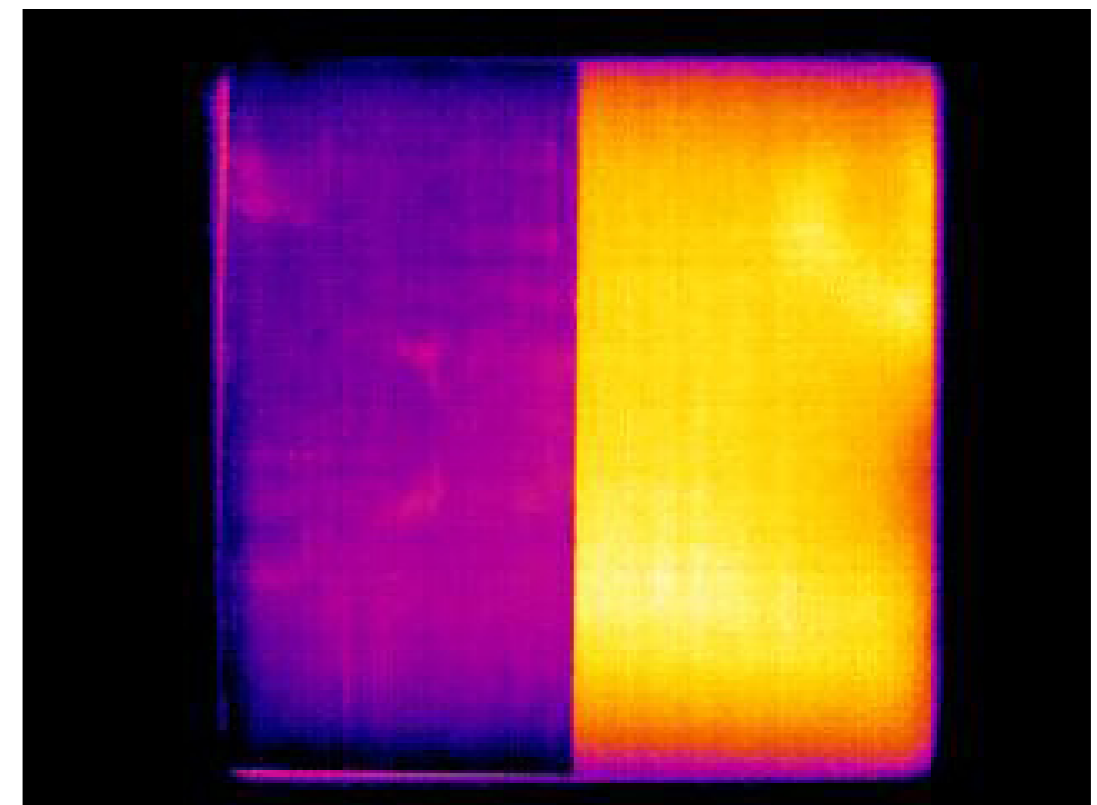


JAN-OLOF OUSBÄCK, ANNA POHL, HANS KARIIS



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

Jan-Olof Ousbäck, Anna Pohl, Hans Kariis

# Samtidig mätning av infraröd- och radaregenskaper

Beskrivning av nytt materialmätsystem vid FOI

Titel	Samtidig mätning av infraröd- och radaregenskaper
Title	Simultaneous measurements of IR and radar properties
Rapportnr/Report no	FOI-R--2781--SE
Rapporttyp Report Type	Teknisk rapport
Sidor/Pages	22 p
Månad/Month	Juni/June
Utgivningsår/Year	2009
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	FM
Kompetenskloss	7 taktisk värdering av sensorteknik och sensorsystem (inkl SAT)

Extra kompetenskloss

Projektnr/Project no	E3096
Godkänd av/Approved by	

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

## Sammanfattning

Rapporten beskriver en ny typ av utrustning där simultana mätningar på material kan göras inom både IR- och mikrovågsområdet. Utrustningen är baserad på en IR-kamera (FLIR 320A) och en nätverksanalysator (Wiltron 37269B). Inom mikrovågsområdet kan reflektionen hos test paneler med en storlek på 15x15 cm eller 30x30 cm mätas inom frekvensområdet 2-20 GHz. Med en speciell värmeplatta kan testpanelerna värmas från rumstemperatur upp till 300 °C.

Mätningar har gjorts på fyra olika testpaneler alla baserade på en radarabsorbent benämnd Salisbury-screen. Temperatur, IR-emissivitet och radarreflektion kunde följas kontinuerligt under uppvärmningsförloppet.

Nyckelord: signatur, material, mätsystem, infraröd, IR, radar

## Summary

The report presents a new type of equipment for simultaneous microwave and IR measurements. The equipment is based on an IR-camera (FLIR A320) and a microwave network analyzer (Wiltron 37269B). Microwave reflection of test panels (size 15x15 cm or 30x30 cm) can be measured in the frequency range 2-20 GHz.

With a special heating device the test panels can be heated from room temperature continuously up to 300 °C. Temperature, IR emissivity and radar reflection can be monitored during the heating process.

Measurements have been done on four different test panels all based on a radar absorber called Salisbury-screen. The absorber was covered with four different 2 mm thick PMMA materials, unpainted and painted with a black paint and a low emissive paint.

Keywords: camouflage, stealth, materials, measurement, infrared, IR, radar

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Beteckningar IR- mikrovåg</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Mätutrustningar</b>	<b>8</b>
4.1	NRL-båge.....	8
4.2	IR-kamera.....	9
4.3	Radarreflektions mätutrustning.....	10
4.4	Högtemperatur utrustning.....	11
<b>5</b>	<b>Mätmetoder</b>	<b>12</b>
5.1	Mikrovågsmätningar.....	12
5.2	IR-mätningar.....	12
<b>6</b>	<b>Mätobjekt</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Resultat</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Referenser</b>	<b>22</b>



# 1 Inledning

Inom projekt Signaturmaterial<sup>1</sup>, studeras möjligheter och begränsningar med multispektrala signaturmaterial. Utvecklingen inom sensorområdet går starkt framåt och avancerade sensorer har fått en allt större spridning i världen.

Därför har modellering och karaktärisering av multispektrala signaturmaterial har blivit allt viktigare.<sup>2</sup>

Syftet med denna rapport är att presentera en ny mätfacillitet där samtidiga mätningar på material kan göras inom både IR- och radarområdet. Signaturmaterialen kan dessutom värmas upp till ca 300°C och mätningar kan göras kontinuerligt under uppvärmningsfasen.

Rapporten riktar sig främst till personer som arbetar med signaturmaterial eller har intresse för multispektral signaturanpassning.

## 2. Bakgrund

Det svenska försvaret har sedan lång tid satsat på signaturanpassning av plattformar och förband. Främst har satsningarna skett inom det visuella området, men sedan ett antal tiotals år har intresset för signaturanpassning inom IR- och radarområdet ökat. Inom radarområdet har Sverige legat långt framme internationellt, kanske främst på den marina sidan. Exempel på uppmärksammade plattformar är testriggen Smyge och Korvett typ Visby.

Den internationella utvecklingen och omriktningen av det svenska försvaret har förändrat behovet och kraven på signaturanpassning. De miljöer och uppdrag de svenska förbanden kommer att möta idag skiljer sig väsentligt från de traditionella. Inom sensorområdet har också en utveckling skett bl.a. mot allt billigare sensorer inom flera våglängdsband.<sup>3</sup>

Detta gör att kunskap om signaturmaterial inom flera frekvensband blir allt viktigare.



### 3. Beteckningar IR- mikrovåg

Inom IR- och mikrovågsområdet förekommer ibland olika beteckningar och uttryck som egentligen betyder samma sak. I tabell 1 visas några av dessa.

Beteckning IR	Beteckning Mikrovåg
brytningsindex ( $n=\sqrt{\epsilon}$ )	permittivitet $\epsilon=n^2$
reflektans	reflektion
transmittans	transmission
Våglängd, $\lambda=c/f$	Frekvens, $f=c/\lambda$

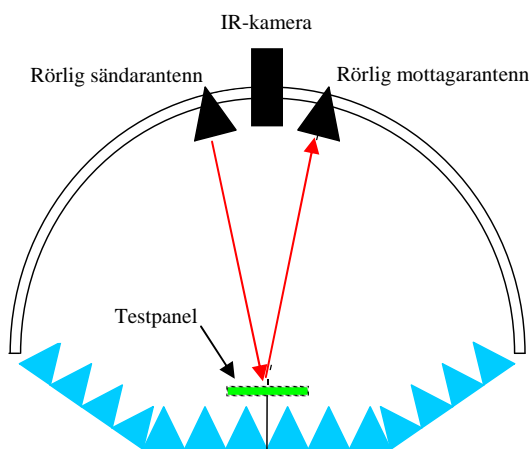
Tabell 1

### 4. Mätutrustningar

Den nu presenterade mätutrustningen består huvudsakligen av en IR-kamera och en mikrovågsutrustning för reflektionsmätningar, kombinerat med en utrustning för uppvärmning av mätobjektet. Utrustningarna är placerade i en NRL-båge (Navy Research Lab.).

#### 4.1 NRL-båge

FOI:s NRL-båge används för reflektionsmätningar på plana absorberstrukturer med en storlek mellan 15x15 cm och 30x30 cm. Mätavståndet är ca 1 m. I figur 1 visas en skiss på NRL-bågen och i figur 2 ett foto på bågen.



Figur 1. Skiss på NRL-bågen



Figur 2. Foto på NRL-bågen

## 4.2 IR-kamera

För IR-mätningar används en kommersiell bildalstrande IR-kamera, med vars hjälp man både kan göra noggranna och tidsupplösta temperaturmätningar i vissa valda punkter och få en IR-bild på hela mätobjektet.

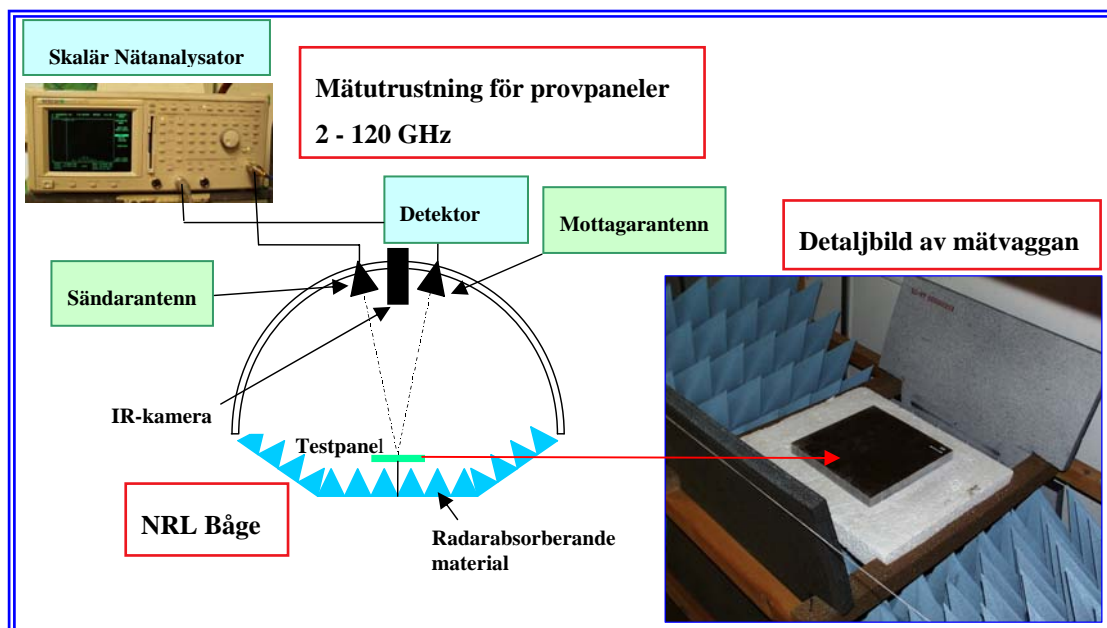


Figur 3. Foto på IR-kameran

Den värmekamera som används är en FLIR A320 (figur 3) och tillhör den allra senaste generationen stationära värmekameror. Den MPEG-4 streamade videotekniken tillhandahåller direktsända bilder med en bildupplösning på 640x480 pixlar. Kamerans arbetstemperatur ligger mellan -15 C och +50 C och mätnoggrannheten hos temperaturen är 50 mK. Våglängdsområdet är 7.5-13  $\mu\text{m}^4$

### 4.3 Radarreflektions mätutrustning

Utrustningen för reflektionsmätningar inom radarområdet består av en nätanalysator (skalär Wiltron 54147A eller vektorieell Wiltron 37269B) och sändar-/mottagar- antenner. I figur 4 visas en skiss på mätutrustningen.



Figur 4. Skiss över mätutrustningen.

Vektorieella mätningar (amplitud och fas) kan göras inom frekvensområdet 2 - 40 GHz och skalära mätningar (enbart amplitud) inom frekvensområdet 2 - 120 GHz.

Bakgrundsnivån (den reflektion som fås då inget mätobjekt finns i bågen) är typiskt -40 dB, vilket innebär att absorberer med en absorption på max 40 dB kan uppmätas.

#### 4.4 Högtemperatur utrustning

Högtemperatur utrustningen består av två värmeplattor 30x30 cm respektive 15x15 cm.

Plattorna är inneslutna i ett värmeisolerande material. Värmeplattorna kan värmas upp kontinuerligt till ca 1200 °C. Se figur 5.



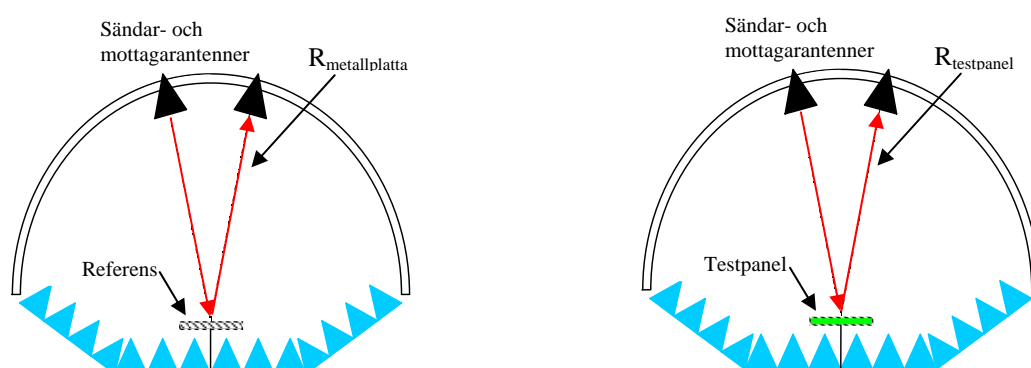
Figur 5. Foto på värmeplattan och kontrollenhet.

## 5. Mätmetoder

### 5.1 Mikrovågsmätningar

Vid reflektionsmätningar inom mikrovågsområdet används en plan metallplatta, med samma storlek som mätobjektet, som referens. Referensplattans och testpanelens reflektion mäts.

Se figur 6.



Figur 6. Referens och testpanelmätning

De båda mätningarna jämförs sedan med varandra enligt:

$$R = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{R_{\text{testpanel}}}{R_{\text{metallplatta}}} \right)$$

Anledningen till att logaritmisk skala används är att reflektionsnivån ofta varierar över flera dekader och man får då en bättre överblick än med en linjär skala.

### 5.2 IR-mätningar

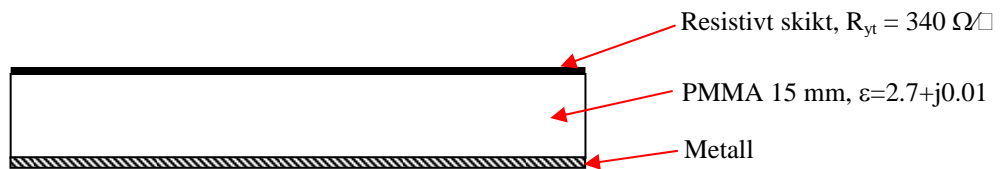
Vid IR-mätningar värms testpanelen upp från rumstemperatur upp till önskad sluttemperatur (max 300°C). IR-bilder på mätobjektet registreras kontinuerligt och punktmätningar av temperaturen kan göras på godtyckliga ställen över panelens yta. Man kan även registrera temperaturdifferenser mellan mät-punkter, samt linjekonturer och medelvärden på temperaturen över delytor. Resultaten kan lagras som bilder och datafiler i ett antal olika format.

## 6. Mätobjekt

Fyra olika mätobjekt har mätts i den nya utrustningen. Alla objekten baseras på en radarabsorberande struktur (RAS), benämnd Salisbury-screen<sup>5</sup>.

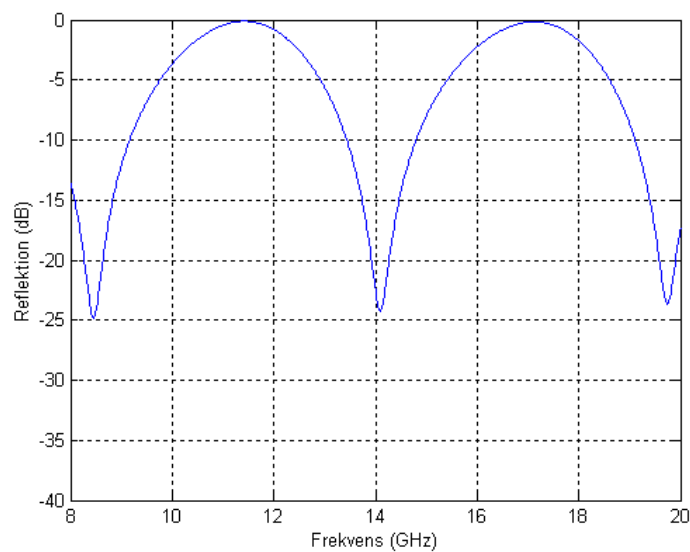
Absorbenten består av ett resistivt skikt, ett distansmaterial och en metallbackning.

Den valda strukturen har ett resistivt skikt med en ytresistans på 340, ett 15 mm tjockt distansskikt av plexiglas (PMMA) med en permittivitet  $\epsilon=2.7+j0.01$  och en aluminiumplåt som metallbackning. Se figur 7.



Figur 7. Skiss på den valda radarabsorberande strukturen.

I figur 8 visas beräknade reflektionsegenskaper för en Salisbury-screen enligt figur 5.



Figur 8. Reflektion som funktion av frekvens för en Salisbury-screen

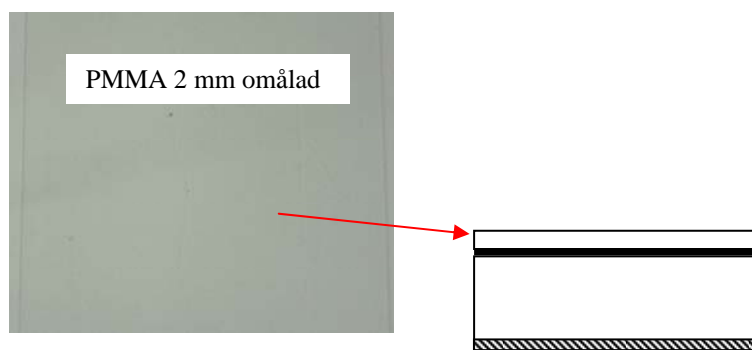
Som framgår av figur 8 fås periodiska reflektionsminima. Minimum fås då distansmaterialet har en tjocklek på  $\lambda/4$  eller en udda multipel därav. ( $\lambda$  är våglängden)

RAS strukturen (enligt figur 7) har vid mätningarna försetts med fyra olika täcksikt.

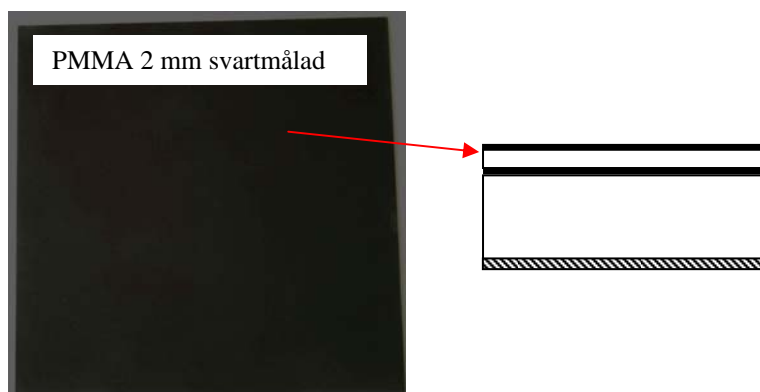
- 2 mm PMMA omålad
- 2 mm PMMA målad med svart färg
- 2 mm PMMA ena halvan målad med svart färg och andra halvan med en lågemissiv färg
- 2 mm PMMA målad med en lågemissiv färg

Färgen som används i mätningarna utvecklades vid FOI i syfte att vara multispektralt signaturanpassad dvs anpassad i både radar och IR (termisk) samtidigt. Färgen består av en bas av en ledande polymer, PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiofen) poly(styrenesulfonat), acronal, etylenglykol och aluminiumflagor. För mer detaljerad beskrivning av färgen hänvisas till<sup>6</sup>.

I figur 9 – 12 visas de olika strukturerna.

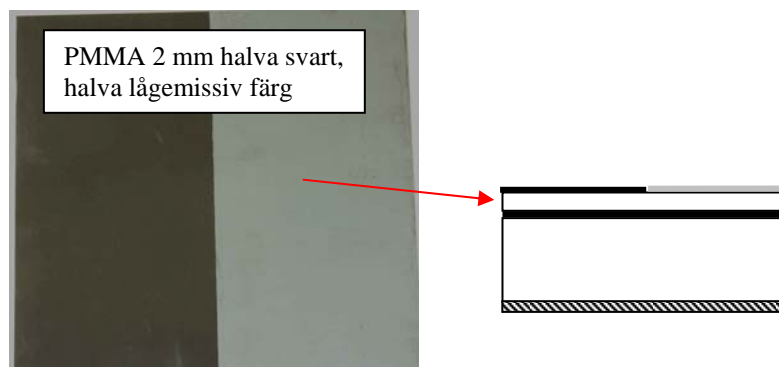


Figur 9. Objekt 1 med ett täcksikt av 2 mm omålad PMMA.

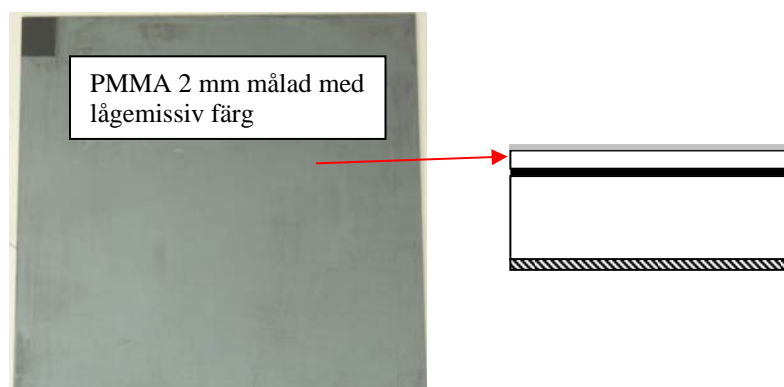


Figur 10. Objekt 2 med ett täcksikt av 2 mm PMMA målad med en svart färg





Figur 11. Objekt 3 med ett täcksikt av 2 mm PMMA med ena halvan målad med svart färg och andra halvan målad med en lågemissiv färg.



Figur 12. Objekt 4 med ett täcksikt av 2 mm PMMA målad med en lågemissiv färg.

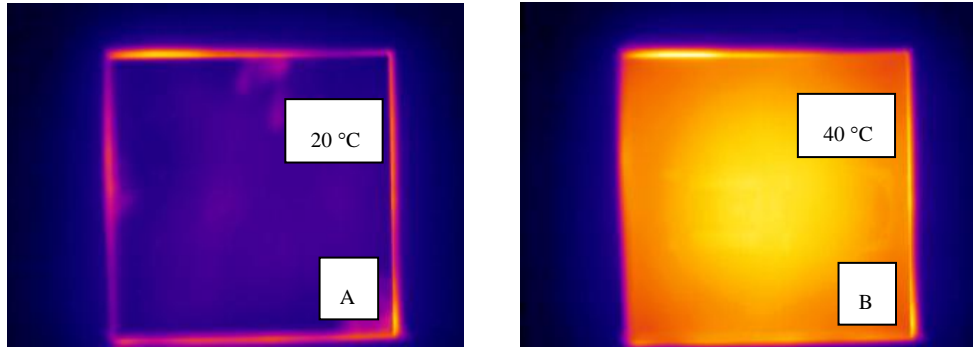
## 7. Resultat

Alla mätobjekts IR-emission och mikrovågsreflektion har uppmätts samtidigt vid två olika temperaturer, 20°C och 40°C.

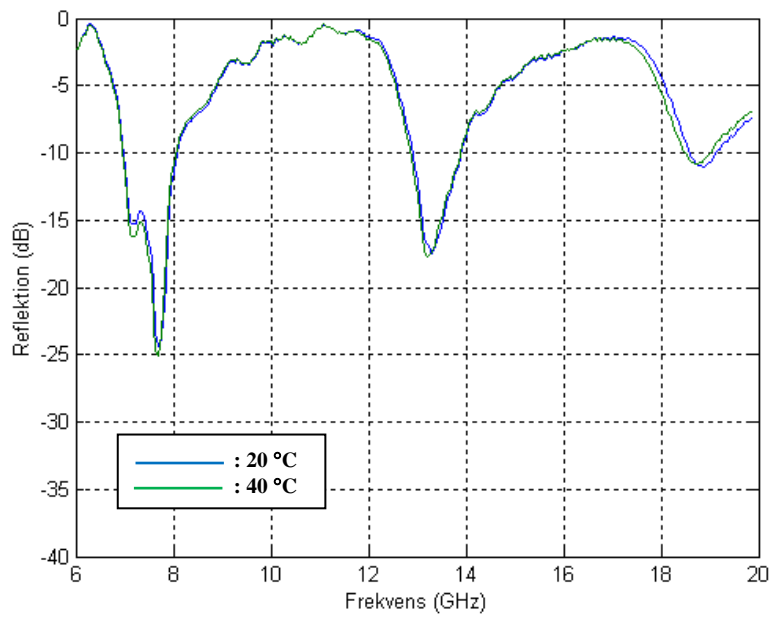
Mikrovågsutrustningen kalibrerades först mot en plan metallplatta (30x30 cm) som används som referens. IR-kameran har en inbyggd referens och är självkalibrerande.

Varje mätobjekt placerades på värmeplattan och en samtidig IR-emission och mikrovågsreflektion registrerades först vid rumstemperatur (20°C). Därefter värmdes mätobjektet upp till ca 40°C (värmeplattans temperatur) och en ny samtidig registrering gjordes.

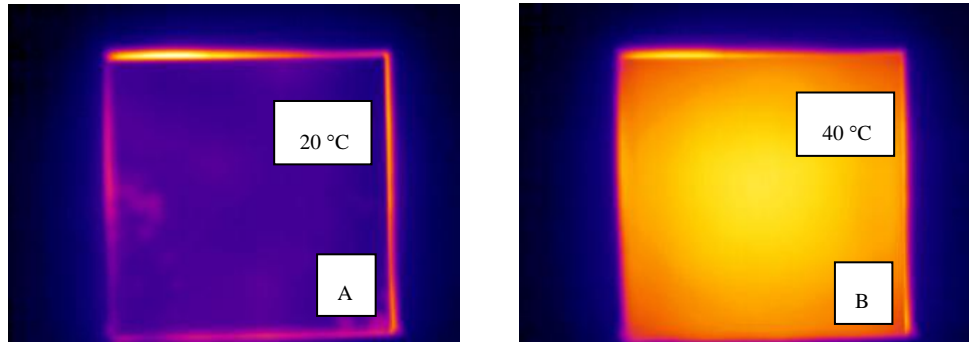
### Objekt 1 med ett täckskikt av 2mm omålad PMMA



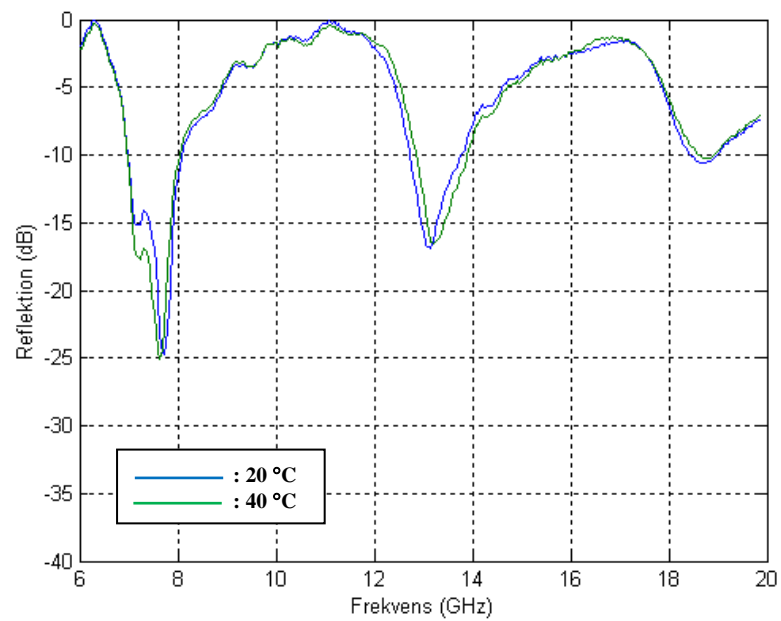
Figur 13. IR-emission för objekt 1 vid två olika temperaturer (A: 20°C och B: 40°C)



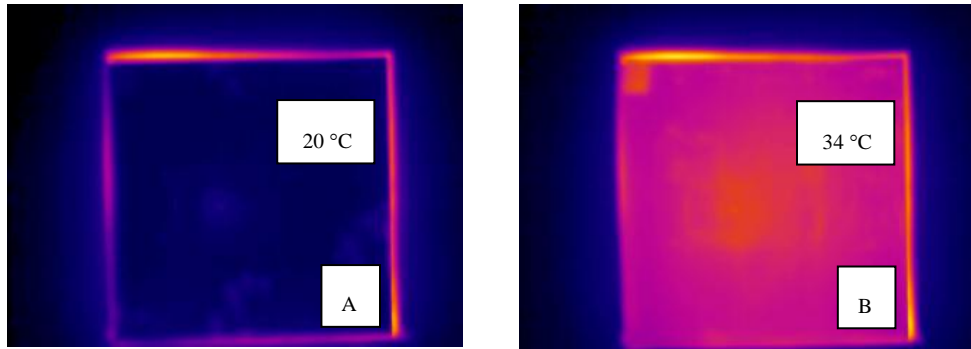
Figur 14. Mikrovågsreflektion som funktion av frekvens för objekt 1 vid två olika temperaturer 20°C och B: 40°C.

**Objekt 2 med ett täcksikt av 2 mm svartmålad PMMA**

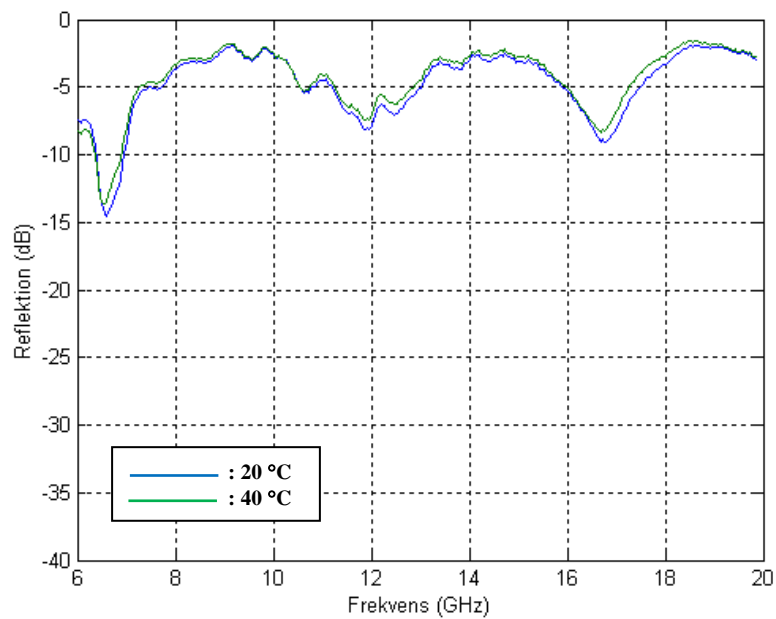
Figur 15. IR-emission för objekt 2 vid två olika temperaturer (A: 20°C och B: 40°C)



Figur 16. Mikrovågsreflektion som funktion av frekvens för objekt 2 vid två olika temperaturer 20°C och B: 40°C.

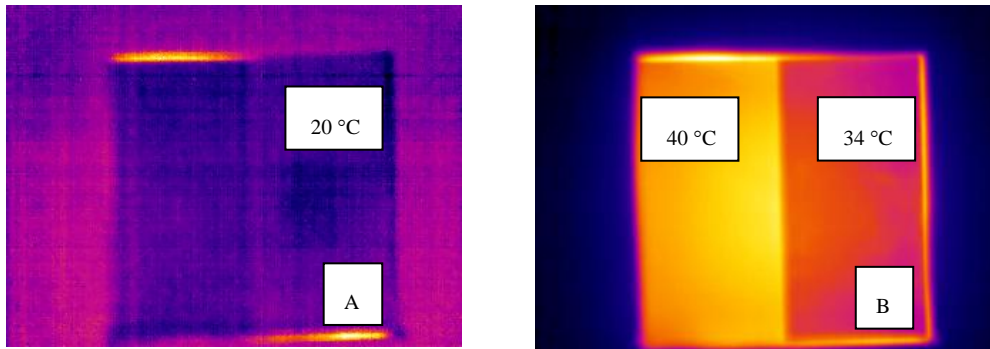
**Objekt 3 med ett täcksikt av 2mm PMMA målad med lågemissiv färg**

Figur 17. IR-emission för objekt 3 vid två olika temperaturer (A: 20°C och B: 40°C)

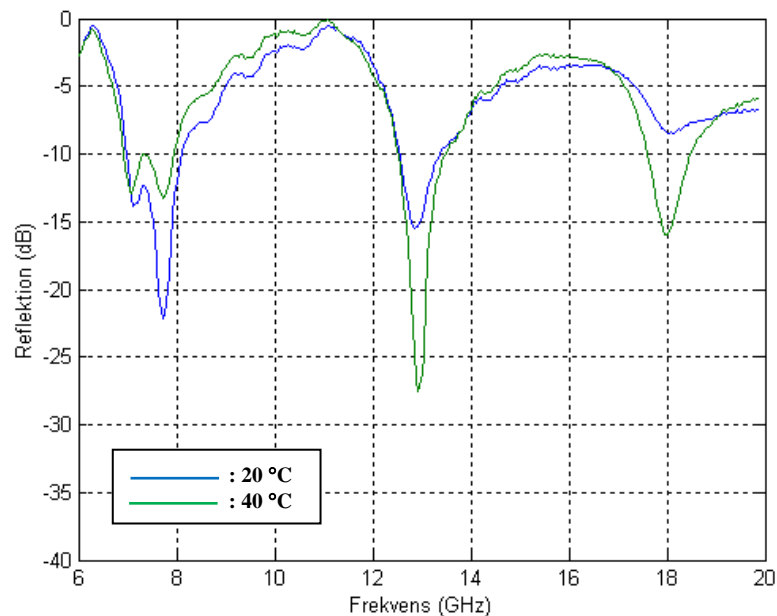


Figur 18. Mikrovågsreflektion som funktion av frekvens för objekt 3 vid två olika temperaturer 20°C och B: 40°C.

**Objekt 4 med ett täckskikt av 2 mm PMMA målad med svart färg och en lågemissiv färg (50/50%)**



Figur 19. IR-emission för objekt 4 vid två olika temperaturer (A: 20°C och B: 40°C)



Figur 20. Mikrovågsreflektion som funktion av frekvens för objekt 4 vid två olika temperaturer 20°C och B: 40°C.

Mikrovågsmätningarna på detta objekt visar att reflektionen ändras med temperaturen vilket inte är fallet för de tre andra objekten. Anledningen till detta är inte klarlagt utan behöver undersökas ytterligare.

## 8. Slutsatser och rekommendationer

Med den nu presenterade mätutrustningen kan simultana mätningar göras inom IR- och mikrovågsområdet. Med hjälp av värmeplattor kan testobjekt med en storlek på 15x15 cm och 30x30 cm värmas upp kontinuerligt från rumstemperatur till ca 300 °C.

Fördelarna med denna utrustning är:

- Samtida mätningar på samma mätobjekt under samma mätbetingelser kan göras
- Väldefinierad mätuppställning. Inga ommonteringar mellan mikrovågs- och IR-mätning
- Utrustningen kan relativt enkelt göras mobil

Mätningar har gjorts på fyra olika testobjekt för att visa utrustningens funktionalitet. Man kan kontinuerligt följa både temperaturen, IR-emissiviteten, och radarreflektansen under uppvärmningsförloppet.

Utrustningen bör användas vid framtida forsknings- och utvecklingsarbete inom materialområdet. För flygtillämpningar är simultant låg signatur i IR och radar viktigt för att ha skydd mot alla förekommande roboter. Materialegenskaper behöver kunna mätas och värderas vid de förhöjda temperaturer som återfinns i flygfarkoster.

## 9. Referenser

---

<sup>1</sup> Pohl Anna, Kariis Hans, Styrbara och multispektrala signaturmaterial - forskning 2004-2007. FOI-R--2370--SE, 2007

<sup>2</sup> Kariis Hans, Ousbäck Jan-Olof, Pohl Anna, Savage Steven, Åkerlind Christina Utvecklingsläget för signaturmaterial 2008, FOI-R--2630--SE, 2008

<sup>3</sup> Kariis Hans, Nilsson Christina, Behov av styrbar multispektral signaturanpassning vid internationella operationer. FOI-R--2158--SE, 2006

<sup>4</sup> <http://www.flir.com/thermography/eurasia/se/content/?id=11318>

<sup>5</sup> W. W. Salisbury. Absorbent Body for Electromagnetic Waves. US Patent No 2 599 944. June 10, 1952

<sup>6</sup> Hedborg Karlsson Eva, Kariis Hans, Andersson Åsa, Åkerlind Christina, Ny typ av lågemissiv kamouflagfärg - slutrapport, FOI-R--2316--SE, 2007