Signaturmaterial 2014

Verksamhetsrapport

H. KARIIS, K. ANDERSSON, Å. ANDERSSON,
T. HALLBERG, A. POHL, S.J. SAVAGE, C. ÅKERLIND

FOI-R--4021--SE
ISSN 1650-1942 December 2014

H. Kariis, K. Andersson, Å. Andersson,
T. Hallberg, A. Pohl, S.J. Savage, C. Åkerlind

Signaturmaterial 2014

Verksamhetsrapport

HMS President (byggd 1918) och nu ommålad av konstnären Rehberger förtöjd på Themsen i London. Exempel på vildeledning. (© Savage 2014)

Titel	Signaturmaterial 2014 - verksamhetsrapport
Title	Signature materials – annual report
Rapportnr/Report no	FOI-R--4021--SE
Månad/Month	Dec
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	34 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	7. Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Sensorer och signaturannpassning
Projektnr/Project no	E54542
Godkänd av/Approved by	
Ansvarig avdelning	STS

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.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729).
Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Projektet ”Signaturmaterial” bevakar den civila och militära utvecklingen inom materielteknik med potential för förbättrad signaturanpassning inom alla militärt relevanta våglängdsområden i det elektromagnetiska spektrat. Denna rapport beskriver den aktuella utvecklingen i allmänhet, men särskilt fokuseras på:

- Biomimetiska material, där man försöker efterlikna och förbättra naturliga material och strukturer, för en spektral design som bättre matchar bakgrunden.
- Grafen, ett nytt, tunt, lätt, genomskinligt, elektriskt och termiskt ledande, starkt och nobelprisbelönat material med stor framtidspotential, för lättare materiel.
- Textila material, där den snabba utvecklingen av material för sport- och fritidsbranschen även kan vara till militär nytta, för lägre signatur, bättre temperaturreglering och inbyggda elektriska ledningar.

Kort beskrivs även den forskning FOI själv driver, huvudsakligen i syfte att upprätthålla kompetens och högt internationellt anseende på området. De internationella samarbeten på området där vi deltar beskrivs också.

Nyckelord: signaturmaterial, kamouflage, material, styrbarhet, optik, radar

Summary

The project ”Signature materials” is assigned the task to monitor the field of materials science with potential for improved signature management within all military relevant spectral regions. The monitoring is wide, but in this report special emphasis is put on:

- Biomimetic materials, to use inspiration from nature to mimic or improve natural materials and structures. The aim is to obtain a spectral design that fits the background better.
- Graphene, a new, thin, light-weight, optically transparent, electrically and thermally conductive, strong material with huge potential for future products.
- Textile materials, where the rapid development in the sports and leisure sector can be utilized also for military benefit. Examples are lower signature, better thermal regulation and integrated electrical wiring.

The research conducted at FOI and the international collaborations we are involved in is only briefly described. The main purpose of these activities is the preserve competence and international reputation in the field.

Keywords: signature, camouflage, materials, adaptive, optics, radar

Innehållsförteckning

1 Inledning 7

2 Omvärldsbevakning 8

2.1 Materialteknik ... 8

2.1.1 Biomimetiska material ... 8
2.1.2 Biomimetik i Sverige ... 9
2.1.3 Internationella program och företag ... 10
2.1.4 Grafen ... 12
2.1.5 Elektrokroma, termokroma och mekanokroma material ... 13
2.1.6 Textila material ... 15

2.2 Konferensdeltagande ... 19

2.2.1 FMV Sensorsymposium ... 19
2.2.2 Soldatsystemkonferens, Berlin ... 19
2.2.3 Saab Barracuda Customer Conference, Västervik, 20-22 maj ... 20
2.2.4 Spie-Remote Sensing & Security and Defence Technologies ... 20
2.2.5 Soldier Technology 2014 ... 20
2.2.6 Farnborough Airshow ... 21
2.2.7 Advanced functional materials 2014 ... 22
2.2.8 NATO Future Forces utställning & konferens ... 22
2.2.9 NORDEFCO-möte i Stockholm ... 23
2.2.10 Infomöte avseende soldatsystem ... 24
2.2.11 Workshop: Frekvensselektiva ytor och Antennteknik ... 24
2.2.12 Estlands-Svenskt seminarium om signaturteknik ... 24
2.2.13 Möte med QinetiQ ... 24

2.3 NATO samarbeten ... 25

2.3.1 Adaptivt kamouflage ... 25
2.3.2 Kamouflage i djungelmiljö ... 25
2.3.3 Kamouflage i operationell kontext ... 25

2.4 EDA samarbeten ... 25

2.4.1 CAPTech Materials & Structures ... 25
2.4.2 ACAMS ... 25
2.4.3 ALOMAS ... 26

3 Samarbeten med UoH 27

3.1 Linköpings Universitet ... 27

3.2 Försvarshögskolan, FHS ... 27

3.3 Högskolan i Borås ... 27

4 Framtida arbete 29

4.1 Verksamhetsplan 2015 ... 29

4.2 Kommande konferenser ... 29

5 Diskussion 31

6 Referenser 32

1 Inledning

Försvarsmaktens behov av signaturanpassning förändras. Utvecklingen av nya hotsensorer och den ökande spridningen av avancerade sensorer ökar risken för upptäckt av svenska förband, både i Sverige och vid internationella insatser. Våglängdsområden som tidigare betraktats som ofarliga måste nu beaktas.

Både civilt och militärt sker en snabb utveckling inom materialteknikområdet. Genom att fånga upp internationella utvecklingstrender kan kunskap byggas för bättre signaturanpassning. Material för flexibel signaturanpassning kan ge våra förband bättre skydd och ökad rörlighet. Kunskap behövs för att ha en adekvat signaturanpassning i varierande klimat, hotbilder och bakgrunder samt ha möjlighet att förändra sin signatur när uppdragets art förändras. Oberoende inhemsk kunskap om vad som är möjligt att åstadkomma med moderna material krävs för en oberoende värdering av materiel inför upphandling, vilket kan ge en lägre kostnad.

I denna rapport har några intressanta materialkoncept, där utvecklingen är snabb, valts ut för närmare studier. Framtida militär nytta med dessa diskuteras. Vår förhoppning är att kunskapen ska komma till nytta vid kravsättningsarbete inför anskaffning av ny materiel, men även för värdering av sensorer och i förekommande fall utveckling av ny materiel, eventuellt i samverkan med andra.

I bevakningsarbetet har ett antal konferenser, såväl militära som civila, besökts. Viktiga lärdomar från dessa redovisas i ett kapitel.

Kort beskrivs också det forskningsarbete vi själva gjort på FOI under året, huvudsakligen i samverkan med universitet och högskolor. Viktiga syften med detta arbete är att få en extern kvalitetsstämpel, bli en attraktiv samarbetspartner i internationella projekt och en respekterad samtalspartner på internationella konferenser och därmed erhålla information om andras nuvarande och framtida aktiviteter på signaturmaterialområdet. De internationella samarbeten vi under året medverkat i beskrivs också.

2 Omvärldsbevakning

Ett viktigt syfte med signaturmaterialprojektet är att bevaka det vetenskapliga, tekniska och taktiska framsteg som görs i Sverige och utomlands. Detta görs genom litteratursökningar, deltagande i nationella och internationella sammankomster (vetenskapliga konferenser, workshops, symposier och dyl.) och direkt samarbete med svenska universitet och högskolor och i arbetsgrupper inom NATO och EDA.

Områdena materialvetenskap och materialteknik upplever en snabb förändringstakt tack vara de stora summor som investeras genom olika vetenskapliga organisationer, stora program såsom EU:s Horisont 2020, statliga organ som VINNOVA och privat industri. Drivkraften för dessa investeringar kommer från de stora samhälleliga behoven inom energiförsörjning, transport (särskilt flygsektorn), hälsa och sjukvård och miljö, sport och fritid, elektronisk kommunikation och de möjligheter som ny och framväxande teknologier som nanoteknik, grafen och informationsteknologier tillsammans erbjuder.

P.g.a. områdets stora bredd är det inte möjligt att bevaka hela fältet samtidigt, varför prioriteringar görs. I år har några synnerligen aktuella teknikområdet studerats: biomimetiska material, grafen, elektrokroma material och avancerade textila material. Andra intressanta områden kommer att studeras under 2015-2016.

2.1 Materialteknik

2.1.1 Biomimetiska material

Biomimetik handlar om att inspireras av naturen, lära av den, efterapa den och ibland förändra den. Biomimetik har funnits inom vetenskapen sedan 1950-talet (Otto Schmitt myntade begreppet)[1],[2] och är inriktat på ingenjörskonst och ibland på att manipulera naturen. Biomimetik blandas ibland ihop med eller likställs med biomimik. Biomimik å andra sidan (eng. biomimicry, myntades av Janine Benyus på 1980-talet) är mer inriktat att inspireras av naturens design och processer i försök att lösa mänskliga problem och skapa hållbarhet och resurssnåla miljöer. Att bara efterlikna naturen kallas biomorfologi.

Arkitekten Anna Maria Orrus är en av få som arbetar professionellt med biomimik i Sverige. Hon har introducerat ämnet vid flera lärosäten. Hon menar att biomimik kan handla om att imitera livcykler i naturen. Till exempel har man inspirerats av skalbaggen *Stenocara gracilipes* och dess förmåga att förse sig med vatten, genom att kondensera morgondimma på sin ojämna sköld vänd mot solen, och sedan låta vattnet rinna ner i en skål under munnen. Skalbaggen har inspirerat till The Sahara Forest Project och hållbar arkitektur för att förvandla öken till en grön oas. Arbetet med biomimik genomförs på tre nivåer, efter att ha identifierat problemet: form, system och process.[3]

Vi tillåter oss här att vara generösa i tolkningen av biomimetik och stannar vid att inspireras av naturen. Om vi här begränsar oss till enbart fenomen för vilka det finns uppenbart intresse och nytta för signaturanpassningsteknik och signaturmaterial – dvs. exempel på hur material interagerar med elektromagnetisk strålning, förloras många av fördelarna och vinsterna med att tänka biomimetik. Genom att tänka i vidare banor och söka lösning på flera problem samtidigt, där flera funktioner kan kombineras, först då blir det riktigt intressant med biomimetik. Exempel kan vara signaturanpassning kombinerat med t.ex. självsanerande funktion eller temperaturreglering. Även vatten och energiförsörjning kan utgöra tillämpningar.

Att inspireras av naturen är inget nytt inom forskningen. Redan Leonardo da Vinci hämtade inspiration till sina uppfinningar i naturen, så som flygmaskiner och fartyg.[4]

Julian Vincent, hade tittat på tallkottar (icke-levande system vilka ändrar form med avseende på fuktighet), när han 2004 utvecklade smarta kläder som anpassar sig till en förändrad temperatur. Tyget öppnar upp när bäraren är varm och svettas, men stänger till tätt när det är kallt.[5],[6],[7],[8] För att inte tillintetgöra effekten av material för IR-signaturanpassning bör beläggningar göras självrengörande. Detta kan numera göras genom att kopiera mekanismen från lotusblomman, som brukar betraktas som mycket ren pga. sin smutsavvisande struktur och förmåga.[9] Färger baserade på nanostrukturer så som i fjärilsvingar bleknar inte. Att producera lysande färger är något Greg Parker, professor i elektronik och datavetenskap vid University of Southampton[10] och forskningsstuderande Luca Plattner i fotonikområdet, ägnat sig åt.[11] Platter har fabricerat optiska strukturer med hjälp av kiselbaserade material och mikroelektronik-processer.[12]

Det finns åtskilliga exempel på system inom biologin där utseendet eller ljusets interaktion med material spelar en viktig roll. Detta är viktiga parametrar inom signaturanpassning och signaturmaterial.

För att arbeta med biomimetik måste man först ha förståelse för biologin. Många har studerat optiska egenskaper i naturen av olika anledning; för att beskriva, förstå[13],[14],[15], eller för att hitta inspiration till lösningar på andra problem[16]-[17]eller öka funktionalitet i artificiella tillämpningar. Det kan handla om fotonkristaller eller periodiska dielektriska strukturer från naturen som kan användas i elektroniska eller optiska system. Till exempel har fjärilsvingen använts för att göra stora replikor med periodiska struktur av ZrO_2 för tillämpningar inom optikteknologi[18]**.** Ett annat exempel är de reflekterande skalen på vingarna hos fjärilen *Argyrophorus argenteus* som är bredbandigt reflekterande. Dessa har blivit uppskalade med endast en tjocklek av < 1µm och studerats med mikrovågor[19]. Även cicadavingar har studerats då de har en kamouflageliknade anti-reflektionsfunktion[20] vilken har imiterats för at användas inom solcellsteknik, men då med oorganiska material[21]. Den vita skalbaggen *Cyphochilus* har studerats[22],[23],[24] och inspiration hämtas från den till tunna bredbandigt vita ytor, tex i papper[25] eller tyg[26].

Länge har kameleonten varit symbol för adaptivt kamouflage. Bläckfisk finns som kan producera dynamisk adaptiv strukturell färg och samtidigt förändring i polarisationsvinkel.[27]

I de tre steg som sammanfattar vägen från bio-organism till biomimetiskt material: Strukturkaraktärisering, optisk karaktärisering och sedan fabrikationsmetoder, har mycket arbete utförts främst i de första stegen. Inom fabricering finns dock ett antal fungerande koncept utvecklade så som biomorfisk mineralisering, användning av mall eller depositionsteknik och inte minst litografi, självorganiserande metoder eller 3D-skrivare.[28]

Värt att notera är att biologiska material är baserade på några få enkla grundläggande substanser, men de otaliga strukturer de kombineras i är fascinerande. De senaste åren har materialvetenskapen utvecklats enormt. Ett exempel är nanotekniken, som, kombinerad med förmågan att designa och tillverka material i små konstruktioner, gör det troligt att framtida landvinningar finns i gränslandet mellan biologiska strukturer och avancerade materialkombinationer.

2.1.2 Biomimetik i Sverige

Under några år pågick intensiv forskning genom ett svenskt multidiciplinärt center Biomime ™ ***(****The Swedish Center for Biomimetic Fiber Engineering)* Biomime var ett samarbete mellan KTH[29], SFTI Packforsk AB, Umeå Center för plantvetenskap och siftelsen för strategisk forskning. Just nu är centret vilande då det saknar finansiering. Inom Biomime skulle man studera hur cellulosa bildas i cellväggar. Genom att imitera naturen och använda kunskapen om ”*self-assembley macromolecules*” kan nya kompositmaterial skräddarsy för framtida intelligenta nanomaterial och tillämpningar inom tex förpackningar, biosensorer och medicinska applikationer så som sårbehandling, etc.

Fibermodifierad teknik kan också användas för att skapa vattenavvisande ytor eller magnetisk cellulosa. Energieffektivitet och energialstring är förstås andra områden som är mycket intressanta ur ett militärt generellt hänseende. Att inspireras av naturen löser inget i sig, men det finns möjlighet till mulitfunktionalitet och energieffektivitet. Lättare och energisnålare lösningar är möjliga. Doktorandskolan uppges leva något år till.[30]

Swedish Biomimetics 3000® startades för ca ett decennium sedan av Lars Uno Larsson. Han såg en betydande kommersiell potential inom området biomimetik, ett vetenskapliga fält under utveckling i ett omedelbart behov av ett strukturerad kommersiell utvecklingsprogram.

Uppdraget svenska BIOMIMETIK 3000 ® ser sig ha är att finansiera och främja forskning av biomimetiska koncept till den punkt där de anses vara kommersiella kandidater. Målet är att bygga ett globalt portföljföretag baserat på banbrytande biomimetisk teknik.[31]

2.1.2.1 Politiska uttalanden

I ett uttalande av Sveriges nya (2014) klimat- och miljöminister Åsa Romson (MP) uttrycker hon sig positivt om biomimetik som forskningsområde. För att lösa dagens globala utmaningar behövs mer forskning om biologiska system och studier i att härma naturens lösningar. [32]

2.1.2.2 Försvarshögskolan

I en rapport från försvarshögskolan[33], rapporterar man förutsättningar för militär nytta år 2040 med några framtida teknologier, baserat på underlag från Fraunhoferinstitutet. Man rapporter bland annat att bio-inspirerade adaptivt kamouflage har en signifikant potential för framtida militär nytta.

2.1.3 Internationella program och företag

Bikon är ett internationellt verk som samlar intressenter för biomimetik och har idag ett 100-tal medlemmar från hela världen, varav tre från Sverige.[34]

- Prof. Dr. Vincent Nierstrasz, University of Boras, Swedish School of Textiles | Borås, Sweden
- Mr Daniel Lexen, Volvo Technology Corporation, Goteborg, Sweden
- Mr Lars-Uno Larsson, Swedish Biomimetics 3000® AB, Stockholm, Sweden

En dansk[35] hemsida om biomimetik drivs i samarbete med Wixia Web Ltd av Thomas Hesselberg, disputerad 2006 vid Centre for Biomimetics and Natural Technologies vid Universitet i Bath. På hemsidan finns listade flera forskningsgrupper som har fokus på biomimetik. Här följer några av dem:

- Technical University of Denmark - Lenau's Group, biomimetiska ytor och intelligenta material och mikro/nanostrukturer[36]
- Universidad de Los Andes, Colombia – “The Smart Design Group Inspired by Nature”, interdiciplinär forskning, desgin och arkitektur.
- Delft Technical University Holland - The Delfly Project, Utveckling av mikroluftfarkoster, insekters kinematik och kontrollsystem.
- European Space Agency, ACT, Biomimetics. biomimetik för rymdteknologi.
- Italien, Grekland, Schweiz och Storbritannien finns universitetsgrupper som intresserar sig för biomietik och robotik.

I Storbritannien finns flera grupper inriktade på biomimetik:

- University of Bath - Centre for Biomimetics and Natural Technology. Biomimetisk materialvetenskap, biologisk inspirerad robotteknologi och biologiska innovationsredskap, komparativ biomekanik hos plantor och djur.[37]
- University of Reading - Centre for Biomimetics. Biomimetisk materialvetenskap (gel , textur på mat, smarta textilier, trä, stärkelse och ben) och biologiska sensororgan (insekter).[38]
- Elumotion, robotar[39]
- Oxford Biomaterials Limited spidrox- silke, sårläkning[40]

I Tyskland finns sex institutioner med inriktning biomimetik

- Bremen University of Applied Sciences - School of Bionic., Biobränsle, kompositmaterial och marin biomimetik.[41]
- University of Freiburg- Plant Biomechanics Group, biologiska material, konstgjord framställning av fibrer och självreparerande strukturer.[42]
- Technical University of Berlin, Institute of Bionics and Evolutionary Technology. Neurala nätverk, fåglars kinematic och morfologi.[43]
- Technical University of Dresden- Institute of Botanics. Lotus Effekt, självrengörande ytor.[44]
- Max-Planck-Institute for Metals Research Stuttgart- Evolutionary Biomaterials Group, vidhäftning, insekter – funktionella ytor[45]
- Teknisk Universitet i München - Leonardo da Vinci Center for Bioni, biosensorer, flygmembran, solceller, robotik[46]
- EvoLogics GmbH fokus på marin biomimetik (propellrar och fenor)[47]

I en rapport från Frauenhofer institutet går att läsa ut ett intresse för att efterlikna funktion hos några djurarter: kamelont, zebrafisk och bläckfisk, vilka har en förmåga att smälta in mot bakgrunden genom att ändra sin färg och ytstruktur.

Ett enkelt modellsystem för ett motsvarande adaptivt system bör innehålla ett detektionssystem, info och kontrollsystem samt ett kamouflagesystem. Detta föreslås vara realiserbart med elektroaktiva polymerer.

Ett urval av verksamheter i USA:

- Stanford Univsersity - Biomimetic Robotics(autonoma)
- Northeastern University- Biomimetic Underwater Robot Program –RoboLobster, kombination av biomekanisk och neurobiologisk forskning.
- Case Western Reserve University - The Biologically Inspired Robotics Lab - Whegs robotar.
- Georgia Institute of Technology- Center for biologically inspired design, Interdiciplinärt center, biomimetiska material och sensorer samt robotrörelse[48]
- Lewis and Clark College - Autumn's Lab – biomimetisk geckoödla.
- University of Washington- Biomimetics and NanoComposite Materials Research Group, nya material baserat på nanoteknik och molekylärbiomimetiska metoder, biosensorer.[49]
- Biomimetic Connections, LLC, konsultbolad som använder biomimetik som innovationsredskap vid rådgivning inom produktion.
- Iguana Robotics, Inc., utvecklar viologiskt inspirerad avancerad robotteknik
- PAX Scientifics. , innovativ teknik baserad på biomimetic, strömlinjeformad teknologi[50]

Biomimetic systems[51], med expertis inom akustik, signalbehandling och analog design, inspireras man av biologisk fysiologi för att hitta lösningar till problem inom området

akustiska sensorer. Exempel på tillämpningsområden är robotik och lokalisering av prickskyttar.

Nytta med biomimetik:
Spektral design för bättre matchning till olika bakgrunder
Smutsavstötande ytor för bibehållen signaturanpassning i smuts
Adaptivt camouflage genom färgförändring

2.1.4 Grafen

Grafen har uppmärksammats av ett stort antal forskargrupper runt om i världen och inte minst i Europa där inom ramprogrammen FP7/H2020 EU:s finansieras den största enskilda satsning på ett enda material inom ramen för det tio-åriga flaggskeppsprojektet Graphene[52]. Anledningen till den stora uppmärksamheten är grafens unika kombination av en rad olika mekaniska, elektroniska, optiska, fysikaliska och kemiska egenskaper i ett material som är mycket tunn (ca 0.1 nm) och med låg densitet. Denna egenskapskombination väcker stora förhoppningar för utvecklande av s.k. multifunktionella material för en lång rad civila och millitära tillämpningar. Som exempel kan citeras strukturella material med högre skadetålighet, högre elasticitet och bättre termisk och elektriskledningsförmågor, material inom högfrekvens och höghastighetselektronik för radarkomponenter och nya material för sensorer inkl. elektrooptiska och kemiska komponenter.

Även i Sverige sker en nationell satsning inom grafen-teknologiområdet genom VINNOVAs investering i strategiska innovationsområdet grafen[53]. Inom ramen för projektet har FOI samarbetat med Chalmers tekniska högskolan för att SIO-grafen bli finansierad, och kommer fortsättningsvis att verka för utveckling och implementering av (då det är motiverat ur prestanda och kostnadsbalansen) grafen i försvarstillämpningar inkl. signaturanpassning.

Därför har ent mycket begränsat litteraturstudie genomförts för att granska potentialen för grafen inom signaturanpassningsområdet. Två delområden förtjänar speciell uppmärksamhet.

Grafen inom bredbandig elektrooptisk signaturanpassning.

Polat, Balci & Kocabas (Bilkent University, Ankara, Turkiet)[54] har publicerat i år en beskrivning av en böjbar elektrokromisk device (anordning) som i sin uppbyggnad är inte helt olika den som tidigare beskrivits av Chandrasekhar m.fl (2002) i att den bestå av ett antal lager polymerer och elektroder som under en pålagd spänning flyttar joner från den ena lagret till en annan och därmed orsaker en färgförändring i materialet. Även i Polat m.fls arbete sker en förändring inom IR-våglängder, dock rapporteras resultat bara upp till 1100 nm (NIR-området). Det är oklart om materialet uppvisar elektrokroma egenskaper i längre våglängder eller om forskarna inte utförda sådana mätningar. Det senare är mest troligt då syftet med forskningen verka vara för displayer och övriga civila tillämpningar där IR-egenskaper är inte relevant och IR-mätningar svårare att göra. Grafen används som elektroderna i strukturen där materialets excellenta ledningsförmåga i kombination med bredbandig optisk transparens, böjbarhet och kemisk stabilitet mot fukt, UV o.s.v. gör materialet väldig lämplig för ändamålet. Grafens impermeabilitet mot föroreningar gör att elektroderna kan skydda också den mer känsliga elektrolyten[55] från omgivande miljön. Komponenter har demonstrerats ändra transmission från ca 20 % till 0 % och 55 % till ca 5 % i 600 nm och 850 nm resp. Drivspänning var mellan 0 V och 5 V.

Analys: detta är en tämligen enkelt komponent och inte en färdig tillämpning. Dock behöver en praktisk tillämpning inte nödvändigtvis ligger långt in i framtiden då strukturen är mycket enkelt och består av skikt av bara PVC, grafen och elektrolyten. Grafen

tillverkas redan idag som ”metervara” hos Samsung (Korea) för liknande tillämpningar i böjbara displayer.

Grafen i radarabsorbenter

Det är känt sedan länge att kol-baserade nanostrukturer såsom kolnanorör, kolnanofibrer och kolnanopartiklar (carbon black) kan användas som elektriska förlustmaterial som radarabsorbenter då de blandas i polymermatriser, exempelvis i fiberkompositer och monolitiska polymerkomponenter[56]. Dock finns det nackdelar med kolpartiklar i och med det krävs tämligen stora mängder som inverka negativt på polymerens mekaniska hållfasthet, och för att blanda kolnanorör/nanofibrer i polymerer krävs avancerade processning pga rörens/fibrernas tendens att agglomera. Mha av ytbehandling och kraftiga bearbetning har man dock lyckats, men till kostnaden av omständiga (och kostsamma) processteknik och inte sällan skador till själva tillsatserna.

Tack vara grafens annorlunda morfologi (det ser ut som mycket tunna flagor eller skivor) är tendensen att agglomera mindre då man integrerar grafen in i en polymermatris. Redan finns kommersiella processer som fungerar, och produkter på marknaden som innehåller kolfiberkompositer med grafen. Det finns även ett flertal rapporter som visar olika grafen kompositer med radarabsorberande egenskaper[57] och även där man kombinerar elektriska förluster med magnetiska förluster[58]. Även om den vetenskapliga riktigheten av alla resultat som publicerats kan ifrågasättas (det är synnerligen svårt att tolka radar-absorptionsmätningar) det är mycket sannolikt att kombinationen av den högre mekaniska prestanda och den högre skadetålighet som förväntas från grafen kompositer och radarabsorption kan leda till tillämpningar i lastbärande radarabsorbenter i en rad militära tillämpningar inom flyg, fordon, och marin.

Nytta med grafen:
Låg vikt
Hög hållfasthet
Hör elektrisk och termisk ledningsförmåga
Optiskt transparent

2.1.5 Elektrokroma, termokroma och mekanokroma material

Elektrokroma material visar en reversibel färgförändring då de påverkas av en extern elektrisk signal. Det krävs vanligtvis bara en lågspänning (1-5 V) för att styra förändringen. Materialen som används är vanligtvis lätt och kan vara flexibelt. Av de anledningarna är det relevant att studera elektrokroma material för styrbar signaturanpassning. Fenomenet elektrokromism är inte särskilt nytt och har studerats i fler år på t.ex. Uppsala universitet där tillämpningen ”smart windows” motiverar forskningen. Fönsterrutan ska mörkna då instrålningen bli för stark och på så sätt hindra allt för mycket värme att stråla in genom fönstret. Kommersiella produkter finns även i backspeglar i de mer dyrbar personbilar för att undvika bländning från strålkastare på bakomliggande fordon. En annan civil tillämpning som driver utvecklingen är billiga etiketter för livsmedel- och medicinförpackningar, där de oftast kopplas till en temperatursensor, ett batteri och lite simpel elektronik för att visar om en viss temperatur eller tidsperiod har överstigits. Det kallas för smarta etiketter.

En annan tillämpning som motiverar studier av elektrokromism är för temperaturreglering av satelliter. Då satelliten exponeras till direkt solljus kan yttemperaturen stigen till >100 °C, medan i skuggan är rymdens temperatur nära minus 200 °C. För att minimera dessa stora temperatursvängningar är elektrokroma material en tänkbar lösning. Materialen kan styras att hindra antingen in- eller utstrålning av värme.

Elektrokroma material bygger på aktiva element innehållande eg. övergångsmetalloxider som volframoxid och nickeloxid. Beläggning av sådana material på substratet kräver dyrbara (vakuum) processning som har varit ett hinder för bredare tillämpningsområden och för tillämpningar på flexibelt material som textiler. På senare år har elektriskledande polymerer såsom PEDOT[59], polyanilin och övriga elektriskledande polymer visat sig användbar, dock har inte polymerens stabilitet och robusthet varit tillräcklig bra för marknaden. Svagheterna har bestått av känslighet mot fukt och UV-belysning.

Mer robusta ledande polymerer och polymerblandningar har framställts, t.ex PEDOT:PSS[60] som är processerbar genom enklare tryckteknik (roll-to-roll, screentryck, etc). Detta har t.ex. Linköpingsuniversitet med hjälp av Swedish-ICT Acreo visat vara en skalbar och lågkostnadsteknik för engångs etiketter. Det är synnerligen intressant att vissa polymerer visar sig ha elektrokroma egenskaper inom IR-våglängder. Det innebär att man kan ändra materialets reflektion/absorption även i vågländer bortom de synliga och inom området där IR kameror fungerar Detta bekräftas av preliminära mätningar gjort på FOI, på material utvecklat för smarta etiketter. Där visas reversibel elektrokromism med våglängder upp till 25 μm, d.v.s. termisk-IR. Detta bör inte övertolkas men visar potentiellt intressant forskningsinriktningar då hotet från IR kameror och mörkerseende sensorer bli allt mer aktuellt.

En mycket begränsad litteraturstudie har gjorts med syftet att bekräfta elektrokromism inom IR-våglängder och att bedöma potentialen för tillämpning inom styrbar signaturanpassning.

Chandrasekhar m.fl. (Ashwin-Ushas Corp, USA)[61] publicerade tidigare (2002) en rapport om elektrokromism från 0.4 – 45 μm, med stora variationer i reflektion. Exempelvis vid 5 μm kan reflektionen switchas mellan 60 % och 10 %. Genom att ändra styrspänningen kan reflektionen kontrolleras kontinuerligt. Jfr tidigare försök har en ny ledandepolymer blandning använts: PANI/PDPA[62]. Materialet skulle testas i rymdmiljön men det är inte bekräftat att det har skett. Resultaten är dock yttersta intressant då man ha byggda en komponent av praktisk storlek. Forskningen bygger på en rad tidigare publicerade forskningsresultat.

Termokroma material visar en färgförändring pga. en ändring i materialets temperatur. Alla termokroma material är inte reversibel, men det finns många som är det. Temperaturändringen behöver inte vara stor, det kan räcka med några grader till några tiotalsgrader, och vanligtvis åstadkommas mha elektrisk styrning (uppvärmning eller kylning).

Cunjiang Yu m.fl. (University of Houston, TX, USA) publicerade tidigare i år[63] en studie av vad kan betraktas som ett komplett och autonomt kamouflagesystem som mha termokroma material efterapar de mekanismer som utnyttjas av viss bläckfisk arter. En detektor ”ser” bakgrunden som används för att styra temperaturen på pixlarna i en matris av termokroma material. Det som är kanske mest relevant med studien är att det har bevisat möjligheten att bygga ett komplett system med fotodetektorer, styrsystem, termokromiska pixlar och att det hela fungerar autonomt. Det är även noterbart att forskningen finansierades delvis av ONR & AFOSR.

Mekanokroma material är mycket mindre utforskat och mycket mer sällsynta jfr tidigare nämnda elektrokroma och termokroma materialen. Oftast skapar man en mekanokromisk effekt genom att förflytta olika färgade partiklar mellan olika lägen för att göra partiklarna synliga/osynliga. Ett exempel på detta är vissa elektroniska böcker, där svarta ”bläck” partiklar flyttas mha elektriska fält för att skapa mönster föreställande bokstaver. Övriga material bygger på fluorescerande eller luminescerande molekyler som ändrar färg eller intensitet pga en mekanisk spänning/töjning.

Även här har forskare inspirerades av bläckfiskar för att skapa en dynamisk färgförändring i ett material (eller snarare ett system av olika material). Wang m.fl. (Duke University,

NC, USA)[64] publicerade nyligen en beskrivning av ett system bestående av en elektro-mekano-kroma (EMK) material som då den töjs av pålagd elektrisk fält ändras färg. För att skapa EMK materialet syntetiserades en blandpolymer av ett silikongummi och spiropyran mechanofors. Mekanisk spänning av ca 125 % orsakar en kemisk och reversibel förändring i spiropyran som då fluorescerar. Spänningen skapas mha av pålagd elektrisk fält som tyvärr kräver ganska höga fältstyrkor (10-tals kv/mm). Pga materialets små tjocklek behöver inte den absoluta elektrisk spänning vara särskilt höga men det är ingen fördel om man ska bygga en robust struktur.

Dock är det noterbart att forskarna har:

- Skapat en struktur av olika samverkande material
- Byggd en demonstrator
- Integrerade materialstrukturen med ett styrsystem
- Haft som drivkraft och finansiering (från USARL & ARO) att skapa ett dynamisk kamouflage system

Att ovanstående mycket begränsad litteratursökning har utan problem identifierat flera olika forskargrupper som motiverar sin forskning med behovet av dynamisk kamouflering tyder på mycket omfattande FoU inom området. Det bör noteras att det som har publiceras inte enbart handlar om grundläggande material forskning, men om hur man bygga materialen in i olika aktiva strukturer för att skapa pixlade mönster som kan ändra utseende inom båda den synliga och den osynliga (IR) spektra. Det är troligt att det som har publicerats representerar bara en mindre del av FoU som pågår, och det är sannolikt att mer tillämpningsnära utveckling pågår. Mycket av det som publicerats finansieras av olika försvarsmyndigheter i USA. Även detta är noterbart då kamouflage som ämne har tidigare varit omgärdat av stor sekretess.

Nytta med kromogena material:
Adaptivt camouflage genom färgförändring
Kontrollerade värmeflöden förhindrar överhettning
Mer flexibel materiel

2.1.6 Textila material

Textilier används flitigt av Försvarsmakten. Exempel på tillämpningar är uniformer, stridsselar, ballistiska- och CBRN-skydd, vantar, mössor, strumpor, tält, sovsäckar och kamouflagenät. När det gäller signaturer är det i första hand uniformer och kamouflagenät som är av intresse, men eftersom många delar beror av varandra, som exempel kan nämnas att termiskt kamouflage är starkt kopplat till värmeproblematiken, behöver man därför ha ett helhetsperspektiv. Den tekniska utvecklingen inom smarta textilier, som till stor del drivs av sport och fritidssektorn, går dessutom snabbt och man vet inte vad som kan vara av nytta i framtiden, därför behöver området bevakas i sin helhet. De områden som är av störst intresse för signaturanpassning är textilier som

- är elektriskt ledande (d.v.s. kan användas för integrerat kablage),
- på något sätt kan hantera värme (d.v.s. förbättra soldatens komfort avseende reglering av kroppstemperatur).

2.1.6.1 NIR (“Near Infra Red”, 750-1400 nm)

De flesta länders fältuniformer har idag, förutom sitt traditionella kamouflagemönster, någon form av NIR-skydd. Den exakta sammansättningen för dessa så kallade NIR-pigment är ofta föremål för företagssekretess, men sannolikt består dessa av någon form av

metalloxider. Vid fältförsöket ”Kamouflage i varm och fuktig miljö” arrangerad av NATO-gruppen SCI-219 i Australien 2012 konstaterades att NIR-kamouflagets klorofyllkurva behöver justeras för vegetationen i olika klimatzoner.

2.1.6.2 TIR (“Thermal Infra Red”, 3-14 μm)

Fältuniformer har idag ingen signaturanpassning för termisk IR. Det bästa sättet att minska den termiska signaturen är att använda metall (t ex aluminiumfolie) men detta är inte lämpligt då det kan försämra andra egenskaper. Företag och försvarsforskningsinstut nämner ofta att de har kamouflage mot termisk IR. Det är troligt att dessa bygger på någon form av metallfragment och att de därför inte är lämpliga material att ha i en uniform av hälsoskäl.

FOI har studerat en ledande polymer, PEDOT för signaturanpassning i termisk IR. Resultaten ser lovande ut men det återstår en del arbete för att få produkten användbar. Företaget Spectrogon, har tillverkat en optiskt transparant beläggning som emitterar IR-strålning i de våglängdsområden där IR-kameran (sensorn) inte är verksam. Att kunna applicera en beläggning med dessa egenskaper på ett textilt material vore mycket intressant.

Som kuriosa kan nämnas att DRDC (Kanada) och Kanadensiska Armén konstaterat vid fältförsök i Arctic Bay i norra Kanada (2013) att ursprungsbefolkningens kläder i sälskinn var det som fungerade bäst för signaturanpassning i IR vid kallt klimat.

2.1.6.3 Radartillämpningar

Frekvensselektiva ytor (FSS) används för att blockera vissa frekvensband och släppa igenom andra. Vanligtvis tillverkas dessa i glassfiberkomposit, men textila material kan ha vissa fördelar då de är lätta och kan vikas ihop. Cavancante och D'Assunção, vid Federal University of Paraíba, Brasilien[65] och Chauraya et.al vid Loughborough University, UK, har studerat FSS:er i textila material[66]. FOI har i samarbete med Textilhögskolan i Borås studerat stickade FSS:er. Detta beskrivs mer utförligt under avsnitt 3.3

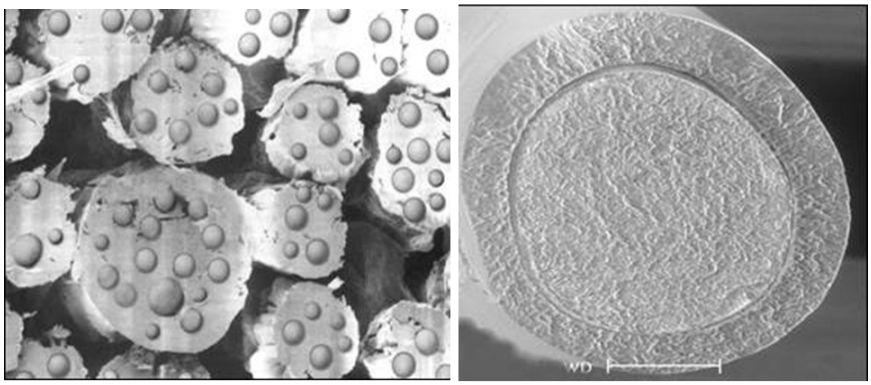
2.1.6.4 Ledande textilier

Olika tillämpningar (radarabsorbenter, textilintegrerad ledningsdragning, låg TIR-emissivitet) ställer olika krav på elektrisk konduktivitet. En stor utmaning är att hitta ett material med riktigt bra ledningsförmåga som är tillräckligt flexibelt. De flesta ledande textilier idag med hög ledningsförmåga bygger på metalltrådar, men problemet med dessa är att de förstörs t ex vid kraftig böjning. Företaget SMARTEX har tagit fram ett textilt material baserat på rostfritt stål (fig 1), som är både mjukt och har hög ledningsförmåga. Ett problem när man mäter ledningsförmåga är kontakteringen. FOI har också mätt radartransmissionen och den understiger för vissa frekvensvärden -30 dB. Dock är transmissionen starkt frekvensberoende.

Figur 1. *Ett mjukt och flexibelt textilt material med hög ledningsförmåga baserat på rostfritt stål från SMARTEX.*

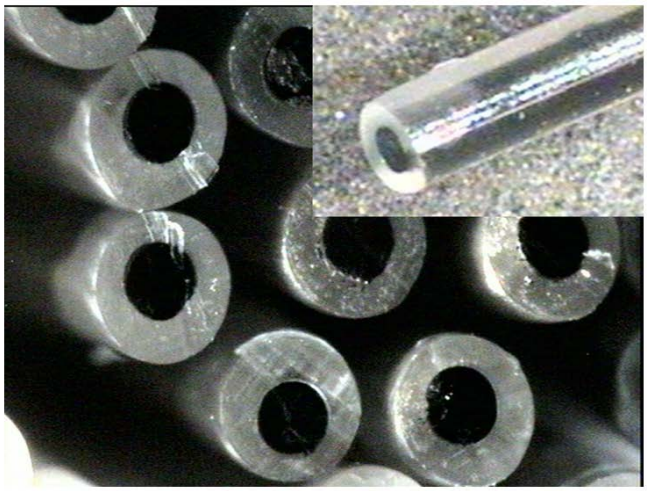
2.1.6.5 Elektrospinning

Swerea IVF arbetar med tvåkomponentfibrer dvs en fiber som har en kärna av ett annat material. Metoden att framställa denna fiber kallas elektrospinning. Nedan ges två exempel på vad man kan göra med denna metod.
En textil som innehåller ett fasövergångsmaterial (PCM) kan tillhandahålla en kylande effekt. Principen bygger på fasövergångsmaterialet (t ex paraffin) tar upp mycket värme när det smälter. Ett problem är dock att den kylande effekten avtar snabbt (efter ca en timme) och materialet måste då kylas ner igen för att återanvändas. Genom att använda elektrospinning har man lyckats förbättra de kylande egenskaperna jämfört med traditionella textilier med en faktor 2.



Figur 2. *T.v. traditionellt material som innehåller PCM som små partiklar. Termisk kapacitet 10 J/g, T.h. Swerea IVF:s tvåkomponent fiber där PCM-materialet fyller upp kärnan. Termisk kapacitet 50 J/g. © Swerea IVF*

Med samma teknik kan man lägga in elektriskt ledande material, tex kimrök (eng: carbon black, CB) som kärna i fibern och på så vis få en fiber som är elektriskt ledande (fig 3).



Figur 3. *Fiber med en kärna av kimrök (eng: carbon black CB) © Swerea IVF*

Nytta med avancerade textila material:
Möjlighet att integrera elektriska ledningar och sensorer i tyget
Radarabsorberande textiler för skydd av soldat mot stridsfältsradar
Temperaturreglering för skydd mot överhettning av soldaten

2.2 Konferensdeltagande

Under året har flera nationella och internationella konferenser bevakats, i de flesta fall med eget bidrag från projektet. Att ha ett eget bidrag ökar värdet av konferensdeltagandet och underlättar kontaktskapande. Dessutom kan våra presentationer ses som marknadsföring av FOI och Sverige.

2.2.1 FMV Sensorsymposium

En viktig anledning till att besöka Sensorsymposiet är att ta del av trender inom området sensorer, så att vi vet vad vi kan komma att behöva skydda oss mot i framtiden.

Också viktigt är att ta del av den bild som FMV får över området så att vi på FOI har en gemensam lägesuppfattning med FMV och FM.

Det finns fortfarande en enorm teknisk utvecklingspotential och det går i en rasande fart, driven av kommersiella drivkrafter. Det finns möjlighet att dra nytta av utvecklingen, men det gäller även motståndarsidan.

Att detektera ett mål verkar inte vara den stora svårigheten. Möjligen att hitta rätt mål. Det finns utmaningar och utvecklingspotential för signaturanpassningsteknik och taktik, inte minst om framtida hot som kan utgöras av aktivister, missiler och svärmar av många små sensorer.

Ett bra kamouflage för dagtid är inte alls med säkerhet bra för att gömma sig i mörker under användning av NVGs och IR-sensorer. Vissa djurarter och framtida sensorer kan vara känsliga för UV-kontraster, vilket också bör tas i beaktande vid utveckling av kamouflagemateriel.

När det gäller behov av material och tålighet finns det likheter mellan militära tillämpningar och rymdtillämpningar: Krav på låg vikt, mekanisk och termisk stabilitet, hög tillförlitlighet.

Speciellt viktigt att bevaka i framtiden är:

- Mulitspektrala material
- Decoys and other CCDO (Camouflage, concealment, deception, obscurants) capabilities
- Signature management- identification genom att använda speciella våglängder.
- Vi behöver speca upp problemställningar för olika TRL-nivåer vad gäller signaturer.
- Signatur för UAV
- Hur förhåller sig signaturmaterial och signaturteknik till interoperabilitet?
- Vad är nästa steg i sensorutvecklingstrenden för att motverka och övervinna utvecklingen inom signaturmaterial (hich tech materials)?
- Svärmar av många små lågpresterande sensorer

FOI bidrog med en presentation med titeln ”Materials Science and Engineering for Future Sensors and Camouflage Systems”.

2.2.2 Soldatsystemkonferens, Berlin

Konferensen ”Soldier systems” hölls i Berlin 31 mars - 1 april 2014. Tre personer från FOI deltog och en muntlig presentation med titeln ”Advanced materials for signature management” gavs. Detta var konferensens enda föredrag om signaturanpassning. Deltagarna från FOI fick lära sig mycket om andra soldatrelaterade frågor. Ett hundratal

personer deltog, med blandad bakgrund från Försvarsmakter, materialanskaffnings-organisationer och försvarsindustri, huvudsakligen från Europa och Nordamerika.

2.2.3 Saab Barracuda Customer Conference, Västervik, 20-22 maj

Vart tredje år bjuder Saab Barracuda in sina viktigaste kunder och representanter till Gamleby och/eller Västervik. FOI var i år inbjudna att hålla ett föredrag med titeln "Advanced materials with military potential".

Bidraget inledde hela konferensen och gav åhörarna (115 personer från företagets kunder i ett flertal länder, samarbetspartners, Försvarsmakten, FMV och regeringskansliet) en 45 minuter lång överblick över materialutvecklingen civilt och militärt. Såväl koncept som är nära produktifiering som mer futuristiska idéer togs upp. Föredraget mottogs väl och flera idéer om framtida samarbete med Saab Barracuda och FMV framkom. I övrigt gav konferensen FOI god insikt i Saab Barracudas produktportfölj.

2.2.4 Spie-Remote Sensing & Security and Defence Technologies

Konferensen ägde rum i Amsterdam 22-25 september. Föredrag med spännvidd från avståndsdetektion, olika typer sensorer (laser och radar), både civil och militär, till motmedel och verktyg för dataanalys för att underlätta upptäckt, presenterades.

Utmaningar med DIRCM (Directional Infrared Counter Measures) diskuterades, så som turbulens i atmosfären och begränsningar av spektralbanden och att konceptet inte fungerar för alla plattformar. Samtidigt påtalar man vikten av att visa motmedelspotential, om man har dem, och att framtidens DIRCM måste vara smartare, och kunna anpassa sig till hotet, genom klassificering av sökare.

G. Kamerman presenterade en rapport med undertiteln "Progress and opportunitets in active electro-optical sensing", som beskriver banbrytande tekniker. Den finns tillgänglig på "national council" hemsida.

Alexander Gilerson talar om skillnader i vatten och dess optiska polarisationsegenskaper beroende på dess innehåll av plankton och annat. Påverkan har bland annat temperatur och djup. Solen kan ha stor inverkan på mätningar om man inte är uppmärksam på mätriktningar. En presentation handlade om hur partikelstorlekar påverkar IR spektrumet.

Keith Lewis poängerar i sin presentation om fotonik och inspiration från naturen, att även om vi har lärt oss mycket så finns det mer att lära av naturen. Samir Ahmed presenterade en metod baserad på neurala nätverk för att på avstånd förutsäga innehållet i kustnära vatten.

Eleni Makarona presenterade möjligheter med piezoelektriska nanogeneratorer för att förse system med ström och konkluderar att utmaningen är att manipulera och lagra energin från denna typ av energikällor. Även George Emmitt talar om ”energy harvesting” medan E. Suthau knyter samman temat med fiberfotonik för energi i svåra miljöer.

Projektet bidrog med ett föredrag, ”A review of materials for spectral design coatings in signature management applications”, vilket även blivit en SPIE-publikation[67].

2.2.5 Soldier Technology 2014

Soldier Technology 2014 hölls i Prag, Tjeckien den 14-15 okt. Workshopen besöktes av ett 100-tal deltagare från industri, forskningsinstitut och försvarsorganisationer från USA, Europa och Asien (inkl. Australien och Nya Zeeland). Den vetenskapliga nivån var inte särskilt hög, men workshopen var mest ämnad för kontaktskapande och diskussioner. I samband med workshopen anordnades en mindre utställning av huvudsakligen optik (sikten och dyl.), akustiska sensorer för riktningsbestämning av inkommande hotmissiler för helikoptrar och energilösningar för soldaten.

Under workshopen presenterade FOI arbetet *A model to evaluate different energy solutions for the soldier*, och föredragshållaren agerade även som konferensordförande den andra dagen. Parallella sessioner avhandlade soldatmoderninseringsprogram, erfarenhet (lessons learned) av olika uppdrag, ballistiskt skyddsmaterial, handeldvapen och energilösningar.

Det fanns två huvudteman som genomsyrade workshopen: hur man sänka vikten på soldatens personliga utrustning (samt hur man optimalt fördelar vikten) och hur man säkerställa soldatens tillgång till energi utan att behöva bära med sig tunga reservbatterier. Det är tydligt att dessa problem tas på största allvar och även om det idag finns förslag till dellösningar att det återstå mycket att göra innan utrustningens vikt har sänkts till en acceptabel nivå: ca 25 kg anses rimlig. BAE Systems demonstrerade i utställningen delar av Broadsword systemet (se figur 4) som imponerade och som sägs utvärderas nu av US Marin Corps. Det är vanligt att man försöker integrera även dataöverföring på samma sätt. Workshopen och FOIs bidrag redovisas mer utförligt i reserapporten[68].

Figur 4. *En prototyp av BAE Systems Broadsword energilösning sett bakifrån med fickor för uppladdningsbara batterier och integrerade kablage. Utvecklas av Intelligent Textiles Ltd i samarbete med DSTL (UK). På framsidan kan olika kontakter lätt installeras på valfri plats*

2.2.6 Farnborough Airshow

Farnborough International Airshow ägde rum 14-20 juli och bevakades huvudsakligen på bekostnad av ett annat projekt i syfte att studera moderna flygplattformer och hur deras motorutblås skulle kunna signaturanpassas. Dock var det relevant att notera hur signaturanpassning sker med hjälp av geometrisk utformning av vingar och flygkroppen på moderna stridsflygplan. Även temporär signaturanpassning (igenkänningsteknik) på flygplan som användes under den inledande fasen av operation Overlord av allierade styrkor i juni 1944 visades upp. Det var även relevant att notera hur kamouflage på Storbritanniens Avro Vulcan bombflygplan anpassades för operationen för att återta Falklandsöarna. Kamouflage som ursprungligen anpassades för att flyga på hög höjd (då det var tänkt att flygplanet skulle bära kärnvapen) ändrades till mörkare färger för inflygning på lägre höjd över havet in mot öarna.

Den intresserade läsaren hänvisas till reserapporten för en mer utförlig redovisning.[69]

2.2.7 Advanced functional materials 2014

Konferensen AFM 2014 hölls i Kolmården 20-21 augusti vilken framför allt samlade forskare vid LiU och Svensk industri som är anknutna till ett statligt forskningsstöd kring materialforskning som har bedrivets sedan 2010. Konferensens muntliga presentationer utgjordes av inbjudna forskare från utländska universitet, från Svensk industri samt seniora LiU-forskare. Projektet bidrog med 2 posters: "Biomimetics for future low emissive coatings: Optical properties of the Beetle *Cyphochilus insulanus*"[70] och "Functional Materials in Camouflage" [71]. Konferensen var även ett bra tillfälle för att knyta kontakt med forskare vid Linköpings universitet.

2.2.8 NATO Future Forces utställning & konferens

NATO Future Forces utställning & konferens 2014 hölls i Prag, Tjeckien den 16-17 okt. Under konferensen anordnades flera parallella s.k. open workshops. De som bevakades var Future Soldier och CBRN. Under konferensen hölls även NATO SET-206 (Energy Generation for Manwearable/Manportable Applications and Remote Sensors) ett möte där Sverige bjöds in för att presentera ett arbete om *A model to evaluate different energy solutions for the soldier*.

Future Soldier workshopen avhandlade ett brett spektrum ämnen som berörde soldatens skyddsutrustning, från nya material för ballistiskt skydd till energiförsörjning och hur olika Europeiska soldatmoderniseringsprogram fortlöper.

Det som var särskilt relevant för signaturmaterialprojektet var flera presentationer som handlade om textila material med potentiell för tillämpningar i uniformer och kamouflage i allmänhet. Det kallas ibland för smarta textiler men begreppet har flera delvis olika betydelser. Flera presentationer från forskare vid högskolan i Liberec (Tjeckien) presenterade mycket intressant FoU om fibrer som genom olika mekanisker kunde fås att ändra sin färg, exempelvis genom kemiska signaler eller genom exponering till UV-ljus. Det som mest imponerade var att även om mycket av den forskning som pågår inom Europa är att betrakta som grundforskningsnära (TRL 1-2) det som visades höll en högre TRL (ca 3-4). Tillämpningarna som forskarna siktade på var huvudsakligen civila (konfektion) och idrottskläder men de var väl medvetna om den militära potentialen. Det är noterbart att högskolan erbjuder utbildning, forskning och utveckling inom hela kedjan från organisk kemi (för att dopa textilfibrerna med optiskt aktiva ämnen) till vävteknik och design. Det visades upp prototyper av kläder för cyklister med integrerade optiska fibrer som ska marknadsföras inom kort.

I privata samtal diskuterades möjligheten att utöka materialets spektrala område för att inkludera även IR. Det ansågs fullt möjligt. Forskargruppen efterlyser samarbetsprojekt.

En annan stimulerande presentation handlade om *SANTOS – the virtual soldier* (University of Iowa, USA). SANTOS är en modell som har utvecklats över ca 12 år för att kunna simulera hur en människa utför olika rörelser. Ursprungligen utvecklade för att kunna designa fordon för att bättre kunna ta sig in och ut från fordonet, modellen har förbättrats avsevärt och kan nu simulera många olika rörelser (gå, springa, klättra, lyfta, krypa, skjuta, etc) med olika packningar och övriga utrustning och olika fördelningar av vikt på kroppen. Det anses fullt möjligt att kunna integrera med moduler för (fysiologiska) energiförbrukning och modeller för termisk isolering från olika kläder för att kunna modellera soldatens kroppstemperatur. Det fanns intresse även för att diskutera integration av modeller för vapentrauma, ett område Sverige har erfarenhet av.

Utställningen i samband med konferensen var omfattande, med ett hundratal utställare (huvudsakligen företag) som visade sina produkter. Särskilt relevanta var olika kamouflage lösningar samt flera företag som visade ventilerade västar (med batteridrivan fläktar). Se figur 6 och 7.

För mer utförlig information hänvisas den intresserade läsare till reserapporten[72].

Figur 5. *En ghillie-dräkt för arktisk miljö*

Figur 6 *Prototyp vätskekyld väst från Revision. Syns inte men den används med en mindre självständig kylare/värmeväxlare*

Figure 7 *Ventilerad (batteridrivan fläkt) underställ från Hexonia GmbH*

2.2.9 NORDEFCO-möte i Stockholm

Vid konferensen Nordic Military Clothing, Vaxholm 1-3/4 2014 medverkade personer från Sverige, Norge, Finland och Danmark. Bland annat diskuterades problemet att kombinera NIR-kamouflage med flamskyddsmedel. FMV undersöker tillsammans med FOI en fiber som ska uppfylla dessa krav. Företaget Schoeller tillverkar en i sammanhanget intressant produkt.[73]

Kängor för kallt klimat diskuterades också. Olika typer av kängor med löstagbart foder används. Det viktigaste är att man transporterar bort fukt. Olika kängor används för torr kallt klimat (läder) och fuktigt kallt klimat (gummibeklädda). Signaturproblem för gummisulor och även snörning diskuterades. Finska försvaret har studerat detta närmare och är villiga att delge information.

För vantar med innerfoder av ull måste innerfodret kunna tas bort och torkas mot kroppen. Isolerade vantar tenderar att stänga inne fukt. Det rekommenderas att använda så naturliga material som möjligt. Gore-Tex® är inte tillåtet för vissa delar av den norska armén pga risk för förfrysning.

2.2.10 Infomöte avseende soldatsystem

FMV och FM arrangerar årligen ett informations- och samordningsmöte kring utveckling och användning av soldatsystem. Projektet var representerat och det diskuterades bl a värmebalansaspekter och vad materialteknik kan göra för att sänka vikten på framtida soldatburen utrustning. Vikten av att FOI är med tidigt i materielanskaffningsprocessen blev tydlig.

2.2.11 Workshop: Frekvensselektiva ytor och Antennteknik

Frekvensselektiva ytor används för att reducera radarmålarean av objekt i allmänhet och antenner i synnerhet.

Nader Behdads grupp från University of Wisconsin-Madison hör till de ledande i världen på området. Vid en workshop i Lund presenterades gruppens aktiviteter.

MEFSS (miniaturised-element frequency selective surfaces) är en klass av periodiska strukturer som är uppbyggda av icke-resonanta element. Den består av omväxlande kapacitiva och induktiva skikt som repeteras i sekvenser. Skikten är ”oändligt” stora och väldigt tunna (tjockleken→ 0). Avståndet mellan dessa är väldigt litet: $d \ll \lambda$. Tjockleken på hela strukturen är också väldigt liten: $t \ll \lambda$. Tänkta stora kommersiella tillämpningar är mikrovågssändare/mottagare, men tekniken kan även vara användbar för radarsignaturanpassning, där samma typer av strukturer kan komma till nytta.

2.2.12 Estlands-Svenskt seminarium om signaturteknik

FOI arrangerade, tillsammans med vår estniska motsvarighet STRATEK ”Centre for Defence and Security Studies” en workshop i Tallinn och Narva 19-20 november. Vid workshopen presenterades inte mindre än fem bidrag med anknytning till projektet ”Signaturmaterial”.

Deltagarna fick besöka Estlands försvarsforskningsorganisation STRATEK, som är under uppbyggnad. Signaturanpassningsteknik är ett av de områden de satsar på, tillsammans med t ex autonoma sensorplattformar, ballistiskt skydd och skydd mot CBRN. Försvarsdepartementet berättade om Estlands syn på hotbilden och den politiska och militära utvecklingen i närområdet. Ett besök på armébasen i Tapa och vid gränsen mot Ryssland i Narva ingick också. Arrangemanget uppmärksammades i estnisk TV.[74]

2.2.13 Möte med QinetiQ

Under november gjordes ett studiebesök av två seniora forskare från QinetiQ (UK). Bl.a. diskuterades eventuellt samarbete, olika signaturanpassningstekniker (endast i generiska termer dock) och planer på en konferens om Advanced Camouflage Materials nästa år.

2.3 NATO samarbeten

Sverige har historiskt varit mycket aktivt i olika projekt under NATOs SCI-panel (Systems, Concepts and Integration), som hanterar signaturfrågor inom NATOs forsknings- och teknologiorganisation (STO).

2.3.1 Adaptivt kamouflage

Under året avslutades projektet SCI-230 ”Advanced Materials, Systems and Evaluation Methods for AdaptiveCamouflage”. Projektet, vars svenska deltagande finansierats av ”Signaturmaterial”, har tagit fram tre adaptiva testpaneler som visats ut vid fältförsök i Rumänien i oktober 2013. Arbetet 2014 har innefattat dataanalys från fältförsöken och författande av projektets slutrapport. FOI leder projektet där sex länder deltar. Projektet har visat att framtagna koncept för adaptivt kamouflage fungerar i en fältmässig miljö, men mycket arbete (flera år) återstår innan ett operativt system kan visas upp.

2.3.2 Kamouflage i djungelmiljö

Nato SCI-219 har under året producerat en slutrapport för ”Camouflage in hot humid areas”. I projektet har ett tiotal uniformer, bl a svensk Fältuniform 90TR, testats i varm och fuktig djungelmiljö. Arbete som återstår är att titta på materialinnehåll i soldatuniformer och koppla till signatur i olika våglängder.

2.3.3 Kamouflage i operationell kontext

En förstudie (Exploratory Team) med titeln ”Assessment Methods and Evaluation of Camouflage in an Operational Context” startade i början av 2014. 12 länder har visat intresse för att delta i förstudien och i en kommande ”Task group”, som beräknas starta tidigast hösten 2015. I gruppen deltar bl a NATOs ”member at large” för signaturer, Dr Karin Stein från Tyskland. NATO CSO director har medverkat vid ett möte. FOI leder även denna grupp. Under året har det varit en tämligen blygsam arbetsinsats (2 möten), som finansierats av projektet ”signaturmaterial”

2.4 EDA samarbeten

Flera av projektets medarbetare deltar även i verksamheter inom Europeiska Försvarsbyrån (EDA). Dessa presenteras kortfattat nedan.

2.4.1 CAPTech Materials & Structures

Som namnet antyder arbetar CAPtech:en med projekt som berör materialteknik och hur man tillämpar materialteknik i försvarsmateriel. Captech:ens verksamhetsområde inkluderar *signature related materials* (enl. taxonomin) som innefattar signatur i vid bemärkelse inkl. material för dämpning av akustik, IR-strålning, radarabsorberande beläggningar och lastbärande radarabsorberande material. Vanligtvis är projekt inriktade på TRLs 3-4 men i vissa fall kan vara 4-6.

Sverige deltar aktivt i captech:en där olika projekt berör frågor rörande signatur. För Sveriges del handlar det huvudsakligen om projektet ALOMAS (Advanced Low Observable Materials & Structures). Se § 2.4.3 för mer utförlig information.

2.4.2 ACAMS

Adaptive Camouflage for the Soldier (ACAMS) är ett ettårigt projekt finansierat av EDA. Det internationella konsortiet består förutom av FOI, som leder arbetet, även av det tyska forskningsinstitutet Fraunhofer IOSB, CITEVE - ett nationellt centrum för den

portugisiska textilindustrin samt Damel - ett mindre portugisiskt företag verksamt inom området tekniskt avancerade textilier och funktionskläder.

Syftet är att genomföra en förstudie för att identifiera och studera tekniska lösningar för adaptivt kamouflage för soldaten. Detta innefattar studier av olika adaptionsmekanismer, hotsensoranalys, studier av operationsmiljöer och bakgrunder, möjligheter till systemintegration och producerbarhet, samt även studier av metoder för värdering av adaptivt kamouflage.

Projektet har som mål att föreslå kamouflage för soldaten, adapterbart till bakgrunden, ljusförhållanden, väder, hotsensorer och uppdragets karaktär. Ett producerbart ”proof of concept” kommer att demonstreras vid projektets slut. Den militära nyttan är ökad flexibilitet för materiel och, i en förlängning, ökad överlevnad för soldaten.

För denna förstudie har man valt att fokusera på adaptivitet inom det visuella och termiskt infraröda (TIR) området. Egenskaper inom nära infrarött (NIR) och kortvågs-IR (SWIR) beaktas även. Termokroma material används för att adaptera kamoflagesystemets färg beroende på rådande ljus- och temperaturförhållanden. Den termiska signaturen kan kontrolleras med ett mekaniskt styrt isolerande skikt.

Idéer finns för ett eventuellt framtida 3-årigt EDA-finansierat projekt med ambition att demonstrera en prototyp på TRL7.

Nyttan för FoT-projekt ”Signaturmaterial” är förutom det direkta forskningsvärdet, även bevakning av andra nationers intressen samt internationella kontakter.

2.4.3 ALOMAS

Under året har förberedelser pågått för ett project inom EDA (GEM 1) för en fortsättning av det tidigare projektet ALOA (Advanced Low Observable Materials). Beteckningen på det nya projektet är ALOMAS (Advanced Low Observable Materials and Structures). Den huvudsakliga skillnaden dem emellan är att det senare kommer att vara på en något högre TRL-nivå där man kommer att testa lågsignaturmaterial och beläggningar för flyg och marina tillämpningar på olika plattformar. De länder som kommer att medverka inom ALOMAS är Sverige, Nederländerna och. Tyska Airbus är koordinator för projektet. En av anledningarna till att man inom EDA vill stödja denna projektverksamhet är att man vill verka för att inom Europa samla olika industrier och forskningsinstitut kring utveckling av nya avancerade signaturmaterial.

FOI kommer att göra beräkningar på multilagerstrukturer bestående av ett yttre skikt lågemissiv radartransparent färg applicerad på radarabsorberande material/struktur, för att simulera och förbättra egenskaperna hos en sådan struktur. Karakterisering av strukturen utförs inom optiska området och mikrovågsområdet av spektral reflektans och transmittans görs också på FOI.

3 Samarbeten med UoH

I vår strävan att nyttiggöra civil forskning för FM och öka kommunikationen mellan civila och militära aktörer samarbetar projektet och/eller enskilda projektmedarbetare med ett flertal universitet och högskolor. De tidsmässigt mest betydelsefulla beskrivs nedan.

3.1 Linköpings Universitet

Tillsammans med LiU och gruppen Tillämpad Optik bedrivs studier av optiska egenskaper hos naturliga och artificiella material syftande till ett doktorsarbete. Gruppen har tillgång till Muller-Ellipsometri-utrustning med vars hjälp materialegenskaper och polarisationsegenskaper kan bestämmas. Gruppens huvudsakliga inriktning idag är polarisationsegenskaper i komplexa strukturer, så som artificiella eller naturliga kirala strukturer (skalbaggar)[75]. Samarbete finns med flera internationellt erkända grupper bl.a. i Frankrike, Storbritannien och Mexiko.

Inom en överskådlig framtid kommer en Lic-avhandling att presenteras. Ny inriktning kan vara aktuell därefter, men troligt är att spektral design, modellering av naturliga strukturer och biomimetik inkluderas.

3.2 Försvarshögskolan, FHS

Sedan september 2013 är övlt Kent Andersson antagen som doktorand på Försvarshögskolans doktorandprogram. Avhandlingsämnet är den militära nyttan med spektral design för signaturtillämpningar. Konceptet föreslås kräva tre situationsvariabler:

- Militär nytta av vad?
- För vem?
- I vilket sammanhang?

Vidare är militär nytta ett sammanvägt mått på objektets militära effektivitet (military effectiveness), dess militära lämplighet (military suitability) och dess ekonomiska överkomlighet (affordability). Nyhetsvärdet rör främst ett förslag till modell för att skapa spårbarhet mellan teknologin spektral design och den militära nyttan.[76]

Ett fortsatt arbete under 2015 studerar hur teknologin spektral design kan bedömas med hjälp av det nya konceptet.

3.3 Högskolan i Borås

I ett samarbete mellan FOI och Textilhögskolan i Borås har stickade frekvensselektiva ytor (FSS) tillverkats. I examensarbetet ”Frekvensselektiva textila ytor” redovisas resultat.[77] Figur 8 illustrerar ett exempel på en stickad frekvensselektiv yta.

Figur 8. *Stickad frekvensselektiv yta*

En tillämpning skulle kunna vara radomer för antenner, som släpper igenom de egna frekvenserna, men blockerar övriga. Skyddskläder för soldater mot egen genererad strålning är en annan tänkbar tillämpning.

4 Framtida arbete

4.1 Verksamhetsplan 2015

De frågeställningar FM vill att projektet ska arbeta med under 2015 är:

- Hur kan utvecklingen inom adaptiva signaturmaterial användas för att förbättra Försvarsmaktens materiel och metoder för signaturanpassning i olika insatsmiljöer?
- Vilka åtgärder kan vidtas för att motverka sensorer som utvecklas eller blir mer spridda i tidigare ofarliga våglängds-områden?
- Vilken militär nytta kan erhållas med spektralt designade ytor?
- Kan nya ”smarta” material ge bevarad förmåga till lägre kostnad?

Förutom bevakning av området genomförs forskningsaktiviteter inom följande områden:

- Militär nytta med spektral design (Samverkan med FHS)
- Biologiskt inspirerade strukturer i IR (Samverkan med LiU)
- Frekvensselektiva textiler i radar (Samverkan med Högskolan i Borås)
- Modellering med mätningar på multilagerstrukturer i radarområdet (Samverkan med Tallinn Technical University)
- Samverkan inom NATO grupp SCI-ET-013, camouflage in operational context (Samverkan inom NATO och med FHS)

Projektet ska upprätthålla kompetens för att kunna ge stöd till FMV vid upphandling och till försvarsindustrin vid utveckling.

Projektets frågeställningar, verksamhet och resultat ska redovisas, förutom i rapporter och artiklar, även muntligt vid svenska och internationella konferenser. Konferenser med deltagare från Försvarsmakten prioriteras. Besök vid förband, skolor och centra inom Försvarsmakten genomförs. Vid externa kontakter eftersträvas att minst två projektmedarbetare deltar.

För framtiden kan det vara lämpligt att välja en plattform som exempel och använda denna för att visa på funktioner hos avancerade signaturmaterial.

4.2 Kommande konferenser

Några konferenser som berör signaturmaterialområdet under 2015:

ISPO, januari, Munich

Ellipsometri, februari, Twente

SEGUREX, mars, Lisabon

The Materials Society (TMS) annual meeting, 15 – 19 March 2015, Florida, USA

Advanced camouflage, Farnbourogh

SETAF Norway, 14-16 april, Oslo

TECHTEXTIL, 5-7 maj, Frankfurt

FMV SAT-symposium, 15 maj, Stockholm

IDET, 19-21 maj, Brno

European Symposium on Intelligent Materials, 10 - 12 June 2015, Kiel, Tyskland

SOLDIER TECHNOLOGY, 24-25 juni, London

Metamaterials, september, Oxford

SPIE Defence and Security Europe, 21-24 september, Toulouse

ISIP, 20-23 oktober, Bad Reichenhall

A+A, november, Dusseldorf

5 Diskussion

Utvecklingen av nya sensorer går snabbt medan tidigare generationer sensorer blir allt mer tillgängliga för både nationer och grupper. Hyperspektrala sensorer kombinerade med avancerad databehandling är ett effektivt redskap för att hitta kamouflerade objekt.

Förändrade svenska prioriteringar, med större fokus på försvar av svenskt territorium mot en tekniskt kapabel motståndare utrustad med moderna sensorer, ställer större krav på vår signaturanpassning.

Genom bred bevakning av området upprätthålls värderingskompetens och genom högkvalitativ spetsforskning inom smala segment upprätthålls Sveriges anseende på signaturanpassningsområdet. FOI-gruppen är en välkänd aktör på området, både nationellt och internationellt, liksom svensk industri håller ett anseende i världsklass inom signaturmateriel. FOI upprätthåller en hög kompetens på området för att kunna bistå FMV vid kravsättnings- och värderingsarbete, FM med utbildning och industrin vid materielutveckling.

Den civila utvecklingen inom materialteknik är snabb. För att på bästa sätt nyttiggöra denna utveckling för militära tillämpningar bör FOI ha ett nära samarbete med universitet och högskolor.

Då signaturanpassning är därför ett område som prioriteras allt högre internationellt bör vi samarbeta för att dela kunskap med andra ledande aktörer, såsom Tyskland, Storbritannien, Frankrike, Kanada, Australien, USA och Nederländerna. Inom Norden är Sverige tekniskt ledande, men ett samarbete med våra närmaste grannar är ändå relevant då vi delar geopolitiskt läge, bakgrundsdata och hotbild.

Trender att vara speciellt uppmärksam på:

- Sensorer blir bättre, snabbare, billigare och mer spridda.
- Nya våglängdsområden, SWIR, THz, radar för markmål
- Aktiv adaption med låg (helst ingen) energiförbrukning
- Spektral design som metod att skräddarsy signaturanpassningen
- Adaptivt kamouflage för att möta en snabbt föränderlig hotbild
- Adaptivt kamouflage för att sänka logistikkostnader
- IFF-teknik för att identifiera egna styrkor

Trender inom materialvetenskap, där främst utvecklingen drivs av civila aktörer:

- Grafen
- Elektrokroma material
- Funktionella textilier

6 Referenser

[1] Schmitt, Francis O. The Never-Ceasing Search. Vol. 188. Philadelphia: American Philosophilcal Society, 1990
[2] Vincent, Julian F.V.; Bogatyreva, Olga A., Bogatyrev, Nikolaj R., Bowyer, Adrian, Pahl, Anja-Karina (21 August 2006). "Biomimetics: its practice and theory". *Journal of The Royal Society Interface* **3** (9): 471–482.
[3] http://old.arkitekt.se/s72413
[4] Romei, Francesca (2008). Leonardo Da Vinci. The Oliver Press. p. 56. ISBN 978-1-934545-00-3
[5] Colin Dawson, Julian F. V. Vincent, Anne-Marie Rocca, How pine cones open , Nature | Vol 390 | 18/25 December 1997
[6] http://www.inotektextiles.com/technology/
[7] http://www.hindawi.com/journals/jtex/2014/154184/abs/
[8]http://www.newmaterials.com/News_Detail_Biomimetic_fibres_mimic_pine_cones_in_response_to_humidity_12895.asp#axzz3JJy4h43N
[9] Barthlott, Neinhuis, Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces, Planta (1997) 202:1-8
[10] Biomimetically-inspired photonic nanomaterials, Gregory J. Parker, J Mater Sci: Mater Electron (2010) 21:965-979
[11] http://biomimetics.webs.com/examplesofbiomimetics.htm
[12] http://www.photonics.com/Article.aspx?PID=6&VID=30&IID=213&AID=20402
[13] D. H. Goldstein,"Polarization properties of Scarabaeidae," Appl.Opt. **45**, 7944-7950 (2006).
[14] H. Arwin, "Application of ellipsometry techniques to biological materials," Thin Solid Films **519**, 2589–2592 (2011).
[15] S. Berthier, E. Charron, and J. Boulenguez, "Mophological structure and optical properties of the wings of Morphidae," Insect Sci. 13, 145-157 (2006).
[16] B. Bhushan, "Biomimetics: lessons from nature-an overview," Phil. Trans. R. Soc. A **367**, 1445-1486 (2009).
[17] Y. Bar-Cohen, *Biomimetics Biologically Inspired Technologies* (Taylor & Francis Group, 2006).
[18] Y. Chen, J. Gu, S. Zhu, T. Fan, D. Zhang, and Q. Guo, "Iridescent large-area ZrO_2 photonic crystals using butterfly as templates,"Appl. Phys. Lett. **94**, 053901 (2009).
[19] P. Vukusic, R. Kelly, and I. Hooper, "A biological sub-micron thickness optical broadband reflector characterized using both light and microwaves," J. R. Soc. Interface 6, S193-S201 (2009).
[20] G. S. Watson, and J. A. Blach, "Characterisation of cuticular nanostructures on surfaces of insects by Atomic Force Microscopy- 'mining' evolution for smart structures," Proc. SPIE 4934, 378-385 (2002).
[21] P. R. Stoddart, P. J. Cadusch, T. M. Boyce, R. M. Erasmus, and J. D. Comins, "Optical properties of chitin: surface-enhanced Raman scattering substrates based on antireflection structures on cicada wings," Nanotechnology 17, 680-686 (2006).
[22] P. Vukusic, B. Hallam, and J. Noyes, "Brilliant Whiteness in Ultrathin Beetle Scales," Science 315, 348 (2007).
[23] S. M. Luke, B. T. Hallam, and P. Vukusic, "Structural optimization for broadband scattering in several ultra-thin white beetle scales," Appl. Opt. 49, 4246-4254 (2010).
[24] M. Burresi, L. Cortese, L. Pattelli, M. Kolle, P. Vukusic, D. S. Wiersma, U. Steiner, and S. Vignolini, "Bright-White Beetle Scales Optimise Multiple Scattering of Light", Scientific Reports, **4,** 6075 (2014).
[25] B. T. Hallam, A. G. Hiorns, and P. Vukusic, "Developing optical efficiency through optimized coating structure: biomimetic inspiration from white beetles," Appl. Opt. 48, 3243-3249 (2009).

[26] J. Yip, S.-P. Ng, and K.-H. Wong, "Brilliant Whiteness Surfaces from Electrospun Nanofiber Webs," Text. Res. J. 79, 771-779 (2009).
[27] T. J. Wardill, P. T. Gonzalez-Bellido, R. J. Crook and R. T. Hanlon
Neural control of tuneable skin iridescence in squid Proc. R. Soc. B, 1-10.
[28] Biomimetic optical materials: Integration of nature's design for manipulation of light, Kuilong Yu, Tongxiang Fan, Shuai Lou, Di Zhang, Progress in Materials Science 58 (2013) 825–873
[29] https://www.mynewsdesk.com/se/kth/pressreleases/naturen-inspirerar-till-miljoevaenliga-innovationer-328346
[30] http://www.biomime.org/
[31] http://www.swedishbiomimetics.com/press.htm
[32] http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=406&artikel=5990889
[33] Technology Forecast 2014 Military Utility of Four Technologies - A Report from Seminars at the SNDC Department of Military-Technology REPORT 2014-09-01
[34] http://www.biokon-international.com/network/members/
[35] http://www.biomimetik.dk/BiomimeticGroups
[36] http://www.polynet.dk/lenau/
[37] http://www.bath.ac.uk/research/
[38] http://www.reading.ac.uk/Biomim/
[39] http://www.elumotion.com/index.html
[40] http://www.oxfordbiomaterials.com/
[41] http://bionik.fbsm.hs-bremen.de/
[42] http://www.bio.uni-freiburg.de/
[43] http://www.bionik.tu-berlin.de/
[44] http://tu-dresden.de/forschung
[45] http://www.flyfoot.de/
[46] http://www.bionik.tum.de/index.php?id=2
[47] http://www.evologics.de/
[48] http://www.cbid.gatech.edu/
[49] http://depts.washington.edu/bionano2/
[50] http://paxscientific.com/
[51] http://www.biomimetic-systems.com/technology.html
[52] http://graphene-flagship.eu/
[53] www.siografen.se
[54] E.O. Polat, O. Balco & C. Kocabas. *Graphene based flexible electrochromic devices*. Sci. Rep. **4**, 6484: doi:10.1038/srep0684 (2014)
[55] Som elektrolyt används (diethylmethyl(2-methoxyethyl)ammoniumbis(trifluoromethylsulphonyl)imide)
[56] Jan-Olov Ousbäck, Steven Savage, Microwave characterisation of nanocomposites with MWCNT in expoxy. FOI MEMO 3519, 2011
[57] Exempelvis: Liang et al. *Electromagnetic interference shielding of graphene/epoxy composites*. Carbon, **47** (2009) 922-925. Visar dämpning inom X-bandet av >20 dB.
[58] Exempelvis: Singh et al. *Phenolic resin-based composite sheets filled with mixtures of reduced graphene oxide, γ-Fe_2O_3 and carbon fibers for excellent electromagnetic interference shielding in the X-band*. Carbon **50** (2012) 3868-3875.
[59] PEDOT = poly (3,4-ethylenedioxythiophene)
[60] PSS = polystyrensulfonat
[61] P. Chandrasekhar et al. *Large, switchable electrochromism in the visible through far-infrared in conducting polymer devices.* Adv. Funct. Mater. **12** (2002) 95-103.
[62] PANI/PDPA = polyaniline/poly(diphenylamine)

[63] Cunjiang Yu et al. *Adaptive optoelectronic camouflage systems with designs inspired by cephalopod skins*. PNAS Early Edition. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1410494111, pp. 6

[64] Q. Wang et al. *Cephalopod-inspirerad design of electro-mechano-chemically responsive elastomers for on-demand fluorescent pattering*. Nat. Commun. 5:4899 doi:10.1038/ncomms5899 (2014).

[65] Cavalcante, G.A., D'Assunção, A.G. & D'Assunção, A.G. (2014). An iterative Full-wave method for designing bandstop frequency selective surfaces on textile substrates. *Microwave and Optical Technology Letters*, 56(2), ss. 383-388.

[66] Chauraya, A., Seager, R., Whittow, W., Zhang, S. & Vardaxoglou, Y. (2013). Embroidered Frequency Selective Surfaces on textiles for wearable applications. *Loughborough Antennas & Propagation Conference. Loughborough, UK 11-12 November 2013*, ss. 388.

[67] FOI-S- 4843--SE

[68] FOI-rapport under utgivning

[69] Steven Savage, Travel report - Farnborough International Airshow 2014, FOI MEMO 5030

[70] Christina Åkerlind, H. Arwin, Dept of Physics, Chemistry and Biology, LiU, Tomas Hallberg, Johan Gustafsson, Hans Kariis, J. Landin, Biomimetics for future low emissive coatings: Optical properties of Cyphochilus insulanus, FOI-S--4851--SE, 2014

[71] Steven Savage, Hans Kariis, Christina Åkerlind, Jan Fagerström, Multifunctional materials in camouflage. Advanced Functional Materials, Kolmården, Sweden, 2014-08-20 --21, 2014, FOI-S--4760--SE

[72] Savage Reserapport FOI Memo under utgivning

[73] http://www.schoeller-wool.com/34556/Products/Industrial-yarns/Industrial-yarns/index_group.aspx

[74] http://news.err.ee/v/scitech/b4147d25-fde5-4d90-a393-ed884682d3e3

[75] D. H. Goldstein,"Polarization properties of Scarabaeidae," Appl.Opt. **45**, 7944-7950 (2006).

[76] Andersson och Åkerlind, *A review of materials for spectral design of signature management applications*, SPIE proc. Vol. 9253, 2014

[77] Nikolina Brixland, Sofia Stenberg, *Frekvensselektiva Textila Ytor*, Examensarbete för Teknologie Kandidatexamen med huvudområde textilteknologi, 2014-06-04, Rapportnr 2014.2.04, Textilhögskolan i Borås

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.

FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se