

JAN-OLOF OUSBÄCK, CHRISTINA ÅKERLIND, TOMAS HALLBERG,  
ÅSA ANDERSSON, JAN FAGERSTRÖM, STEVEN SAVAGE,  
ANNA POHL, LARS-GÖRAN HEIMDAL, ANNA JÄNIS, HANS KARIIS



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Jan-Olof Ousbäck Christina Åkerlind  
Tomas Hallberg Åsa Andersson Jan Fagerström  
Steven Savage Anna Pohl Lars-Göran Heimdal  
Anna Jänis Hans Kariis

## Projekt Signaturmaterial 2011

Några materialtrender

Titel	Projekt Signaturmaterial 2011, några materialtrender
Title	Project Signature Materials 2011
Rapportnr/Report no	FOI-R--3365--SE
Rapporttyp/ Report Type	Användarrapport / User report
Sidor/Pages	21 p
Månad/Month	November / November
Utgivningsår/Year	2011
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Projektnr/Project no	E53348
Godkänd av/Approved by	Lars Bohman

<b>FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut</b>	<b>FOI, Swedish Defence Research Agency</b>
Avdelningen för Informationssystem	Information Systems
Box 1165	Box 1165
581 11 Linköping	SE-581 11 Linköping

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden

## Sammanfattning

Rapporten sammanfattar den verksamhet som har bedrivits inom projektet "Signaturmaterial" under 2011. Arbetet inom projektet har fokuserats kring multispektralitet och adaptivitet för att möta krav på flexibla skydd främst vid internationella insatser i varierande miljöer.

Projektet har bevakat den nationella och internationella utvecklingen rörande signaturmaterial. Detta har främst skett genom internationella militära samarbeten och vetenskaplig bevakning genom samarbete med UoH.

Några trender som kommer att påverka framtida signaturmaterial är bl.a. nya typer av förlustmaterial i radarabsorbenter, exempelvis nanostrukturella material, grafen och kvasikristallina material. Inom det optroniska området kan nämnas spektral design genom struktur/material från biologiska och naturliga material, biomimetik. Genom att använda nya typer av material förutses mer effektiva signaturmaterial med lägre vikt och volym.

Den kompetens som inom projektet upprätthålls har kommit det svenska försvaret och försvarsindustrin till godo genom avtappning till FMV-finansierade projekt, t.ex. expertstöd vid värdering och anskaffning av materiel.

Nyckelord: signatur, skydd, radar, IR, visuellt, styrbar, multispektral

## **Summary**

The report summarizes the activity that has been done within the project "Signature materials" in 2011. The work has focused on multispectral and adaptive materials to meet the demands for flexible protection primarily in international operations in varying environments.

The project has been covering national and international developments concerning signature materials. This has mainly been done through international military cooperations and scientific research coverage by cooperations with UoH.

**Keywords:** signature, protection, radar, IR, visible, adaptability, multi spectral

<b>Innehållsförteckning</b>	<b>Sida</b>
<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>7</b>
<b>2. NÅGRA TRENDER INOM MATERIALFORSKNINGEN</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 Mikrovågsegenskaper hos avancerade nanokompositer</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.1 MWCNT (Multi -Walled Carbon Nano Tube)</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.2 Grafen</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.3 Kvasikristallina material</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Spektral design genom struktur/material</b> .....	<b>14</b>
<b>3. NATO-GRUPP SCI-230</b> .....	<b>16</b>
<b>4. FORSKNINGSPRODUKTION</b> .....	<b>18</b>
<b>5. SLUTSATSER OCH REKOMENDATIONER</b> .....	<b>20</b>
<b>6. REFERENSER</b> .....	<b>21</b>



# 1 Inledning

Denna rapport sammanfattar översiktligt verksamheten inom projekt Signaturmaterial under 2011 och exempel på aktuella trender inom materialforskning presenteras utförligare; mikrovågsegenskaper hos några kompositers med avancerade nanostrukturella förlustmaterial, biomimetiska material och kvasikrystaller.

Avancerade optroniska och mikrovågs sensorer har på senare år fått stor spridning i många länder och bland diverse icke statliga organisationer. För att möta detta hot behövs signaturanpassning som är anpassad till en multispektral hotmiljö (visuellt, nära IR, termisk IR, radar).

Det är av stor vikt att kompetens inom området signaturmaterial upprätthålls för att:

- Kunna avtappa kunskap till FM
- Kunna ge expertstöd till FMV vid upphandling, utveckling och modifiering av materielsystem
- Kunna bevaka trender inom den öppna forskningen i omvärlden.
- Genom internationella samarbeten få ta del av icke öppen forskning och utveckling
- Genom kunskap om vad som är möjligt att uppnå med moderna material upprätthålla kunskap om en rimlig pris/prestandarelation
- Kunna agera som en oberoende värderingsinstans

Projektet har genom att bevaka den nationella och internationella utvecklingen på signaturmaterialområdet deltagit i konferenser, seminarier, internationella samarbetsprojekt, litteraturstudier mm.

Genom projektet har FOI upprätthållit kompetens att göra en oberoende värdering av signaturmaterial vid upphandling, värdering och utveckling, såväl nationellt som internationellt.

Projektet strävar till att täcka in ett spann över de olika TRL-nivåerna (1-5).

*Omslagsbilden: Projektet bevakar en internationell utställning av signaturanpassningsmateriel i Bad Reichenhall, Tyskland.*



## 2 Några trender inom materialforskningen

### 2.1 Mikrovågsegenskaper hos avancerade nanokompositer

Under det senaste decenniet har nya intressanta material som kan ha potential som förlustmaterial utvecklats. Förlustmaterialen bestämmer den radarabsorption som signaturmaterialen uppvisar inom radarområdet.

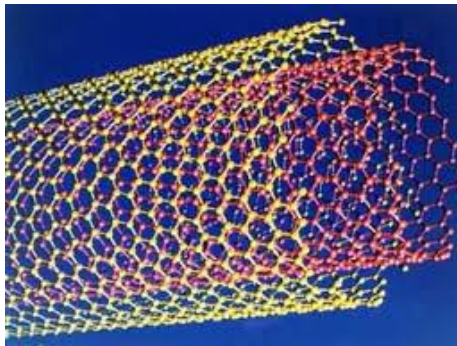
Projektet har under året haft samarbete med EMPA (Department of Mechanical Systems Engineering in Dübendorf, Switzerland) som har tillverkat provkroppar av plastkompositer med förlustmaterial av nanostrukturellt kol, MWCNT (Multi Walled Carbon Nano Tubes).

Projektet har också inlett studier om grafen och kvasikristallina material som förlustmaterial i signaturmaterial. De två senare materialen kommer att studeras vidare under 2012. Fördelen med nya avancerade material är bl.a. ökad hållfasthet, samt lägre vikt och volym.

#### 2.1.1 MWCNT (Multi-Walled Carbon Nano Tube)

Kolnanorör med olika strukturer har utvecklats under det senaste decenniet. Under de senaste åren har tillverkningstekniken gått starkt framåt och MWCNT finns nu kommersiellt tillgängliga.

MWCNT består av två eller flera koncentriska rör av grafit. Diametern på grafitrören är av storleksordningen 10-tals nm, medan längden kan vara av storleksordningen  $\mu\text{m}$  (i extremfall cm). Se figur 2.1.



Figur 2.1 Schematisk bild på MWCNT

MWCNT har mycket goda mekaniska egenskaper och bidrar därmed till ökad hållfasthet i en komposit även vid låg inblandningsprocent.

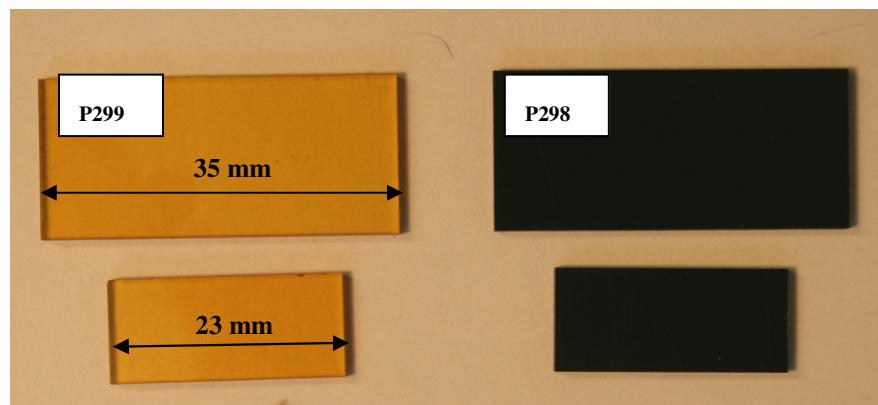
MWCNTs elektriska egenskaper är starkt beroende på den strukturella uppbyggnaden. Egenskaperna kan variera från mycket bra ledningsförmåga till halvledande. Detta gör att MWCNT är intressanta som förlustmaterial i radarabsorberande kompositer. Typiska tillämpningar är bl.a. formgjutna absorbenter för exempelvis vingframkanter, där MWCNT förutom dielektriska förluster även bidrar till ökad hållfasthet genom att fungera som armering.

Projektet har under året i samarbete med EMPA studerat några olika kompositmaterial bestående av MWCNT som förlustmaterial i en epoximatrix [1].

Fem olika kompositer, bestående av en epoximatrix (EPON862/3402) med olika fyllningsgrader (volymprocent) av förlustmaterial av MWCNT har tillverkats och dess mikrovågsegenskaper har uppmätts. Materialen definieras i tabell 2.1.

Sampl <sup>*</sup>	MWCNT <sup>*</sup> vol %	Elektrisk resistivitet ( $\Omega\text{m}$ ) <sup>*</sup>	Tjocklek (mm) <sup>**</sup>
P299	0	Icke mätbar	1.95
P298	1	48.4	1.95
P296	2	36.6	1.98
P288	5	3.2	1.97
P290	10	0.5	1.90

Tabell 2.1 Definition av materialen. \* Från EMPA, \*\* från FOI



Figur 2.2 Foto på två av materialen.

Materialens komplexa permittivitet (dielektricitet) uppmättes inom frekvensområdet 6-12 GHz. Resultaten visas i diagram 2.1.

Som framgår av mätresultaten varierar permittiviteten starkt med fyllnadsgraden av MWCNT. Även vid relativt små fyllnadsgrader fås en kraftig höjning av permittiviteten. I diagram 2.2 visas permittiviteten som funktion av frekvensen för tre olika fyllnadsgrader av MWCNT. Från dessa mätdata framgår att permittiviteten ökar (både realdel som imaginärdel) med ökande fyllnadsgrad. Detta innebär att kompositens absorberande egenskaper ökar.

Permittiviteten minskar (svagt) med frekvensen..

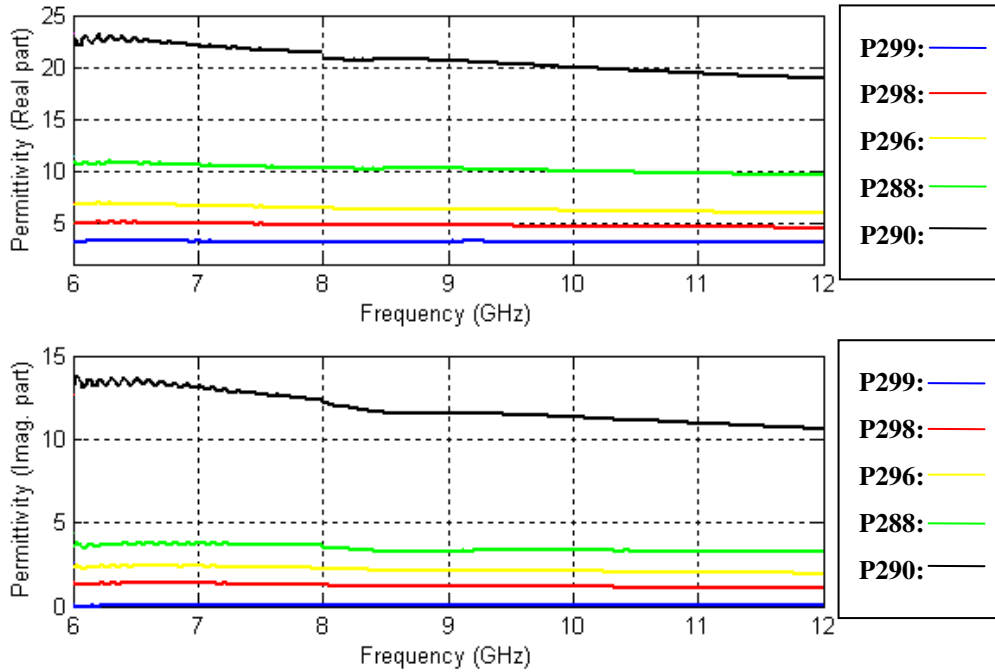


Diagram 2.1. Permittiviteten som funktion av frekvensen hos de fem materialen.

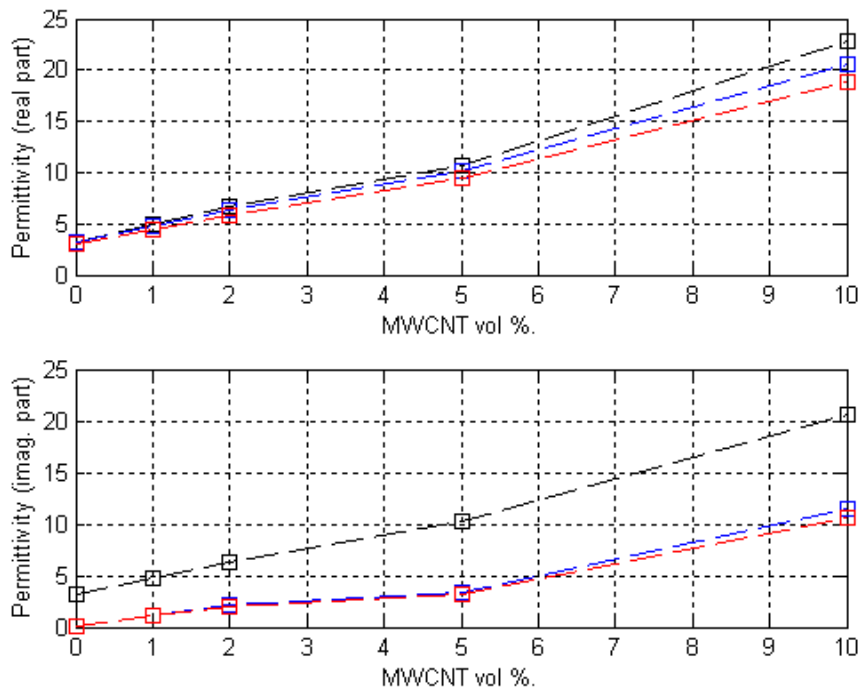
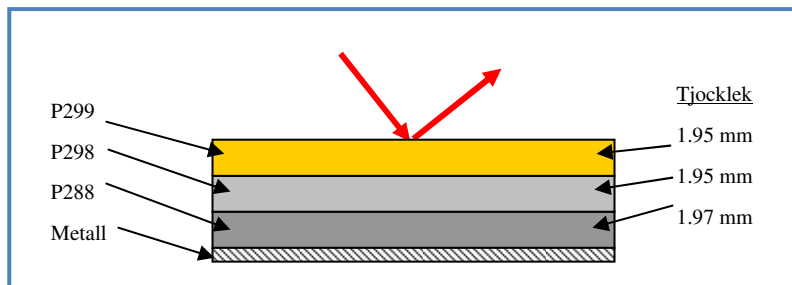


Diagram 2.2. Permittiviteten som funktion av fyllnadsgraden av MWCNT. (Svart kurva: 6 GHz, blå kurva: 9 GHz, röd kurva: 12 GHz)

För att illustrera vad dessa MWCNT-kompositmaterial kan ha för radarabsorberande egenskaper designades en multilagerstruktur enligt figur 2.3.



Figur 2.3 Skiss på en radarabsorberande multilagerstruktur.

Strukturens beräknade radarabsorberande egenskaper visas i diagram 2.3. Strukturen är inte optimerad, vare sig till permittivitet eller till materialens tjocklek. Eftersom kompositmaterialens permittivitet kan designas med fyllnadsgraden av MWCNT och tjocklekarna enkelt kan varieras, bör optimerade radarabsorbenter relativt enkelt kunna designas. Fördelarna med dessa typer av material är ökad hållfasthet och lägre vikt.

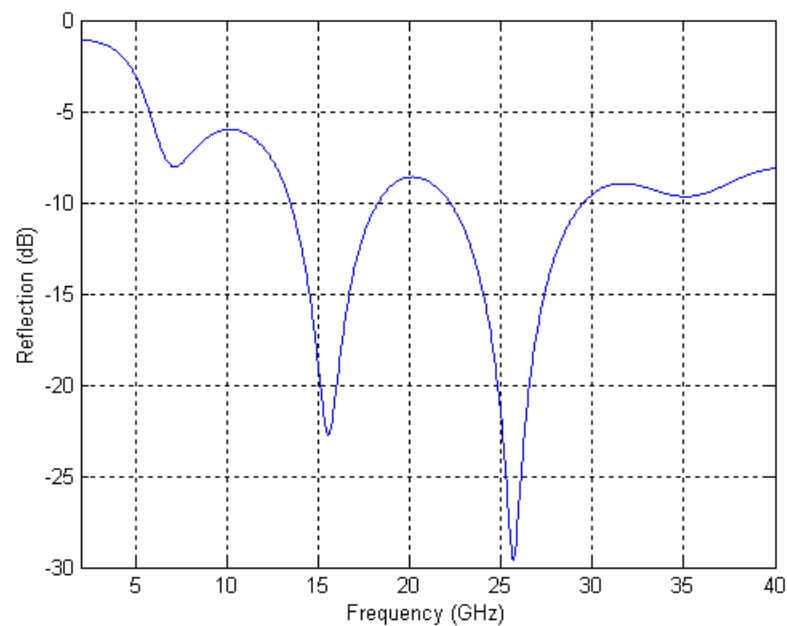
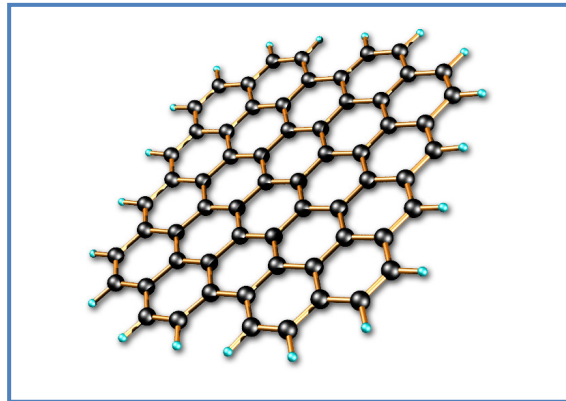


Diagram 2.3. Reflektion som funktion av frekvens för en multilagerstruktur enligt figur 2.3.

### 2.1.2 Grafen

Projektet har inlett studier om grafen som förlustmaterial i radarabsorberande plastkompositer. Grafen är ett material som består av en hexagonal kolstruktur med en tjocklek av ett atomskikt. Grafen är ett av de mekaniskt starkaste material som för närvarande finns. Se figur 2.4.



Figur 2.4 Schematisk bild av grafen.

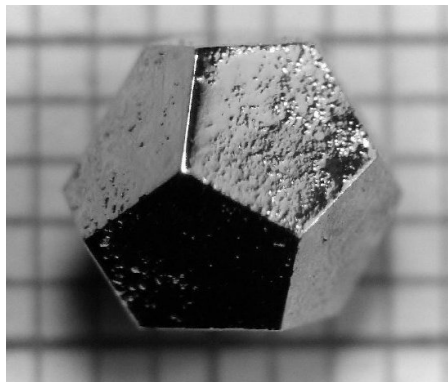
En liten mängd grafen som tillsätts polymerer kan förändra deras egenskaper påtagligt. 0,5 promille grafen gör plasten upp till 30 °C värmetåligare, och så lite som 0,1 promille gör den drygt 30 procent styvare.

Strukturen medför också att materialet får mycket extrem elektrisk ledningsförmåga. Grafens mikrovågsegenskaper är idag mycket lite undersökt. Eventuella tillämpningar kan vara förlust-/ledande skikt i multilagerabsorbenter. Dess goda hållfasthetsegenskaper kan i så fall kunna utnyttjas i lastbärande radarabsorbenter för olika plattformar, vilka då skulle kunna få lägre vikt alternativt bättre prestanda.

Under nästa år kommer EMPA att tillverka kompositer med grafen som projektet kommer att mäta, analysera och utvärdera.

### 2.1.3 Kvasikristallina material

Kvasikristallina material upptäcktes 1982. Kvasikristallerna har till skillnad från vanliga kristaller inte någon periodicitet. Kvasikristallina material kan ha en gitterstruktur i form av pentagoner som bildar sfärer vilket gör att man inte får någon periodicitet. I figur 2.5 visas ett exempel på ett kvasikristallint material [2]. Det är ett enkristallint korn med 12 geometriskt lika stora sidor i form av pentagoner av kvasikristallint Ho-Mg-Zn. Storleken på kornet är knappt 1 cm.



Figur 2.5. Bild på ett kvasikristallint material.

Kvasikristallina material är vanligtvis mycket hårda men dessutom relativt spröda. En annan användbar egenskap som materialet har är en låg friktionskoefficient. De är dessutom stabila även vid temperaturer upp till flera hundra grader Celsius. Ur signatursynpunkt är materialens elektriska egenskaper av stort intresse. Dessa egenskaper är starkt beroende av materialkomposition och av temperaturen. De elektriska och magnetiska egenskaperna för kvasikristallina material liknar halvledare. Kvasikristallernas egenskaper och deras beroende av materialstrukturen medför att materialen har stor potential som förlustmaterial i radarabsorbenter. Genom att välja lämpliga materialkompositioner ökar förutsättningen att designa och optimera radarabsorbenter för olika plattformstillsämpningar.

Mycket få studier rörande kvasikristallina materials mikrovågsegenskaper har gjorts. Under året har projektet analyserat tidigare mätdata på kvasikristallina material. Analyserna visar att de studerade materialen uppvisar relativt måttliga radarabsorberande egenskaper, men att det troligen finns andra kvasikristaller med bättre egenskaper.

## 2.2 Spektral design genom struktur/material

Det kan vara intressant att fundera över hur biologiska och naturliga material kan inspirera till framtida signaturmaterial. Inom många områden hämtas inspiration och lösningar just inom biologin, för att sedan lösa tekniska problem inom andra tillämpningar. Det handlar då om biomimetik.

Biomimetik kan tillämpas också för kamouflage och signaturanpassning. Motivet är att skydda soldat och fordon genom att använda kamouflage. Genom att göra dem mer svårupptäckta kan man vinna tid. Kamouflage behövs för olika miljöer och omgivningar, det kan behövas olika funktioner i olika klimat och olika sensorer. Man kan önska att det handlar om att bli osynlig, men det handlar mer om att bli mindre synlig.

Med den senaste teknikutvecklingen där sensorer blir allt mer lättillgängliga och billiga ökar också behovet av nya material för olika funktioner, bland annat lågemissiva material och diffust spridande ytor. En yta som har låg emission kan ha det genom materialval, men också färgen kan påverka. Till exempel är vita ytor ofta lågemissiva. Och för den typen av ytor finns inspiration att hämta i naturen.

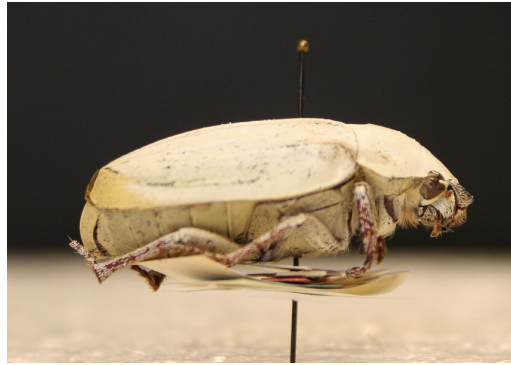
Naturliga strukturer är ofta byggda av enkla material, men dessa kombineras på en mängd olika sätt i olika strukturer, som långt överträffar det människan än så länge kan göra i labb.

Det pågår mycket forskning kring moderna material. Man gör hela tiden framsteg när det gäller design av nya funktioner och material. Exempel på material som man försöker efterlikna och tillämpa inom andra områden men som också återfinns i naturen är:

- fotonkristaller i påfågelfjädern, inga pigment bygger upp färgerna, utan regelbundna repetitiva strukturer i storleksordning av våglängder för färgen på det reflekterade ljuset.
- pärlemor i mussel- och snäckskal, skimrande hållfasta nanostrukturer
- flugögats facettkonstruktion.

Den vita skalbaggen *Cyphochilus insulanus*, se figur 2.6, med ursprung i Sydostasien har bl.a. inspirerat till att göra papper vitare och mera diffust reflekterande. Tack vare den speciella strukturen kan den trots sina tunna skal återge en unikt hög grad av vithet i kombination med att ytan är extremt diffust reflekterande.

I en del tillämpningar är både vithet och diffus reflektion intressanta.



Figur 2.6. Foto på *Cyphochilus insulanus*

Frågan är om vi för signaturanpassningstillämpningar kan lära oss något av naturen för att skapa osynliga ytor, eller i alla fall mindre synliga? Inom projektet Signaturmaterial studerar vi därför spridnings- och polarisationsegenskaper hos naturliga strukturer. Ett arbete om detta presenterades vid American Vacuum Society (AVS) 58th Conference i Nashville, 2011. Se diagram 2.4.

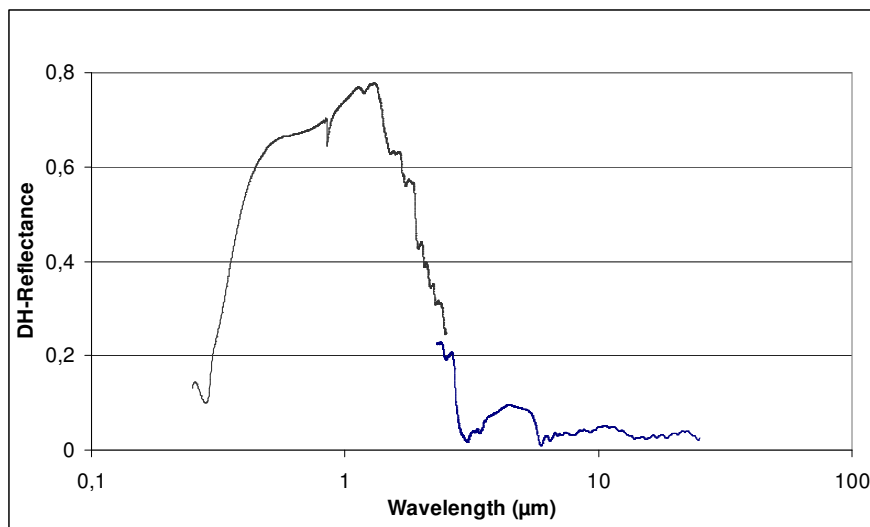


Diagram 2.4. Reflektion som funktion av våglängd för *Cyphochilus insulanus*

*Cyphochilus insulanus* har en relativt hög diffus reflektion om 60-75% inom det synliga och nära infraröda området. I IR går reflektansen ner mot ca 15%. Skalbaggen visar sig ha näst intill fullständigt diffust spridande egenskaper (Lambert-spridare) i det synliga området. Likheter med vitt skrivmaskinspapper har också studerats. I IR var spridningen betydligt mer spekulär, om än mycket diffus. Låga BRDF-nivåer erhöles både visuellt och inom IR-området. Också de depolariserande egenskaperna undersöktes för *Cyphochilus insulanus*. Skalbaggen polariserar ljus linjärt, i övrigt som ett vanligt dielektriskt material.



### **3 NATO-GRUPP SCI-230**

#### **Advanced Materials, systems and Evaluation Methods for Adaptive Camouflage**

##### **Beskrivning av projektet och varför vi deltar**

En låg signatur minskar risken för upptäckt, identifiering, klassificering och bekämpning. I vårt flexibla insatsförsvaret finns ibland behov av att snabbt kunna förändra signaturen med hänsyn till uppdrag, hotbild, terräng, ljusförhållanden och väder. Det alternativ till adaptivt kamouflage som nu används är utbytbara system, som måste lagerhållas i varianter för alla tänkbara insatsområden, till hög kostnad. Många Europiska länder, vars styrkor tjänstgör i länder med annorlunda miljö och klimat, har likartade behov. Utveckling och studier av ny teknik kan göras mer kostnadseffektivt i samarbete med andra.

Sverige deltar därför i gruppen "Advanced Materials, Systems and Evaluation Methods for Adaptive Camouflage" inom NATO:s forsknings- och teknikutvecklingsorganisation RTO. Det svenska deltagandet finansieras av projektet Signaturmaterial

Gruppen studerar adaptivt kamouflage för förmågan att på kort varsel kunna verka i på förhand okänd omgivning. Samtliga deltagande länder har trupp i Afghanistan, som därför ofta får tjäna som exempel när behoven diskuteras, men de material, system och metoder som studeras skall vara tillämpliga i olika miljöer.

Projektet är 3-årigt med formell start 1 januari 2011 och slut 30 december 2013. Fokus ligger på markarenan (fordon och soldater) och skydd i visuellt, nära-IR (NVG) och termisk IR. Projektet kan hantera hemlig information upp till NATO Confidential. Endast statliga institutioner deltar. Deltagande länder: Sverige, Tyskland, Estland, Tjeckien, Rumänien, Polen.

Gruppen SCI-230 avser att demonstrera adaptibilitet vid en fältdemonstration preliminärt i Rumänien hösten 2013. Förutom studier av tillgängliga material tillverkas nya avancerade material och strukturer, vidare används modellering och simulering. Inom projektet utvecklas också evalueringsmetoder för främst modelleringen.

### **Koppling till operativ nytta och interoperabilitet**

Gruppen studerar system avsedda att öka skyddet för soldater i en föränderlig insatsmiljö.

Samverkan mellan flera länder som med sina erfarenheter från Afghanistan bidrar med sina behovsanalyser i framtagandet av kravspecifikationer på materiel som ska kunna användas interoperabelt ger en fördel. Nya evalueringsmetoder ska tas fram, vilka ska kunna användas av alla länder vid värdering av materiel inför inköp.

Inom projektet "Signaturmaterial" ryms inte tillverkning av material, det görs istället av andra länder; Estland, Tyskland och Tjeckien har tillverkningsresurser av hög klass. Sverige kan, till en låg kostnad, leda andra länders egenfinansierade arbete och få del av material och kompetens.

Att flera NATO-länder vill ha med Sverige i gruppen och dessutom anser att vi bör leda den, visar att vi är internationellt framstående.

### **Nytta för Sverige:**

Genom samarbetet får vi, med en tämligen begränsad egen arbetsinsats, tillgång till andra länders kompetens, material och arbetskraft. Som ordförande har vi stora möjligheter att inrikta projektet och få en bra utväxling på de pengar vi satsar. Samarbetet säkrar fortsatt nationell grundkompetens.

Vi befäster vår roll som en viktig del i ett europeiskt nätverk inom signaturområdet.

Genom att veta vad framtida flexibla material kan komma att prestera kan vi stödja FMV vid kravsättning. FMV får tillgång till värderingskompetens inför upphandlingar.

Deltagandet gör oss till en attraktiv samarbetspartner för framtida projekt.

## 4 FORSKNINGSPRODUKTION

### Vetenskapligt

- Posterpresentation om optiska studier av *Cyphochilus insulanus* vid Workshop on Spectroscopic Ellipsometry (WSE), Berlin
- FOI MEMO "Microwave characterisation of nonocomposites with MWCNT in epoxy"
- Artikel accepterad och publicerad, Thin Solid Films: "Optical properties and switching of a Rose Bengal derivative: A spectroscopic ellipsometry study"
- Artikel accepterad och publicerad, Chemical Physics: "The electronic structure and reflectivity of PEDOT:PSS from density functional theory"
- Informationssystemens avdelningskonferens, IS 2011, 3 bidrag:
  - IR measurements and calculations on textiles for signature management
  - Varför är FOI med i NATO-grupper?
  - Studies of Natural Structures - Scattering and Polarization Properties (Erhöll pris som konferensens bästa bidrag)
- Skickat material för THz-mätning vid J Wollam Co. / University of Nebraska, ett intressant men föga utforskat våglängdsområde mellan IR och mikrovågor. Mätningarna utförs med världens bästa instrument för denna tillämpning.
- Muntlig presentation om spridning och polarisationsegenskaper hos *Cyphochilus insulanus* vid AVS 58th konferens, Nashville, USA
- Projektet har bistått FMV med vetenskapligt stöd vid konferensen "2011 MIT (Massachusetts Institute of Technology) Research & Development Conference", 2011-11-15—2011-11-16 i Cambridge, USA. Denna anordnas inom MIT's Industrial Liaison Program (ILP) i vilket FMV deltar. Vid konferensen presenterades MIT's spetsforskning och tekniska tillämpningar med fokus på material. Exempel på områden som presenterades var Materials for Extreme Environments, Unmanned Vehicles - Air, Land, and Sea samt Medical Electronic Devices.
- Projektet kommer närvara vid konferensen "MRS (Materials Research Society) Fall Meeting & Exhibit" 2011-11-28—2011-12-02 i Boston, USA. Vid konferensen presenteras den senaste materialforskningen inom ett mycket brett fält. Några områden av särskilt intresse för signaturmaterial är Material för fotonik, magnetoelektriska kompositer, formbara material för elektronik och fotonik, stora ytstrukturer för elektronik och optik, multifunktionella material, elektroniska och optiska egenskaper hos kol-nanotuber och grafen.

- Projektet har bistått FMV med vetenskapligt stöd vid konferensen ”2011 MIT (Massachusetts Institute of Technology) Research & Development Conference”, 2011-11-15—2011-11-16 i Cambridge, USA. Denna anordnas inom MIT’s Industrial Liaison Program (ILP) i vilket FMV deltar. Vid konferensen presenterades MIT’s spetsforskning och tekniska tillämpningar med fokus på material. Exempel på områden som presenterades var Materials for Extreme Environments, Unmanned Vehicles - Air, Land, and Sea samt Medical Electronic Devices.

### **Kundorienterat**

- Möte i NATO-grupp SCI-230, Tallinn, februari
- Samtal med Saab Barracuda om gemensamma intressen för framtida projekt
- Möte med MSS, Kvarn för diskussioner om Försvarets behov av framtida soldatsystem.
- Möte i NATO-grupp SCI-230, Ettlingen, Tyskland
- SAT-symposium, FHS
- Projektet har bistått FMV med vetenskapligt stöd vid studiebesök på MIT, 2011-11-17—2011-11-18. Studiebesöken, som anordnades inom MIT’s ILP (se punkt ovan), var speciellt anpassade för FMV’s intressen. Av särskilt intresse för signaturmaterial var besök vid Institute for Soldier Nanotechnology, föredrag rörande metamaterial (både elektromagnetiska och akustiska) samt föredrag om fibermaterial med olje- och vattenavstötande egenskaper.
- Projektinternat tillsammans med projektet ”Soldatens IPE@2020”. Forskning till stöd för framtida materiel för skydd av soldat diskuterades.
- Besök på Försvaretsfordonsmuseum, Strängnäs
- Besök på Ing2, Eksjö
- Besök på MSS, Skövde
- Möte med FoT-gruppsordförande Fredrik Hjortsberg
- Möte i NATO-grupp SCI-230, Brno, Tjeckien
- Studiebesök: expertstöd till FMV besök vid MIT 4-5 okt 2011, Tema energi
- Presentation: 11 nov vid Nanotechnologies for the Soldier workshop, Bisley, UK

## 5 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Under det senaste decenniet har en viss öppning skett kring forskning rörande signaturmaterial, främst inom EU. En förutsättning att få tillgång till denna forskning är dock att den egna kompetensen bedöms vara på en hög nivå.

Eftersom det är svårt att uppnå en hög vetenskaplig nivå inom breda områden har projektet fokuserats på några smala områden, för att på detta sätt få tillgång till internationell kompetens inom andra områden.

Några trender som kommer att påverka framtida signaturmaterial är bl.a. nya typer av material. Inom mikrovågsområdet har exempelvis nanostrukturella material, grafen och kvasikristallina material stor potential som förlustmaterial i radarabsorbenter. Inom det optroniska området kan nämnas spektral design genom struktur/material från biologiska och naturliga material, biomimetik. Genom att använda nya typer av material förutses mer effektiva signaturmaterial med lägre vikt och volym.

Under året har projektet uppnått följande effekter:

- Hög vetenskaplig nivå
- Internationell bevakning av området
- Internationella samarbeten
- Samverkan med UoH
- Avtappning av kunskap till FM, FMV och svensk försvarsindustri
- Avtappning till forskarsamhället genom artiklar och konferenser

Utvecklingen av nya avancerade material, som har potential att ingå i olika signaturreducerande materialstrukturer, går starkt framåt. Verksamheten bör därför i framtiden fokuseras på:

- Nationell och internationell bevakning av området genom samarbeten med forskningsinstitut och UoH.
- Genom hög vetenskaplig nivå inom några smala områden, säkra kvaliteten samt få tillgång till internationella nätverk och information
- Multispektral och adaptiv signaturanpassning
- Studier av material, system och metoder avsedda att öka skyddet för soldater i en föränderlig insatsmiljö
- Mer tyngd mot skyddet av enskilda exponerade soldater
- Avtappning av kunskap till FM, FMV

Genom att upprätthålla en hög adekvat kompetens inom området signaturmaterial får försvarsmakten och svensk försvarsindustri kunskap om framtida nya flexibla material och FMV får tillgång till oberoende värderingskompetens inför upphandlingar.

## 6 REFERENSER

- [1] Ousbäck, J-O, Savage S., "Microwave characterization of nanocomposites with MWCNT in epoxy", FOI MEMO 3519, Mars 2011.
- [2] Almén S., "Kvasikristallint material som radarabsorbent", Examensarbete vid LiU, 2001.