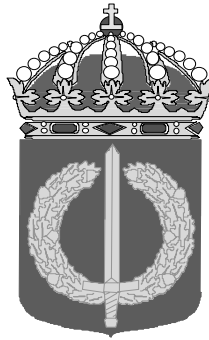


FÖRSVARSHÖGSKOLAN

C - UPPSATS

Författare Mj Mikael Nordström	Förband F 17	Kurs FBQO04
FHS handledare Övlt Lars Bergeås & Per Hyberg		
Uppdragsgivare Krigsvetenskapliga institutionen, KVI, FHS		
Rubrik: ATMOSFÄRENS PÅVERKAN PÅ DET TAKTISKA UTNYTTJANDET AV ELEKTROMAGNETISK VÅGUTBREDNING FÖR RADAR OCH OPTISKA SENSORER.		
Sammanfattning: Huvudsyftet med denna uppsats är att visa på hur olika atmosfärsförhållanden kan påverka det taktiska utnyttjandet av elektromagnetisk vågutbredning och behovet för en operatör att kunna förstå och bedöma denna påverkan. Sensorer som använder det elektromagnetiska spektret utnyttjas mer och mer i våra militära system. Vädret och atmosfären påverkar transmissionen och vågutbredningen av elektromagnetiska vågor. Olika atmosfärs- och väderfenomen påverkar sensorernas frekvenser och våglängder och skapar begränsningar i utnyttjandet. Utnyttjandet av sensorer och system för att upptäcka och följa mål och hot kräver kunskapen att kunna bedöma hur sensorn och systemet påverkas när de används i olika klimat och väderförhållanden. Behovet av detta är stort och kommer i framtiden att öka då vi mer och mer förlitar oss på tekniska hjälpmedel för att kunna upptäcka och bekämpa mål i en stridsmiljö. Framtidens mer skiftande miljö med internationella insatser i klimat som är mycket olikt det svenska kommer ytterligare att påverka utprovningar och den kunskap som krävs. Uppsatsen beskriver situationer där vädret har inverkan på utnyttjandet av elektromagnetiska vågor för radar och optiska sensorer. Uppsatsen ser också till behovet av utbildning i meteorologi och väderpåverkan.		
Nyckelord: Atmosfären, väderpåverkan, våglängder, frekvenser; sensorer, utnyttjande, taktikpåverkan, utbildning		



Swedish National Defence College

THESIS

Author Mj Mikael Nordström	Unit F 17	Programme FBQO04
SNDC Mentors LtCol Lars Bergeås & Per Hyberg		
Commissioned by Krigsvetenskapliga institutionen, KVI, SNDC		
HEADLINE: ATMOSPHERIC EFFECTS ON THE TACTICAL UTILIZATION OF ELECTROMAGNETIC PROPAGATION FOR RADAR AND OPTICAL SENSORS.		
Abstract: The main purpose with this paper is to show how different atmospheric conditions have an influence on the tactical utilization of the electromagnetic propagation and the necessity for an operator to understand and make an assessment of the effects. Sensors that use the electromagnetic spectra are more and more common in our military systems. Weather and the atmosphere effect the transmission and the propagation of electromagnetic waves. Different atmospheric and weather phenomena effect the choice of frequencies and wavelength of the sensors and create restraints in utilization. Utilization of sensors and systems to detect and track targets and threats demands knowledge in how to assess how the sensors or the systems are affected when they are used in different climatic and weather conditions. The need for this is great and in the future it will increase when we will more and more be relying on the technical expedient to detect and destroy a target in combat environment. In the future, a changing environment with international commitments in a climate that is very different from the Swedish climate, will further influence the tests and the knowledge that is required. The paper describes situations where weather has an influence on utilization of electromagnetic waves for radar and optical sensors. The paper also looks into the need for education in meteorology and weather influence.		
Key words: Atmosphere, weather influence, wavelength, frequencies; sensors, utilization, tactics, training		

TACK

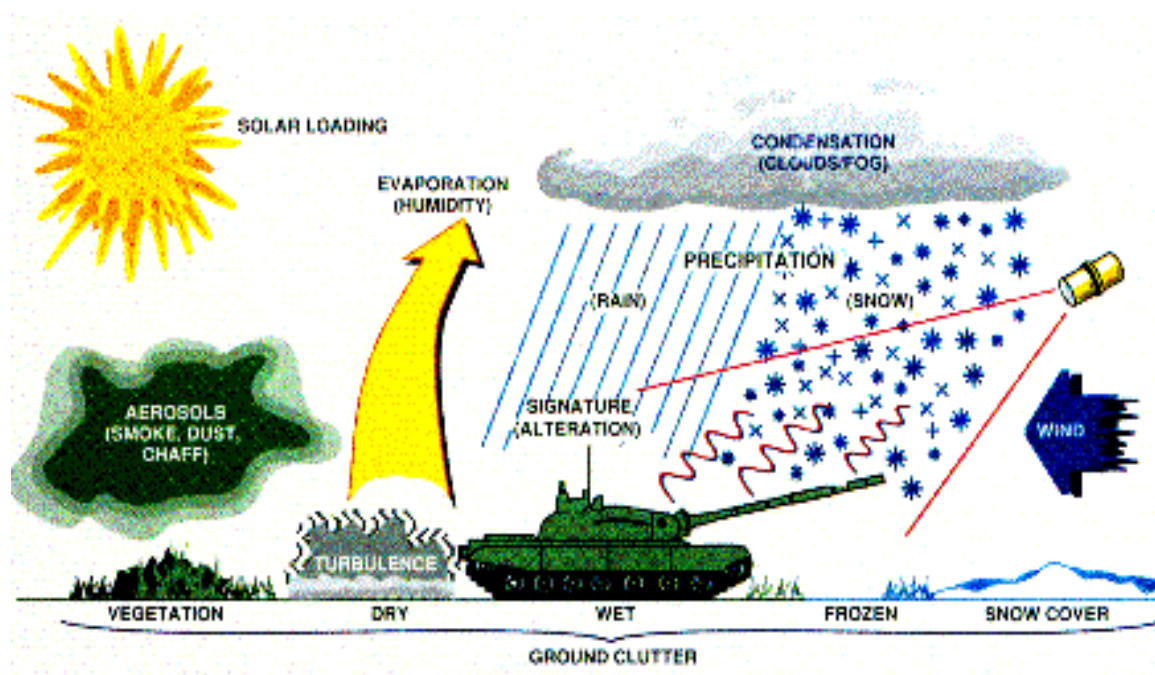
Jag vill tacka mina handledare, Övlt Lars Bergeås vid HKV KRI VÄD och Per Hyberg vid MTI, för deras stöd och kloka synpunkter.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Påverkan på taktiskt utnyttjande	2
2	Problemformulering, syfte och frågeställningar	3
2.1	Problemformulering:	3
2.2	Syfte:	3
2.3	Frågeställningar:	4
2.4	Delfrågor:	4
2.5	Avgränsningar och Målsättningar	4
2.5.1	Avgränsningar:	4
2.5.2	Målsättningar:	4
2.6	Centrala begrepp och ordförklaringar	5
2.7	Metod, material och disposition	6
3	Atmosfären.....	8
3.1	Atmosfärens uppbyggnad	8
3.2	Atmosfärssegenskaper	8
3.3	Atmosfären och väder	9
3.3.1	Temperatur	9
3.3.2	Vattenånga	10
3.3.3	Partiklar	10
3.4	Meteorologiska mätningar	11
4	Elektromagnetiska vågors utbredning.....	12
4.1	Elektromagnetiska vågor	12
5	Sensorer.....	14
5.1	Radar	14
5.1.1	Frekvensområden	15
5.2	Optronik (ej LASER)	15
5.2.1	Våglängder	16
5.3	LASER	16
5.3.1	Våglängder	17
6	Hur påverkar atmosfären och väder elektro-magnetiska vågor av olika våglängder?	19
6.1	Påverkande atmosfärsfaktorer	19
6.2	Radar	19
6.2.1	Spridning	19
6.2.2	Dämpning	19
6.2.3	Brytning	20
6.2.4	Fördröjning	23
6.3	Optronik	23
6.3.1	Spridning	24
6.3.2	Absorption	24
6.3.3	Emission	25
6.3.4	Turbulens	25

6.3.5	Brytning.....	25
6.4	LASER	25
6.4.1	Spridning	25
6.4.2	Absorption.....	26
6.4.3	Emission.....	26
6.4.4	Turbulens.....	26
6.4.5	Brytning.....	26
6.5	Sammanfattning	26
7	Atmosfärens påverkan på taktiken	28
7.1	Radar	28
7.1.1	Spaningsradar	28
7.1.2	Målinmättningsradar	28
7.2	Optronik	29
7.2.1	Påverkande parametrar på optroniska vapen och sensorer i den termiska IR delen	29
7.3	Laser.....	30
7.4	Vilka taktiska för delar kan jag få om jag använder mina sensorer på ett rätt sätt?	30
7.5	Hur skall man undgå att luras av sin egen sensor?.....	30
7.6	Sammanfattning	31
8	Vilka vädertyper är speciellt problematiska för olika typer av sensorer?	32
8.1	Radar	32
8.2	Optronik	33
8.3	Laser.....	34
8.4	Sammanfattning	34
9	Utprovning av sensorer och system	35
9.1	Vilka krav bör man ställa?	35
9.2	Sammanfattning	36
10	Vilka behov finns i utbildningen för att få en bättre kunskap om hur sensorerna fungerar vid olika vädertyper och atmosfärspåverkan?	37
10.1	Kartläggning av kunskapsbehovet	37
10.2	Sammanfattning	38
11	Diskussion	39
11.1	Utbildning.....	39
11.2	Framtagning av sensorer och system	39
11.3	Det nätverksbaserade försvaret (NBF).....	40
11.4	Skydd och störning.....	41
11.5	Signalspaning (SIS).....	41
11.6	Sammanfattning	42
12	Slutsatser	43
12.1	Sammanfattande slutsatser	44
12.2	Förslag till vidare studier.....	45
13	Litteratur- och källförteckning.....	46
13.1	Källförteckningar	46

13.2	Referenslitteratur	46
13.3	Internet	47
14	Figur och tabellförteckning	49
14.1	Figurer	49
14.2	Tabeller.....	49
15	Förkortningar	50



Figur 1 Vädripåverkan¹

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Kapten Per Andersson spanar ut över stridsfältet. Det börjar skymma. På avstånd ser han ett föremål. Han försöker med hjälp av sin kikare att se vad det är för föremål, men det börjar bli för mörkt. Han startar sin passiva IR. Men den registrerar ingenting. Varför? Avståndet till föremålet är väl inom den räckvidd som utrustningen är specificerad för.

Under tiden i en strilcentral någonstans i Sverige tittar fänrik Leif Werten på sin radarskärm. Plötsligt dyker det upp ett eko, nära radarstationen, på en höjd som borde ha upptäckts långt tidigare (radarn är ju ostörd). Hur kommer det sig?

Ett ”smart vapen”, med avancerad teknik, missar plötsligt sitt mål.

Moderna strids- och försvarsmakter förlitar sig mer och mer på olika typer av sensorer för att detektera och följa mål. Nya smarta vapen utnyttjar sensorteknik för att träffa mer exakt. Vi litar mer och mer på att ”tekniken” skall lösa de uppgifter som det krävdes människor till tidigare.

Situationerna ovan kan och kommer att dyka upp då man utnyttjar olika typer av sensorer. På grund av detta är det viktigt att både ha kunskap och förståelse för den påverkan som vädret och atmosfären har på sensorernas prestanda.

¹ US Army Aberdeen Test Center, Department of Defence,
<http://www.atc.army.mil/meteorology/weather.html>

Den här uppsatsen kommer att behandla situationer då det är av stor vikt att operatören har en god kunskap om vad som påverkar just hans sensor.

1.2 Påverkan på taktiskt utnyttjande

Atmosfärens påverkan på det taktiska utnyttjandet av sensorer är stor. Vet man inte sina sensorers begränsningar och fördelar så kan man komma till korta på slagfältet.

De bästa ”smarta sensorerna” kan visa sig vara mindre effektiva när de möter vädersituationer som inte är inkluderade i deras design och tester². Det är dock viktigt att hålla designen så enkel som möjligt. Detta medför att system måste testas i olika väderförhållanden för att kunna skapa en dokumentation över systemets begränsningar vid olika vädertyper och de risker för degradering av prestanda som detta medför.

För att få tillförlitliga utprovningar och tester är det viktigt att ta med mätningar av:

- Temperatur
- Relativ luftfuktighet
- Sikt
- Mål och bakgrundstemperatur
- Avstånd till målet
- Målets storlek
- Sensors upplösning
- Spektral utstrålning från mål och bakgrund
- Atmosfärens förmåga till transmission

Detta för att skapa rätt förutsättningar för att kunna bedöma en sensors kapacitet.

² US Army Aberdeen Test Center

2 Problemformulering, syfte och frågeställningar

2.1 Problemformulering:

Idag och i framtiden kommer vi, mer och mer, att utnyttja sensorer. De elektromagnetiska vågor som dessa sensorer utnyttjar påverkas av väder och förändringar i atmosfären. För att optimalt, och på ett taktiskt riktigt sätt, kunna utnyttja sina sensorer måste man ha en god kunskap om sensorernas funktion och de begränsningar som kan uppstå beroende på väder och atmosfärspåverkan. Väderstörningar av elektromagnetiska vågor påverkar hur sensorer och system kan detektera och följa mål. Olika typer av elektroniska- och optiskavågor påverkas på olika sätt. Optiska-, radar- och IR-sensorer påverkas av atmosfärens förändringar. Mycket beror på den eller de våglängder som sensorerna arbetar på. Framtida ”smarta vapen” kommer även de att utnyttja sensorer som kommer att vara påverkade av vädret och atmosfären.

Utifrån en användarens synvinkel: Hur kan de olika användarna av elektromagnetiska vågor utnyttja atmosfärens dämpning och brytningar för att få fördelar? För att kunna veta detta måste man ha en god insikt i vad det är som påverkar den elektromagnetiska vågens transmission. Hur är då utbildningsstatus idag? Vet användare av sensorer och system tillräckligt om systemen för att kunna utnyttja dessa på bästa sätt vid olika väder och atmosfäriska situationer?

Hur kan atmosfären påverka utbredningen av elektromagnetiska vågor i olika våglängdsområden? Vad i atmosfären påverkar de olika systemen? Hur skall man undgå att luras av sin egen sensor? Detta är frågor som jag skall försöka besvara i min uppsats.

2.2 Syfte:

Syftet med denna uppsats är att påvisa det taktiska behovet av att kunna och förstå hur vädret och atmosfäriska förändringar påverkar utnyttjandet av elektromagnetiska och elektrooptiska sensorer. Förståelsen för denna påverkan är av stor betydelse för att kunna utnyttja sensorer och system på bästa sätt men även för att kunna undvika att upptäckas av motståndarens sensorer och system.

Uppsatsen skall påvisa problemområden där man med rätt bakgrundkunskap kan förklara och förstå begränsningar i funktionen på de sensorer som man vill utnyttja.

Syftet är vidare att se till utbildningsbehovet för sensoranvändare i Försvarmakten. Ett utbildningsbehov som är kopplat till de förmågor som vi skall ha då vi i Försvarmakten skall verka i Sverige och internationellt.

2.3 Frågeställningar:

Uppsatsen syftar till att besvara följande frågeställningar:

- Hur påverkar atmosfären elektromagnetiska vågor av olika våglängder?
- Vilka vädertyper är speciellt problematiska för olika typer av sensorer?
- Vilka behov finns i utbildningen för att få en bättre kunskap om hur sensorerna fungerar vid olika vädertyper och atmosfärspåverkan?

2.4 Delfrågor:

Uppsatsen syftar till att besvara följande delfrågor:

- Vilka taktiska fördelar kan jag få om jag använder mina sensorer på ett rätt sätt?
- Hur skall man undgå att luras av sin egen sensor?

2.5 Avgränsningar och Målsättningar

2.5.1 Avgränsningar:

Jag kommer inte att behandla följande:

- reflexion från fysiska objekt (berg, träd mm).
- meteorologiska modeller eller TDA (tactical decision aids)
- hur sensorer påverkas av passiv och aktiv störning.
- mekanisk påverkan på sensorer som isbildning, vattendroppar på linser, mm.
- på grund av den begränsade tid (10 veckor) som är avsatt för uppsatsen så kommer jag inte att påvisa problemen genom egna praktiska prov.
- kommunikationssystem.

2.5.2 Målsättningar:

- Uppsatsen skall kunna läsas av taktiker som inte genomfört tekniskt basår eller motsvarande.
- Uppsatsen skall kunna ligga till grund för vidare studier i atmosfärspåverkan.

2.6 Centrala begrepp och ordförklaringar

- Vågutbredning: Fortplantning av en vågrörelse genom ett medium som för *mekaniska vågor* kan vara en gas, en vätska eller ett fast, elastiskt material. *Elektromagnetiska vågor* kan utbreda sig i vakuum, gas, vätskor och i fasta material. Vågor utbreder sig med för materialet karakteristisk hastighet. De kan böjas, brytas, reflekteras, polarisationsvridas och spridas. För all vågutbredning gäller sambandet $hastigheten = våglängden \cdot frekvensen$.³
- Elektromagnetiska vågor: Synligt ljus och radiovågor är exempel på elektromagnetiska vågrörelser. Hur olika de än kan tyckas för oss har alla elektromagnetiska vågor i många fall samma fysikaliska egenskaper: de bryts, böjs, reflekteras och sprids. De utbreder sig i vakuum med samma hastighet, $3 \cdot 10^8$ m/s. I andra medier är deras hastighet lägre och beroende av resp. mediums brytningsindex.⁴
- Fotoner: (av grek. *phas* "ljus"), *ljuskvantum*, det elektromagnetiska fältets minsta energikvantum (den minsta energimängd som kan överföras av elektromagnetisk strålning, t.ex. ljus).⁵
- Sensor: anordning som känner av absolutvärdet eller ändringen av en fysikalisk storhet som tryck, temperatur, flödes hastighet eller pH-värde eller intensiteten för ljus, ljud eller radiovågor och omvandlar informationen till en form som lämpar sig för ett datainsamlade system.⁶
- Atmosfären: (nylatin *atmosphae'ra*, av grek. *atmo's* 'ånga', 'dunst' och *sphai'ra* 'klot'), gashöljet kring jorden. Om gashöljet kring andra himlakroppar.⁷
- Taktik: (fr. *tactique*, av grek. *taktik.:* '(te'chn.:) 'konsten att ställa upp (soldater i lämplig slagordning)', av *ta'ssa* 'ställa upp'), i *militära* sammanhang läran om användningen av militära förband för att i strid

³Nationalencyklopedin på Internet, <http://www.ne.se>

⁴Ibid

⁵Ibid

⁶Ibid

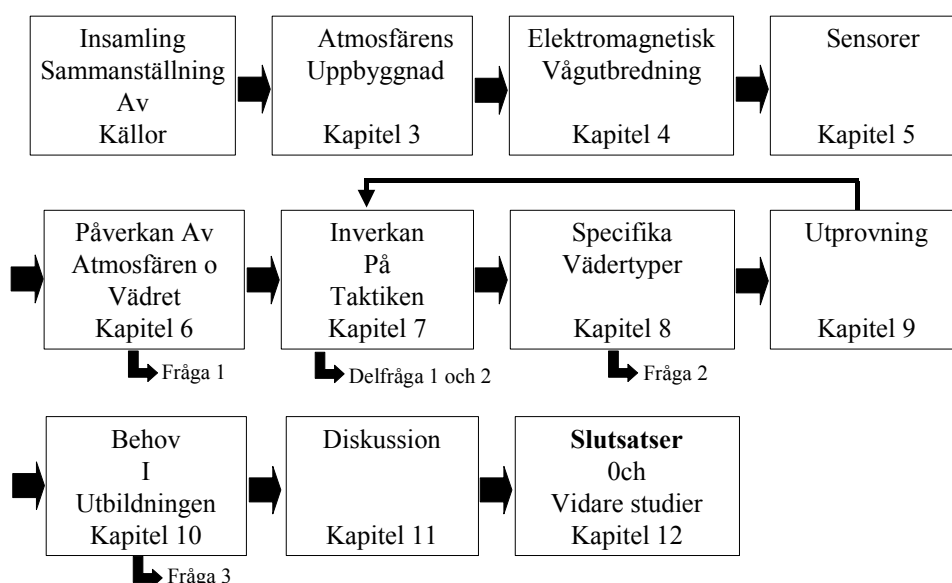
⁷Ibid

med eller under annan motverkan från en motståndare nå en lokal framgång, t.ex. att tillintetgöra, försvaga, fördröja eller störa honom, att ta eller hålla viktig terräng, att skydda egen verksamhet eller anläggning eller bekämpa motståndarens. Taktikens grundelement är *vapenverkan* (eld), *rörelse* och *skydd*. Taktisk framgång förutsätter en ändamålsenlig kombination av dessa tre element. Kombinationer i form av standardiserade och inexcercerade förfaringssätt benämns dock som regel *stridsteknik*.⁸

2.7 Metod, material och disposition

Metoden som jag utnyttjar är att se till olika atmosfärs- och väderförhållanden för att utifrån dessa påvisa begränsningar och problem med olika elektriska och optiska sensorer.

Figur 2. visar metod och uppsatsens disposition.



Figur 2 Metod och disposition

Metoden bygger på insamling och sammanställning av uppgifter om påverkan. Uppgifterna kommer jag att insamla från litteratur och forskningsrapporter samt information från Internet. Jag kommer också att utnyttja kunskaper och

⁸ Nationalencyklopedin på Internet

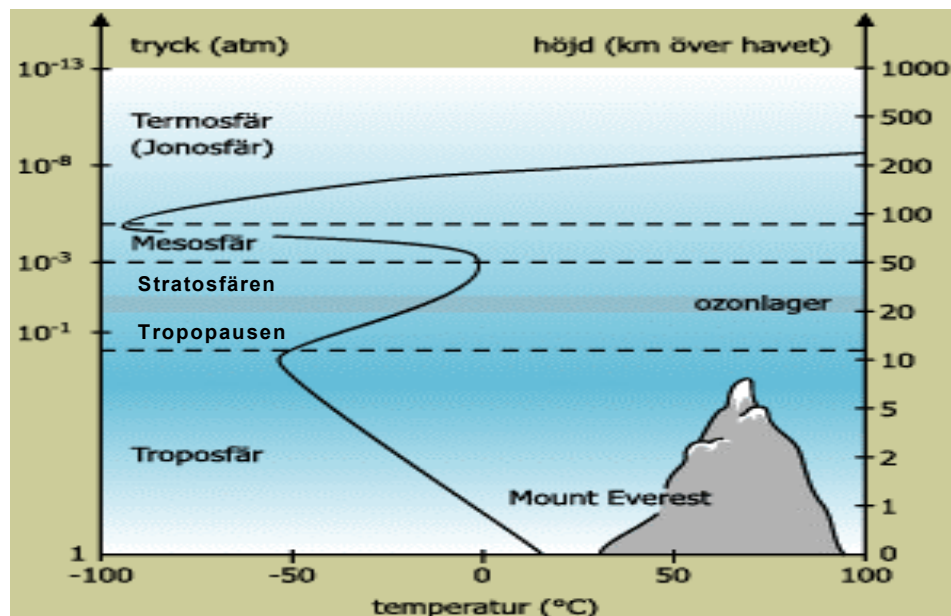
material som jag införskaffat under det tekniska basåret på chefsprogrammet med teknisk inriktning, ChP T 01-03.

Jag skall börja med att beskriva grunderna för atmosfärens uppbyggnad i kapitel 3. Jag fortsätter i kapitel 4 med att beskriva den elektromagnetiska vågen. I kapitel 5 visar jag på olika typer av sensorer och deras våglängdsområden. Kapitel 6 beskriver jag hur atmosfären och vädret påverkar. Här besvarar jag även fråga 1 i men frågeställning. Jag fortsätter i kapitel 7 med att visa på olika faktorer som kan påverka den taktiska användningen av de olika sensortyperna. Här drar jag också slutsatser som leder till kapitel 9 och besvarar mina två delfrågor. I kapitel 8 visar jag på olika specifika vädertyper med stor inverkan på sensorer. Kapitel 8 ger också svar på frågeställning 2. Vidare i kapitel 9 så tar jag upp slutsatserna i kapitel 7 och visar på behov och krav vid utprovning av sensorer. I kapitel 10 analyserar jag behovet av kunskap som behövs i Försvarsmakten för att kunna utnyttja sensorer på ett riktigt sätt. I kapitel 11 diskuterar jag behovet av kunskap om och utbildning i atmosfärspåverkan. Uppsatsen kommer i kapitel 12 att avslutas med de slutsatser som jag drar utifrån bakgrundsfaktorerna och diskussionen. I kapitlet föreslå jag också vidare studier som kan vara intressanta för att utveckla ämnet vidare.

3 Atmosfären

3.1 Atmosfärens uppbyggnad

Luftskikt i atmosfären



Figur 3 Luftskikt i atmosfären⁹

Atmosfären varierar med höjden och man kan dela in den i ett antal horisontella skikt. Närmast jorden och upp till cirka 11000 meter ligger troposfären. Troposfärens översida kallas tropopausen och ligger på olika höjder beroende på årstiden, vädret och latituden. Inom troposfären avtar temperaturen normalt med ökad höjd, men speciellt i de lägre luftlagren kan detta variera. Troposfären är klimatets och väderlekens region och innehåller huvuddelen av atmosfärens gasmassa och vattenånga. Ovanför tropopausen ligger stratosfären. I den lägre delen av stratosfären närmast tropopausen är temperaturen konstant med höjden och i de övre delarna så ökar temperaturen med höjden. Stratosfären ligger mellan cirka 11000 meter och 50 kilometer. De ovanliggande skikten, mesosfären, jonosfären, termosfären och exosfären, har en tunn koncentration av gaser och partikeltätheten är låg.

3.2 Atmosfärsegenskaper

Atmosfären är sammansatt av torr luft, vattenånga och aerosolpartiklar. Atmosfären förändras ständigt och påverkas av strålning från solen, kemiska

⁹ Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Atmosfären, www.vaxten.slu.se/atmosfaren/luftskikt.htm

processer och utsläpp av gaser och partiklar från både naturliga källor och industrier.¹⁰ Atmosfärens egenskaper varierar starkt.

Den torra luften består av ett antal olika gaser. De vanligaste gaserna som finns i de nedre luftlagren är kväve, syre, argon, koldioxid. Dessutom finns ett antal andra gaser i små mängder. Gaserna är normalt homogent blandade i atmosfären upp till cirka 80 kilometers höjd. Dess sammansättning är i stort sett lika överallt bortsett från den växlande mängden vattenånga och föroreningar.

Trycket varierar från en atmosfärs tryck vid havsytan till några få tiondels atmosfärer vid toppen på troposfären. Pga. trycket så är densiteten hos luften högst närmast jordytan och därför finns även den högsta molekylära spridningen i troposfären.

3.3 Atmosfären och väder

Varje dag när du vaknar så har du den där, atmosfären. Den påverkar alla. Dess utseende skiftar beroende på det vi i vardagslag kallar väder. Atmosfären och vädret påverkar oss på flera sätt. Gråa dagar kan göra oss deprimerade och solsken kan göra oss glada. Men atmosfären påverkar inte bara oss som människor, utan även de hjälpmedlen vi utnyttjar för att spana och upptäcka mål samt saker i vår omgivning som vi vill ha kontroll på.

Väder är det fysikaliska fenomenet som vi finner i den lägre delen av atmosfären från jordytan och cirka 10 000 meter upp. Vädret beror på olika processer som verkar i dessa luftlager. Strålningsprocesser, luftens rörelse och vattenångeprocesser.

De viktigaste dämpningsfaktorerna i atmosfären finns just i troposfären. (Dvs. vatten (H₂O), koldioxid (CO₂), moln, dimma och aerosoler). Vatten påverkar mest i de lägre nivåerna speciellt över hav.

3.3.1 Temperatur

Temperaturen varierar i atmosfären och ger upphov till förändringar. Bland annat så påverkar temperaturen luftens brytningsindex. Detta påverkar hur en elektromagnetisk våg bryts när den rör sig genom atmosfären. Ett annat fenomen är att högre temperaturer binder mer vattenånga. Detta är viktigt att tänka på då vi idag skall kunna verka internationellt på olika platser på jorden med våra sensorer.

Temperaturen i troposfären minskar med ökande höjd. I normalfallet så avtar temperaturen med ca 6,5 grader per 1000 meters höjddökning. Men variationer i

¹⁰ Hågård, Arne; *Optisk Transmission i atmosfären*, Kurskompendium Rubusta Optroniksystem (Preliminär), FOI 2002, s. 3-4

temperaturavtagandet förekommer och detta kan skapa intressanta brytningsfenomen.

Temperaturen och solstrålningen i atmosfären medför också att luften nära jordytan värms upp och ger konvektion och vind. Vinden skapar turbulens och turbulensen orsakar temperaturfluktuationer därmed förändringar i luftens brytningsindex.

Temperaturen har i stor grad en påverkan på vädret.

3.3.2 Vattenånga

Vattenånga har stor betydelse för atmosfärens egenskaper. Vattenångan påverkar vädret i allmänhet och de optiska egenskaperna speciellt. Koncentrationen varierar beroende på höjd och vädertyp. Den mesta av vattenångan finns i troposfären och är inte homogent blandad. Vattenmolekylen dipolform (H_2O), har påverkan på många områden i det elektromagnetiska spektret, det visuella, infraröda och vid millimetervåglängder.¹¹ Redan under andra världskriget upptäcktes att man med hjälp av radar kunde följa vattnet i dess tre faser, vattenånga, flytande och is, i atmosfären¹². I 3-10 cm bandet så såg man att vatten i dess flytande form påverkade mer medan is påverkar när man börjar komma ner i millimeter våglängder.

3.3.3 Partiklar

Aerosolpartiklarna, dvs. stoftpartiklar och smådroppar, svävar fritt i luften och har en stor inverkan på atmosfärens optiska transmission. Den sikt som man upplever utanför nederbörd och dimma beror till största delen på mängden av aerosolpartiklar. Aerosolpartiklarna finns i första hand i ett gränsskikt nära marken (0-2 km) och inverkar ofta starkt på framförallt den optiska transmissionen. En stor del av partiklarna är hygroskopiska och suger åt sig vatten vilket gör att de växer när fuktigheten ökar. När de hygroskopiska partiklarna växer till stora vattendroppar eller iskristaller så bildas dimma, moln och nederbörd.

Tillståndet i atmosfären undergår i våra dagar vissa förändringar som en följd av de skadliga substanser som människan genom sin teknologi sprider i lufthavet; det rör sig bland annat om koldioxid, freon, svavelväte, kväveoxider och luftgrumlande stoft av olika slag. Detta påverkar i sin tur atmosfärens egenskaper och kommer följaktligen även att påverka sensorer.

Koldioxidkoncentrationen i atmosfären har en stor påverkan på IR-transmissionen. Dock är dess koncentration konstant och påverkas inte av väder till skillnad från vattenånga.

¹¹ US Army Aberdeen Test Center

¹² Ibid

3.4 Meteorologiska mätningar

Meteorologiska mätningar genomförs dagligen på olika platser i vårt land och runt om i världen. Mätstationer mäter grundläggande meteorologiska parametrar som temperatur, luftfuktighet, tryck, vind, molnhöjd och sikt. Men mätningar som hur stabil irradiansen (dvs. effektätheten [W/m^2]) är, små särdrag i vinden mm mäts inte som standard vid nationella väderstationer. Vertikal temperaturgradient mäts som rutin men endast vid de få radiosondstationerna vid Luleå, Frösön, Sundsvall, Visby och Landvetter. Information om detta kan fås från den militära vädertjänsten.

En viktig fråga är hur väderunderlaget skall kunna distribueras till användare av olika sensorer och vapensystem. Utnyttjandet i det nätverksbaserade försvaret av väderinformation, där olika användare utnyttjar samma information för olika uppgifter, kommer att påverka behovet av mer exakta och frekventa mätningar. Dock kommer denna fråga inte att behandlas i denna uppsats.

4 Elektromagnetiska vågors utbredning

I detta kapitel kommer jag att beskriva vågutbredning av elektromagnetiska vågor. Synligt ljus och radiovågor är exempel på elektromagnetiska vågrörelser. Hur olika de än kan tyckas för oss har alla elektromagnetiska vågor i många fall samma fysikaliska egenskaper: de bryts, böjs, reflekteras och sprids.

4.1 Elektromagnetiska vågor

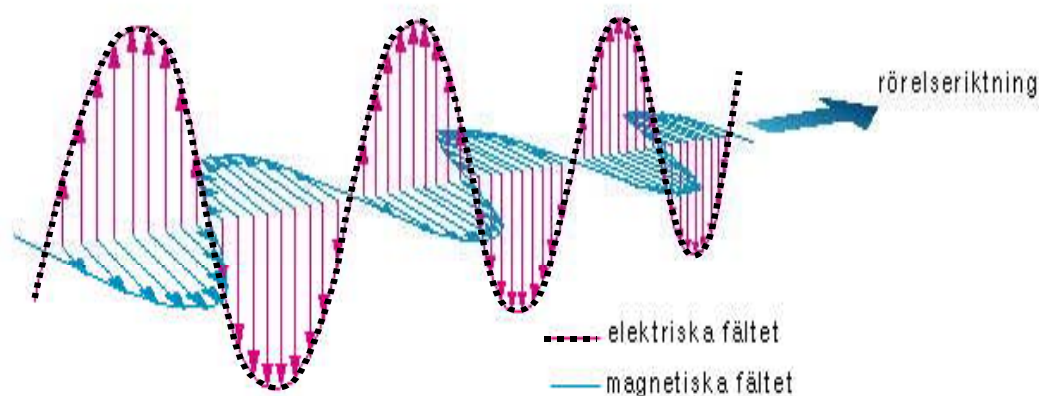
När energi strålar ut i rymden, vare sig det är värme, ljud eller ljus, så förflyttar den sig iväg från en källa med en hastighet som styrs av det medium som den förflyttar sig i. Denna förflyttning av energi kallas utbredning.

Den elektromagnetiska strålningens växelverkan med materia sker genom utbyte av kvanta, *fotoner*, som ger energiöverföring som en vågrörelse¹³. Elektromagnetisk strålning karakteriseras av tre storheter: energi, utbredningsriktning och polarisation.

Den elektromagnetiska vågens energiutbredning sker i två separata fält, ett elektriskt och ett magnetiskt, därav namnet elektromagnetisk våg. De olika fälten påverkar varandra, ett skiftande elektriskt fält skapar ett magnetiskt fält och ett skiftande magnetiskt fält producerar ett elektriskt fält. Interaktionen mellan de skiftande elektriska och magnetiska fälten tillåter den elektromagnetiska vågen att underhålla sig själv när den färdas genom ett transmissionsmedium. Polarisationen definieras av hur det elektriska fältet orienterar sig i rymden, horisontellt, vertikalt eller cirkulärt. T.ex. om den elektriska fältvektorn är horisontell så definieras polarisationen som horisontell.

I en fri elektromagnetisk våg är de elektriska och magnetiska fälten kopplade till varandra. Elektriska och det magnetiska fältet varierar med samma frekvens och i fas till varandra. De olika fälten är vinkelräta mot varandra och den elektromagnetiska vågen utbreder sig med en utbredningsriktning som i ett förlustfritt medium är vinkelrät mot fältkomponenterna. Hastigheten beror av det medium som den elektromagnetiska vågen passerar, t.ex. atmosfären. I vakuum så utbreder sig den elektromagnetiska vågen med ljusets hastighet, ca $3 \cdot 10^8$ meter per sekund.

¹³ Nationalencyklopedin på Internet



Figur 4 Bilden visar det elektriska fältet vertikalt och det magnetiska fältet horisontellt.¹⁴

När den elektromagnetiska vågen träffar ett föremål så reflekteras, sprids och absorberas energin. Reflexionen skapas genom att den infallande vågen skapar strömmar i ytan på det föremål som träffas och dessa strömningar skapar en elektromagnetisk våg som fortplantar sig i riktning från föremålet. Spridning sker genom att ytorna som belyses inte är vinkelräta mot den infallande vågen och reflekterar ut signalen i flera olika riktningar. Absorption sker i det material som föremålet består av och energin i den infallande vågen omvandlas bland annat till värme. Olika föremål reflekterar, sprider och absorberar elektromagnetiska vågor olika. Som exempel, inom våglängdsområdet för radar, så reflekterar och sprider en kopparplatta den elektromagnetiska vågen nästan utan förluster medan en tegelvägg absorberar stora delar av energin. Inom det optiska våglängdsområdet så påverkar bland annat ytans beskaffenhet, t.ex. färg, hur mycket av den elektromagnetiska vågen som reflekteras eller absorberas. Jämför reflexionen från en svart yta med en spegel. Nästan alla föremål reflekterar, sprider eller absorberar elektromagnetiska vågor på något sätt, men storleken av energiförlusten beror på det material som föremålen består av och beskaffenheten på föremålets yta. Detta gäller även atmosfären där partiklar och vattenånga påverkar utbredningen av den elektromagnetiska vågen genom spridning, absorption och reflexion.

¹⁴ Nationalencyklopedin på Internet

5 Sensorer

Olika sensorer utnyttjar olika frekvensområden i det elektromagnetiska spektret från elkraft och telefoni på lägre frekvensskalan via radiovågor, mikrovågor och synligt ljus upp mot röntgenstrålning och gammastrålning. Jag kommer i detta kapitel att beskriva frekvenser och våglängder för radar, optronik och laser.

5.1 Radar

Radarn arbetar med radiovågor. Lägsta användbara frekvensen för ett radarsystem är runt 1 MHz, men normalt vid långvågig radar så nyttjas 3 till 30 MHz, dvs. våglängder mellan hundratalet meter ner till tiotalet meter. Det maximala övre frekvensområdet ligger på cirka 300 GHz, dvs. millimeter våglängder, men man utnyttjar idag frekvenser normalt från 1 GHz upp till 40 GHz, våglängder på tiotalet centimeter till strax under en centimeter¹⁵. I de övre frekvensområdena är atmosfärspåverkan hög. Det finns dock ”fönster”, där dämpningen av radiovågorna är mindre och som går att utnyttja, men räckvidden är begränsad.

Spaningsradarsystem arbetar ofta med en låg elevation och med förhållandevis långa våglängder för att söka efter mål. Radarns radiovågor utbreder sig genom jordens atmosfär nära jordytan, det område där de flesta problemen för radarn uppträder¹⁶. Detta gäller över såväl hav som land. Nära jordytan påverkar jordytans krökning och hinder som berg, utbredningen av radarvågen och radarns möjlighet att upptäcka mål. I de lägsta lagren är också atmosfären som tätast och mest turbulent samt där förekommer de största variationerna i variabler som påverkar vågutbredning.

Radarsystem för inmätning och följning använder kortare våglängder för att få en bättre upplösning av målet. Det medför även att radarn blir mer påverkad av atmosfären och väder.

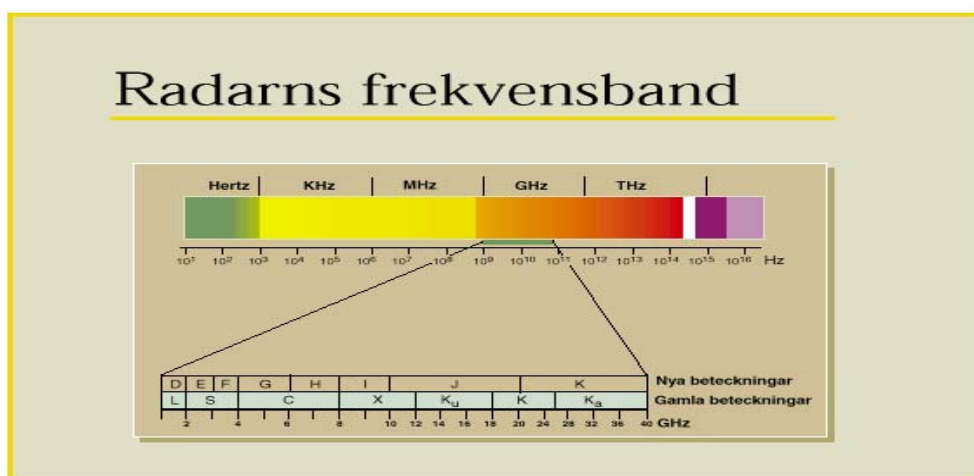
Dålig sikt, moln och nederbörd påverkar radarsystem olika beroende på våglängd. Radar med relativt långa våglängder har liten påverkan av vädret. Det är när man börjar använda höga frekvenser, dvs. korta våglängder, som man får en större inverkan av vädret och atmosfärförändringar. Häftigt regn kan ha stor inverkan på räckvidden för en radar på 2 centimeter- eller 3 centimeter bandet. Regn syns även i 6 centimeter bandet, där många väderradarsystem arbetar. Det är radarns våglängd i förhållande till vattendropparnas storlek som påverkar radartransmissionen, ju längre våglängden är relativt vattendropparnas storlek, desto mindre påverkan vid en viss regnintensitet (mm/timme).

¹⁵ Kingsley, Simon och Quegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, 1999 by SciTech Publishing, Inc, Mendham, NJ 07945, s. 171

¹⁶ Ibid, s. 5-6

5.1.1 Frekvensområden

De frekvenser som är aktuella inom radarområdet ligger vanligtvis mellan 1 och 40 GHz. Lägre frekvens, långa våglängder, ger en större räckvidd och påverkas mindre av atmosfären och vädret vad gäller dämpning av radarsignalen. Radar med lägre frekvens används främst för spaning och försök till tidig upptäckt. System med högre frekvens nyttjas främst för att få en hög inmättningsnoggrannhet för ledning av olika vapensystem. På högre frekvenser så påverkar dämpningen i atmosfären radarvågans utbredning.



Figur 5 Radarns frekvensband¹⁷

5.2 Optronik (ej LASER)

Optroniksystem bygger på utnyttjandet av ett föremåls förmåga att emittera och reflektera strålning. Optroniksystem arbetar normalt på våglängdsområdet från ultraviolett 0,05 μm till långvågig termiskt infraröd 14 μm . Våglängderna delas upp i flera områden inom detta intervall.

Optronik omfattar bredden från ultraviolett via, för det mänskliga ögat, synligt ljus till infrarött.

Optiska sensorer används framförallt för spaning, målinmätning och följning. Exempel på optiska sensorer kan vara bildförstärkare, TV-kameror, värmekameror, målsökare.

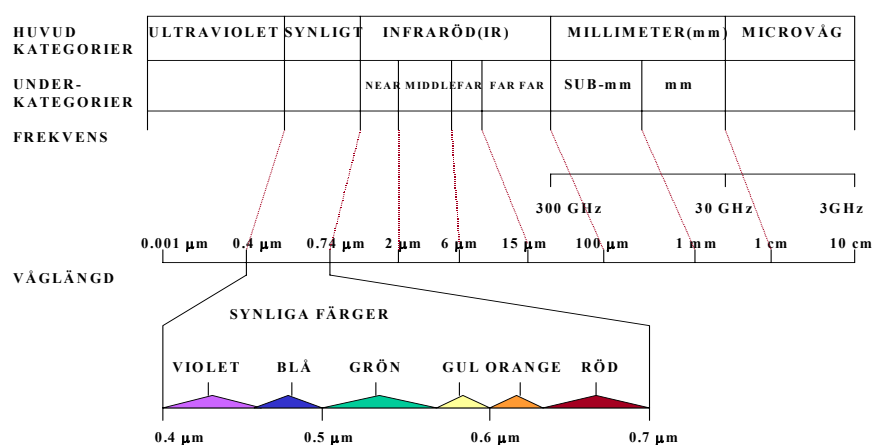
Optiska system påverkas av förändringar i atmosfären men också av olika ljusförhållanden och täthet i nederbörd.

¹⁷ Telekrig – lärobok för armén, 1997 års utgåva, 1997 Försvarsmakten, Stockholm, Enator Försvarsmedia AB, (M7746-168001), s 142

Night Vision Goggles (NVG) som använder bakgrundsljuset och förstärker detta för att användaren skall kunna ”se” i mörker påverkas på samma sätt som övriga optroniksystem av väder.

5.2.1 Våglängder

Optiska system verkar inom våglängdsområdet från 0,05 μm till 14 μm . I figur 6 kan man se våglängdsuppdelningen mellan ultravioletta, synliga och infraröda våglängder.



Figur 6 Våglängder för optiska system¹⁸

5.3 LASER

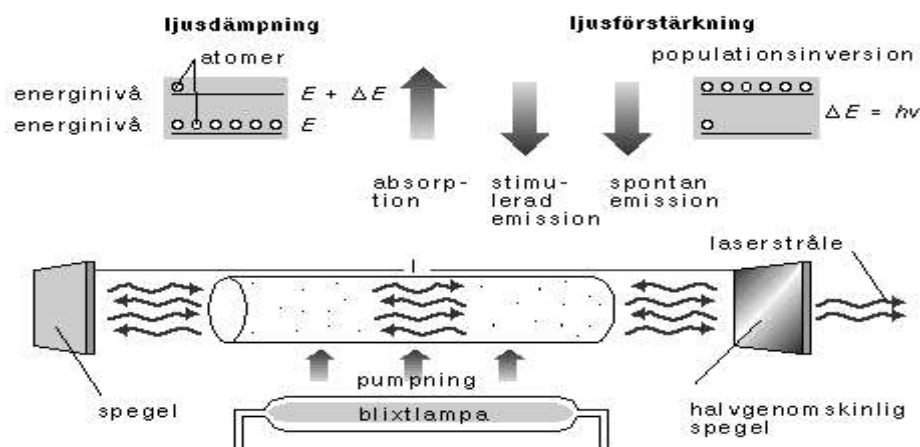
LASER är en förkortning för, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, på svenska, ljusförstärkning genom stimulerad emission av strålning.

Laser används bland annat för avståndsmätning, målutpekning och som ledstråle för laserstyrda vapen. Laser kan också användas för att förstöra annan optisk utrustning med hjälp av laserenergi.

Lasern är ett optiskt förstärkt ljus som genom så kallad ”pumpning” tillförts energi. Lasern består av ett aktivt medium, som är placerat mellan två speglar. Spegelarrangemanget kallas för en laserkavitet. Den ena spegeln är halvgenomskinlig för att släppa ut i kaviteten genererad laserstrålning. Energi tillförs med en blixtlampa eller annan laserpuls. Det aktiva mediet består av atomer eller molekyler med energinivåer som markerats i bilden nedan.

¹⁸ Davidson, Kenneth L., *Estimation of Atmosphere Effects on Rf/EO propagation*, kursmaterial NPS, Monterey California, 2002

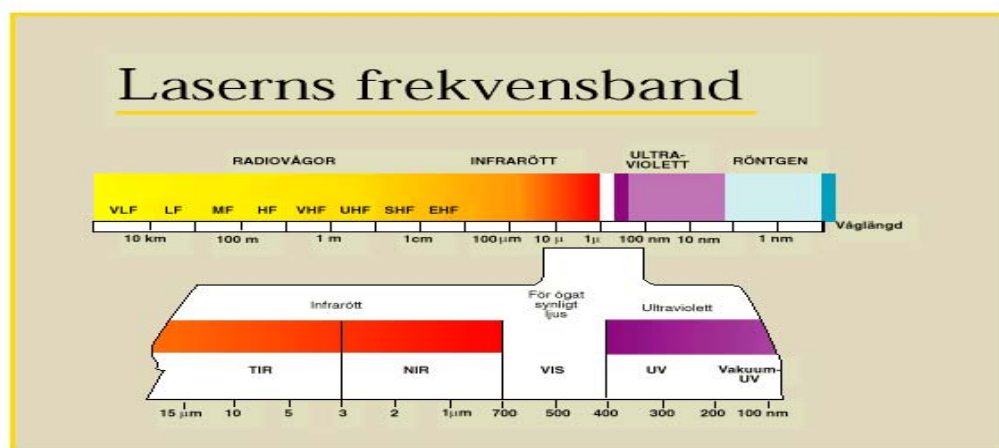
Figur 7. visar en principskiss över hur förstärkningen av laserljuset går till. Övre delen på figuren visar de olika energinivåerna och hur ljusförstärkningen genomförs. Undre delen av figuren visar en principuppbyggnad av en laser.



Figur 7 Principskiss på laserfunktionen¹⁹

5.3.1 Våglängder

Laserns våglängder ligger i stort inom samma våglängdsområde som optiska och optronik system. Normalt så kan man hitta lasrar i våglängdsområdet 100 nm till 15 μm .



20

Figur 8 Laserns frekvensband

¹⁹ Nationalencyklopedin på Internet

²⁰ *Telekrig – lärobok för armén*, 1997 års utgåva, 1997 Försvarsmakten, Stockholm, Enator Försvarsmedia AB, (M7746-168001), s 250

Det finns flera typer av lasrar som kan utnyttjas i olika system. Frekvensdubblade Nd:YAG lasrar, Rubinlaser, Diodlasrar, Nd:YAG-laser, Ögonsäkra lasrar och CO₂ –lasrar är exempel på versioner av laser med olika våglängder.

Vanliga LASER våglängdsområden²¹

<u>Typ:</u>	<u>Våglängd</u>
Frekvensdubblade Nd:YAG lasrar	532 nm
Rubinlaser	694 nm
Diodlasrar	≈700–950 nm
Nd:YAG-laser	1064 nm
Ögonsäkra lasrar	1,4 μm
CO ₂ –lasrar	≈10 μm

²¹ *Telekrig – lärobok för armén*, s 250

6 Hur påverkar atmosfären och väder elektromagnetiska vågor av olika våglängder?

6.1 Påverkande atmosfärsfaktorer

Atmosfärens uppbyggnad påverkar de elektromagnetiska vågorna beroende på den våglängd eller frekvens som vågorna har. Radar påverkas mer av atmosfärens vertikala förändringar i brytningsindex än optiska system medan optiska system påverkas mer av moln och dimma. Kortare våglängder, dvs. högre frekvenser, påverkas mer av väderfenomen än längre våglängder medan fenomen i atmosfärens skiktning påverkar längre våglängder mer än korta.

6.2 Radar

Atmosfären kan påverka radiovågor genom spridning, dämpning, brytning och fördröjning. Radarvågor påverkas inte markant av olika väderfenomen. Intensivt regn och nederbörd påverkar dock radarn i synnerhet för radar i 2 cm och även 3 cm banden. Den huvudsakliga påverkan kommer ifrån skiftningar i atmosfären och olika skikt som påverkar hur radarvågorna bryts.

6.2.1 Spridning

Spridning av en radiovåg är oftast försumbar. Inom VHF området (30-300 MHz) så har man utnyttjat atmosfärens inverkan för att skapa säkra och tillförlitliga långdistansförbindelser, så kallade "troposcatter"-system. Denna spridning utnyttjas idag bland annat av radioamatörer för att kommunicera på långa avstånd.

På högre frekvenser så påverkar spridning endast speciella bredbandiga system där radiovågen sprids olika för olika frekvenser. Denna form av spridning medför framförallt distorsion i spektret hos den överförda signalen²².

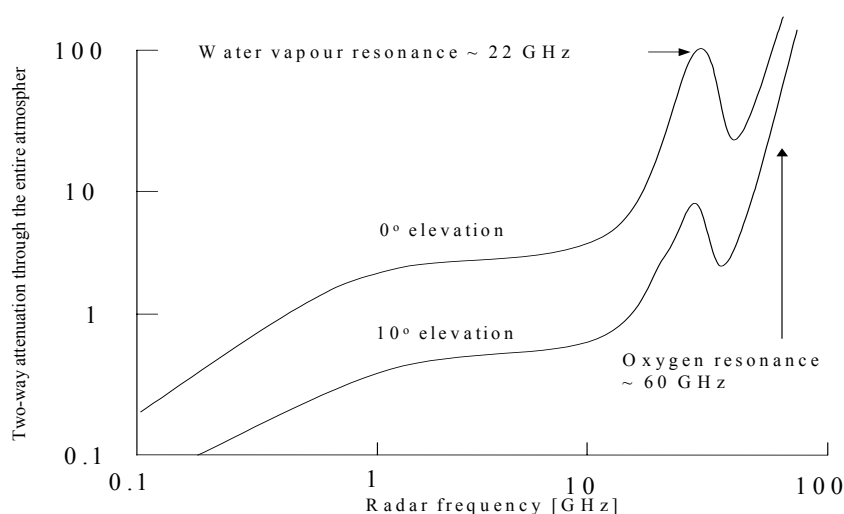
6.2.2 Dämpning

Radarvågor absorberas när de passerar annat medium än vakuum. Delar av radiovågen omvandlas till värme. Dämpningen påverkar en radiovåg framförallt vid frekvenser över 10 GHz. Men dämpningen kan även påverka vid lägre frekvenser om man utnyttjar systemet för att skapa lång räckvidd vid låg elevationsvinkel. Den låga elevationsvinkeln medför att radarloben kommer att passera genom den nedre delen av atmosfären där den största mängden vattenånga finns. I den nedre delen av atmosfären är också turbulensen som störst och detta medför att luften rörs om. Partiklar och vattenånga blandas och skapar ett skikt med större dämpning.

²² Kingsley, Simon och Quegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, s.173

Dämpningen är beroende av lufttrycket. Lufttrycket avtar med ökad höjd vilket medför att den högsta dämpningen finns i troposfärens lägre delar där vädret och turbulens uppträder. Det är i detta skikt de flesta idag använda radarsystem verkar. Dämpningen påverkas också av nederbörd. Regn och snö påverkar dämpningen med en nästan linjärt beroende på ökning av nederbörd. Det vill säga ökad nederbörd ger en större dämpning.

Figur 9. visar dämpningen vid olika frekvenser. Övre kurvan visar dämpningen genom atmosfären vid 0 graders antennlevation och den undre kurvan visar dämpningen genom atmosfären vid 10 graders antennlevation. Här kan man se att dämpningen är nästan konstant i frekvensintervallet 1-10 GHz för att sedan snabbt öka²³.



Figur 9 Radarfrekvensdämpning²⁴

6.2.3 Brytning

Ett av de stora problemen vid utnyttjande av radar är brytning av radarvågen. Radarvågen utbredning är framförallt känslig för vertikala förändringar i fuktighet och temperatur. (Horisontella skillnader i den vertikala variationen av brytningsindex kan dock ha mycket stor betydelse, exempelvis vid en kustlinje eller där vattentemperaturen varierar horisontellt²⁵.) Brytningen beror på att atmosfären kan vara skiktad i skikt med olika brytningsindex. De olika brytningsindexen beror på temperatur, lufttryck och luftens innehåll av vattenånga²⁶. Störst påverkan ger deltrycket från vattenången och minst kritiskt är det totala lufttrycket.

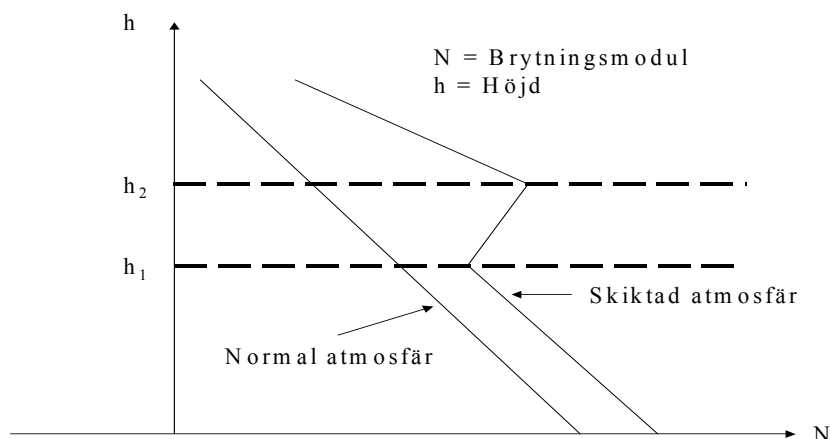
²³ Kingsley, Simon och Quegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, s. 174

²⁴ Ibid, s. 174

²⁵ Ove, Gustavsson, Hågård, Karlsson, Persson, *Vågutbredningsanalys för elektrooptiska system, En förstudie*, Användarraport FOI, juni 2002, FOI-R—0513—SE, ISSN 1650-1942, s. 22

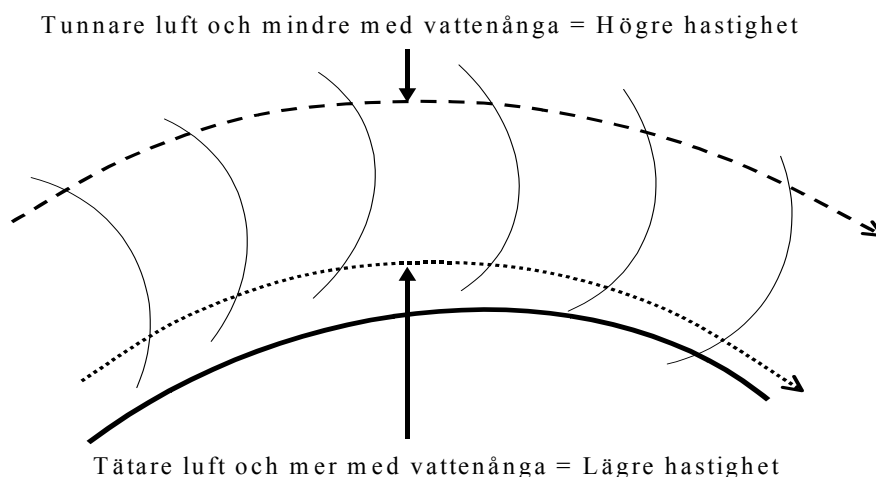
²⁶ Kingsley, Simon och Quegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, s. 174

Figur 10. visar en schematisk bild på hur brytningsindex kan förändras vid skiktbildning. (Eftersom brytningsindex för luft är mycket nära ett (1) används beteckningen ”brytningsmodul N”. Brytningsmodulen definieras enligt följande: $N = (n - 1) \cdot 10^6$, där n är brytningsindex.)



Figur 10 Brytningsmodul N i skiktad atmosfär²⁷

Radarvågen rör sig snabbare ju mindre fuktighet det finns i atmosfären. Detta kan, om fuktigheten minskar med höjden, medföra att radarvågen böjs ned mot jordytan. Det beror på att radarvågorna i den så kallade vågfronten går fortare i sin övre del och långsammare i sin nedre. Lägre luftfuktighet medför ett lägre brytningsindex. Under normala atmosfäriska förhållanden är brytningsindex negativt med stigande höjd, grovt sett linjärt under en kilometer, och medför att radiosignaler böjer nedåt²⁸. Figur 11. visar hur vågfronten böjer av p.g.a. att luften blir tunnare med ökad höjd.

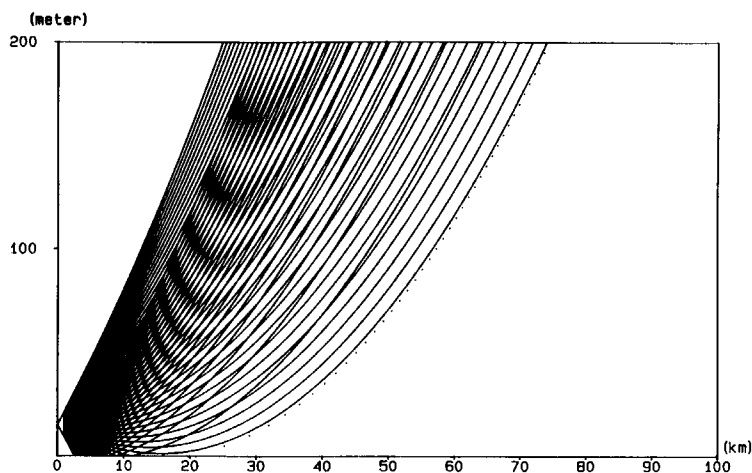


Figur 11 Principbild vågfrontens avböjning

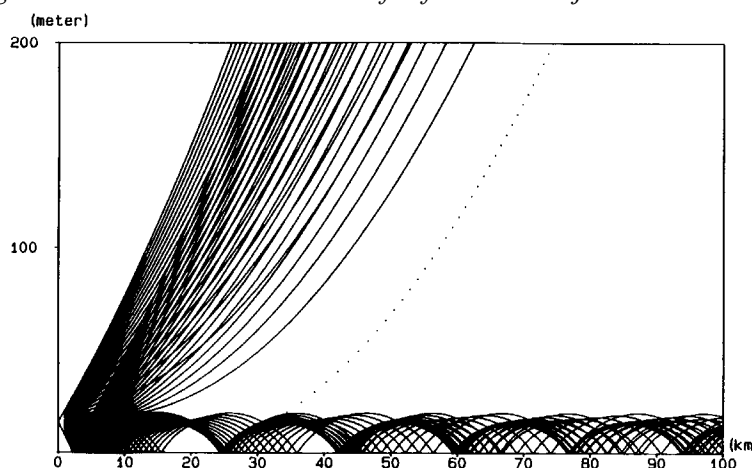
²⁷ Ahlin, Lars, *Kommunikationssystem och Teleskyddsmetoder*, Kompendium, Institutionen för Informationsöverföring, FOI Ledningssystem, Mars 2002, Kurskompendium Rubusta sambandssystem FOI Linköping 2002, kap 3 s. 41

²⁸ Kingsley, Simon och Quegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, s. 175

Figur 12, visar ett exempel med normal utbredning och figur 13, visar ett exempel med ledskikt. Vid normal utbredning följer radarstrålen en speciell strålbana som är beroende på radarantennens elevation och höjd.



Figur 12 Strålbana i normalatmosfär för anten nhöjden 15 m.²⁹



Figur 13 Strålbana i troposfären med ett ytbaserat ledskikt 0 - 20 m för anten nhöjden 15 m.³⁰

Vid onormal utbredning så ”stannar” radarvågen under ledskiktet och fortplantar sig längs jordytan. Den prickade linjen visar den så kallade radiooptiska horisonten, dvs. den lägsta höjd radarstrålarna når till vid normala förhållanden.

Troposfären förändras snabbare vertikalt än horisontellt vad det gäller brytningsindex. Därför är förändringar av brytningsindex vertikalt viktigast.

²⁹ Ladell, Lars, Strålbaneberäkning och radarräckvidd. Ray tracing and radar range. Linköping, FOA 1989, 39 p.(FOA C 30557-3.5)

³⁰ Ibid

6.2.4 Fördröjning

Fördröjning uppkommer på grund av att radiovågor rör sig långsammare i luft än i vakuum. Detta kan påverka avståndsinmätningen. Fördröjning påverkar också inmätning med vapenlokaliseringssystem med radar som använder framförallt kortare våglängder. Detta problem kan till viss del kalibreras bort men effekten finns då man inte alltid vet exakta väderförhållanden.

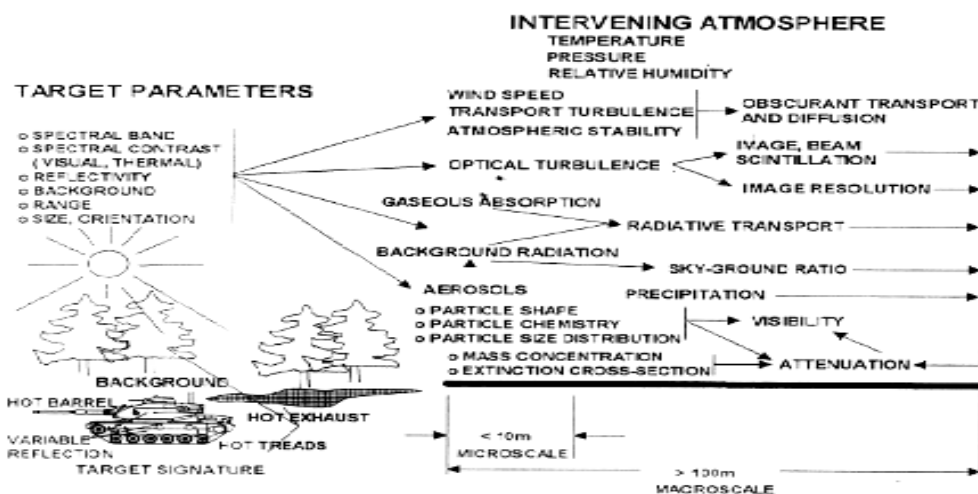
6.3 Optronik

Optiska och optroniska system påverkas av atmosfären och den aktuella väderleken. De påverkas också av händelser på stridsfältet som brandrök mm.

Ett av de stora problemen med optiska system är att mätningar vid ett tillfälle inte alltid är överförbar till ett annat tillfälle med liknande förhållanden. Detta kan ge oväntade problem.³¹

Meteorologiska förhållanden påverkar infraröda sensorer så mycket att meteorologer kan använda bilder från infraröda system för att studera atmosfären från satelliter. Väderförhållanden antingen ökar eller minskar mål-bakgrund kontrasten i ett komplicerat mönster.³²

Figur 14. visar parametrar som påverkar sensorerna. Atmosfären påverkar den optiska strålningen genom spridning, absorption, emission, turbulens och brytning.



Figur 14 Väderpåverkan på IR och Optiska system³³

³¹ US Army Aberdeen Test Center

³² Ibid

³³ Ibid

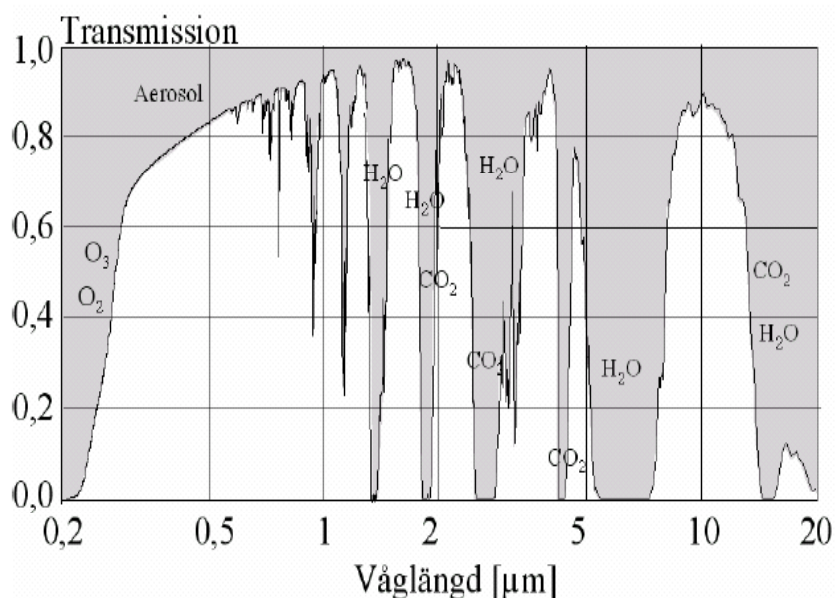
6.3.1 Spridning

Spridning sker främst mot molekyler och aerosolpartiklar som orsakar dämpning (extinction/utsläckning)³⁴. Detta orsakar kontrastnedsättningar och strålningsförluster.

6.3.2 Absorption

Absorption sker i gaser och innebär att strålning omvandlas till bunden energi i molekyler. Vid absorption omvandlas strålningsenergin till annan energiform, så att molekylernas energitillstånd ändras³⁵. Detta orsakar dämpning av den optiska strålningen. Det är främst vattenånga, bl.a. dimma och moln samt koldioxid som dämpar IR-strålningen. Vid våglängder över 14 μm påverkar luftens innehåll av koldioxid starkt men även vattenånga har stor inverkan. Vid kortare våglängder, ner mot 0,7 μm , så har vattenången störst inverkan. Under 0,4 μm , i det ultravioletta området, påverkar ozon luftens förmåga till transmission. I det visuella området, mellan 0,4 till 0,7 μm , påverkar vattenången sikten i form av dimma och moln.

Figur 15. visar de ”fönster” i våglängdsområdet som kan utnyttjas för optiska system. I de olika fönstren är dämpningen av den optiska vågen mindre och kan därför användas för transmission. Figuren visar i grova drag absorptionsband och transmissionsfönster.



Figur 15 Absorptionsspektra som visar absorptionsband och transmissionsfönster.³⁶

³⁴ Hågård, Arne; *Optisk Transmission i atmosfären*, s.1

³⁵ Ibid

³⁶ Ove, Gustavsson, Hågård, Karlsson, Persson, *Vågutbredningsanalys för elektrooptiska system, En förstudie*, s. 11

6.3.3 Emission

Emissionen från föremål medför kontrast i IR-området. Dessa temperaturkontraster utnyttjas av IR-system. Väderfenomen som snö, regn och vind har en kylande och temperaturutjämnande effekt som medför att IR-system påverkas. ”Vackert” väder med solinstrålning värmer olika föremål olika beroende på material. Olika material behåller värmen olika länge och det påverkar bland annat valet av material i soldatens utrustning och stridsfordon.

I atmosfären ger emission från gaser bakgrundstrålning. En gas, som absorberar starkt vid en viss våglängd, ger också stark emission vid samma våglängd. Emissionen ger upphov till kontrastnedsättning och klotter.

6.3.4 Turbulens

Turbulens uppkommer på grund av förändringar i temperatur (uppvärmning) och vindar. Den medför att brytningsindex i atmosfären förändras (fluktuerar). Turbulensen rör också upp partiklar och vattenånga i atmosfären och detta medför bildskärpenedsättning. När optisk strålning passerar genom turbulent atmosfär, böjs strålarna av på ett slumpmässigt sätt, vilket kan orsaka scintillation (fluktuationer i en stråle) eller bildförsämring i en kamera

6.3.5 Brytning

Brytning av den optiska vågen i atmosfären medverkar till vinkelfel³⁷. Brytningen kan bland annat medföra att det uppkommer hägringar. Brytningen medför också att skärpan i bilden hos den utnyttjade sensorn försämras.

6.4 LASER

Atmosfären påverkar lasern med samma fenomen som vid övriga optiska och optroniska systemen med spridning, absorption, emission, turbulens och brytning.

6.4.1 Spridning

En fördel med en laserstråle är att den har en koncentrerad energi och ljusbild. Detta utnyttjas för inmätning och utpekning. Atmosfären orsakar spridning av energin och den koncentrerade ljusbilden försämras så att man tappar energi. Spridning sker främst mot molekyler och aerosolpartiklar som orsakar

³⁷ Hågård, Arne; *Optisk Transmission i atmosfären*, s. 1

dämpning (extinction/utsläckning)³⁸. Detta orsakar kontrastnedsättningar och strålningsförluster. En laserstråle sprids och förlorar energi.

6.4.2 Absorption

När en laserstråle passerar genom atmosfären så påverkas den av absorption. Absorption sker i gaser och innebär att strålning omvandlas till bunden energi i molekyler³⁹. Detta orsakar att laserstrålen dämpas.

6.4.3 Emission

Emission från gaser i atmosfären ger bakgrundstrålning⁴⁰. Detta medför kontrastnedsättning och klotter. Kontrastnedsättningen påverkar laserns förmåga att reflektera mot ett mål vilket medför en försämrad inmätning.

6.4.4 Turbulens

Turbulensen rör också upp partiklar och vattenånga i atmosfären och detta medför ökad spridning och absorption av laserenergin.

6.4.5 Brytning

Brytning av den optiska vågen i atmosfären medverkar till vinkelfel. Brytning beror på olika utbredningshastighet vid varierande atmosfäriska förhållanden, t.ex. temperatur och absolut luftfuktighet. Brytningen kan bland annat medföra att laserstrålen inte når sitt mål och att en utpekingslaser inte kan uppfångas av en laserstyrd bomb eller robot.

6.5 Sammanfattning

Atmosfären och vädret påverkar olika våglängder olika mycket. Kortare våglängder som vid laser och optronik påverkas framförallt av mängden vattenånga som finns i atmosfären. Radar påverkas av den vertikala förändringen av brytningsindex i olika skikt i atmosfären och framförallt vid kortare våglängder även av vattenångan. Vattendropparna skapar förluster och brytningsfel.

Partiklar skapar spridning av den elektromagnetiska vågen och spridningen medför förluster av energi.

³⁸ Hågård, Arne; *Optisk Transmission i atmosfären*, s. 1

³⁹ Ibid

⁴⁰ Ibid

Transmissionen i atmosfären skapar ett antal ”fönster” där man har en god transmission av den elektromagnetiska vågen. I dessa fönster kommer sensorerna att kunna verka som bäst. Men man kan också utnyttja våglängdsområden med en högre dämpning för system som inte behöver en längre räckvidd och som vill verka med låg upptäcktsannolikhet.

Tabell 1. visar en sammanfattning av hur olika väder och atmosfärsfenomen påverkar olika våglängder.

	MIKROVÅG	FLIR					VIDICON T.V.
SYSTEM	KOMMUNIKATIONS / RADAR	LASER					ÖGON T.V. KAMERA
Våglängds Kategorier	Mikrovåg	Millimeter	INFRARÖD				SYNLIGT
Våglängd/ Frekvenser	3 GHz - 30 GHz	1 cm- 1mm	FAR FAR 0.1mm- 15µm	FAR 15µ-6µ	MIDDLE 6µ-2µ	NEAR 2µ-0.74µ	0.74µ-0.4µ
Väder/ Känslighet	Generellt ökande med minskande våglängd (åt höger i denna tabellen)						
Moln/Dimma	Signifikant		Extremt Signifikant				
Torra Aerosoler	Ej signifikant		Signifikant		Extremt Signifikant		
Nederbörd	Signifikant		Extremt Signifikant				
Absorption	Signifikant		Kan vara extremt Signifikant		Extremt Signifikant		
Spridning	Signifikant		Extremt Signifikant				

Tabell 1 Role of Atmosphere in EM/EO Systems Performance⁴¹

⁴¹ Davidson, Kenneth L., *Estimation of Atmosphere Effects on Rf/EO propagation*, kursmaterial NPS, Monterey California, 2002

7 Atmosfärens påverkan på taktiken

I detta avsnitt tänker jag beröra den taktiska påverkan som atmosfären och vädret har på olika typer av användningsområden för de olika sensortyperna.

7.1 Radar

För radarsensorer så kommer jag att beröra användningsområdena spaning och målinmätning. Jag kommer att beskriva de funktioner som kan komma att påverkas av atmosfären och vädret

7.1.1 Spaningsradar

Spaningsradar används framförallt för att finna mål på så långa avstånd som möjligt. Man utnyttjar längre våglängder och dessa påverkas inte nämnvärt av dämpning men kan få en stor påverkan av olika ledskikt som kan bildas. Ledskikten kan ligga både över och under radarstationens antennnivå och påverka radarloben att antingen böja nedåt eller uppåt. T.ex. när man har en spaningsradar placerad högt på ett berg eller på ett flygplan så kan man hamna ovanför skikten vilket medför att spaning mot lågflygande mål påverkas. Ligger radarantennen under ett ledskikt så påverkas radarloben som kan böja nedåt och medföra att mål som flyger över ledskiktet inte upptäcks tillräckligt tidigt. Det är därför av stor vikt att operatören av ett radarsystem har information om det aktuella ledskiktsläget i området.

7.1.2 Målinmätningssystem

Målinmätningssystem med radar påverkas både av fördröjning och avböjning. Detta kan ha en stor inverkan på funktionen och det taktiska utnyttjandet av ett inmätningssystem. Fördröjningen skapar ett avståndsfel och avböjningen ett fel i höjd. Även avböjningsfel i sida kan förekomma men är inte lika vanligt som i höjdd.

Små fel vid inmätningen av en artilleriprojektils bana, då man utnyttjar ett artillerilokaliseringssystem, kan orsaka stora fel när man skall lokalisera läget för en artilleripjäs. Vid avböjning av stålen genom kraftiga inversionsskikt så kan avböjningen vara avgörande för att rätt lokalisera avskjutningsplatsen. En feluträknad position kan vara ödesdigert både för egna trupper och själva mållokaliseringsradarn som snabbt kan mätas in i sin tur och bekämpas. Här finns ett behov av bra meteorologisk information för att kunna kompensera för effekterna av den atmosfäriska avböjningen⁴².

⁴² Kingsley, Simon och Quegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, s.180

Fel i avstånd och vinkel har stor betydelse vid inmätning av mål för jakt- och luftvärnsrobotar. Det är taktiskt viktigt att inmätningen och följningen blir så exakt som möjligt för att roboten inte skall missa sitt mål.

7.2 Optronik

7.2.1 Påverkande parametrar på optroniska vapen och sensorer i den termiska IR delen

De parametrar som kan påverka effektiviteten för optroniska vapen och sensorer i den termiska IR delen (3-14 μm) kan delas in i transmissionspåverkande (räckviddsbegränsande) samt kontrastpåverkande (målkontrast).⁴³

Transmissionspåverkande faktorer är följande:

- Fuktighet
- Temperatur i luften
- Vindhastighet (turbulens och uppvirvlande partiklar)
- Meteorologisk sikt
- Aerosoler (partikelstorlek, kemisk sammansättning, halt)
- Moln (inga moln bör finnas längs siktsträckan)
- Koldioxidhalten är normalt konstant men extrema miljöer finns (t.ex. stad, industri, stridsmiljö med bränder)
- Nederbörd (räckviddsbegränsande ungefär som i visuella området)

Utöver ovanstående finns ytterligare parametrar eller parametrar med annan inverkan än ovan, som har betydelse för upptäckt av mål. Kontrastpåverkande faktorer:

- Strålningstemperatur för olika objekt i målområdet, förgrund och bakgrund.
- Vindhastighet verkar temperaturutjämnande.
- Nederbörd verkar temperaturutjämnande.
- Molnmängd och -tjocklek har negativ inverkan på temperaturkontrasterna mellan markobjekt.
- Markens tillstånd, torr/fuktig barmark, frost, snö, is, vatten, skog, öppen terräng osv.
- Tid på dygnet, tack vare skilda föremåls olika strålningsegenskaper förändras kontrasterna under dygnets lopp.

Det är viktigt att taktiskt kunna förutse vad i det aktuella väderläget som kommer att påverka mina sensorer. Är det mycket nederbörd som kylar och

⁴³ Slutrapport SIKTOP, 1997-07-01 Martin Hedberg F4, Tore Andreasson F16 M, Michael Lundmark AF1, Tomas Mårtensson AF1, Uppdrag enligt Hkv skr 11341:78715

försämrar kontrastverkan mellan mål och bakgrund samt minskar räckvidden på mitt system? Blåser det mycket så att det blir en temperaturutjämnning vid målet?

När man arbetar med optiska system så är det speciellt viktigt att ha kontroll på de förhållandena som gäller i det område där sensorn skall verka.

7.3 Laser

I lasersystem påverkas framförallt räckvidden av vädret. Kraftig nederbörd och moln förhindrar den optiska sikten. Vindar skapar turbulens över marken som gör att partiklar rör sig i lufthavet och skapar försämrad kontrast. Moln och dimma påverkar laserstrålens utbredning och även dess riktning. En laserstråle kan brytas och kröka av samt splittras, vilket t.ex. kan medföra att en målutpekare på marken inte får rätt kontakt med ett laserstyrt vapen som sitter på ett flygplan som skall genomföra en attack. Detta kan medföra att det laserstyrda vapnet missar sitt mål då det inte får rätt information och en bra styrning från laserstrålen. Det är viktigt att laserstyrningen fungerar så man inte träffar fel plats speciellt i dagens och framtida kirurgiska krig. Det är också viktigt att veta hur en styrlaserstråle påverkas vid laserstyrda luftvärnsrobotsystem (Typ LvRb 70/90).

7.4 Vilka taktiska för delar kan jag få om jag använder mina sensorer på ett rätt sätt?

Har man kunskap om hur de system och sensorer som man utnyttjar fungerar och hur dessa påverkas av olika former av yttre påverkan så kan jag taktiskt utnyttja min utrustning på ett mer optimalt.

Möjligheten att med kunskap om väderpåverkan kunna undgå upptäckt när jag utnyttjar mina sensorer genom att veta hur vädret begränsar eller förbättrar i vissa områden. Möjligheten att med radar se bortom horisonten vid skiktbildning kan ge fördelar med tidigare detektering av lågtflygande mål. Rätt använd laserutpekare kan försvåra för motståndaren att kunna lokalisera utpekarens position och därmed minska risken för att bli beskjuten. Kunskap om dämpning kan utnyttjas vid kommunikation för att undgå upptäckt av signalspaning.






7.5 Hur skall man undgå att luras av sin egen sensor?

För att undgå att luras av sin egen sensor så krävs kunskap. Vet jag hur min sensor påverkas så kan jag också utnyttja detta för att undgå att feltolka inmätningar. Jag måste veta för vilka förhållanden som sensorn är utprovad och specificerad för. Jag måste också ha goda kunskaper om hur den aktuella sensorn påverkas av väder och förändringar i atmosfären.

7.6 Sammanfattning

Det är viktigt att systemen testas och provas vid de förhållanden som de skall användas. Kunskap om vädrets påverkan och en detaljerad väderinformation krävs för att kunna korrigera för avvikelser. Operatören måste ha meteorologiska kunskaper för att själv kunna tolka förhållandena i det område som sensorn skall verka i. Det är också viktigt med meteorologiska kunskaper för att kunna tolka väderinformation på rätt sätt och för att kunna utnyttja denna information.

8 Vilka vädertyper är speciellt problematiska för olika typer av sensorer?

WEATHER PARAMETERS	VISIBLE AND NEAR IR	SHORTWAVE IR	MIDWAVE IR	LONG WAVE IR	MMW
LOW VISIBILITY	SEVERE	MODERATE	LOW	LOW	NONE
RAIN/ SNOW	MODERATE	MODERATE	MODERATE	MODERATE	MODERATE/ LOW
HIGH HUMIDITY	LOW	LOW	MODERATE	MODERATE	LOW/NONE
FOG/ CLOUD	SEVERE	SEVERE	MODERATE/ SEVERE	MODERATE/ SEVERE	MODERATE/ LOW
PHOSPHORUS/ DUST	SEVERE	SEVERE/ MODERATE	MODERATE	MODERATE	LOW/ NONE
FOG OIL/ SMOKE	SEVERE	MODERATE	LOW	LOW	NONE
SYSTEMS					

SOURCE: USA ATM SCIENCE LAB

Tabell 2 Väderpåverkan på olika system⁴⁴

Vissa vädertyper påverkar sensorerna mer än andra. Olika typer av väder påverkar de olika sensorerna olika. Jag skall i detta avsnitt visa på olika väderfenomen som framförallt påverkar de olika sensorerna. Många av de vädertyper som är besvärliga för oss människor är också prestandanedsättande för olika sensorsystem, väder som dimma, kraftig nederbörd och stark vind.

Sensorerna påverkas inte bara av begränsningar i transmissionen utan också av direkt mekanisk inverkan som olika vädertyper har på sensorn, isbildning, regndroppar på linser, stark vind som påverkar antenner mm. Denna mekaniska påverkan är viktig att tänka på, men som jag skrev i avgränsningarna kommer jag inte att beröra detta mer i uppsatsen.

8.1 Radar

Som nämnts tidigare så påverkas spaningsradar med längre våglängder inte nämnvärt av olika vädertyper. Men för radar med kortare våglängder, runt 2 centimeter, kan kraftigt regn medföra stora nedsättningar i radarns förmåga att upptäcka och följa mål.

Den stora påverkan som finns på radarn är skiktbildning, dvs. då luftmassorna skapar vertikala skikt i atmosfären med olika temperaturer. När bildas då dessa skikt? De här fenomenen är tyvärr inte sällsynta. Atmosfärens skiktning påverkar alltid radarutbredningen mer eller mindre. I den så kallade normalatmosfären böjs radarstrålarna av så att den erhållna radar horisonten

⁴⁴ US Army Aberdeen Test Center

kan beräknas genom att räkna med en jordradie som är ungefär $4/3$ gånger den normala jordradien. Detta medför att man kan se bortom horisonten.

Ledsikt närmast marken eller vattenytan bildas när luften avkyls och bildar stabil skiktning. Över land är detta vanligast nattetid under sommarhalvåret. Över hav förekommer ledsikt främst under vår och försommar med kallt ytvatten och varm, torr luft, som då blir fuktig i lägsta nivå och skapar ett kraftigt fuktavtagande med höjden.

Den vertikala utsträckningen är från havsytan och upp till omkring 50 – 100 m. Den horisontella utsträckningen kan röra sig om 100-tals km. Tidsperioden över land är ett dygn, men över hav kan ett ledsikt ligga kvar i flera dygn och kan täcka stora områden. Förändringar kan dock ske snabbt, t.ex. i samband med frontpassage, då luftmassan lokalt kan bytas ut på några minuter i takt med att fronten drar fram. Förekomsten i tid är över hav omkring 50 % under vår och försommar och över land varje natt under sommarhalvåret vid molnfritt och svag vind. Höst och vinter är fenomenet mera ovanligt, pga. relativt varmt hav och ofta blåsig, och förekommer uppskattningsvis 1-5 % av tiden.

Höjdsledskikt bildas i samband med fronter eller, vilket är vanligare, i högtryck där sjunkande luft ger en temperaturhöjning och uttorkning, så kallad subsidensinversion, på några hundra meters till någon km höjd. Själva ledskiktet kan på den höjd det ligger ha en vertikal utsträckning på hundratalet meter. Den horisontella utsträckningen är av samma storleksordning som för ytledskikt. Förekomsten är kopplad till högtryck, som kan förekomma vilken tid som helst på året och vara i flera dygn. Under omkring en tredjedel av tiden, men mycket ojämnt fördelat, kan man räkna med att högtryck berör någon del av landet. Ett särskilt problem med höjdsledskikt är att det i stabila skikt i atmosfären ofta förekommer rörliga fysiska (gravitations-) vågor, som gör att en radar eller ett mål i eller nära ett ledskikt tidvis ser/syns och tidvis inte. Fenomenet påminner om vågor i en vattenyta. Våglängden kan vara ett par km, våghöjden omkring 100 m och vågperioden några minuter⁴⁵.

8.2 Optronik

Optiska system påverkas framförallt av väderförhållanden som begränsar sikten genom att förtäta luften med vattenånga och partiklar. Kraftig nederbörd och dimma är vädertyper som ger en stor påverkan på optiska system genom att minska transmissionen genom luften. Nederbörd påverkar också kontrasterna mellan mål och bakgrund. Nederbörden kyler ned både omgivningen och målet till temperaturer som ligger mycket nära varandra. Kraftiga vindar ger en avkylande effekt som framförallt påverkar IR system, men de skapar också turbulens som ger sikt- och kontrastförsämring.

⁴⁵ Bergeås, Lars, *Väder; systempåverkan (IR, radar mm)*, Lektionsunderlag FHS väder SPFV 0001, 1999-04-22 justerat 000918,s. 5

Kraftig solinstrålning gör att marken värms upp så att luften börjar stiga. Detta skapar vindar och turbulens. Den stigande luftmassan drar också med sig partiklar och vattenånga upp i lufthavet.

8.3 Laser

Laser påverkas på liknande sätt som optiska system. Lasersystem påverkas av nederbörd, moln och dimma. Även kraftig vind och turbulens ger försämringar.

8.4 Sammanfattning

Den påverkan som vädret har på våra sensorer är av stor betydelse och är en viktig del i kunskapen om hur man bäst kan utnyttja sina sensorer. Grunden för att kunna skapa bra förutsättningar är att man kan få detaljerade och säkra väderprognoser och att man själv kan läsa av vädret i det område som man befinner sig i och verkar med en sensor. En väderprognos är ju kommande väder så det är viktigt att själv kunna se begränsningarna här och nu.

En slutsats som kan dras är att utbildning och kunskap om vilken påverkan atmosfären och vädret har på våra system och sensorer kommer att få en allt större inverkan. Vi kommer att behöva veta förhållandena i de områden som vi skall verka i och även kunna få informationen från den som befinner sig på plats.

9 Utprovning av sensorer och system

Som inköpare och användare av avancerade sensorer måste man ställa krav på hur och när samt i vilken miljö ett system har utprovats. Jag kommer i detta avsnitt att peka på krav som man bör ställa vid utprovningar och som är kopplade till atmosfären och vädret.

De bästa ”smarta sensorerna” kan visa sig mindre effektiva när de möter väderförhållanden som de inte har blivit designade och testade för⁴⁶.

Hur ser egentligen slagfältet ut?



Figur 16 Hur ser slagfältet egentligen ut?⁴⁷

9.1 Vilka krav bör man ställa?

Alla sensorer måste testas i olika miljöer och vid olika tillfällen. Man måste testa då vatten intar olika former (is, snö, regn, dimma). Testerna måste inkludera mätningar av kontraster mellan mål och bakgrund samt markklottervariationer. Mätningar av parametrar som regnmängd och transmissionsegenskaper av atmosfären bör ingå. Transmissionsegenskaperna visar på atmosfärens förmåga att överföra energi vid ett givet spektralband av det elektrooptiska spektret på en väg mellan sändare och mottagare.

Klimatet och de områden som man skall verka i kommer att styra vilka tester som måste göras. Skall man kunna verka internationellt så måste man ha system som är testade i de internationella miljöerna. T.ex. om vi skall kunna verka i Medelhavet med våra fartyg så måste vi veta om våra sensorer klarar

⁴⁶ US Army Aberdeen Test Center

⁴⁷ Ibid

den miljö som finns där med högre absolut fuktighet. Klimatet påverkar bland annat hur den fysiska omgivningen ser ut, vegetation, träd, markförhållanden mm. Klimatet ger också variationer i årstider som i sin tur ger olika miljöer för systemen att verka i.

Det är viktigt att inse att mätning vid en specifik atmosfärisk situation inte är lätt att överföra till andra situationer och detta kan ge problem vid användande av systemen. För att göra testresultat så överförbara som möjligt så måste de innehålla följande mätningar (Exempel för optiska system):

- Temperatur
- Vind
- Lufttryck
- Relativ fuktighet
- Sikt
- Molnmängd och molnbas
- Mål och bakgrundstemperaturer
- Avstånd och storlek
- Sensorns arbetsområde (Spektrala respons)
- Emissionen för målet och bakgrunden
- Atmosfärens transmissionsförmåga för sensorns spektrala arbetsområde

9.2 Sammanfattning

Inmätningar som inte är rätt genomförda kommer i slutändan att negativt påverka soldaten på fältet och hans förmåga att agera.

Vanligt är att tester genomförs med ett minimum av inmätta meteorologiska parametrar. Kunskapen om meteorologiska principer är utanför den meteorologiska kretsen begränsad⁴⁸. Det är därför viktigt att samverka med meteorologiskt kunnig personal för att få hjälp med att samla in de data som krävs för att kunna genomföra en adekvat mätning.

Det kommer i det framtida Nätverksbaserade försvaret där sensorer och vapensystem skall kunna samordnas krävas en god uppföljning av vid vilka vädertyper och förhållanden som systemen är utprovade för. Detta gäller både nationellt och internationellt.

⁴⁸ US Army Aberdeen Test Center

10 Vilka behov finns i utbildningen för att få en bättre kunskap om hur sensorerna fungerar vid olika vädertyper och atmosfärspåverkan?

10.1 Kartläggning av kunskapsbehovet

Genom att genomföra diskussioner med operatörer från flygvapnet, marinen och armén⁴⁹, samt utnyttjandet av egen erfarenhet, har jag skapat mig en bild av kunskapsbehovet som finns vad det gäller förståelse för hur atmosfären och vädret påverkar sensorer. Jag har funnit att behovet av utbildning är stort speciellt vad gäller väderpåverkan.

Man utbildar operatörer på olika system och sensorer men påverkan av väder och andra atmosfäriska störningar har en mycket liten del i de olika utbildningarna.

Man hör ofta: ”jag är ju taktiker inte tekniker”, när man talar med operatörer som utnyttjar sensorer. Operatörerna har en god kunskap i att utnyttja och handha den sensorutrustning som man utbildats på men förståelsen för begränsningar av väder är genomgående låg. Den tekniska utbildningen i framförallt flygvapnet angående sensorteknik är bristfällig, med några få undantag, och utbildningen i meteorologi samt förståelse av hur meteorologiska fenomen påverkar olika sensorer är nästan obefintlig. Armén har för vapensystem en bra teknikutbildning men kopplingen mot vädret är begränsat. Marinens utbildning är i paritet med arméns och har även de ett behov av att utbilda systemutnyttjare i meteorologisk påverkan av sensorer.

Genomgående är utbildningen inriktad på hur vapnen och sensorerna skall utnyttjas rent taktiskt. Viss förståelse för hur system rent tekniskt fungerar och hur man aktivt kan påverka de olika systemen och specifika sensorerna skapas också under utbildningen, men den vardagliga atmosfärspåverkan som finns tas sällan eller aldrig med i utbildningen. Det uppfattas i vissa led som om detta är en ren självklarhet.

Taktik och teknik hör ihop och för att kunna verka taktiskt riktigt så måste man ha en god kunskap om de tekniska begränsningarna och fördelarna. I de tekniska grunderna ingår atmosfärens och vädrets påverkan på system och sensorer som kan ge begränsningar och men även fördelar vid taktiskt utnyttjande. Dessa begränsningar och fördelar måste vara kända för operatören för att få maximal effekt ur systemen.

NBF kommer att kräva kunskaper i hur atmosfären och vädret påverkar olika sensorer för att kunna bedöma trovärdighet i den information som man får från sensorer och system som är kopplade till NBF.

⁴⁹ Elever på ChP T 01-02, ChP 02-04 och lärare på F20/Strils i Uppsala

Målet skall vara att man gemensamt inom flygvapnet, armén och marinen skapar en kunskapsbas och utbildningsunderlag för att höja kunskapen om atmosfärens påverkan på de olika sensorer som utnyttjas. Att sammanhållet arbeta mellan vapenslagen skapar en bra spridning av erfarenheter och kunskap. Sensorer och system påverkas på liknande sätt oberoende om de sitter på ett flygplan, stridsvagn eller på ett fartyg. Det är de atmosfäriska förhållandena som skiljer, mängden vattenånga, turbulens, partiklar mm, i de områden som de olika systemen skall verka.

Det är framför allt grundläggande kunskaperna i elektromagnetisk vågutbredning, meteorologi och atmosfärens inverkan som skall vara basen i operatörens kunskaper om väderpåverkan. Dessa värden skall vara en grund när man skapar kommande utbildning för sensoranvändare.

10.2 Sammanfattning

Min sammanfattning över vilket kunskapsbehov som finns är följande:

- Behovet av kunskap inom meteorologin ökar med användandet av nya och mer avancerade sensorer.
- Utbildningen i hur atmosfären och vädret påverkar system är obefintlig eller lågt prioriterad.
- Insikten om hur och varför vädret påverkar en sensor måste spridas till alla användare av sensorer från den värnpliktige till den fast anställde.
- Utnyttjandet av sensorer i NBF kommer att kräva att väderförhållandena är kända i det område som sensorerna verkar i för att ge en möjlighet för mottagarna av sensorinformationen att bedöma sensorns trovärdighet.
- Samordning av erfarenheter och utbildning mellan flygvapnet, armén och marinen måste ske för att kunna utnyttja den gemensamma kunskapsbanken.
- Elektromagnetisk vågutbredning, meteorologi och atmosfärens inverkan som skall vara basen i operatörens kunskaper.

11 Diskussion

Med avstamp i det som behandlats i min uppsats så kan man se att det många tillfällen då jag som operatör och användare av sensorer måste tänka både en och två gånger på den påverkan som atmosfären kan ha på min sensor. I detta avsnitt skall jag diskutera varför man måste kunna och förstå den påverkan som förändringar i atmosfären kan ha. Jag kommer också att koppla detta till utbildning i meteorologi och olika utnyttjandeområden av sensorer och system.

11.1 Utbildning

Utvecklingen av sensorer sker idag i en allt snabbare takt och vi får tillgång till mer och mer avancerade system. Men för att kunna lita på våra sensorer så måste vi som operatörer ha en god kunskap om hur våra sensorer påverkas.

Det kommer att i framtiden krävas att alla operatörer har en grundläggande kunskap i meteorologi och speciella kunskaper om hur egna sensorer påverkas av atmosfärs- och väderfenomen. Systemen blir allt mer tekniskt avancerade och vi litar mer och mer till tekniken för att det skall fungera. I en framtid som kommer att bestå av mer och fler vapensystem som agerar autonomt utan att en människa påverkar eller medföljer systemet så måste en förståelse och kunskap om hur vanliga fenomen som vädret påverkar och begränsar systemens funktion. Hur skall en obemannad farkost kunna agera utan att man som operatör av farkosten vet vilka begränsningar som finns och hur väder påverkar? Det kommer ställas allt högre och högre krav på operatörer som handhar till antal begränsade och dyrare system. För att skapa en bredare professionalism i användandet av systemen så måste en breddning av kunskapen inom meteorologin och sensorbegränsningar skapas. Skall vi kunna verka som proffs med våra system så får inte viktiga delar fattas.

Hur vi skall i alla lägen kunna förse våra sensoranvändare med aktuellt väder på alla platser? Här kommer kunskapen om meteorologi att göra att man kan minska behovet genom att användaren själv kan kompensera sina system och veta hur de begränsas eller hur fördelar i väderbilden skall utnyttjas.

11.2 Framtagning av sensorer och system

När man väljer sensorer till framtida system och för en framtida användare så måste man ta hänsyn till hur vädret och atmosfären kommer att påverka användandet. Samtidigt måste man ta hänsyn till och utbilda användaren på systemets begränsningar och även på eventuella fördelar som olika vädertyper kan ge.

System som köps idag är mer och mer standard "COTS" system som inte haft slutanvändaren med vid framtagningen. Vid anskaffning av sådana system så

krävs det kunskap om väderbegränsningar som kan påverka systemet när man genomför tester och prov innan inköp. Både slutanvändare och meteorologiskt kunnig personal krävs vid utprovningar.

Ett av problemen idag är spridningen av testresultat ut till användaren av en sensor eller ett system. De vid tester framtagna fördelarna med systemet sprids oftare än begränsningar. I vissa fall så kan det kännas som om vissa begränsningar undanhålls för att inte sensorn eller systemet skall komma i dålig dager vid presentation av nya utrustningar som man vill sälja⁵⁰. Det är därför viktigt att veta vad man skall genomföra tester mot och vid vilka förhållanden. Här kommer en kunskap om hur elektromagnetiska vågor påverkas av väder och atmosfärsförändringar väl till pass.

Det är mycket viktigt att dokumentering om sensorerna och system sprids så att användarna kan lära sig sitt systems eller sina sensorers begränsningar. Om endast sensortillverkningsföretagets testpersonal och de som eventuellt är med och genomför tester från Forsvarsmakten har tillgång till resultaten så blir alla andra mycket begränsade i sin användning av sensorerna. Erfarenheter från användning och utprovningar måste spridas till alla användare så att dessa kan ligga till grund för vidare utveckling av taktik och handhavande.

Nödvändigheten att kunna hemlighålla funktioner på olika sensorer är viktigt för att få övertag i en stridsituation, men det medför också att möjligheten att sprida nödvändig information till användare begränsas. Avvägningen mellan att sprida information och inte sprida information är av stor betydelse för användaren. I en försvarsmakt som består av fast anställda och värnpliktig personal så är förmågan att sprida hemligheter liten. Hur skall denna avvägning göras?

11.3 Det nätverksbaserade försvaret (NBF)

Det nätverksbaserade försvaret bygger bland annat på att kunna skapa en gemensam lägesbild för alla beslutsfattare. In i NBF kommer ett antal sensorer och system att kopplas samman. Dessa sensorer och system skall ligga till grund för beslut som kan påverka tusentals människors liv. Om vi inte har kunskap om begränsningar och fördelar i dessa sensorer och system hur skall vi då kunna lita på att informationen som vi får är den korrekta. Kunskap och förståelse för fördelar och begränsningar kommer att vara av stor vikt för att kunna lita på det som presenteras.

Med NBF så kommer möjligheten att sprida meteorologiska mätresultat och prognoser att öka. Förmågan att sprida meteorologisk information kommer att vara ett mycket viktigt krav för att operatörer som utnyttjar sensorer skall få det underlag som behövs för att de optimalt skall kunna utnyttja sina sensorer. Kunskapen om meteorologiska fenomen måste spridas bland alla utnyttjare av sensorinformation för att undgå missförstånd.

⁵⁰ Författarens egen kommentar

Räcker det då inte med att vi har experter, meteorologer, som tar hand om vädret och sprider informationen? I NBF skall, som det är tänkt, alla ha tillgång till nödvändig information. Det borde väl räcka med att meteorologerna bedömde vädret och sedan talade om vilka begränsningar som finns för olika sensorer. Det kan tyckas vara tillräckligt och så kan vi taktiker fortsätta med att utföra taktik. Men taktik omfattar mer än manöver och uppdrag. Vi måste alla ha den grundläggande kunskapen om de system som vi som taktiker skall utnyttja och i denna kunskap så ligger de fördelar och begränsningar som systemen har. I dessa fördelar och begränsningar ligger även påverkan från väder och atmosfärsfenomen.

11.4 Skydd och störning

Olika väderförhållanden påverkar också vår förmåga att undgå upptäckt av motståndarens sensorer och detta är också en viktig del i kunskapen hur man kan utnyttja väder. Vi har normalt en god kunskap om vilka system och sensorer som en motståndare har och kan utnyttja. Kunskapen om hur vädret och atmosfären kan påverka dessa system ger fördelar på stridsfältet. Vi måste både kunna vara aktiva men också utnyttja våra möjligheter till ett passivt försvar. Tidigare så var förflyttning i skydd av mörker något som var viktigt att kunna utnyttja men idag med NVG och annan mörkerseende utrustning så kanske vi måste se till förflyttning i skydd av specifika vädersituationer.

Även vår förmåga att klara och själva utnyttja olika former av störning är väderberoende. Aktiv störning utnyttjar elektromagnetiska vågor som även de påverkas på samma sätt av atmosfären och vädret som våra egna och motståndarens sensorer. För att kunna få en maximal effekt i sina störresurser så måste man veta hur dessa begränsas av nedsatt eller på annat sätt påverkad transmission.

11.5 Signalspaning (SIS)

Väder och atmosfäriska förändringar påverkar vår förmåga till att samla in uppgifter med hjälp av signalspaning. Med rätt kunskap om väder och atmosfär så kan man utnyttja olika atmosfäriska förändringar för att nå områden som inte kan nås under normala förhållanden. Även motståndarens förmåga att signalspana mot oss påverkas. Vi kan utnyttja kunskapen om vädret och atmosfäriska förändringar för att undgå signalspaning som är riktad mot våra styrkor.

Kunskapen om hur elektromagnetiska vågor förflyttar sig och kunskapen om hur de påverkas är av yttersta vikt för att få en rättvisande bild och en förståelse för hur man skall kunna utnyttja en signalspaningsutrustning. De som dagligen arbetar med SIS verksamhet har en god kunskap och en viktig erfarenhet hur detta fungerar, men det är viktigt att kunskapen inte fastnar i en mycket

specialiserad krets. Kunskap och förståelse för funktionerna och hur informationen samlats in kommer att bli en del av kraven för att effektivt och säkert kunna verka i framtidens NBF.

11.6 Sammanfattning

Påverkan av väder och atmosfär finns för alla sensorer och system. Det är viktigt att med rätt kunskap och utbildning kunna förutse vid vilka vädertyper som de olika sensorerna och systemen påverkas, både negativt och positivt. Idag är den allmänna kunskapen om dessa fenomen begränsade och vi måste bli mer insatta i dessa fenomen för att optimalt kunna utnyttja våra nuvarande och framtida utrustningar. Utbildning i hur elektromagnetiska vågor påverkas måste få en större del i den grundläggande utbildningen av operatörer av sensorer och system.

12 Slutsatser

Uppsatsens syfte är att ge svar på de tre frågeställningarna: Hur påverkar atmosfären elektromagnetiska vågor av olika våglängder? Vilka vädertyper är speciellt problematiska för olika typer av sensorer? Vilka behov finns i utbildningen att få en bättre kunskap om hur sensorerna fungerar vid olika vädertyper och atmosfärspåverkan? Frågorna behandlas i uppsatsen och jag har kommit fram till följande slutsatser över atmosfärens och vädrets inverkan för radar och optiska sensorer.

Utifrån insamlat och tidigare beskrivet underlag så kan man se att vädret har en stor inverkan på olika elektromagnetiska vågors utbredning och transmission. Olika typer av elektromagnetiska vågor påverkas olika beroende på den våglängd som den elektromagnetiska vågen har. Det är viktigt att jag som operatör av ett system eller en sensor vet vilka begränsningar, men också fördelar, som mitt system har och hur olika vädersituationer påverkar. Olika sensorer påverkas olika av förändringarna och där en sensor får ökade begränsningar så kan en annan sensor ges förbättrade egenskaper.

De slutsatser som kan dras av att atmosfären påverkar alla elektromagnetiska vågor är att kunskap om meteorologiska fenomen är av betydelse och är en kunskap som varje operatör av en eller flera sensorer måste ha. Som användare måste jag ha både kunskap och förståelse för vilka möjligheter och begränsningar som finns för den eller de sensorer som jag utnyttjar. Grunden till kunskap i atmosfärspåverkan är utbildning. Utbildningen i meteorologi och hur elektromagnetiska vågor påverkas av väder måste spridas till alla operatörer som utnyttjar sensorer på ett eller annat sätt. För att kunna verka i alla typer av väder och var som helst i världen så måste kunskapen inom meteorologin finnas hos alla användare av sensorer, inte bara hos ett begränsat antal operatörer, (Ex piloter i flygvapnet). Våra nuvarande system och framförallt system som kommer i framtiden ställer höga krav på den som skall handha systemen och sensorerna. Tekniken utvecklas mer och mer medan vi ibland lever kvar i gammal taktik. Vi kan inte skilja på taktik och teknik, dessa två är idag starkt knutna till varandra.

Det är viktigt att som användare se till under vilka förutsättningar och vädertyper som man provat ut de system som används. Utprovningensresultaten måste ligga som grund för den utbildning som genomförs på en aktuell sensor eller system. Utprovningen måste vara så omfattande och täcka så många vädersituationer som möjligt samt även kunna täcka olika platser och klimatområden där svenska Försvarmakten skall kunna verka.

Det är viktigt att meteorologisk information kommer operatörerna till handa. Det är också viktigt att data som delges är aktuell. Men en operatör måste också ha kunskap att själv kunna bedöma den inverkan som vädret kan ha för just hans sensor eller sensorer. T.ex. hur påverkar regn min IR-sensor, hur påverkas min radar av förändringar i luftfuktighet?

Det nätverksbaserade försvaret kommer att ställa krav på en bredare teknikförståelse. I teknikförståelsen finns även kunskapen om vilka fysiska begränsningar som system och sensorerna har. Dessa fysiska begränsningar beror till del i den påverkan klimatet och vädret har i det område där man verkar med sin utrustning. Skall vi vara verksamma internationellt så måste vi veta hur vi begränsas av klimatet i det aktuella området. Utnyttjandet av sensorer i NBF, där man i många fall inte kommer att äga sensorn själv utan enbart får mål- och lägesinformation presenterat, kommer att kräva att man vet om det kan finnas någon påverkan av vädret, eller atmosfären i övrigt, som kan störa noggrannheten i den aktuella presentationen. Utbildning och övning i olika förhållanden måste genomföras.

12.1 Sammanfattande slutsatser

Uppsatsen behandlar frågeställningar om hur vädret och atmosfären påverkar den elektromagnetiska vågutbredningen. Den behandlar också behovet av kunskap och utbildning som sensoranvändare och operatörer behöver för att på bästa sätt utnyttja sina sensorer och system. Jag har i min uppsats kommit fram till följande sammanfattande slutsatser:

- Alla typer av sensorer inom det elektromagnetiska spektret påverkas av atmosfären och vädret.
- Olika vädertyper och fenomen i atmosfären påverkar olika våglängder och frekvenser på varierande sätt.
- Väderpåverkan måste tas om hand vid utprovning och framtagning av nya sensorer och system. Utprovning måste ske tillsammans med meteorologikunnig personal.
- Sensorer måste testas i de klimatområden som de skall verka. (Detta blir mer aktuellt ju mer vi skall delta i internationella operationer i klimat som inte överensstämmer med det svenska klimatet.)
- Utbildning för system- och sensoroperatörer i hur väder och atmosfären påverkar måste ingå i användarutbildningen.
- Begränsningar och fördelar i system som är relaterade till vädret måste spridas till användarna av systemen.
- NBF kommer att kräva en ännu högre tillförlitlighet och noggrannhet på sensorer och system som skall verka och leverera information i nätverket.
- Kunskapen om väderpåverkan måste finnas på alla nivåer i det framtida NBF.
- Uppsatsen påvisar behovet av en breddning av utbildning i meteorologi.

Utifrån dessa slutsatser kan man gå vidare och fördjupa studierna.

12.2 Förslag till vidare studier

För att kunna möta förändringar och öka kunskapen om sensorernas funktioner behövs vidare studier i ämnet.

- Hur skall utbildningen bedrivas för att erfarenheter och kunskap skall nå användarna? Hur skall testresultat nå slutanvändaren?
- Hur kommer sensoranvändandet att påverkas i det framtida nätverksbaserade försvaret?
- Hur skall samarbetet med sensortillverkare och användare se ut i framtiden?

13 Litteratur- och källförteckning

13.1 Källförteckningar

Ahlin, Lars, *Kommunikationssystem och Teleskyddsmetoder*, Kompendium, Institutionen för Informationsöverföring, FOI Ledningssystem, Mars 2002, Kurskompendium Rubusta sambandssystem FOI Linköping 2002

Bergeås, Lars, *Väder; systempåverkan (IR, radar mm)*, Lektionsunderlag FHS väder SPFV 0001, 1999-04-22 justerat 000918

Davidson, Kenneth L., *Estimation of Atmosphere Effects on Rf/EO propagation*, kursmaterial NPS, Monterey California, 2002

Hågård, Arne; *Optisk Transmission i atmosfären*, Kurskompendium Rubusta Optroniksystem (Preliminär), FOI 2002

Kingsley, Simon och Qegan, Shaun, *Understanding RADAR systems*, 1999 by SciTech Publishing, Inc, Mendham, NJ 07945

Ladell, Lars, *Strålbaneberäkning och radarräckvidd. Ray tracing and radar range*. Linköping, FOA 1989, 39 p.(FOA C 30557-3.5)

Ove, Gustavsson, Hågård, Karlsson, Persson, *Vågutbredningsanalys för elektrooptiska system, En förstudie*, Användarrapport FOI, juni 2002, FOI-R—0513—SE, ISSN 1650-1942

Slutrapport SIKTOP, 1997-07-01 Martin Hedberg F4, Tore Andreasson F16 M, Michael Lundmark AF1, Tomas Mårtensson AF1, Uppdrag enligt Hkv skr 11341:78715

Telekrig – lärobok för armén, 1997 års utgåva, 1997 Försvarsmakten, Stockholm, Enator Försvarsmedia AB, (M7746-168001)

13.2 Referenslitteratur

Agrell, A., (1998), *Konsten att gissa rätt*, Studentlitteratur, Lund

Bolande, Ekdahl, Knuthammar, Sjöqvist, Steinvall, *Fri optisk kommunikation, En förstudie*, Användarrapport December 1999, FOA-R--99-01296-504—SE, ISSN 1104-9154

Esaiasson, Gilljam, Oscarsson, Wängnerud, *Metodpraktikan, Konsten att studera samhälle, individ och marknad*, Nordstedts juridik AB, Elanders Gotab, Stockholm 2002, ISBN 91-39-10452-4

Jelalian, Albert V, *Laser Radar Systems*, 1991, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, ISBN 0-89006-554-3

Laurin, Färnlöf, *METEOROLOGI – ett häfte om väder och klimat från SMHI*, 1994 SMHI, Johnnys Repro och L-Offset, Norrköping, ISBN 91-87996-06-5

Meuller, Lars, *Allmän meteorologi*, 1983, SMHI Rapporter Undervisning (RU) Nr 18, CA-Tryck AB Norrköping 1995

Pettersson, Magnus, *Mätkampanj avseende atmosförspåverkan av laserstrålar över vatten (i särgårdsmiljö)*, Teknisk rapport FOI, FOI-R-0289-SE, december 2001, ISSN 1650-1942

Sanne, Marika, *Skrivråd för statsvetare*, Studentlitteratur, Lund, 2000, ISBN 91-44-01490-2

Smith, Fredrick G, (Editor), *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, volume 2, Atmospheric Propagation of Radiation*, Environmental Research Institute of Michigan, SPIE Optical Engineering Press Bellingham Washington USA

Starrin, Larsson, Dahlgren, Styrborn, Sven, *Från upptäckt till presentation, Om kvalitativ metod och teorigenerering på empirisk grund*, Studentlitteratur, Lund, 1991, ISBN 91-44-32121-X

13.3 Internet

Advanced technical course 2002, lektionsunderlagssida, Davidson, Kenneth L, Naval Postgraduate School, Monterey, California, 2002-10-17
http://www.weather.nps.navy.mil/kldavids/sweden_0702.html

Compendium Technologies, Inc., Information Warfare, Tactical Decision Aids, 2002-12-09
www.compendium-tech.com/IWTDA.jsp

Department of Meteorology, Naval Postgraduate School, Monterey, California, 2002-10-17
<http://www.weather.nps.navy.mil/>

Dictionary of technical terms for aerospace use, 2002-11-13
<http://roland.lerc.nasa.gov/~dglover/dictionary>

Lecture notes for M.Sc. Data Communication Networks and Distributed Systems D51 -- Basic Communications and Networks, 2002-12-09
<http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/S.Bhatti/D51-notes/node22.html#SECTION00033000000000000000>

Nationalencyklopedin på Internet, 2003, 2003-02-17
<http://www.ne.se>

Oilfield Glossary, Schlumberger Limited, 2002-12-09
www.glossary.oilfield.slb.com/Display.cfm?Term=electromagnetic%20propagation%20measurement

Storm Weather Center, Norge, 2003-08-13
www.storm.no/home/

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Atmosfären, 2002-12-09
<http://www-vaxten.slu.se/index2.html>

The Physics Classroom, 2002-12-09
<http://www.physicsclassroom.com>

US Army Aberdeen Test Center, Department of Defence, 2002-02-17
<http://www.atc.army.mil/meteorology/weather.htm>

14 Figur och tabellförteckning

14.1 Figurer

Figur 1 Väderpåverkan.....	1
Figur 2 Metod och disposition	6
Figur 3 Luftskikt i atmosfären.....	8
Figur 4 Bilden visar det elektriska fältet vertikalt och det magnetiska fältet horisontellt.....	13
Figur 5 Radarns frekvensband.....	15
Figur 6 Våglängder för optiska system	16
Figur 7 Principskiss på laserfunktionen	17
Figur 8 Laserns frekvensband	17
Figur 9 Radarfrekvensdämpning.....	20
Figur 10 Brytningsmodul N i skiktad atmosfär.....	21
Figur 11 Principbild vågfrontens avböjning.....	21
Figur 12 Strålbånor i normalatmosfär för antennhöjden 15 m.....	22
Figur 13 Strålbånor i troposfären med ett ytbaserat ledeskikt 0 - 20 m för antennhöjden 15 m.....	22
Figur 14 Väderpåverkan på IR och Optiska system.....	23
Figur 15 Absorptionsspektra som visar absorptionsband och transmissionsfönster.....	24
Figur 16 Hur ser slagfältet egentligen ut?	35

14.2 Tabeller

Tabell 1 Role of Atmosphere in EM/EO Systems Performance.....	27
Tabell 2 Väderpåverkan på olika system	32

15 Förkortningar

COTS	Commercial Off The Shelf
EM	ElectronMagnetic
EO	Electro-Optical
FLIR	Forward Looking InfraRed
IR	Infra Red, InfraRöd
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LvRb	LuftvärnsRobot
MMW	MilliMeter Wave
NBF	NätverksBaserat Försvar
NVG	Night Vision Goggles
RADAR	RAdio Detection And Ranging
SIS	SignalSpaning
Strils	Stridslednings och luftbevakningsskolan
TDA	Tactical Decision Aids
VHF	Very High Frequeency