

## **FFI RAPPORT**

### **TERMISK SIGNATUR FRA OBJEKT OG BAKGRUNN - Sluttrapport for prosjekt 775**


OLSEN Frode Berg, GAMBORG Marius, HØIMYR Tor,  
STRØMMAN Eivind, SØDERBLOM Morten

**FFI/RAPPORT-2001/05210**



FFIBM/775/119.2

Godkjent  
Kjeller 15 november 2001



Bjarne Haugstad  
Forskningssjef

**TERMISK SIGNATUR FRA OBJEKT OG  
BAKGRUNN - Sluttrapport for prosjekt 775**

OLSEN Frode Berg, GAMBORG Marius, HØIMYR Tor,  
STRØMMAN Eivind, SØDERBLOM Morten

FFI/RAPPORT-2001/05210

**FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

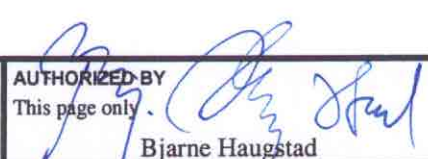


**FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)**  
**Norwegian Defence Research Establishment**

**UNCLASSIFIED**

P O BOX 25  
 NO-2027 KJELLER, NORWAY  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2001/05210	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 32
1a) PROJECT REFERENCE FFIBM/775/119.2	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE TERMISK SIGNATUR FRA OBJEKT OG BAKGRUNN - Sluttrapport for prosjekt 775  Thermal signatures from objects and backgrounds - Final report project 775		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) OLSEN Frode Berg, GAMBORG Marius, HØIMYR Tor, STRØMMAN Eivind, SØDERBLOM Morten		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN:		
a) <u>Signature</u>	a) <u>Signatur</u>	
b) <u>Infrared</u>	b) <u>Infrarødt</u>	
c) <u>Modelling</u>	c) <u>Modellering</u>	
d) <u>Background</u>	d) <u>Bakgrunn</u>	
e) <u>Vehicles</u>	e) <u>Kjøretøyer</u>	
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT In project 775, models for simulation of thermal signature for natural backgrounds and for vehicles have been developed. Both models were calibrated and evaluated on the basis of meteorological data and real thermal images. For that reason two automatic measurement stations were developed and set up at Rygge and Bardufoss. The sites were chosen to ensure a large variety in meteorological conditions. The stations consist of two main parts: a meteorological recording system and a system for recording thermal images. Sampling frequencies are 5 and 15 minutes respectively. The background signature model is based on one-dimensional heat-flow equations. Applied on three different types of background elements, the RMS-deviations from measured temperatures appear to be less than 1.7 K for periods of several days. For vehicle simulations the software MuSES, which has been applied to a M113 APC, was chosen. The input in the model is a specially developed 3-D CAD drawing. The calculated temperatures show good agreement with surface temperatures measured on a real vehicle.		
9) DATE 15 November 2001	AUTHORIZED BY This page only  Bjarne Haugstad	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0582-9

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



## INNHOOLD

	<b>Side</b>	
1	INNLEDNING	7
1.1	Bakgrunn og målsetting	7
1.2	Gjennomføringen	8
1.3	Administrativt	9
2	MÅLINGER	9
2.1	Målestasjoner	9
2.2	Meteorologiske målinger	12
2.2.1	Sensorer	12
2.2.2	Datalogging og -overføring	12
2.3	Termiske signaturmålinger	15
2.3.1	Kameraer	15
2.3.2	Kamerastyring og -overvåking og bildeoverføring	15
2.3.3	Opplinjering av bilder	16
2.4	Databasene	16
3	BAKGRUNNSMODELLERING	17
3.1	Simulering av bakgrunnssignaturer	17
3.2	Anvendelse av IR-bilder	17
3.3	Beskrivelse av modellen	18
3.4	Regneeksempler	20
4	KJØRETØYMODELLERING	23
4.1	Simulering av termisk signatur fra kjøretøyer	23
4.2	Simuleringsverktøy	23
4.3	MuSES	24
4.4	Resultater	25
5	ANDRE AKTIVITETER	27
5.1	Støtte til Forsvarets prosjekt 5273	27
5.2	Kamuflasjeforsøk på Rygge	28
6	OPPSUMMERING	29
	Litteratur	29
	Fordelingsliste	31





## TERMISK SIGNATUR FRA OBJEKT OG BAKGRUNN - Sluttrapport for prosjekt 775

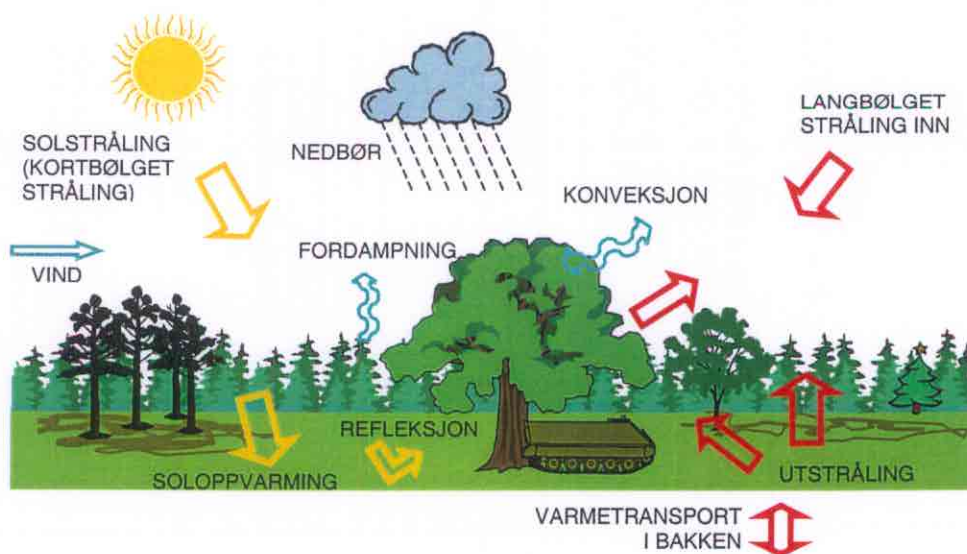
### 1 INNLEDNING

#### 1.1 Bakgrunn og målsetting

I FFI-prosjekt 672 "Innpassing av multispektral kamuflasje i Hæren" som ble avsluttet i 1998, ble det sammen med HFK arbeidet for å tilpasse Forsvarets standarder og spesifikasjoner for ulike typer kamuflasjemateriell. Hovedvekten ble lagt på det optiske spektralområdet (UV, visuelt og nærinfrarødt), men signaturkrav i det termiske infrarøde området og radarområdet ble også gitt. Prosjektet avdekket mangelfull kunnskap og forståelse for hvordan den termiske infrarøde signaturen til norsk terrengbakgrunn og militære objekter varierer over døgnet og med årstiden, dvs de meteorologiske forhold. Dette medførte usikkerhet omkring de termiske signaturkravene som stilles til Forsvarets materiell (1).

Av kostnads- og effektivitetshensyn er det viktig at kravene til termisk signatur settes på riktig nivå. For å bli i stand til dette, ble det identifisert et behov for å utvide kunnskapen om hvordan den termiske signaturen til norsk terreng og militære kjøretøyer varierer under ulike meteorologiske forhold.

I figur 1.1 er skematisk fremstilt de prosesser som påvirker de termiske signaturene. Solstråling tilfører varme direkte, men også indirekte som reflektert stråling. Både objekt og bakgrunn stråler ut varme – dette virker direkte avkjølende, men denne utstrålingen kan bidra til



Figur 1.1 Parametre som påvirker den termiske signaturen

oppvarming av andre objekter. Det foregår også en varmetransport ved konveksjon, en prosess som er sterkt avhengig av vindstyrken. I tillegg foregår en varmetransport i bakken: typisk nedover på en solvarm dag, og oppover om natten. Totalt sett vil de termiske signaturer være funksjoner av kompliserte prosesser som vekselvirker med hverandre.

Prosjektet 775 "Termisk signaturreduksjon" ble derfor igangsatt med en målsetting om å etablere en bredere forståelse av de termiske egenskapene til norsk landterreng og nytt materiell og hvordan den termiske signaturen varierer med de ytre påvirkninger. Konkret skulle det etableres en databasert numerisk modell for beregning av termisk signatur til norsk landterreng. Modellen skulle ut fra reelle termiske bilder kombinert med matematiske beregninger, prediktere utviklingen av den termiske signaturen. I tillegg skulle det etableres en modell for beregning av termisk objektsignatur basert på 3-dimensjonale tegninger. Prosjektet hadde også som målsetting å sikre nødvendig bakgrunn for de anskaffelser som planlegges i Forsvarets prosjekt 5273 – Multispektral kamuflasje.

## 1.2 Gjennomføringen

Prosjektet ble organisert i 2 delprosjekter: "Databasert modell for beregning av termisk terrengsignatur" og "Modell for beregning av termisk objektsignatur". Støtten til Forsvarets prosjekt 5273 ble innpasset innenfor det delprosjekt som til enhver tid ble funnet mest hensiktsmessig.

### **Delprosjekt 1 – Databasert modell for beregning av termisk terrengsignatur**

I dette delprosjektet har oppgaven vært å etablere en datamodell for beregninger av den termiske signaturen til forskjellige typer terreng. Anvendelsen av modellen skal primært knyttes til analyser og vurderinger av signaturen til Forsvarets materiell (se delprosjekt 2). Modellen beskriver den dynamiske endringen av den termisk terrengsignaturen inkludert ulike typer vegetasjon som f eks løvtrær, nåletrær, lave busker, gress, lyng, osv. Beregningene er basert på fysiske lover samt verifisert og kalibrert gjennom feltregistreringer.

### **Delprosjekt 2 – Databasert modell for beregning av termisk objektsignatur**

Oppgaven i dette delprosjektet var å etablere en modell for beregning av den termiske signaturen primært for kjøretøyer. Med utgangspunkt i en 3-dimensjonal representasjon av objektet med tilhørende beskrivelse av indre konstruksjon og materialeegenskaper, vil modellen kunne beregne hvordan indre generert varme forplantes i konstruksjonen og ut til overflaten. Modellen tar også hensyn til påvirkningen fra ytre parametre. Beregningene gjøres ut fra fysiske lover og verifiseres ved tilgjengelige termiske registreringer av objektet. Resultatet skal vise hvordan den termiske signaturen varierer under ulike driftsforhold og ytre påvirkninger.

Begge delprosjektene bygger i stor grad på meteorologiske målinger og signaturmålinger av terreng og objekter. Stor innsats ble derfor lagt i etablering av automatiske målestasjoner. Disse ble lagt til flystasjonene Rygge, Ørland og Bardufoss, hvor vi møtte stor velvilje og mottok utmerket hjelp fra de utpekte kontaktpersoner: hhv avd ing J E Sjøgren, maj SA Karlsson og maj P K Wikestad.



I 1999 ble det inngått en samarbeidsavtale med det tyske forskningsinstituttet Forschungsgesellschaft für Angevantes Naturwissenschaften – Forschungsinstitut für Optik und Mustererkennung (FGAN-FOM) om bakgrunnsmodellering og instrumentering for meteorologiske målinger og signaturmålinger. På grunn av personellmangel ved FGAN-FOM, ble dette samarbeidet kraftig redusert. Det viktigste bidraget fra tysk side var utlån av instrumentering for den ene av de to målestasjonene som er etablert i prosjektet.

### 1.3 Administrativt

Prosjektet ble gjennomført iht til de retningslinjer som gjelder for FFI-prosjekter, og i nært samarbeid med et prosjektråd bestående av representanter fra Hærens forsyningskommando (HFK), Ingeniørinspektøren (INGINSP), Baseforsvarsinspektoratet (BFI) samt Hærstaben og Sjøforsvarsstaben i Forsvarets overkommando (FO/HST og FO/SST). Det har vært holdt 6 prosjektrådsmøter.

Prosjektet startet 1 juni 1999 med en tidsramme på 2.5 år, men inkluderte et forprosjekt slik at total varighet ble 3 år, og total innsats 11.5 FIÅ.

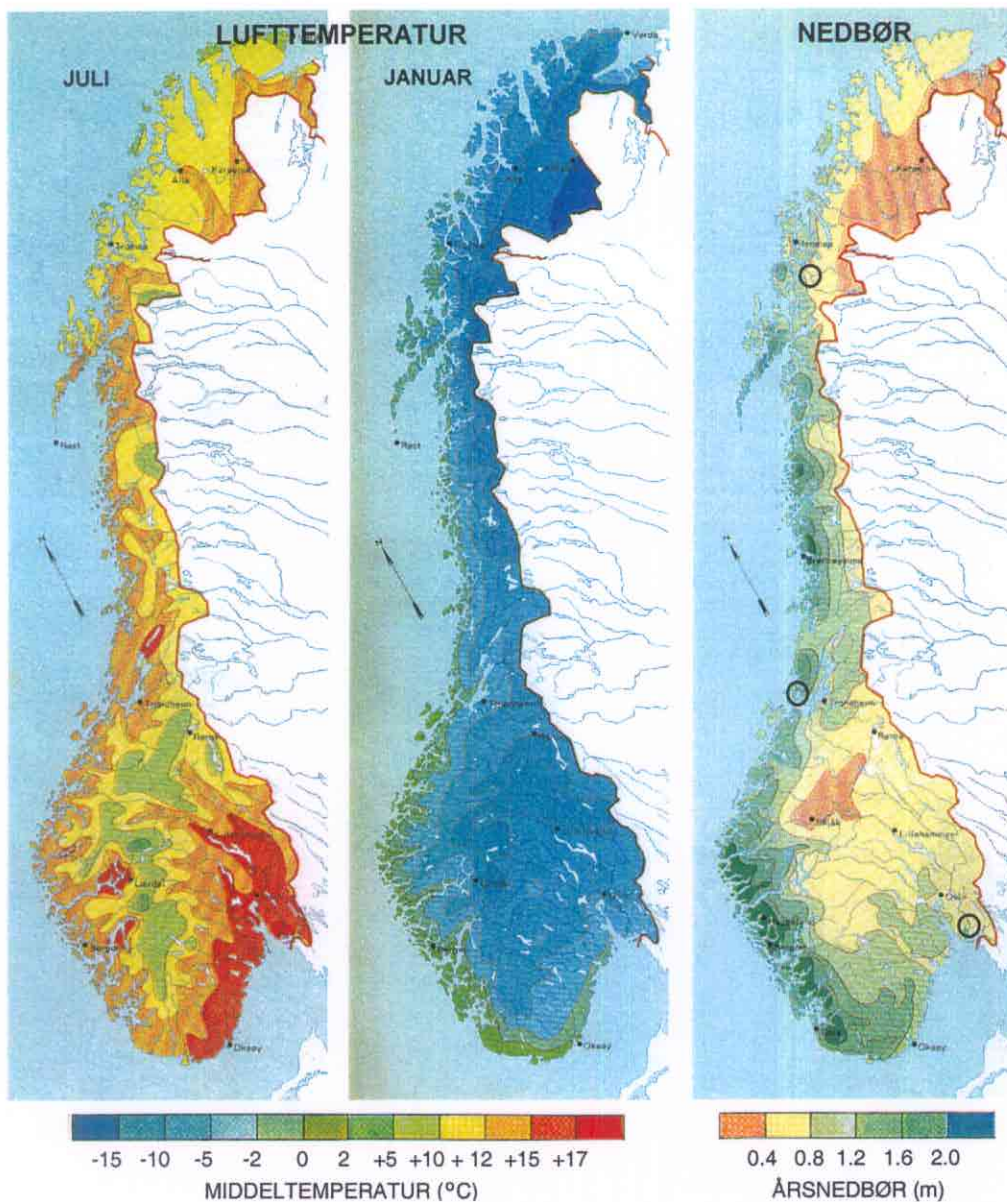
## 2 MÅLINGER

### 2.1 Målestasjoner

For å kunne dekke et så stort klimaspenn som mulig, ble det bestemt å bygge to målestasjoner for automatisk kartlegging av den termiske signatur for flere aktuelle bakgrunnstyper sammen med registrering av aktuelle meteorologiske parametre. Den ene stasjonen skulle plasseres på Bardufoss, mens den andre skulle stå på Ørlandet i vinterhalvåret og flyttes til Rygge for sommerhalvåret. Ut fra figur 2.1 ville det forventede klima på de 3 stedene være:

Bardufoss:	kald vindstille vinter med lange netter, relativt varm sommer med lange dager
Ørland:	meget vindfullt og store nedbørsmengder
Rygge:	tørt og varmt

Ved valg av målestasjonenes plassering måtte man også ta hensyn til tilgjengelighet av infrastruktur i form av telefonlinjer og elektrisk strøm samt at måleutrustningen måtte ha en viss beskyttelse mot uvedkommende. I tillegg var det viktig at flere terrengetyper kunne bli registrert fra hver enkelt målestasjon. Flystasjonene tilfredsstilte alle disse faktorer, og det ble skrevet kontrakt med stasjonene for "leie" av grunn. På hver av de 3 flystasjonene ble konstruert og reist to master: en for meteorologiske instrumenter og en for kameraer. I figur 2.2 er vist terrenget på Rygge og Bardufoss. Figuren viser også at det er muligheter for oppstilling av kjøretøyer i målområdet, noe som er aktuelt ved studier av termiske signaturer for militære objekter.



Figur 2.1 Lufttemperatur- og nedbørskart (2) (Kartene: © J W Cappelen Forlag a.s)  
De tre målestasjonene er avmerket på nedbørskartet

En del av instrumenteringen – bl a en PC – er avhengig av å stå tørt i romtemperatur. Dette ble løst på forskjellige måter: Rygge: i oppvarmet bunker i LV-stilling, Ørlandet: inne i hus og Bardufoss: i campingvogn innkjøpt for formålet (figur 2.3). Fra alle disse stasjonene ble måledata overført til FFI over telefon.

Det har vist seg at det har tatt lengere tid enn antatt å etablere målestasjonene. Instrumenteringen på Bardufoss er utlånt fra FGAN-FOM. Forsinket levering medførte at stasjonen sent kom i drift. I tillegg fikk vi selv alt arbeidet med programmering og konstruksjon av hardware, noe som var forutsatt delt med vår tyske samarbeidspartner. Videre har det vært store problemer med å få til telefonoverføring av data både fra Bardufoss og Rygge. Diverse uhell (f eks lynnedslag) og uforutsette problemer med driften har medført at stasjonene ikke har vært i kontinuerlig drift i hele perioden. Slike problemer medførte også at det ble besluttet å ikke



flytte sensorene fra Rygge til Ørlandet høsten 2001. I tabell 2.1 er angitt de to målestasjonenes historie i grovt, og i (3) er den meteorologiske målestasjonen gitt en bredere beskrivelse.



*Figur 2.2 Bilder tatt fra kameramastene på Rygge (øverst) og Bardufoss (nederst) Synsfeltet til IR-kameraet (1-4) er inntegnet. Meteorologimastene er merket med M ved foten av mastene.*



*Figur 2.3 Campingvogna på Bardufoss og kameramast med kamerahus Til høyre er vist arbeidsplassen inne i vogna*

## STASJON 1

Ørlandet	nov 99	Master og noen met-sensorer montert
	des 99	Resten av met-sensorene montert
	des 99 – apr 00	Meteorologiske målinger
	apr 00	Sensorer demontert
Rygge	mai 00	Reising av master og montering av met-sensorer
	nov 00	Kamera montert
	fra nov 00	Fullt operativ
	des 00 – feb 01	Måling på M113
	aug – okt 01	Måling på M113
	nov 01 –	Måling på M113

## STASJON 2

Bardufoss	nov 99	Master montert
		Ventetid på sensorer fra Tyskland
	jan 01	Sensorer montert
		Ingen målinger pga problemer med telefon-overføringen
	jul 01	Kamera montert
	fra jul 01	Fullt operativ

Tabell 2.1 Utvikling og bruk av målestasjonene frem til 31 des 2001

## 2.2 Meteorologiske målinger

### 2.2.1 Sensorer

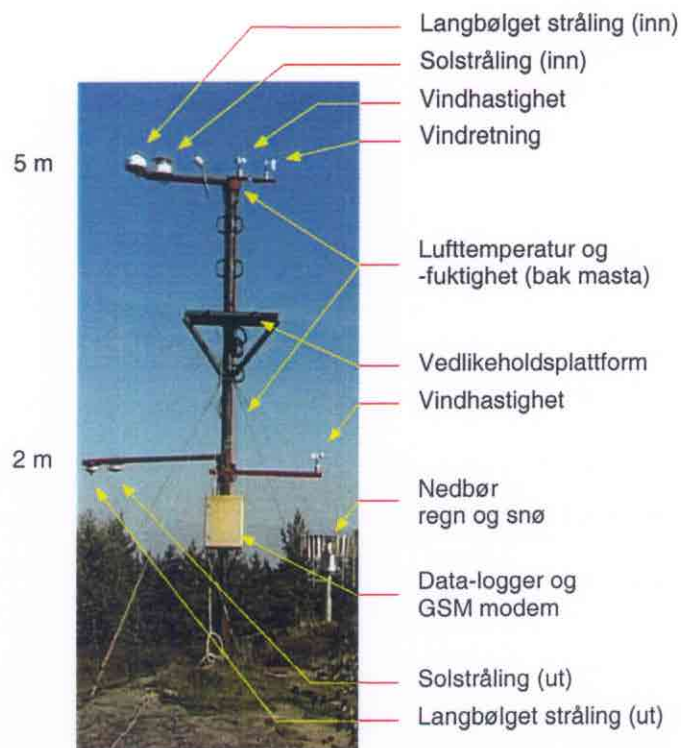
Alle meteorologiske parametre som vil kunne ha innflytelse på den termiske signaturen til objekter og bakgrunn er målt. Det gjelder lufttemperatur og -fuktighet, termisk inn- og utstråling, kortbølget ut- og innstråling (solstråling), vindhastighet og -retning samt nedbør. I tillegg ble temperaturen nede i bakken målt på flere dybder for å ta vare på den termiske historien til denne bakgrunnstypen. Spesifikasjon av alle instrumentene er gitt i (3).

Meteorologiske sensorer er montert i en mast som vist i figur 2.4. Som det fremgår er lufttemperatur og -fuktighet samt vindhastighet målt i to høyder fordi disse parametrene i mange tilfeller varierer med høyden. Av samme grunn er disse parametrene også målt flere steder langs bakken, og lufttemperaturen er i tillegg målt inne blant busker og trær. I figur 2.6 (side 14) er vist plasseringen av alle sensorene for målestasjonen på Rygge.

### 2.2.2 Datalogging og -overføring

Alle sensorene er knyttet til en Campbell datalogger med tilhørende perifer-utstyr. Dataloggeren er sammen med en GSM-modul montert i et tett skap på selve meteorologimasten (figur 2.5). Et batteri gjør det mulig å holde værstasjonen i drift et par uker, hvis strømmen skulle forsvinne.

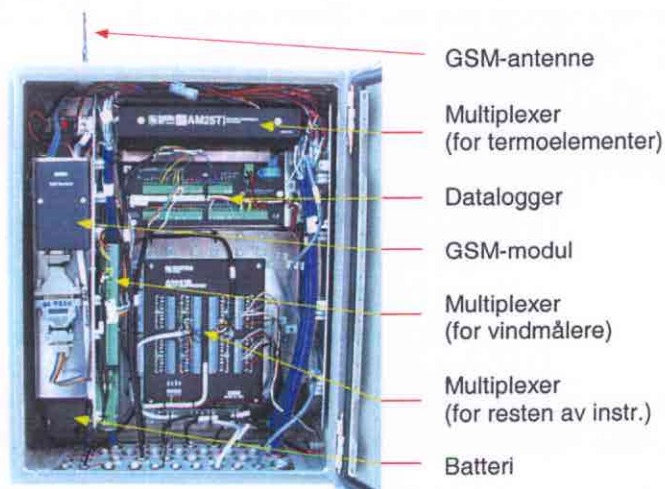




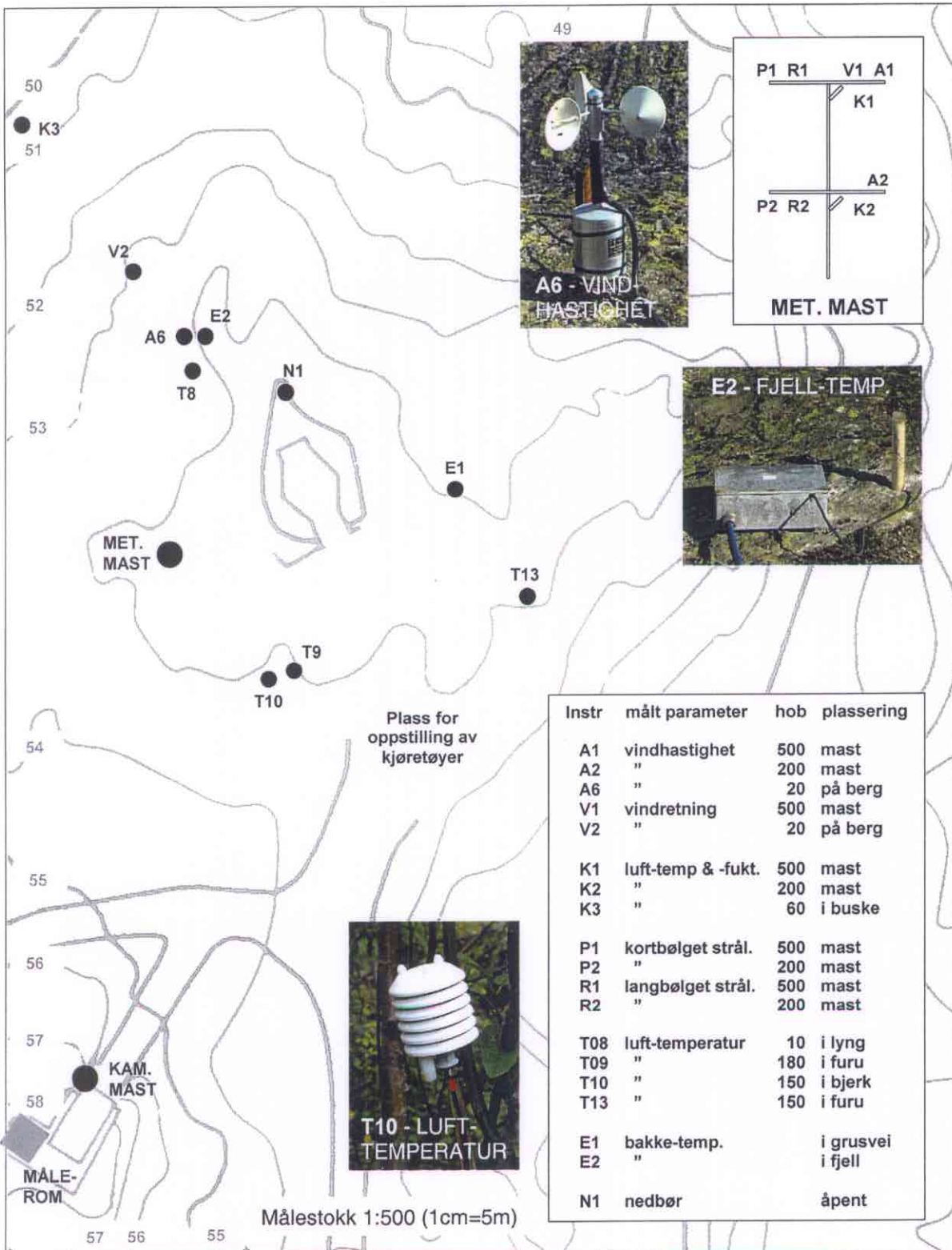
Figur 2.4 Meteorologi-mast med sensorer (Rygge).  
Nedbørsmåler i bakgrunnen

Dataloggeren er programmert til å lese inn måledata fra sensorene 2 ganger per minutt. Ved hjelp av kalibreringskurver for hver enkelt sensor blir sensorsignalene konvertert til vanlige enheter for temperatur, vindhastighet etc. Middelerdien av de 10 siste målingene fra hver sensor blir lagret i dataloggerens hukommelse hvert 5. minutt.

Plassen i den lokale hukommelsen i dataloggeren er begrenset til måledata for noen få døgn. Måledataene blir av den grunn overført til FFI et par ganger i uken via telefon over den innebygde GSM-modulen. (I områder med dårlig GSM dekning er det mulig å knytte vær-stasjonen til det vanlige telefonnettet via et modem.) GSM-linjen gjør det også mulig å lese av instrumentene i (nesten) sann tid fra laboratoriet på FFI. Samtidig er det mulig å overvåke tilstanden til værstasjonen og gjøre endringer i dataloggerens program. En detaljert beskrivelse av dataloggingen og –overføringen er gitt i (4).



Figur 2.5 Datalogger-skap med innhold



Figur 2.6 Instrumentutplassering på Rygge. I tabellen er instrumentene listet opp, og deres plassering i terrenget er beskrevet sammen med deres høyde over bakken (hob). Fotografier av enkelte sensorer er vist. Fem sensorer for temperaturmåling i fjell sitter i det gule røret til høyre i bildet og er fordelt fra bakkenivå til 50 cm ned i bakken.



## 2.3 Termiske signaturmålinger

### 2.3.1 Kameraer

I kameramasten er montert to kameraer: et CCD-kamera og et IR-kamera. Det første, som er av type Hitachi VK-C77E, er et videokamera som her benyttes for å ta enkeltbilder. Disse skal gi et generelt bilde av måleområdet hvor bl a sol/skygge og snødekke skal kunne registreres.

IR-kameraet er den viktigste sensoren av de to. Vårt kamera er et ThermaCAM PM 595 fra FLIR Instruments med en spektralfølsomhet i området 7.5-13  $\mu\text{m}$ . Kamerat som er utlånt fra FGAN-FOM er et tilsvarende: Thermovision 570 fra Agema. Begge IR-kameraene er kalibrert slik at det er mulig å lese av temperaturen direkte i et hvert avbildet punkt. Dermed får man registrert hvordan den termiske signaturen varierer med vær og tid for de forskjellige bakgrunns-elementer og for eventuelle kjøretøyer som er plassert i målområdet.

Kameraene, som er montert på en styrbar plattform (pan/tilt-hode), er bygget inn i et beskyttende værhus med termostatstyrt oppvarming for å holde temperaturen over 5-6  $^{\circ}\text{C}$  (figur 2.7).



Figur 2.7 Værhuset uten deksel med åpen luke (til venstre) og i masten (til høyre)  
Til venstre sees en del av elektronikken, kameraene og aktuatoren som åpner luken.

### 2.3.2 Kamerastyring og -overvåking og bildeoverføring

Begge kameraene og plattformen er koblet til en lokal datamaskin (PC). Det er laget et eget program som styrer både plattformen og kameraene. Hvert 15 minutt åpnes luken i værhuset, plattformen rettes til de forhåndsprogrammerte retninger (se figur 2.2) og bilder leses inn fra begge kameraene. Hver gang tas det bilder fra 3-5 retninger. Sammen med datamaskinen finnes en video-monitor for å lette innstillingen av kameraene, og den kan også benyttes for å kontrollere om bildesekvensen er riktig.

De fleste funksjoner i IR-kameraet kan styres fra datamaskinen via et PCMCIA-adapter og det er lagt inn mulighet for å kunne slå kameraet av og på. Videokameraet tillater fjernstyring av objektivets brennvidde (12 ganger optisk zoom) samt blender, fokus og lukker.

Ved hjelp av et eget program kan en fra FFI ta kommandoen over datamaskinen via telefon-nettet. Programmet overfører hele skjermbildet fra PCen på målestasjonen til PCen på FFI. Det

er da mulig å kontrollere om stasjonen funksjonerer som den skal, og å foreta eventuelle endringer i f eks kameraretninger bl a når det skal måles på kjøretøyer. Via denne forbindelsen kan en også laste ned enkeltbilder og loggfil. En stor innsats er lagt ned for at stasjonen skal kunne operere mest mulig uavhengig av lokal hjelp. Feilrettingsrutiner tar selv hånd om en stor del av feilsituasjonene som måtte oppstå. Disse rapporteres i tillegg i loggfila.

For å sikre at billedata ikke blir borte dersom det oppstår en feil på hard-disken blir nye bilder kopiert til en backup-tape to ganger i døgnet. Tapen rommer billedata fra flere måneders opptak. Bildene tar for stor plass til at det er aktuelt å sende dataene til FFI via telefonlinje derfor sendes backuptapen til FFI med jevne mellomrom.

En detaljert beskrivelse av værhus, kamerastyring og bildeoverføring finnes i (5).

### 2.3.3 Opplinjering av bilder

Systemet gjør det ikke mulig å få bilder som overlapper hverandre helt nøyaktig fra gang til gang. Den største feilkilden synes å ligge i den mekaniske delen av pan/tilt-hodet som kameraene er montert på. For å sikre at temperaturen i ethvert bildepunkt eller for et spesielt utvalgt område skal kunne følges over tid fra bilde til bilde, må bildene opplinjeres. For dette formål er det på bakken plassert varme referansekilder i form av tildekkede varmelamper eller varmemefolier.

En egen programvare er utviklet for lete opp disse referansene for deretter å legge inn posisjonen til varmekilden i bildefila. Denne prosessen foretas før bildene legges i databasen.

## 2.4 Databasene

Det er opprettet en database for hver målestasjon (6). Alle meteorologiske målinger og alle bilder lagres i disse databasene. For de meteorologiske målesensorene lagres vel 50 avlesninger hvert femte minutt i databasen, noe som betyr ca 15 000 datapunkter pr døgn. Kameraene tar 3-5 bilder hvert kvarter, noe som gir nærmere 400 IR-bilder à 158kB pr døgn. Samme antall bilder fås fra det andre kameraet, men de er bare tredjeparten i størrelse.

I databasen for Rygge er det pr 19 nov 01 lagret 4 680 000 meteorologiske datapunkter, 98 000 IR-bilder og det samme antall visuelle bilder. Det er mulig å gå inn i denne store databasen og på en enkel måte søke etter målinger fra en bestemt sensor for et bestemt tidsintervall – og for en bestemt vinkel for kameraene. Databasen for Bardufoss er noe mindre.

For hver meteorologisk sensor legges det inn et gyldighetsområde for måleverdien. Hvis måleverdien kommer utenfor dette området, f. eks fordi den aktuelle sensoren har vært koblet fra data-loggeren, registreres verdien som ugyldig i databasen.

En egen programvare er utviklet for å kunne ta ut statistisk temperatfordeling over bestemte arealer (dvs terrengtyper) i IR bildene. Gjennomsnittstemperaturene lagres på fil, og etter hvert



som slike filer genereres, legges de inn i databasene. Dermed blir det også mulig å søke etter temperaturforløp for en gitt type terreng for et bestemt tidsintervall.

### 3 BAKGRUNNSMODELLERING

#### 3.1 Simulering av bakgrunnssignaturer

Et av formålene med prosjektet var å utvikle en modell for simulering av temperaturen til ulike terrenglementer som f eks trær, gress, lyng, grus osv. Det er gjort mange forsøk på å utvikle slike modeller; noen modeller beregner temperaturen for skog sett ovenfra, og andre benytter svært komplekse fysiske beskrivelser av problemet sammen med avanserte matematiske metoder (7), (8), (9) og (10). Den siste kategorien er i denne sammenheng svært relevant, og vil bli forfulgt i tiden fremover.

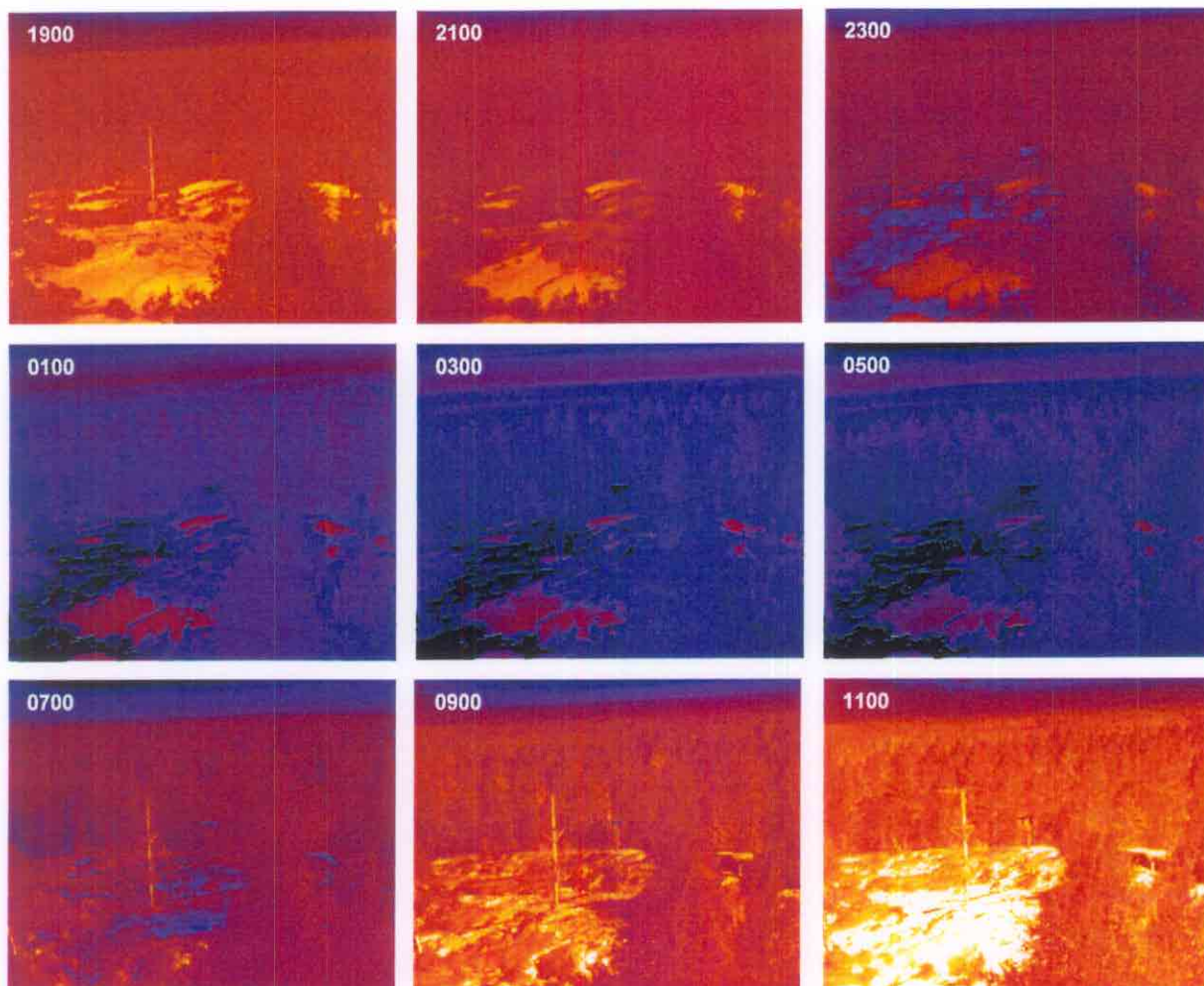
Pga den begrensede tiden som var til rådighet i prosjektet, ble en enkel modell valgt. Valget ble gjort på grunnlag av resultater som FGAN-FOM har oppnådd med en lignende modell (11), (12), og det faktum at prosjektet samarbeidet med FGAN-FOM om målestasjonen i Bardufoss. Modellen bygger på de fysiske prosesser som bestemmer en overflates temperatur, dvs mekanismer som inn- og utstråling, konveksjon, varmeledning og fordampning. En detaljert beskrivelse av modellen er gitt i (13).

I dette prosjektet var det lagt stor vekt på å fremskaffe meteorologiske målinger og signaturmålinger fra en lang tidsperiode og med stor variasjon i de meteorologiske forhold. De meteorologiske målingene skulle være inngangsverdier i modellen, mens signaturmålingene var ment for kalibrering og evaluering av den ferdigkalibrerte modellen.

#### 3.2 Anvendelse av IR-bilder

Modeller for beregning av temperaturen på naturlige flater har hittil vær kalibrert mot temperaturmålinger gjort med radiometre. På mange måter kan et radiometer sies å representere et kamera med ett bildepunkt. Nytt i dette prosjektet er anvendelsen av termiske kameraer for måling av overflatetemperaturer i terrenget. Dette gir mulighet for å måle flere bakgrunns-elementer samtidig, men også temperaturvariasjonene over hvert enkelt terrenglement. Der radiometre gir informasjon om gjennomsnittstemperaturen over en flate gir altså termiske kameraer i tillegg informasjon om variasjonen av temperaturen over flaten.

I figur 3.1 er vist en serie termiske bilder fra målestasjonen på Rygge. Fra slike termiske bilder er det mulig å lese ut temperaturen i hvert bildepunkt som beskrevet tidligere. I regne-eksemplene i avsnitt 3.4 er sammenlignet temperaturforløpet for enkelte bakgrunnstyper med verdier tatt ut fra slike bildeserier.



Figur 3.1 *Termiske bilder fra Rygge (7-8 juni 2000)*  
 Bildene er tatt med to timers mellomrom som vist i figuren – se forøvrig figur 2.2  
 Bildene har samme temperaturskala.

### 3.3 Beskrivelse av modellen

Modellen bygger på mekanismene for varmetransport fra en flate, og for å gjøre problemet så enkelt som mulig formuleres modellen som et endimensjonalt varmetransportproblem. Dvs modellen består av en rekke lag hvor materialegenskapene varierer kun i en dimensjon, og hvor det ytterste laget er eksponert for omgivelsene. Den eneste mekanismen for varmetransport mellom lagene er varmeledning. Mekanismene for varmetransport mellom det ytterste laget og omgivelsene er stråling og transport av fri og bundet varme, dvs konveksjon og fordampning.

En overflate mottar strålingsvarme fra solen, himmelen og omgivelsene (figur 1.1). Overflaten avgir også varme i form av stråling, og det er denne strålingen som blir registrert av termiske kameraer. I tillegg utveksler overflaten varme med luften omkring enten ved at vind skifter ut luften over overflaten, eller ved at luften sirkulerer over overflaten som følge av temperaturredifferansen mellom luften og overflaten. Dersom overflaten er fuktig kjøles overflaten når vannet fordampes, og dersom vann kondenserer på overflaten bidrar dette til oppvarming. Den enkle modellen som prosjektet hittil har arbeidet med tar ikke hensyn til



fordampning/kondensering, men dette vil bli inkludert i det videre arbeid med modellen.

Verdiene for innstråling som modellen benytter er måleverdiene direkte fra strålingssensorene. Dvs at innstrålingen på de flatene som modelleres, ikke er korrigert for flatens retning i forhold til solen. Dersom dette tas hensyn til forventes modellen å gi bedre resultater, men i resultatene presentert nedenfor er dette ikke gjort. På denne måten oppnåes en enklest mulig modell, men på sikt vil en korreksjon for flatens orientering vurderes implementert.

Temperaturen på en overflate er som nevnt avhengig av en rekke meteorologiske parametere. I tillegg er temperaturen ved et tidspunkt avhengig av temperaturen en viss tid tilbake og ”nedover” i materialet, dvs at ligningene som bestemmer overflatetemperaturen er differensial-ligninger. En slik formulering av modell-ligningene er vist nedenfor:

$$\begin{aligned}
 \frac{dT_s}{dt} &= \alpha W_{\text{sol}} + \epsilon W_{\text{himmel}} - \epsilon \sigma T_s^4 && \text{Strålings-ledd} \\
 &- (\delta_1 + \delta_2 v_a)(T_s - T_a) && \text{Konveksjon} \\
 &+ \rho(\delta_1 + \delta_2 v_a)(e(T_a, \text{rh}) - e(T_s, 100\%)) && \text{Fordampning} \\
 &+ \kappa(T_1 - T_s) \\
 &\dots \\
 \frac{dT_i}{dt} &= \kappa(T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}) && \text{Varmeledning} \\
 &\dots \\
 \frac{dT_n}{dt} &= \kappa(T_c - 2T_n + T_{n-1})
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

I ligning 3.1 er  $\alpha$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\rho$  og  $\kappa$  modellens parametere,  $T_s$  er overflatens temperatur,  $T_a$  er lufttemperaturen og  $T_i$  er temperaturen i lag  $i$ .  $T_c$  er konstant temperatur i det nederst laget.

Ligningssettet ovenfor løses enkelt sagt ved at temperaturendringen over et kort tidsrom beregnes og legges til temperaturen ved forrige tidspunkt. Temperaturen på overflaten kan vha ligning 3.1 beregnes for faste tidsintervaller basert på en startverdi. Det er derfor en mulighet for at en liten feil i modellen vil forplante seg etter hvert som temperaturer for tidspunkt fremover i tid beregnes. Dette vil i så fall føre til at nøyaktigheten i modellen blir dårlig. En måte å redusere slike problemer på, er å beregne temperaturendringen i svært små tidsintervaller i forhold til de typiske tidene som temperaturene i terrenget endrer seg på.

I beregningene i neste avsnitt er temperaturene av praktiske grunner beregnet for hvert 5 minutt. Dette gjør at modellberegningene ikke kan følge raske temperaturendringer. Ved å beregne temperaturer for kortere tidsintervaller vil dette bli bedre, men dette er et avveinings spørsmål mellom regnetid/kapasitet og krav til nøyaktighet.

Modellen har altså et antall parametere som må angis før modellene kan benyttes til beregninger av overflatetemperaturer. Ideelt sett burde disse måles for så å angis i modellen, men mange av disse modellparametrene er ikke lette å måle og må derfor beregnes. Dette gjøres med ulike matematiske metoder som beregner verdien av de modellparametrene som gir det minste avviket mellom beregnet og målt overflatetemperatur. Til hver bakgrunnstype hører ett sett karakteristiske modellparametre. Dersom modellen er lineær i modellparametrene, kan disse estimeres ved vanlig lineær regresjon, men siden modellen er beskrevet med differensialligninger er dette ikke rett frem.

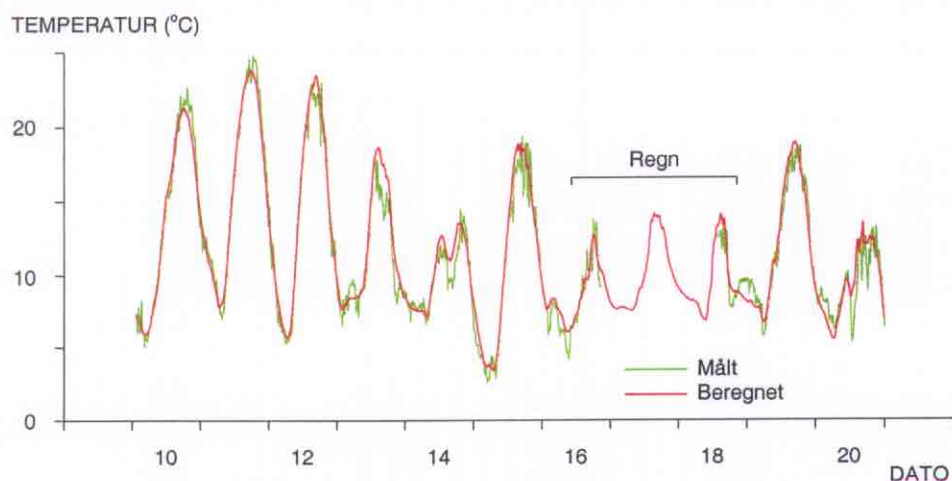
Når antallet modellparametre er stort, vil det ofte være mulig å velge verdiene slik at modellen passer godt til de dataene som modellparametrene ble beregnet på grunnlag av. En virkelig indikasjon på om modellen er god får man først om modellen også beregner temperaturen med tilstrekkelig nøyaktighet for andre datasett enn det som ble benyttet for estimering av modellparametrene. Ved beregningene i neste avsnitt, har hvert av bakgrunnelementene kun 5 frie modellparametre, noe som ikke er mye sammenlignet med det store antallet målepunkter modellberegningene sammenlignes med.

### 3.4 Regneeksempler

I det etterfølgende er modellen benyttet for å regne ut hvordan temperaturen varierer over flere døgn for tre forskjellige bakgrunnstyper: skogskant, grusvei og lyng. Målte meteorologiske data er benyttet som inngangsverdier, og modellparametrene for hver terrengtype er beregnet ut fra de første døgnene i måleseriene.

I figur 3.2 er vist målte og beregnede temperaturer for skogskant. Modellparametrene er beregnet på grunnlag av de tre første døgnene av de 11 døgnene som er vist i figuren. Tabell 3.1 viser beregnet midlere og RMS-avvik (kvadratisk middelavvik) mellom den målte og den beregnede temperaturen.

Som det går frem av tabellen, viser modellen at det er god overensstemmelse mellom



Figur 3.2 Beregnet og målt temperatur for skogskant – mai 2001  
Modellparametrene er beregnet på grunnlag av de tre første dagene.



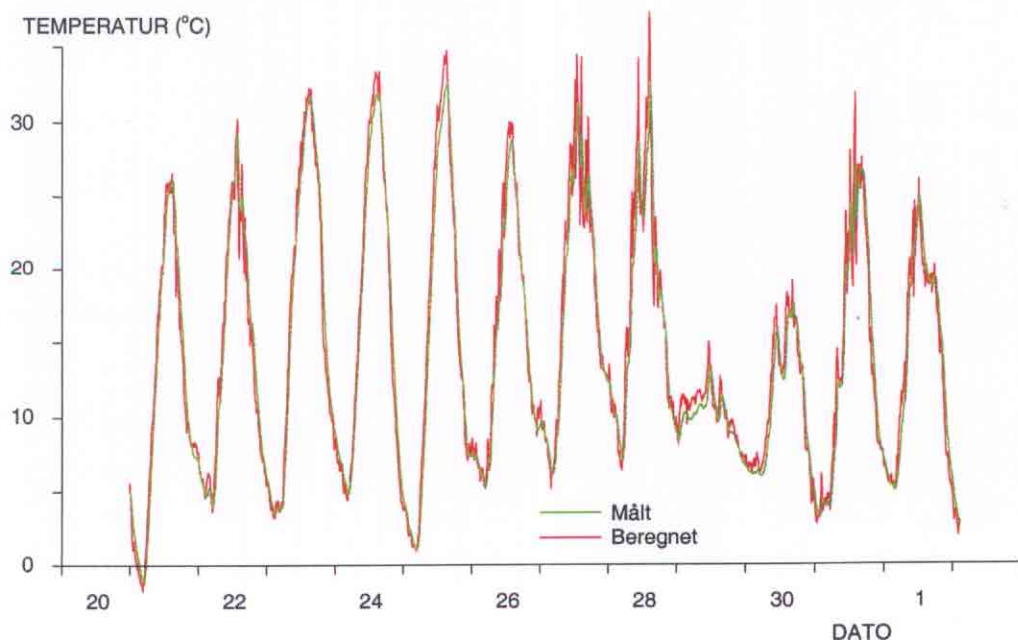
	Første tre dager	Hele perioden
Midlere abs. avvik	0.61 K	0.76 K
RMS-avvik	0.76 K	0.99 K

Tabell 3.1 Avvik mellom målt og beregnet temperatur for skogkant i figur 3.2.

beregningene og målingene. Spesielt viktig er det at modellen gir god overensstemmelse også for perioder som ikke inngår i datagrunnlaget for estimering av modellparametrene, noe som viser at modellen korrekt beskriver de viktigste fysiske prosessene. Modellen viser størst avvik for perioder hvor de meteorologiske forholdene endres raskt. Dette skyldes at modellen som benyttes er en forenklet beskrivelse av de fysiske prosessene, men også at modellen beregner temperaturer på grunnlag av data med 5 minutters intervaller. Variasjoner med kortere tidskonstanter kan modellen derfor ikke simulere.

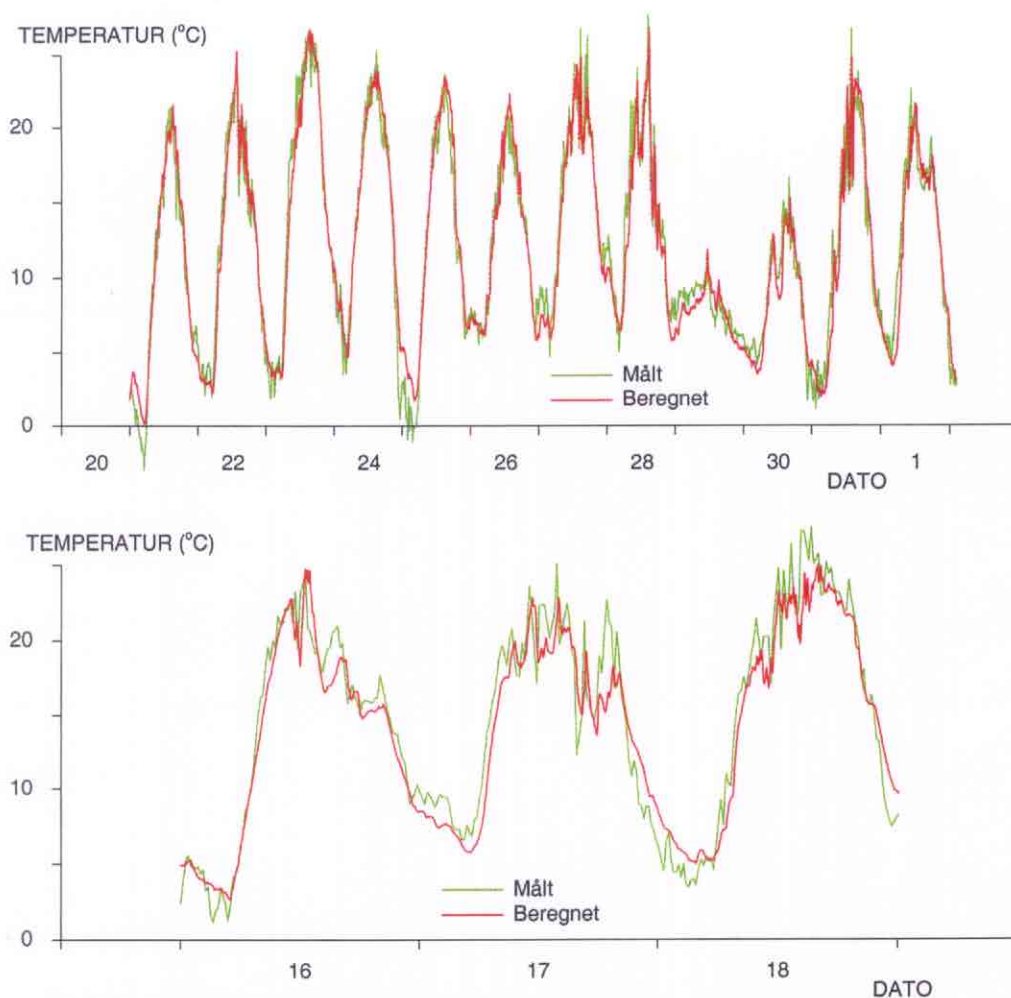
I perioden markert med "Regn" i figur 3.2 var det regn, og modellen viser også ut over denne perioden god overensstemmelse med målingene. Dette viser at modellen er robust for stor variasjon i de meteorologiske forholdene.

Resultatene fra beregninger og målinger for grusvei er vist i figur 3.3. Med de modellparametrene som er beregnet for grusvei, viser modellen god overensstemmelse med målingene selv om resultatene er noe dårligere enn for skogkant. Avviket mellom beregninger og målinger skyldes i første rekke en tidsforskyvning mellom målt og beregnet temperatur. Dette har delvis årsak i at modellen feilberegner den termiske ledningsevnen til grus, men i hovedsak det tekniske måleproblemet at den interne klokken i kamerasystemets datamaskin sakket.



Figur 3.3 Målt og beregnet temperatur for grusvei – mai-juni 2001  
Modellparametrene er beregnet på grunnlag av data fra de 6 første dagene.  
For perioden er midlere absolutt avvik 1.36 K og RMS-avvik 1.71 K

Figur 3.4 viser beregnet og målt temperatur for lyng for samme periode som for grusvei. Figuren viser hvordan beregningene stemmer med målingene når beregningene fortsettes frem nesten en hel måned etter at modellparametrene ble estimert.



*Figur 3.4 Målt og beregnet temperatur for lyng – mai-juni 2001  
Modellparametrene er beregnet på grunnlag av de 6 første dagene  
Midlere absolutt avvik er 1.31 K og RMS-avvik 1.70 K*

Temperaturnøyaktigheten til kameraet er oppgitt til  $\pm 2$  K, og regneeksemplene for de tre bakgrunnstypene viser at modellen gir resultater som ligger innenfor denne usikkerheten for de periodene som er undersøkt. Det videre arbeidet vil ta sikte på å verifisere modellen og modellparametrene for lengre tidsperioder og en større variasjon i de meteorologiske forholdene. Videre vil bedre metoder for estimering av modellparametrene og løsning av differensialligninger bli implementert.

Resultatene viser at den enkle modellen som er valgt, gir tilstrekkelig nøyaktighet når beregningene skal benyttes til statistiske betraktninger knyttet til evaluering av kamuflasje og den termiske signaturen til terreng.



## 4 KJØRETØYMODELLERING

### 4.1 Simulering av termisk signatur fra kjøretøyer

Den termiske signaturen fra et kjøretøy er avhengig av varmeutveksling med omgivelsene på omtrent samme måte som de forskjellige bakgrunnstyper. En vesensforskjell er at kjøretøyene med sine vertikale flater har en viss varmeutveksling med sin umiddelbare bakgrunn. Signaturen for kjøretøyer vil, som for bakgrunnen, variere over døgnet og med de vekslende værforhold. Spesielt for kjøretøyer er imidlertid at de selv genererer varme fra motor og eventuelle varmeapparater som benyttes i kaldt vær. Ofte vil denne varmen overstige den som skyldes ytre påvirkninger.

Et simuleringsverktøy må derfor kunne simulere tidsavhengige forløp som skyldes start av motoren og nedkjøling av kjøretøyet etter at motoren er stoppet. Siden kjøretøyet termiske signatur også er avhengig av vekselvirkninger med omgivelsene, er det nødvendig å simulere hvordan objektet responderer på ytre omgivelser på en detaljert måte. Vekselvirkningene med omgivelsene vil nødvendigvis ikke være det samme for kjøretøyet sine forskjellige sider.

Utgangspunktet for simulering av signaturen for et kjøretøy må derfor være en forholdsvis nøyaktig tredimensjonal objektmodell med informasjon om materialer og deres termiske egenskaper, godstykkelse, overflatebelegg og eventuelle sjikt i konstruksjonsmaterialer. Den største utfordringen ligger i å modellere de indre deler av et kjøretøy for å kunne simulere varmetransporten fra motoren og andre interne varmekilder. I praksis skjer simuleringen ved at varmeligninger for et flatelement løses numerisk som differensialligninger ved iterative metoder. Vekselvirkninger med naboelementer og varmetransport gjennom elementet og på hver side modelleres. Varmetransport fra andre flatelementer kan også skje ved stråling slik at objektets geometri nøye må analyseres.

### 4.2 Simuleringsverktøy

Å utvikle et program for å simulere termisk signatur fra kjøretøyer er en omfattende oppgave, som det ikke var aktuelt å gjøre innen prosjektet. Kommersielle verktøy ble derfor studert. Det finnes flere verktøy utviklet for å studere varmeledningsproblemer i mekaniske strukturer, men kun et fåtall som omfatter signaturproblematikk i den forstand at respons på ytre miljø inngår. To kandidater ble vurdert: WinTherm, MuSES og ShipIR. MuSES ble funnet å være det mest egnede, men det var ikke mulig å få eksportlisens fra USA ved prosjektets oppstart.

Simuleringsprogrammet ShipIR er utviklet i et samarbeid i NATO-gruppen RTO/SET/TG16: "Infrared measurements and modelling for ship self defence" for å simulere termisk signatur til fartøyer, og en egen del i verktøyet beregner kontrasten mot en variert sjø/himmel bakgrunn. Programmet er spesielt kraftig for analyse av indre varmekilder, ventilerte rom og *plumes* fra skorsteiner, samt modellering av maritime bakgrunner. Imidlertid er det en vesentlig svakhet at det kun kan simulere stasjonære tilstander. Programmet kan heller ikke simulere transversal

varmeledning i skrog (anses uvesentlig på fartøyer med store tynne skrogplater). Dessuten er det mindre egnet til behandling av bakkeunderlag.

ShipIR ble vurdert som det beste tilgjengelige alternativet, og som medlem av NATO-gruppen som utviklet ShipIR, fikk instituttet en lisens av programmet. Det ble deretter lagt ned en betydelig innsats i utvikling av DAK-tegninger av M113 tilpasset de kravene ShipIR stiller til slike tegninger, og programmet ble så testet med tegningen. Resultatene fra arbeidet er dokumentert i (14).

### 4.3 MuSES

Senhøsten 2000 ble imidlertid MuSES frigitt for salg, og til tross for den innsats som allerede var lagt ned i ShipIR, ble det bestemt å gå over til MuSES. MuSES (**M**ulti-**S**ervice **E**lectro-**O**ptic Signature) er utviklet spesielt med hensyn på kjøretøysignaturer av ThermoAnalytics Inc i USA i samarbeid med universitets- og forsvarsmiljøer. I amerikansk forsvar og forsvarsindustri er MuSES blitt et standard verktøy for beregning av termisk signatur. Fordi MuSES og ShipIR har noe ulike krav til DAK-tegninger, ble det nødvendig å omarbeide M113-modellen. For øvrig er ShipIR tatt i bruk for studier i andre prosjekteter ved FFI i forbindelse med fartøysignaturer.

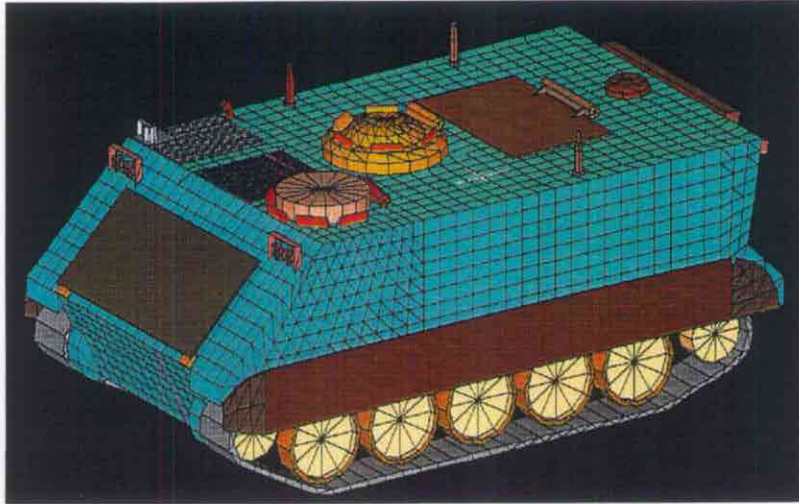
MuSES er et simuleringsprogram som er utviklet både for UNIX og Windows. FFI har av praktiske årsaker valgt Windows-versjonen. MuSES kan simulere varmetransport og fordeling i både stasjonære og transiente forløp. Resultatet blir et temperaturkart over kjøretøyet som deretter kan betraktes fra ulike vinkler. Vær- og strålingsparametre kan leses inn fra målte data eller (delvis) beregnes ut fra geografisk posisjon. Enkelte grensebetingelser kan angis som funksjon av tid ved brukerdefinerte kurver.

I (15) er oppbygging og bruk av MuSES gjennomgått. I det følgende er strukturen grovt angitt.

Muses beregner overflatetemperaturer ved å løse tredimensjonale varmeligninger hvor geometrien er basert på tegningen av objektet. MuSES har et *tegneverktøy*, men det er ofte mest hensiktsmessig å importere ferdige tegninger. Med den innebygde *tegningseditoren* er det mulig å kvalitetssjekke importerte tegninger, bl a er det viktig å kontrollere at alle naboelmenter har sammenfallende hjørner og at alle elementer har samme orientering, dvs at normalvektor peker utover. Videre grupperes elementer i regioner (*parts*), og hver region tilordnes materialegenskaper og grensebetingelser. Både materialegenskaper og grensebetingelser kan enten velges fra en database eller angis manuelt. I figur 4.1 er vist hvordan M113 er delt opp i elementer og regioner.

Etter at geometrien er tilrettelagt, kan grensebetingelser til hver *part* skreddersys. Det er mulig å behandle flatene som uendelig tynne todimensjonale, eller som tredimensjonale med et eller flere sjikt. Hver overgang definerer en såkalt termisk node med angitte mekanismer for varmeveksling. Temperaturen i hver node kan avleses etter ferdig kjøring av programmet.





Figur 4.1 Tredimensjonal objektmodell av M113 pansret personellkjøretøy. Oppdelingen i elementer (ca 4000) er tilpasset bruk i MuSES

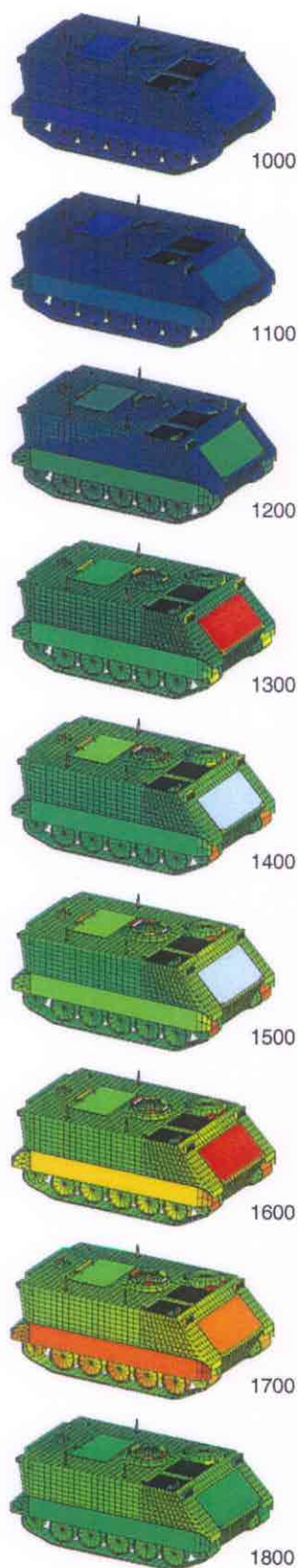
MuSES har innebygde biblioteker med materialer og overflatebelegg som kan modelleres. Videre må det mellom ulike regioner defineres hvordan grensebetingelser transversalt skal settes opp. Spesielt der to regioner med forskjellig antall sjikt møtes er dette vesentlig.

I *analyse*-seksjonen settes alle parametre for kjøring som: geografisk posisjon, orientering, tidspunkt (eller tidsforløp), initialbetingelser, tidsvariable grensebetingelser, værdata osv. Her startes selve simuleringen. Det er mulig å studere i sann tid hvordan beregningene konvergerer for hvert tidssteg (konvergenzkriterier og maksimalt antall iterasjoner angis). I *signatur*-delen kan programmet på bakgrunn av utregnet temperaturkart beregne radianer i et angitt spektralområde. I *postprosesserings*-delen kan alle ferdige beregninger vises, animeres eller plottes. Dette gir en god støtte ved detaljanalyse av temperatur, varmetransport (og evt konveksjon) ved et gitt enkeltelement med sine noder.

Selv om programmet har meget rikt utviklede algoritmer for beregning av varmetransport, er det visse problemer rundt modellering av indre varmekilder. Spesielt i forbindelse med ventilering av motorrom. For å modellere indre varmekilder kreves en relativt detaljert modell av indre deler av kjøretøyet tilpasset de krav MuSES stiller. Slike problemer kan imidlertid løses på flere måter, og det arbeides med forenklinger. Et problem er at konveksjonskoeffisienter i visse tilfelle må angis av bruker. Dette, og andre forhold vil muligens bli lettere å håndtere i nye versjoner av MuSES.

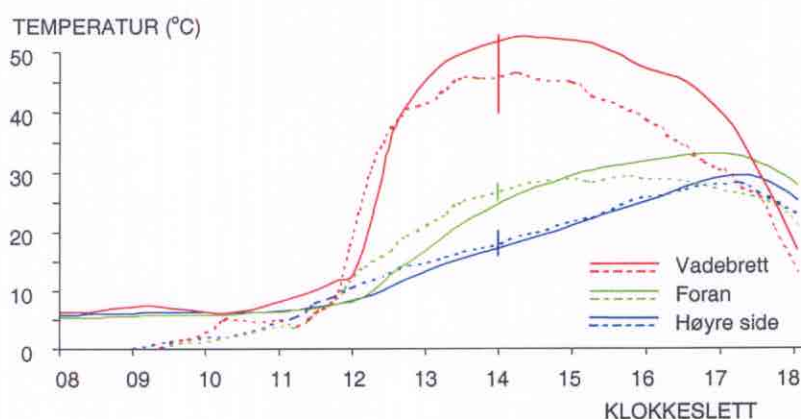
#### 4.4 Resultater

MuSES er som nevnt et meget allsidig og komplekst simuleringsverktøy, og det er lagt ned stor innsats i å verifisere at M113-modellen og simuleringsverktøyet spiller sammen på en korrekt måte. Det er bl a utført testberegninger med modellen for å kontrollere om f eks solinnstråling blir riktig tatt hensyn til. For dette formål har en M113 i korte perioder vært plassert på målestasjonen på Rygge. Uheldige omstendigheter som bl a lynnedslag gjorde at det ikke før i



november 2001 lyktes å registrere samtidig meteorologiske data og signaturmålinger av vogna. Pga lav solhøyde var vogna delvis skyggelagt i varierende perioder, noe som vanskeliggjorde beregningene. For validering av modellen ble det derfor benyttet strålingsmålinger fra 25 september 2001 kombinert med samtidige meteorologiske data fra Værtjenesten på Rygge.

I figur 4.2 er fremstilt beregnede og målte temperaturer på tre ulike steder på kjøretøyet som illustrert i figur 4.3. Figur 4.4 viser den simulerte temperaturutviklingen på vogna. De beregnede verdiene viser god overensstemmelse med målingene bortsett fra om morgenen. Simuleringen starter kl 0800 mens vogna er under oppvarming fra en kald natt. Siden MuSES ikke kjenner den ”termiske historikken” tar det et par timer før simuleringer og



Figur 4.2 Sammenligning av beregnede (heltrukne linjer) og målte (stiplet) overflatetemperaturer. Vertikale streker kl 14 viser usikkerheten i målingene i form av  $\pm 1$  standardavvik



Figur 4.3 Termisk bilde av M113 som viser områdene for radiometriske målinger (opptak kl 1330)

Figur 4.4 M113 simulert i MuSES  
Effekten av soloppvarming alene – sett sydfra



målinger konvergerer. For øvrig står vogna i skyggen til kl 1200, derfor den markerte temperaturstigningen etter dette tidspunkt. Resultatene fra simuleringene er for et enkelt punkt på vogna. Den store spredningen i målingene som vist i figur 4.2 og illustrert i figur 4.3, er en av årsakene til at overensstemmelsen mellom simuleringer og målinger ikke kan forventes å bli noe særlig bedre.

De beregningene som er blitt gjennomført, har demonstrert at MuSES-verktøyet og den utviklede M113-modellen er godt egnet til simulering av et kjøretøys termiske signaturer, men at ytterligere validering av modellen er nødvendig. M113-modellen vil fremover bli a kunne benyttes ifm utvikling av termisk kamuflasje til kjøretøyet samt vurderinger knyttet til bruk av lav-emissive materialer i kamuflasjesystemer. Den siste problemstillingen er planlagt behandlet i et nytt prosjekt, og MuSES-verktøyet vil i dette arbeidet være viktig. Arbeidet med M113-modellen har også frembrakt viktige erfaringer som vil være til stor nytte når modeller for andre kjøretøyer skal utvikles.

## 5 ANDRE AKTIVITETER

### 5.1 Støtte til Forsvarets prosjekt 5273

Som en del av prosjektet har inngått en omfattende støtte til Forsvarets prosjekt P5273 – Multispektral kamuflasje. I forbindelse med anskaffelse av nytt kamuflasjemateriell til Leopard 1 og BV 206 ble det gjennomført 3 målekampanjer på Fossmofeltet ved Bardufoss. To produsenter hadde inngitt tilbud som omfattet både mobil og statisk kamuflasje for de to vognene. Hensikten med målekampanjene var å få et grunnlag for valg av det beste, dvs å bestemme systemenes kamuflasjeegenskaper spesielt i det termiske område. I uttestingen inngikk også en rekke andre kjøretøyer med og uten kamuflasje for sammenligningens skyld. Resultatene er rapportert i (16) og selve metoden er presentert på en internasjonal konferanse i USA (17).

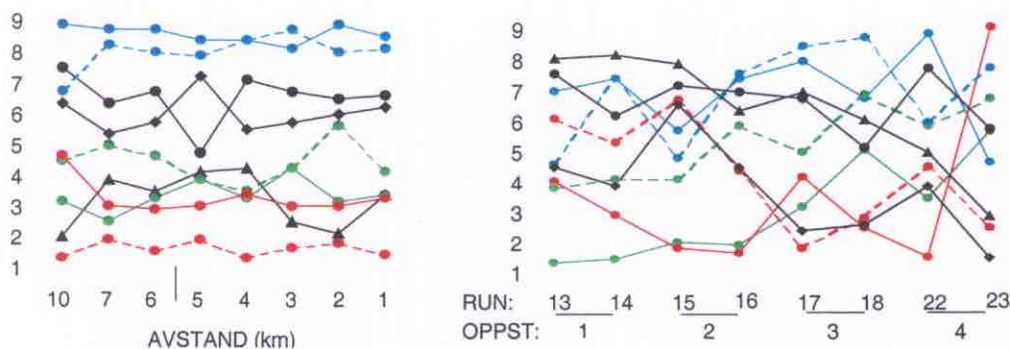
De 3 målekampanjene ble gjennomført over flere dager i ukene 6, 12 og 36. Video-opptak av registreringer med moderne termisk kamera ble foretatt fra helikopter som fløy inn mot målområdet. Eksempler på termiske bilder finnes i figur 5.1. Alle målene ble detektert umiddelbart etter at opptakene startet på ca 10 km. Identifikasjon av kjøretøyene under kamuflasjenett kunne vanskelig gjøres på avstander over 1 km.

For å kunne skille kamuflasjeegenskapene til de to kamuflasjesystemene, ble det derfor foretatt en rangering av deres røpende signatur slik det fremkom for en observatør som studerte video-opptakene. Dette ble gjort på flere forskjellige avstander som vist til venstre i figur 5.2. For de aller fleste innflyvninger (runs) ble dette gjort av en enkelt observatør. For å studere usikkerheten ved kun å benytte en observatør, ble observatørantallet for 2 runs økt til 8. Det ble ikke funnet noen signifikant forskjell mellom resultatene fra den ene observatøren til de 8 når man regnet ut en enkelt gjennomsnittsverdi for hvert run. Høyre del av figur 5.2 viser at

variasjonene fra run til run kan være enorme, og målingene viste at disse variasjonene var langt større enn variasjonene som skyldtes antall observatører og kjøretøyenes umiddelbare nærhet.



Figur 5.1 Termisk bilde av forsøksfeltet med kjøretøyer tatt på avstander som angitt. Til venstre: opptak med vidt synsfelt fra uke 12 (snødekket bakke). Til høyre: opptak med smalt synsfelt fra uke 36 – run 16.



Figur 5.2 Et utvalg av resultatene fra rangeringen av kjøretøyene – uke 36  
Til venstre: gjennomsnitt for 8 observatører foretatt på opptak fra 8 forskjellige avstander i run 17  
Til høyre: gjennomsnitt for en observatør for alle observasjonsavstander for hvert av de angitte run

## 5.2 Kamouflasjeforsøk på Rygge

Målestasjonen på Rygge ble i slutten av juni 2001 benyttet til en enkel undersøkelse av de termiske egenskaper for 3 typer kamouflasjenett. Tre Mercedes Benz feltvogner ble plassert i målområdet og kamuflert med nett. Temperatursensorer var festet til den ene vogna. Forsøket varte vel en uke, og i denne perioden ble motorene varmkjørt noen ganger.

Kameraplattformen ble programmert til å ta bilder i retning av biloppstillingsplassen for denne perioden. Ut fra IR-bildene, som ble tatt hvert 15 minutt, var det mulig å beregne gjennomsnittstemperaturer over visse arealer av de kamuflerte kjøretøyene – som beskrevet i avsnitt 2.4. Dette resulterte i konklusjoner om de enkelte nettens termiske dekkevne og hvor meget de ble oppvarmet av solstråling.



Dette enkle forsøket viste at målestasjonene egner seg godt til langtidsstudier av kamuflasjemateriell. Med denne målestasjonen er det mulig på en enkel måte undersøke hvordan den termiske signaturen til kamuflerte objekter varierer over døgnet og med skiftende værforhold.

## 6 OPPSUMMERING

Prosjekt 775 har utviklet to automatiske målestasjoner for måling av meteorologiske data og termiske signaturer til terreng. Målestasjonene er plassert ved flystasjonene Bardufoss og Rygge, og kan fjernstyres fra FFI via modem. De har vært i drift over lang tid og vist seg godt egnet for langtidsmålinger. Det er gjort forberedelser for flytting av den ene målestasjonen til Ørland flystasjon. Måleresultatet er blitt organisert i en database, og en egen programvare for automatisk analyse av IR-bilder er utviklet.

Det er også blitt utviklet en modell for beregning av termiske signaturer til ulike terrengelementer. Modellen er basert på virkelige meteorologiske data og ligninger for varmetransport. Ulike sett av modellparametre benyttes for ulike bakgrunnelementer. Modellen er kalibrert og evaluert mot data fra målestasjonene. Regneeksempler for bakgrunnelementene trær, lyng og grusvei har vist god overensstemmelse med målte terrengtemperaturer.

Prosjektet har videre anskaffet dataprogrammet MuSES for simulering av termiske signaturer for kjøretøyer. Til dette programmet er det blitt utviklet en spesialtilpasset 3-dimensjonal tegning av et M113-kjøretøy. Vha målestasjonene på Rygge er det foretatt registreringer av den termiske signaturen til et virkelig kjøretøy, og simuleringer fra regneverktøyet har blitt sammenlignet med disse målingene. Resultatene viste at simuleringene i stort stemte overens med målingene.

Målestasjonen på Rygge er også blitt brukt til enkle forsøk for å vurdere ulike kamuflasjematerialer, og forsøkene demonstrerte at målestasjonene er svært godt egnet til langtidsforsøk for testing av ulike kamuflasjetiltak. Dette gjør at målestasjonene vil ha stor nytteverdi også i fremtiden.

Modellene som er utviklet i prosjektet, og det omfattende datamaterialet som er samlet, vil i det videre kamuflasjearbeidet ved FFI være viktige verktøy ifm analyser og vurderinger knyttet til krav til termisk kamuflasje og vurderinger av kamuflasjeeffektivitet.

## Litteratur

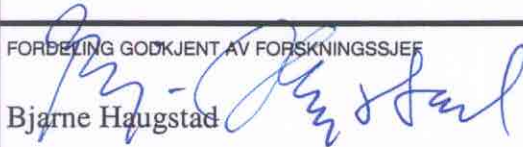

- (1) Skjervold J E, Strømman E, Olsen F B, Høimyr T (1998): Operativ innpassing av multispektral kamuflasje i Hæren - Sluttrapport for FFI-prosjekt 672, FFI/RAPPORT-98/05956, Begrenset

- (2) - (1977): Cappelens atlas for ungdomsskolen, J W Cappelens Forlag as, Oslo
- (3) Strømman E, Høimyr T, Gamborg M, Olsen F B (2001): An automatic station for measurement of meteorological parameters and thermal signatures, FFI/RAPPORT-2001/05402
- (4) Høimyr T, Strømman E (2001): Automatisk værstasjon, FFI/RAPPORT-2001/05317
- (5) Høimyr T, Gamborg M (2001): Målestasjon for termiske signaturer, FFI/RAPPORT-2001/05318
- (6) Gamborg M, Olsen F B (2001): A database for thermal background signatures and their corresponding meteorological parameters - Data organization and reduction, FFI/RAPPORT-2001/05482
- (7) Smith J A, Ranson K J, Nguyen D, Balick L, Link L E, Fritschen L, Hutchison B (1981): Thermal Vegetation Canopy Model Studies, *Remote Sens Environ* **11**, 311-326.
- (8) Balick L K, Scoggins R K, Link L E (1981): Inclusion of a simple vegetation layer in terrain temperature models for thermal IR signature predictions, *IEEE Trans Geosci Remote Sensing* **GE-19**, 143-152.
- (9) Hughes P A, McComb T J L, Rimmer A B, Turver K E, Rodgers M L B, Vickers A F, Wright D W (1992): A mathematical model for the prediction of temperatures of man-made and natural surfaces, *Int J Remote Sensing* **14**, 1383-1412.
- (10) Tofsted D H (1993): A surface energy budget model modifying heat flow by foliage effects, ARL-TR-60, US Army Research Laboratory.
- (11) Leidner L, Clement D, Jessen W (1992): A new thermal background model and its application to BEST TWO data analysis, FGAN-FfO 92/24, FGAN-FfO.
- (12) Clement D, Jessen W (1993): A background model in the thermal infrared: Staus, validation, and application, FGAN-FfO 1993/41, FGAN-FfO.
- (13) Olsen F B, Gamborg M (2001): Modelling the thermal signature of natural backgrounds, FFI/RAPPORT-2001/05324
- (14) Gamborg M, Sørderblom M (2001): Modellering av termisk signatur med ShipIR, FFI/RAPPORT-2001/05447
- (15) Sørderblom M (2001): Simulering av signaturer til kjøretøyer, FFI/RAPPORT-2001/05383
- (16) Strømman E, Olsen F B (2001): Effekten av moderne kamuflasje for Leopard 1A5NO og BV 206, FFI/RAPPORT-2001/03382, Begrenset
- (17) Strømman E (2001): Ground Target Modeling & Validation Conference 7-9 august 2001, FFI/REISERAPPORT-2001/04162



## FORDELINGSLISTE

**FFIBM**
**Dato:** 15 november 2001

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR	RAPPORT NR. 2001/05210	REFERANSE FFIBM/775/119.2	RAPPORTENS DATO 15 november 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD  UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT  60	ANTALL SIDER  32
RAPPORTENS TITTEL TERMISK SIGNATUR FRA OBJEKT OG BAKGRUNN - Sluttrapport for prosjekt 775		FORFATTER(E) OLSEN Frode Berg, GAMBORG Marius, HØIMYR Tor, STRØMMAN Eivind, SØDERBLOM Morten	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF  Bjarne Haugstad		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:  Jan Ivar Botman	

**EKSTERN FORDELING**
**INTERN FORDELING**

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		FO/FST	14		FFI-Bibl
1		FO/HST	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/SST	1		FFIE
1		INGINSP	1		FFISYS
1		BFI	1		FFIBM
1		LTI	1		S Løvold, E
1		LKI	1		N A Sæthermoen, E
1		HFK	1		E Bingen, E
1		NOBLE	1		B Haugstad, BM
1		RYGGE HFLYSTN	1		S Grinaker, BM
1		ØRLAND HFLYSTN	1		E Østevold, BM
1		BFOSS FLYST	1		M Gamborg, BM
1		Kapt J-I Jakobsen, HFK/V.1	1		T Høimyr, BM
1		Lt N Toverud, HFK/V.1	1		F B Olsen, BM
1		Maj A Helling, FO/HST	1		E Strømman, BM
1		OK A Sørum, FO/SST	1		M Søderblom, BM
1		Fenr O Skaaden, INGINSP	9		Arkiv BM
1		Maj L Stredet, BFI			FFI-veven
1		Avd ing J E Sjøgren, B&A, RYGGE HFLYSTN			
1		Maj S A Karlsson, B&A, ØRLAND HFLYSTN			
1		Maj P K Wikestad, BFOSS FLYST			
1		Maj B D Aune, LKI			

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.