens näst största brackvattenhav (efter Svarta havet), har en salthalt mellan 10 psu i södra Östersjön till 6-7 psu i området söder om Åland.<sup>33</sup> Ju längre norr ut i Bottenhavet och Bottenviken man kommer blir psu-värdet lägre beroende på att det blir allt större tillflöde av sötvatten från älvarna. I Skagerrak varierar salthalten väsentligt. I ytskiktet kan halterna vara 20-30 psu (med andra ord faller det inom benämningen brackvatten) medan det i bottenskiktet är minst 32 psu (vilket faller in under benämningen havsvatten).<sup>34</sup> I de stora haven ligger salthalten på i snitt 35 psu, men varierar normalt mellan 33-38 psu.

Dessa förhållanden fastslår det jag nämnt i kapitel 1, nämligen att marina enheter kan komma att operera i mycket saltare vatten under missioner än vad vi är vana vid i våra hemnavatten runt Sverige. Tydliga exempel är missionerna ML01-02 i Medelhavet och den pågående ME01 i Adenviken. I båda dessa farvatten är salthalten i haven påtaglig och ligger på cirka 39 psu i östra delarna av Medelhavet på grund av dåligt tillflöde av sötvatten från floder (34-36 psu i de västra delarna) samt från 35,5 psu upp mot 37 psu i Adenviken.<sup>35,36</sup>

### **4.3 Slutsatser kapitel 4**

Olika ytor får vätskedroppar att bete sig olika. Detta mäts med vätskans kontaktvinkel (KV) mot ytan. Ytor kan vara hydrofoba där vattnet ”rinner av” ytan, eller hydrofila där vattnet fördelar ut sig över ytan. Genom vetenskapen om hur detta fungerar kan forskarna maskinellt framställa olika ytor för att dra nytta av dessa egenskaper.

Saltkristaller har förmågan att fastna på de allra flesta underlag och det byggs lätt upp lager på lager av kristaller som i sin tur försämrar transmissionen för sensorerna genom att strålningen bryts något.

---

<sup>33</sup> Havsforskningsinstitutet i Finland, *Östersjöportalen*:  
[www.fimr.fi/sv/tietoa/yleiskuvaus/sv\\_SE/yleiskuvaus/](http://www.fimr.fi/sv/tietoa/yleiskuvaus/sv_SE/yleiskuvaus/)

<sup>34</sup> Vattenportalen: [www.vattenportalen.se/ovp\\_ordlista\\_s.htm](http://www.vattenportalen.se/ovp_ordlista_s.htm)

<sup>35</sup> Göteborgs Universitet, <http://www.tmbl.gu.se/pdf/Malta.pdf>

<sup>36</sup> University of Miami, [http://www.hycom.org/attachments/086\\_Ilicak\\_LOM09.pdf](http://www.hycom.org/attachments/086_Ilicak_LOM09.pdf)

De höga psu-värdena i haven där vi har genomfört, genomför nu och antagligen kommer att fortsätta att genomföra missioner, gör att det bildas stora mängder saltkristaller när havsvattnet som kan sprayas upp har avdunstat, vilket då är negativt.

## 5 Nanoforskning

Efter att ha definierat de sensorer jag avser i studien och ha rätt ut hur vattnet beter sig på olika ytor samt vad salterna i vattnet är, så är det dags att titta på hur nanoforskningen ser ut inom detta område.

Hur kan jag på konstgjort nanoforskningsbaserat vis skapa mig den eftertraktade självsanerande ytan? Ska det vara en hydrofob eller hydrofil yta och har båda ytorna en självsanerande förmåga?

När jag har sökt på Internet har jag kunnat konstatera att det finns en mängd företag som anser sig använda nanoteknik där de skapar självrengörande ytor för olika användningsområden.<sup>37,38,39</sup> Det tycks vara så att det är civila möjligheter som att få rena fönster/glasväggar, betong som graffiti och avgasbeläggningar inte kan fastna på eller badrumsporslin som alltid skiner rent, som lockar på marknaden. Det är ett område som attraherar allt fler, för vem vill inte ha det rent utan att behöva anstränga sig? Men i huvudsak handlar det dock om att hålla olika glasrutor eller vindrutor rena från nedsmutsning. Det innebär också att forskning och utveckling ligger inom det visuella våglängdsområdet 0,3-0,7 $\mu$ m där man kan se resultaten för blotta ögat. Jag har inte kunnat hitta företag som använder tekniken för att få bort saltkristaller. Måhända har de inte sett det som ett problem, eller så anses det vara så att saltet försvinner med all annan nedsmutsning.

Något som studeras vid FOI är självsanerande ytor på tältdukar och dylikt.<sup>40</sup> Detta i syfte att sanera bort B- och C-stridsmedel som annars kan fastna. Dock behöver man inte ta hänsyn till transmittans i den beläggningen, vilket är av yttersta vikt när man jobbar med sensorer.

---

<sup>37</sup> TIPE, [www.tipe.com.cn/solution/self-cleaning.htm](http://www.tipe.com.cn/solution/self-cleaning.htm),

<sup>38</sup> Nanovere Technologies, <http://nanovere.com/zyvere.html>,

<sup>39</sup> Vetenskapsrådet, *Där guld glimmer blått*; sid 69-70

<sup>40</sup> FOI Steven Savage, *FOI nano-proj-prog.ppt*, 2008

FMV planerar att under hösten 2009 starta ett projekt där de ska titta på nu framtagna nanobeläggningar och se vad beläggningarna kan ge EO-sensorer. Syftet är bland annat att undersöka hårdhet, hållfasthet och förmåga att hålla linserna rena.<sup>41</sup>

### **5.1 Nanobeläggningar**

Som angivet ovan (kapitel 3 *Nanoteknik*) återfinns tekniken för ytbeläggningar med självsanerande funktionalitet under både top-down och bottom-up processerna. Nanostrukturen i dessa processer ligger i den ytterst tunna beläggning (film) som ska appliceras på EO-sensorernas yttersta linser eller höljets skyddsglas.

Den egenskap som många forskare från början har fått inspiration från kommer från lotusblomman. Flera försök har gjorts för att få fram en motsvarande hydrofobiska yta på konstgjord väg, utan någon större framgång enligt författarna till artikeln *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*.<sup>42</sup> Men en alternativ väg till en självsanerande yta har rönt större framgång. Den vägen bygger på fotokatalytisk och hydrofila egenskaper. Hydrofil egenskap innebär, som nämnt ovan i kapitel 4.2 *Hydrofil yta*, att vattnet inte bildar droppar utan fördelar ut sig på ytan.<sup>43</sup>

Flera forskare har kommit fram till att partiklar av Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) i nanostorlek (1-100nm) har en god fotokatalytisk effekt. TiO<sub>2</sub> är en relativt ofarlig kemikalie för människor. Men eftersom den används med just nanopartiklar så påpekar Kemikalieinspektionen i sin rapport ”KemI Rapport 6/07 Nanoteknik – stora risker med små partiklar?”<sup>44</sup>, att det finns risker med användandet av nanopartiklar i

---

<sup>41</sup> Information inhämtad vid telefonsamtal med Soichiro Hosokawa, FMV

<sup>42</sup> X Zhang et al, *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*, (Kanagawa 2004), Chem. Mater 2005

<sup>43</sup> University of Arkansas: [www.azom.com/news.asp?newsID=16234](http://www.azom.com/news.asp?newsID=16234)

<sup>44</sup> Kemikalieinspektionens rapport nr 6-07

allmänhet samt att det idag inte finns några bra metoder för att undersöka nanomaterial.

När  $\text{TiO}_2$  belyses med UV-strålning uppstår den fotokatalytiska effekten genom att  $\text{TiO}_2$  absorberar UV-strålningen. När UV-strålningen absorberas exciteras elektroner ( $e^-$ ) ur sin ordinarie bana till en annan bana. Då bildas ett ”elektronhål” som vandrar mot  $\text{TiO}_2$  kristallernas yta. Där kan syremolekyler ( $\text{O}_2$ ) och vattenmolekyler ( $\text{H}_2\text{O}$ ) som absorberats transformeras till reaktiva radikaler och fotokatalysen är igång. Dessa radikaler kan sedan bryta ner organiska föreningar, som olika former av smuts, till koldioxid, vatten och nitrater.<sup>45,46</sup>

År 2000 genomförde ett antal japanska forskare ett experiment, vilket kan läsas i artikeln *Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties*,<sup>47</sup> där de använt olika koncentrationer av  $\text{TiO}_2$  till att framställa tunna transparenta beläggningar (eller filmer som de benämner det i artikeln) för att pröva deras självrengörande förmåga. I detta experiment fick forskarna fram en superhydrofobisk yta (se kapitel 4.1.1 *Hydrofob yta*). Framtagningsprocessen var en så kallad ”bottom-up” (se kapitel 3.1.2 *Bottom-up*) där de olika ämnena lades ihop och byggdes upp till de olika filmerna. Filmernas olika koncentrationer av  $\text{TiO}_2$  var 0, 2, 20, 55.6, 66 respektive 71.4 viktprocent där samtliga ytor med  $\text{TiO}_2$  blev superhydrofobiska med en kontaktvinkel ( $\theta$ ) över  $150^\circ$  och filmen utan  $\text{TiO}_2$  fick en  $\theta$  på  $148.1 \pm 1.70^\circ$ .

Ytorna på filmerna fick en ”taggighet” med toppar och porer på respektive  $44 \pm 4$ ,  $49 \pm 5$ ,  $67 \pm 13$ ,  $68 \pm 13$ ,  $70 \pm 15$  och  $109 \pm 58\text{nm}$ , vilket i de allra flesta sammanhang skulle anses vara en helt slät yta.

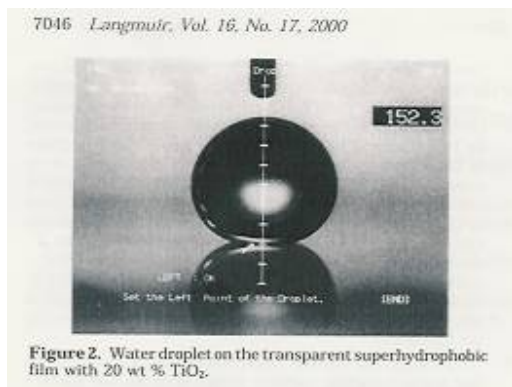
---

<sup>45</sup> Vetenskapsrådet, *Där guld glimmer blått*, sid 70

<sup>46</sup> X Zhang et al, *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*, (Kanagawa 2004), sid 696 introduction

<sup>47</sup> A. Nakajima et al, *Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties*, (Tokyo 2000)

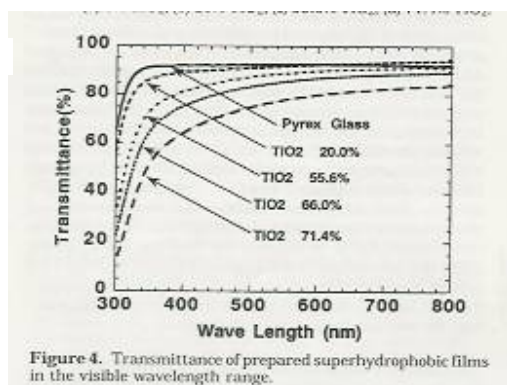




**Bild 5.1** Vattendroppe på transparent superhydrofobisk film med en koncentration av TiO<sub>2</sub> på 20 viktprocent.<sup>48</sup>

Det intressanta i detta experiment för min studie är det faktum att de undersökte den självsanerande beläggningen inom det visuella våglängdsområdet, vilket har bärighet på EO-sensorn TV-kamera.

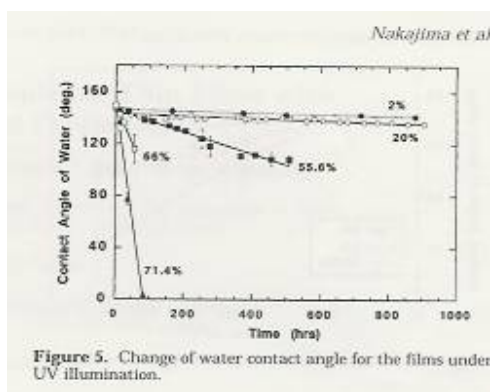
Forskarna kom fram till att transmittans inom det visuella våglängdsområdet minskar med högre koncentration av TiO<sub>2</sub>. Lägst transmittans återfinns vid korta våglängder (0,3µm) för att sedan snabbt stiga mot 90-95% transmittans vid våglängder runt 0,4µm och därefter sakta förbättras ju närmre man kommer våglängder kring 0,8µm, vilket kan avläsas i bild 5.2 nedan. Med koncentrationer av TiO<sub>2</sub> under 20 viktprocent gav det en transmittans närmare 100 %.



**Bild 5.2** Transmittans för olika koncentrationer av TiO<sub>2</sub> vid våglängderna 0,3-0,8 µm.

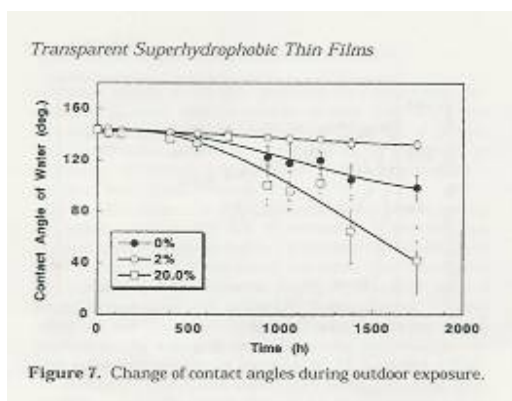
<sup>48</sup> Bild 5.1, 5.2 samt 5.3 skannad från sidan 7046 i artikeln *Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties*

När filmerna belystes med UV-ljus upp till 1000 timmar sjönk  $\theta$  dramatiskt för vattendropparna på filmerna med hög viktprocent av  $\text{TiO}_2$ . Med koncentrationen 71.4 viktprocent gick ytan från att vara superhydrofobisk till superhydrofil med en  $\theta$  närmare  $0^\circ$  redan efter en belysning med UV-ljus under hundra timmar. Dessa höga koncentrationer tappade med andra ord för snabbt sin hydrofobiska förmåga. Det kan avläsas ur bild 5.3 nedan.



**Bild 5.3** Ändrad kontaktvinkel för vattendroppar under UV belysning.

Vidare exponerades koncentrationerna 0, 2 respektive 20 viktprocent  $\text{TiO}_2$  för utomhusmiljö upp till 2000 timmar. Där visade det sig att endast  $\text{TiO}_2$  koncentration på 2 viktprocent klarade att hålla en  $\theta$  över  $140^\circ$  i denna miljö.



**Bild 5.4** Ändrad kontaktvinkel för vattendroppe under utomhus exponering.<sup>49</sup>

<sup>49</sup> Bild skannad från sidan 7047 i artikeln *Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties*

Slutsatsen av detta experiment visade att endast  $\text{TiO}_2$  koncentration på 2 viktprocent klarade kraven på transparens, hög hydrofobiskhet (nära superhydrofobisk) och lång uthållighet med en självrengörande funktion.

För mig tycks det vara så att forskarna här anser att självrengörande effekt uppnås genom att beläggningsen har en närmast superhydrofobisk egenskap, likt Lotusblomman.

Det som inte kan utläsas av detta experiment är vilken typ av nedsmutsning som filmen klarar av att hålla rent från, utan jag får nöja mig med att veta att det finns en beläggning med denna koncentration av  $\text{TiO}_2$  som skulle kunna hålla TV-kamerans lins ren från någon form av nedsmutsning, vilket i och för sig är bättre än att ha kvar smutsiga linser. Jag kan inte heller finna några fakta om hållbarheten på denna beläggning i detta experiment.

Senare forskning visar att det snarare är den hydrofila egenskap  $\text{TiO}_2$  kan ge i en beläggning som är intressant. Den egenskapen kommer när de reaktiva radikalerna attraherar vattenmolekyler och det bildas en vattenfilm på ytan.<sup>50</sup> De nanostora  $\text{TiO}_2$ -partiklarna har förmågan att bryta ner kväveoxid som finns i avgaser som kommer från våra fartyg och lägger sig på linserna. Det finns i dagsläget fönsterrutor belagda med  $\text{TiO}_2$ -film som har självrengörande effekt, vilket också nämnts ovan.

År 2004 hade ett japanskt forskarlag och författarna till artikeln *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*,<sup>51</sup> upptäckt att ytbeläggning med  $\text{TiO}_2$  ökade ytans reflektion på transparenta material på grund av det höga reflektionsindex för  $\text{TiO}_2$ . Enkelt förklarat är reflektionen som uppstår vid brytpunkten luft-glas 4 % för infallande ljus emedan den i brytpunkten luft-  $\text{TiO}_2$

---

<sup>50</sup> Vetenskapsrådet, *Där guld glimmar blått*, sid 70

<sup>51</sup> X Zhang et al, *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*, (Kanagawa 2004), Chem. Mater 2005

kan bli upp till 20 %. Eftersom reflektion är något som vi själva vill undvika på våra sensorer, blir denna artikel intressant rent militärt och i artikeln påvisas också detta index med hjälp av Fresnels ekvation (4)

$$R = (n_2 - n_1)^2 / (n_2 + n_1)^2 \quad (4)$$

där  $n_1$  sammanfalland med 1, är brytningsindex i luftrummet och  $n_2$  är brytningsindex för det solida materialet (glaset).<sup>52</sup>

Jag kommer inte i min studie fortsätta beskriva själva funktionen med anti-reflex (AR) beläggning då det är ett ämnesområde för en egen uppsats, men eftersom artikeln dessutom avhandlar självrengörande beläggning i form av nanopartiklar av TiO<sub>2</sub>, gör det den användbar för min studie för det område jag studerar.

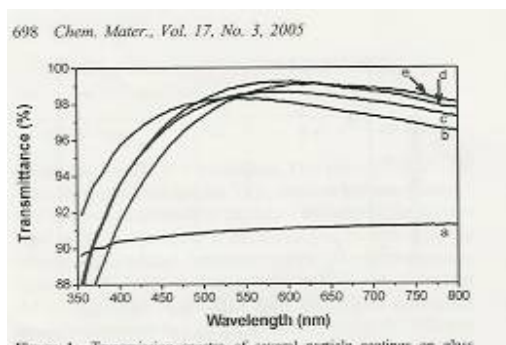
Likt ovan nämnt experiment från år 2000 av japanska forskare bygger forskarna vid detta experiment upp beläggningar enligt framtagningsprocessen ”bottom-up”. I det här fallet ändrar de förutom koncentrationen av TiO<sub>2</sub>, även mängden kiseldioxid (SiO<sub>2</sub>) i submikrometerstorlek lagt som ett lager på det övriga glas materialet för att minska AR.

De fyra olika beläggningar som testades lades på ett glassubstrat och bestod av en beläggning med bara SiO<sub>2</sub>, en beläggning med låg koncentration TiO<sub>2</sub> i kombinationen TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>, ytterligare en med något högre koncentration TiO<sub>2</sub> och avslutningsvis en med hög koncentration TiO<sub>2</sub>. Transmittans hos dessa beläggningar mättes inom våglängdsområdet 0,35 – 0,8µm och jämfördes med ett vanligt glassubstrat utan beläggning. Likt ovan nämnda experiment blev det raskt en ökad transmittans ända till 98-99%. I det här experimentet varar transmittansökningen upp till våglängder runt 0,5µm innan det avtar och planar ut. En skillnad mellan dessa båda experiment är att i det senare experimentet minskar

---

<sup>52</sup> X Zhang et al, *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*, (Kanagawa 2004), Chem. Mater 2005, sid 696

beläggningarnas transmittans sedan sakta mot 97 % ju närmre man kommer 0,8 $\mu\text{m}$ , vilket inte var fallet i ovan redovisade experiment där de snarare sakta ökade sin transmittans (se bild 5.2). Dock är beläggningarnas transmittans i detta experiment mycket bättre än glassubstratet som planar ut på 90-91%, vilket tydligt visas i bild 5.5 nedan.



**Bild 5.5** Transmittans för glassubstrat (a), bara SiO<sub>2</sub> partiklar i beläggningen (b), olika koncentrationer av TiO<sub>2</sub> i kombinationen TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> (c - e) vid våglängderna 0,35-0,8  $\mu\text{m}$ .<sup>53</sup>

För att mäta den självsanerande egenskapen modifierade forskarna beläggningen med en blandning av octadodecyldimethylsilane (ODS), vilkens reaktion med TiO<sub>2</sub> och SiO<sub>2</sub> är väl studerade av Fadeev et al. enligt artikeln. I samband med att beläggningen applicerades fick ytan en hydrofob egenskap, men övergick snabbt till att vara hydrofil efter UV-bestrålning. Speciellt snabbt gick det med den högsta koncentrationen av TiO<sub>2</sub> där  $\theta$  var nere under 10° efter cirka en timme och nästan 0° efter tre timmar. Denna utmärkta superhydrofila vätkbarhet anser forskarna vara en mycket viktig förutsättning för den självrengörande förmågan hos beläggningen. Något som förundrade forskarna var att de TiO<sub>2</sub>-partikel preparerade beläggningarna (utan ODS) visade i stort samma hydrofila yta innan UV-bestrålning som efter. Det ansåg de bero på den relativt stora (i dessa storleksområden) ojämnheten i partikelbeläggningen vilket förbättrade vätkbarheten enligt Wenzels teori (se 4.1 Vätkbarhet).

<sup>53</sup> Bild skannad från sidan 698 i artikeln *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*

Min tolkning av experimentet är att AR-egenskapen som SiO<sub>2</sub> partiklar i submikrometerstorlek ger, förtas något av TiO<sub>2</sub> partiklarna som har högt reflektionsindex. Men ger fortfarande ett mycket bättre AR än om man bara hade använt ett TiO<sub>2</sub> lager. Den självsanerande effekten, som jag är intresserad av, fås genom den fotokatalytiska effekt TiO<sub>2</sub> har när den belyses med UV-ljus, vilket är beskrivet ovan, men visade också goda hydrofila egenskaper utan UV-belysning vilket skiljer sig från gängse uppfattning. Förutom att kombinationen TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> ger en självsanerande yta, så höjde den även glassubstratets transmittans till runt 99 % vilket i allra högsta grad är intressant.

Inte heller i detta experiment finns det någon information om vilken typ av smuts som belägningen kan sanera bort eller hur hållfast belägningen är.

Något som detta experiment dock framhäver är det faktum att det kan finnas icke önskvärda egenskaper med den nya tekniken. I det här fallet den ökade reflektionen hos TiO<sub>2</sub>, som kanske inte är så betydande för de civila applikationerna men nog så viktig för de militära.

## **5.2 Slutsatser kapitel 5**

Studien visar att nanopartiklar av TiO<sub>2</sub> i olika koncentrationer och tillsammans med andra preparat kan ge självsanerande effekt. När TiO<sub>2</sub>-partiklarna belyses med UV-ljus skapas en fotokatalys som ger avsedd effekt. Att få tillräckligt med UV-ljus bör inte vara något större problem under missioner i områden närmre ekvatorn. Men om UV-ljuset räcker under vinterhalvåret i våra nordliga farvatten kan jag inte svara på i denna studie. Det måste göras tester för att få reda på sådana fakta.

Forskningsresultaten visar att både hydrofoba och hydrofila ytor kan skapas med TiO<sub>2</sub>-partiklar och att båda ytorna kan ha den eftertraktade självsanerande effekten. Den hydrofoba ytan stöter bort vattnet och kan förhoppningsvis därmed försvåra för saltkristallerna att fastna. Den hydrofila ytan fördelar ut vattnet över

sig vilket försvårar för andra partiklar att fastna, men om det försvårar för saltkristallerna har jag inte underlag för att svara på.

Forskningen visar också att ytbeläggningarna inte bara håller rent, de kan dessutom förbättra det transparanta materialets transmittans inom våglängder mellan  $\sim 0,4-0,8\mu\text{m}$ . Övriga våglängder har jag ej hittat några uppgifter om, utan här får nya studier söka svar.

En viktig slutsats är att  $\text{TiO}_2$ -partiklar har ett relativt högt reflektionsindex vilket innebär att det militärt sett är viktigt att skapa ett anti-reflex skikt för att minimera reflektionen. Det lyckades forskarna göra med gott resultat.

## **6 Troligt resultat av den självsanerande ytbeläggningen**

Min studie kan inte med tillgängligt material visa att dagens självsanerande ytbeläggningar baserade på nanoteknik har en direkt effekt på de saltkristallager som samlas på EO-sensornas linser. Men indirekt kan möjligtvis dylika beläggningar genom sin förmåga att sanera bort smuts, som avgasbeläggningar och andra organiska föreningar, minska risken för att saltkristallerna har något att fastna i. Därmed borde det bli mindre saltavlagringar på sensorlinserna.

### **6.1 TV-kamera**

De två, i kapitel 5.2 *Nanobeläggningar*, redovisade experimenten samt övriga böcker och artiklar tillsammans med information jag kunnat hämta från företag, visar med tydlighet att det finns självsanerande ytbeläggningar som fungerar i det visuella våglängdsområdet. Det intressanta i de två japanska experimenten är att det visade sig ge ökad transmittans med TiO<sub>2</sub>-nanopartiklar i rätt koncentration och ökad transmittans är något som är eftersträvansvärt.

De i kapitel 5 redovisade experimenten visar att det inte råder någon tvekan att det är möjligt att hålla linsen ren från organiskt smuts. Men jag stöter dock på problemet med att beläggningen kanske inte håller för torkarbladens svepande över linsen.

### **6.2 IR-kamera**

Avseende de våglängdsområden som IR-kamerorna är verksamma i (3-5µm respektive 8-12µm) så har jag inte kunnat hitta forskning som stödjer att de nu framtagna självsanerande beläggningarna har någon transmittans här. Dock har jag inte hittat forskning som säger att de inte har det.

Resultatet här blir med andra ord att själva den självsanerande beläggningen bör fungera likvärdigt för IR-kamera som för TV-kamera och hålla rent organiska föreningar men troligtvis inte salter på ett direkt sätt. Huruvida mottagaren i



sensorn kan ta emot de av föremål emitterade eller reflekterade signalerna eller inte kan jag inte ge svar på eftersom jag inte vet något om eventuell transmittans, utan det måste studeras/forskas på.

### **6.3 Laser för avståndsmätning**

Inte heller för de våglängdsområden som lasrarna är verksamma i (1,064 $\mu$ m respektive 1,57 $\mu$ m) har jag kunnat hitta forskning som beskriver beläggningar med självsanerande förmåga som skulle kunna ge eventuella vinster eller förluster. Men här ligger forskarresultaten mycket närmre i våglängdsområde. De båda i kapitel 5.2 *Nanobeläggningar* nämnda experimenten slutar sina mätningar vid 0,8 $\mu$ m och där visar det sig att beläggningarna med TiO<sub>2</sub> ger mycket god transmittans. Kanske är det då så att den transmittans som finns vid lasrarnas respektive våglängder åtminstone inte har försämrad transmittans, eller om så är fallet en mycket liten försämring. Då kan fördelen av den ständigt rena ytan sprungen från den självsanerande beläggningen ge positiva effekter för sensorn.

### **6.4 Slutsatser kapitel 6**

Jag har i min studie kommit fram till att rent generellt så kan en självsanerande ytbeläggning appliceras på de olika EO-sensorerna.

Men jag kan inte fastställa om det är transmittans annat än inom det visuella våglängdsområdet, där litteraturen visar att det går att få ökad transmittans med hjälp av dessa beläggningar.

Jag kan inte heller fastställa hur eller om saltkristallerna påverkas direkt. Indirekt borde saltkristallerna ha svårare att fastna om ytan hålls ren från andra smutspartiklar. Om så är fallet är det av intresse att ha en ytbeläggning som kan ta bort huvuddelen av dessa saltkristaller, då de ger försämrad prestanda på sensorerna.

## **7 Militär nytta med självsanerande ytbeläggning**

Som redan nämnts tidigare i studien så är det av väsentlig vikt att sensorer är rena för att kunna sända och ta emot signaler med full prestanda. Eftersom olika väderförhållanden försämrar sensorerna olika mycket och vädret är något som fartygen inte kan påverka, måste utveckling ske att på andra möjliga sätt skapa bättre förutsättningar när fartygen ska använda sensorerna. Det är dessutom svårt, för att inte säga nästan omöjligt, att förhindra vattenspray från att komma upp på sensorernas linser när det är vågor på havet, framför allt om fartygen har hög fart. När förliga siktet på kv typ Göteborg befinner sig i sitt beredskapsläge står det vinklat snett neråt och bakvänt (aktra siktet står vinklat framåt), för att få minskad radarsignatur och minska risken för retroreflektioner, men detta minimerar även mängden vattenspray som kommer upp på linserna. På kv typ Visby står siktet istället bakåtvänt och riktat snett uppåt för att minska radarsignaturen. Härmed ökar istället risken för att eventuellt vattenspray hinner avdunsta på linsen och de oönskade saltkristallerna kan bildas. Här skulle verkligen en självsanerande ytbeläggning kunna göra nytta om den kan hjälpa till att få bort saltet. Dessutom har jag i inledningen nämnt att det är svårt att komma åt och rengöra linserna, varför en självsanerande ytbeläggning har ytterligare en anledning att appliceras.

Om nu linserna hålls rena med hjälp av en självsanerande ytbeläggning, skulle vi kunna få just den eftertraktade effekten, att i stort sätt alltid ha rena sensorlinser när de ska användas. Den här studien kan förvisso inte fastställa om just saltkristaller, som det finns gott om i haven där vi nu genomför missionsuppdrag, går att få bort med hjälp av den fotokatalytiska effekten av  $\text{TiO}_2$ -nanopartiklar, men andra smutspartiklar går att få bort. Om det i sig minskar saltets möjlighet att fastna så vinner sensorerna på att få en sådan ytbeläggning.

Som nämnts i kapitel 2.1 *TV-kamera*, finns det en juridisk aspekt på att alltid ha rena linser. Om bilder tagna med sikteskameran (TV- eller IR-kamera eller båda

två), bör bilderna vara av sådan kvalitet att det tydligt går att urskilja vad som händer.

En positiv effekt som har framkommit i studien, är att en beläggning med  $\text{TiO}_2$ -nanopartiklar kan ge ökad transmittans utöver att ha en renande förmåga, åtminstone i det visuella våglängdsområdet.

Men det ska beaktas att  $\text{TiO}_2$ -nanopartiklar även har ett högt reflektionsindex, vilket är negativt. Här måste man kunna fastställa att den eventuella beläggning med  $\text{TiO}_2$ -partiklarna som appliceras även innehåller någon form av anti-reflex behandling vilket finns omtalat i studien.

Eftersom jag vet att det är fungerande transmittans inom det visuella spektrat, så blir alla möjliga applikationer där av intresse. Jag ger några exempel för marina enheter nedan.

Om det är så att den självsanerande ytbeläggningen är hållbar nog för att inte slitas ner och försvinna på grund av torkarbladens svep (som finns framför TV-kameran), kan jag även se möjligheter att använda beläggningen på fartygens vindrutor. Även manöverofficeren (ManO) är betjänt av att alltid ha rena rutor. Det gäller förstås även utkikarna på de fartyg där de står inombords. Står utkikarna ute på signalbryggan, vilket de gör på de flesta fartyg, så är det istället linserna på kikarna och kikarsikten till eldhandvapen som skulle kunna förbättras av att få en självsanerande ytbeläggning.

Ytbeläggningen skulle kanske även kunna appliceras på ubåtsperiskop. Även periskopet kommer att få saltkristaller på sig, om än kanske inte i några lager då kristallerna löses upp igen när periskopet tas ner under ytan. Men en eventuell oljefilm, sot från avgaser eller annan nedsmutsning som kan finnas på vattenytan kan förmodligen saneras bort efter att periskopet brutit upp genom ytan och därmed förbättra dess prestanda.

Något som nämnts i studien och faller inom nanoteknik samt vidrör en variant av självsanerande förmåga, är möjligheten att applicera en film som omöjliggör imma på linserna eller vindrutorna (se kapitel 4.1.2 *Hydrofil yta*). Här kan jag hitta åtskilliga områden där det är intressant. Några exempel är dykarmask och rökdykarmask, vindrutor och fönsterventiler samt kikarlinsor. Listan kan göras riktigt lång.

Slutsatsen av ovanstående stycken anser jag vara att ur en militär synvinkel kan vi absolut ha en praktisk nytta av denna nanoteknologi.

Det måste dock påpekas att jag inte överhuvud taget har tittat på problemet ur en ekonomisk synvinkel.

## 8 Slutsatser

De viktigaste slutsatserna jag dragit av studien är att det finns självsanerande ytbeläggning, baserad på  $\text{TiO}_2$ -nanopartiklar, som kan sanera bort smuts från linserna. Ytbeläggningen fungerar i det visuella spektrat och forskning har visat att dessa beläggningar förutom att sanera bort smuts, även kan ge ökad transmission. Men forskningen visar också att  $\text{TiO}_2$ -nanopartiklar ger en ökad reflektion, vilket innebär att beläggningen måste kombineras med anti-reflexbehandling.

Studien kan inte svara på hur saltkristaller påverkas av beläggningen, då det saknas forskningsresultat. Men troligtvis får saltkristallerna svårt att fastna på en ren yta. Studien kan inte heller svara på om beläggningen kan transmitta strålning i IR- respektive laser våglängder. Även detta beroende på att jag inte funnit tillgängliga forskningsresultat.

Trots avsaknad av vissa svar anser jag att studien visar på en militär nytta med att använda självsanerande ytbeläggning.

### 8.1 Svar på frågeställningen

Jag ställer två frågor i kapitel 1.2.1 *Frågeställning* som jag vill besvara med min studie.

- Vilka självsanerande ytbeläggningar finns med förmågan att få bort de oönskade saltlagren och andra partiklar som försämrar de elektrooptiska siktessensorernas prestanda?
- Vilka olika våglängder släpper dessa självsanerande ytbeläggningar igenom?

På den första frågan ger studien svar på att det finns nanoteknik för att framställa beläggningar som har en självsanerande effekt och visat att den förmågan kan uppnås med nanoteknik som är framtagna både med ”top-down” och ”bottom-up” processer. Studien redovisar ett antal olika ytbeläggningar som bygger på att man

använder olika koncentrationer av TiO<sub>2</sub>-nanopartiklar. Det rör sig både om hydrofoba och hydrofila ytor som kan uppnås med TiO<sub>2</sub>, där de hydrofila ytorna verkar vara det forskarna tror mest på avseende den självrengörande förmågan. Men studien kan inte ge ett komplett svar då jag inte hittar några belägg för att det går att få bort saltlagren i form av torkade saltkristaller som är det huvudproblem jag ser för sensorerna. Däremot är förmågan att få bort smuts i form av organiska föreningar tydliggjord där man använder TiO<sub>2</sub>-nanopartiklar i kombination med UV-ljus.

Avseende den andra frågan om vilka våglängder ytbeläggningarna släpper igenom för de olika sensorerna i min studie, så kan jag inte heller ge ett fullgott svar. För de visuella våglängderna har jag kunnat presentera resultat från olika forskares experiment som påvisar fullgod till ökad transmittans med vissa koncentrationer av TiO<sub>2</sub>-nanopartiklar. Men för de våglängder som används av IR respektive laser har jag inte kunnat hitta någon forskning som vare sig bekräftar eller dementerar någon ökning eller minskning av transmission eller eventuellt ingen transmission alls, genom att använda självsanerande ytbeläggning.

## **8.2 Förslag på fortsatta studier/forskning**

Utifrån vad jag skrivit i mina slutsatser ovan och vad som framkommit tidigare i studien, så saknar jag en hel del svar på grund av att jag inte kan hitta forskningsresultat. Här finns alltså utrymme för en hel del fortsatta studier och forskning för att utröna olika för- och nackdelar samt möjligheter med självsanerande ytbeläggningar. Då är det särskilt intressant att FMV planerar för att genomföra ett projekt 2009, där sådan beläggning ska studeras.

Bland annat behöver vi få svar på vad som händer med just saltkristaller om vi använder de nu framtagna ytbeläggningarna. Man måste veta om en hydrofob eller hydrofil yta är bättre än den andra och av vilken anledning. Hur bra håller ytbeläggningen rent och hur länge? Finns det någon mättnadsgrad i beläggningen?

Det kanske är så att det räcker med att få bort nedsmutsande organiska föreningar på linserna för att hålla bort eller i alla fall minimera antalet saltkristaller som kan fastna. Det behöver också testas.

Hur hållbar är beläggningen? Det är en fråga som kommer fram med studien. Torkarblad kan kanske bli ett problem. Klarar beläggningen svepet från torkarbladen under en godtycklig tid (allt är ju beroende på hur ofta torkarbladen behöver användas) som ett år? Om så är fallet, är beläggningen utbytbar? Går det att lägga på en ny på ett enkelt sätt? Det framtagningssätt som experimenten redovisade i studien, tyder på att det är en rätt komplicerad process att ta fram dessa beläggningar. Eller är det så att beläggningen är så effektiv att vattnen, även i stora mängder, försvinner från linserna så snabbt att torkarbladen inte behövs?

Vilken transmittans har beläggningen i våglängdområden för laser och IR? Denna fråga måste det finnas ett svar på om beläggningen ska vara applicerbar på dessa sensorer. Det behöver inte vara en ökning av transmittansen, men en avsevärd minskning kan inte vara acceptabel.

Hur mycket UV-ljus behövs för att få igång fotokatalysen när man använder  $\text{TiO}_2$ ? Räcker ljuset till under vintern, eller räcker det med att ytbeläggningen har fått en initial dos med UV-ljus för att sedan fungera även med mycket lite UV-ljus?

Vad händer om ytbeläggningen sitter på ett periskop? Skulle det fungera på det sätt jag beskriver i kapitel 7 *Militär nytta med självsanerande ytbeläggning*, det vill säga att saneringsprocessen kommer igång omedelbart när periskopet bryter ytan?

Något jag tycker att man bör titta mer på är den närliggande tekniken som resulterar i att vi kan få imfria rutor m.m. Hur effektiv är den beläggningen? I

kapitel 7 tar jag upp ett antal möjliga områden där den tekniken skulle komma väl till pass och det finns säkert fler.



## 9 Sammanfattning

Studiens syfte har varit att inventera om självsanerande ytbeläggningar kan appliceras på EO-sensorernas linser och hålla dem rena utan att försämra sensorn. Idén är ju att sensorerna ska ha förbättrad prestanda om man tillför något nytt.

Efter inledningen redovisar jag grundfakta om valda EO-sensorer, grundläggande nanoteknik, hur ytors vätkbarhet definieras samt beskriver vad salt är och hur havens salinitet mäts.

Jag nämner att nanotekniken är ny men också att det finns beläggningar, baserade på nanopartiklar och framtagna med processer inom nanotekniken, som kan anses ha en självsanerande förmåga genom att skapa en hydrofob eller hydrofil yta.

Jag har kommit fram till att använda nanopartiklar av  $\text{TiO}_2$  och låta dem verka med UV-ljus verkar vara den nu förhärskande lösningen för att få fram en ytbeläggning som ger en självsanerande förmåga. Avseende tillgången av UV-ljus så bör det inte vara några problem när fartygen är ute på mission på sydligare breddgrader, men huruvida UV-ljuset räcket under vinterhalvåret i våra nordliga hemmavatten kan studien inte svara på.

Jag har i studien inte funnit svar på om saltkristaller påverkas direkt av dessa ytbeläggningar, men indirekt borde saltkristallerna ha svårare att fastna om ytan hålls riktigt ren, då kristallernas kantiga struktur som gör att de hakar fast i ytor inte får samma möjlighet att fastna på de rena ytorna. Studien tar upp att om det är ett högt psu-värde i vattnet finns det många saltkristaller och då ökar risken för att det blir saltlager efter saltlager som lägger sig på linserna och då försämrar sensorernas transmission om saltet inte försvinner. Eftersom marinens enheter enligt FMUP ska kunna verka i en internationell miljö, kommer de med stor sannolikhet att operera i områden med just höga psu-värden.

När det gäller andra typer av partiklar som smutsar ner sensorlinserna, så visar min studie att det är möjligt att få bort dem med självsanerande ytbeläggningar, även om jag inte kan precisera exakt vilka typer av smuts som forskarna har lyckats få bort i sina experiment.

Studien visar resultat på att ytbeläggningarna kan transmitta strålning i det visuella spektrat och även ge en ökad transmittans jämfört med vanligt glassubstrat. Men jag har inte hittat forskningsresultat gällande våglängder för IR- och laser, varför jag ej kan avge svar om transmittans för de våglängderna.

Den fara jag sett med ytbeläggningen är att TiO<sub>2</sub>-nanopartiklar ger hög reflektion, vilket innebär att man måste säkerställa att det även finns en anti-reflex behandling i beläggningen.

Studien presenterar mina slutsatser om den militära nyttan av en självsanerande ytbeläggning. Den nyttan ser jag att vi får genom att ytbeläggningen kan ge ökad transmittans men också genom att linserna hålls rena så att de bilder som presenteras blir tydliga. Utöver nyttan med att ha rena EO-sensorer ger studien exempel på andra områden inom det visuella spektrat där ytbeläggningen skulle kunna ge fördelar.

På slutet av studien skriver jag en del förslag till fortsatta studier/forskning, baserat på att jag inte funnit alla svar på mina frågor.

## 10 Käll- och litteraturförteckning

Litteraturen presenteras i den ordning som de har använts i studien. Det gäller även Internetkällor och övriga källor.

Litteratur:

- HKV *Försvarsmaktens Utvecklingsplan 2010-2019* (FMUP 2010) (HKV beteckning 2009-02-19, 23 320:51504)
- Jeremy Ramsden, *Nanotechnology*, Ventus Publishing ApS 2009, ISBN 978-87-7681-418-2
- Kristian Artman och Anders Westman, *Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik*, (Stockholm: Försvarshögskolan, 2007). ISSN 1654-4838, ISBN 978-91-85401-73-4
- Hans Törnblom, *IR-teknik. Kurskompendium för ChPT 08-10/MPU 08/09*, Version 0.56.0; utskrift 2009-01-15 (Stockholm, Försvarshögskolan)
- FOI Henrik Moberg, Åke Wiss, FOI orienterar OM *Elekromagnetiska vapen och skydd*, nummer 1 2001, ISBN 91-7056-104-4
- Vetenskapsrådet, *Där guld glimmar blått*, (Stockholm 2007), ISBN 978-91-7307-113-0
- FOI Steven Savage PowerPoint presentation, *FOI nano-proj-prog.ppt* (Linköping 2008)
- FOI, Jan-Ivar Askelin, Framsyn nr 2-2002, Storheten sitter i litenheten
- Frank Simonis & Steven Schilthuizen, *Nanotechnology innovation opportunities for tomorrow's defence*, (September 2005, TNO Science & Industry)
- Ralf Blossey, *Self-cleaning surfaces – virtual realities*, (Villeneuve d'Ascq 2003), artikel från: nature materials |VOL 2| MAY 2003| [www.nature.com/naturematerials](http://www.nature.com/naturematerials)
- Nakajima et al, Transparent Superhydrophobic Thin Films with Self-Cleaning Properties, (Tokyo 2000), Langmuir 16, 7044-7047

- X Zhang et al, *Self-Cleaning Particle Coating with Antireflection Properties*, (Kanagawa 2004), Chem. Mater 2005, 17, 696-700
- *Kursbeskrivning militärteknik; Självständigt Arbete, ICP018*, Stockholm Försvarshögskolan 2009-03-30)

Litteratur för kunskapsuppbyggnad vilka jag ej refererat till:

- FOI Åke Wiss, Göran Kindvall, *FOI orienterar OM Sensorer, nummer 3 2004*, ISBN 91-7056-119-2
- Jürgen Altmann, *Military Nanotechnology Potential applications and preventive arms control*, (2006 Eastbourne.) ISBN: 0-415-40799-0
- A S Edelstein and R C Cammarata, *Nanomaterials*
- Future Technologies Division, *Applications of Nanotechnology in Space Developments and Systems: Technological analysis*, (2003 VDI Technology Center, Germany) ISSN 14365928

Internet:

- [www.femorefortet.se/nutidens-forsvar.htm](http://www.femorefortet.se/nutidens-forsvar.htm), hämtat 2009-08-14
- Energimyndigheten: <http://www.energikunskap.se>, hämtat 2009-09-02
- SAAB, [www.saabgroup.com](http://www.saabgroup.com) (dokument id: P-300028), hämtat 2009-06-23
- <http://www.ramehart.com/goniometers/glossary.htm>, hämtat 2009-08-13
- <http://www.answers.com/topic/wetting> hämtat 2009-08-14
- University of Arkansas, <http://www.azom.com/news.asp?newsID=16234>, hämtat 2009-06-24
- Artikel *Nanocoating could eliminate foggy windows and lenses*, <http://www.physorg.com/news6083.html>, hämtat 2009-03-05
- <http://www.skolutveckling.se/notnavet/kemi/kemiskafferiet/modul%203/Modul%203%20Kemiteori%20Atomer%20och%20joner.doc>, hämtat 2009-06-18
- Kemilärarnas resurscentrum på webben:  
[http://www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/visa\\_OH.asp?ID=212](http://www.krc.su.se/web/undervisn/OHbild/visa_OH.asp?ID=212), hämtat 2009-06-24

- Havsforskningsinstitutet i Finland, *Östersjöportalen*:  
[www.fimr.fi/sv/tieto/yleiskuvas/sv\\_SE/yleiskuvas/](http://www.fimr.fi/sv/tieto/yleiskuvas/sv_SE/yleiskuvas/) hämtat 2009-07-01
- Vattenportalen, [http://www.vattenportalen.se/ovp\\_ordlista\\_s.htm](http://www.vattenportalen.se/ovp_ordlista_s.htm), hämtat 2009-06-24
- RSMAS, University of Miami 2009 LOM meeting:  
[http://www.hycom.org/attachments/086\\_Ilicak\\_LOM09.pdf](http://www.hycom.org/attachments/086_Ilicak_LOM09.pdf), hämtat 2009-08-17
- TIPE, [www.tipe.com.cn/solution/self-cleaning.htm](http://www.tipe.com.cn/solution/self-cleaning.htm), hämtat 2009-03-05
- Nanovere Technologies, <http://nanovere.com/zyvere.html>, hämtat 2009-03-05
- Artikel från Marin Zoologi Göteborgs Universitet, *Form- och biotopkännedom i Medelhavet*, <http://www.tmbi.gu.se/pdf/Malta.pdf>, hämtat 2009-08-11
- Kemikalieinspektionen,  
[http://www.kemikalieinspektionen.se/templates/Material\\_\\_\\_\\_4736.aspx](http://www.kemikalieinspektionen.se/templates/Material____4736.aspx), hämtat 2009-06-23

#### Övrigt:

- Egna anteckningar efter möte med Hans Kariis och Steven Savage på FOI i Linköping 2009-06-25
- LMS: ChP T / MPU 08-09 Sensorteknik/Dokument/Optronik/Bild/Bild 4
- Information inhämtad vid telefonsamtal med Henrik Ludwigs, SAAB systems, Järfälla
- Information inhämtad vid telefonsamtal med Håkan Eriksson, MarinB Tele-vapen avdelningen, Karlskrona
- Information inhämtad vid telefonsamtal med Soichiro Hosokawa, FMV:ILS Elektrooptik och optronik 2009-08-26