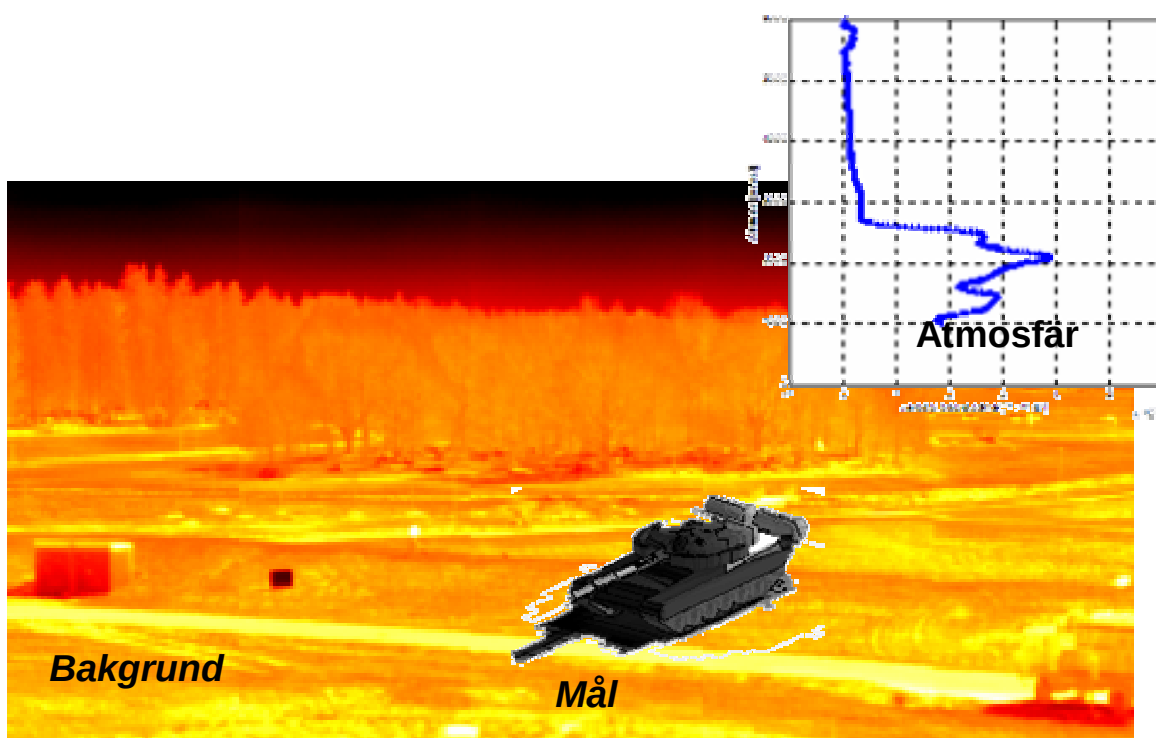


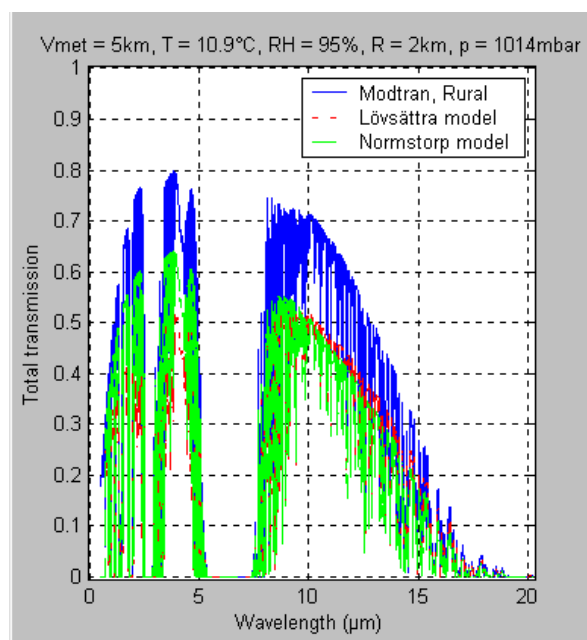
Claes Nelsson, Göran Forssell, Patrik Hermansson, Arne Hågård, Sten Nyberg,
Rolf Persson

Optiska signaturer: Slutrapport



Claes Nelsson, Göran Forssell, Patrik Hermansson, Arne Hågård, Sten Nyberg,
Rolf Persson

Optiska signaturer: Slutrapport



Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1008--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig	
	Månad, år November 2003	Projektnummer E30160
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 62 Signaturanpassning	
Författare/redaktör Claes Nelsson Göran Forssell Patrik Hermansson Arne Hågård Sten Nyberg Rolf Persson	Projektledare Claes Nelsson	
	Godkänd av Svante Ödman	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Optiska signaturer: Slutrapport		
Sammanfattning (högst 200 ord) Projekt Optiska signaturer har under perioden 2001-2003 bedrivit grundläggande forskning kring signaturfenomen och signaturanalys. Arbetet har rört mål- och bakgrundssignaturer samt atmosfärens inverkan på signaturen. Från mätningar har en databank med bakgrundssignaturer byggts upp. Utgående från den har en statistisk analys genomförts samt en studie av bakgrundens spektralinnehåll. Det finns därmed ett bra underlag för kravsättning av plattformssignaturer inom försvaret. Kapaciteten på modelleringsområdet har ökat genom anskaffning och egen utveckling av signaturkoder. Bl.a. har en semi-empirisk bakgrundsmodell utvecklats. Kompetensen har vidare stärkts genom valideringsarbete. Det finns nu en kompetensgrupp och simuleringsmjukvara tillgänglig vid FOI som kan vara till nytta för försvaret vid värdering av befintliga och nya plattformskoncept samt vid värdering av nya sensorlösningar. Polarisationseffekter hos mål och bakgrund har studerats. T.ex. har förmågan att hitta kamouflerade objekt m.h.a. en polarisationskänslig sensor analyserats. Ett program för texturbaserad signaturanalys utifrån bilder har utvecklats och används nu även inom försvarssektorn utanför FOI. Tidigare insamlade atmosfärstransmissionsdata har legat till grund för en ny aerosoldämpningsmodell för svenska förhållanden. Modellen har implementerats i ett PC-program som nu finns i en första version. Rapporten beskriver sammanfattande de olika aktiviteterna och resultaten i projektet. För ytterligare information om projektets verksamhet finns en omfattande referenslista.		
Nyckelord atmosfärsdämpning, IR-modellering, optiska signaturer, polarisation, simulering, Terrtex		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 48 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1008--SE	Report type User report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare	
	Month year November 2003	Project no. E30160
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 62 Low Observables	
Author/s (editor/s) Claes Nelsson Göran Forssell Patrik Hermansson Arne Hågård Sten Nyberg Rof Persson	Project manager Claes Nelsson	
	Approved by Svante Ödman	
	Sponsoring agency Armed forces	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Optical signatures: Final report		
Abstract (not more than 200 words) Within the Optical signatures project fundamental research concerning signature phenomena and signature analysis has been conducted during the period 2001-2003. The work has concerned target and background signatures as well as the atmospheric influence on the signature. A data bank with background signatures has been compiled from measurements. Based on it, a statistical analysis has been made and a study of the spectral content of the background. It will be a good basis for the formulation of LO requirements for platforms within the armed forces. The capacity of modelling has increased through acquisition and own development of signature codes. As an example a semi-empirical model has been developed. Furthermore, the competence has improved as an effect of validation work. Competence and simulation software is now available at FOI for the support of evaluation of existing and new platform concepts. Polarization effects of targets and backgrounds have been studied. As an example, the capability to find camouflaged objects with a polarization sensitive sensor has been analyzed. A program for texture-based signature analysis from images has been developed and is now used within the defence sector also outside FOI. Previously collected atmospheric transmission data has been used to develop a new aerosol attenuation model for the Swedish environment. The model has been implemented in a PC program that is available in a first version. This report summarizes the different activities and results in the project. For further information on the project activities an extensive reference list is included.		
Keywords atmospheric attenuation, IR modelling, optical signatures, polarization, simulation, Terrtex		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 48 p.	
	Price acc. to pricelist	

1	INTRODUKTION.....	5
2	BAKGRUNDSSIGNATUR.....	6
2.1	DATABANK	7
2.2	STATISTISK ANALYS	9
2.3	SPEKTRAL ANALYS.....	10
3	SIGNATURMODELLERING.....	12
3.1	KORT PRESENTATION AV SIMULERINGSPROGRAM.....	12
3.2	VALIDERING AV BAKGRUNDSSIMULERINGAR MED SENSORVISION ..	14
3.3	GRÄNSSNITT MELLAN RADTHERMIR OCH SENSORVISION	15
3.4	JÄMFÖRANDE VALIDERING AV SIGNATURKODER.....	16
3.5	SEMIEMPIRISK MODELL FÖR IR-SIGNATUR.....	19
4	TEXTURBASERAD SIGNATURVÄRDERING	22
4.1	TERRTEX.....	22
4.1.1	Särdrag	22
4.1.2	Mätning av generell kontrast	25
4.1.3	Kalibrering	26
4.1.4	Linjär diskriminantanalys	27
4.2	MÅLIGENKÄNNING (ATR)	27
5	POLARISATION	27
5.1	HOTBILD OCH PROBLEMSTÄLLNING	29
5.2	GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT	29
6	MÄTUTRUSTNING FÖR SIGNATURKARTLÄGGNING.....	32
6.1	THERMOVISION SYSTEM 900	32
6.2	FTIR SPEKTROMETER	34
6.3	STRÅLNINGSNORMALER - KALIBRERKEDJA.....	35
6.4	VÄDERSTATION	35
7	ATMOSFÄR.....	35
7.1	NYA AEROSOLMODELLER	36
7.1.1	Program för tillämpning av modellerna	38
7.2	KOMMERSIELLA PROGRAM FÖR BERÄKNING AV ATMOSFÄRSTRANSMISSION	39
7.3	VÅGUTBREDNING	39
7.4	LIDAR	39
8	KUNSKAPSÖVERFÖRING	41
9	INTERNATIONELLT SAMARBETE	42
10	SLUTSATSER.....	43
11	FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	44
12	REFERENSER	45
12.1	PUBLICERING INOM PROJEKTET 2001 – 2003.....	45
12.2	ÖVRIGA REFERENSER	47

1 INTRODUCTION

Projekt Optiska signaturer som haft karaktären av basprojekt har ingått i FOIs uppdrag från Försvarmakten inom signaturanpassningsteknik (SAT) inom FoT8 under perioden 2001-2003. Rollen som basprojekt har varit viktig eftersom ett forskningsinriktat projekt av denna typ utgör en viktig del i uppbyggandet och utvecklandet av optisk signaturkompetens vid FOI. Projektet har kompletterats av andra mer tillämpade projekt som ofta varit knutna till något materielsystem, framför allt olika mät- och utvärderingsuppdrag. Tillsammans har dessa projekt bildat en helhet av signaturverksamhet inkluderande både experimentell och teoretisk verksamhet.

Projektet har även haft många kopplingar till angränsande forskningsområden. Speciellt kan nämnas Material, Sensorer över ytan, Telekrig, Modellering och Simulering och Minspaning. Samverkan sker på olika sätt genom överföring av metoder och resultat. I flera fall dessutom genom att forskare arbetar i flera projekt. På detta sätt kan projektet ta plats i kedjan: signatur - sensor - signalbehandling - ledningssystem.

Sensorutvecklingen inom det optiska området leder hela tiden till förbättrade prestanda m.a.p. högre spektral, rumslig och temporal upplösning. Multi- och hyperspektrala system som sammanväger informationen inom flera spektralband utvecklas. Polarisationskänsliga sensorer förväntas i framtiden. Parallellt med sensorutvecklingen sker också en utveckling inom signalbehandlingsområdet för hantering av sensorinformationen. Den sammanlagda effekten blir att kontrasten mellan mål och bakgrund förbättras och därmed förmågan till detektion, klassificering och identifiering. Ett framtida NBF-baserat sensornätverk kommer leda till ytterligare sensorkapacitet.

SAT-området har en stor utmaning i att försöka möta denna förbättrade sensorförmåga. Det gäller att både utveckla ny teknik för att sänka mål-bakgrundskontrasten samt att skaffa sig relevanta verktyg för att värdera införda SAT-åtgärder eller nya koncept. Teknikutvecklingen måste innefatta både materialval m.a.p. reflektionsegenskaper hos ytor och konstruktionsåtgärder gällande bl.a. värmeläckage och yttre form. Anpassningen till bakgrunden, som förändras beroende på situation, är hela tiden fundamental. Mer om principer för SAT-arbete står att läsa i nyligen utgivna *SAT-handbok Mark* (Ref 32) som projektet lämnat olika typer av underlag till. Verktyg för värdering av signatur innefattar både mätresurser och analysmetoder/programvara. Modellering är ett viktigt verktyg både för att utvärdera befintliga system i olika miljöer och situationer men kanske i än högre grad för att studera nya koncept för SAT och sensorsystem.

Inom projekt Optiska signaturer har verksamhet bedrivits inom flera olika områden. Syftet har varit att täcka upp olika aspekter på optisk signatur för att på så sätt tillhandahålla en bred kompetensbas. En av huvuduppgifterna har varit att studera bakgrundens signaturegenskaper. Analys av målsignatur görs i många fall i samband med framtagning och modifiering av olika plattformar för försvaret och då i samband med separata analysuppdrag. Därför har det varit väl motiverat att bakgrundsrelaterad signaturforskning bedrivits inom detta mer allmänna signaturprojekt. Forskningen inom projektet har i hög grad varit inriktad på marktillämpningar men en stor del av resultaten är tillämpliga även på sjö- och luftfallen. En kvalificerad modelleringskapacitet baserad på fysikaliska principer blir allt mer väsentlig. Under perioden har flera projekt vid institutionen för IR-system arbetat med att etablera denna kapacitet, både i form av inköpta och utvecklade programvaror och i form av metod- och kompetensutveck-

ling. Projekt Optiska signaturer har varit en naturlig del i detta arbete och tyngdpunkten hos projektet har därmed förskjutits något från den experimentella sidan mot analys och modellering.

Projektaktiviteterna under 2001-2003 kan grupperas i tre områden:

Bakgrundssignatur

Under perioden 2000-2001 genomfördes en mätkampanj vid FOI i Linköping i syfte att bygga upp en databank av bakgrundssignaturer. Dessa resultat har sedan använts för olika typer av analyser samt som underlag för modellvalideringar.

Mål i bakgrund

Aktiviteter för att analysera målsignatur och för att analysera kontrasten mål/bakgrund har bedrivits inom några områden. Det FOI-utvecklade programmet Terrtex för textur-baserad signaturanalys har under perioden vidareutvecklats. Analysmetoderna för polarisation inom IR-området har förbättrats och de kontrastförbättrande egenskaperna hos polarisation har studerats bl.a. för kamouflerade mål. Under perioden har modelleringskapaciteten för mål i bakgrund byggs upp tillsammans med andra projekt. Flera valideringar mot mätningar har också genomförts.

Atmosfär

Arbetet har huvudsakligen inriktats mot att ta fram en empirisk modell för prediktion av aerosoldämpning i atmosfären. Modellen är baserad på av gamla FOA insamlade data i Sverige. Projektet har också finansierat FOIs medverkan inom det internationella lidarsamarbetet EARLINET.

Budgeten för projektet har varit 4,75-4,9 Mkr per år under 2001-2003. På grund av projektets något diversifierade struktur har ett tiotal personer från institutionen för IR-system arbetat i projektet, i stort sett samma personer under hela perioden. Dessutom har flera examensarbeten genomförts inom projektet.

Denna rapport beskriver vilka aktiviteter som bedrivits under 2001-2003 och summerar vilka resultat som framkommit. Rapporten är strukturerad efter de stora ämnesområdena inom projektet och avslutas med några mer allmänna kapitel.

2 BAKGRUNDSSIGNATUR

Möjligheten att upptäcka och identifiera ett mål beror på kontrasten mellan mål och bakgrund. Det är inte endast målets signatur som är viktig utan också bakgrundens. Det finns därför ett behov att karakterisera bakgrundens signatur i lika stor detalj som målets för att kunna utforma SAT-åtgärder på rätt sätt. Bakgrundssignaturen varierar kraftigt med väderförhållanden, tid på dygnet och årstid. Behovet av statistiskt underlag över bakgrundens variationer är stort. Den optiska signaturen, såväl för mål som bakgrund, karakteriseras av olika typer av egenskaper: rumsliga, spektrala, tidsmässiga och polarimetriska. De rumsliga egenskaperna avser mönster och utbredning hos olika objekt. De spektrala egenskaperna gör att kontrasten mellan mål och bakgrund kan variera inom olika våglängdsband. Tidsmässiga egenskaper innebär bl.a. att rörliga mål detekteras lättare. Polarisationsegenskaperna hos mål och bakgrund är i vissa fall olika vilket ger ökad kontrast.

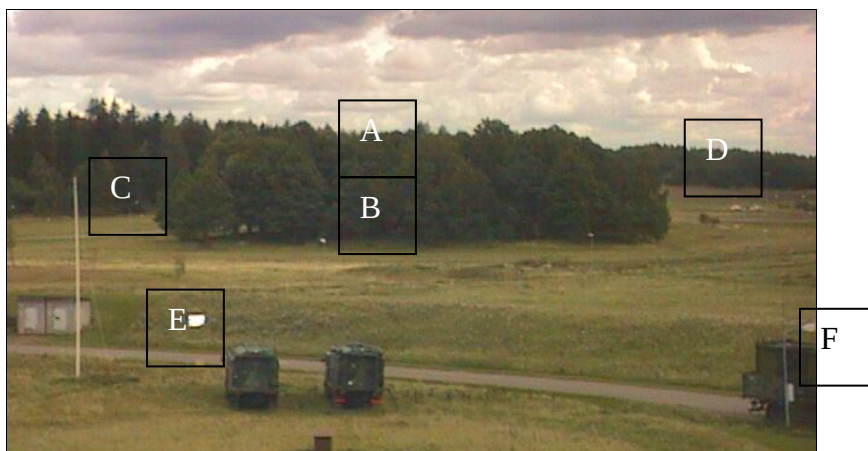
Det som ger bakgrundssignaturen är strålningen från bakgrundsobjekten. För kortare våglängder (visuellt och NIR) är det framför allt reflektionsegenskaperna hos materialen som ger signaturen. För termisk IR (MWIR och LWIR) är det en kombination av reflektionsegenskaper och termiska egenskaper som gör att strålningen varierar. Geometrin hos såväl mål som bakgrund är viktig för alla våglängder och möjligheten av solbelysning är avgörande för signaturen dagtid.

2.1 DATABANK

För att skaffa underlag till en analys av bakgrundssignatur har systematiska registreringar av ett terrängavsnitt vid FOI i Linköping gjorts, se Figur 1. Förutom ovan nämnda motiv var ett ytterligare skäl att skaffa underlag för validering av beräkningsprogram för optisk signatur. Mätningarna påbörjades 2000 och avslutades under första halvåret år 2001. Mätningarna och uppbyggandet av databanken har redovisats i Ref 19 och Ref 20. Mätkampanjens huvudinstrument var Thermovision®900 som är en avbildande radiometer som ger IR-bilder i spektralområdena MWIR (3-5 μm) och LWIR (7-14 μm). För spektralmätningar användes det hyperspektrala instrumentet ScanSpec som täcker både LWIR och MWIR. Utöver dessa kompletterades mätbatteriet med en filtrerad CCD-kamera som registrerade i NIR-området och en CCD-kamera som registrerade i det visuella spektralområdet.

För att kunna relatera erhållna mätdata till rådande väderförhållanden loggades data i en väderstation av typen Vaisala MILOS 500. Loggningen gjordes en gång per minut av ett stort antal väderparametrar. Då bakgrundsstrålningen i IR-området inte bara är beroende av aktuellt väder utan även av tidigare väder, påbörjades dessa loggningar några dagar före bakgrundsmätningarna tog sin början.

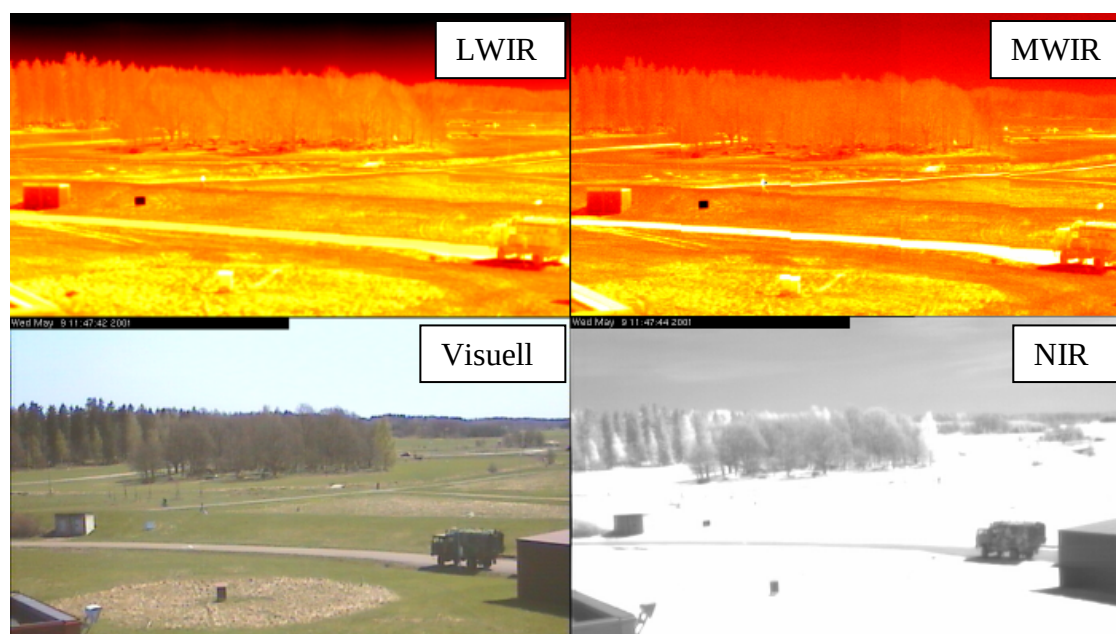
Mätningarna genomfördes en gång per månad under perioder av minst 24 h. Totalt genomfördes 13 mätomgångar med Thermovision och 6 med ScanSpec vilket täckte alla årstider. För att få hög upplösning scannades Thermovision i ett mosaikmönster. Var tredje minut samlades en mosaik av 1250 x 650 bildpunkter in. Mätningarna med ScanSpec gjordes i sex delområden av scenen (se Figur 1) och varje delområde mättes varannan timme. Både Thermovision och ScanSpec kan absolutkalibreras för att ge radiansvärden.



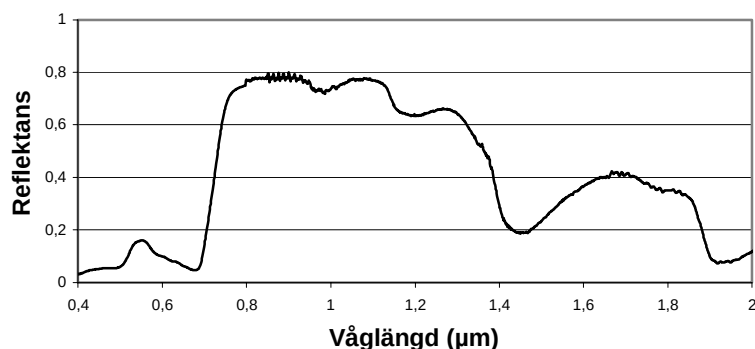
Figur 1 Terrängområde för bakgrundsmätningar. Thermovision mätte över hela bilden medan ScanSpec endast mätte inom de markerade områdena.

De insamlade data lagrades på en FTP-server som är tillgänglig på FOI Intranät. För att underlätta hanteringen av data har samtliga data, inklusive data från väderstationen, sparats med gemensam tidkod. Alla data har sedan varit lätt åtkomliga för analysarbete och annan användning inom FOI.

I Figur 2 visas ett collage av bilder från en mätning. Bilderna är från en solig dag där relativt stora temperaturvariationer uppstår i naturen vilket syns i bilden i LWIR. Strålningsnivån i LWIR ges framför allt av temperaturen hos bakgrunden eftersom reflektansen hos bakgrundsmaterial i regel är låg. De horisontella gräs- och asfaltsytorna blir uppvärmda medan skogsriddarna ligger närmare lufttemperaturen. Skuggpartier förblir kalla och ger en lägre strålning. MWIR uppvisar en kombination av temperatureffekter och effekter av reflekterat solljus, men för bakgrunden är det även här framför allt temperaturen som ger strålningsnivån. NIR-området gränsar spektralt sett till det visuella området men trots det är signaturen mycket annorlunda. Det beror på att den spektrala reflektansen hos gröna växter ökar dramatiskt vid ca $0,7\ \mu\text{m}$, se Figur 3. Bakgrunden i NIR påminner därmed om ett snölandskap för det mänskliga ögat.



Figur 2 Bilder från de fyra bildalstrande sensorerna registrerade 2001-05-09 11.47. Mosaikerna från Thermovisionskamerorna ovan, den visuella nedan till vänster och NIR nedan till höger.



Figur 3 Spektral reflektans för gräs.

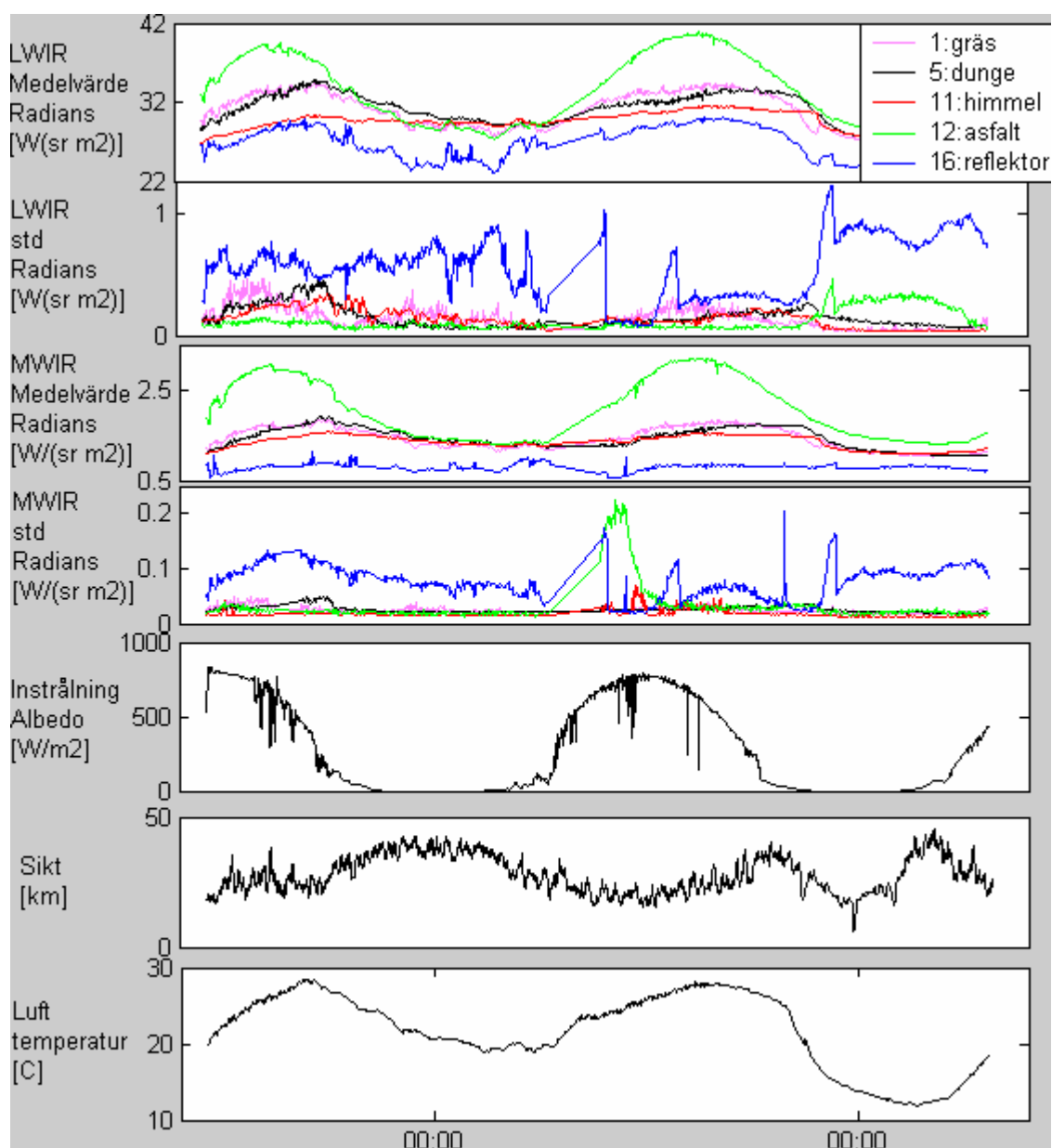
2.2 STATISTISK ANALYS

För att belysa variationerna i strålningsnivåerna hos bakgrunden har en statistisk analys gjorts av mätresultaten i bakgrunds databanken (avsnitt 2.1). Analysen har koncentrerats till IR-bilderna från Thermovisionssystemet vilka kan absolutkalibreras i radians eller skenbar temperatur. Syftet med den statistiska analysen var att kvantifiera variationer i bakgrundens radians som funktion av bakgrundstyp, årstid, tid på dygnet och vädersituationen.

Den statistiska analysen omfattade flera steg som bland annat innebar olika typer av kvalitetskontroll av data, atmosfärskorrektion och kalibrering till radians. Atmosfärskorrektionen gjordes för att kunna beräkna statistiska mått som var oberoende av avståndet vid mätningen och atmosfärens transmissionsegenskaper. Större delen av beräkningarna gjordes med hjälp av egna rutiner skrivna i Matlab och kompletterades av atmosfärsberäkningar som gjordes med MODTRAN (PCModwin 3.7). För analysen valdes 16 områden ut för att representera olika bakgrundstyper och fenomen. För varje område beräknades medelvärde och standardavvikelse hos radiansen. Samtliga mätningar i perioden mars 2000 till maj 2001 analyserades.

Resultaten består av tidsserier av medelvärden och standardavvikelser. I Figur 4 visas exempel på resultat från fem områden för sommar. Diagrammen sträcker sig över cirka två dygn och det är tydligt hur radiansnivåerna hos bakgrunden följer solinstrålningen och lufttemperaturen över dygnet. Radiansen släpar lite efter beroende på termisk tröghet framför allt i asfalten. Vidare spelar mättriaktionen en roll. Mätningarna gjordes i sydostlig riktning och t.ex. soluppvärmningen av dungen kommer tydligast på eftermiddagen. På sennatten är radiansskillnaderna mellan olika områden minimal vilket syns i Figur 4. Arbetet med bakgrundsanalysen har redovisats i Ref 2.

Resultaten av analysen har använts på olika sätt för signaturarbete inom FOI. Exempelvis har de legat till grund för en semiempirisk modell för bakgrundssignatur och för validering av simuleringsprogrammet SensorVision. Dessa arbeten beskrivs vidare i kapitel 3 av denna rapport. Resultaten har även använts externt vid arbete med FMV signatordemonstrator (TD2), se Ref 48. Utgående från bakgrundsdata har algoritmer för aktiv styrning av signaturen hos ett markfordon kunnat tas fram. Bakgrundsresultaten har även använts inom andra forskningsområden såsom detektion av kemiska stridsmedel, se Ref 39. En detektionsteknik bygger på passiv spektrometri där temperaturskillnaden mellan bakgrund och omgivande luft är en väsentlig faktor. Denna temperaturskillnad har kunnat studeras utifrån resultaten av bakgrundsanalysen.



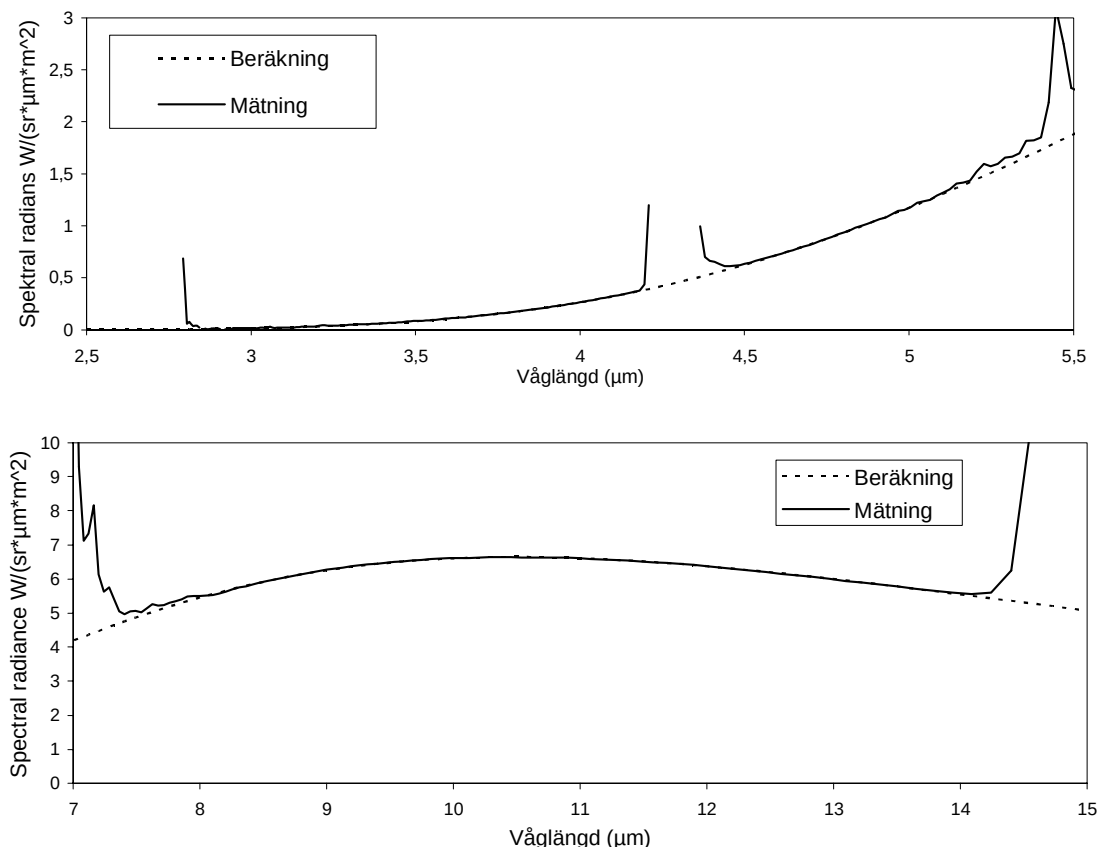
Figur 4 Medelvärden och standardavvikelser för fem områden. Dessutom visas lufttemperaturen, sikten och instrålningen från solen. Mätningarna gjordes från 19-21 juni 2000.

2.3 SPEKTRAL ANALYS

Framtida multi- och hyperspektrala sensorsystem kommer att utnyttja skillnaden i spektralfördelning hos strålningen från mål och bakgrund. Även vid design av bredbandiga sensorsystem är det avgörande att det spektrala känslighetsintervallet väljs så att kontrasten mellan mål och bakgrund maximeras. Spektralfördelningen hos strålningen från bakgrunden ges av reflektansegenskaperna (och därmed även emissionsegenskaperna) hos naturmaterialet i bakgrunden. Den inkommande strålningens spektralfördelning i kombination med materialets spektrala reflektans ger den totala spektrala signaturen. I IR-området är dessutom bakgrundens temperatur betydelsefull. Allt detta gör att den spektrala bakgrunden i många fall är komplex.

Det finns ett behov av att karakterisera bakgrundens spektralegenskaper i syfte att förstå hur SAT hos mål kan utformas för att vara effektiv mot multi- och hyperspektrala sensorsystem. De spektrala egenskaperna hos målen bör överensstämma med bakgrundens. Inom projektet har ett sådant arbete utförts (Ref 21 och Ref 23) baserat på spektrala data ur bakgrunds-databanken. Arbetet har koncentrerats på IR-området och angreppssättet har varit att studera i vilken grad bakgrunden uppträder som en svartkropp. Svartkroppar har en spektral strålningsfördelning som följer Plancks lag och där strålningen endast beror av materialets temperatur och våglängden. Ingen strålning från omgivningen reflekteras i en svartkropp (emissiviteten lika med ett).

Ett antal bakgrundstyper valdes ut för analys: träddrå, äng, gräsmatta, asfalt och himmel. För-sök gjordes att anpassa de uppmätta spektralfördelningarna till en gråkropp med viss tempe-ratur. En gråkropp följer Plancks strålningslag på samma sätt som en svartkropp men har en emissivitet som är mindre än ett. Som temperatur valdes lufttemperaturen eller den skenbara temperaturen uppmätt med Thermovision. Därefter beräknades den emissivitet som gav bäst överensstämmelse med mätdata. Beräkningarna visade att den naturliga bakgrunden i de flesta fall väl kan anpassas till en gråkropp i spektralområdena MWIR och LWIR. Ett exempel på detta syns i Figur 5.



Figur 5 Jämförelse mellan uppmätta spektra och beräknade spektra av svartkropp för ängsmark. Mätningen gjordes i december. Beräkningen utgår från den temperatur som bestämdes med Thermovision, ca 2°C. Överst MWIR och underst LWIR.

De spektrala variationer som kan noteras i bakgrunden verkar huvudsakligen bero på skillnader i temperatur hos bakgrundsmaterialen. Spektralfördelningen hos svartkroppsstrålningen flyttar sin tyngdpunkt mot kortare våglängder för högre temperaturer. Speciellt asfalt antog en avvikande temperatur beroende på andra värmeledningsegenskaper och förmåga att absorbera

solstrålning jämfört med vegetation. För den kortvågiga delen av MWIR (3-4 μ m) är reflektionen av solstrålning påtaglig för situationer med kraftig solstrålning. Denna reflekterade solstrålning har en spektralfördelning som avviker från den som ges av svartkroppsstrålningen från bakgrundsmaterialet självt. Någon tydlig skillnad i detta avseende mellan olika bakgrundstyper kunde inte observeras i denna studie. Slutsatsen av studien kan sägas vara att bakgrunden inte innehåller några tydliga spektrala egenskaper utan att spektralfördelningen huvudsakligen ges av bakgrundens temperatur och solstrålningsförhållandena. *SAT-arbete bör därmed inriktas på att i möjligaste mån använda material utan tydliga absorptionsband eller andra karakteristiska spektrala egenskaper. Lågmissiva material måste användas med eftertanke så att de inte reflekterar in strålning med annan spektralfördelning än bakgrundens.*

3 SIGNATURMODELLERING

Datorprogram och modeller för beräkning av optiska signaturer från mål i bakgrund är värdefulla verktyg i signaturutvärdering och signaturanpassningsteknik. I simuleringar kan man studera signaturen under förhållanden där mätningar kanske saknas eller är ofullständiga. Simuleringar av signatur kan också användas för signaturprediktion i designfasen av nya plattformar eller för att studera smygegenskaperna hos nya koncept. Det finns dessutom många andra viktiga användningsområden för signaturmodellering, t.ex. som ett verktyg i utvärdering av nya sensorteknologier eller i utveckling av ny taktik. De olika tillämpningarna ställer också olika krav på simuleringsverktygen. I projektet har därför ett flertal olika modeller och program för optiska signaturer använts och studerats.

De kommersiella program som använts i beräkningar av optiska signaturer kan indelas i dels program utvecklade för i första hand beräkningar på enskilda objekt (mål) och dels program som beräknar signaturen från hela scener med bakgrund och mål. RadThermIR är ett program som är speciellt utvecklat för noggrann beräkning av temperaturen på och radiansen i IR-området från farkoster. Olika användningsområden av scensimuleringsprogram ställer olika krav på programmens realtidskapabilitet. För t.ex. träningssimulatorer är realtidskravet stort. SensorVision är ett programpaket för simulering av IR-scener i realtid. Realtidskravet gör att man i SensorVision har infört förenklingar och approximationer, vilket i vissa applikationer inte ger en tillräckligt noggrann signaturprediktion. CAMEO-SIM är ett fysikaliskt baserat scensimuleringsprogram för noggrann signaturprediktion i både visuellt och IR. CAMEO-SIM är, till skillnad från SensorVision, inte utvecklat som ett realtidsprogram. En viktig uppgift i projektet har varit att utvärdera och validera dessa kommersiella programvaror.

Förutom de kommersiella signaturmodelleringsprogrammen finns även ett visst behov av att utveckla egna signaturprediktionsverktyg. De egna modellerna utvecklas dels för att tillgodosätta speciella behov inom optiska signaturer men också för att öka kompetensen inom signaturmodellering och för att bättre förstå fördelar och nackdelar med de kommersiella programmen. Egen programutveckling kan också utföras för att kunna kombinera resultat från olika kommersiella programvaror och därmed tillvarata respektive programvaras fördelar.

I de följande avsnitten kommer vi att ge en översikt av den verksamheten inom signaturmodellering som skett inom projektet.

3.1 KORT PRESENTATION AV SIMULERINGSPROGRAM

Vid simulering av optiska signaturer är det ett stort antal kopplade, ofta komplexa, fysikaliska processer som måste modelleras. De modeller som används i fysikaliskt baserade simule-

ringsprogram kan grovt delas in i termiska modeller, radiometriska modeller och atmosfärsmodeller. I den termiska modelleringen beräknas temperaturer på (och i objekt). I atmosfärsmodelleringen beräknas t.ex. transmission, spridning och emission av strålning i atmosfären. Beräkning av sol- och månstrålning kan också ingå i atmosfärsmodelleringen. I de radiometriska modellerna beräknas den strålningen som når en viss punkt från en viss riktning. I de radiometriska beräkningarna kan komponenter från emitterad strålning, reflekterad strålning och atmosfärs effekter ingå. Vid simuleringar kopplas atmosfärsmodellerna med de termiska och radiometriska modellerna för att kunna beräkna den radians som når en sensor i ett givet spektralband.

Komplexiteten i modellering av optiska signaturer gör att modellerna i simuleringsprogram ofta anpassas till programmets huvudsakliga applikationsområde. Vi nämnde ovan att RadThermIR är ett program som är speciellt utvecklat för noggrann beräkning av temperaturer och strålning från fordon medan SensorVision är utvecklat för IR-scensimuleringar i realtid och CAMEO-SIM är utvecklat för mer noggranna scensimuleringar i visuellt och IR. I Tabell 1 listas några skillnader och likheter i modeller mellan dessa tre kommersiella programvaror. En något utförligare presentation av de tre simuleringsprogrammen (med referenser) återfinns i Ref 12.

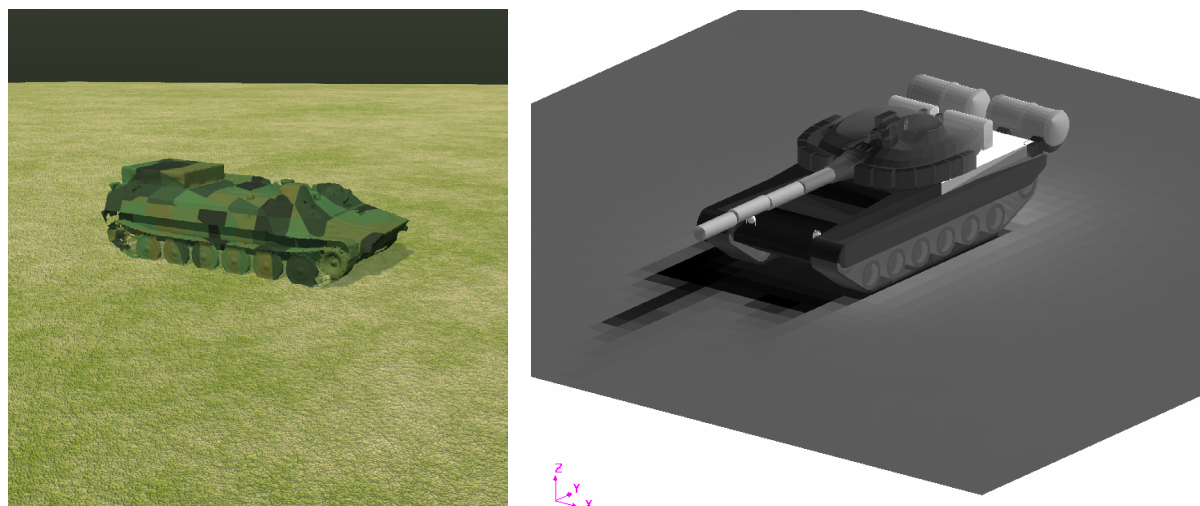
Tabell 1 Exempel på skillnader mellan kommersiella simuleringsprogram

	SensorVision	CAMEO-SIM	RadTherm IR
Dimensioner i värmeledning	1D	1D	3D + interna källor (finitadifferenslösning)
Realtid	Ja	Nej (men beror av metod)	Nej
Rendering och radiometrisk lösning	Förenklad strålföljning, förenklad radiometri	Strålföljning med MonteCarlo m.m. Noggrann radiometri.	Strålföljning
BRDF (vinkelupplöst reflektans)	Nej men spekulär lob	Ja	Nej men spekulär lob
Väderhistorik i termisk lösning	Nej	Ja	Ja
Atmosfärsmodellering	MOSART (isotrop atmosfär)	MODTRAN4 (3D-parametrisering)	Nej (dock himmelsinstrålning enligt Subarctic summer)
Interaktion mellan objekt	Nej	Ja termiskt och radiometriskt	Ja termiskt och radiometriskt
Scensimulering	Ja	Ja	"Ej i allmänhet"

Som framgår av Tabell 1 är en viktig skillnad mellan RadThermIR och scensimuleringsprogrammen SensorVision och CAMEO-SIM att RadThermIR beräknar värmeöverföring (inklusive värmeledning) i tre dimensioner (med vissa begränsningar) medan scensimuleringsprogrammen endast beaktar värmeledning i en dimension. Detta gör t.ex. att man kan modellera interna värmekällor, som t.ex. en motor i ett fordon, på ett mer korrekt sätt i RadThermIR. Viktiga skillnader mellan SensorVision och CAMEO-SIM ligger i att den radiometriska lösningen, inklusive atmosfär och objektinteraktion, är mer exakt och fysikaliskt riktig i CAMEO-SIM än i realtidsprogrammet SensorVision.

Indata till programmen består av bland annat position för sensor, våglängdsband, responsfunktion för sensor (ej RadThermIR), geometrier för objekt och bakgrund (CAD modeller), materialdata för objekt och bakgrund och väderdata. Inget av programmen har inbyggda modeller för sensoreffekter, annat än våglängdsband och responsfunktion.

I Figur 6 visas dels ett exempel på en simulering med CAMEO-SIM i det visuella området och en simulering i IR-bandet 8-12 μ med RadThermIR. Ett exempel på en IR-simulering av bakgrund med SensorVision visas i avsnitt 3.2.



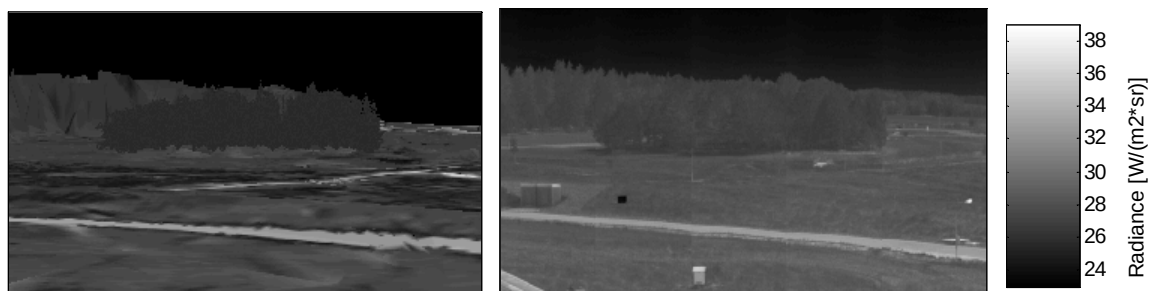
Figur 6 Vänstra bilden visar predikterad visuell signatur hos Pbv401 (MTLB) med CameoSim. Som utgångspunkt har reflektansvärden hos de olika färgerna använts tillsammans med skrovgeometrin. Högra bilden visar predikterad signatur för en T80 stridsvagn på gräs i IR-bandet 8-12 μ med RadThermIR.

3.2 VALIDERING AV BAKGRUNDSSIMULERINGAR MED SENSORVISION

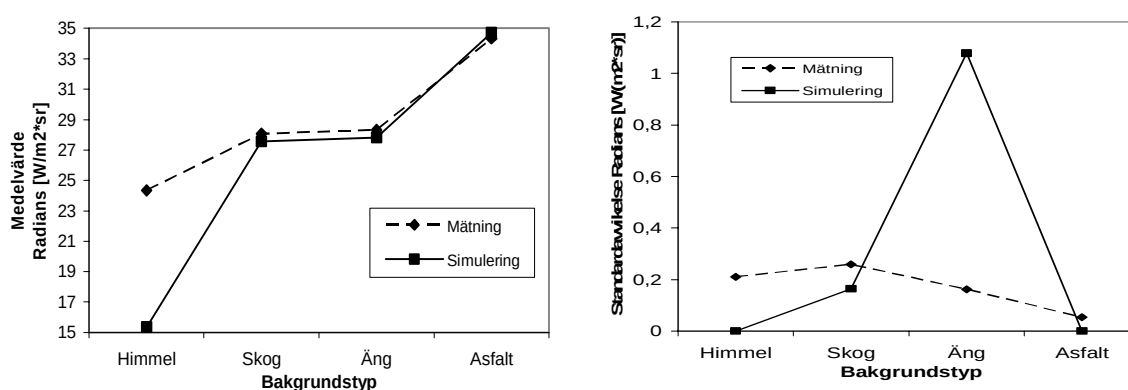
I många fall där optiska signaturer studeras är det nödvändigt att känna bakgrundens signatur i lika hög detalj som målets. Kännedom om noggrannheten i modellering av IR-signaturen från bakgrunder är därför av stort värde. Som ett led i detta har den kommersiella simuleringsprogramvaran SensorVision validerats mot en mätning av IR-signaturen från en typisk svensk bakgrund, Ref 1.

SensorVision har validerats mot kalibrerad uppmätt radians för en referensterräng söder om FOI, se avsnitt 2.1, i spektralområdet LWIR (7-14 μ m) vid en tidpunkt. Indata till SensorVision väljs så att atmosfärsförhållanden, materialdata för terrängen, datum och tid, sensors position m.m., motsvarar de som rådde vid det aktuella mättillfället. I Figur 7 visas en jämförelse mellan med SensorVision simulerad radiansbild (vänstra bilden) och uppmätt radians (högra bilden). I dessa bilder är gråskalan proportionell mot radiansen. Trots att bilderna har relativt stora likheter så finns det inom delar av scenen betydande avvikelser mellan uppmätt och beräknad radians, vilket framgår av Figur 8. Ett stort antal felkällor i simuleringen kan vara orsak till sådana avvikelser. Osäkerheter och fel i indata (t.ex. i materialdatabasen) kan vara en källa till fel i den beräknade radiansen. Förenklingar och approximationer i de radiometrisk och termiska modellerna är också bidragande felkällor. Som exempel kan nämnas att SensorVision modellerar himmelsstrålningen som isotrop, vilket kan antagas vara orsaken till den stora avvikelser mellan mätning och simulering för himmel i Figur 8. De erfarenheter som valideringsarbetet gav kommer att vara av stort värde vid en fortsatt valide-

ring samt vid simuleringar av IR-scener innehållande både mål och bakgrund med SensorVision.



Figur 7 Jämförelse mellan med SensorVision simulerad radiansbild (vänster) och uppmätt radiansbild (höger).



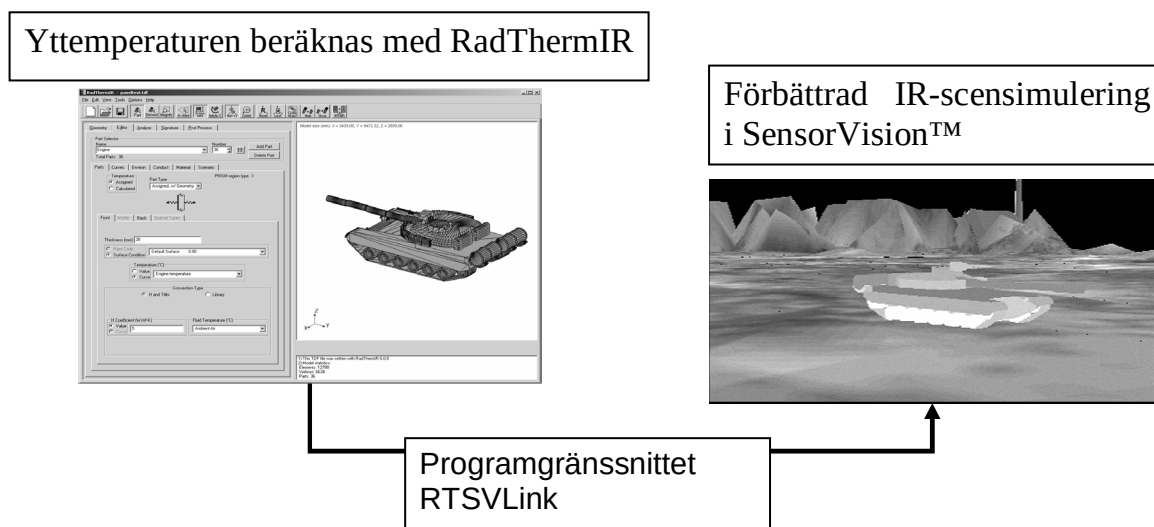
Figur 8 Jämförelse mellan mätta och simulerade radiansmedelvärden (vänster) och standardavvikelse (höger)

3.3 GRÄNSSNITT MELLAN RADTHERMIR OCH SENSORVISION

Programvaror för scensimulering i IR-området använder en förenklad modell vid beräkning av objekttemperaturer. SensorVision beräknar ytemperaturer genom att lösa ett endimensionellt värmeöverföringsproblem utan interna värmekällor. Detta gör att man för t.ex. ett fordon med intern uppvärmning från en motor kan få ganska felaktiga resultat om man enbart låter SensorVision beräkna ytemperaturerna. För att kunna göra mer noggranna beräkningar av temperaturer och IR-strålning från fordon och andra objekt har FOI anskaffat den kommersiella programvaran RadThermIR. Med RadThermIR kan man mer noggrant än i SensorVision beräkna skalstrålningen eller temperaturen på och i exempelvis ett fordon. Simuleringar av hela syntetiska omgivningar (terräng, fordon och andra objekt) behandlas dock enklast i scensimuleringsprogram som SensorVision, varför det har utförts ett arbete på att kunna koppla programmen RadThermIR och SensorVision, Ref 7.

Kopplingen mellan RadThermIR och SensorVision har konstruerats så att skaltemperaturer för ett objekt först beräknas med RadThermIR. Ett egenutvecklat programgränssnitt kan därefter läsa objekttemperaturer från RadThermIRs utdatafiler och överföra dessa till samma geometriska objekt i en SensorVisionsimulering, vilket illustreras i Figur 9. Överföringen av temperaturer förutsätter, på grund av begränsningar i SensorVision, att objektets geometri

(CAD-modell) har delats upp i ett godtyckligt antal delar ("parts") för vilka temperaturer kan överföras. Gränssnittet kan också överföra temperaturhistorik som förberäknats med RadThermIR och detta kan i många fall dessutom ske utan att SensorVisions realtidskapabilitet försämrats. Gränssnittet, som har fått namnet RTSVLink, är programmerat i C++ och finns dokumenterat i Ref 7 och Ref 8.



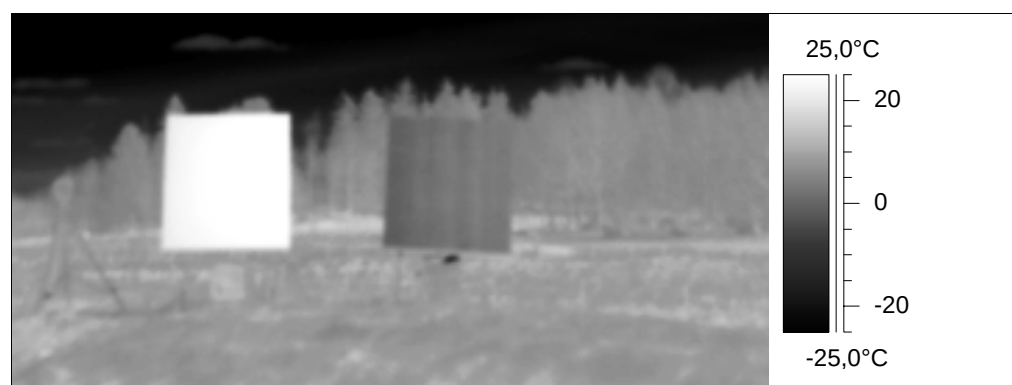
Figur 9 Överföring av skaltemperaturer beräknade med RadThermIR till SensorVision, vilket förbättrar IR-simuleringen i SensorVision.

3.4 JÄMFÖRANDE VALIDERING AV SIGNATURKODER

Signaturprediktion av mål har, som tidigare nämnts, många viktiga tillämpningar. För att avgöra simuleringsprogrammets giltighet för olika applikationer är det värdefullt att både jämföra programmen sinsemellan och att jämföra mot faktiska mätningar. För att kunna göra en någorlunda noggrann utvärdering och validering av simuleringsprogrammen är det lämpligt att först studera relativt enkla objekt som mätts under väldokumenterade förhållanden. För att erhålla sådana mätdata genomfördes mätningar på två plana paneler med olika emissivitet under en 24-timmarsperiod i april 2003. Den ena panelen var belagd med vanlig mörkgrön kamouflagefärg och den andra panelen var belagd med en mörkgrön folie som är lågemissiv i IR-området. I Figur 10 visas panelernas genomskärning och ett foto av panelerna på mätplatsen. Radiansdata från panelerna i MWIR och LWIR registrerades med IR-kameror så väl som kompletterande väder- och temperaturdata, Ref 12. I Figur 11 visas ett exempel på en uppmätt IR-bild. Efter mätningarna kalibrerades radiansdata och korregerades för förluster från atmosfärstransmission.



Figur 10 Paneler sedda från sidan (vänster) och foto av paneler uppställda på mätplatsen (höger). I fotot är den målade panelen till vänster.

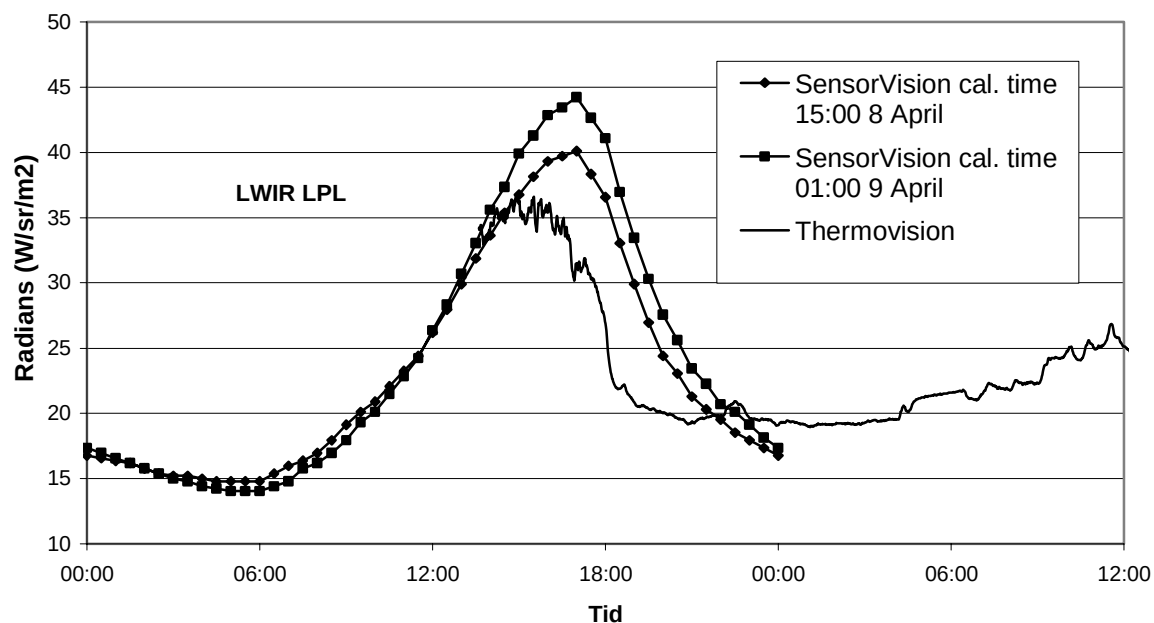


Figur 11 Exempel på uppmätt IR-bild i LWIR från mätning kl. 13:37:13 den 8/4 2003

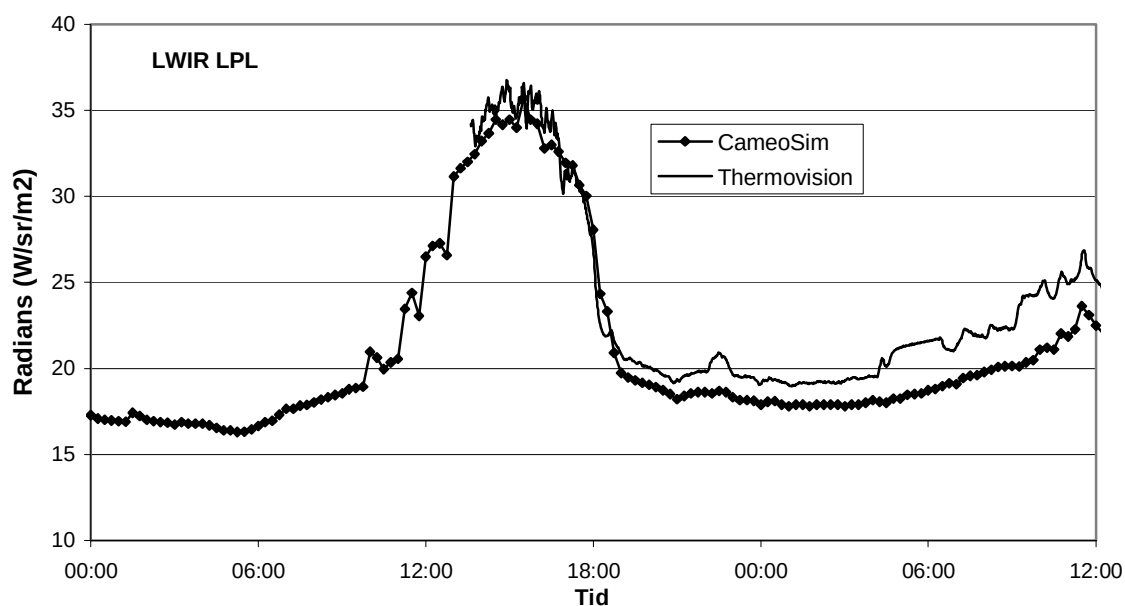
En validering av de kommersiella signatursimuleringsprogrammen SensorVision, CAMEO-SIM och RadThermIR mot panelmätningarna har sedan utförts, Ref 12. Vi har i avsnitt 3.2 mycket kortfattat beskrivit de tre koderna SensorVision, CAMEO-SIM och RadThermIR.

I största möjliga mån valdes identiska indata till de tre programvarorna för simulering av panelerna under den mätta tidsperioden. Olika begränsningar i programvarorna medförde dock att panelernas multilagerstruktur hanterades något olika och i fallet SensorVision kan man inte (åtminstone inte enkelt) utnyttja tidshistoriken i mätta väderdata. Simuleringar utfördes både i MWIR och i LWIR och simuleringresultaten jämfördes sedan med uppmätt radians. Dessutom jämfördes de ytemperaturer som beräknades av programmen med uppmätta kontakttemperaturer. I Figur 12, Figur 13 och Figur 14 visas exempel på resultat från valideringen av de tre simuleringsprogrammen mot mätt radians i LWIR.

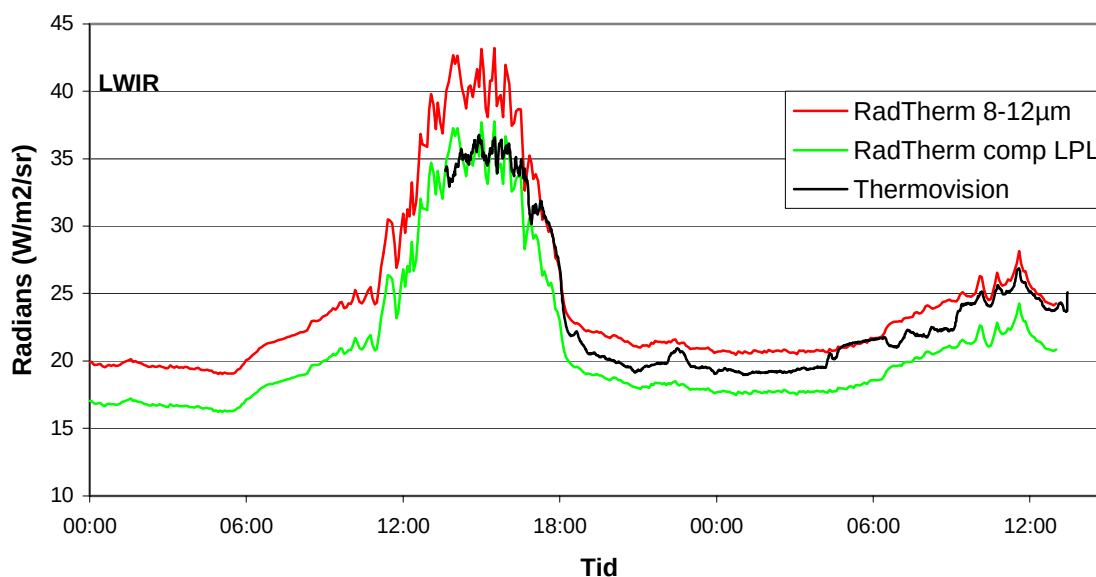
Resultaten från simuleringarna visade att den lågmissiva panelen generellt var svårare att modellera än färgpanelen och MWIR var svårare än LWIR men också att i synnerhet CAMEO-SIM och RadThermIR generellt sett gav resultat enligt förväntan. I analysen av resultaten diskuteras i Ref 12 möjliga orsaker till avvikelser mellan mätningar och simuleringar. Det konstateras att avvikelser mellan mätning och simulering sannolikt kan hänföras till flera källor såsom osäkerheter (och fel) i indata och brister i kodernas modellering. Sammanfattningsvis kan sägas att valideringen mot panelmätningarna gav förbättrad kunskap och insikt om de tre programvarornas användning och giltighet för att prediktera IR-signaturer.



Figur 12 Jämförelse mellan uppmätt radians och SensorVision-simulering i LWIR för panelen med färg. Två olika kalibreringspunkter för SensorVisions atmosfärsmodellering visas.



Figur 13 Jämförelse mellan uppmätt radians och CAMEOSIM-simulering i LWIR för panelen med färg.



Figur 14 Jämförelse mellan uppmätt radians och simulering med RadThermIR i LWIR för panelen med färg. I diagrammet visas också en kompensation för det faktum att RadThermIR inte kan använda den verkliga responsfunktionen för sensorn i simuleringen.

3.5 SEMIEMPIRISK MODELL FÖR IR-SIGNATUR

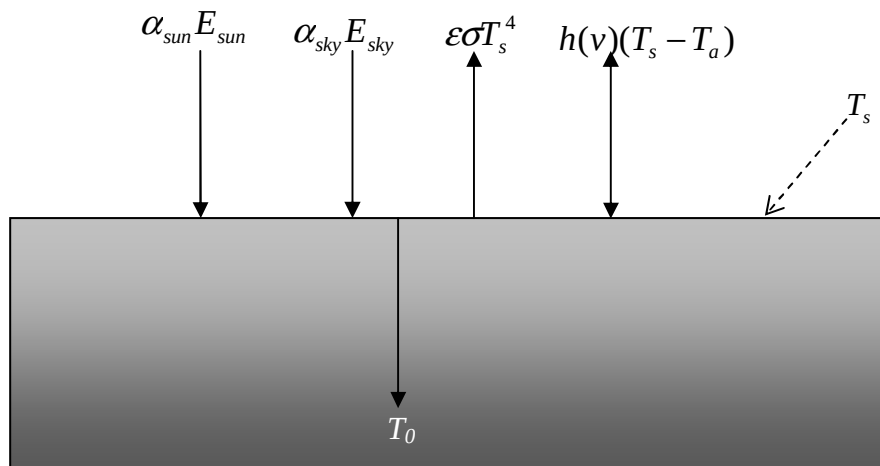
De kommersiella simuleringsprogram för optiska signaturer som beskrivits i de föregående avsnitten är komplexa program som i många fall kan ge noggranna signaturprediktioner. De är också ganska generella och de kan simulera hela objekt eller hela scener med mål och bakgrund. Att utföra en simulering med simuleringsprogramvarorna kräver dock ofta mycket förberedande arbete i form av att hitta och ansätta relevanta materialdata och att konstruera geometriska modeller för objekt och bakgrund. För vissa simuleringsprogram kan dessutom exekveringstiderna vara långa. Som ett komplement till de kommersiella koderna för vissa applikationer, har därför en egen, relativt enkel, modellansats gjorts för beräkning av signatur från bakgrund och vissa enkla objekt. Den egenutvecklade modellen har också syftat till att ge en ökad kompetens i signaturmodellering i allmänhet.

Den egenutvecklade modellen är en så kallad semiempirisk modell. Detta innebär att grundansatsen bygger på fysikaliska ekvationer men att (kombinationer av) termiska materialparametrar bestäms genom att kurvanpassa modellen till mätningar av radiansen från, eller temperaturen på, en yta. När modellens obestämda parametrar bestämts i kurvanpassningen kan modellen användas för prediktion av radians eller temperatur från samma typer av ytor under andra väderförhållanden. En fördel med semiempiriska modeller är att alla termiska materialparametrar inte behöver vara kända eftersom de erhålls (i kombinationer) från kurvanpassningen av modellen.

I det arbete som utförts för att modellera markbakgrund, och som presenteras i Ref 10, har en semiempirisk modellansats gjorts. Startpunkten för modellen är en enkel och effektiv tidsberoende ekvation som beskriver värmebalansen (see Figur 15) över en yta och som kan användas för beräkning av yttemperaturen hos det betraktade bakgrundelementet:

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{k_1}{\rho c d} [\alpha_{sun} E_{sun} + \alpha_{sky} E_{sky} - \epsilon \sigma T_s^4 - h(v)(T_s - T_a)] - \frac{k_2}{P_e} (T_s - T_0), \quad (1)$$

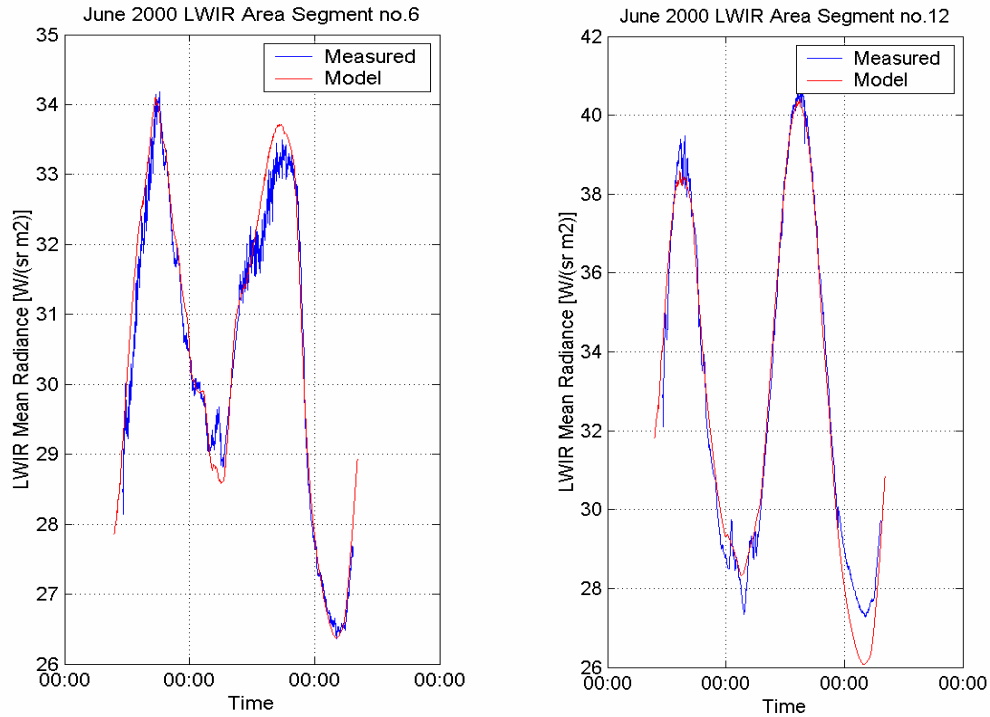
I ekvationen är t tiden, T_s yttemperaturen, E_{sun} kortvågig irradians (0,3-2,8 μm), E_{sky} långvågig (himmels-) irradians (3,5-40 μm), T_a lufttemperaturen och $h(v)$ är en konvektionsfaktor som beror av vindhastigheten, v . Övriga parametrar i ekvationen är olika typer av konstanter (modellkonstanter, materialkonstanter och fysikaliska konstanter). Parametrarna E_{sun} , E_{sky} , T_a och v är alla väderparametrar som normalt mäts av en väderstation så dessa betraktas i modellen som kända.



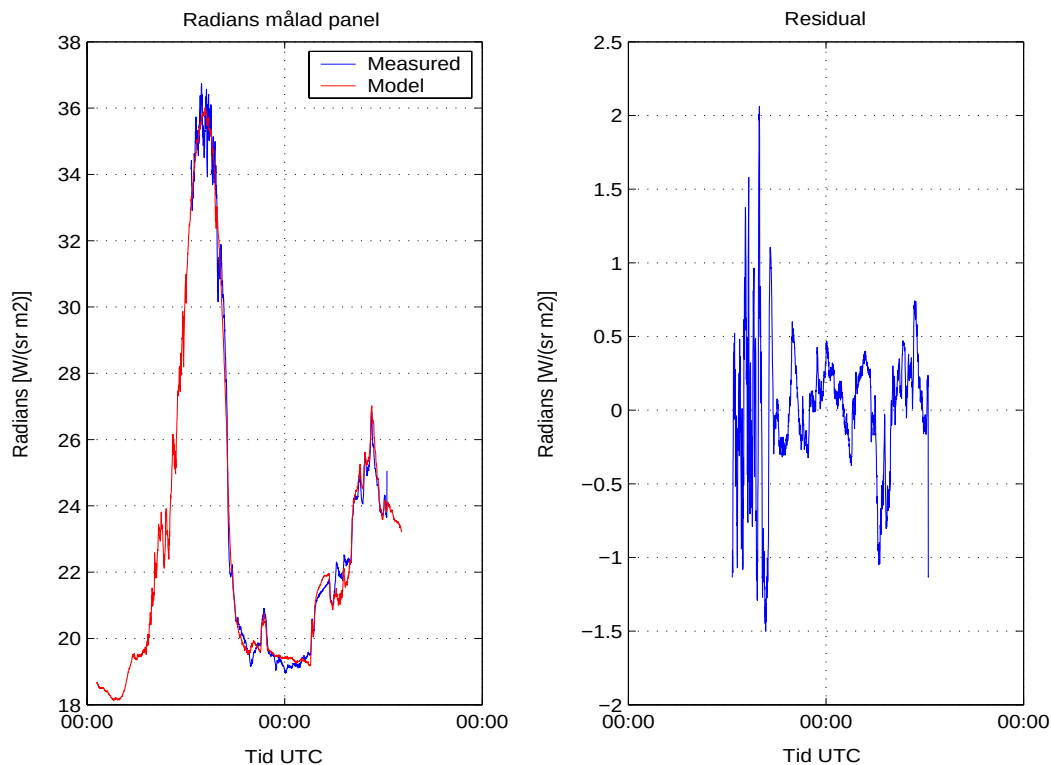
Figur 15 Värmeflöden över yta som tas med i ekvation (1): Kortvågig och långvågig instrålning, emission av strålning, konvektion och värmeledning till ett djupt liggande lager med konstant temperatur T_0 .

Med utgångspunkt i ekvation (1) har, med hjälp av vissa antaganden och approximationer, en modell för den atmosfärskorrigerade radiansen som funktion av väderparametrar, från bakgrundselementet tagits fram. Vidare kan en approximativ inkrementell algoritm härledas för radiansen från ytan (bakgrundselementet). I Ref 10 beskrivs hur denna algoritm kan användas för att kurvanpassa modellen mot mätdata och därigenom bestämma alla fria parametrar i modellen. Modellen har där applicerats på de medelvärden för atmosfärskorrigerad radians som räknats fram i den statistiska analysen som presenteras i avsnitt 2.2. I Figur 16 visas exempel på resultat.

Den semiempiriska modellen har under år 2003 vidareutvecklats (Ref 11). Modellen har t.ex. anpassats så att den bättre kan hantera ickehorisontella ytor. I Figur 17 visas hur väl den vidareutvecklade semiempiriska modellen anpassar till de radiansmätningar på panel med kamouflagefärg som kortfattat presenterades i avsnitt 3.4.



Figur 16 Semiempirisk modell mot uppmätt radians. Vänstra figuren visar resultatet för medelradiansen från en trädbakgrund och högra figuren visar modellens anpassning mot mätt radians från en asfaltsväg.



Figur 17 Den vidareutvecklade semiempiriska modellens anpassning mot mätt radians från färgpanel.

4 TEXTURBASERAD SIGNATURVÄRDERING

Frågeställningen vid signaturvärdering är om en åtgärd leder till ökad upptäcktstid eller upptäcktsavstånd. En liknande fråga är hur upptäcktssannolikheten ändras. För att svara på sådana frågor räcker det inte alltid att studera enskilda delar av fordonet. Det här valda sättet att karakterisera ett fordon samt bakgrunden är att använda texturmått. Textur är en statistisk beskrivning. Även andra synsätt kan användas. Vet man vilka fordon man skall värdera går det att skaffa geometriska modeller och materialdata för att kunna göra en mera detaljerad analys. Det är inte säkert att ökad precision fås eftersom många egenskaper hos t ex bakgrunden varierar kraftigt. För signaturvärdering har ett program, Terrtex, utvecklats (Ref 24 och Ref 25).

Inom projektet SAT/Mark har man undersökt om programmet Terrtex kan användas vid kravställning av signaturanpassning. Det har visat sig svårt att formulera krav som bygger på mätning av mål i bakgrund. Detta eftersom bakgrunden varierar så mycket. Under detta arbete har många nya impulser och ideér tillförts bl a vad gäller val av särdrag samt beräkning av mått på effekten av kamouflage. Även gränssnittet mot användaren har gjorts bättre. Terrtex har distribuerats i kompillerad form för att tillåta användning utan Matlablicens.

4.1 TERRTEX

Terrtex är ett verktyg för att kunna mäta signaturdifferensen mellan ett fordon och dess bakgrund. Fordonet kan vara mer eller mindre signaturanpassat. Som indata till programmet används bilder på fordon med relevant bakgrund.

Som grund för mätningarna ligger några viktiga perceptuella faktorer, vare sig det gäller direkt seende i det visuella området eller inom det infraröda området med hjälp av sensor och display. Viktiga egenskaper är:

- Konturer,
- Mönsteregenskaper inom konturen
- Färg

Andra faktorer av stor vikt men som inte finns med i nuvarande version av Terrtex är i första hand rörelse.

För att karakterisera såväl bakgrund som fordon används olika texturmått. Även en mer eller mindre oregelbunden kontur beskrivs på samma sätt.

I det enkla fallet med homogen yta mot homogen bakgrund används kontrasten som ett mått på hur bra ett objekt syns. I realistiska fall har både bakgrund och fordon en struktur. I detta fall kan det vara lämpligt att använda beteckningen generaliserad kontrast. Man avser då inte bara nivåskillnader utan också skillnader som beror på olika strukturegenskaper.

4.1.1 Särdrag

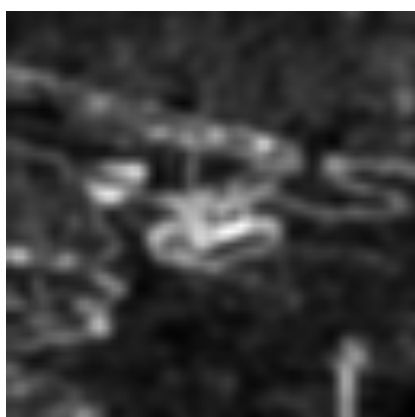
Ett antal operatorer för olika mönsteregenskaper finns i Terrtex. Från en bild kan en ny bild skapas där nivån svarar mot styrkan av en viss texturegenskap. Med utgångspunkt från dessa bilder kan konventionella kontrastmått formuleras och användas. Flertalet egenskaper som finns tillgängliga kan grupperas enligt nedan:

- Bildmått
 - medelvärde
 - spridning
 - kantkoncentration (kantstyrka per ytenhet),
- Fouriermått
 - fourier transform energy (variation inom en ytenhet vad gäller långsamma, medel- snabba och snabba variationer)
 - shape (riktningskoncentration)
 - fraktal dimension (mått på hur strukturen varierar med skalan)
 - fraktalt fel (mått på hur väl fraktal dimension beskriver hur strukturen varierar med skalan)
- Gabormått
 - gaborkoefficienter, t ex 3 skalor och 4 riktningar
 - Invarianta mått baserade på gaborkoefficienter, t ex låg-, mellan- och högfrekvens-energi
- Spektrala mått
 - färgkomponenter i ett flertal färgkoordinatsystem
 - medelvärde och spridning i flerdimensionella fördelningar från multispektrala registreringar

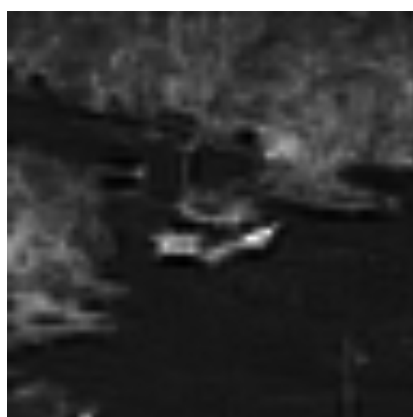
Flera mått mäter samma eller liknande egenskaper. Gabormåtten kommer i fortsättningen ersätta fouriermått. Båda grupperna mäter i fourierdomänen. Exempel på bildmått och fouriermått visas i Figur 19. Originalbilden visas i Figur 18.



Figur 18 Originalbild



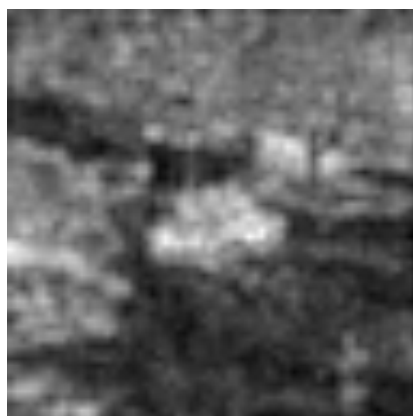
(a)



(b)



(c)

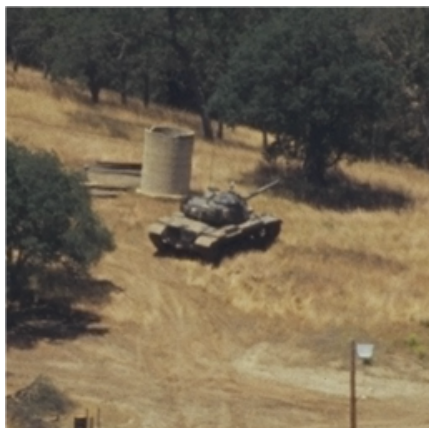


(d)

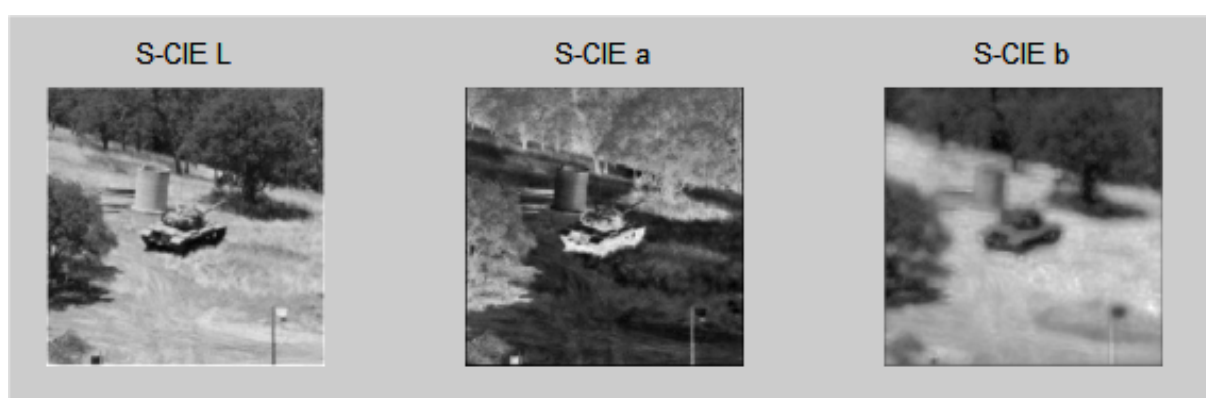
Figur 19 Egenskapsbilder, a: kantkoncentration, b: spatial frekvens, c: shape, d: fourier energi.

I normalfallet kan kantkoncentration användas. En viss förfining uppnås om även spatial frekvens används. Spatial frekvens är ett mått på hur snabbt bilden varierar längs kanten. En hög spatial frekvens motsvarar ett kort korrelationsavstånd.

Figur 20 visar den bild som använts för färegenskapsbilderna. En uppdelning av bilden i dess S-CIE komponenter visas i Figur 21. Även andra färegenskaper implementeras, t ex dominerande färg.



Figur 20 Bild som använts vid färgseparationen.



Figur 21 De tre S-CIE komponenterna (L,a,b) för figur 4.5.

4.1.2 Mätning av generell kontrast

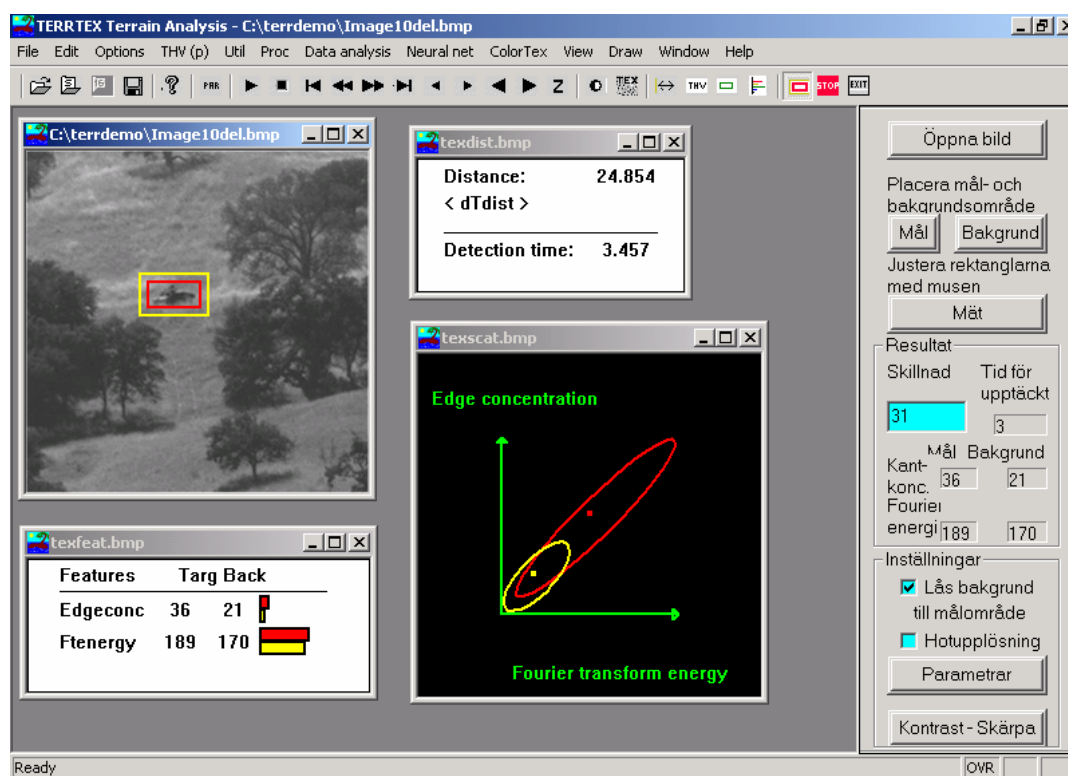
Vid mätning med Terrtex definieras ett målområde och ett bakgrundsområde. Bakgrundsområdet omger målområdet. Medelvärden μ_T , μ_B och spridningar σ_T , σ_B för de valda särdragen beräknas för de båda områdena.

Avståndsmåttet ***dT_dist*** mellan mål- och bakgrundssärdragen beräknas enligt

$$dT_dist = \frac{1}{N} * \sum_{Features} (|\mu_T - \mu_B| + |\sigma_T - \sigma_B|) \cdot$$

Det finns många alternativa mått. I något fall har det gått att visa att tid för upptäckt är omvänt proportionellt mot den beräknade distansmåttet enligt ovan.

I Figur 22 visas en skärmbild vid mätning med Terrtex.



Figur 22 Mätning av kontrast med Terrtex. Fordon markeras med röd polygon medan bakgrunden avgränsas med gul polygon. Kontrast och detektionstid kan avläsas i fönster till höger i bilden. Den röda ellipsen visar fordonets statistik i de två använda särdragen, med motsvarande för bakgrunden visas i gult.

4.1.3 Kalibrering

För att kunna relatera uppmätt kontrast till upptäckttider har en kalibrering gjorts. Härvid har 44 bilder med tillhörande data från ett perceptionsexperiment (Ref 47) använts. Särdraget kantkoncentration har visat sig ha 90 % korrelation med de upptäckttider som uppmättes. Dock gäller att värden på upptäckttider endast ger ett relativt mått. Absolutkalibrering skulle kräva att en hel del parametrar kontrolleras noga, t ex ljusförhållande och atmosfärssegenskaper. I Figur 23 visas exempel på bilder som användes vid perceptionsexperimentet.



Figur 23 Exempel på testbilder (från Ref 47)

4.1.4 Linjär diskriminantanalys

Man vill hitta de särdrag som bäst skiljer fordon från bakgrunden. En ansats som testats är att använda linjär diskriminantanalys (Ref 26 och Ref 37). I en sådan analys beräknas vikter för de olika särdragen så att fordonet så bra som möjligt skiljs ut från bakgrunden. Viktsvektorn kan tolkas som den betydelse varje särdrag har.

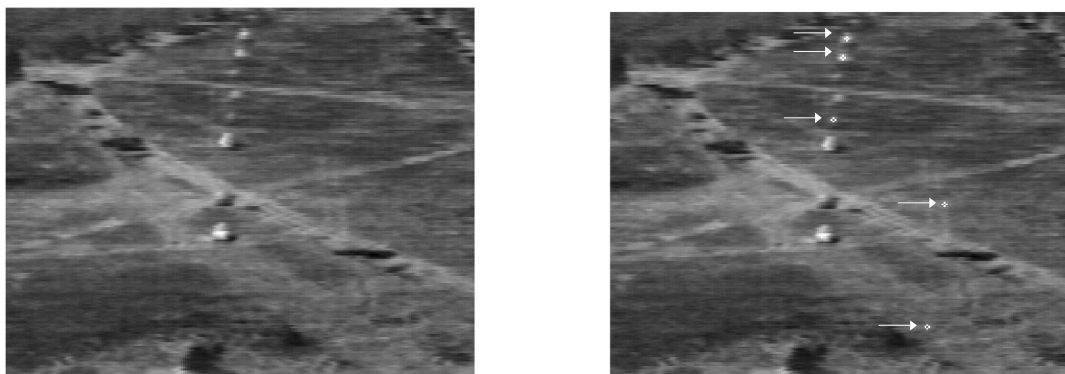
De 44 bilderna som använts vid kalibreringen av upptäcktstid har även använts för att beräkna viktsvektorer för de olika särdragen. Särdraget kantkoncentration har fått hög vikt. Detta är inte förvånande med hänsyn till dess höga korrelation med perceptionsdata, som redovisats tidigare. Andra särdrag med relativt höga vikter är mellanfrekvensenergi, högfrekvensenergi samt fraktal dimension (beräknad på gabor koefficienter).

4.2 MÅLIGENKÄNNING (ATR)

Som ett led i att kunna värdera signaturanpassningsåtgärder mera objektivt jämfört med perceptionsstudier har en enkel generisk ATR utvecklats (automatic target recognizer). Denna skall finna mål i bakgrund samt även ange hur säker en upptäckt är. Ett första steg har tagits genom ett examensarbete (Ref 16).

Automatisk måligenkänning kan ses som en gren av detta område där fokus ligger på militära tillämpningar. Med mål avses i det här sammanhanget olika typer av militära fordon. Måligenkänning försvåras av att både målens och bakgrundens egenskaper ofta är svåra att karaktärisera. Fordonen kan vara delvis skymda och i regel är dessutom deras signatur anpassad till bakgrunden. I detta arbete har en relativt bred studie av metoder för detektering gjorts, vilket mynnat ut i att ett antal algoritmer implementerats och testats på verkliga bilder.

Figur 24 visar ett exempel på måldetektion med den sk RX-algoritmen



Figur 24 Vänster: Inbild till RX-algoritmen(IR). Höger: Resultatbild. (Från Ref 16)

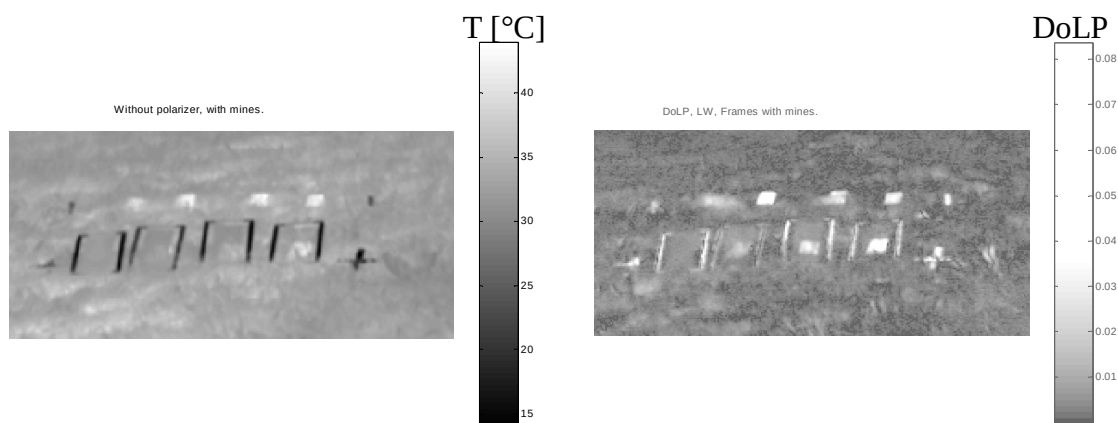
5 POLARISATION

Polarisation, liksom våglängd, är en inneboende egenskap hos elektromagnetisk strålning. Strålningen kan beskrivas som en vågrörelse och vågen kan ha olika våglängder och olika polarisationstillstånd. Strålningens polarisation beskrivas så, att strålningens vågrörelse svänger i olika plan, eller vrider sig fram som en spiral i höger eller vänstervarv. Om strålningen svänger i endast ett plan, t ex horisontellt kallas strålningen för horisontellt plan(lineär)-polariserad. Om strålningen vrider sig fram som en spiral, kallas strålningen

cirkulärt eller elliptiskt polariserad. Strålningen kallas helt opolariserad om svaret vid mätning är lika, oberoende av vilket polarisationstillstånd som mäts. Strålningen är helt polariserad om man vid mätning av alla polarisationstillstånd får svar endast för ett tillstånd. Tillstånd mellan dessa två, helt polariserad och helt opolariserad strålning är det vanligaste och betecknas delvis polariserad. En polarisationsparameter kallad Graden av Lineär Polarisation (Degree of Linear Polarization, DoLP), beskriver strålningen mellan polariserat och opolariserat tillstånd

Motsvarande beskrivning finns hos egenskapen våglängd. Om man, vid mätning, får samma svar oberoende av vid vilken våglängd man mäter, så kallas strålningen för vitt strålning (vitt ljus). Om man vid mätning får svar endast vid en våglängd kallas strålningen monokromatisk. Det vanligaste är ett tillstånd mellan dessa två, vitt strålning och helt monokromatisk strålning, och innebär att strålningen uppträder i något våglängdsband. I praktiken finns olika komponenter av våglängder och polarisationstillstånd samtidigt i ett strålnippe.

När strålning växelverkar med ett objekt, (reflektion mot och/eller transmission genom objektet) så kommer olika komponenter att ha olika växelverkan. Genom att analysera våglängdsberoendet får man information om denna växelverkan och kan därmed härleda materialegenskaper, t.ex. objektets kemiska sammansättning och geometriska struktur. Vid analys av polarisationstillståndet får man också information om denna växelverkan och kan därmed härleda materialegenskaper. Som exempel kan nämnas polarisationsparametern DoLP, som mäter hur stor del av den totala strålningen som är lineärt polariserad. Parametern ger ett mått på hur slät en yta är. Av människan tillverkade objekt är i allmänhet slätare än naturliga objekt och syns därmed tydligare i en bild som är omräknad till DoLP (Figur 25). En annan framräknad polarisationsparameter, theta, ger information om hur den släta ytan är orienterad i rummet.



Figur 25 Vänstra figuren visar strålningen utan polarisationsanalys av ett område med objekt täckta till 90, 60, 45 och 20 % täckningsgrad. Högra bilden visar samma område mätt med polarisator och bilden har bildpunkt för bildpunkt omräknats till DoLP.

Som exempel visas två bilder (Figur 25) registrerade med en Agema Thermovisionskamera, för våglängdsbandet 8-12 μm (se Ref 4). Mätningen har skett med en vridbar polarisator framför kamerans objektiv. Bilderna visar ett område med 4 objekt (personminor), som är täckta av 4 ramar beklädda med bomullstråd, så att täckningsgraden av objekten är respektive 20, 45, 60 och 90 % från höger. Den vänstra bilden visar radiansen, utan polarisator. Den högra bilden visar DoLP för samma område. Tre polarisationstillstånd har registrerats och från dessa har DoLP beräknats för varje bildpunkt och presenterats. Bilderna visar att även delvis täckta

objekt kan ses i DoLP även om det inte är möjligt att observera objekten utan polarisationsanalys.

5.1 HOTBILD OCH PROBLEMSTÄLLNING

Det finns inte några snabba polarisationssensorer tillgängliga idag. Däremot finns i USA utvecklade prototyper som vissa forskningsgrupper i USA har tillgång till. FOI har idag inte möjlighet att testa dessa prototyper. Innan polarisationssensorer finns kommersiellt tillgängliga utgör polarisation inte ett stort hot. Däremot är det strategiskt viktigt att redan nu arbeta för att öka kunskapen om och konsekvenser av framtida operativa polarisationssensorer. Detta har gjorts med den inom projektet utvecklade utrustningen och metodiken. Det finns två aspekter som har studerats i detta projekt.

- Bakgrundens uppträdande vid polarisation.
- Objektets uppträdande vid polarisation.

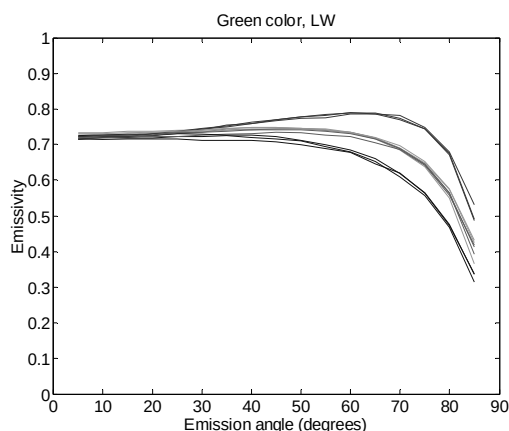
Kontrasten hos ett objekt i förhållande till bakgrunden kan förbättras genom en analys av polarisationen. I Figur 25, där kontrasten är låg på grund av att objektet är delvis täckt, syns en tydlig förbättring av kontrasten med polarisationsanalys.

5.2 GENOMFÖRANDE OCH RESULTAT

Följande har utvecklats och studerats i detta projekt.

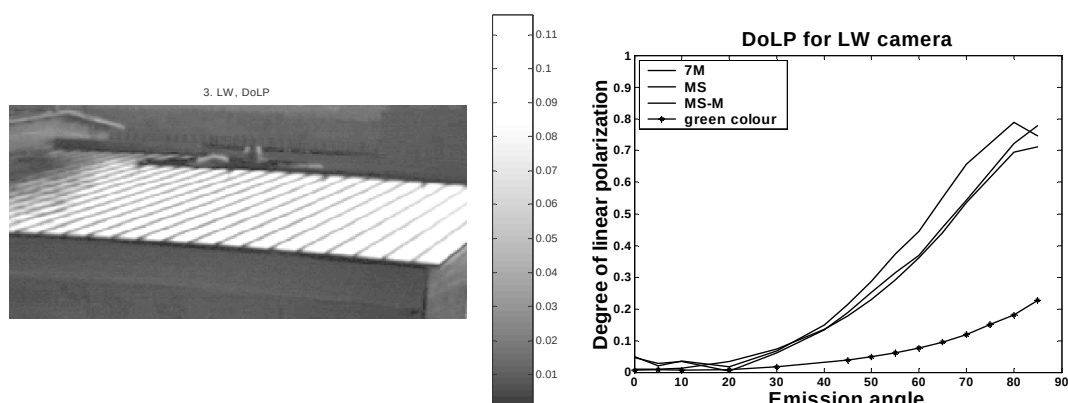
- Mätmetoder för att mäta polarisation med polarisatorer framför IR-kameror har utvecklats inom projektet (Ref 3, Ref 34).
- Mätningar av bakgrunder (Ref 3).
- Mätningar mot objekt (Ref 3-Ref 6, Ref 34-Ref 36).
- Mätningar mot och analys med maskeringsnät (Ref 5, Ref 6).

I detta projekt har en utveckling och förbättring av mätmetoder för mätning av polarisationsegenskaper genomförts (Ref 3, Ref 34). Mätmetoder har utvecklats för att mäta emissiviteten från en yta som funktion av emissionsvinkel. Ett exempel visas i Figur 26 som visar mätningar av de horisontellt (översta kurvscharan) och 45 graders (mitten) och vertikalt (understa kurvscharan) lineärt polariserade strålningskomponenterna mätta vid flera oberoende mättillfällen. Skillnaden mellan de horisontellt och vertikalt polariserade komponenterna är i en första approximation lika med DoLP. Detta innebär att man direkt i diagrammet får ett mått på effektiviteten av en polarisationsanalys genom dessa mätningar.



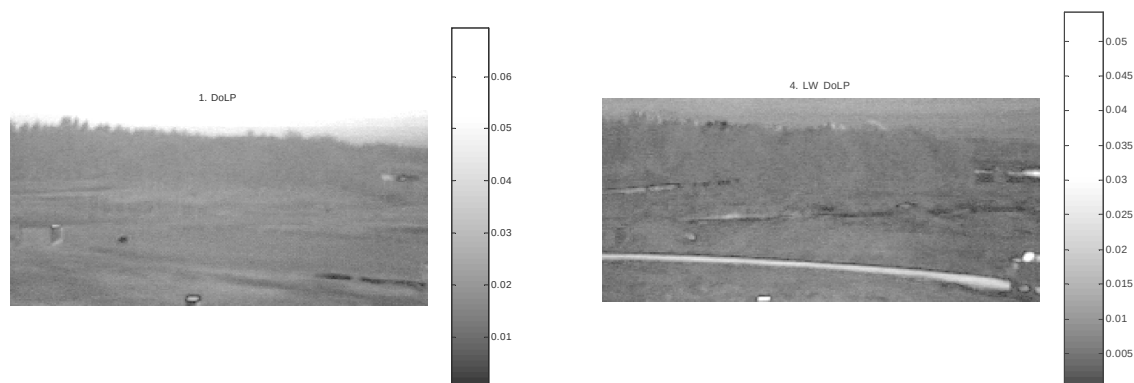
Figur 26 Emissiviteten i våglängdsintervallet 8-12 μm som funktion av emissionsvinkeln för grön färg. De tre kurvscharorna visar polarisationskomponenterna, horisontell (övre), vertikal (undre) och 45 graders (mitten) polarisation.

Utrustningen är också kalibrerad både med och utan polarisatorer, vilket innebär att de framräknade bilderna ger ett verkligt värde på radian sen. De framräknade bilderna för DoLP har också kalibrerade värden i intervallet [0,1]. Som exempel visas DoLP av ett målat tak (Figur 27 till vänstra bilden). Av skalan på högra delen av bilden framgår att DoLP är ungefär 0,1. Högra bilden visar DoLP som funktion av emissionsvinkel för en grön färg och tre aluminiumplåtar med olika ytojämnheter. Den gröna färgen har DoLP ungefär 0,1 för vinklar omkring 60-70 grader. Eftersom vinkeln till taket är ungefär 60 grader så ser man en överensstämmelse mellan de två mätningarna.



Figur 27 DoLP för ett målat tak vid vinkeln ungefär 60 grader (till vänster). Högra bilden visar DoLP som funktion av emissionsvinkel för en grön färg och tre aluminiumplåtar med olika ytojämnheter. Ur Ref 3.

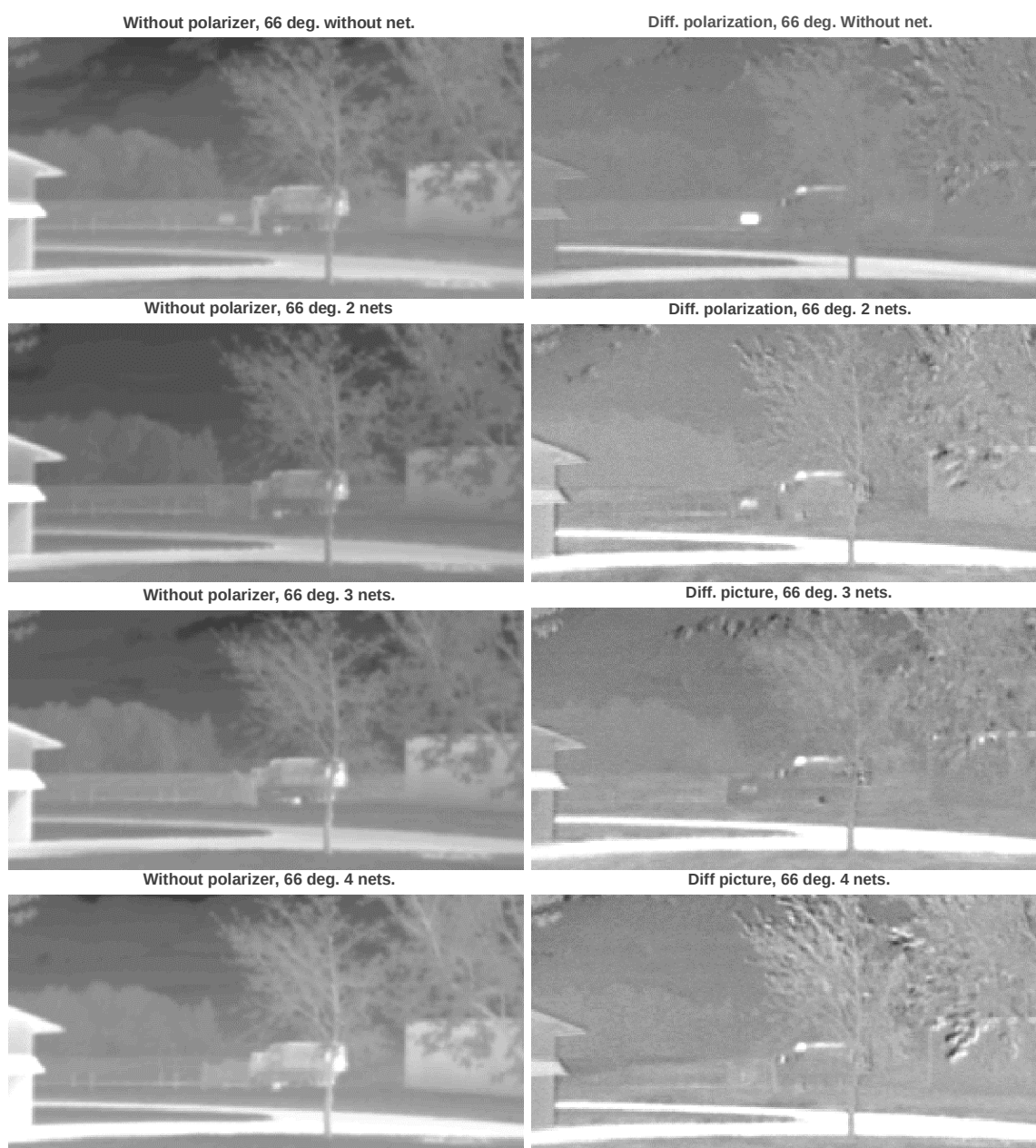
Bakgrundsmätningar visar att för DoLP är scenvariationen liten. Figur 28, (Ref 3) visar DoLP för en scen bestående av en äng och skogsbakgrund. Vänstra bilden är registrerad i mars med snö på marken. Högra bilden är registrerad i maj. I bägge bilderna har bakgrunden liten variation. Objekt i bilderna syns emellertid tydligt. T.ex. syns en asfältväg tydligt i nedre delen av högra bilden. Vägen syns sämre i vänstra bilden eftersom marken och vägen är snötäckt.



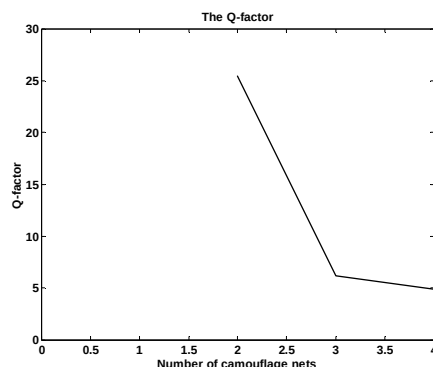
Figur 28 DoLP för två bakgrundsbilder. Till vänster visas en scen mätt i mars med snö på marken och till höger visas samma scen mätt i maj. DoLP för bakgrunderna har liten struktur.

Mätningar mot delvis täckta minor visar att minorna syns bättre vid mätningar med polarisatorer (se Figur 25, Ref 4). Mätningar mot en målad grön yta, täckt med maskeringsnät har genomförts och visas i Figur 29 (Ref 5, Ref 6). De fyra bilderna till vänster visar ytan med maskeringsnät utan polarisator med 0, 2, 3 och 4 maskeringsnät framför ytan. Ytan syns till vänster om lastbilen i mitten av figurerna. Till höger visas DoLP för samma antal maskeringsnät framför ytan. I rapporterna visas att objekt täckt av maskeringsnät syns tydligare med

polarisationsmätningar i 8-12 μm än utan polarisator. När ett objekt är delvis täckt av maske-
ringsnät visar beräkningar av Q-faktorn (se Figur 30) att polarisationsmätningar är upp till 25
gångar bättre än mätningar utan polarisator.



Figur 29 Till vänster syns bilder mätta utan polarisator och till höger syns differensbilder beräknade från polarisationsmätningar. Från toppen till botten syns bilder med 0, 2, 3, och 4 maske-
ringsnät framför en upphettad grönfärgad skrovlig yta. Ytan syns till
vänster om lastbilen.



Figur 30 Q-faktorn för antalet nät som täcker den målade ytan. Q-faktorn är ett mått på hur mycket bättre polarisationsmätningar är än mätningar utan polarisator.

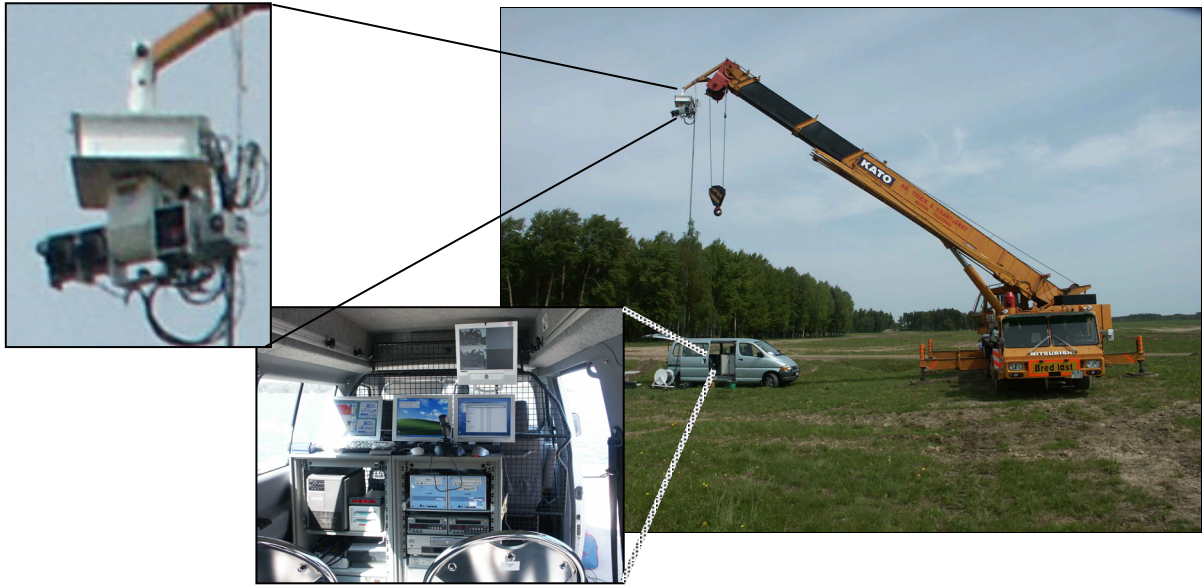
6 MÄTUTRUSTNING FÖR SIGNATURKARTLÄGGNING

Både inom Optiska signaturprojektet och inom övriga signaturprojekt inom institutionen för IR-system är det viktigt att det finns adekvata radiometrisk mätresurser tillgängliga. Det innebär ständig vidareutveckling av mätsystemen och underhållskalibrering och projektet har under åren medverkat i detta arbete. Sedan 2003-07-01 följer FOI ISO 9001:2000 vilket har medfört tydligare krav på mätutrustningen och metoderna för signaturkartläggning. Avdelningen för Sensorteknik har dock sedan flera år haft instruktioner och rutiner för mätverksamheten som till stor del har motsvarat de i ISO 9001:2000.

Mätutrustningen har inom projektet använts för mer grundläggande studier av bakgrunder och enkla mål vilket redovisas i denna rapport. I andra projekt har utrustningen använts för signaturverifiering av olika SAT-lösningar samt för att skaffa signaturunderlag för hotbedömningar och dimensionering av motmedel. Utrustningen har också ingått som en väsentlig del i den optiska minforskningen vid FOI. Nedan kommenteras statusen på och förbättringar av viss nyckelutrustning. I övrigt beskrivs den allmänt i Ref 44.

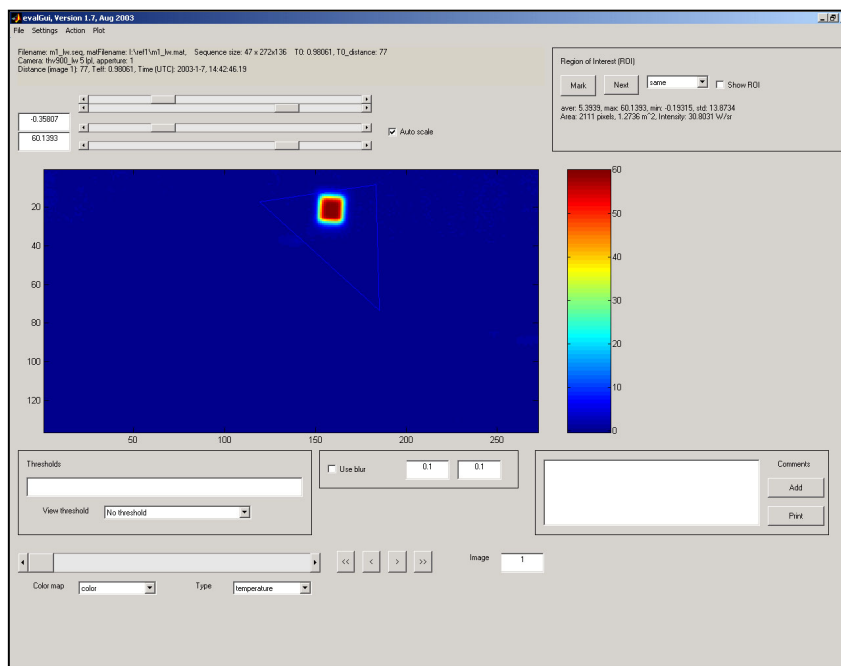
6.1 THERMOVISION SYSTEM 900

Thermovision System 900 har under flera år utgjort ryggraden i mätutrustningen för optisk signatur vid institutionen. Systemet består av två radiometriskt kalibrerade IR-kameror för spektralbanden 2-5,5 μm och 7-14 μm . De kompletteras av videokameror som täcker spektralområdena NIR, visuellt och UV. Dessutom finns en högupplösande digitalkamera. Kamerorna sitter monterade på ett vridbord som kan styras antingen manuellt med joystick eller automatiskt från dator. Vridbordet kan hissas upp i mobilkran för att möjliggöra mätningar ovanifrån. All data överförs via optisk fiber till en kontrollenhet för digital lagring i realtid. För avståndsmätning finns en laseravståndsmätare. Kalibreringsmätningar genomförs regelbundet och systemet uppgraderas och anpassas vid behov. En aktuell bild av systemet finns i Figur 31.



Figur 31 Thermovision System 900 vid mätning. Sensorenheten hissas upp med mobilkran för mätning i höga elevationer. Datainsamlingen sker i m.h.a. en kontrollenhet i en skåpbil.

För analys av bilder från Thermovision 900 har ett utvärderingsverktyg tagits fram vid institutionen för IR-system under 2003 (Ref 22). Verktöget som är skrivet i MatLab utför en radiometerisk kalibrering av bilderna m.h.a. data från kalibreringsmätningar. Vidare kan bilderna korrigeras för atmosfärsdämpning innan radiansen och intensiteten för objektet i bilden beräknas. Verktöget är mycket flexibelt och medger automatisk analys av flera bilder i en sekvens. Bilderna kan också degraderas för att åskådliggöra hur en sämre sensor skulle registrera ett visst mål. Exempelvis kan olika avstånd mellan sensor och mål simuleras. Verktöget stöder för tillfället endast bilder från Thermovision men kan utvidgas för att kunna hantera andra bildformat. En illustration av det grafiska gränssnittet finns i Figur 32.



Figur 32 IrEval: program för signaturanalys baserad på bilder.

6.2 FTIR SPEKTROMETER

Vid institutionen finns en FTIR-spektrometer för detaljerade spektrala signaturmätningar. Det spektrala känslighetsområdet sträcker sig från ca 0,7 μm till 20 μm och täcker därmed alla IR-band. Två olika ingångsobjektiv finns som ger synfälten 3,6° respektive 0,28°. Instrumentet har under åren kompletterats och kan nu arbeta i flera olika moder beroende på tillämpning. Nedan beskrivs tre olika konfigurationer och arbetssätt som bygger på att FTIR-spektrometern kompletteras med en scannande spegel.

ScanSpec

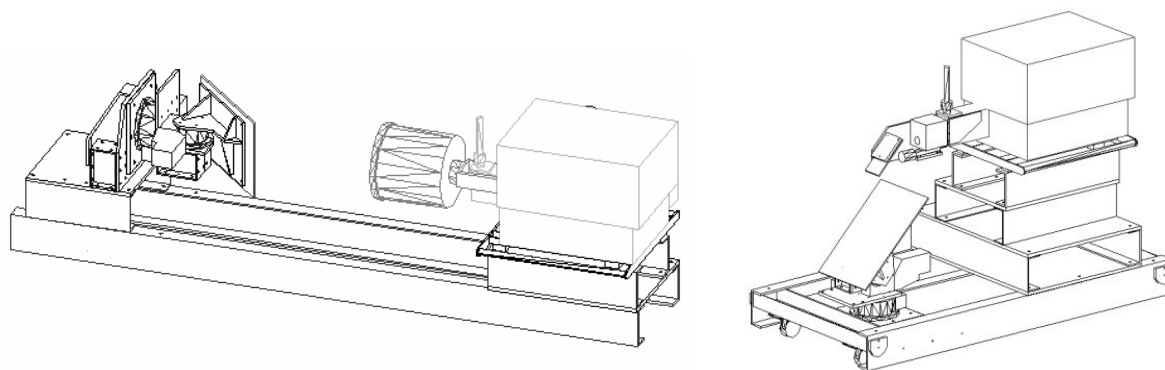
ScanSpec är en hyperspektral sensor baserad på FTIR-spektrometern. En scannande spegel används för att automatiskt bygga upp en spektral bild på maximalt 32x32 bildelement vid spektralupplösningen 16 cm^{-1} . ScanSpec styrs från ett grafiskt användargränssnitt skrivet i MatLab och har använts vid mätningar av både mål och bakgrunder. Vid bakgrundsarbetet beskrivet i Kapitel 2 användes ScanSpec. En figur av konfigurationen för ScanSpec finns i Figur 33.

SpotScan

SpotScan har utvecklats under 2003 och bygger på samma hårdvarukonfiguration som ScanSpec. Skillnaden ligger i metoden att scanna spegeln. SpotScan kan mäta i godtyckliga riktningar på ett sätt som anges av användaren i en styrfil. SpotScan används för att automatiskt samla in spektra från ett antal objekt (mål eller bakgrund) men bygger inte upp en bild som ScanSpec. Genom att koncentrera sig på ett fåtal mätriktningar kan signal-brusförhållandet i spektra ökas markant. Dessutom kan renodlade spektra från olika material erhållas mer effektivt jämfört med ScanSpec.

Backtracker

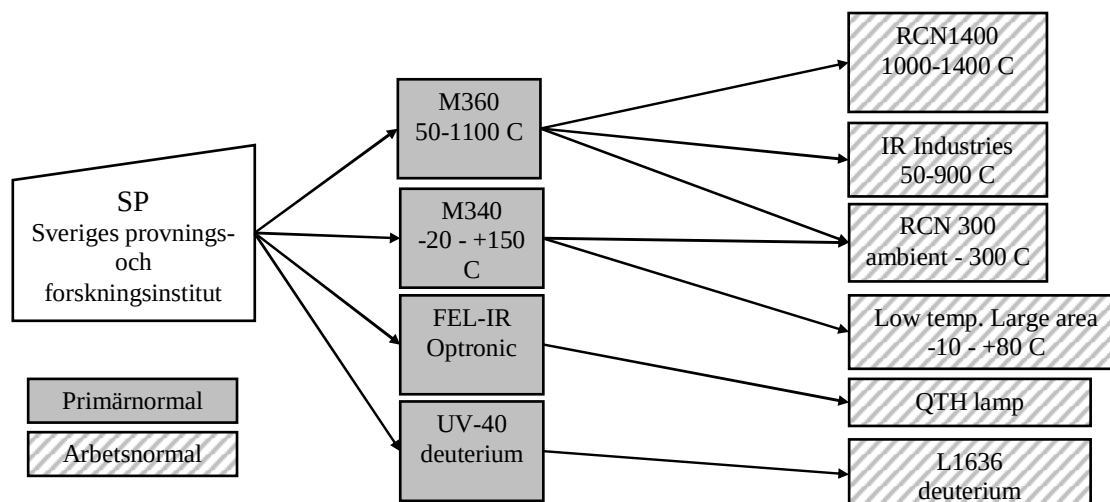
En viktig och vanligt förekommande mätsituation med spektrometern är registrering av mål under rörelse. Framför utförs mätningar av flygplan och motmedelsfacklor. Detta kräver att spektrometern hela tiden riktas mot målet. Eftersom målen i dessa fall är mindre än synfältet registreras också mycket strålning från bakgrunden. Vid mätning mot himmelsbakgrund varierar dock bakgrunden i många fall eftersom spektrometern hela tiden riktas mot det rörliga målet. Detta varierande bakgrundsbidrag utgör en osäkerhet vid signaturanalysen. Backtracker bygger på att en spegel som styrs manuellt via joy-stick används för att rikta spektrometerns synfält mot målet under mätförloppet. Efter mätningen styr BackTracker automatiskt spegeln tillbaka i exakt samma bana under det att endast bakgrunden mäts. Efteråt subtraherar BackTracker korresponderande bakgrund för alla mätriktningar mot målet för att erhålla bakgrundskorrigerade måldata. Konfigurationen syns i Figur 33.



Figur 33. FTIR-spektrometern konfigurerad på två olika sätt. Till vänster som ScanSpec och SpotScan och till höger som BackTracker.

6.3 STRÅLNINGSNORMALER - KALIBRERKEDJA

Strålningsnormaler för kalibrering inom hela det optiska området, från UV till IR finns vid institutionen för IR-system, se Figur 34. Vissa normaler kalibreras externt och används som primärnormaler vid institutionen. Övriga normaler och referenser kalibreras sedan mot primärnormalerna. Externa kalibreringar och kalibreringsmätningar vid FOI äger regelbundet rum. Arbetet med detta har till stor del bedrivits inom Optiska signaturer.



Figur 34 Översikt av strålningsnormaler vid institutionen för IR-system

6.4 VÄDERSTATION

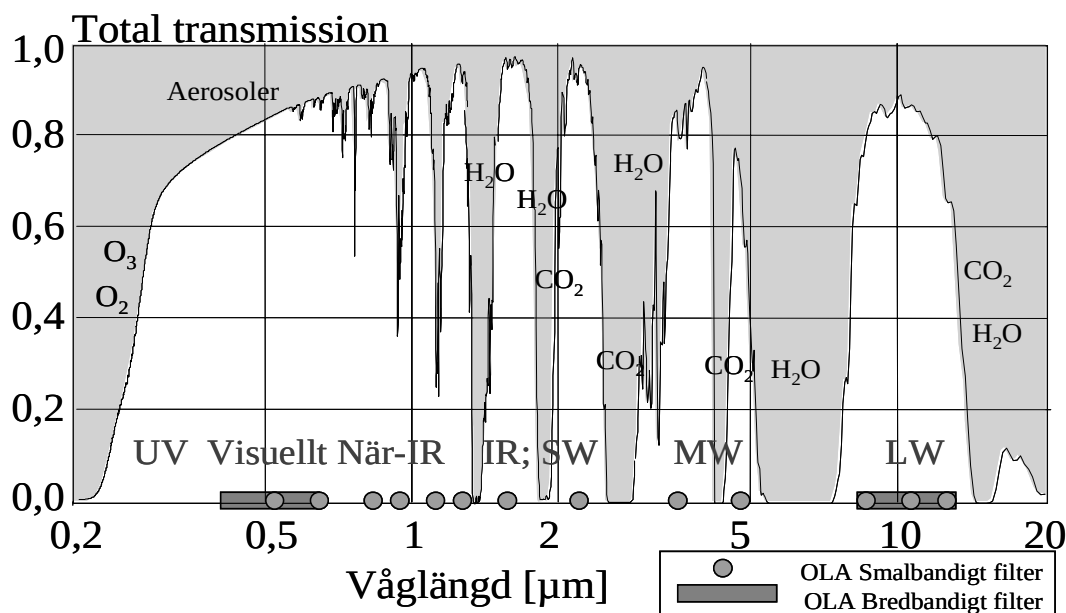
IR-institutionens väderstation utgör en väsentlig del av signaturkartläggningsutrustningen. Signaturer inom det optiska området är alltid mycket väderberoende och vädret måste därför karakteriseras i samband med alla mätningar. I samband med mätningar för att skaffa underlag till validering av beräkningsprogram är detta speciellt viktigt. Väderstationen hålls standardmässigt kalibrerad och uppdaterad.

7 ATMOSFÄR

Atmosfärens transmission har ofta stark inverkan på den strålning, som detekteras i en sensor, när en scen d v s mål och bakgrund observeras genom atmosfären. Man kan beskriva effekten som att den observerade signaturen påverkas av atmosfären. Inverkan kan klassificeras som absorption, emission, spridning, refraktion eller turbulens. Absorption, emission och spridning orsakas av både gasmolekyler och aerosolpartiklar. Refraktion (avböjning) och turbulens orsakas av variationer hos atmosfärens optiska brytningsindex, som huvudsakligen beror av temperaturen. Statiska rumsvariationer eller långsamt varierande temperaturprofiler orsakar refraktion medan snabba stokastiska temperaturfluktuationer ger upphov till turbulens.

Vid FOI har forskningen inom området atmosfäroptik under flera år huvudsakligen varit inriktad mot att studera transmissionsdämpning i aerosoler. Dämpning och emission från atmosfärens gaser kan beräknas med tillräcklig noggrannhet med hjälp av tillgängliga kommersiella program som MODTRAN. De modeller för aerosoltransmission, som bl a ingår i MODTRAN, stämmer däremot dåligt med mätresultat från svensk miljö. Under 70-talet

konstruerades en flerbändig transmissometer, OLA, som användes för mätningar under flera år, se Figur 35. Mätningar genomfördes i Lövsättra norr om Stockholm under mer än ett år 1977 – 78 och under ca två år från 1979 i Normstorp söder om Linköping (Ref 40). Den mätdata, som genererades genom OLA-mätningar, har använts för utveckling av aerosolmodeller. Under året från 2002 till 2003 har en gästforskare från PvTT i Finland (the Finnish Defence Forces Technical Research Centre) arbetat vid FOI och utvecklat nya aerosolmodeller med hjälp av OLA-data.



Figur 35 Transmissionsspektrum plottat m.h.a. MODTRAN för atmosfären med OLA-våglängderna markerade.

LIDAR (Light Detection And Ranging) d v s laserradar har under lång tid använts vid FOI främst för aerosolsondering d v s för kartläggning av aerosolpartiklar och speciellt för siktmätning. Under tre år från 2000 till 2003 har lidarverksamheten bedrivits inom ett EU - finansierat projekt, EARLINET (contract n° EVR1-CT-1999-4003). Målet för projektet är att åstadkomma en europeisk aerosolklimatologi genom samtidiga sonderingar vid ett stort antal platser i Europa och analys av den gemensamma databas, som alstrats.

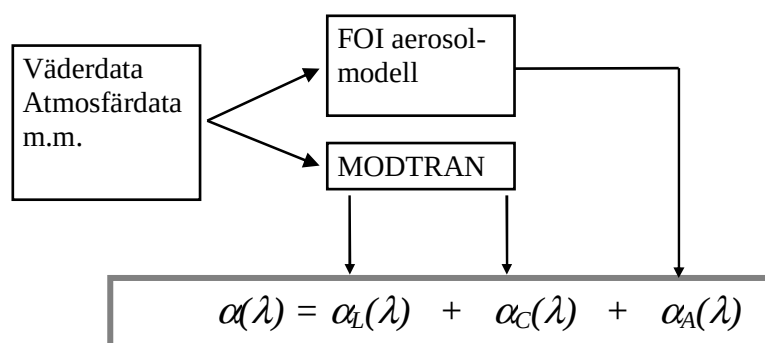
Refraktion nära vattenytan över hav kan påverka räckvidden för t ex fartygsburna IR-sensorer starkt. I ett tidigare samarbete med TNO i Nederländerna genomfördes ett försök (Baltic 99) i Maj 1999 vid Landsort för att studera detta (Ref 45). Samarbetet fortsätter informellt genom bl.a. informationsutbyte.

7.1 NYA AEROSOLMODELLER

Resultat från OLA-mätningarna har legat till grund för aerosolmodeller, (bl.a. Nilsson i Ref 46 och Jani i Ref 41). En nackdel med Nilssons modell är att den använder ett stort antal väderparametrar och att den därmed vid olyckliga kombinationer av dessa kan ge orimligt resultat. Janis arbete visar att det går att konstruera en modell med färre parametrar, men även denna kan ge orimligt resultat vid vissa väderbetingelser. Både Nilssons och Janis arbete bygger enbart på mätningarna vid Lövsättra. Det har alltså länge funnits anledning att låta mätningarna från Normstorp ge underlag till en ny modell, mycket beroende på att det gjordes förbättringar med instrumenteringen inför dessa mätningar.

Nya aerosolmodeller som är baserade på OLA-data har utvecklats i samarbete med PvTT i Finland. Verksamheten har bedrivits vid FOI i Sverige med deltagande av Timo Kaurila från PvTT. Den första delen av detta arbete som behandlar en ny analys av Lövsättradata rapporterades i Ref 30 och Ref 29. Urvalet av data har gjorts mindre begränsat än i Janis arbete och ett fåtal väderparametrar har använts. Analysen resulterade i ett antal modeller t.ex. L-modellen. Arbetet med modellerna har fortsatt under första halvåret av 2003 med att analysera data från Normstorp och bygga en modell för dessa, N-modellen. Modellen använder liksom L-modellen ingångsdata från temperatur och sikt, samt dessutom lufttryck. Avsikten är att publicera arbetet (Ref 15).

Modellerna används tillsammans med programmet MODTRAN, som beräknar extinktionskoefficienter för gasdämpningen (linje- och kontinuum-) enligt Figur 36.



Figur 36 Beräkning med FOI aerosolmodell

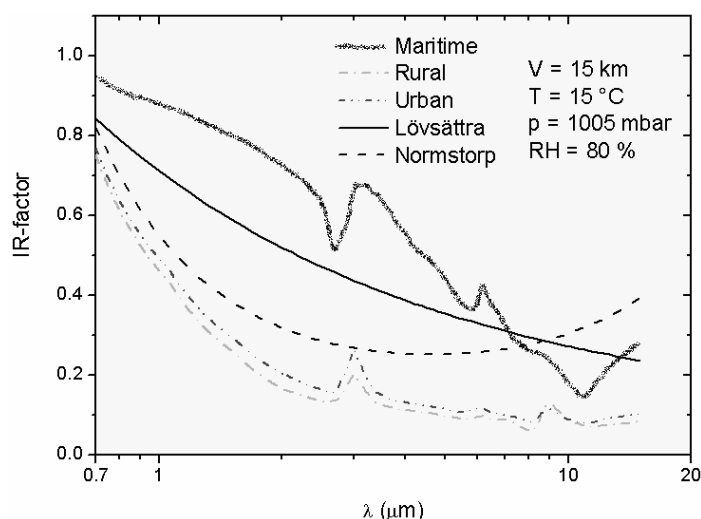
Modellerna använder den s.k. R_V -faktorn (IR-faktorn) som definieras av

$$R_V(\lambda) = \frac{\alpha_a(\lambda)}{\alpha_v},$$

där $\alpha_a(\lambda)$ är extinktionskoefficienten för aerosoler vid våglängd λ och α_v är värdet vid $0,55 \mu\text{m}$ dvs. för siktobservationer. Modellerna är baserade på linjär regression.

L- och N-modellerna har stora likheter och ger ofta likartade resultat - men även skillnader. Vad dessa beror av går inte att definiera entydigt. Några huvudorsaker kan dock poängteras, nämligen Lövsättras närhet till Stockholm och Östersjön, till skillnad mot Normstorps omgivningar av landsbygd och avstånd till havet. Dessutom var även vissa av mätsystemets våglängder olika. Figur 37 illustrerar skillnader mellan modellerna och gentemot MODTRANs aerosolmodeller Maritime, Rural och Urban. Meteorologiska data vid beräkningen framgår av texten i figuren.

En slutsats från analysarbetet var att inte slå samman data från de båda mätplatserna till en gemensam databas och ur denna försöka få fram en enda modell, eftersom skillnaderna mellan de båda separata modellerna var relativt stora. Om en generell modell skall användas, föreslås N-modellen beroende på att denna är byggd på fler mätserier och att dessa är mätta under mer omsorgsfullt valda förhållanden.

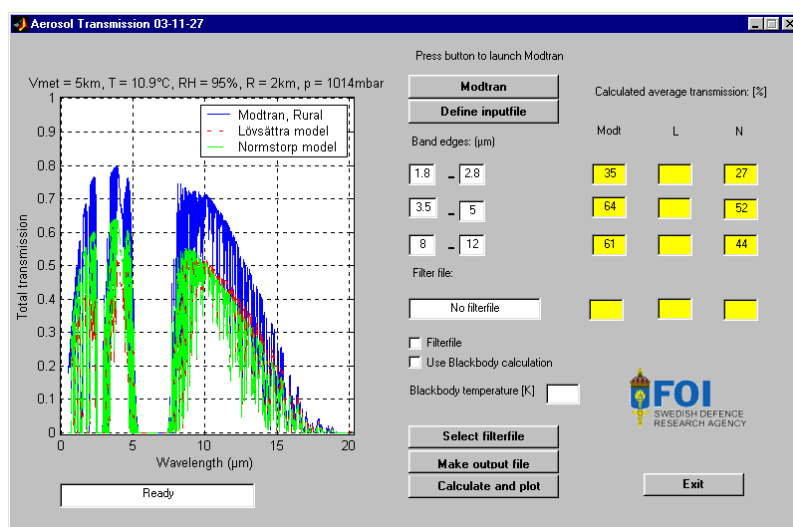


Figur 37 Exempel på IR-faktor som funktion av våglängd för L- och N-modellerna samt tre modeller i MODTRAN.

7.1.1 Program för tillämpning av modellerna

En Matlabrutin, CmpMod2, avsedd att jämföra L- och N-modellerna med en vald aerosolmodell i MODTRAN, har tagits fram. Rutinen, beräknar aerosoldämpningen för L- och N-modellerna. Den använder värden på gasdämpningen som beräknats med hjälp av MODTRAN. CmpMod2 beräknar total transmission för respektive modell, plottar dessa som funktion av våglängden (0,7 – 15 μm) samt beräknar medeltransmission i ett, två eller tre våglängdsband. Rutinen utför transmissionsberäkningar i horisontella sträckor vid marknivå.

Rutinen måste köras i Matlab-miljö. För att göra det möjligt att köra rutinen som ett fristående program (utan tillgång till Matlab), har en utökad version, NORAM, tagits fram. Denna går att köra på PC och har dessutom försetts med möjligheten att använda en filterfunktion för att vikta transmissionen inom ett valfritt område med t.ex. systemfunktionen för en viss utrustning, t.ex. ett IR-system. Programmet installeras enligt anvisning i en separat mapp på datorn och förutsätter att MODTRAN version 3.7 eller 4.0 finns installerat på samma dator. Användargränssnittet visas i Figur 38 och för en mer utförlig beskrivning se Ref 13.



Figur 38 Programmet NORAM (preliminär version)

7.2 KOMMERSIELLA PROGRAM FÖR BERÄKNING AV ATMOSFÄRSTRANSMISSION

Inom projektet följs utvecklingen beträffande modeller och programvara för beräkning av bl.a. atmosfärstransmission och -radians. Dessa kommer till användning inom både signaturprojektet och ett flertal andra projekt. De senaste versionerna av programmen MODTRAN, FASCODE och spektraldatabasen HITRAN används, företrädesvis i Windowsmiljö, i de versioner som säljs av Ontar Corp. i USA (Ref 42).

7.3 VÅGUTBREDNING

Den verksamhet med huvudsaklig inriktning mot studier av refraktion i havsmiljö, som tidigare bedrevs inom signaturprojektet, bedrivs numera inom projektet vågutbredningsanalys (Ref 38). Bl.a. utvecklas en metod för sondering av brytningsindexprofilen med hjälp av lidar. Samarbetet med TNO-FEL i Nederländerna, som bl.a. omfattade vågutbredningsförsök vid Landsort (Ref 27, Ref 28 och Ref 45), fortsätter informellt som informationsutbyte. FOI har t.ex. fortlöpande fått tillgång till de senaste versioner av programmet EO-Star (Ref 43) för strålbaneberäkning och har kunnat ge synpunkter till förbättringar.

7.4 LIDAR

En lidar av den vanligaste typen, som bl.a. används vid FOI, sänder ut pulsad laserstrålning i atmosfären och detekterar bakåtspridd strålning från aerosolpartiklar och molekyler. Strålning detekteras i mottagaren med en tidsfördröjning efter laserpulsen, som är proportionell mot avståndet till de spridande partiklarna dvs vid vertikalsondering mot höjden. Mottagaren består oftast av ett spegelteleskop med synfältsbländare, filter och detektor. Lidarsvaret dvs mottagarsignalen digitaliseras och lagras för analys i en dator, som oftast är en PC. Vanligen detekteras elastisk spridning, som ger samma våglängd som laservåglängden. Spridning från aerosolpartiklar är elastisk. Alternativt kan man detektera Ramanspridning från molekyler som t ex kväve (N_2) vid en våglängd, som skiljer sig från laservåglängden med en differens, som är specifik för molekyltypen.

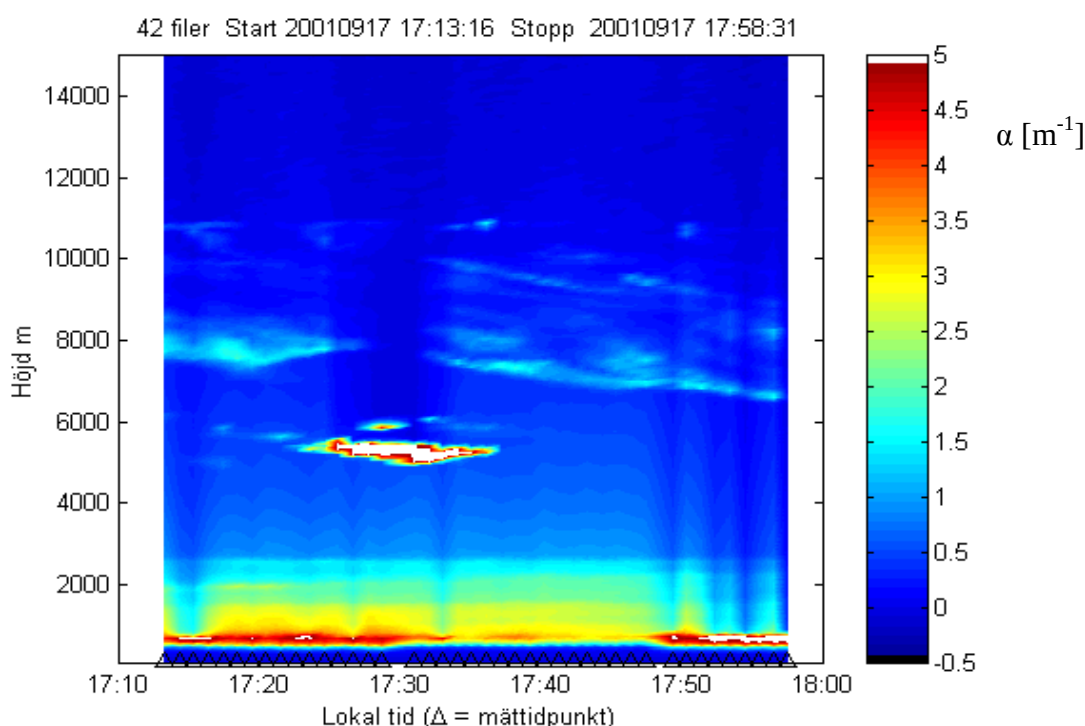
Genom analys av lidarsvaret kan man beräkna bakåtspridningskoefficienten β [$m^{-1}sr^{-1}$] som funktion av avståndet (höjden). Den är proportionell mot antalet partiklar per volymenhet och mot deras spridningstvärsnitt. Om ett Ramansvar från kväve finns, kan man dessutom beräkna extinktionskoefficienten α [m^{-1}] och lidarkvoten (lidar ratio) α/β . Den behövs för att lösa lidarekvationen och alltså även för att beräkna β . Om inget Ramansvar finns får man anta ett värde på lidarkvoten t ex med ledning av publicerade värden.

Lidarverksamheten har under tre år från februari 2001 bedrivits inom projekt EARLINET (Ref 33), som till 50% har finansierats av EU och till en mindre del via signaturprojektet. Ursprungligen deltog ca 20 grupper från flera länder i Europa och dessutom en grupp från Minsk i Vitryssland. Mot slutet tillkom några grupper från nya EU-länder. Sondering gjordes regelbundet och samtidigt tre gånger per vecka. För att kontrollera resultatens kvalitet gjordes jämförande sonderingar med lidarsystemen och dessutom jämfördes beräkningsalgoritmerna. Genom att de deltagande lidarstationerna finns på platser med god spridning över Europa ger lidarsvaren tillsammans en värdefull och unik kartläggning av aerosolfördelningen, som kan användas för t ex klimatstudier. Aerosolpartiklar påverkar den optiska transmissionen och därmed prestanda för t ex flygburna optiska sensorer, vilket är ett skäl

förutom värdet av kunskapsutbyte till att FOI deltog. FOIs resultat har bland annat redovisats vid konferenser (Ref 14, Ref 29).

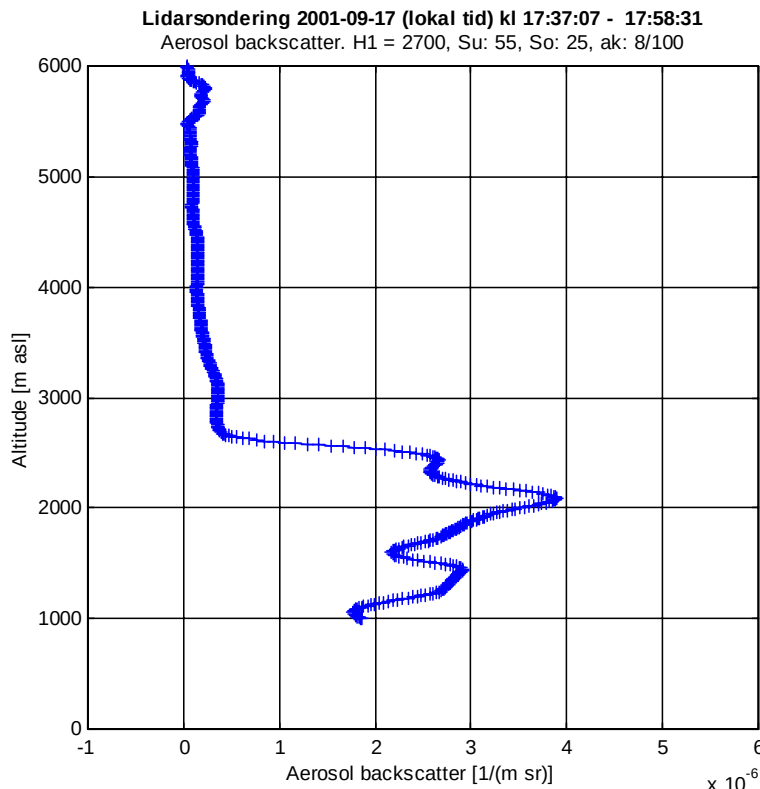
Sonderingarna utfördes under minst trettio minuter inom ett begränsat tidsintervall vid varje tillfälle. Endast svar från molnfri atmosfär registrerades i den gemensamma databasen, men när ett utbrett molntäcke fanns på hög höjd fick man acceptera att lidarsonderingen blev begränsad av molnhöjden. Den lidar, som används vid FOI, sänder ut strålning vid våglängden 355 nm i UV och detekterar hittills endast elastisk spridning. Medelvärden beräknades för varje minut.

Efter varje sondering avståndskorrigerades svaren vilket innebär att svaret multipliceras med en faktor, som är proportionell mot r^2 , där r är avståndet (höjden), för att reducera dynamiken. Därefter plottades svaren från mätintervallet i ett färgkodat diagram som funktion av tid och höjd. Figur 39 visar ett exempel. Moln finns på höjder från ca 5 km och uppåt.



Figur 39 Färgkodat diagram från lidarsondering 2001-09-17. Mättidpunkterna är markerade i underkant av diagrammet.

Ett medelvärde av svaren från 17.37 och 20 minuter framåt dvs efter att molnet på ca 5 km har passerat, har använts för att beräkna β . I Figur 40 visas den beräknade bakåtspridningsprofilen $\beta(h)$ för höjdintervallet 1 – 6 km. Svar från lägre höjder än 800 m har inte analyserats eftersom lidarns systemfunktion av geometriska skäl är osäker i det intervallet. Ett aerosolskikt med översida vid ca 2500 m syns tydligt och dessutom tunnare skikt på högre höjder.



Figur 40 Bakåtspridningskoefficienten β för aerosolpartiklar från lidarsondering

Efter varje godkänd sondering har bakåtspridningsprofilen beräknats och lagrats som datafiler enligt en standard som bestämts för EARLINET. Filerna har lagts i den gemensamma databasen via FTP och är åtkomliga för alla deltagare i projektet. Projekt EARLINET är avslutat, men kommer eventuellt att följas av ett något annorlunda och större EU-projekt. Analysen av den samlade databasen från EARLINET kommer att fortsätta.

8 KUNSKAPSÖVERFÖRING

De kunskaper och resultat som framkommit i projektet har på olika sätt överförts till kunden och till övriga intressenter utanför och inom FOI. Forskningsresultaten har spritts i form av FOI-rapporter och konferensbidrag, se referenslistan i avsnitt 12.1. Några enstaka tidskriftspubliceringar har också gjorts. Till försvarsmakten, FMV och industrin har resultat i allmän form spritts i form av en lägesrapport som utkom i mars 2002 (Ref 17) samt genom den kunddag SAT som anordnades i Linköping i mars 2003, se Figur 41 och Ref 18. Resultat som framkommit inom FOIs försvarsmaktsprojekt inom SAT presenterades. Under förmiddagen gavs övergripande information om SAT-verksamheten och under eftermiddagen gavs teknikföredrag i två parallella sessioner. Som komplement fanns posters. Kunddagen var välbesökt med ett nittiotial deltagare, de flesta från industrin. Från både HKV, FMV och industrins sida var man mycket nöjd och såg informationsformen som ett bra komplement till traditionella FOI-rapporter. Samtliga presentationer distribuerades efteråt på CD-ROM till deltagarna (Ref 31). Från projekt Optiska signaturer gavs fyra föredrag och totalt sju posters.



Figur 41 Kunddag SAT 27 mars 2003 i Linköping.

Kunskapsöverföring av allmän karaktär har också skett genom att projektdeltagare medverkat i andra SAT-projekt inom försvarsmakten/FMV. Exempelvis kan nämnas deltagande i SAT/Mark, olika studieuppdrag och utbildningsinsatser. Mätmetoder för signaturkartläggning som utvecklats inom projektet används i andra signaturmätverksamheter inom FOI. Inom atmosfärsområdet är överföringen av kunskap stor både till FOI-projekt och till externa användare. Inom signaturmodelleringsområdet har viktiga erfarenheter gjorts i projektet som även har kommit andra FOI-projekt till del.

Resultat ur bakgrundsdaten har varit direkt användbara inom andra aktiviteter vilket nämndes i Kapitel 2. I SAT/Mark-projektet har radiansunderlag använts av Alvis Hägglunds för att ta fram algoritmer för signaturstyrning. Inom ett NFFP-projekt har underlaget använts vid konstruktionen av en sensor/mål modell. Underlaget har också utgjort grund för en tillgänglighetsstudie av passiv spektrometri för detektion av c-stridsmedel.

Utvecklingen av värderingsverktyget Terrtex har skett i samverkan med SAT/Mark där en viktig användar- och referensgrupp har funnits.

9 INTERNATIONELLT SAMARBETE

Internationellt samarbete har framför allt ägt rum inom atmosfärsområdet, se Kapitel 7. Under 1999-2000 bedrevs ett samarbete med TNO-FEL i Nederländerna rörande optisk vågutbredning över vatten. Ett gemensamt fältförsök genomfördes på Landsort i Stockholms södra skärgård, se Ref 45. Samarbetet med TNO-FEL var givande och en del uppföljande aktiviteter och informationsutbyten har ägt rum sedan dess. Under de senaste två åren har kontakterna med TNO-FEL istället bedrivits inom projektet Vågutbredningsanalys.

Projekt Optiska signaturer har medverkat som delfinansiär inom EU-projektet EARLINET där aerosolmätningar med Lidar har gjorts över hela Europa. I samband med det har FOI deltagit i möten i Paris, Lausanne, Athen, Barcelona och Leipzig.

Under 2002-2003 har ett samarbete bedrivits tillsammans med PvTT i Finland kring aerosoldämpningsmodeller för svenska eller nordiska förhållande, se Kapitel 7. En gästforskare från PvTT har under ca ett år varit stationerad vid FOI i Linköping och arbetat med modellering av aerosoldämpning. Mycket bra resultat har framkommit och kontakterna med PvTT kommer att fortsätta.

10 SLUTSATSER

Projekt Optiska signaturer har under perioden behandlat signaturfenomen i flera olika aspekter. Det breda angreppssättet har varit inriktat mot grundläggande och generellt intressanta frågeställningar såsom modellering, signaturvärdering och atmosfäreffekter. Nedan sammanfattas några slutsatser av arbetet.

Den uppbyggda bakgrunds databanken har funnit flera användningsområden och det har visat sig vara värdefullt att ha denna typ av signaturdata tillgänglig tillsammans med relevanta väderdata. För kravsättning av plattformssignaturer finns det nu ett omfattande bakgrundsmaterial tillgängligt för försvaret. De statistiska resultaten har använts både vid FOI och externt. Slutsatsen av studien av spektral bakgrund var att bakgrunden inte innehåller några tydliga spektrala egenskaper. Huvudsakligen ges bakgrundens spektralfördelning av dess temperatur och av solinstrålningsförhållandena. SAT-arbete bör därmed inriktas på att i möjligaste mån använda material utan tydliga absorptionsband eller andra karakteristiska spektrala egenskaper. Lågemissiva material måste användas med eftertanke så att de inte reflekterar in strålning med annan spektralfördelning än bakgrundens.

Verksamheten inom signaturmodellering har bidragit till en ökad kunskap om simulering och modellering av optiska signaturer i allmänhet och därmed också en förbättrad förståelse av de olika verktygens användning och giltighet i tillämpningar av signaturmodellering. Kompetensen att utföra faktiska signatursimuleringar av mål och bakgrund har dessutom ökat. Som exempel kan nämnas att det arbete, som utförts för att validera kommersiella programvaror, har bidragit till att bättre kunna avgöra programmets noggrannhet vid signaturprediktion av såväl mål som bakgrund. Dessutom har valideringsarbetet tydliggjort en del begränsningar, brister och förbättringsmöjligheter hos programvarorna, användningen av dessa och i de indata som används i simuleringarna. Den semiempiriska modell som utvecklats för signaturprediktion har i flera fall visat god noggrannhet vid anpassning mot mätdata. Det finns nu en kompetensgrupp och simuleringsmjukvara för IR signatur tillgänglig vid FOI som kan vara till nytta för försvaret vid värdering av befintliga och nya plattformskoncept samt vid värdering av nya sensorlösningar.

Signaturvärderingsverktyget Terrtex har under perioden vidareutvecklats till att omfatta värdering av både rumsliga och spektrala egenskaper. Användare finns numera även vid försvarsindustrin. En metod för att använda ATR för värdering av signatur har studerats.

Utveckling och förbättring av metoder för mätning av polarisationsegenskaper har genomförts under projektiden. Därvid har metoder utvecklats för mätningar av emissiviteten från en yta som funktion av emissionsvinkel. Dessutom har kamerorna kalibrerats med polarisationsfiltren, vilket innebär att absoluta mätningar kan ske. Både mätningar mot bakgrund och objekt är redovisade och dessutom har det visats att polarisationsmätningar ökar kontrasten mot bakgrunden för delvis täckta objekt jämfört med mätningar utan polarisatorer. Detta har visats både för täckta minor och för objekt täckta med maskeringsnät. FOI är väl etablerat internationellt i polarisationssammanhang.

Projektet har medverkat till att en kvalificerad signaturmätutrustning för fältbruk finns tillgänglig vid institutionen för IR-system. Vidmakthållande och utveckling av mätmetoder och utrustning kräver många gånger att det finns grundläggande och breda projekt. Kapacitet finns idag för signaturmätningar och analys inom alla optiska våglängdsband. Likaså finns utrustning för registrering av väderparametrar och andra understödsdata. Kalibrering hanteras enligt

ISO 9001:2000. Mätresurserna används av FMV i samband med analys av signaturanpassningsåtgärder på olika plattformar.

Det FOI-utvecklade programmet NORAM för prediktion av aerosoldämpning för svenska förhållanden finns i en s.k. betaversion. Det är fullt användbart och kommer skickas på "remiss" till ett antal personer inom FOI, PvTT och t.ex. FMV och Saab. Efter synpunkter från dessa kan en färdig första version framställas och distribueras. Programmet kommer att vara ett användbart verktyg vid beräkning av atmosfärsdämpning i svensk miljö för olika sensor- och SAT-tillämpningar inom försvaret.

Deltagande i det internationella samarbetsprojektet EARLINET inom aerosolmätning med Lidar har gett värdefulla kontakter och kunskaper. EU-projekt kräver normalt att deltagaren står för halva kostnaden med egna medel. Eftersom planeringstiden är lång blir finansiering via FM komplicerad. En ny finansieringsform för FOIs deltagande i EU-projekt är önskvärd.

11 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE

Inom flera av de områden som projektet har varit aktivt har det visat sig att fortsatt arbete skulle vara värdefullt. Nedan ges några exempel på det forsknings- och vidareutvecklingsbehov vi kan se.

Det har visat sig att det ligger en svårighet i tolkningen av bakgrundsdata när endast mätvärdet från naturlig bakgrund ingår. Vid framtida mätkampanjer bör därför även referensobjekt med kända egenskaper finnas i scenen. Vidare bör den uppbyggda bakgrunds databanken utvidgas till andra miljöer såsom skärgård och öppet hav.

Arbetet inom signaturmodellering bör fortsätta. Exempelvis har behovet av en tillförlitlig materialdatabas noterats liksom vikten av tillräckligt noggrant modellerad geometri hos mål och bakgrund. Det vore också önskvärt att kunna koppla RadThermIR och CAMEO-SIM till varandra på ett liknande sätt som gjorts för RadThermIR och SensorVision. En fortsatt validering av den semiempiriska modellen för prediktion av signatur bör genomföras. Vi har hittills inte modellerat polarisationseffekter på objekt- eller scennivå, vilket ibland skulle kunna vara önskvärt ur signatursynpunkt. En fortsatt validering av kommersiella och egenutvecklade program är önskvärt, eftersom relativt få fall hittills har validerats. Andra exempel på tänkbar vidareutveckling är: statistisk modellering (och validering) av optisk signatur, fortsatt utveckling av egna signaturmodeller, bestämning av materialparametrar med hjälp av semiempirisk modell, modellering av optisk signatur i sjöbakgrund, använda indata från modellering av signaturmaterial i signatursimuleringar m.m.

Vid bedömning av kamouflageåtgärder bör rumsliga, spektrala, temporala och polarimetriska egenskaper beaktas. Programmet Terrtex hanterar endast rumsliga och spektrala signaturer för tillfället men en utvidgning till tidsvarianta förlopp vore intressant. Att mäta inverkan av kamouflage vid rörelse är dock svårt vilket bl.a. beror på att det blir en kraftig växelverkan mellan fordon och terräng, exempelvis spår och rök. I Terrtex används en perceptuell kalibrering för att få en värdering som skulle motsvaras av en mänsklig operator. För en mera objektiv mätning kan en automatisk måligenkänning användas. Man måste då få till stånd en viss standardisering, annars blir resultat från olika håll svåra att jämföra. Exempel på önskvärd vidareutveckling av Terrtex:

- Fortsatt arbete med att klara flerbandsbilder (t ex MWIR och LWIR)

- Uppskattning av falsklarmsfrekvensen på scener registrerade med stort synfält
- Integrera generisk ATR (måligenkänning) för att mäta i situationer med autonom sensor eller målföljare
- Mätning på sekvenser för att klara rörliga sensorplattformar eller rörliga fordon
- Användarvänligt gränssnitt samt loggningsfunktion

Inför framtiden ser vi att den optiska signaturmätutrustningen vid FOI bör förbättras så att förmågan att genomföra kalibrerade multi- och hyperspektrala mätningar ökar.

Lidarsystemet bör kompletteras för att kunna genomföra sondering även vid ca 1,5 μm vilket kan ge värdefullt underlag för beräkning av aerosoltransmission i IR-området. En aerosolmodell, som är baserad på data från lidar vid 1,5 μm , kan ge betydligt säkrare prediktion än en modell, som endast utnyttjar vanliga väderparametrar. Dessutom ger lidarsondering information om aerosolens vertikalfördelning och därmed om transmission i sneda banor. Lidar vid 1,5 μm kan göras ögonsäker. Försök bör göras för att utveckla metoden och demonstrera tekniken. Den lidar, som finns, kan till en rimlig kostnad byggas om för sådana försök. Komponenter, som krävs, finns till stor del.

I början av 2004 kommer nya forskningsprojekt med SAT-inriktning inom FoT8 att starta. Flera av frågeställningarna från Optiska signaturer kommer att adresseras i ett projekt som kommer att heta Optisk signaturmodellering. Det kommer att behandla modellering av signatur på olika sätt men även utvärdering av metoder och programvara. Förhoppningen är att den grund till mål- och bakgrundsmodellering som lagts i Optiska signaturer ska vara till nytta för det framtida projektet.

12 REFERENSER

12.1 PUBLICERING INOM PROJEKTET 2001 – 2003

- Ref 1** Emma Bernhardsson. "Initial validation of SensorVision – a program for real-time IR simulations", FOI-R--0083--SE, 2001.
- Ref 2** Johan Carlsson. "Statistisk analys av infraröd bakgrundsstålning". FOI-R--0184--SE, 2001.
- Ref 3** G. Forssell, T. Hallberg, "Calibrated sensitive polarization measurement methods in the regions 3-5 μm and 8-12 μm , corrected for contributions to the detector signal from the polarizer", Proceedings of SPIE Vol. 4481 (2002), FOI-S--0401--SE.
- Ref 4** G. Forssell, "Surface landmine and trip wire detection using calibrated polarization measurements in the LWIR and SWIR", Proceedings of SPIE Vol. 4491. San Diego (2001), FOI-S--0361--SE.
- Ref 5** G. Forssell, "Passiv optisk polarisation tillämpad på kamouflerade objekt", FOI-R--0594--SE, 2002.
- Ref 6** G. Forssell, E. Hedborg-Karlsson, "Measurements of polarization properties of camouflaged objects and of the denial of surfaces covered with cenospheres", Proceedings of SPIE Vol. 5075, s. 246-258, Orlando, (2003), FOI-S--1021--SE.
- Ref 7** Daniel Fäldt, Johan Ohlsson, "Improved infrared object signature calculations for SensorVision by the use of RadTherm", FOI-R--0574--SE, 2002.

- Ref 8** Daniel Fäldt, "RTSVLink 1.0.0 Release note", FOI-D--0088--SE, 2002.
- Ref 9** Johan Olsson, Andreas Persson, "IR-modelling of TD2 with RadThermIR - status report", FOI-DH--0003--SE, 2003.
- Ref 10** Patrik Hermansson, Sten Nyberg, Claes Nelsson, "IR background modelling – progress report", FOI-R--0529--SE, 2002.
- Ref 11** Patrik Hermansson, "A Semi-Empirical IR Signature Model for Tilted Surfaces", FOI-R--1092--SE, 2003.
- Ref 12** Patrik Hermansson, Annica Hjelm, Roland Lindell, Claes Nelsson, Stefan Sjökvist, Andreas Persson, Thomas Winzell, "Benchmarking and validation of IR signature programs: SensorVision, CameoSim and RadThermIR", FOI-R--0952--SE, 2003.
- Ref 13** Annica Hjelm och Rolf Persson. Användarhandledning till programmet NORAM. Kommande FOI rapport beskrivande installation och användning av programmet.
- Ref 14** Arne Hågård, Rolf Persson, "Aerosolsondering med lidar i projekt EARLINET", seminarium på Forsvarsmaktens och SMHIs Metodkonferens i Stockholm, 2002.
- Ref 15** Timo Kaurila, Arne Hågård, Rolf Persson, "Aerosol extinction models for Nordic environment", Submitted to Applied Optics, 2003.
- Ref 16.** J. Lovén, "Robust detektion av fordon i naturlig miljö", rapport FOI-R-0196-SE, sept 2001.
- Ref 17** Claes Nelsson (sammanhållande). "Lägesrapport från projekt Optiska signaturer – mars 2002", FOI-R--0453--SE, 2002.
- Ref 18** Claes Nelsson, "Genomförd kunddag SAT 2003-03-27", FOI Memo 03-840, 2003.
- Ref 19** Claes Nelsson, Pär Nilsson, Roland Lindell, Emma Bernhardsson, Johan Carlsson, "An IR-background database", Nordic Symposium on military electro-optics. Finnish Defence Forces Technical Research Centre, Helsingfors, Oct 17-18, 2001, FOI-S--0148--SE.
- Ref 20** Claes Nelsson, Pär Nilsson, Roland Lindell, Emma Bernhardsson, Johan Carlsson, "An IR-background database", i Watkins W., Clement D. och Reynolds W. (redaktörer), Targets and Backgrounds VII: Characterization and Representation SPIE volym 4370, Orlando, USA, 2001, s. 220-232, FOI-S--0115--SE.
- Ref 21** Pär Nilsson, Claes Nelsson, "Hyperspectral analysis of IR data from a background scene", Proceedings of SPIE Vol. 5075, USA, s. 122-131 (2003), FOI-S--1014--SE.
- Ref 22** Pär Nilsson, "Specifikation för utveckling av matlabverktyg för analys av THV900-bilder Version 1.0 ", FOI-D--0061--SE, 2002.
- Ref 23** Pär Nilsson, "Spektral bakgrund - sammanställning av filer och arbete", FOI-D--0109--SE, 2003.
- Ref 24.** S. Nyberg, L. Bohman, "Assessing camouflage using textural features", SPIE Proceeding Vol. 4370, Targets and Backgrounds VII: Characterization and Representation, Orlando 2001. FOI-S--0155--SE.
- Ref 25.** Sten Nyberg, Lars Bohman, "Assessing camouflage methods using textural features", Opt. Eng. Vol. 40, No 9, p. 1869-1876, September 2001. FOI-S--0156--SE.

- Ref 26** Sten Nyberg, Lars Bohman, "Characterizing low-signature targets in background using spatial and spectral features", Proceedings of SPIE Vol. 5152, Infrared Spaceborne Remote Sensing: Characterization and Representation, San Diego (2003).
- Ref 27** R. Persson, "Optical wave propagation over sea surface", Nordic symposium on military electro-optics, Proc. on CD. Publ. No. 4, Atmospheric effects. Helsinki, Oct. 17-18, 2001, FOI-S--0134--SE.
- Ref 28** Rolf Persson, "Optisk vågutbredning i atmosfären nära vattenytan till havs" seminarium på Försvarsmaktens och SMHIs Metodkonferens i Stockholm, April 2001.
- Ref 29** Rolf Persson, Arne Hågård, Timo Kaurila, Göran Carlsson, Tre konferensbidrag: "Lidar/EARLINET", "Nya aerosoldämpningsmodeller för skandinaviska miljöer", "Atmosfärens transmission nära marken vid olika våglängder och vid nordiska förhållanden", Försvarsmaktens och SMHIs Metodkonferens i Stockholm, FOI reg. nr 03-2458, 2003.
- Ref 30** Rolf Persson, Timo Kaurila (PvTT), "Aerosoldämpningsmodell för skandinavisk miljö - baserad på mätningar vid Lövsättra i Uppland", FOI-R--0689--SE, 2002.
- Ref 31** Signaturanpassningsteknik -SAT: kunddagen den 27 mars 2003, CD-ROM med samtliga presentationer, FOI, 2003.

12.2 ÖVRIGA REFERENSER

- Ref 32** Lars Bohman (redaktör), "SAT-handbok Mark", FOI, ISBN 91-7056-114-1, 2003.
- Ref 33** Jens Bösenberg and Volker Matthias (sammanställning), "EARLINET: A European Aerosol Research Lidar Network to Establish an Aerosol Climatology. Contract EVR1-CT1999-40003 Final report for the period February 2000 to February 2003.", Max-Planck-Institut für Meteorologie, Tyskland, juni 2003.
- Ref 34** G. Forssell, T. Hallberg, Polarisationsegenskaper i IR-området hos färgprover och skrovliga Al-tytor, FOA-R--00-01646-615--SE, November 2000.
- Ref 35** G. Forssell, E. Hedborg-Karlsson, Passive IR polarization measurements applied to rough surfaces consisting of cenosphere particles covered with gold, SPIE Vol. 4819, Seattle, 2002, FOI-S--0614--SE.
- Ref 36** G. Forssell, Passive IR polarization measurements applied to covered surface landmines. SPIE Vol. 5089, Orlando, April 2003, FOI-S--1022--SE.
- Ref 37** K. Fukunaga, "Introduction to statistical pattern recognition (2nd edition)," Academic Press, New York, 1990.
- Ref 38** Ove Gustafsson, Gunnar Eriksson, Peter Holm, Arne Hågård, Edvard Karlsson, Melker Nordstrand, Rolf Persson, Pontus von Schoenberg, Åsa Waern: Slutrapport för projektet Vågutbredningsanalys för radio, radar och elektrooptiska system. FOI-R--0985--SE, 2003.
- Ref 39** Malin Hansson, "Analys av temperaturdifferens mellan luft och bakgrund – statistik och modellering", FOI-R--0853--SE, 2003.
- Ref 40** Hågård Arne och Persson Rolf: Infrared transmission measurement in the atmosphere. SPIE Proceedings Vol. 1762, Infrared Technology XVIII, pp 267-275, 1992, FOA-B--30310-8.4.

- Ref 41** Jani Fredrik, Statistiska analys av mätdata för optisk transmission i atmosfären, Examensarbete ISRN-LiU-MAT-D-95/01-SE, Linköping 1995.
- Ref 42** Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson G.P., Chetwynd J.H., Shettle E.P., Berk A., Bernstein L.S., Robertson D.C., Acharya P., Rothman L.S., Selby J.E.A., Gallery W.O., Clough S.A., (1996), The MODTRAN2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL, från Ontar corporation, 9 Village Way, North Andover, MA 01845, USA; <WWW.Ontar.com>.
- Ref 43** Kunz G.J., Moerman M.M., van Eijk A.M.J., Doss-Hammel S.P. and Tsintikidis D.; (2003), EOSTAR: an electro-optical sensor performance model for predicting atmospheric refraction, turbulence and transmission in the marine surface layer, SPIE paper number 5237-13.
- Ref 44** Claes Nelsson (sammanhållande), "Measurement equipment at the Department of IR Systems", FOI-R--99-01111-615--SE, 1999.
- Ref 45** C Nelsson, R Persson, P Nilsson, A Hågård, "Results from Baltic 99 maritime measurements", FOA-R--00-01771-615--SE December 2000.
- Ref 46** Nilsson Bertil A.: Model of the relation between aerosol extinction and meteorological parameters. Atmospheric Environment 28 (5), 815 – 825, 1994.
- Ref 47** A. Toet, P. Bijl, F. L. Kooi and J. M. Valetton, "A high-resolution image data set for testing search and detection models," TNO-report TM-98-A020, April 1998.
- Ref 48** J. Westin, Ö. Olsson, L. Pettersson, P. Lindwall, A. Grop, "Active control of infrared signature: System implementation in a ground vehicle", Proceedings of SPIE Vol. 5075, s. 39-48, 2003.