

FFI RAPPORT

**Meteorologiske forholds innvirkning på
detekterbarheten av landmål med luftbåren
IR-sensor.**

GAMBORG E Marius, OLSEN Frode Berg

FFI/RAPPORT-2005/01907

**Meteorologiske forholds innvirkning på
detekterbarheten av landmål med luftbåren IR-sensor.**

GAMBORG E Marius, OLSEN Frode Berg

FFI/RAPPORT-2005/01907

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

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT (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-2005/01907 1a) PROJECT REFERENCE 843-BM/119.2	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES		
4) TITLE Meteorologiske forholds innvirkning på detekterbarheten av landmål med luftbåren IR-sensor. Meteorological conditions influence on the detection of land based targets from air-borne IR imagers				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) GAMBORG E Marius, OLSEN Frode Berg				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> a) <u> detection range </u> b) <u> detection model </u> c) <u> meteorological conditions </u> d) <u> thermal infrared </u> e) <u> camouflage </u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> IN NORWEGIAN: a) <u> deteskjonsavstand </u> b) <u> deteksjonsmodell </u> c) <u> meteorologiske forhold </u> d) <u> termisk infrarød </u> e) <u> kamouflasje </u> </td> </tr> </table>			a) <u> detection range </u> b) <u> detection model </u> c) <u> meteorological conditions </u> d) <u> thermal infrared </u> e) <u> camouflage </u>	IN NORWEGIAN: a) <u> deteskjonsavstand </u> b) <u> deteksjonsmodell </u> c) <u> meteorologiske forhold </u> d) <u> termisk infrarød </u> e) <u> kamouflasje </u>
a) <u> detection range </u> b) <u> detection model </u> c) <u> meteorological conditions </u> d) <u> thermal infrared </u> e) <u> camouflage </u>	IN NORWEGIAN: a) <u> deteskjonsavstand </u> b) <u> deteksjonsmodell </u> c) <u> meteorologiske forhold </u> d) <u> termisk infrarød </u> e) <u> kamouflasje </u>			
THESAURUS REFERENCE: 8) ABSTRACT A model has been developed for calculating detection ranges of ground targets by airborne thermal sensors. The model includes the effects of meteorological conditions on target and background temperatures as well as on atmospheric transmittance. In the report the theoretical foundations for the model are briefly discussed, and a short description of the model itself is given. The model is used for studying how meteorological conditions influence the detection of ground targets by airborne thermal sensors. Simulations are based on real meteorological data from Rygge for the periods of June 2001 and February 2002. Results indicate that most of the time the detection range will be limited by the field of view and resolution of the sensor systems. Only in periods of reduced visibility or cross-over between target and background temperatures will the detection range be significantly lower.				
9) DATE 2005-08-30	AUTHORIZED BY This page only Jan Ivar Botnan	POSITION Director		

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	TEORI	7
2.1	Overflatetemperatur	8
2.2	Sensorsystemet	10
2.3	Kontrast fra objekt til observatør	10
2.4	Hva er ΔT ?	13
2.5	Deteksjon, gjenkjenning og identifikasjon	14
2.6	Clutter	17
3	BEREGNINGSMODELLEN	18
4	BEREGNINGER	20
4.1	Skogskant	21
4.2	Fjell	28
5	KONKLUSJON	32
A	BEREGNING AV TRANSMISJON MED MODTRAN 4	34
A.1	Kort introduksjon til MODTRAN 4	34
A.2	Fremgangsmåte ved beregning av transmisjon	35
A.3	Oppsett av MODTRAN	35
A.3.1	CARD 1 (linje 1)	36
A.3.2	CARD 1A (linje 2)	36
A.3.3	CARD 2 (linje 3)	36
A.3.4	CARD 2C (linje 4)	37
A.3.5	CARD 2C2 (linje 5 til 112)	37
A.3.6	CARD 3 (linje 113)	37
A.3.7	CARD 4 (linje 114)	38
A.3.8	CARD 5 (linje 115)	38
A.4	Høydeprofiler for temperatur og fuktighet	38
A.4.1	Normalisert temperaturprofil	38
A.4.2	Normalisert luftfuktighetsprofil	39
A.5	Beregning av bredbåndet transmisjon vektet med sensorens spektrale følsomhet	40
	Litteratur	42
	Fordelingsliste	43

Meteorologiske forholds innvirkning på detekterbarheten av landmål med luftbåren IR-sensor.

1 INNLEDNING

Termisk infrarøde sensorer – varmekameraer eller IR-kameraer – får en stadig større utbredelse i militær sammenheng. Dette skyldes både at den teknologiske utviklingen har gjort sensorene billigere og mindre ressurskrevende, og større fokus på nattkapasitet.

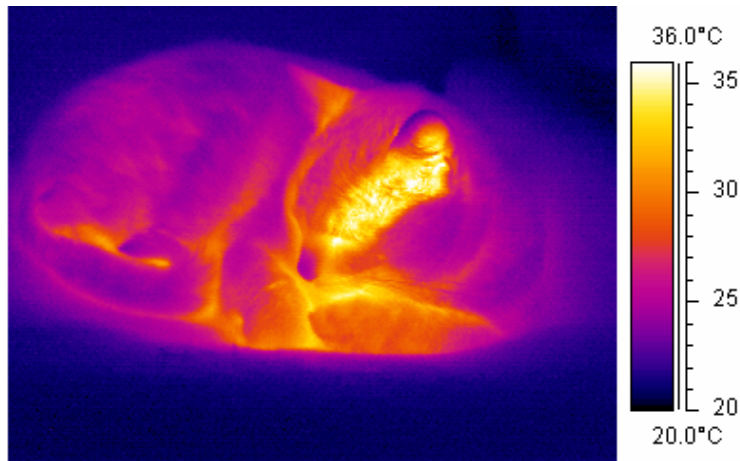
I Forsvaret er IR-kameraer allerede i bruk på en rekke plattformer, og det er under anskaffelse en rekke nye, slik som Pantera pod for F-16, anti-tankmissil Javelin, elektrooptisk sensorsystem (EOSS) for Nordkapp-, Nansen-, Skjold- Hauk-klasse fartøyer. Videre vil NH90-helikoptere og P3 "Orion" få moderne IR-sensorer. Den planlagte UAV-kapasiteten vil også sannsynligvis utstyres med et moderne sensorsystem som inkluderer IR-kamera.

Den teknologiske utvikling gjør det også sannsynlig at Forsvaret gjennom innsats i internasjonale operasjoner vil bli utsatt for en stadig mer avansert sensortrussel, som også vil inkludere IR-sensorer. Kjennskap til ytelsen til egne og fiendtlige IR-sensorer vil derfor være avgjørende i fremtiden.

I denne rapporten presenteres en beregningsmodell utviklet i FFI-prosjekt 843 – Deteksjon og kamuflasje. Modellen beregner deteksjons-, gjenkjennings- og identifikasjonsavstand for bakkemål observert fra luftbåren IR-sensor, og kan anvendes til å vurdere sensorsystemers ytelse og til evaluering av kamuflasjeeffektivitet. Det nye med modellen er at den inkluderer effekten av meteorologiske forhold i beregning av bakgrunnstemperatur, måltemperatur og transmisjon i et alment kjent formelverk for beregning av deteksjons-, gjenkjennings- og identifikasjonsavstander. Dette gjør modellen egnet både til å studere minutt-til-minutt- endringer i deteksjonsavstand og statistiske betraktninger av fordelingen av deteksjonsavstander over lange tidsperioder.

2 TEORI

Dette kapitlet gir en enkel innføring i det teoretiske grunnlaget for modellen som beskrives i kapittel 3, og fremstillingen er for en stor del hentet fra (1). På samme måte som vanlige kameraer "ser" forskjellen på "lysheten" til flater og derved avbilder en scene, registrerer et termisk kamera temperaturene i scenen. Dette er mulig fordi alle flater sender ut termisk stråling med en intensitet som øker med temperaturen. Kameraet omsetter ulikheter i strålingsintensitet til en gråskala eller fargeskala, og viser strålingsintensiteten som et bilde på en skjerm. Et eksempel på termisk bilde med temperaturskala er gitt i Figur 2.1.



Figur 2.1 Eksempel på termisk bilde med temperaturskala.

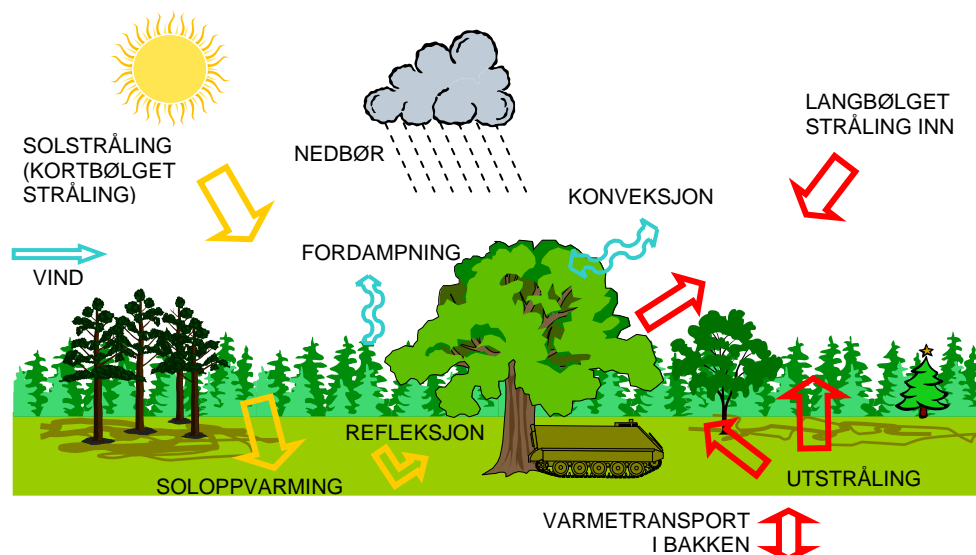
Varmestråling eller termisk stråling er ikke av en annen type enn vanlig lys, men har for vanlige temperaturer i omgivelsene bølgelenger som er lenger enn bølgelengdene for synlig lys. Dette kan illustreres ved følgende eksempel: Dersom en holder hånden over en varm kokeplate kan man føle varmen, dvs varmestrålingen, selv om platen er sort. Men dersom platens temperatur øker, vil den etter hvert bli rødglødende, dvs strålingen blir synlig for øyet. Varmestrålingen er med andre ord av samme natur som lys.

Et termisk kamera kan derfor sies å være et kamera som er følsomt for bølgelengder som er mye lenger enn det øyet kan oppfatte, og som derved kan registrere temperaturene i scenen også ved normale omgivelsestemperaturer. Men dersom to flater, f eks et mål og en bakgrunn, har samme temperatur kan ikke et termisk kamera se forskjell på disse, og målet vil gå i ett med bakgrunnen. Målet vil være kamouflert.

Hensikten med termisk kamuflasje er å redusere sannsynligheten for at det kamuflerte objektet blir oppdaget, eller alternativt formulert, redusere avstanden hvor objektet med en gitt sannsynlighet blir oppdaget. Målsettingen for termisk kamuflasje er derfor å endre den faktiske eller den tilsynelatende temperaturen til et objekt slik at det har, eller det ser ut som det har, samme temperatur som bakgrunnen, og det blir derfor viktig å forstå hvilke fysiske prosesser som innvirker på overflatetemperaturene i naturen og på militære objekter.

2.1 Overflatetemperatur

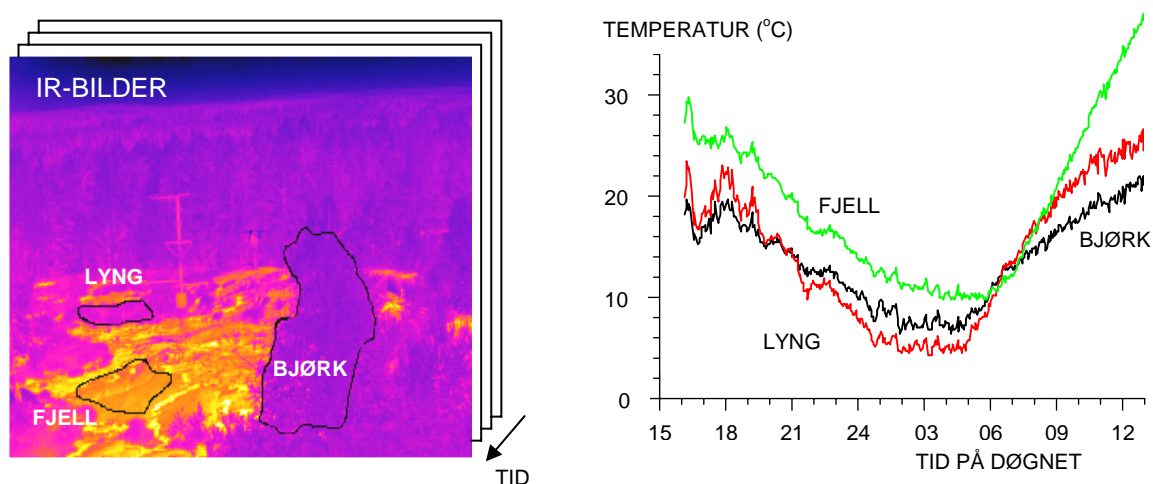
En utendørs overflate mottar varmestråling fra solen og himmelen, og den avgir varme i form av stråling til omgivelsene (Figur 2.2). I tillegg utveksler overflaten varme med luften omkring enten ved at vind skifter ut luften over overflaten (tvungen konveksjon), eller ved at luften sirkulerer over overflaten som følge av temperaturdifferansen mellom luften og overflaten (fri konveksjon). Dersom overflaten er fuktig kjøles overflaten når vannet fordampes, og dersom vann kondenserer på overflaten bidrar dette til oppvarming. For overflater på massive objekter, f eks stein, er også intern varmeledning et viktig bidrag. Hvor raskt en overlates temperatur endrer seg avhenger av netto tilstrømming av varme og flatens effektive varmekapasitet.



Figur 2.2 Prosesser som bestemmer overflatetemperaturer utendørs.

For overflatetemperaturen til et kjøretøy vil intern varmeledning lede varmen fra f.eks. et varmt motorrom til utsiden av kjøretøyet. Varmen vil også bre seg utover overflaten, og hvor raskt temperaturen på overflaten endrer seg ved endret varmetilstrømning innenfra og utenfra avhenger av materialets varmekapasitet, ledningsevne og tykkelse.

Det er et samspill mellom de ulike varmetransportprosessene som er nevnt ovenfor som bestemmer hvor mye varme som totalt strømmer til eller fra en flate, og det er flatens materialparametere som bestemmer hvordan flatens temperatur endres som følge av nettostrømmen av varme til flaten. Siden naturlige bakgrunns-elementer som trær, gress, lyng og stein har ulike materialegenskaper, påvirkes overflatetemperaturene også ulikt av de rådende værforhold. Dette er illustrert i Figur 2.3.



Figur 2.3 Fjell, lyng og bjørk har ulik temperatur under de samme meteorologiske forholdene som følge av ulike materialegenskaper. Temperaturkurvene gjengir middeltemperaturen i de markerte områdene i IR-bildene beregnet ved forskjellige tidspunkt på døgnet.

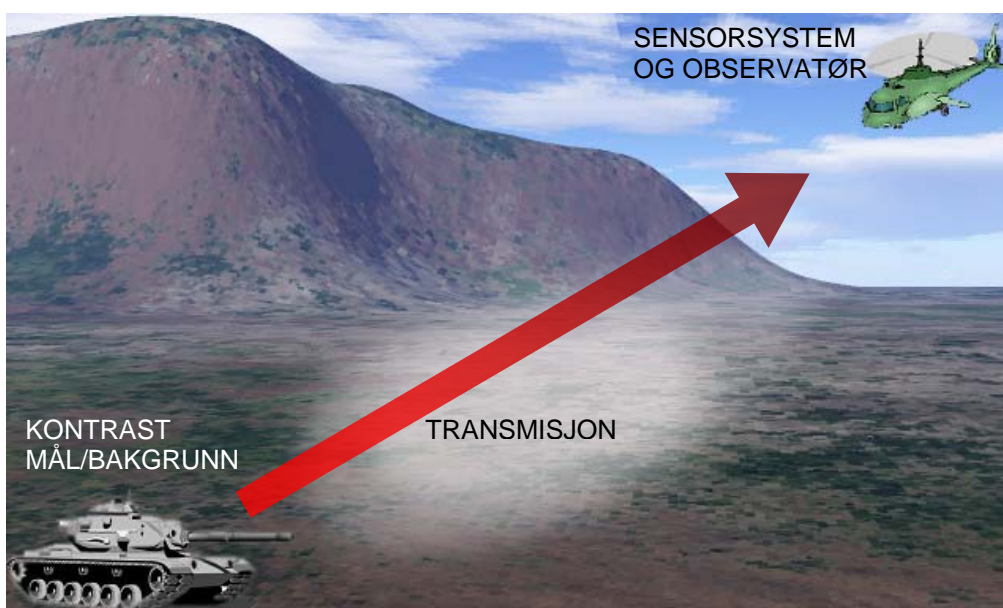
2.2 Sensorsystemet

Intuitivt forstår vi at sannsynligheten for å detektere et objekt i en bakgrunn reduseres dersom avstanden til målet gjøres større eller kontrasten mellom mål og bakgrunn gjøres mindre. Sannsynligheten for deteksjon er både avhengig av sensorsystemets evne til å avbilde målet i bakgrunnen og observatørens evne til å tolke bildet sensorsystemet gir. Dette kapitlet omhandler hvordan sensorsystemenes ytelse kan beregnes, mens neste kapittel diskuterer observatørens evne til å nytte seg informasjonen i bildene, og hvordan deteksjonssannsynligheter og -avstander kan beregnes.

2.3 Kontrast fra objekt til observatør

Den termiske strålingen fra bakgrunn og objekt vandrer gjennom atmosfæren til sensorsystemet, se

Figur 2.4. Underveis svekkes strålingen pga absorpsjon og det tilkommer støy fordi luften selv stråler og fordi stråling fra omgivelsene blir spredt inn i strålen på grunn av partikler i luften. Ofte er luften mellom målet og sensoren i bevegelse, noe som også bidrar til støy i bildet ved at bildet blir uskarpt (2). Når strålingen blir registrert av sensoren, blir "bildet" delt i bildeelementer, "piksler". Hvor godt målet oppløses blir bestemt av sensorsystemets synsfelt og antallet bildeelementer. Hvor "godt" bildet er, avhenger også av sensorens temperaturfølsomhet og støyen i bildet.

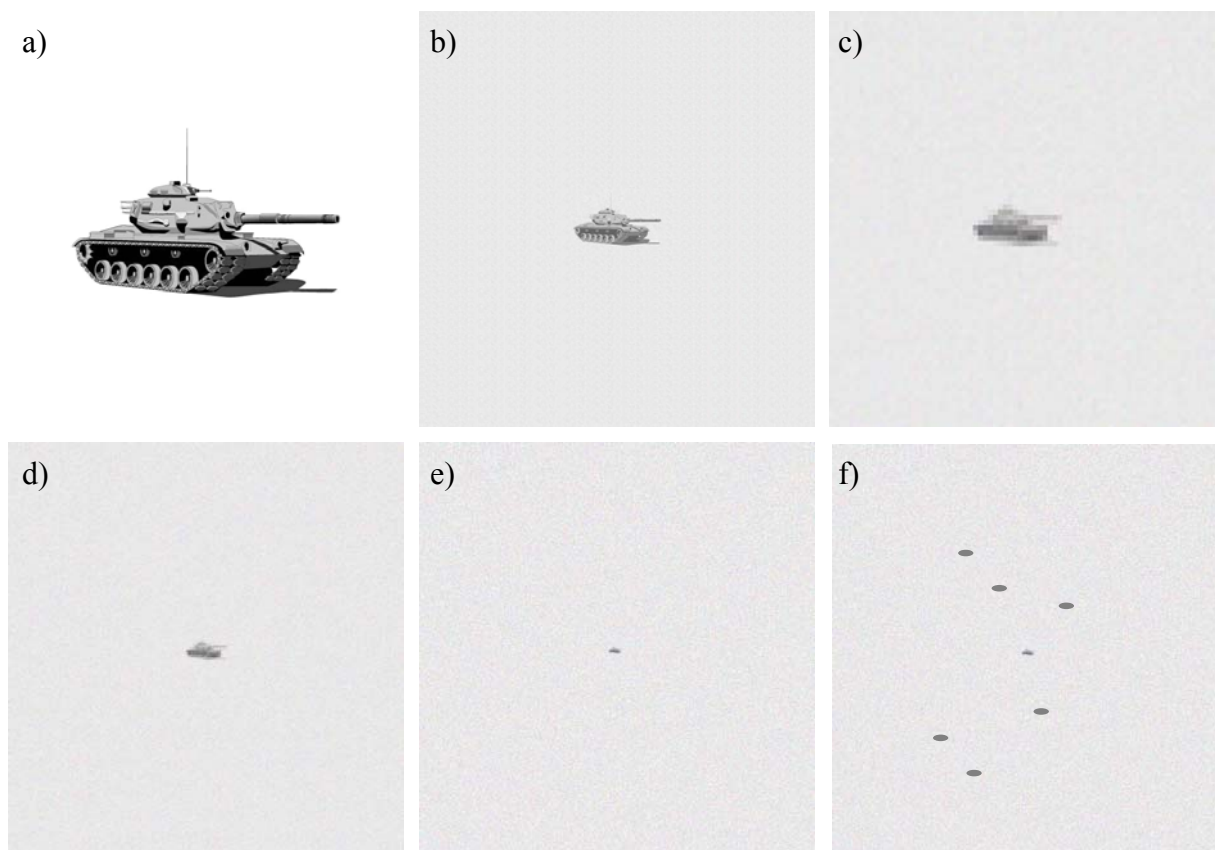


Figur 2.4 Varmestråling fra mål og bakgrunn vandrer gjennom atmosfæren til sensorsystemet. Underveis svekkes strålingen pga absorpsjon og det tilkommer støy fordi luften selv stråler og fordi stråling fra omgivelsene blir spredt inn i strålen på grunn av partikler i luften.

Figur 2.5 viser hvordan avbildningen av kjøretøyet i bilde (a) kan se ut på ulike avstander: Kontrasten mellom mål og bakgrunn er redusert pga støy (b) og kjøretøyet dekkes av et endelig

antall bildeelementer (c). Ved observasjon fra større avstander øker støyen fra atmosfæren ytterligere og antallet bildeelementer som dekker kjøretøyet minsker. I bilde (d) er det ikke lenger mulig å identifisere kjøretøyet, og i bilde (e) kan det bare detekteres som en prikk.

Dersom det introduseres forvekslingsobjekter i bakgrunnen blir det svært vanskelig, i mange tilfeller umulig, å skille ut det virkelige målet. I et realistisk scenario kan forveklingsobjektene være andre typer kjøretøyer eller deler av den naturlige bakgrunnen slik som steiner, fjellknauser eller trær og busker. Dette er vist i Figur 2.5 (f). For en grundigere diskusjon av termiske kameraers virkemåte se (3) eller (4).

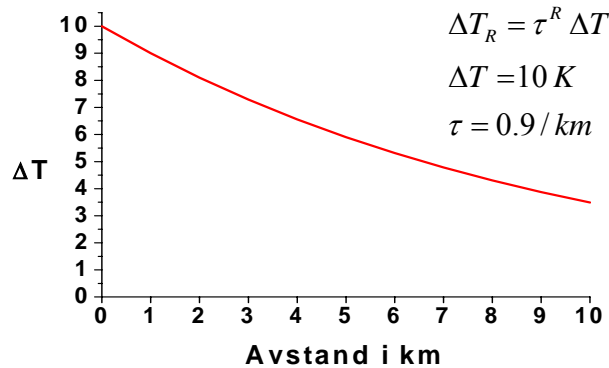


Figur 2.5 Bilde av stridsvogn simulert ved ulike avstander: a) Nært hold, b) støy, c) bildeelementer, d) større avstand, e) stor avstand, f) forvekslingsobjekter.

Det finnes en rekke modeller for beregning av termiske sensorsystemers ytelse (Acquire, NVTherm, TRM3), men det går utenfor rammen for denne rapporten å gå i dybden i det teoretiske grunnlaget for disse. Istedenfor gis her en enkel innføring i den overordnede metoden som ligger til grunn for de fleste modellene.

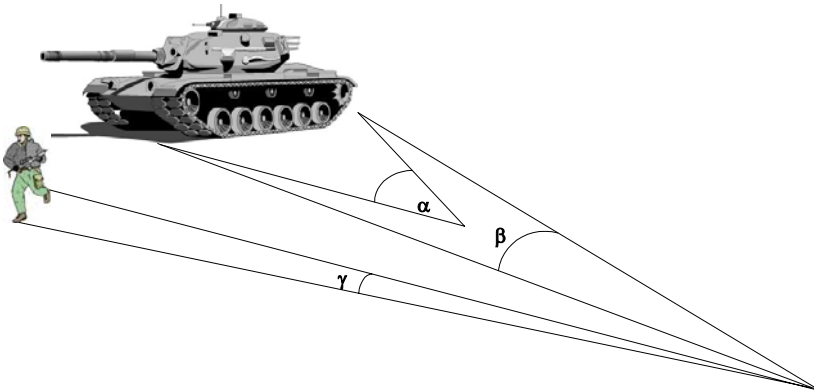
Felles for de fleste modellene er at de tar utgangspunkt i en temperaturdifferanse mellom mål og bakgrunn, ΔT . På grunn av effekter som absorpsjon og spredning svekkes strålingskontrasten mellom mål og bakgrunn gjennom atmosfæren mellom målet og sensoren. Ofte antas at absorpsjonen er uavhengig av bølgelengde og en midlere verdi for transmisjonen i atmosfæren, τ , brukes. Tilsynelatende temperaturforskjell ved sensoren i en avstand R fra målet, ΔT_R , blir

med å anta en midlere absorpsjonskoeffisient $\Delta T_R = \tau^R \Delta T$. For klart vær brukes ofte verdien $\tau = 0.9 \text{ km}^{-1}$, dvs temperaturforskjellen reduseres til 90 % for hver kilometer avstand til målet (se Figur 2.6).



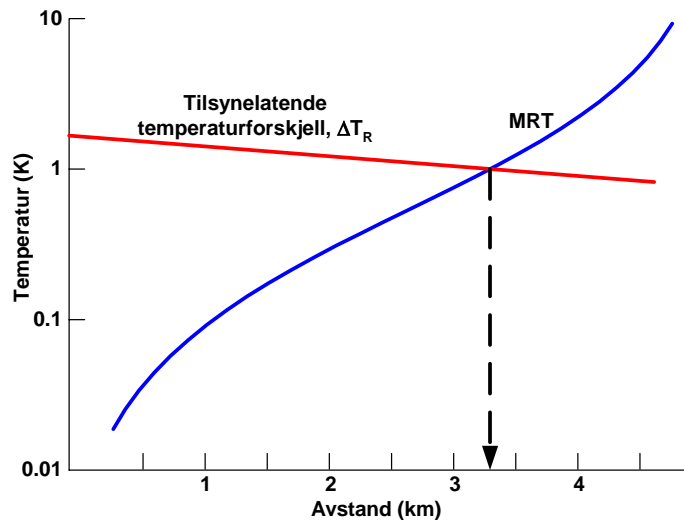
Figur 2.6 ΔT_R som funksjon av avstand.

Termiske avbildende systemer kan blant annet karakteriseres ved en funksjon kalt MRT (Minimum Resolvable Temperature: Minste oppløsbare temperatur). Denne funksjonen angir systemets minste oppløsbare temperatur som funksjon av målets vinkelutstrekning (se Figur 2.7). Funksjonen kalles også MRTD (minimum resolvable temperature difference) eller MDTD (minimum detectable temperature difference), men ofte utelates "difference" eller "differential" fordi det er underforstått at det refereres til målinger av differanser. For en gitt størrelse på målet kan vinkelutstrekning regnes om til avstand.



Figur 2.7 Vinkelutstrekning. Små objekter har mindre vinkelutstrekning enn store ved samme avstand. Når avstanden øker, minker vinkelutstrekningen.

MRT-funksjonen øker med avtagende vinkelutstrekning (se Figur 2.8). Dette betyr at systemet kan se mindre temperaturredifferanser når målet er stort enn når det er lite, eller omsatt til avstand: Systemet kan se mindre temperaturredifferanser når målet er nære enn når det er langt unna. Største mulige deteksjonsavstand for et mål blir da den avstanden hvor systemets minste oppløsbare temperatur er lik den tilsynelatende temperaturredifferansen mellom mål og bakgrunn. Dette er illustrert i Figur 2.8 nedenfor.

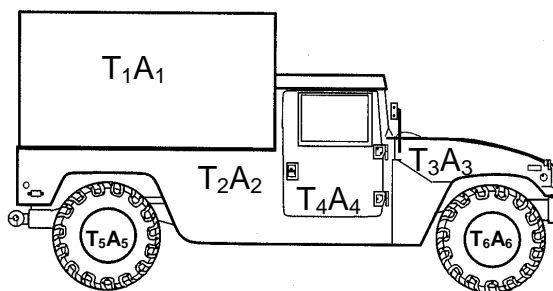


Figur 2.8 Deteksjonsavstand for typisk termisk system. Tilsynelatende temperaturredifferanse $\Delta T_R = \tau^R \Delta T$ er en rett linje i et semi-logaritmisk koordinatsystem (Etter Holst (3)).

2.4 Hva er ΔT ?

For å beregne temperaturredifferansen mellom mål og bakgrunn, ΔT , brukes ofte en metode hvor målets overflate deles i arealer som antas å ha homogen temperatur. Deretter vektes temperaturen på arealene med arealenes størrelse og en gjennomsnittstemperatur beregnes, jf. Figur 2.9. Tilsvarende representeres bakgrunnen ofte ved en midlere temperatur, og slik reduseres forskjellen mellom mål og bakgrunn til en enkelt faktor, ΔT .

Denne metoden har mange svakheter hvor den mest åpenbare kanskje er at et mål med et svært kaldt og et svært varmt område vil kunne få en ΔT lik null selv om målet har en svært røpende signatur. Studier har vist at det i mange tilfeller kan gi grunnlag for feil konklusjoner å basere en evaluering av et termisk sensorsystem på ΔT -beregninger når det ikke er tatt tilstrekkelig hensyn til spektral variasjon i flatenes strålingsintensitet, atmosfærens transmisjon og sensorens følsomhet (5).



$$T_{\text{middel}} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i T_i}{\sum_{i=1}^N A_i}$$

Figur 2.9 Arealvektet temperatur.

På tross av metodens mange svakheter kan det til mange formål være tilstrekkelig å basere en analyse på arealvektet ΔT , men da må det tas hensyn til at ΔT varierer med mange forhold som

- Kjøretøyets retning.
- Kjøretøyets tilstand (motor av/på osv).
- Værforhold, sikt.
- Tid på døgnet.
- Kjøretøyets umiddelbare bakgrunn.

2.5 Deteksjon, gjenkjenning og identifikasjon

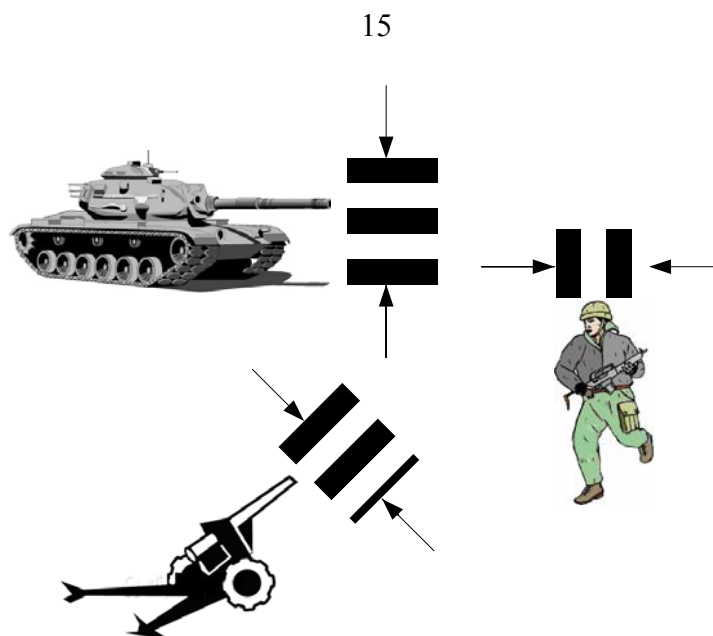
Ulikt responsen til en elektronisk krets, kan ikke responsen til en menneskelig observatør måles direkte, men må utledes av visuelle psykologiske eksperimenter. Det laveste nivået for oppløsningsevne (skjelning) er skjelningen mellom noe og ingenting, og kalles deteksjon. Det høyeste nivået som brukes i kamouflasjesammenheng er identifikasjon, og mellom disse ytterpunktene ligger et kontinuum av skjelningsnivåer.

Noen ganger er visuell deteksjon enkelt å definere: Et fly kan lett detekteres mot en skyfri himmel, og meningen med deteksjon er klar. Deteksjon av et kjøretøy mot en sammensatt bakgrunn slik som en skog er vanskeligere. Her kan det være nødvendig å gjenkjenne kjøretøyet for å kunne si at det er detektert.

Ofte kan kontekstuell informasjon være til hjelp. En ”fleck” på en vei kan antas å være et kjøretøy, mens den samme flekken på en åpen slette kan være hva som helst, med mindre den flytter seg. Et kjøretøy kan gjenkjennes eller til å med identifiseres av en trent observatør ved hjelp av karakteristisk utseende, posisjon og hastighet selv om sensorens oppløsning ikke er tilstrekkelig til å foreta klassisk automatisk mønstergjenkjenning. For eksempel, et objekt i bevegelse på en stor, dyp sjø er sannsynligvis en båt og ikke et fly eller en stridsvogn.

Identifikasjon er skjelning av et objekt på høyere nivå, og er siste trinn i en kompleks prosess. Første oppgave er å søke i synsfeltet for å finne objektet. Søk kan være tilfeldig eller systematisk, og varierer med observatørens trening og bakgrunn (6). Etter at et objekt er funnet brukes informasjon som størrelse og fasong som holdepunkter for deteksjon, gjenkjenning og identifikasjon. Sensorsystemets følsomhet og oppløsning eller en kombinasjon av disse innvirker på avstanden for de ulike nivåene av skjelning.

Johnson (7) la grunnlaget for det som i dag er standard metode for beregning av avstander for ulike nivåer av skjelning. Johnsons kriterier sier noe om hvor mange perioder i et stripemønster som må dekke et objekt for å oppnå ulike nivåer skjelning. Kriteriene gjelder ikke svært avlange objekter og refererer til et objekts minste karakteristiske dimensjon, uavhengig av orientering, se Figur 2.10.



Figur 2.10 Minste dimensjon er et objekts minste størrelse uavhengig av orientering (etter Holst (3) side 388).

Johnson delte skjelning inn i fire kategorier: deteksjon, orientering, gjenkjenning og identifikasjon. Han lot observatører se på skalamodeller av militære objekter gjennom en lysforsterker. Observatørene ble bedt om å detektere, orientere, gjenkjenne og identifisere objektene, og ved å sammenholde resultatene med observasjoner av et stripemønster etablerte Johnson sammenhengen mellom bl a deteksjon av objekter og oppløsning av et stripemønster. Johnsons resultater er gjengitt nedenfor.

Opplysningsevne	Forklaring	Antall linjepar over målets minste dimensjon
Deteksjon	Et objekt er i bildet (Signal vs støy)	1.0±0.025
Orientering	Objektets grad av symmetri og orientering kan skjelnes (side, front)	1.4±0.35
Gjenkjenning	Objektets klasse kan avgjøres (Stridsvogn, lastebil, person).	4.0±0.80
Identifikasjon	Objektets type kan spesifiseres (T-52 eller Leopard 2 stridsvogn)	6.4±1.50

Tabell 2.1 Johnsons originale kriterier for ulike skjelningsnivåer. Resultatene bygger på observatørekspesimentene med lysforsterkerutstyr (etter Holst (3), side 387).

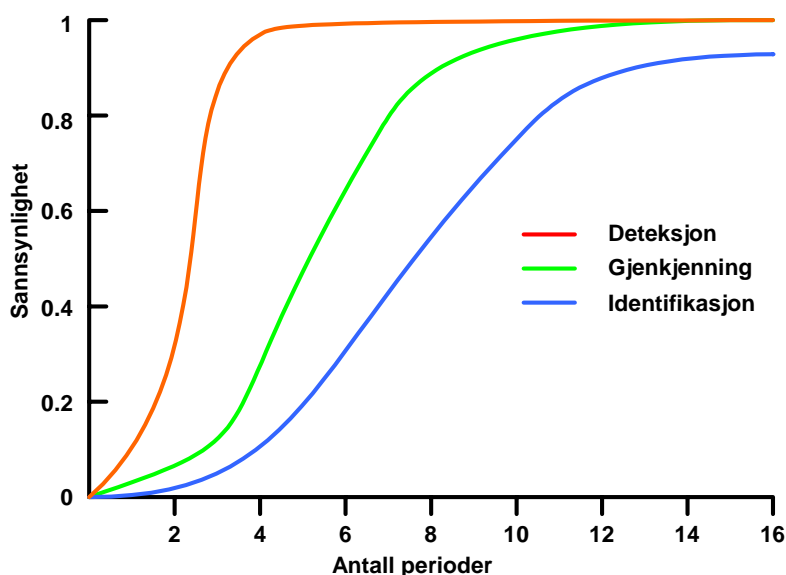
Basert på Johnsons originale kriterier har studier av termiske kameraer ved NVL (Night Vision Laboratory, USA) vist at 8 linjepar er nødvendig for identifikasjon. NVLs kriterier for termiske

kameraer kalles fortsatt Johnson-kriterier, og er gjengitt nedenfor.

Oppgave	Forklaring	Antall linjepar over målets minste dimensjon
Deteksjon	”Flekken” er sannsynligvis objektet som søkes	1,0
Målfatning	Kan plassere trådkors på målet med tilstrekkelig nøyaktighet til å avfyre et missil.	2,5
Klassisk gjenkjenning	Målet sees med tilstrekkelig detaljer til at objektets klasse kan avgjøres, f eks stridsvogn	4,0
Identifikasjon	Målet kan sees med tilstrekkelig detalj til å avgjøre type innenfor en klasse, f eks T-72 ikke Leopard 2.	8

Tabell 2.2 NVLs kriterier for ulike skjelningsnivåer ved bruk av termiske kameraer. Kriteriene er basert på Johnsons opprinnelige arbeid, og kalles derfor fortsatt Johnson-kriterier. NVLs kriterier er nå etablert som en industristandard (etter Holst (3), side 389).

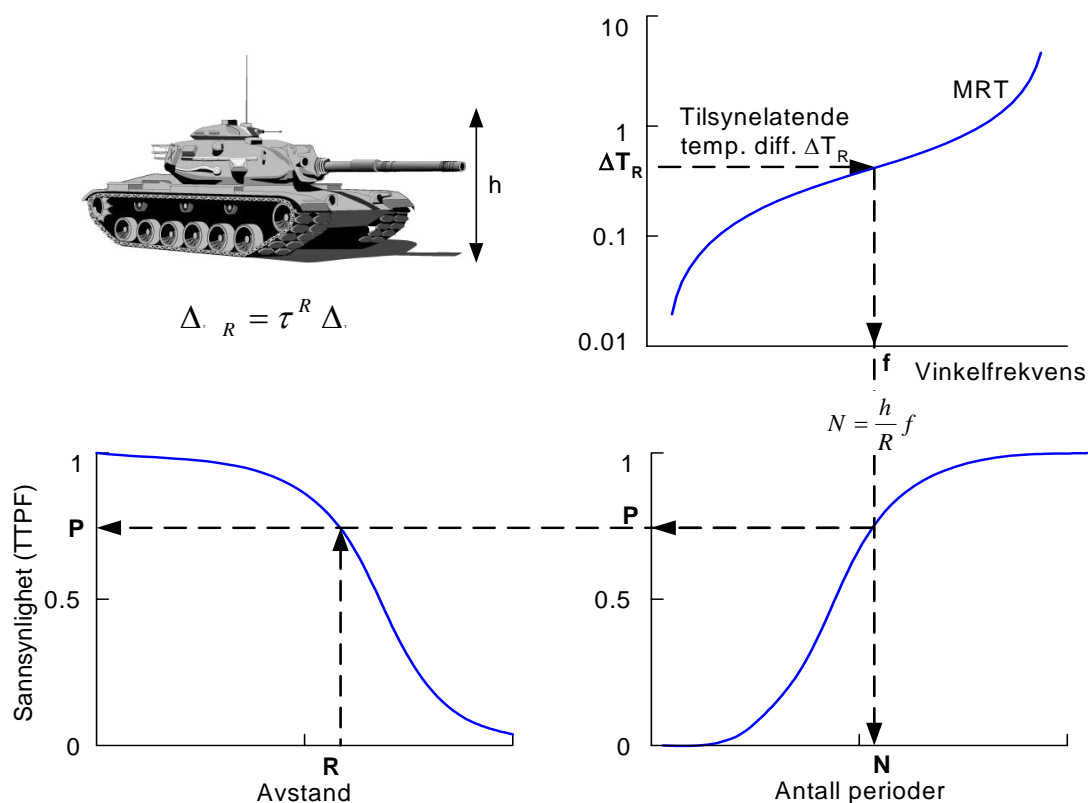
Tallene i Tabell 2.1 og Tabell 2.2 ovenfor er beregnet ut fra at 50 % av observatørene skal kunne utføre de gitte oppgavene, og antall perioder som gir 50 % sannsynlighet benevnes ofte N_{50} . Dersom den kumulative sannsynligheten for deteksjon, gjenkjenning og identifikasjon beregnes som funksjon av antall perioder over et mål får man det som kalles ”Target Transfer Probability Function” (TTPF). Eksempler på TTPF for deteksjon, gjenkjenning og identifikasjon er gitt i Figur 2.11 nedenfor.



Figur 2.11 Eksempel på ”Target Transfer Probability Function (TTPF)” for deteksjon, gjenkjenning og identifikasjon (etter Holst (3)).

Dersom man ønsker å beregne deteksjonsavstand eller -sannsynlighet for en gitt skjelningsoppgave, må man ta hensyn til oppgavens vanskelighetsgrad, og justere kurvene (i praksis N_{50}) i Figur 2.11 i henhold til dette. En justering må baseres på eksperimentelle resultater, eventuelt en analogi til slike resultater eller tidligere erfaring. Uansett må resultater basert på en gitt TTPF-kurve betraktes som en representativ verdi, og ikke som en absolutt verdi.

TTPF kan benyttes for beregning av sannsynligheten for en gitt skjelningsoppgave som funksjon av avstand. Da velges en avstand R og $\Delta T_R = \tau^R \Delta T$ beregnes. Denne verdien skjærer MRT-kurven ved det som kalles den kritiske frekvensen. Når målets vinkelutstrekning er kjent kan antall perioder over målet beregnes. Ved hjelp av TTPF kan dermed sannsynligheten for f eks deteksjon finnes for en gitt avstand. Deretter velges en ny avstand og prosessen repeteres til sannsynligheten for deteksjon er beregnet for alle interessante avstander. Denne metoden er illustrert i Figur 2.12.



Figur 2.12 Metode for å bestemme sannsynligheten for deteksjon som funksjon av avstand (Etter Holst (3)).

2.6 Clutter

Clutter beskrives ofte som en intensitetsvariasjon i bakgrunnen som har omtrent samme størrelse, intensitet og tekstur som objektet det søkes etter. Clutter kan være elementer i scenen som har samme kontrast og størrelse som målet, og som dermed må studeres i detalj som et mulig mål.

Johnson definerte deteksjon som det å se at det er et objekt tilstede i et bilde. Dersom det er clutterelementer i bildet må hvert potensielt mål studeres nærmere for å avgjøre om det er det virkelige målet eller ikke. Dette tilsvarer Johnsons definisjon av gjengkjennning, men i litteraturen omtales dette ofte i forbindelse med søk som deteksjon.

I analysen ovenfor er det antatt at målet er i bildets senter eller at observatøren vet hvor i bildet målet er. Vi kaller dette statisk deteksjon. I en scene med clutter må en observatør søke i bildet etter målet, og sannsynligheten for deteksjon er avhengig av tiden observatøren har til å søke. Sannsynligheten for deteksjon kan defineres til å være sannsynligheten for statisk deteksjon multiplisert med sannsynligheten for å finne målet etter tiden t . Matematisk formulert:

$$P_d(t) = P_{\text{statisk}} P_{\text{søk}}(t), \text{ hvor } P_{\text{søk}}(t) = P_{\infty} (1 - e^{-P_{\infty} t / \Omega}),$$

hvor Ω er midlere deteksjonstid for en gruppe av observatører.

I et generalisert tilfelle hvor observatørene gis så lang tid til å studere bildet som de ønsker kan den midlere deteksjonssannsynligheten skrives

$$P_d = P_{\text{statisk}} P_{\infty} \text{ hvor } 0 < P_{\infty} < 1. \quad (2.1)$$

Sannsynligheten for å detektere et mål i en scene med clutter er altså sannsynligheten for statisk deteksjon multiplisert med en faktor $0 < P_{\infty} < 1$. Som et resultat av dette kan sannsynligheten for ulike nivåer skjelling beregnes som diskutert i avsnitt 2.5, men med et justert nivå for N_{50} .

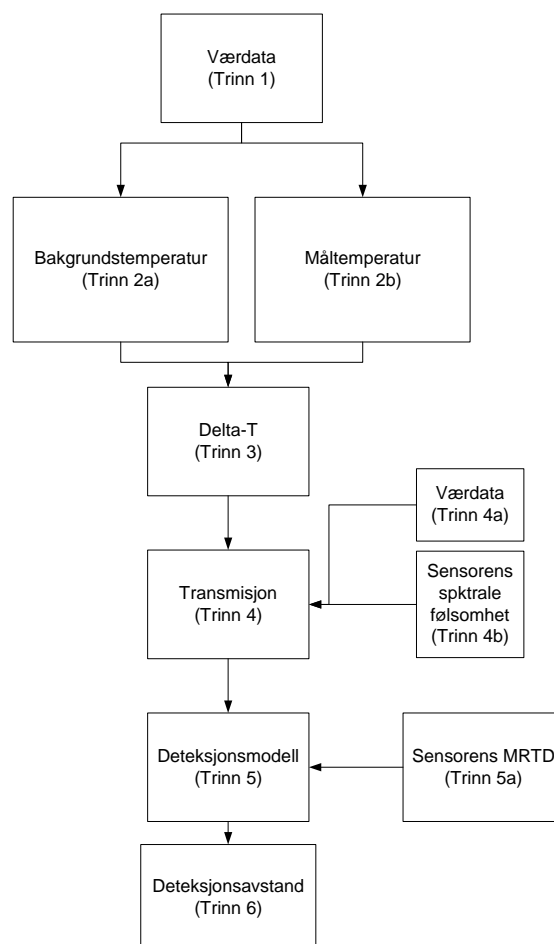
Schmieder og Weathersbye (8) har karakterisert clutternivået i tre nivåer, lavt, moderat og høyt. De normaliserte TTPF-kurven til tilfeller for moderat clutter, og fant god overensstemmelse med eksperimenter ved å multiplisere N_{50} med hhv 0.5, 1.0 og 2.5 for de tre nivåene.

En justering av N_{50} slik som foreslått ovenfor krever erfaring med observatørtester og et mål for clutternivået eller en metode for å karakterisere kontrasten mellom mål og bakgrunn som tar hensyn til clutter. Det er foreslått mange slike måter å karakterisere ulikhetene mellom mål og bakgrunn på (metrikker) som ikke kun benytter ΔT , men fordi ΔT passer så godt inn i de etablerte metodene som bygger på MRT-funksjonen som er beskrevet ovenfor er det denne som tross alle svakheter er dominerende (9,10,11,12). Gerhart med flere evaluerte i 1993 (13) ni forskjellige modifiserte ΔT -formuleringer. De sammenlignet beregninger med observatørtester og konkluderte med at en beskrivelse av mål/bakgrunn som bygger på enkle parametere som middelværdi og standardavvik er unøyaktig ved beregning av avstander når mål eller bakgrunn har intern tekstur eller det er clutter i bakgrunnen.

3 BEREGNINGSMODELLEN

For å beregne hvordan værforholdene innvirker på deteksjon av landmål har prosjektet utviklet

en beregningsmodell. Modellen baserer seg på standard fremgangsmåte for å beregne deteksjonsavstander og -sannsynligheter som beskrevet ovenfor. Standardmetoden bruker en fast temperaturforskjell mellom mål og bakgrunn, ΔT , og kan derfor i utgangspunktet ikke brukes for å studere hvordan ulike meteorologiske forhold innvirker på detekterbarheten. For å få til dette beregnes bakgrunnstemperaturen med en termisk bakgrunnsmodell utviklet i P775 (14). Samtidig kan målets temperatur varieres med værforholdene. Transmisjonen beregnes med MODTRAN 4 (15) basert på målte værddata. Et overordnet flytskjema for modellen er vist i Figur 3.1.



Figur 3.1 Overordnet flytskjema for modell for beregning av deteksjonsavstander.

En beregning starter med at temperaturen til et valgt bakgrunns-element beregnes for en tidsperiode med utgangspunkt i en tabell med værddata (Trinn 1). Alle bakgrunnstemperaturer (Trinn 2a) beregnes med den samme modellen, men med forskjellige modellparametere. For tiden er det etablert parametersett for elementene skogskant, lyng, gress, grusvei og stein (14).

Måltemperaturen (Trinn 2b) kan legges inn i programmet som en tekstfil (Tidspunkt og temperatur i kolonner). Dette vil være tilfelle dersom målets temperatur er beregnet vha andre simuleringstøytøy som f.eks RadTherm/MuSES (16). Alternativt kan målets temperatur settes lik lufttemperaturen pluss en valgt konstant. Dette er en forenkling, men har sin berettigelse siden lufttemperaturen kan sies å representere en nedre grense for den temperaturen man kan

oppnå på et godt kamuflasjenett. Et mindre godt nett kan simuleres ved å legge til en konstant overtemperatur.

Differansen mellom målets temperatur og bakgrunnens temperatur, ΔT (Trinn 3), er størrelsen som benyttes videre i beregningene, se avsnitt 2.4 side 13.

I trinn 4 kalles modellen MODTRAN 4 med inngangsverdier fra værdataene (Trinn 4a), og en spektral transmisjon $\tau(\delta)$ for sensorens følsomhetsområde (Trinn 4b) beregnes for en gitt avstand. Denne brukes som grunnlag for å kunne beregne midlere transmisjon τ for en hvilken som helst avstand. For detaljer om dette, se appendiks A.

I trinn 5 beregnes deteksjonsavstand for målet etter en metode liknende den skissert i Figur 2.12. Sensorens MRT-kurve leses inn som en oppslagstabell over MRT som funksjon av romlig oppløsning. MRT-kurver kan beregnes vha standard modeller dersom de nødvendige sensordataene er kjent. I simuleringene nedenfor er de beregnet med programmet TRM3 (17).

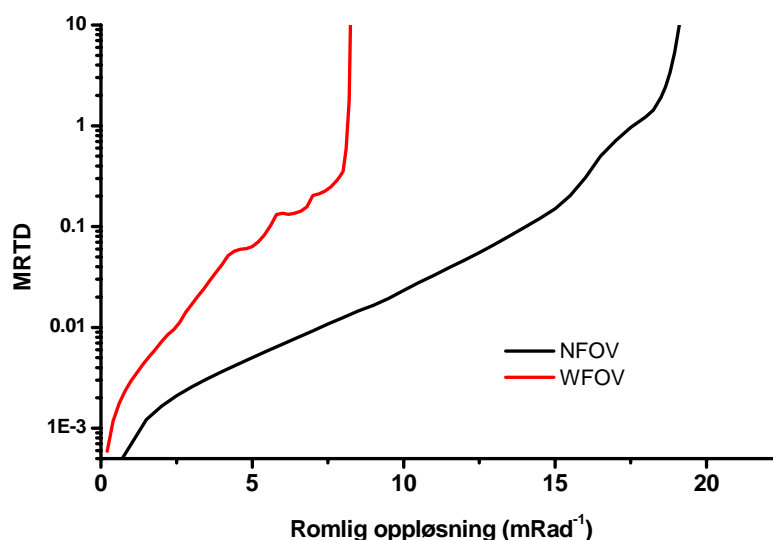
4 BEREGNINGER

Et aktuelt eksempel på en operativ IR sensor er Luftforsvarets nyanskaffede PANTERA pod til F-16. Data for IR-sensoren er gitt i Tabell 4.1 nedenfor.

Sensor			Synsfelt	
IR	640 x 512 InSb FPA	3.3-5.0 μm	WFOV	3.6° x 3.6°
			NFOV	1.0° x 1.0°

Tabell 4.1 Data for Luftforsvarets IR-pod for F-16, "PANTERA". I beregningene er det antatt at sensoren har 512 x 512 bildepunkter, da dette er den dårligste av oppløsningene.

Det er ikke oppgitt noen fullstendig MRT-kurve for sensoren, kun ett punkt på kurven. Ut fra opplysningene i tabellen ovenfor og det ene punktet på MRT-kurven er det mulig å beregne den fullstendige MRT-kurven dersom man gjør enkle antagelser om sensorsystemet. Sannsynlige MRT-kurver for smalt (Narrow Field Of View, NFOV) og bredt (Wide Field of View, WFOV) synsfelt er vist i Figur 4.1. Disse kurvene er basert på en oppløsning på 512 x 512 piksler, for å forenkle de kommende beregningene noe. Dersom denne antakelsen ikke ble gjort ville det være nødvendig å bruke to MRT-kurver for hvert synsfelt, en for horisontal- og en for vertikal retning.



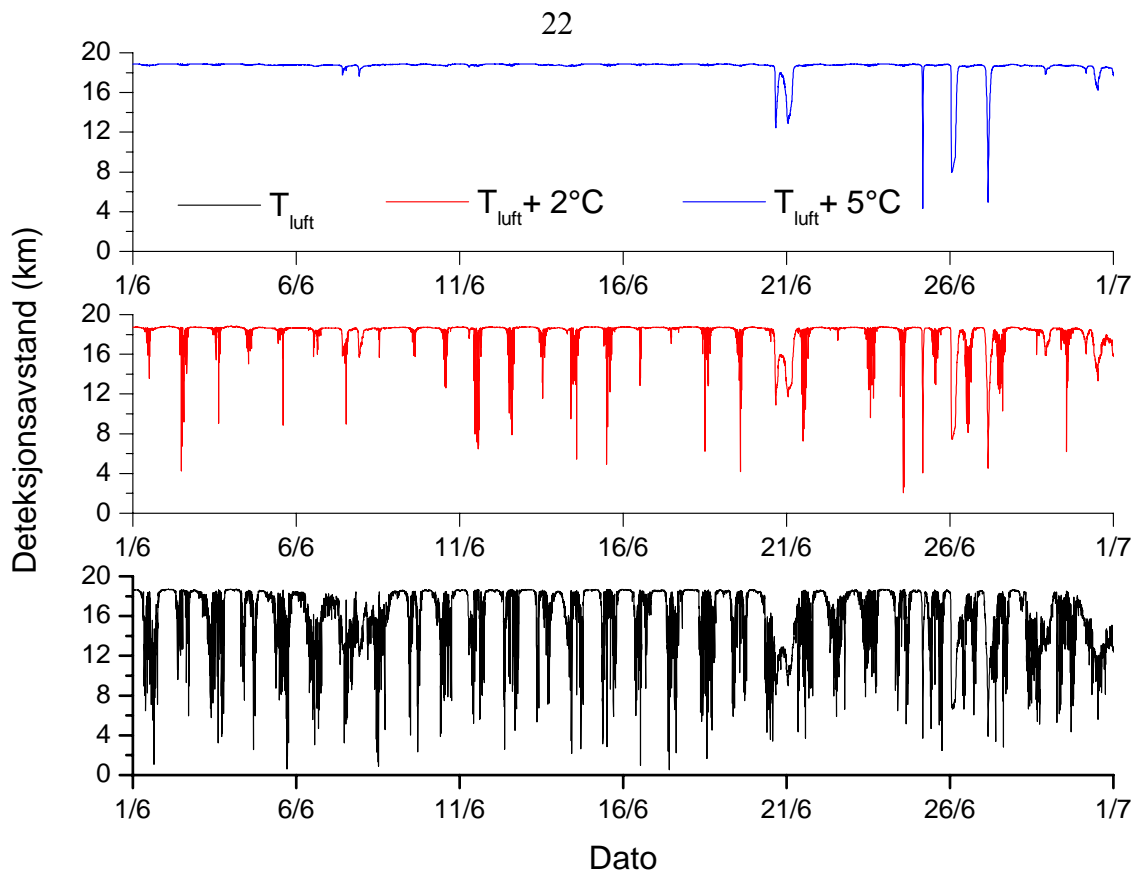
Figur 4.1 Beregnede MRT-kurver for PANTARA IR-sensor. Kurvene er beregnet ut fra et punkt på kurven og enkle antagelser om sensorsystemet.

Som diskutert i avsnitt 2.5 ovenfor beregnes deteksjonsavstander ut fra temperaturredifferansen mellom mål og bakgrunn. Beregningene i de etterfølgende avsnittene er gjort med skogskant og fjell som bakgrunn og et mål med ulike konstante tillegg til lufttemperatur (T_{luft} , $T_{\text{luft}} + 2\text{ °C}$, $T_{\text{luft}} + 5\text{ °C}$). Målene benevnes heretter M_0 , M_2 og M_5 for måltemperaturer henholdsvis 0, 2 og 5 grader over lufttemperatur. Værdataene er målt på Rygge flystasjon under FFI-prosjekt 775 ”Termisk kamouflasje”. Målets størrelse er satt til 2.3m x 2.3m fordi dette er standardmålet som brukes i NATO-sammenheng (18).

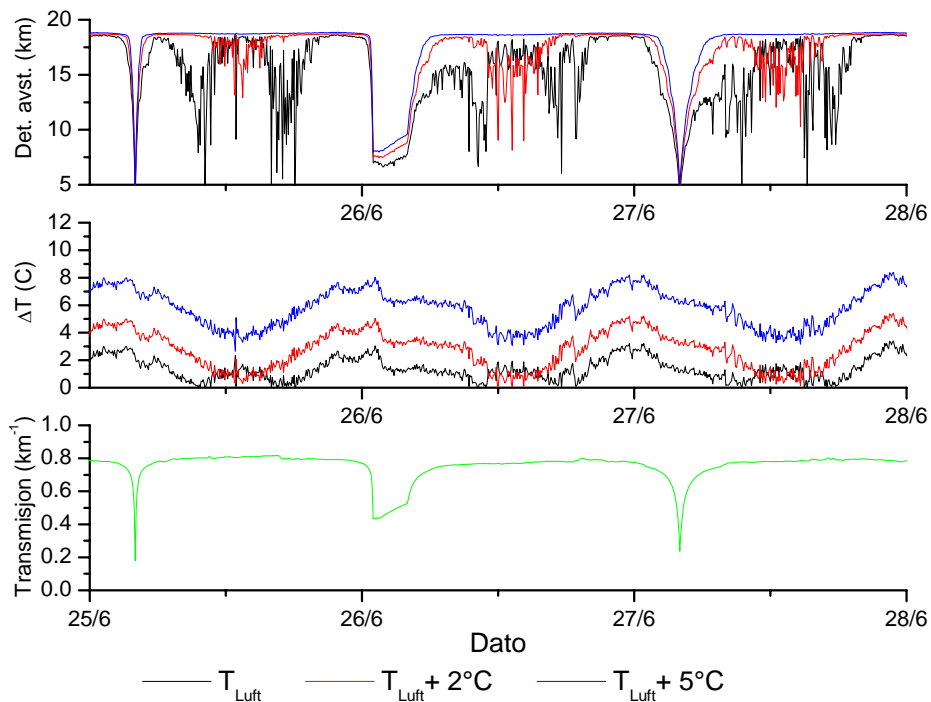
4.1 Skogskant

Figur 4.2 viser deteksjonsavstander for juni 2001 på Rygge for de tre målene M_0 , M_2 og M_5 med skogskant som bakgrunn. Figuren viser at deteksjonsavstanden i store deler av tiden ligger opp mot 19 km. Dette er den avstanden hvor målet på 2.3m x 2.3m dekker ett bildepunkt i sensoren. Det meste av tiden er altså deteksjonsavstanden begrenset av sensorens geometriske oppløsning (synsfelt og antall bildepunkter), og ikke av sensorens følsomhet og støy. Det går også tydelig frem av figuren at deteksjonsavstanden ved noen tidspunkt er vesentlig lavere, helt ned i noen få kilometer. Årsaken til dette er å finne dersom man studerer et kortere tidsrom i detalj.

Den øverste delen av Figur 4.3 viser et utsnitt fra Figur 4.2 for 25. til 28. juni. Det er igjen tydelig at deteksjonsavstandene i perioder ligger ved den øvre teoretiske grensen, men er også i perioder vesentlig lavere. Det går også frem at noen av periodene da målene M_0 og M_2 har lavere deteksjonsavstander ikke er sammenfallende. Forklaringen på dette finnes ved å studere temperaturkontrasten til bakgrunnen (ΔT), som er vist i figurens midterste del. Målet M_0 har i perioder en større ΔT enn M_2 . Årsaken til dette er at M_0 faktisk får en negativ temperaturkontrast i perioder, dvs bakgrunns-elementet skogskant er i perioder varmere enn lufttemperaturen.



Figur 4.2 Deteksjonsavstand for tre forskjellige måltemperaturer mot skogskant på Rygge i juni 2001.

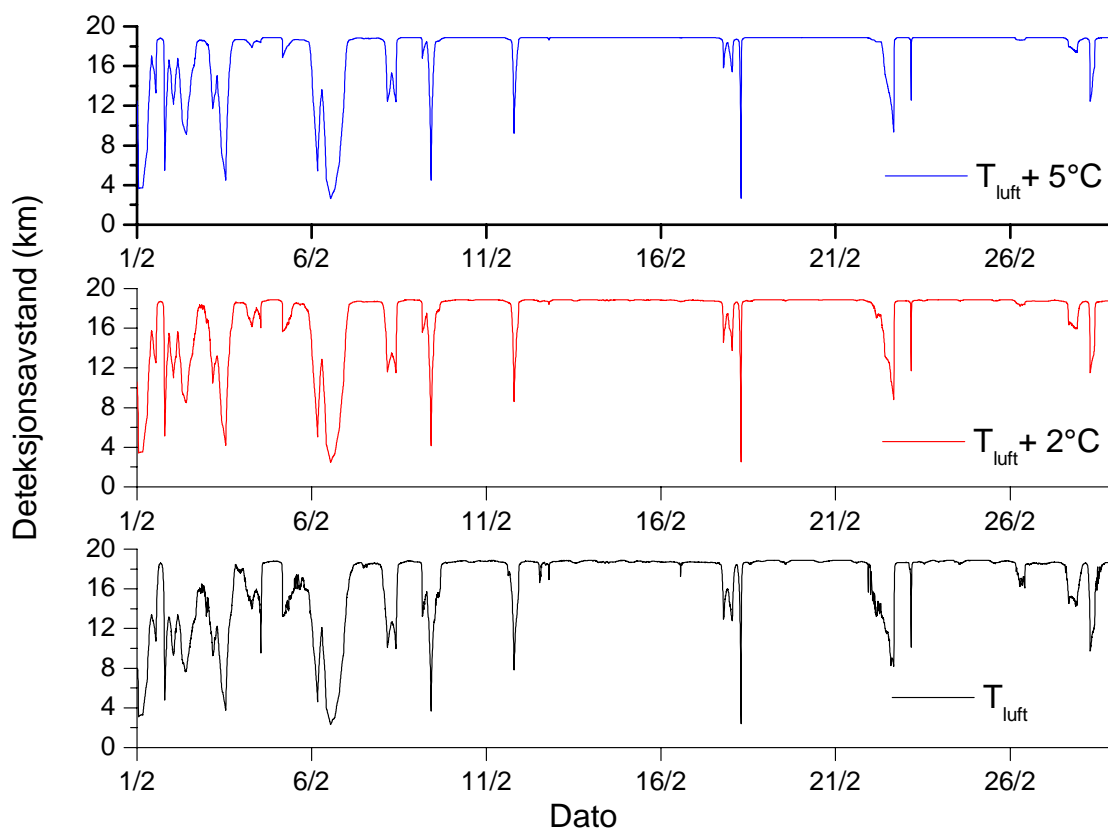


Figur 4.3 Deteksjonsavstand for tre dager i juni 2001 på Rygge, samt målenes temperaturdifferanse til bakgrunnen og transmisjon for samme tidsrom.

M5 har deteksjonsavstander nær teoretisk maksimum for nesten hele perioden. Sammenholder vi kurvene for ΔT og transmisjon med kurvene for deteksjonsavstand kan vi finne forholdene som fører til at deteksjonsavstanden reduseres vesentlig i forhold til oppløsningsbegrensningen. Figur 4.3 tyder på at ΔT må være under ca 2°C eller transmisjonen lavere enn omtrent 0,75 for at det skal få vesentlig utslag i redusert deteksjonsavstand, dersom. Hvis ikke en av disse forholdene foreligger vil deteksjonsavstanden ligge i nærheten av oppløsningsbegrensningen.

Perioden om morgenen 26. juni reduseres transmisjonen til mellom 0,4 og 0,5. Dette resulterer i at deteksjonsavstandene for alle målene reduseres til mellom 7,5 og 10 kilometer, til tross for at det er veldig stor forskjell på ΔT for de tre målene. Dette viser at det er hovedsakelig i ”crossover”-perioder mellom bakgrunn og mål at ΔT har betydelig innflytelse på deteksjonsavstanden. For andre perioder vil det være transmisjonen som er avgjørende for deteksjonsavstanden, fordi ΔT vil være for høy til å ha noen særlig innvirkning. Grunnen til at det er slik kan sees fra den røde MRT-kurven i Figur 4.1. Når MRT-kurven kommer opp i 1°C eller høyere vil ikke oppløsningsevnen til sensorsystemet øke i særlig grad.

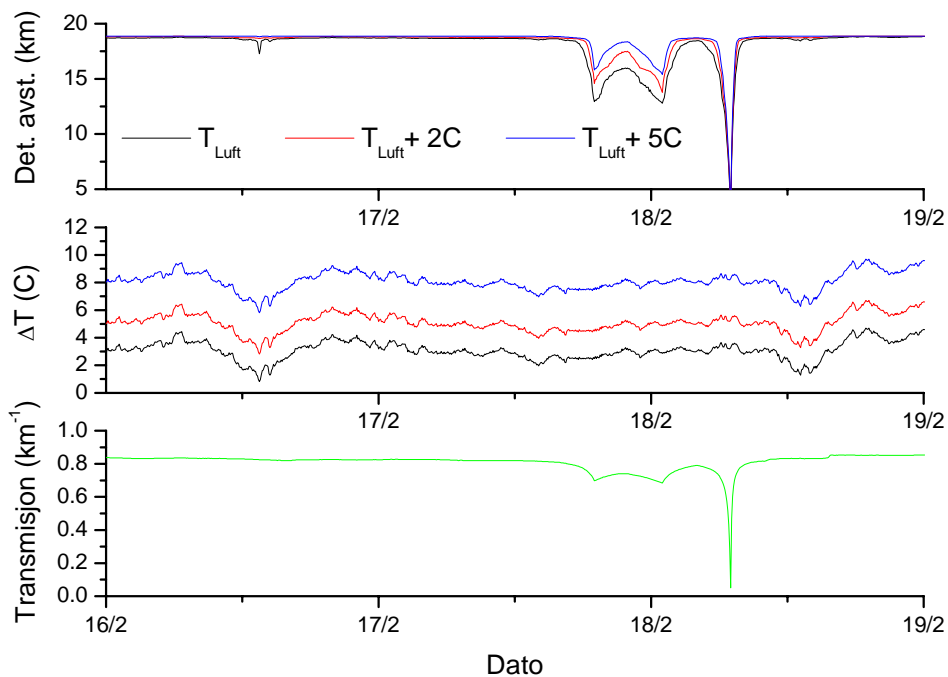
Tilsvarende som for juni er det også beregnet deteksjonsavstander for februar. Dette er vist i Figur 4.4.



Figur 4.4 Deteksjonsavstand for 3 forskjellige måltemperaturer mot skogskant på Rygge i februar 2002.

Også for februar er det perioder da deteksjonsavstanden er nær teoretisk maksimum for sensoren, og det er perioder med betydelig redusert deteksjonsavstand. Likevel er periodene med redusert deteksjonsavstand mye sjeldnere i februar enn i juni. Dette er fordi skogskanten som regel er noen grader kaldere enn lufttemperaturen når det er lite sol. Årsaken til dette er antakelig strålingsbalansen i den termiske delen av spekteret. Himmelenes strålingstemperatur er ofte kaldere enn skogskantens temperatur, noe som fører til netto utstråling fra skogskanten. Dette fører til et energitap for skogskanten, som må balanseres ved varmeoverføring fra lufta eller ved solinnstråling. Altså blir skogskanten noe kaldere enn lufta når det er lite sol eller lav lufttemperatur. Dette betyr at det må soloppvarming til for at bakgrunnen skal kunne bli like varm som målene. I februar 2002 på Rygge ligger skogskanten i gjennomsnitt 2 °C under lufttemperaturen. Dette tyder på at deteksjonsavstandene for det meste vil ligge nært opptil den oppløsningsbestemte grensen dersom transmisjonen er god.

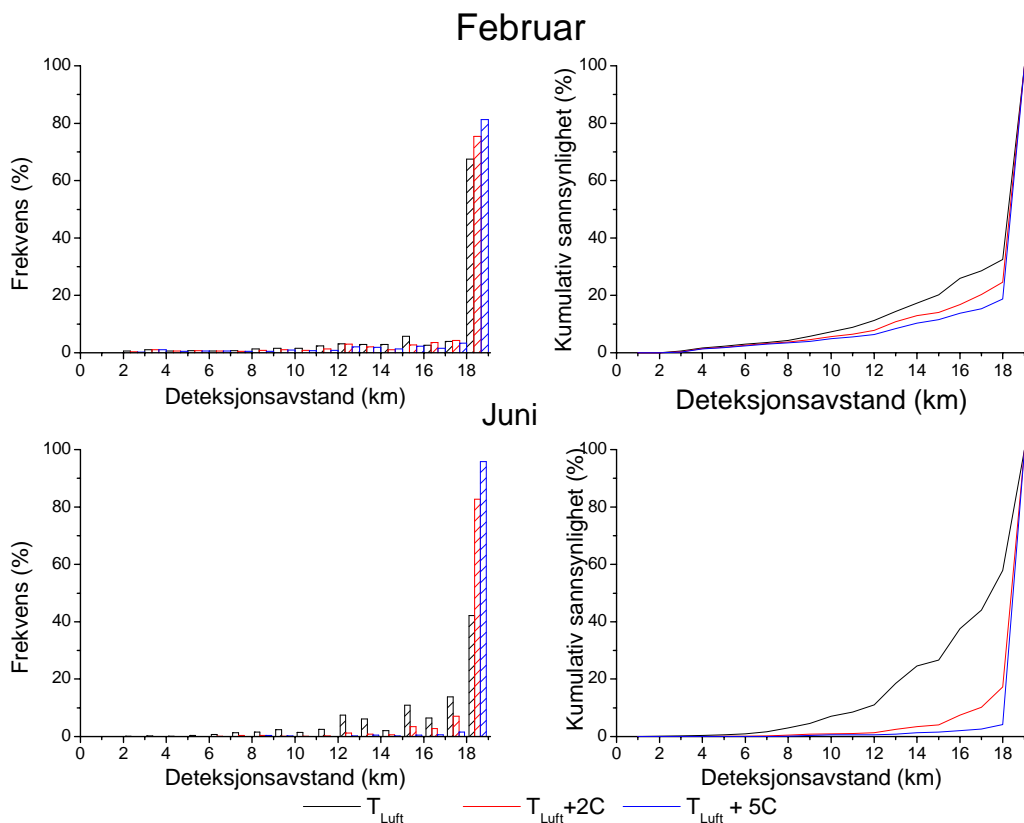
Dette illustreres i Figur 4.5 som viser deteksjonsavstander, ΔT og transmisjon for en tredagersperiode i februar 2002 på Rygge. For denne perioden er det aldri ”crossover” mellom bakgrunns- og måltemperaturer. Dette skyldes lav solinnstråling som nevnt over, og fører til at ΔT har veldig liten innvirkning på deteksjonsavstandene for perioden. Følgelig er det veldig liten forskjell på deteksjonsavstandene for de tre målene.



Figur 4.5 Deteksjonsavstand for en tredøgnsperiode i februar, samt målenes temperaturdifferanse til bakgrunnen og transmisjon for samme tidsrom.

Figur 4.6 gir en statistisk oppsummering av deteksjonsavstandene i februar og juni, for mål sett mot en skogskant. Det er stor forskjell på deteksjonsavstandsstatistikken i de to månedene. For målet med lufttemperatur, M_0 , er deteksjonsavstandene generelt kortere i juni enn i februar. For de to andre målene er det omvendt. Årsakene til dette er hovedsakelig økt solinnstråling i juni og dårligere sikt i februar.

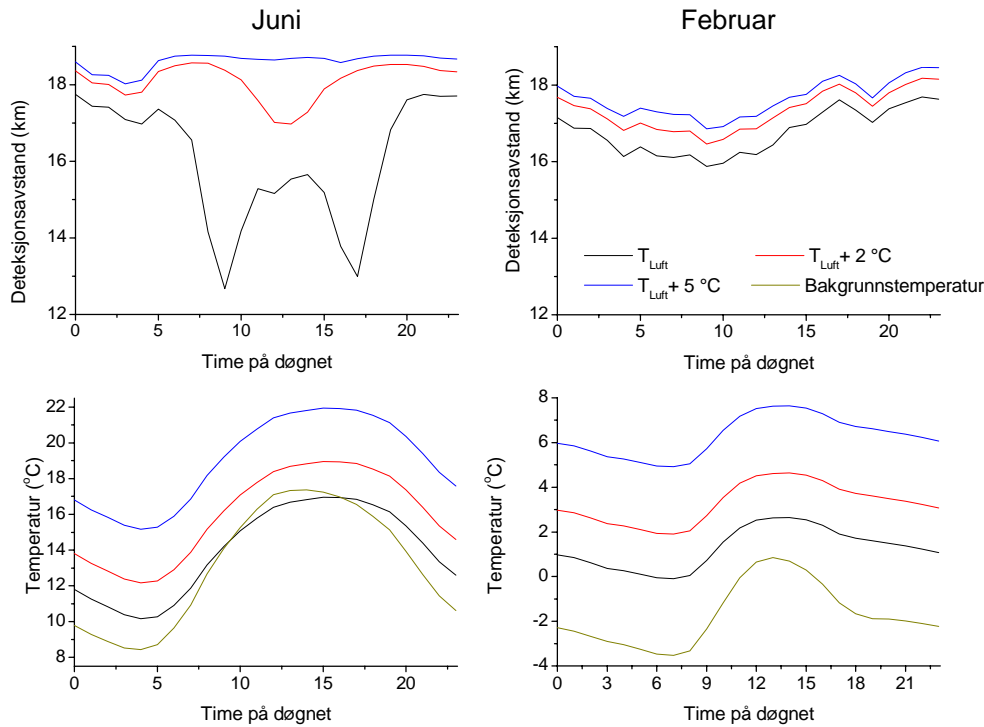
Solinnstrålingen fører til at skogskanten får temperaturer i nærheten av lufttemperatur. Dette gjør at ΔT for målet med lufttemperatur blir veldig lav, noe som igjen fører til kraftig reduserte deteksjonsavstander. ΔT blir ikke så lav for de andre målene fordi skogskanten stort sett ikke kommer opp i temperaturer noe særlig høyere enn lufttemperaturen. Dermed må transmisjonen være lav for å gi korte deteksjonsavstander.



Figur 4.6 Statistisk oppsummering for deteksjonsavstander beregnet for februar og juni på Rygge, med skogskant som bakgrunn.

Statistiske oppsummeringer som i Figur 4.6 gir ikke et komplett inntrykk av sammenhengen mellom værforhold og deteksjonsavstander. Siden de underliggende dataene for beregningene, dvs værdataene, i hovedsak er døgnperiodiske er det interessant å se på hvordan deteksjonsavstandene varierer med tid på døgnet.

I figur 4.7 er middelveier beregnet for hver time i døgnet for juni og februar. Figuren viser deteksjonsavstander i tillegg til mål- og bakgrunnstemperaturer. Gjennomsnittstemperaturer for hver time for bakgrunn og mål er tatt med i figuren for å gi en pekepinn på hvilket nivå ΔT vil ligge på for de forskjellige målene. De laveste temperaturdifferansene for et gitt mål vil ikke nødvendigvis være nøyaktig ved samme tid på døgnet som tiden da kurvene for gjennomsnittlig mål- og bakgrunnstemperatur krysser hverandre. Likevel gir avstanden mellom temperaturkurvene en god indikasjon. Verdiene er midlet over hver hele time. Venstre halvdel av figuren viser verdier for juni 2001 og høyre for februar 2002.

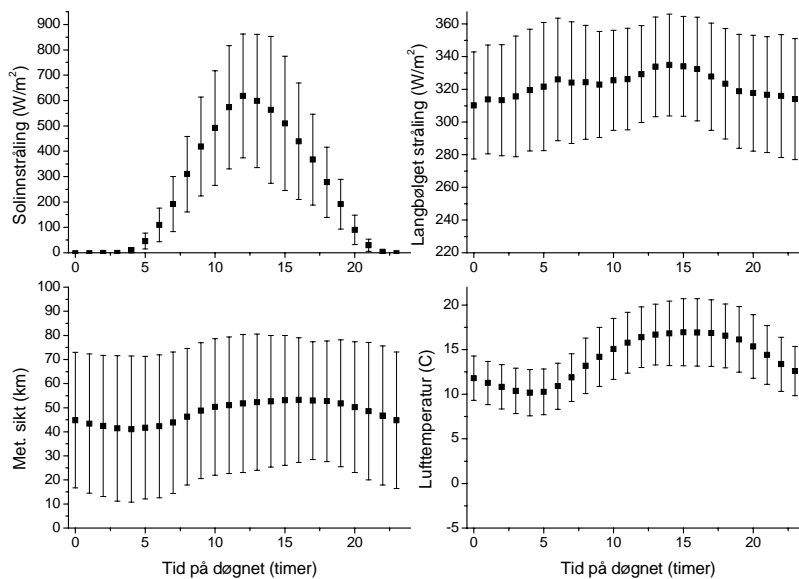


Figur 4.7 Deteksjonsavstand og temperaturer fordelt over døgnet, for mål sett mot skogsbakgrunn.

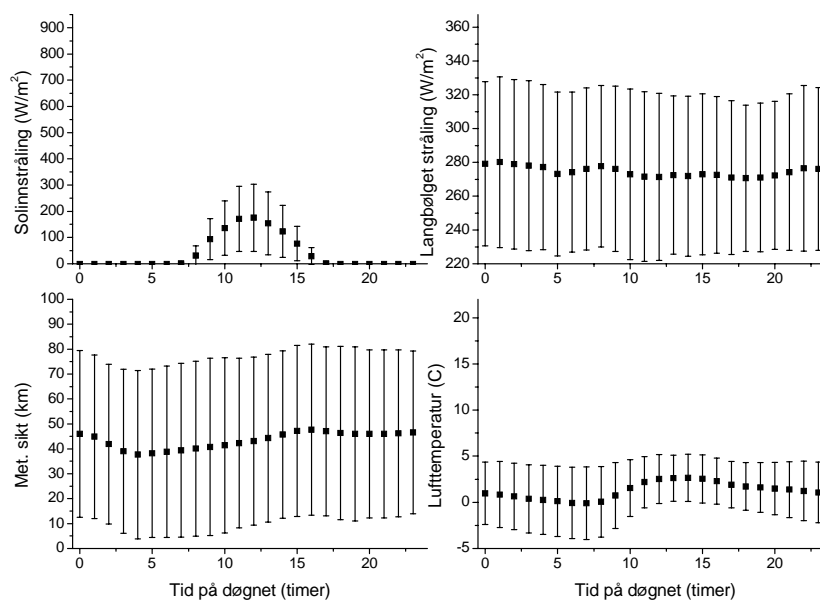
Det går frem av figurene at det er tydelige forskjeller i forventet deteksjonsavstand på ulike tider av døgnet i juni. For M_0 er deteksjonsavstandene lavest klokka 9 og 17, mens de er lavest i tiden fra klokka 12 til 13 for M_2 . Temperaturkurvene nederst i det venstre hjørnet av figuren gir en forklaring på hvorfor. Gjennomsnittstemperaturen til M_0 krysser bakgrunnstemperaturen rundt den tiden da deteksjonsavstandene er minst. Mellom disse tidspunktene er bakgrunnen varmere enn målet, slik at man får en negativ temperaturkontrast. Dette medfører at deteksjonsavstandene ikke er like korte i denne perioden. For M_2 krysser derimot aldri mål- og bakgrunnstemperaturen. Derfor er det bare ett minimum på deteksjonsavstandskurven, som sammenfaller med tiden da temperaturforskjellen er lavest.

Den øvrige variasjonen som kan sees på deteksjonsavstandskurvene er lik for alle målene, og skyldes lav transmisjon. Temperaturforskjellen mellom M_5 og bakgrunnen blir aldri lav nok til å påvirke deteksjonsavstanden noe særlig. Derfor er minimum på denne kurven gitt av perioden på døgnet som i snitt har hatt lavest transmisjon. Dette er også situasjonen for alle målene i februar, da ingen av måltemperaturene noen gang er like lave som bakgrunnstemperaturen.

Studerer vi noen meteorologiske parametere for juni, som vist i Figur 4.8, ser vi at tidene på døgnet hvor deteksjonsavstandene for M_0 er lavest sammenfaller med tidene hvor solinnstrålingen er over ca 400 W/m^2 . For M_2 og M_5 er det aldri nok solinnstråling til at kurvene for gjennomsnittlig mål- og bakgrunnstemperaturer krysser hverandre. Likevel er det nok sol til at bakgrunnstemperaturen kommer opp i omtrent en halv grad varmere enn lufttemperatur i gjennomsnitt når solinnstrålingen er størst på døgnet. Dette er tilstrekkelig til at deteksjonsstatistikken til M_2 blir påvirket.



Figur 4.8 Statistisk oppsummering av de viktigste meteorologiske parameterne for juni 2001 på Rygge.

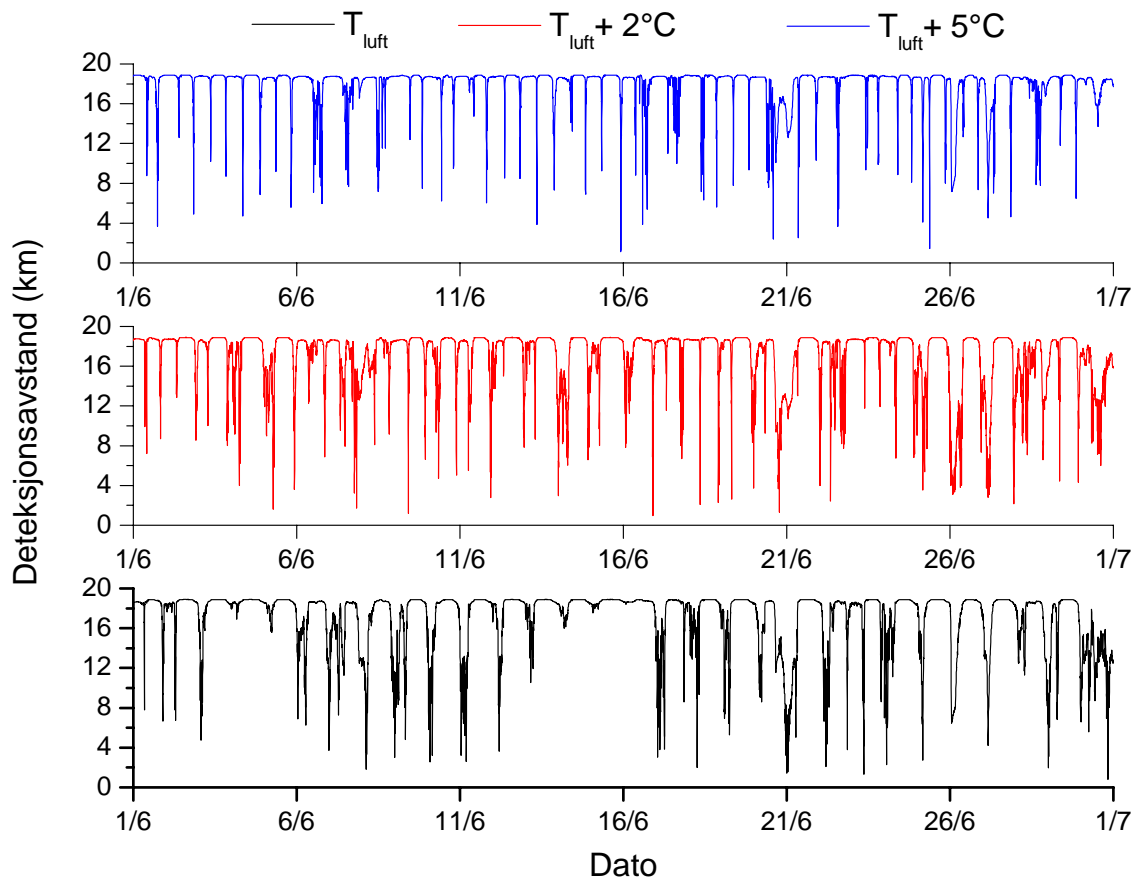


Figur 4.9 Statistisk oppsummering av de viktigste meteorologiske parameterne for februar 2002 på Rygge.

Som vi ser av Figur 4.8 og Figur 4.9 er det vesentlig mindre solinnstråling i februar 2002 enn i juni 2001. Når solen ikke varmer så sterk som om sommeren, vil ikke skogstemperaturen komme høyere enn lufttemperatur særlig ofte. Dermed får man ikke crossover så ofte, og deteksjonsavstandene blir generelt lengre. Dette gjør også at det er veldig liten forskjell i deteksjonsavstand for de tre målene i februar. I tillegg er ikke skogskanten like mye kaldere enn lufttemperatur i juni som i februar. Likevel er deteksjonsavstandene en del kortere om natten i februar enn i juni. Dette er antakelig fordi det er lavere transmisjon i februar enn i juni. Deteksjonsavstandene i februar varierer heller ikke så mye i løpet av døgnet, fordi det ikke er noen særlig korrelasjon mellom lav transmisjon og tid på døgnet.

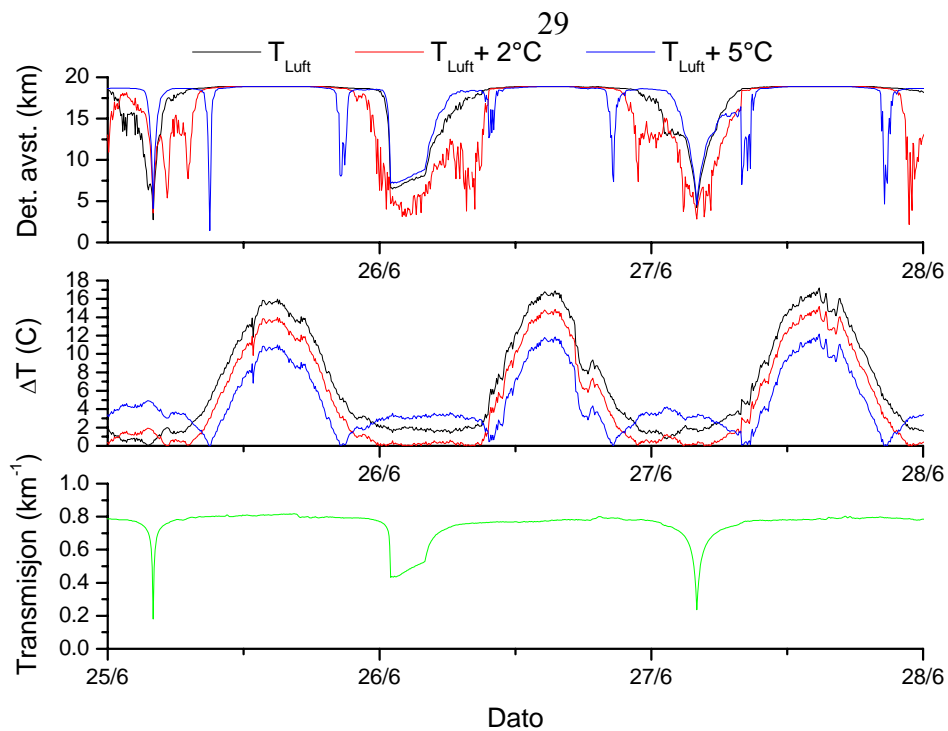
4.2 Fjell

Figur 4.10 viser deteksjonsavstander for juni 2001 på Rygge. Figuren inneholder mange av de samme trekkene som Figur 4.2 der skogskant er brukt som bakgrunn. Mye av tiden er deteksjonsavstanden i nærheten av sensorens oppløsningsbegrensning, mens den av og til ligger langt under. Mål M_5 som har temperatur på fem grader over lufttemperaturen har også ofte lav deteksjonsavstand, mye oftere enn det samme målet sett mot en skogsbakgrunn for denne måneden. Årsaken til dette er at fjellet varmes kraftig opp av sola på dagtid, slik at det antar en temperatur langt over luftens.



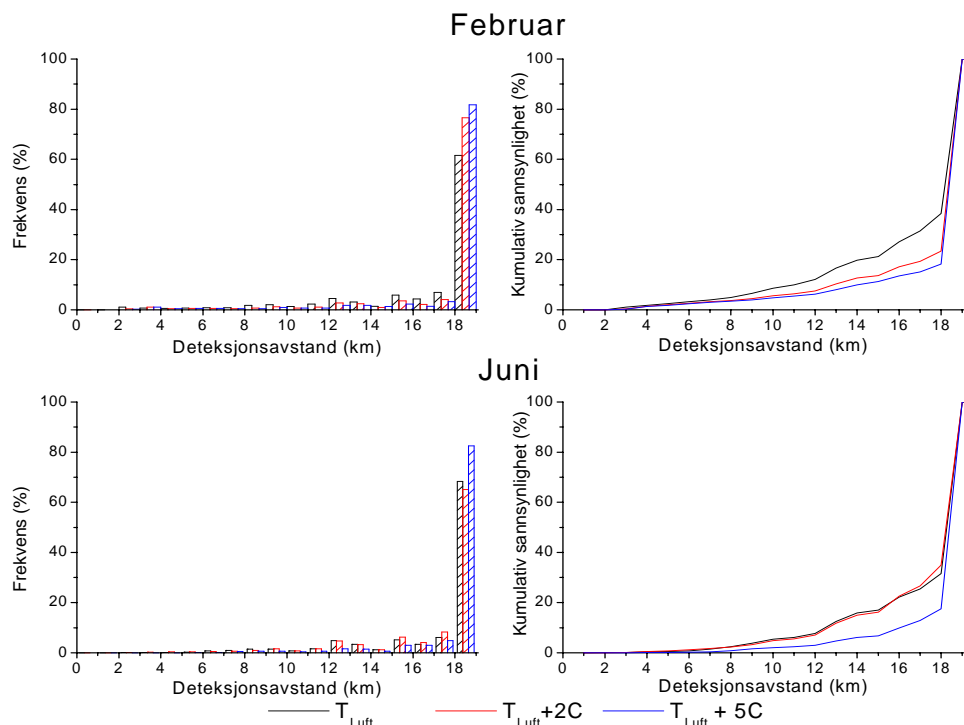
Figur 4.10 Deteksjonsavstand for tre forskjellige måltemperaturer mot fjellbakgrunn på Rygge i juni 2001.

Figur 4.11 viser deteksjonsavstander, transmisjon og ΔT for dagene 25. til 28. juni. For denne tredagersperioden er det mye sol på dagen, og fjellet blir derfor veldig varmt, mye varmere enn skogskanten. Midt på dagen når det en temperatur på rundt 40 grader, og om natten rekker det ikke å kjøles ned fort nok til å komme ned i samme temperatur som luften. For denne perioden er derfor målet M_0 med temperatur lik luftens det dårligst kamouflerte av alle målene. Målet M_2 som ligger to grader over har veldig lik temperatur som bakgrunnen på natten og er derfor i gjennomsnitt det best kamouflerte målet for perioden. I denne tredagersperioden er M_5 mye bedre kamouflert mot en fjellbakgrunn enn mot en skogsbakgrunn.



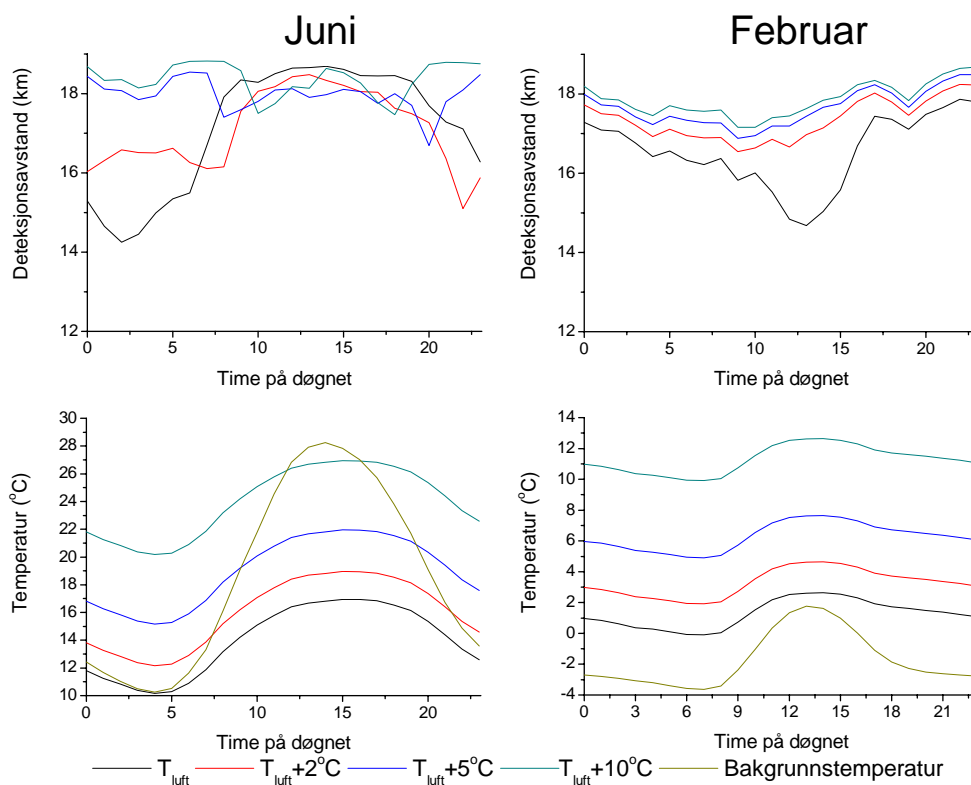
Figur 4.11 Deteksjonsavstand for tre dager i juni 2001 på Rygge, samt målenes temperaturredifferanse til fjellbakgrunnen og transmisjon for samme tidsrom.

Deteksjonsavstander for mål sett mot fjellbakgrunn er oppsummert statistisk i Figur 4.12. I juni er deteksjonsavstandsstatistikken for målene med lufttemperatur og to grader over nesten sammenfallende.



Figur 4.12 Statistisk oppsummering for deteksjonsavstander beregnet for februar og juni på Rygge, med fjell som bakgrunn.

Venstre del av Figur 4.13 viser gjennomsnittlige deteksjonsavstander og mål- og bakgrunnstemperaturer for hver time for hele juni 2001. Disse viser at det er forskjellige tider på døgnet at deteksjonsavstandene for målene er lave. For M_0 er det på natten og tidlig om morgenen og for M_2 er det litt senere på morgenen og på kvelden. Fjellet blir kraftig varmet opp i løpet av dagen når det er mye sol. Fordi fjellet har en viss evne til å holde på varmen vil det på natten ikke avkjøles nok til å komme ned i lufttemperatur. På natten er derfor deteksjonsavstandene lengst for målet med lufttemperatur.



Figur 4.13 Deteksjonsavstand og temperaturer fordelt over døgnet, for mål sett mot fjellbakgrunn. Verdiene er midlet over hver hele time. Venstre halvdel av figuren viser verdier for juni 2001 og høyre for februar 2002.

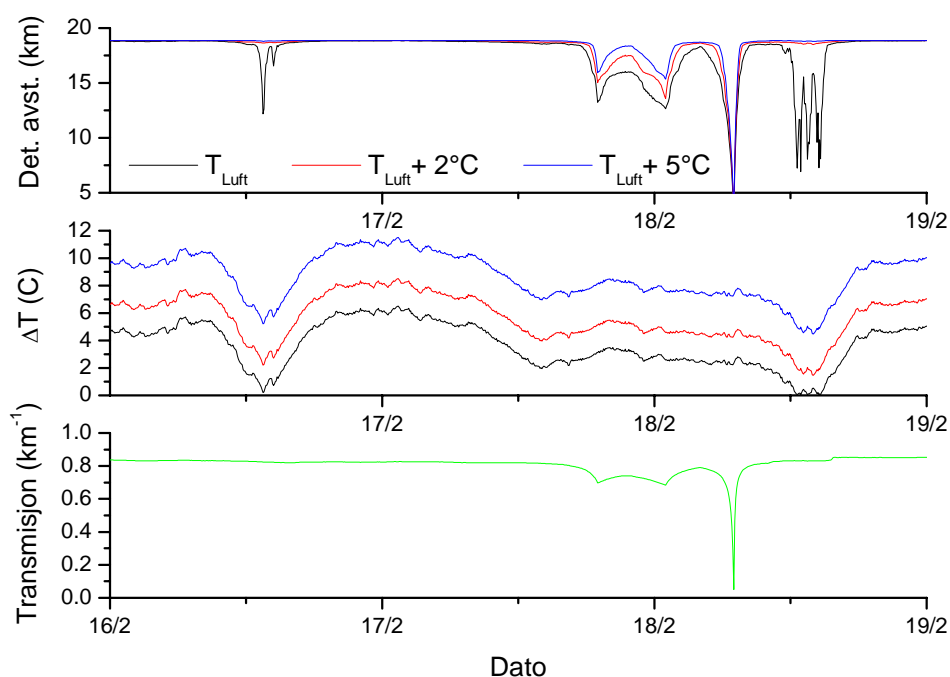
Det er perioder på døgnet da de varmeste målene gir kortest deteksjonsavstander. Målet som er ti grader varmere enn lufttemperatur gir kortest deteksjonsavstand mellom klokken 10 og 12 på dagen. Dette er fordi det nesten når opp i samme temperatur som fjellbakgrunnen når solinnstrålinga er størst på dagen. Denne junimåneden er altså et litt varmt mål bedre kamuflert enn et kaldt når det blir sett mot en fjellbakgrunn midt på dagen. På grunn av dette har de varme målene også mye lavere deteksjonsavstander sett mot en fjellbakgrunn enn mot en skogskant.

Fordi fjellbakgrunnen blir mye varmere enn lufta på dagtid vil crossoverperiodene være forholdsvis raske for de kaldeste målene, og ikke gi like stort utslag som for skogsbakgrunnen. De laveste deteksjonsavstandene for juni er derfor for mål med lufttemperatur sett mot skogsbakgrunn.

I februar (høyre del av Figur 4.13) er deteksjonsstatistikken nesten helt identisk med

deteksjonsstatistikken for skogskant. Årsaken til dette er at både fjellet og skogskanten er en god del kaldere enn lufttemperatur i hele måneden. Det betyr at ΔT er så høy at den ikke innvirker så mye på deteksjonsavstanden. Altså er det transmisjonen som har den største innvirkningen på statistikken, og denne er uavhengig av bakgrunnstypen. Eneste tydelige forskjell er at målet med lufttemperatur har litt kortere deteksjonsavstander sett mot fjellbakgrunnen, på grunn av noen få solfylte dager i løpet av måneden. Disse varmer opp fjellet mer enn skogskanten, slik at den kommer opp i omtrent samme temperatur som luften. Dette kan sees i Figur 4.13 ved at deteksjonsavstandene for målet med lufttemperatur er litt reduserte midt på dagen.

Beregning av deteksjonsavstander for februar 2001 på Rygge med fjellbakgrunn gir veldig like resultater som for skogsbakgrunn for samme periode. Årsaken til dette er at det er lite sol i perioden, slik at man ikke får de store forskjellene som man gjør om sommeren. Likevel er det i gjennomsnitt noe kortere deteksjonsavstander mot fjellbakgrunn for målet med lufttemperatur. Dette skyldes i hovedsak at fjellbakgrunnen blir varmere enn skogskanten på dagen. På natten er fjellbakgrunnen litt kaldere enn skogen, men ikke nok til at det gir merkbar forskjell i deteksjonsavstand.



Figur 4.14 Deteksjonsavstand for tre dager i februar 2001 på Rygge, samt målenes temperaturdifferanse til fjellbakgrunnen og transmisjon for samme tidsrom.

Figur 4.14 viser deteksjonsavstander for dagene 16. til 19. februar. Som figuren viser er det, som for skogskant, transmisjonen og ikke ΔT som er hovedårsaken til redusert deteksjonsavstand. Det viser seg at fjellbakgrunnen i februar er noen grader kaldere enn lufttemperatur det aller meste av tiden. Unntaket er midt på dagen på dager med mye sol. Det er altså sjelden at ΔT blir lav nok til å gi stor innvirkning på deteksjonsavstanden. Dette kan også sees av statistikken vist i Figur 4.13. Figuren viser at det er veldig liten forskjell i gjennomsnittlige deteksjonsavstand mellom målene som har henholdsvis to, fem og ti grader høyere temperatur enn luften. Det er kun

målet med lufttemperatur som skiller seg ut, og det er fordi fjellbakgrunnen får temperaturer omtrent som lufttemperatur midt på dagen på noen av dagene i perioden.

5 KONKLUSJON

Formålet med beregningene diskutert i denne rapporten har vært å vise hvordan variasjoner i meteorologiske forhold virker inn på deteksjon av bakkemål fra en luftbåren IR- sensor. Pga kompleksiteten i problemet er det gjort antagelser som er diskutert ovenfor. Følgen av disse antagelser er at de tallene som er beregnet for deteksjonsavstander er omtrentlige. **Dette har ingen betydning for relevansen og tolkningen av resultatene, siden det er de relative variasjonene som er interessante.** Det interessante er ikke nøyaktig hva deteksjonsavstanden er på et gitt tidspunkt, men hva deteksjonsavstanden er relativt til den teoretiske øvre grensen for den aktuelle sensoren. Unøyaktig formulert er ikke tolkningen av beregningsresultatene avhengig av hvilke skala det er på y-aksen i figurene.

Beregningene har vist at selv relativt små temperaturforskjeller mellom mål og bakgrunn gir deteksjonsavstander som er opp mot den teoretiske øvre grensen for en moderne IR- sensor. Dette betyr at deteksjonsavstanden i denne modellen for store deler av tiden er begrenset av sensorsystemets geometriske oppløsning, dvs kombinasjonen av synsfelt og antall bildepunkter, og ikke av sensorsystemets følsomhet eller interne støy. For en moderne IR-sensor er ikke den øvre deteksjonsgrensen støybegrenset, men clutterbegrenset.

Videre viser beregningene at deteksjonsavstanden reduseres vesentlig i perioder hvor enten temperaturforskjellen mellom mål og bakgrunn blir svært liten eller når sikten er dårlig. Det siste er selvsagt og mindre viktig. Derimot har dette med liten temperaturforskjell viktige operative implikasjoner.

Beregningene har vist at det er perioder i løpet av et døgn og typiske værtilstander hvor deteksjonsavstanden er betydelig redusert i forhold til den øvre teoretiske grensen. Reduksjonen i deteksjonsavstand skyldes i hovedsak at temperaturforskjellen mellom mål og bakgrunn blir liten. Siden temperaturen til mål og bakgrunn varierer ulikt med værforholdene er det en svært kompleks sammenheng mellom værforhold og forventet deteksjonsavstand. Beregningene ivaretar denne kompleksiteten.

En operativ implikasjon av dette er at det finnes tidspunkter hvor det er lettere å oppdage mål enn andre, og beregningene har vist at det kan være mye å vinne på ta hensyn til dette under f eks planlegging av tokt med Pantera målvisningspod eller rekognoseringsoppdrag med UAV. Beregningene har også implikasjoner for hvordan man vurderer effektiviteten til kamouflasjesystemer. Siden deteksjonsavstanden varierer så dramatisk med værforholdene er det viktig å kartlegge når kamouflasjeeffekten er god og når den er dårlig, både med tanke på operativ taktikk, og med tanke på hvordan krav til kamouflasjesystemer formuleres og etterprøves.

I modellen er det gjort særlig én antagelse som også har betydning for hvordan resultatene bør tolkes i forhold til en operativ anvendelse. I beregningene er det ikke tatt hensyn til clutter i scenen. Den øvre teoretiske grensen for deteksjonsavstand er, slik det beregnes i modellen, avstanden hvor målets størrelse dekker ett bildeelement. Ved en slik avstand vil det normalt være et stort antall andre punkter i bildet som også ser ut som mulige mål, og det vil ikke være mulig å skille potensielle mål fra virkelige mål uten å bevege seg nærmere målene eller benytte et smalere synsfelt. Slike mulige mål kan være andre kjøretøy, steiner, fjellknauser, store trær eller lignende. Antallet og størrelsen på slike mulige mål varierer selvsagt også med værforholdene. Erfaring tilsier, uten at beregningene i denne rapporten gir direkte belegg for det, at deteksjonsavstanden vil være enda mer væravhengige enn beregningene i denne rapporten har vist.

APPENDIKS

A BEREGNING AV TRANSMISJON MED MODTRAN 4

A.1 Kort introduksjon til MODTRAN 4

MODTRAN (MODerate spectral resolution atmospheric TRANSmittance algorithm and computer model) er et program som beregner transmisjon gjennom atmosfæren for stråling i bølgetallsområdet 0 til 50 000 cm^{-1} med oppløsning på 2 cm^{-1} (20 cm^{-1} i ultrafiolett område). Den kan også brukes til å beregne radians, men vi er i denne sammenhengen kun interessert i å beregne transmisjon. Transmisjon beregnes på bakgrunn av molekylær absorpsjon og spredning på aerosoler.

MODTRAN kan utføre mange forskjellige typer beregninger, for en rekke ulike atmosfæriske forhold. Når MODTRAN kjøres må man derfor spesifisere hva slags beregninger man er interessert i og hvordan de atmosfæriske forholdene skal være. Dette gjøres ved hjelp av en tekstfil som kalles en tape5-fil. De første versjonene av MODTRAN brukte hullkort til inndata og utdata. Dagens versjon av MODTRAN bruker tekstfiler til disse formålene, men disse tekstfilene har samme format som hullkortene hadde. Linjene i tape5-fila kalles derfor kort, og antall kort i fila kan variere. I hvert kort oppgis verdier for forskjellige variabler og parametere. Disse variablene har bestemte plasser på kortet, og kan kun ha bestemte verdier. Hvis variablene gis ugyldige verdier eller plasseres på feil sted i tekstfila vil ikke MODTRAN kjøre, eller vil eventuelt gi uforutsigbare resultater. For eksempel skal variabelen CO2MX, som angir CO₂ innhold i lufta i ppmv, oppgis som tegn nummer 14 til 20 på linje 2 i tape5-fila.

Atmosfæren i MODTRAN deles inn i et bestemt antall konsentriske lag sentrert rundt jorda. Hvert lag har en gitt tykkelse, et gitt atmosfærisk trykk, en bestemt temperatur, og bestemte konsentrasjoner av en rekke forskjellige gasser. Verdier for alle disse parametrene kan enten angis, eller man kan bruke en av standardatmosfærene som MODTRAN inneholder. Standardatmosfærene inneholder verdier for disse parametrene basert på målinger. Det finnes seks slike standardatmosfærer, for forskjellige geografiske posisjoner og forskjellige sesonger. De aktuelle standardatmosfærene for Norge er Sub-arctic summer og Sub-arctic winter. Det er også mulig å benytte seg av standardatmosfærene til noen parametere og oppgi verdier på andre.

I tillegg til de atmosfæriske parametrene er det også nødvendig å sette en del parametere som angir hva slags beregninger MODTRAN skal gjøre, og hvordan den skal gjøre beregningene. For eksempel kan man bestemme om det skal tas hensyn til multippel spredning eller ikke.

Resultater av en MODTRAN-beregning gis som forskjellige tekstfiler. Disse filene kalles tape6, tape7, tape8, plt, psc og 7sc. Informasjonen i filene vil variere med hvilket oppsett man gir

MODTRAN, så det er derfor veldig viktig at man bruker en korrekt tape5-fil. I vårt tilfelle er vi interessert i å beregne spektral transmisjon mellom to punkter (sensor og mål), og denne informasjonen lagres i plt-fila når MODTRAN settes opp for å gjøre transmisjonsberegninger.

A.2 Fremgangsmåte ved beregning av transmisjon

Kjøring av MODTRAN gjøres fra en kommandolinje. Ved manuell kjøring av MODTRAN må man derfor åpne et kommandovindu og åpne katalogen hvor MODTRAN er installert. MODTRAN kjøres ved å taste kommandoen ”mod4v1r1”. Når MODTRAN kjøres henter den informasjon fra fila modroot.in, som skal ligge i samme katalog som MODTRAN. Denne fila er en tekstfil som inneholder en linje hvor det står hvilken tape5-fil MODTRAN skal hente sitt oppsett fra. Både modroot.in og tape5-fila må være tilstede for at MODTRAN skal kunne kjøre.

For å kjøre MODTRAN automatisk har vi utviklet et eget Visual Basic program, MODTRANexec. Programmet henter et kommandovindu, kjører MODTRAN fra dette, venter til MODTRAN er ferdig og leser inn resultater fra plt-fila som MODTRAN lagrer.

En kort punktvis oversikt over hva MODTRANexec gjør for å beregne transmisjonen er som følger:

1. Åpne MODTRAN tape5-fil for input.
2. Modifiserer tape5-fila.
Fuktighet, temperatur og visibilitet leses fra en værdatabase, og vi bruker normaliserte profiler for å beregne temperatur- og fuktighetsfordeling oppover i atmosfærelagene.
3. Åpner kommandovindu med parametere som kjører MODTRAN fra MODTRAN-katalogen
4. Leser plt-fil som inneholder de spektrale data.
5. Leser sensorens spektrale følsomhet fra en egendefinert tekstfil.
6. Bredbåndet transmisjon beregnes for en gitt avstand vha eksponentiell dempning for hvert bølgelengdeintervall, normalisert over sensorens spektrale følsomhet.

A.3 Oppsett av MODTRAN

Vi ønsker å bruke MODTRAN til å beregne spektral transmisjon mellom sensor og mål for en gitt avstand. Disse resultatene bruker vi deretter til å beregne en bredbåndet transmisjon vektet med sensorens spektrale følsomhet.

Som nevnt over settes MODTRAN opp ved hjelp av en såkalt tape5-fil. Tape5-fila består av et visst antall kort (CARD 1 – 5) som inneholder ulike variable. Hvert kort er en linje i tekstfila, og i kortet kan det angis innstillinger som påvirker hvilke kort som skal tas med senere i fila, og hvordan disse kortene skal se ut. Man kan derfor ikke endre en variabel i kort 1 og uten videre anta at man kan bruke resten av tape5-fila uendret.

Her følger en oversikt over oppsettet som er brukt når vi gjør beregninger med MODTRAN. Verdiene av variabler vises i tabellene 5.1 til 5.8. En del variabler er ikke tatt med i oversikten fordi de brukes med standardverdier. I de fleste tilfeller betyr det at man ikke trenger å angi noen verdi for variabelen. Noen variabler gis to verdier, separert med en skråstrek. I dette

tilfellet er den første verdien verdien som skal brukes for sommermånedene, mens den andre brukes for vintermånedene.

A.3.1 CARD 1 (linje 1)

For å beregne spektral transmisjon må MODTRAN kjøres i transmisjonsmodus. Dette gjøres ved å sette variabelen IEMSCCT til verdien 0. Vi har satt variabelen ITYPE til 2 som betyr at mål og sensor kan ligge i forskjellige atmosfærelag. Dersom ITYPE settes til verdien 1 betyr det at man antar en rett strålingsbane mellom sensor og mål. Dette betyr at sensoren og målet må være i samme atmosfærelag slik at refraksjon av strålingen ikke skal beregnes. Variabelen MODEL angir hvilken standardatmosfære som skal benyttes av MODTRAN. Verdien 7 betyr at man bruker en egendefinert atmosfære. Når man gjør dette kan man ved hjelp av variablene M1 til M6 og MDEF velge om man likevel skal bruke høydeprofiler fra en standardatmosfære i beregningene.

Variabel	Verdi	Forklaring
MODTRN	t	Bruker MODTRAN sin båndmodell (ikke LOWTRAN)
MODEL	7	Egendefinert atmosfærisk modell
ITYPE	2	Vertikal eller skrå strålegang mellom to forskjellige høyder, slik at refraksjon må beregnes.
IEMSCCT	0	Beregning av transmisjon, ikke radians.
IMULT	0	Ikke beregning av multipl spredning.
M1	0	Temperatur- og trykkprofil må spesifiseres av bruker (man kan senere spesifisere at standardverdier skal brukes).
M2	0	H ₂ O-profil må settes av brukeren
M3, M4, M5, M6	4 / 5	Bruker standardverdier for Sub-arctic summer/winter for andre profiler
MDEF	1	Standardverdier for tunge molekyler
IM	1	Skal lese inn brukerdefinerte verdier (for atmosfæreprofiler)
NOPRNT	-1	Ekstra tape 8 output
SURREF	1	Jordoverflatens reflektans (unødvendig for transmisjonsberegning)

Tabell 5.1 Verdier som brukes på variablene i CARD 1 i tape5-fila.

A.3.2 CARD 1A (linje 2)

Den eneste viktige variabelen i CARD 1A er CO2MX. Denne variabelen inneholder blandingsforholdet til CO₂ i ppmv. Standardverdien for CO2MX er 330, men det ble i 1999 anbefalt å bruke verdien 365.

Variabel	Verdi	Forklaring
NSTR	0	Har med multipl spredning å gjøre, og trenger derfor ikke å brukes.
ISUN	5	Glatting av solinnstråling. Trenger ikke å spesifiseres?
CO2MX	365	CO ₂ -blandingsforhold i ppmv. Bruker anbefalt verdi for 1999

Tabell 5.2 Verdier som brukes på variablene i CARD 1A i tape5-fila.

A.3.3 CARD 2 (linje 3)

I CARD 2 settes en del forhold som angir atmosfærens tilstand, som regn, skydekke og sikt. Foreløpig har vi antatt skyfri himmel og ikke noe regn. Sikten settes på bakgrunn av målinger kjøpt inn fra DNMI. MODTRAN bruker verdien for sikt til å anslå mengden av aerosoler i lufta. CARD 2 inneholder også verdien GNDALT som angir bakkehøyde. Denne er foreløpig satt til 0, men bør kanskje settes på bakgrunn av kartdata når det gjøres beregninger for bestemte steder.

Variabel	Verdi	Forklaring
IHAZE	1	Rural extinction, standard sikt 23 km når denne ikke spesifiseres i VIS
ISEASN	0	Setter sesongen lik modellens sesong (for aerosolberegninger)
IVULCN	0	Type aerosoler i stratosfæren, 0 indikerer ingen vulkansk aktivitet
ICLD	0	Ingen skyer eller regn
IVSA	0	Bruker ikke Army Vertical Structure Algorithm
VIS	Endres under kjøring	Sikt i km. Endres av programmet når simuleringer kjøres.
RAINRT	0	Regnrate, kan evt. gis verdi fra regnmåler.
GNDALT	0	Bakkehøyde. Kan settes fra kartdata dersom tilgjengelig.

Tabell 5.3 Verdier som brukes på variablene i CARD 2 i tape5-fila.

A.3.4 CARD 2C (linje 4)

CARD 2C brukes bare dersom man skal angi egne høydeprofiler for en eller flere variabler. Variabelen ML angir antall lag man deler atmosfæren inn i, og hvis man kombinerer egne høydeprofiler med standard høydeprofiler må man sørge for at inndelingene stemmer med hverandre.

Variabel	Verdi	Forklaring
ML	36	Antall lag i lagdelt atmosfære ($\Rightarrow 3 \cdot 36 = 108$ linjer i CARD 2C2)
IRD1	1	CARD 2C2 skal leses
IRD2	0	CARD 2C3 skal ikke leses
HMODELL	norm-sub-arctic-summer / winter	Navn på modellen som brukes i beregningene (tekststreng)

Tabell 5.4 Verdier som brukes på variablene i CARD 2C i tape5-fila.

A.3.5 CARD 2C2 (linje 5 til 112)

Dette kortet inneholder tre linjer for hvert atmosfæriske lag. For hvert lag spesifiseres det hvor høyt laget når, lufttrykk, temperatur, vanndampinnhold og konsentrasjon av en rekke gasser. Hver av disse variablene er høydeprofilsvariablene.

I tillegg inneholder den første av disse tre linjene en oppsettvariabel for hver av høydeprofilsvariablene. Disse angir om den tilhørende høydeprofilsvariabelen skal gis brukerdefinerte verdier eller om den skal hente sine verdier fra en standardatmosfære.

I vårt tilfelle ønsker vi å bruke egne høydeprofiler for vanndamp og temperatur. Derfor gis disse verdier ulik null, mens alle andre variabler gis verdien null.

Variabel	Verdi	Forklaring
Zm	Varierer for hvert lag	Atmosfærelagets høyde i km.
T	Varieres under kjøring og for hvert lag	Atmosfærelagets temperatur i Kelvin.
WMOL(1)	Varieres under kjøring og for hvert lag	Atmosfærelagets fuktighet i g/m^3
JCHAR(1)	4 / 5	Bruk av verdier for standardmodell nr. 4 / 5
JCHAR(2)	A	Spesifiserer at temperatur skal angis i Kelvin
JCHAR(3)	D	Spesifiserer at H_2O innhold skal angis som massetetthet i g/m^3
JCHAR(4-14)	4 / 5	Bruk av verdier for standardmodell nr. 4 / 5

Tabell 5.5 Verdier som brukes på variablene i CARD 2C2 i tape5-fila.

A.3.6 CARD 3 (linje 113)

CARD 3 har et standardformat og et alternativt format. Hvilket format som skal brukes er avhengig av verdien til variabelen IEMSCT i CARD 1. Fordi vi bruker $IEMSCT = 0$ skal standardformatet brukes. Hvilke parametere som må spesifiseres avhenger av verdien på variabelen ITYPE i CARD 1.

Variabel	Verdi	Forklaring
H1	0	Målhøyde, bør være på bakken. Kan endres i MODTRANexec
H2	1	Sensorens høyde. Kan endres i MODTRANexec
RANGE	3	Avstand mellom mål og sensor. Sørg alltid for at avstanden er større enn forskjellen mellom sensorhøyde og målhøyde. (RANGE > H2 - H1)

Tabell 5.6 Verdier som brukes på variablene i CARD 3 i tape5-fila.

A.3.7 CARD 4 (linje 114)

Dette kortet angir spektralområde for beregningene, bølgetallsoppløsning og typen spaltefunksjon som brukes for spektral degradering av resultatene. I tillegg spesifiseres hvilke enheter som skal brukes.

Variabel	Verdi	Forklaring
V1	2000	Nedre grense for spektralområdet i bølgetall (cm^{-1})
V2	3030	Øvre grense for spektralområdet i bølgetall (cm^{-1})
DV	1	Bølgetallsinkrement for alle spektrale resultater fra MODTRAN
FWHM	2	Spaltefunksjonens full width at half maximum. DV kan ikke være større enn FWHM, og det anbefales at $DV = FWHM/2$
YFLAG	t	Utregning av transmisjon og ikke radians
XFLAG	w	Frekvens i bølgetall for V1, V2, DV og FWHM
FLAGS(1:1)	w	Frekvens i bølgetall for alle spektrale output
FLAGS(2:2)	t	Triangulær spaltefunksjon (dette er standard form på spaltefunksjonen)
FLAGS(3:3)	a	FWHM er absolutt, ikke relativ

Tabell 5.7 Verdier som brukes på variablene i CARD 4 i tape5-fila.

A.3.8 CARD 5 (linje 115)

Card 5 inneholder kun en parameter for å velge om nye kort skal leses om MODTRAN skal kjøres flere ganger. Dette bruker ikke vi, da alle nye kort må inn i samme tape5-fil. Isteden kjører vi MODTRANexec på nytt dersom flere beregninger skal gjøres.

Variabel	Verdi	Forklaring
IRPT	0	Betyr at MODTRAN bare skal kjøres en gang

Tabell 5.8 Verdier som brukes på variablene i CARD 5 i tape5-fila

A.4 Høydeprofiler for temperatur og fuktighet

Som nevnt kan man velge om man vil bruke standard høydeprofiler eller om man vil bruke egendefinerte høydeprofiler. Dersom man bruker egendefinerte høydeprofiler må man ha en verdi for hvert atmosfærelag. Vi er i utgangspunktet ikke interessert i å bruke egendefinerte profiler. Derimot ønsker vi å angi temperatur og luftfuktighet ved bakkenivå. Når vi gjør dette kan vi risikere at det oppstår store diskontinuiteter i temperatur- og fuktighetsprofilene mellom de nederste og nest nederste atmosfærelagene. Når vi angir bakkeverdiene må derfor høydeprofilene regnes om for å stemme overens med disse.

A.4.1 Normalisert temperaturprofil

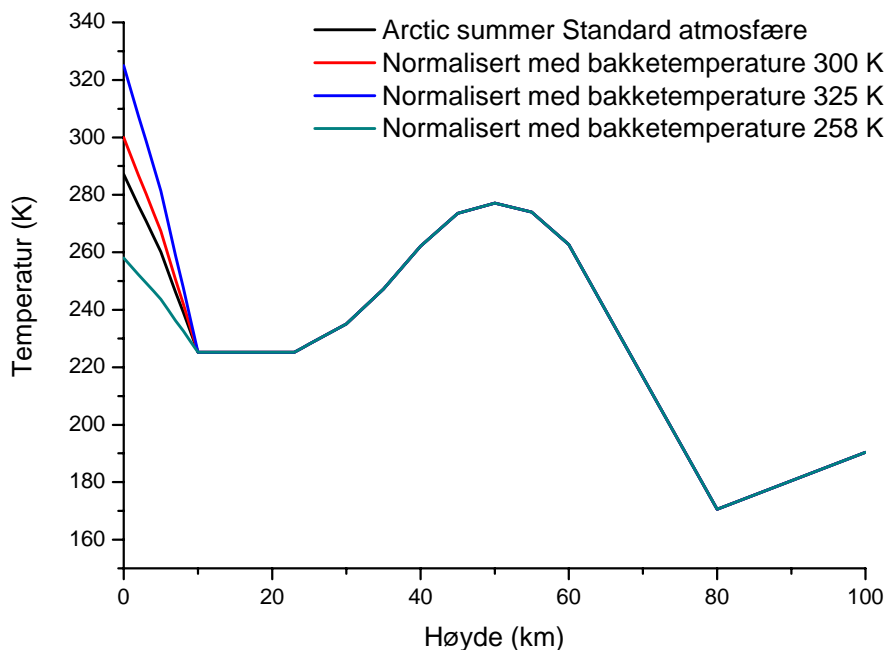
Skalering av temperaturprofilen gjøres bare opp til første inversjonssjikt. For alle standardatmosfærene i MODTRAN er det slik at temperaturen avtar med høyden opp til en viss høyde. Etter denne høyden øker temperaturen og det er dette som kalles inversjonssjiktet. Temperaturen ved overgang til inversjonssjiktet kalles T_{inv} , og vil som regel forekomme i en

høyde av ca. 10-15 km og være i området 210 til 230 Kelvin.

Den normaliserte temperaturen regnes ut som vist i likning (5.1), som en funksjon av høyden z .

$$T_{ny}(z) = \frac{(T_0(z) - T_{inv})}{(T_0(z_0) - T_{inv})} \cdot (T_{ny}(z_0) - T_{inv}) + T_{inv} \quad (5.1)$$

Den nye temperaturen i høyde z i likning (5.1), $T_{ny}(z)$ avhenger av temperaturen i standardatmosfæreprofilen ved høyde z , $T_0(z)$, temperaturen i standardatmosfæreprofilen ved bakkenivå, $T_0(z_0)$, temperaturen ved overgang til inversjonssjiktet, T_{inv} , og av temperaturen ved bakkenivå for den nye profilen, $T_{ny}(z_0)$. Den nye temperaturprofilen er altså en lineærskalering av temperaturprofilen i standardatmosfæren. Et eksempel er vist i Figur App. 1 .



Figur App. 1 Noen eksempler på normaliserte temperaturprofiler som brukes i forbindelse med beregning av transmisjon.

Inversjonssjiktet starter her ved 10 km høyde. Etter denne høyden er alle profilene sammenfallende, mens de er lineærskaleringer av standardprofilen under denne høyden.

A.4.2 Normalisert luftfuktighetsprofil

Normalisering av luftfuktighet er lettere enn normaliseringen av temperaturprofil. Vi tar utgangspunkt standardatmosfærens forhold mellom luftfuktighet på bakken og luftfuktighet i høyde z . Dette forholdet multipliseres med den målte fuktigheten på bakkenivå. Dette er vist i likning (5.2).

$$\rho_{ny}(z) = \frac{\rho_0(z)}{\rho_0(z_0)} \cdot \rho_{ny}(z_0) \quad (5.2)$$

I likningen er fuktigheten absolutt fuktighet i g/m^3 , z er høyden, z_0 er bakkehøyden, ρ_0 er absolutt fuktighet i standardatmosfæren og ρ_{ny} er den normaliserte absolutte fuktigheten.

Et kompliserende forhold når vi skal regne ut normalisert fuktighetsprofil er at vi kun har målinger av den relative fuktigheten. Vi må derfor regne ut den absolutte fuktigheten ved bakkenivå ved hjelp av relativ fuktighet og temperatur ved bakkenivå. Ved å anta at vanddampen er en ideell gass får vi likning (5.3).

$$\rho_{abs} = \Phi \cdot \rho_{mettet} \quad (5.3)$$

Likningen er en omskrivning av at relativ fuktighet Φ er lik forholdet mellom absolutt fuktighet ρ_{abs} og den mettede vanddamp tettheten ρ_{mettet} . Mettet vanddamptetthet kan regnes ut ved å bruke en empirisk sammenheng med lufttemperaturen. Denne sammenhengen er gitt i likning (5.4).

$$\rho_{mettet} = X \cdot e^{\left[c_1 + c_2 \cdot X + c_3 \cdot X^2 \right]} \quad (5.4)$$

$$X = \frac{273.15}{T}, c_1 = 18.9766, c_2 = -14.9595, c_3 = -2.43882$$

Her er T lufttemperaturen i Kelvin ved bakkenivå. Likningen er den samme som brukes av MODTRAN til å beregne mettet vanddamptetthet. Forholdet skal kunne gi mettet damptetthet med en nøyaktighet på $\pm 1\%$ for lufttemperaturer i området -50°C til $+50^\circ\text{C}$.

A.5 Beregning av bredbåndet transmisjon vektet med sensorens spektrale følsomhet

Når vi bruker MODTRAN regner vi ut transmisjonen med en spektraloppløsning på 1 cm^{-1} innen et gitt spektralområde for en avstand mellom sensor og mål på R_0 km. Disse beregningene ønsker vi å bruke sammen med sensorens spektralfølsomhetskurve til å beregne en gjennomsnittstransmisjon $\tau(R)$ ved en vilkårlig avstand R .

For monokromatisk stråling med bølgetall δ i en homogen atmosfære gjelder relasjonen i likning (5.5) for transmisjonen:

$$\tau(\delta, R) = \left[\tau(\delta, R_0) \right]^{R/R_0} \quad (5.5)$$

Dette betyr at transmisjonen avtar eksponentielt med avstand. For polykrom stråling vil transmisjonen variere med bølgetallet og vi må integrere likningen over det aktuelle spektralområdet. I tillegg må vi vekte med sensorens følsomhet. Grunnen til vektingen er at det ikke hjelper om det er mye stråling i et gitt spektralområde dersom sensoren ikke kan fange opp denne strålingen. Fordi vi har brukt MODTRAN til å regne ut et diskret antall transmisjonsverdier må vi tilnærme integralet med en sum. Vi får dermed relasjonen i likning (5.6).

$$\tau_{Gjsnitt} = \frac{\int_{\delta_{nedre}}^{\delta_{\ovre}} \tau(R, \delta) S(\delta) d\delta}{\int_{\delta_{nedre}}^{\delta_{\ovre}} S(\delta) d\delta} \approx \frac{\sum_{n=1}^N \tau(R, \delta_n) S(\delta_n)}{\sum_{n=1}^N S(\delta_n)} \quad (5.6)$$

I likning (5.6) angir δ bølgetall, δ_{nedre} og δ_{\ovre} angir henholdsvis nedre og øvre grense for sensorens følsomhetsområde. S angir sensorens spektrale følsomhet. I summasjonen brukes δ_1 som nedre grense og δ_N som øvre grense for sensorens følsomhet, og her har τ og S en diskret verdi for hvert bølgetall.

Litteratur

- (1) Olsen, F. B. (2003): Formulering av krav til termsk kamuflasje, FFI/RAPPORT-2003/00537, FFI
- (2) Hadar, O., Sadot, D., Dror, I., Rotman, S. R., and Kopeika, N. S. (1995): Contrast-Limited Target Acquisition: Atmospheric and Motion Effects, Targets and Backgrounds: Characterization and Representation, Vol 2469, SPIE
- (3) Holst, Gerald C. (2003): Electro-Optical Imaging Systems Performance, JCD Publishing
- (4) Jacobs, Pieter A. (1996): Thermal Infrared Characterization of Ground Targets and Backgrounds, SPIE
- (5) Lauber, Yair Z. and Braun, David (2000): Correct Weighting of Atmospheric Transmittance and Target Temperature, Applied to IR Airborne Reconnaissance Systems, Targets and Backgrounds VI: Characterization and Representation, Vol 3062, SPIE
- (6) Snorrason, Magnús, Ruba, Harald, and Hoffman, James (1998): Modeling Cognitive Effects on Visual Search for Targets in Cluttered Backgrounds, Targets and Backgrounds IV: Characterization and Representation, Vol 3375, SPIE
- (7) Johnson, J. (1958): Analysis of Image Forming Systems, Proceedings of the Image Intensifier Symposium, U.S. Army Engineer Research and Development Lab
- (8) Schmieder, D. E. and Weathersby, M. R. (1983): Detection Performance in Clutter With Variable Resolution
- (9) Skjervold, J. (1995): Extensions of the US Night Vision Laboratory Static Performance Model for Thermal Viewing Systems on Structural Targets and Backgrounds in Cluttered Scenes, Targets and Backgrounds: Characterization and Representation, Vol 2469, SPIE
- (10) Drummond, O. E. (1996): Characteristics of the Acquisition of a Dim Target in Clutter, Targets and Backgrounds II: Characterization and Representation, Vol 2742, SPIE
- (11) Hilgers, J. H., Vockel, W. P., Reynolds, W. R., and Pickard, W. (1997): Sensor and Detection Algorithm Based Clutter Metrics, Targets and Backgrounds III: Characterization and Representation, Vol 3062, SPIE
- (12) Korn, A., Müller, M., and Sung, C.-K. (1997): Computer-Augmented Detection of Targets in Cluttered and Low-Contrast Backgrounds, Targets and Backgrounds III: Characterization and Representation, Vol 3062, SPIE
- (13) Gerhart, G. R., Meizler, T, Sohn, E. J., and Choe, H. (1993): The Evaluation of DT Using Statistical Characteristics of the Target and Background, Infrared Imaging Systems: Design Analysis, Modeling and Testing IV, Vol 1969, SPIE
- (14) Olsen, F. B. and Gamborg, E. M. (2003): Modelling the thermal signature of natural backgrounds, FFI/RAPPORT-2001/05324, FFI
- (15) Www.Ontar.Com/Software/Product_Modtran4.Html (2005)
- (16) Www.Thermoanalytics.Com/Products/Muses
- (17) Wittenstein, W. (2003): TRM3 Model Validation for Undersampled Thermal Imagers, FOM 2003/02, FGAN-FOM
- (18) STANAG 4347: Definition of Nominal Static Range Performance for Thermal Imaging Systems

FORDELINGSLISTE

Dato: 2005-08-30

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR	RAPPORT NR. 2005/01907	REFERANSE 843-BM/119.2	RAPPORTENS DATO 2005-08-30
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD UGRADERT		ANTALL TRYKTE UTSTEDT 30	ANTALL SIDER 8
RAPPORTENS TITTEL Meteorologiske forholds innvirkning på detekterbarheten av landmål med luftbåren IR-sensor.		FORFATTER(E) GAMBORG E Marius, OLSEN Frode Berg	
FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF Jan Ivar Botnan			

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		TRADOK MATRAVD MATRPLAN v/ Maj Jørn-Inge Jakobsen	10		FFI-Bibl
1		HSTY TMBN, Maj Andreas Øygarden	1		FFI-ledelse
1		FLO-LAND/T KJT&ING v/ Kapt Roger Sørslett	1		FFI-Ple Planenheten
1		HSTY INGBN KOMPSEKS MER-SENT, Kapt Ola Skaaden	1		FFI-I Analyse
1		LUKS TRI LOF BOSA PASSIV v/ Kapt Rune Arntsen	1		FFI-II Ledelsessystemer
1		FB, ObLt Knut Syvertsen	1		FFI-III Land- og Luftsystemer
1		NOBLE	1		FFI-IV Maritime systemer
			1		FFI-V Beskyttelse
			1		FFI-N Næringsstrategi
			2		Forfattereksemplar(er)
			3		Restopplag til Biblioteket
<p>Elektronisk fordeling: FFI-veven Eivind Strømman Morten Søderblom Tor Høimyr Lars Trygve Heen Nils Anton Sæthermoen</p>					

Benytt ny side om nødvendig.