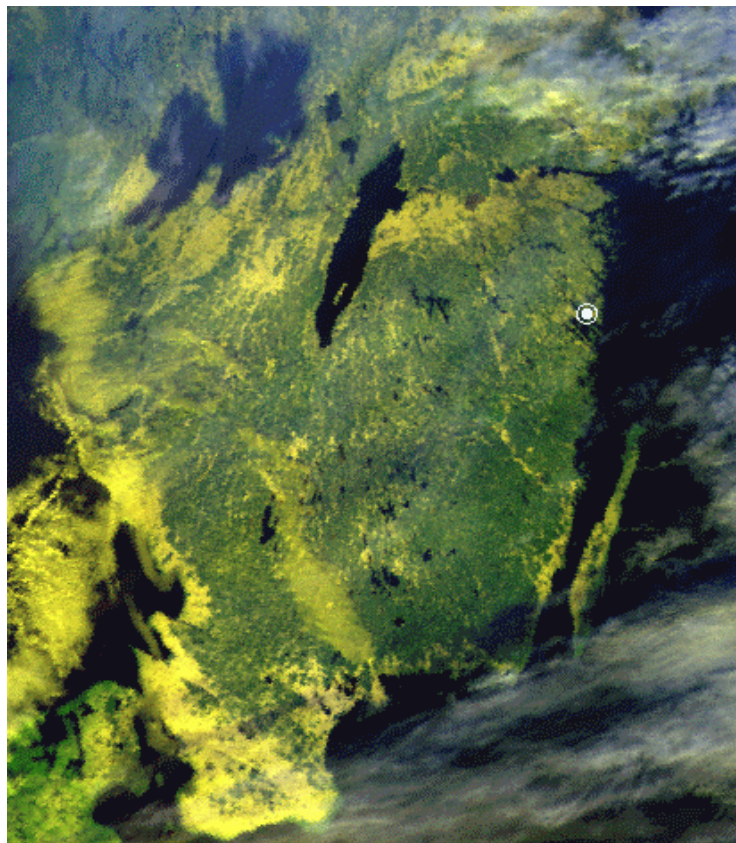


Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 58

Analys av molnklotter inom det termala infraröda våglängdsområdet med IRST-data



Fredrik Mattsson



Department of Physical Geography,
Lund University
Sölvegatan 13, S-221 00 Lund,
Sweden

1999



Förord

Jag vill tacka Arne Hågård, Ingmar Renhorn, Rolf Persson samt övriga inblandade vid FOA 3, Linköping för stöd, hjälp och tålamod vid arbetet med denna uppsats. Varmt tack till Sten Nyberg för hjälp med Terrtex

Tack även till K-G Karlsson vid SMHI, Norrköping för hjälp med satellitbilder.

Ett stort tack går till min handledare Lennart Olsson, Naturgeografiska Institutionen, Lunds Universitet för stöd och hjälp under arbetets gång.

Tack James Hetfield för inspiration och god musik som underlättat arbetet.

...and with dust in throat I crave
only knowledge will I save

Abstract

Texture based descriptions of images is of an increasing importance since the demands of a correct analysis, description and understanding of fine structures are growing. This work reviews some examples of different methods from the litterature of analysing cloud clutter in thermal infrared images registred with an IR-OTIS. It also examines a set of actual images registred over an area of southeastern Sweden. This is done by using Terrtex, a texture analysis software program developed by FOA, Sweden. In this package there are several features suitable for texture analysis, of which a handful are investigated here.

Traditionally, standard deviation has been used to calculate the variation within an scene. The methods used in this work are chosen with respect to the evaluations and recommendations found in the users guide to Terrtex. Apart from these, a number of other texture features have been used considering they were well suited for describing the texture of clouds. Most of them are based on the wienerspectra, the squared magnitude of a local Fourier transformation.

The result of the analysis does not show the presence of any major amounts of clutter. This is partly due to the fact that both types of clouds are relatively homogenous. The result of this, is that the clutter in the images does not stand out as much as it would with clouds having a more pronounced texture. When it comes to the texture features it can be said that some gave a better result than other did. The complexity measures did not perform any relevant output to mention with this kind of images. On the other hand the autoshape, local wienerspectra and RMS' histogram features gave a lot of useful information.

1. INLEDNING3

| | |
|---|-----------|
| 2. BAKGRUND | 3 |
| 2.1 TEXTUR - DEFINITION | 3 |
| 2.2 UPPDRAG | 4 |
| 3. SYFTE | 5 |
| 4. LITTERATURSTUDIE | 5 |
| 4.1 SPATIAL UPPLÖSNING | 5 |
| 4.2 KARAKTERISERING AV MOLNKLOTTER | 6 |
| 4.3 MOLNKLOTTERANALYS..... | 8 |
| 4.4 KVANTIFIERING AV INFRARÖTT KLOTTER | 11 |
| 5. MATERIAL | 12 |
| 5.1 SATELLITBILDER | 13 |
| 5.2 FLYGBILDER..... | 13 |
| 5.3 TERRETEX..... | 13 |
| 6. METOD | 14 |
| 6.1 WIENERSPEKTRUM..... | 14 |
| 6.2 STANDARDAVVIKELSE..... | 15 |
| 6.3 BLOB CONCENTRATION | 16 |
| 6.4 SHAPE | 16 |
| 6.5 LÅG-, MEDIUM- OCH HÖGFREKVENNS BANDENERGI | 17 |
| 6.6 ANGULAR DEVIATION..... | 18 |
| 6.7 ANGULAR ENTROPY | 19 |
| 6.8 FOURIER TRANSFORM ENERGY | 19 |
| 6.9 KOMPLEXITETSMÅTT | 20 |
| 6.10 RMS'-HISTOGRAM..... | 20 |
| 7. RESULTAT | 20 |
| 8. DISKUSSION | 30 |
| 9. SLUTSATS | 35 |
| 10. REFERENSER | 36 |

1. Inledning

Flygburna IR-sensorer av typen Infra Red Search and Track (IRST) kan användas inom försvaret för att upptäcka bland annat flygplan på långa avstånd. Vid Försvarets Forskningsanstalt i Linköping (FOA 3) pågår ett projekt med målsättningen att undersöka egenskaper och begränsningar hos denna typ av sensor.

För att kunna detektera ett flygplan krävs kontroll över att antal faktorer som spelar in för främst räckvidden, men även på prestandan hos sensorn. Räckvidden beror bland annat på den observerade kontrasten mellan målet och bakgrunden. Det är därför viktigt att kunna karakterisera vad som finns bortom ett mål inom IR-området. I en bild kan bakgrunden i princip bestå av en, eller en blandning av följande objekt; land, vatten, klar himmel eller moln.

I detta examensarbete görs ett försök att analysera satellitbilder (NOAA AVHRR) samt fotografier tagna av en flygburen sensor (IR-OTIS) som är utvecklad på uppdrag av Försvarets Materielverk (FMV). De båda uppsättningarna med bilder analyseras med avseende på texturen i olika molntyper. Främst kommer att undersökas om det går att få fram en karakteristik för bakgrundsklottret för de olika molnsorterna i bilderna. Termen klotter (från engelskans *clutter*) kommer att användas i detta arbete och beskriver vad som närmast kan benämnas som spräcklighet eller skillnader i pixelvärden på ett ostrukturerat sätt. De bilder av moln som används har tagits med den flygburna sensorn under flygförsök, samtidigt som satellitbilder har registrerats från NOAA-satelliten.

En viss del av arbetet består av en litteraturstudie angående teoretiska och experimentella undersökningar av IR-signaturer för moln och dess textur. Det är intressant att utreda om det finns ett samband mellan den storskaliga struktur (km-skala), som man finner i satellitbilderna och den relativt småskaliga struktur (m-skala) som är relevant för den flygburna IR-sensorn (E-mail korrespondens, A. Hågård, FOA, Linköping).

2. Bakgrund

Texturbaserade beskrivningar av bilder blir allt viktigare allt efterhand som kraven på ett korrekt sätt att analysera, beskriva och förstå finstrukturer i bilderna ökar. Förutom ett flertal civila användningsområden har texturanalys många tillämpningar inom Försvarsmakten (Uppsäll, 1994).

2.1 Textur - definition

Ett flertal förslag att definiera begreppet textur har gjorts i litteraturen genom åren. Det har aldrig framkommit en generellt accepterad definition, vilket noterats i flera arbeten: "textur har varit extremt motsträvt att precist definiera" (fritt översatt från Haralick, 1973), samt "en exakt definition av textur, antingen som en egenskap för en yta eller som bildegenskap

har aldrig formulerats tillfredsställande” (fritt översatt från Bovik, 1990). Trots bristen på en enhetlig definition kan man slå fast två punkter som utmärker vad textur handlar om. För det första finns det en signifikant variation i nivåer av intensitet mellan närliggande pixlar, det vill säga att även vid högsta upplösning finns en olikartad beskaffenhet mellan dem. För det andra så kan man, om bildens upplösning är tillräckligt bra, urskilja en struktur eller ordning inom större grupper av pixlar (MeasTex, Internet, web-adressen finns i referensdelen).

Det finns två huvudsakliga betraktelsesätt när det gäller att definiera begreppet textur i dator termer, den stokastiska metoden eller den strukturella. I korthet kan den förra förklaras genom att den beaktar det faktum att texturer inte har någon enhetlig intensitet. Denna ojämnheter i intensitet tolkas som att den är genererad av ett 2-dimensionellt slumpartat fält, det vill säga en textur (MeasTex, Internet). Här anses alltså inte att en textur behöver ha en ordning, utan att allt är mer slumpmässigt fördelat. Genom att i en statistisk modell utföra beräkningar på begränsade områden av bilden kan man därefter säga något om texturens beskaffenhet (Cross, 1983).

När det gäller den strukturella metoden läggs i stället en större tonvikt vid den spatiala strukturen. Här anses en textur vara komponerad av ett grundläggande mönster vilket upprepas genom hela texturen. Med andra ord kan textur anses vara ett grundläggande lokalt mönster som är periodiskt eller skenbart periodiskt återkommande över en given area (Faugeras, 1980).

2.2 Uppdrag

Vid ett möte på FOA 3 framkom att FMV fått i uppdrag från Försvarmakten att utveckla en IRST-funktion på JAS 39 Gripen. FOA 3 blev i sin tur ombudade av FMV att studera och utvärdera IR-OTIS vilken skulle kunna vara en lämplig IR-sensor i detta fall.

IR-OTIS verkar i våglängdsområdet 8 - 12 μm , det vill säga termal infraröd strålning. Den skall vara placerad i flygplansnosen och avsikten är att man skall kunna upptäcka och identifiera föremål på olika avstånd upp till X km. I motsats till radar är detta system passivt, och kan därför användas i smyg-sammanhang eftersom det endast registrerar emitterad strålning. Nämnas kan att radar som bekant skickar ut en puls som lätt uppfattas och därmed varnar målet.

Den största nackdelen med systemet är att det, liksom för alla sensorer inom IR-området, är mycket känsligt för aerosoler och vattendroppar i atmosfären. Moln, eller dålig sikt på grund av andra orsaker, är i högsta grad begränsande för räckvidden inom området för de aktuella våglängderna. Även bakgrundsklottedet bakom föremålet som skall upptäckas eller identifieras är en viktig faktor. Ju större kontrasten är mellan mål och bakgrund, desto längre avstånd kan kameran manövreras på, för att upptäcka eller förfölja ett objekt. Detta är givetvis en fördel i smyg-sammanhang eftersom det minskar risken för egen upptäckt.

3. Syfte

Det finns ett flertal egenskaper som karakteriserar den observerade bilden av molnen i en IR-sensor av IR-OTIS slag. Den egenskap som främst kommer att undersökas är texturen hos ett antal olika molnsorter. Syftet med arbetet kan sammanfattas i följande två punkter:

1. Med hjälp av programmet Terrtex analysera IR-OTIS bilder med avseende på termalt bakgrundsklotter. Detta skall ske genom att använda ett flertal olika texturmått i programmet.
2. Genomföra en litteraturstudie som tar upp olika metoder och resultat som kan användas för att studera termalt klotter.

4. Litteraturstudie

4.1 Spatial upplösning

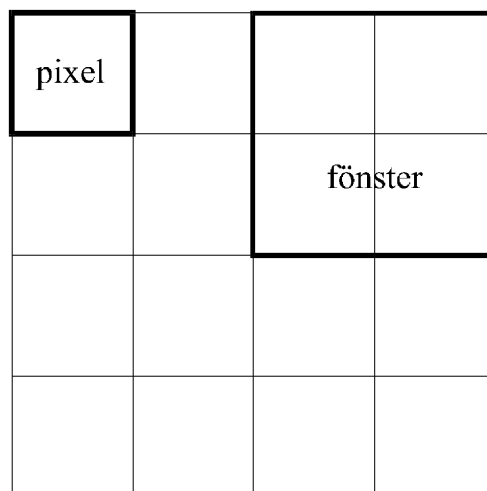
Det finns i princip bara två olika metoder att klassificera pixlar på, dels de som är baserade på multispektrala signaturer, och dels de som grundas på statistiska modeller. Tillvägagångssättet att använda sig av multispektrala signaturer fungerar genom att pixlarnas karakteristiska ljushetsvärden (från engelskans *brightness*) i flera olika kanaler identifieras. Denna metod är mycket känslig för att rätt tröskelvärde väljs. Det andra sättet baseras på statistiska modeller, som till exempel spatial koherens och sammanslagning av ljushetstemperaturer och/eller albedo. Dock är det inte säkert att det bildas några kluster ens under molniga förhållanden, och i de fall det gör det så kan det hända att de bildas av pixlar som endast delvis innehåller moln. Andra statistiska tillvägagångssätt har utvecklats där man försöker urskilja molntextur genom att identifiera karakteristiska rumsliga distributioner (Welch *et al.*, 1989).

I litteraturen finns det många rapporter som påvisar att säkerheten i klassificering av moln ökar om man använder sig av texturmått i analysen. Mycket intresse har ägnats åt att hitta en optimal upplösning med avseende på att ge en tillräcklig spatial noggrannhet utan att skapa ohanterliga datamängder, men att samtidigt kunna finna en textur. Genom att studera satellitbilder med olika spatial upplösning och sedan räkna fram *Grey Level Difference Vector* (GLDV), undersöks säkerheten i klassningarna. GLDV är en modell som beskriver textur genom statistiska regler, vilka styr fördelning och relationer mellan olika lokala gråskalevärden. Detta innebär att modellen baseras på absoluta skillnader mellan två olika gråskalor vid ett givet avstånd (d) och vinkel (ϕ), från varandra. Därefter används parametrarna för att räkna ut ett flertal statistiska mått som beskriver textur. Exempel på användbara sådana är bland annat medelvärde, standardavvikelse, kontrast och lokal homogenitet (Welch *et al.*, 1989).

Tillvägagångssättet som författarna använde var att genom ihopslagning av närliggande pixlar stegvis försämra upplösningen i ett antal scener som sedan undersöktes. Efter det applicerades de statistiska metoderna för att beräkna texturmått. Resultaten visar att informationen om texturen blir klart sämre med lägre spatial upplösning. Det finns dock ett undantag när det gäller moln av typen Cirrostratus. Där är förlusten i textur inte är särskilt stor med den sämre upplösningen. Detta beror på att dessa moln består av stora celler med likartad radians och som därmed knappt har någon finskalig textur. Det är dock endast Cirrostratus, av cirrusmolnen, som kan sägas vara relativt okänslig för den spatiala upplösningen. Övriga cirrusmolntyper består till stor del av finskaliga texturer och är mycket känsliga för försämrade upplösning (Welch *et al.*, 1989).

4.2 Karakterisering av molnklotter

Uppspårning av ett luftburet punktmål med hjälp av infraröd övervakning försvåras ofta av molnklotter. Mängden klotter kan bestämmas med hjälp av hur stor RMS-variansen (RMS - *Root Mean Square*) är av intensiteten i bilden om man delar in bilden i fönster (se figur 1) av bestämd storlek. En bild som består av RMS-värden från dessa fönster skapar en slags första klotterkarta. I en studie analyserade Schwering ett antal 10 μm IR-18 bildsekvenser för att försöka få fram ett jämförande mått som fastställer andelen klotter i olika typer av bilder. Även ett antal andra parametrar, som till exempel brus från systemet och felaktigheter i målbestämnings processen kunde också karakteriseras (Schwering, 1992).



Figur 1. Principbild över en pixel respektive ett 4x4 pixlar stort fönster.

I studien jämförde författaren två bilder med varandra, tagna med endast 7 sekunders mellanrum, och med stor likhet i IR intensitet. En av bilderna innehåller ett målobjekt, den andra gör det inte. För var bild beräknades RMS-värdet för fönster med storleken 5x5 pixlar som sedan presenterades som RMS-bilder. Dessa bilder visar tydligt de områden som har en kraftig förändring av intensitet närvarande i fönstret. Sådana förändringar förekommer dels

vid målet men även speciellt vid molnkanter. Följaktligen visar RMS-fluktuationerna i princip ett sätt att filtrera fram objekt som är mindre än vad själva fönsterstorleken är. Detta skapar liknande falska detektioner som många punktmåls filter gör, det vill säga onödigt bakgrundsklotter. Ett annat kännetecken för RMS-bilderna är att de har dominerande homogena bakgrunder bestående av ett heltäckande molntäcke, det vill säga med relativt låg variation i intensitet. Dessa variationer är i samma storleksordning som bruset i bilden, och bör inte ens anses vara klotter. För att kunna kvantifiera infrarött bakgrundsklotter måste därför dessa fluktuationer tas bort i klotterberäkningar (Schwering, 1992).

Ett system har arbetats fram av Schwering för att kunna få fram information om molnklotter i infraröda bilder. Grunden för den mängd spatialt klotter som hittas är RMS-varianserna i de definierade fönster som visar intensiteten i bilden. En bild som består av fönster med RMS-värden ger på så sätt en första klotterkarta. För att kunna bestämma klotter för ett större antal mål är det nödvändigt att göra beräkningarna för RMS-bilderna med olika fönsterstorlekar, från ett minimum på 2×2 pixlar till maximalt tillåtna fönsterstorlek. För att erhålla signifikanta värden från denna första klotterkarta grundad på statistik, kan i praktiken den maximala fönsterstorleken inte vara större än $1/10$ av den totala bildstorleken i någon riktning. Varianserna (RMS^2) av värdena i den initiala kartan vägs därefter för att få fram ett enskilda värde på klotter för en större scen, eller ett flertal värden i stora delar av scenen. I processen krävs det att brus från sensorn separeras från verklig bakgrundsstruktur (Schwering, 1992).

I artikeln används ett mått på den totala mängden klotter, $Clut$. Detta mått bör endast användas för att beräkna antalet falska detektioner som kan inträffa. Klotterdensiteten CD , kan därefter definieras som mängden klotter per steradian. För en bild av storleken $\Delta\Omega$ (sr) blir

$CD = Clut / \Delta\Omega$ (sr^{-1}). CD används för att jämföra områden med olika area, samt för extrapolation.

$$Clut = \sqrt{\sum_{RMS} RMS^2} \quad (\text{ekv. 1})$$

Om all intensitet och alla RMS-värden kalibreras till $Watt\ m^{-2}\ sr^{-1}$, kan klottermåttet bestämmas i enheten $Watt\ m^{-2}$ och CD i $Watt\ m^{-2}\ sr^{-1}$. Denna metod har används till verklig bakgrundsdata registrerad av WBS-III scannern. Det finns dock en nackdel med metoden, vilken är att den verkliga brusfaktorn från scannern måste vara känd. Detta kräver korrekta mätningar och kan även vara påverkat av tidsberoende fenomen som till exempel avkylningseffekter. En lösning på detta problem kan vara att använda toppen i RMS-histogrammet som en uppskattning av bruseffekten (Schwering, 1992).

För att jämföra klottermåttet med ett vissa specifikt definierade objekt, till exempel olika molntyper, anses det inte vara nödvändigt att indela klotter i olika klotterklasser. Det har därför i studien inte gjorts något försök att relatera en viss sorts infrarött klotter till enskilda

objekt. Anledningen till detta är att olika objekt, under olika förutsättningar, kan resultera i samma mängd klotter och därmed hamna i samma klotterklass, vilket skapar en osäkerhet. Det är därför som ett kvantitativt mått som *Clut* är att föredra. Klottermåttet *Clut*, över hela bilden, samt det framräknade klotterdensiteten *CD*, bevarar inte distributionen av höga och låga toppar i scenen. Summeringen av ett stort antal mellanstora värden ger upphov till ett lika stort klottervärde som summeringen av ett fåtal höga värden (Schwering, 1992).

Det klottermått som diskuterats har ett antal faktorer som måste tas hänsyn till. Främst gäller det fönsterstorleken för fönstret där RMS-beräkningarna skall utföras som kräver en definition. För större fönster kommer RMS också att bli större eftersom fler avikelser från RMS-medelvärdet förekommer. Enligt beräkningar utförda i studien har 50×50 fönstrena ett sex gånger högre klottermått än 5×5 fönstrena (Schwering, 1992).

4.3 Molnklotteranalys

I en artikel av Schwering och Kruseman redogörs det för Scorpio, en sensor som i horisontell led avbildar himlen inom det infraröda våglängdsområdet. Den opererar inom banden 3 - 5 μm och 8 - 13 μm , men har sitt huvudsakliga användningsområde vid 10 μm . Inom denna våglängd pågår en studie av statistiska egenskaper som klar himmel och moln uppvisar när det gäller infraröd strålning, med andra ord infrarött klotter och molnighet. Sensorn har ett mycket brett synfält och bra termal upplösning, 0.2°C vid 4 μm respektive 0.06°C vid 10 μm . Processen som används för att upptäcka och fastställa ett punktmål, till exempel ett flygplan, hämmas ofta av bakgrundsklotter. Det är därför nödvändigt att använda ett väl fastslaget klottermått. Med ett sådant mått är det möjligt att göra en kvantitativ urskillning mellan de effekter som uppkommer på grund av bakgrundens textur samt effekter som kan uppstå av andra orsaker. Ett exempel på sådana orsaker kan vara byggnader, eftersom bilderna är tagna i horisontell led och ibland på låg höjd (Schwering *et al.*, 1993a).

Det finns ett flertal metoder för att beskriva klotter som ett mått på den lokala texturen. Lokala variationer kan till stor del bero på brus i det system man använder sig utav, eller på bakgrundsstrukturer. I homogena delar av himlen (till exempel helt klar himmel eller helt igenmulet) dominerar bruseffekterna totalt resultaten av bilderna. För beräkning av molnklotter ger RMS-variationen i bilden en god skattning av mängden klotter, men endast om man kompenserat för bruset från den i övrigt homogena himlen. Resultatet fås genom att bilden från Scorpio-sensorn delas in i fönster med storleken $n_v \times m_h$ pixlar, i detta fall $4_v \times 12_h$. Just denna fönsterstorlek ansågs vara lämplig eftersom det på empirisk väg framkommit att den var liten nog för att tillåta upptäckt och analys av punktmål men samtidigt stor nog för att kunna hantera all data. För att räkna ut RMS-variationen används vanligtvis medelintensiteten (μ) i bilden. Men istället för att, som brukligt, beräkna μ för hela fönstret använde Schwering *et al.* en något annorlunda metod där ett annat medelvärde för intensiteten räknades ut. Skillnaden består i att intensiteten beräknas för varje pixel i bildfönstrena, och således benämns μ_{dynamic} . Resultatet av hela RMS-beräkningen namnges då istället som RMS'. Resultatet för fönstret (x, y) blir då:

$$\text{RMS}'(x, y) = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=1, j=1}^{i \leq m, j \leq n} [I(i, j) - \mu(i, j)_{\text{dynamic}}]^2} \quad (\text{ekv. 2})$$

där:

$$\mu(i, j)_{\text{dynamic}} = \frac{\sum_{k=-m/2, l=-n/2}^{k < m/2, l < n/2} I(i+k, j+l)}{mn} \quad (\text{ekv. 3})$$

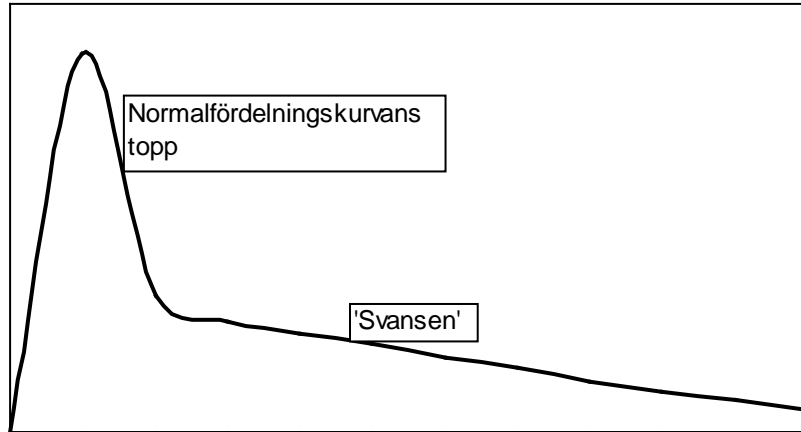
k = konstant, given av CFAR

I = radiansen

Genom att använda medelvärdet från fönstret (x, y) beräknar Schwering *et al.* RMS' som beror på pixlarna (i, j) . Dessa medelvärden är framräknade separat för varje pixel och baserade på samma fönsterstorlek, men centrerad på pixelpositionen (i, j) , för vilken summeringen av RMS'-beräkning gäller. Genom att använda denna 'rörliga medelvärdes' metod erhålls, enligt artikelförfattaren, en bättre representation av det sanna medelvärdet för den omgivande arean runt en pixel vid kanten av ett fönster (Schwering *et al.*, 1993a).

Undersöks ett område av bilden där variansen är liten ger de två olika metoderna nästan identiska resultat. Görs istället studien över områden där variansen är större finner man att skillnaden mellan att använda sig utav medelvärdena μ_{dynamic} eller μ och funnit att den är avsevärd. De största differanserna finns som väntat vid kanterna av fönstret och är stora i både horisontell och vertikal led. Skillnaden mellan metoderna beror främst på användningen av μ vilket inte representerar det verkliga medelvärdet för en pixel som befinner sig i kanten av ett fönster. Vidare blir det en signifikant minskning av höga RMS-värden vid användandet av μ_{dynamic} . Detta faktum, tillsammans med ett tröskelvärde som reducerar brus i bilden leder till en mindre andel klotter (Schwering *et al.*, 1993b).

Histogram som skapas från variationerna i RMS' (och RMS) brukar vanligen bestå av en normalfördelningskurva som orsakas av brus från scannern och detektorsystemet, samt en 'svans' som är förorsakad av klotret (se figur 2). Efter att ha applicerat ett rumsligt filter som maskerar bort till exempel byggnader genom att helt enkelt lägga en mask över dem, använde Schwering vissa urskiljningsalgoritmer som har anpassningsbara tröskelvärden för att kunna upptäcka mål. Tröskelvärdena går att ställa in med hänsyn till den lokala texturen, vilken kan kvantifieras med hjälp av RMS'-värdet för den aktuella molntypen. Det är därför som den så kallade 'svansen' på RMS'-fördelningen är den intressanta delen av histogrammet, med avseende på metoder som verkar hämmande för upptäckten av klotter (Schwering *et al.*, 1993a).



Figur 2. Principbild över RMS'-fördelningen med normalfördelningskurva och svans. Horisontal axel visar RMS'-värden från 0 till 1 ($Wm-2sr-1$). Vertikal axel visar antalet fönster för varje RMS'-värde.

För att få fram ett bra mått på molnklotret beräknar Schwering *et al.* lutningen på 'svansen' i grafen. Värdet av lutningen ger ett bra mått på andelen klotter i bilden, utan att ha påverkats av det brus som orsakas av systemet. Det finns även en tydlig korrelation mellan lutningen på 'svansen' och molntypen i kombination molnbashöjden. Bilderna kan delas in i sex grupper; molnfritt, mulet samt fyra olika molntyper, Cumulus (Cu), Stratocumulus (Sc), Altocumulus (Ac) och Cirrus (Ci). Observationer från en helt mulen eller en klar himmel ger endast en normalfördelningskurva som orsakats av bruset. En annan intressant iakttagelse är att lutningen på 'svansen' blir brantare i takt med att nivån på molnbashöjden ökar. Detta lutning/höjd förhållande kan förklaras av tre möjliga orsaker:

- 1) Ju lägre molnen befinner sig, desto högre temperatur håller de och därmed blir kontrasten större mellan den kalla klara himlen och molnen.
- 2) Ju lägre altitud som molnen befinner sig på, desto mindre andel av arean (m^2) har de av en pixel.
- 3) Moln på olika höjd har olika textur.

Resultatet av punkt två är fortfarande helt klar. Ett större område kan ge ett jämnare klottervärde eftersom radianen fördelas ut lika över hela arean. Men det kan även orsaka en större skillnad mellan två närliggande pixlar. Gränsen mellan moln och himmel består av pixlar med radianser som ligger inom de respektive gränser man satt tröskelvärdena för objekten till. Dessa värden har i sin tur bestämts av kurvorna för klar himmel samt av den aktuella molntypen. Studeras endast små områden kan övergången mellan moln och klar himmel vara jämn, vilket ger ett lågt klottervärde. Större areor kan ge mycket större steg och därför ett högre klottervärde. Det bör nämnas att effekten av storleken på den betraktade ytan inte till fullo är utredd (Schwering *et al.*, 1993a).

4.4 Kvantifiering av infrarött klotter

Om ett mål skall kunna upptäckas bland en massa klotter är det viktigt att känna till klottrets spatiala struktur. I synnerhet är det förhållandet mellan målets storlek och skalan på texturen som är av den största vikten. Det är därför, med avseende på algoritmer för målupptäckning och signaturanalys, mycket viktigt att kunna kvantifiera det termala klotteret. I en artikel beskriver Reynolds (Reynolds, 1990) ett försök att karakterisera klotter i termala bilder. Tanken är att kunna kombinera statistik från pixelintensitet och spatial data från klottret till ett enda värde. Detta värde är unikt och beskrivande, med avseende på alla upptäckningssystem. Avsikten med detta är att kunna beskriva de variationer i intensitet som sker då ett mål rör sig över en viss sträcka. Måttet måste beskriva både radiansens variation såväl som relevant spatial information i scenen. Detta eftersom målupptäckning är beroende av både upplösningen och själva klottret (Reynolds, 1990).

I motsats till vad många analytiker tidigare hävdade besitter termalt klotter normalt sett inte vissa statistiska egenskaper som till exempel normalfördelning och temporal invarians. Dessa egenskaper krävs i regel för att ett flertal av de automatiska upptäckningssystem som finns skall fungera väl över olika bakgrunder och miljöbetingelser. I de fall då man använder sig utav silhuett och intern kontrast som huvudsakliga särdrag i kriteriet för upptäckt av ett mål, går det att sluta sig till tre olika nivåer av rumsligt klotter; i) klotter som är betydligt större än målets typiska silhuettstorlek, ii) klotter som motsvarar silhuetterns storlek, iii) klotter som motsvarar den interna kontrasten i målet. Det sistnämnda skulle sträcka sig till sensorns maximala upplösning (Reynolds, 1990).

I en stor del av litteraturen är klotter mer eller mindre ansett som en självständig del av bakgrunden. Det beror kanske på att fokuseringen till stor del är inriktad mot behovet att lösa problemet att upptäcka målet, vilket gör att klottret blir reducerat endast till ett hinder för att utveckla det optimala detektionssystemet. Det skall dock noteras att klotter är ett relativt mått. Det kan anses som ett objekt vilket påminner om ett mål, utan att i själva verket vara ett. Om klotter skall definieras måste det ske med hänsyn till den längdskala som anbefalles av målet. Följaktligen kan en enskild scen innehålla många simultana klotternivåer. Detta påstående leder till att klotter också måste definieras i samordning med sensorns tekniska förutsättningar, till exempel klottrets rumliga utbredning eller radiansens variation (Reynolds, 1990).

Även Reynolds använder sig utav RMS-metoden för att beräkna ett klottermått, det vill säga medelvärdet av RMS-värdet från variansen av de fönster som bilden delats in i.

$$C = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 \right)^{1/2} \quad (\text{ekv. 4})$$

där

C = klottervärde

N = antalet fönster

σ_i = standard avvikelsen av det *i*:te fönstret.

Om man studerar hur RMS-måttet uppför sig ser man att ett fönster som är placerad över en uniform area av bilden inte kommer att ha någon varians inom sig. Detta resulterar i en minskning av magnituden för RMS-klottret. Ett fönster som däremot befinner sig över exempelvis en molnkant kommer att ha en stor varians vilket således ökar magnituden på klottret. Klottervärdet (C), tenderar att gå mot bildens standardavvikelse allt eftersom fönsterstorleken ökar. Minskar fönsterstorleken går C mot noll. För en bild som innehåller inslag med spatiala egenskaper som är större än fönsterstorleken blir tillskottet till variansen i varje fönster litet, det vill säga att klottervärdet är litet. Är de istället ungefär lika stora som fönsterstorleken, eller mindre, blir tillskottet till variansen större vilket därmed resulterar i högre värden av C . Klottervärdet är alltid mindre än, eller lika med, hela bildens standardavvikelse (Reynolds, 1990).

För att bestämma hur statistiskt signifikant skillnaden mellan medelvärdena i fönsterna och medelvärdet i bilden är, beräknas F^* och kontrolleras i en F-distributions tabell. Med hjälp detta värde går det att avgöra om fönsterstorlekarnas areor på ett statistiskt bra sätt representerar hela scenen (Reynolds, 1990).

$$F^* = \frac{(k-1) \sum_{i=1}^N (\mu_i - \mu)^2}{(N-1) C^2} \quad (\text{ekv. 5})$$

Fönstrets storlek bör vara så stor att tillskottet till klottret inkluderar de bakgrundsobjekt som är större än eller lika med målobjektet. För att sälla bort tillskotten från objekt som är mindre än målet bör fönstrets sida vara dubbelt så lång som målets maximala storlek (Reynolds, 1990).

Det går även att räkna ut ett signal/klotter förhållande (SCR) genom att ta absolutvärdet av målets extremtemperatur (T'_{targ}) och subtrahera bakgrundens medeltemperatur (T_{bkgd}).

$$SCR = \frac{|T'_{targ} - \overline{T_{bkgd}}|}{C} \quad (\text{ekv. 6})$$

5. Material

5.1 Satellitbilder

Satellitbilderna i detta arbete består av NOAA AVHRR bilder och är framtagna av SMHI i Norrköping. En uppsättning med bilder är registrerade i det termala infraröda området 10.30 - 11.30 μm (kanal 4). Det andra settet består av multispektrala kompositer, så kallade översiktsscener. I var och en av dessa ingår tre bilder som underlag för varje scen. Dessa är en så kallade RGB-bilder där färgkomponenterna rött, grönt och blått kopplats till varsin unik satellitbild. I detta fallet är komponenten röd kopplad till en visuell AVHRR bild (0.6 μm), grön är kopplad till 0.8 μm och blått är kopplad till termalt infrarött (11 μm). De resulterande färgerna i scenerna uppkommer alltså på grund av objektens olika utseende i de tre olika bilderna. Exempelvis ger ett relativt varmt Stratusmoln eller dimmoln gula färger eftersom molnet reflekterar mycket av solljuset. Kalla och tunna moln ger däremot ett mer blåaktigt utseende (E-mail korrespondens K-G Karlsson, SMHI, Norrköping).

Satellitbilderna användes för att bestämma vilken slags molntyp som flygbilderna registrerat. Klassningen är utförd av SMHI, Norrköping. För identifiering av molntyper användes färdigklassade NOAA-bilder vilka visade att flygbild nr. 6662 innehåller Stratusmoln och att flygbild nr. 8140 innehåller Stratocumulus.

5.2 Flygbilder

Flygbilderna som används i detta arbete är, som tidigare nämnts, registrerade i horisontell led av en sensor (IR-OTIS) monterad på nosen av ett jaktflygplan. Bilderna är tagna i våglängdsområdet 8 - 12 μm och därefter omgjorda från 12-bitar till 8-bitars BMP-filer. Två stycken flygbilder användes i analysen (tabell 1).

Tabell 1. Flygbildsdata (FOA 3, Linköping)

| Flygpass | Datum | Bild nr | Position, tid | Beskrivning |
|----------|--------|---------|--|---|
| pass 2 | 980126 | 6662 | Long=16.5585, Lat=57.9833 Höjd=4348 m, UTC ca. 11-11:15 | molnband |
| pass 3 | 980128 | 8140 | Long=16.0715, Lat=58.2756 Höjd=2009 m, UTC ca. 12-12:20 | cirrusliknande moln över större delen av bilden |

Flygbilderna är tagna i samband med att NOAA-satelliten passerade för att därmed få största möjliga säkerhet i klassningarna av vad för slags moln som registrerades när planet var uppe och flög.

5.3 Terrtex

Terrtex är ett texturanalysprogram som används för flerdimensionell digital bildbehandling. Det är utvecklat av FOA för att försöka karakterisera optiska spatiala variationer i naturliga bakgrunder (Nyberg *et al.* 1997).

6. Metod

Traditionellt sett har standardavvikelse använts för att få fram variationen i en scen. I Terrtex finns dessutom en rad andra möjligheter att tillgå för att analysera textur. I programmet finns det möjligheter att med hjälp av ett flertal mått ingående studera strukturer. De metoder som använts i detta arbete är valda med hänsyn till de rekommendationer och utvärderingar som finns i manualen till programmet. Förutom dessa föreslagna har ett antal andra texturmått från Terrtex beräknats med tanke på att de lämpar sig väl för texturbeskrivning av moln. De flesta av dem grundar sig på wienerspektrum, vilket är den kvadrerade magnituden av en lokal Fouriertransformation. Generellt sett har ett område med mycket klotter ett brett wienerspektrum som indikerar många spatiala frekvenser.

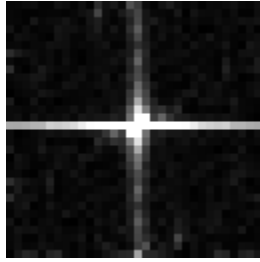
Nedan följer ett kort genomgång av de olika metoder som i större eller mindre utsträckning använts för att utföra detta arbete. De ekvationer som presenteras för texturmåtten nedan, redovisas huvudsakligen för att ge en viss känsla av beräkningarna som ligger bakom resultaten i senare del av arbetet. Eftersom det i vissa fall krävs relativt djupgående matematiska kunskaper för att kunna följa definitionerna för några av måtten har dessa utelämnats och istället ges endast en kortare förenklad presentation. För en noggrannare genomgång hänvisas till Nyberg *et al.* 1997.

6.1 Wienerspektrum

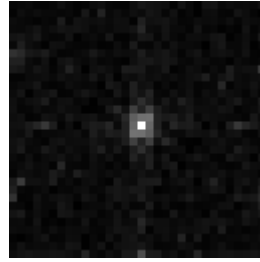
Wienerspektrum grundar sig på Fouriertransformationen, vilken är en teknik för att uttrycka en vågform som en viktad summa av sinus och cosinus. Grundidén är att varje periodisk funktion kan skrivas som en summa av rent harmoniska svängningar. Som tidigare nämnts är wienerspektrumet lika med den kvadrerade magnituden av en sådan transformation.

Ett wienerspektrum som är yvigt och utbrett över en stor del av bilden tyder på en inputbild med många och höga frekvenser samt att variationen inom bilden är snabb. Sådana bilder är ofta registrerade över områden med mycket klotter. Ett exempel på detta är figur 3. Originalbilden är tagen i gränsskiktet mellan ett ljus molnband och ett mörkare homogent område (se figur 5).

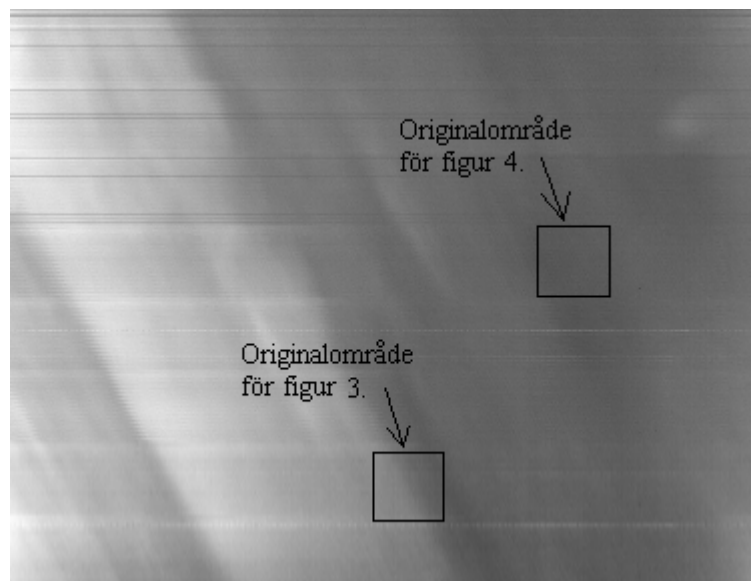
Är däremot wienerspektrumet litet, och till stor del koncentrerat i mitten betyder detta att variationen i bilden är långsam med ett stort antal låga frekvenser. Dessa bilder är ofta registrerade över stora homogena ytor, till exempel Cumulusmoln, och innehåller följaktligen mycket lite klotter. Figur 4 visar ett wienerspektrum av en bild registrerad en mörk homogen yta. Både figur 3 och 4 är framställda genom att använda ett kvadratisk fönster med en sida av 16 pixlar som rör sig med en stegstorlek av 4 pixlar i taget över området som skall beräknas.



Figur 3. Exempel på wienerspektrum med många och höga frekvenser.



Figur 4. Exempel på wienerspektrum med låga frekvenser.



Figur 5. Översikt över områdena där figur 3 och 4 är beräknade.

6.2 Standardavvikelse

Detta mått beräknar standardavvikelsen i den lokala regionen. Det är användbart som en beskrivning av datans generella karaktär. Den påvisar avvikelsen som ett enda medelvärde av de värden som befinner sig över eller under hela regionens sanna medelvärde (Shaw *et al.*, 1994).

$$std = \sqrt{\left(\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N - 1} \right)} \quad (\text{ekv. 7})$$

där:

std = standardavvikelsen
 X_i = i :te värdet av X
 \bar{X} = medelvärde
 N = antalet observationer

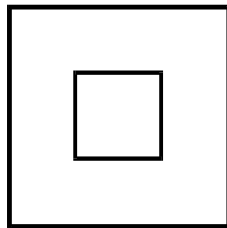
Variationskoefficienten (VK) är ett annat mått som eventuellt skulle kunna gå att använda sig utav. Tyvärr finns inte heller möjligheten att beräkna VK i Terrtex. Variationskoefficienten beräknar variabelns relativa spridning och kan bara beräknas om variabeln antar positiva värden. VK är ett olämpligt mått om medelvärdet är nära noll. Koefficienten beräknas som en kvot mellan standardavvikelsen och medelvärdet och anges i procent (Körner *et al.* 1996):

$$VK = \frac{std}{\bar{X}} * 100 \quad (\text{ekv. 8})$$

Variationskoefficienten diskuteras vidare i kapitel 8.

6.3 Blob concentration

Detta mått har som uppgift att indikera fläckar, eller anhopningar, i en digital bild. Metoden som används kan beskrivas som en mindre ruta placerad inuti en något större. Det mindre fönstret har en bredd på 3 pixlar och det yttre en bredd på minst 13 och som mest 15 pixlar. Medelvärdet för den inre respektive yttre rutan beräknas och används sedan som ett värde på texturmåttet i de fall de överstiger ett visst, relativt lågt satt tröskelvärde (Nyberg *et al.* 1997).



Figur 6. Exempel på hur fönstret kan se ut (Nyberg *et al.* 1997).

6.4 Shape

Detta och de följande texturmått beräknas med hjälp av wienerspektra. Utsträckningen av en tröghetsellips definieras som förhållandet mellan den mindre och den större radien. Termen tröghetsellips kommer från mekaniken och kan även användas som ett begrepp inom signalbehandling. I Terrtex är syftet att uppskatta och beskriva wienerspektrumet med en funktion. Detta görs genom att anta att spektrumet har en massa i varje punkt, vilken

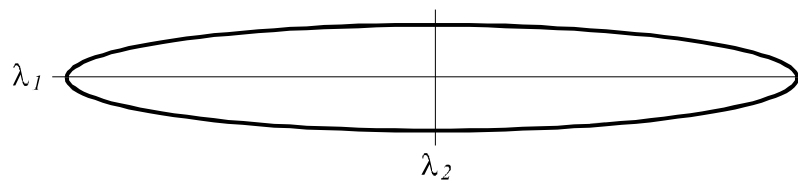
motsvarar det numeriska värdet i samma punkt, och approximera formen på denna massa med en ellips. Ellipsens två axlar beräknas genom att lösa ett egenvärdesproblem. Den kortare axeln skär huvudaxeln vinkelrät och på halva längden. Om förhållandet mellan de två axlarna är stort, det vill säga att längdaxeln är stor, avslöjar det att det finns höga frekvenser i motsvarande riktning. Med andra ord, värdena i bilden varierar snabbt i denna riktning. Den kortare axeln blir då ett mått i bilden som anger den sträcka som är nödvändig för att bilden skall ha ändrat sig väsentligt. Shape (autoshap) är ett mått på hur långsmal ellipsen är. Om wienerspektrumet är helt cirkulärt är λ_1 lika med λ_2 och shape blir följaktligen 1 (och sedan skalat med 200) och ingen större variation i bilden. Är variationen stor betyder det att spektrumet är långsmalt och shape nära noll (Nyberg, e-mail korrespondens).

$$autoshap = 200 \times \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (\text{ekv. 9})$$

där

λ_1 = Ellipsens större radie

λ_2 = Ellipsens mindre radie



Figur 7. λ_1 och λ_2 vid beräkning av Shape.

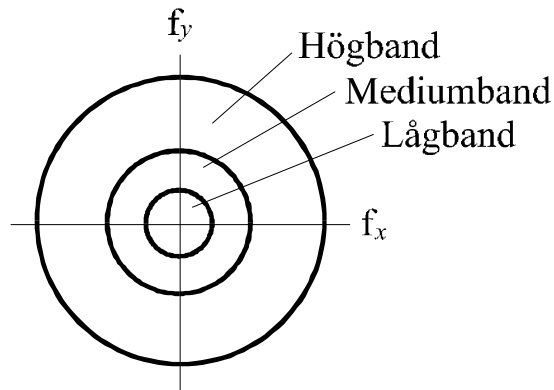
6.5 Låg-, medium- och högfrekvens bandenergi

Detta mått är ett av de mest relevanta när det gäller att karakterisera ett mönsters skala. Det beräknas genom att wienerspektrumet summeras i tre olika frekvensband. För att beräkna dessa använder man sig utav Nyquistfrekvensen (f_{ny}) vilket ger nedanstående frekvensgränser. Nyquistfrekvensen motsvarar halva samplingstakten av den maximala frekvensen. (Nyberg *et al.* 1997).

Lågband: 0 till $f_{ny}/4$

Mediumband: $f_{ny}/4$ - $f_{ny}/2$

Högband: $f_{ny}/2$ - f_{ny}



Figur 8. De olika areorna för beräkning av lågband, mediumband och högband (Nyberg et al. 1997).

6.6 Angular deviation

För att skaffa ett begrepp om variationen med avseende på vinkeln, uttryckt som standardavvikelsen, beräknas vinkelavvikelsen (angular deviation). Det görs genom att dela in wienerspektrumet i ett antal sektorer och därefter summera det inom varje sektor.

Vinkelfunktionen beräknas enligt följande:

$$angle_i = \sum_{j=f_{ny}/4}^{f_{ny}} \frac{\log(magn_{i,j} + 1)}{\log(dc)} \quad (\text{ekv. 10})$$

där

dc = wienerspektrumets magnitud för frekvensen 0

$magn_{i,j}$ = wienerspektrumets magnitud för fönstret/pixeln i,j

Vinkelfunktionen normaliseras så att summan av alla sektorvärdens $angle_i$ är 1. För att lämpligt kunna presentera måttet med vanliga pixelvärden divideras resultatet med en konstant.

$$angledev = \frac{\sqrt{dev2}}{15} \quad (\text{ekv. 11})$$

där

$$dev2 = \frac{sum2}{numang} \quad (\text{ekv. 12})$$

och

$numang$ = antalet sektorer som wienerspektrumet delats in i

$$sum2 = \sum (angle_i - rmean)^2 \quad (\text{ekv. 13})$$

$$rmean = \frac{\sum angle_i}{numang} \quad (\text{ekv. 14})$$

Ett högt värde på angular deviation påvisar närvaron av ett flertal höga frekvenskomponenter i vissa riktningar samt bristen på liknande i andra riktningar (Nyberg *et al.* 1997).

6.7 Angular entropy

Vinkellikformigheten (angular entropy) är ett mått på hur likformig variationen är, det vill säga hur väl fördelade de höga frekvenserna är. Ett högt värde på vinkellikformigheten innebär en uniform distribution av höga frekvenskomponenter i bilden (Nyberg *et al.* 1997).

$$angleent = 255 \times \frac{rsum}{\log(numang)} \quad (\text{ekv. 15})$$

där

$$rsum = \sum -angle_i \times \log(angle_i) \quad (\text{ekv. 16})$$

$numang$ = antalet sektorer som wienerspektrumet delats in i

6.8 Fourier transform energy

Ett högt värde på den totala Fourier transformations energin ($ftenergy$) betyder att bilden har en stor variation inom sig. Eftersom wienerspektrumet ofta avtar kraftigt med frekvens används logaritmer för att vikta de högre frekvenserna mer. Den totala Fourier transformations energin definieras enligt följande (Nyberg *et al.* 1997):

$$ftenergy = 5.0 \times \frac{magnsum}{32 \times 32} \quad (\text{ekv. 17})$$

där

$$magnsum = \sum \frac{\log(magn + 1)}{\log(dc)} \quad (\text{ekv. 18})$$

och

$magn$ = wienerspektrumets magnitud

dc = magnituden vid nollfrekvensen

6.9 Komplexitetsmått

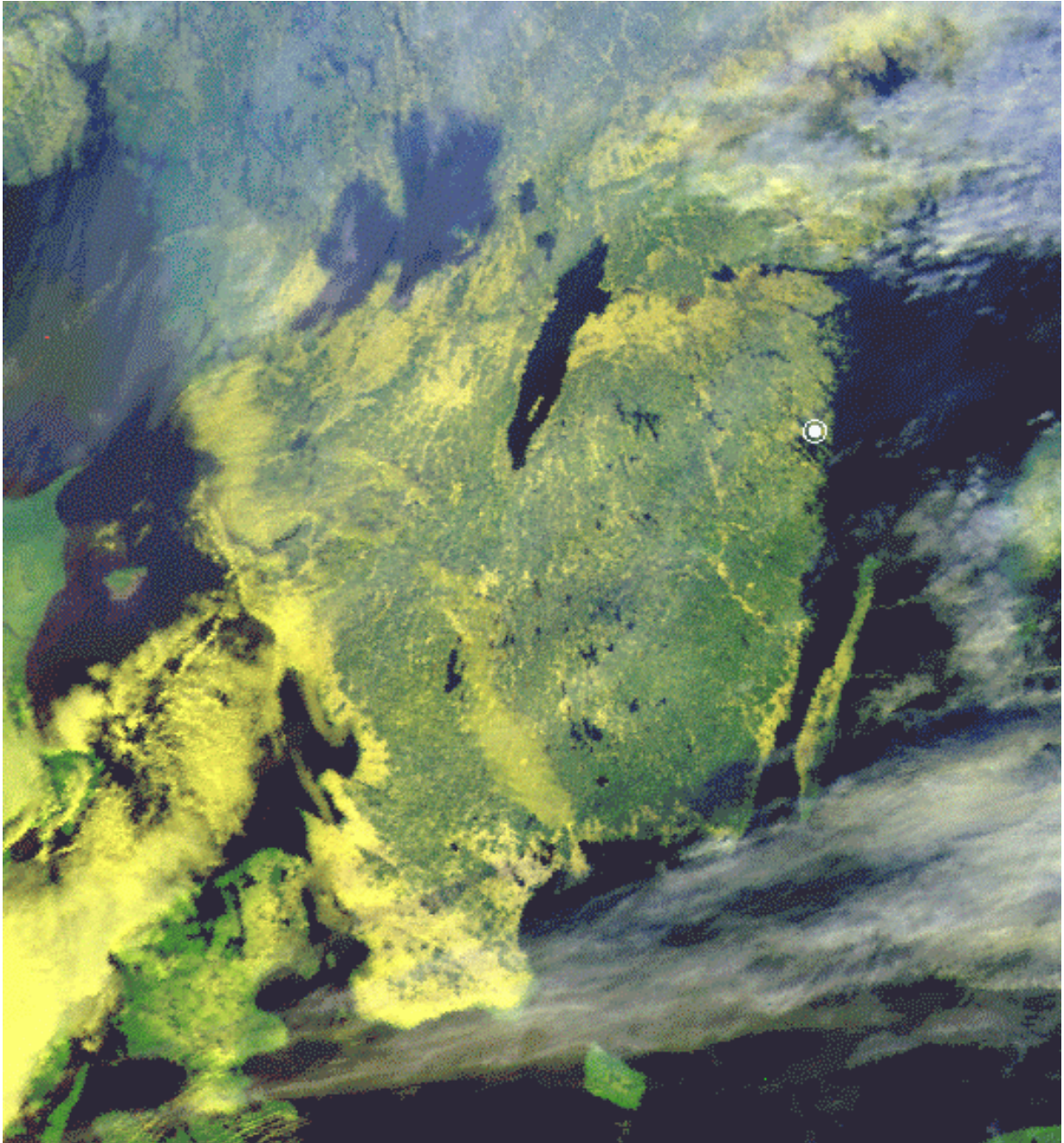
För att få fram ett enda värde på hur mycket klotter som finns i en bild kan ett slags komplexitetsmått beräknas. Beroende på vilka bilder som väljs och sedan används till studien kan ett flertal olika variationer av komplexitetsberäkningen fås. Ett sätt, av flera, är att använda resultat från olika filter som var och ett fångar någon aspekt av variationen inom bilden. Beräkningen görs genom att använda en algoritm i Terrtex där värdet beräknas i ett rutnät på samma sätt som det lokala wienerspektrumet (Nyberg *et al.* 1997).

6.10 RMS'-histogram

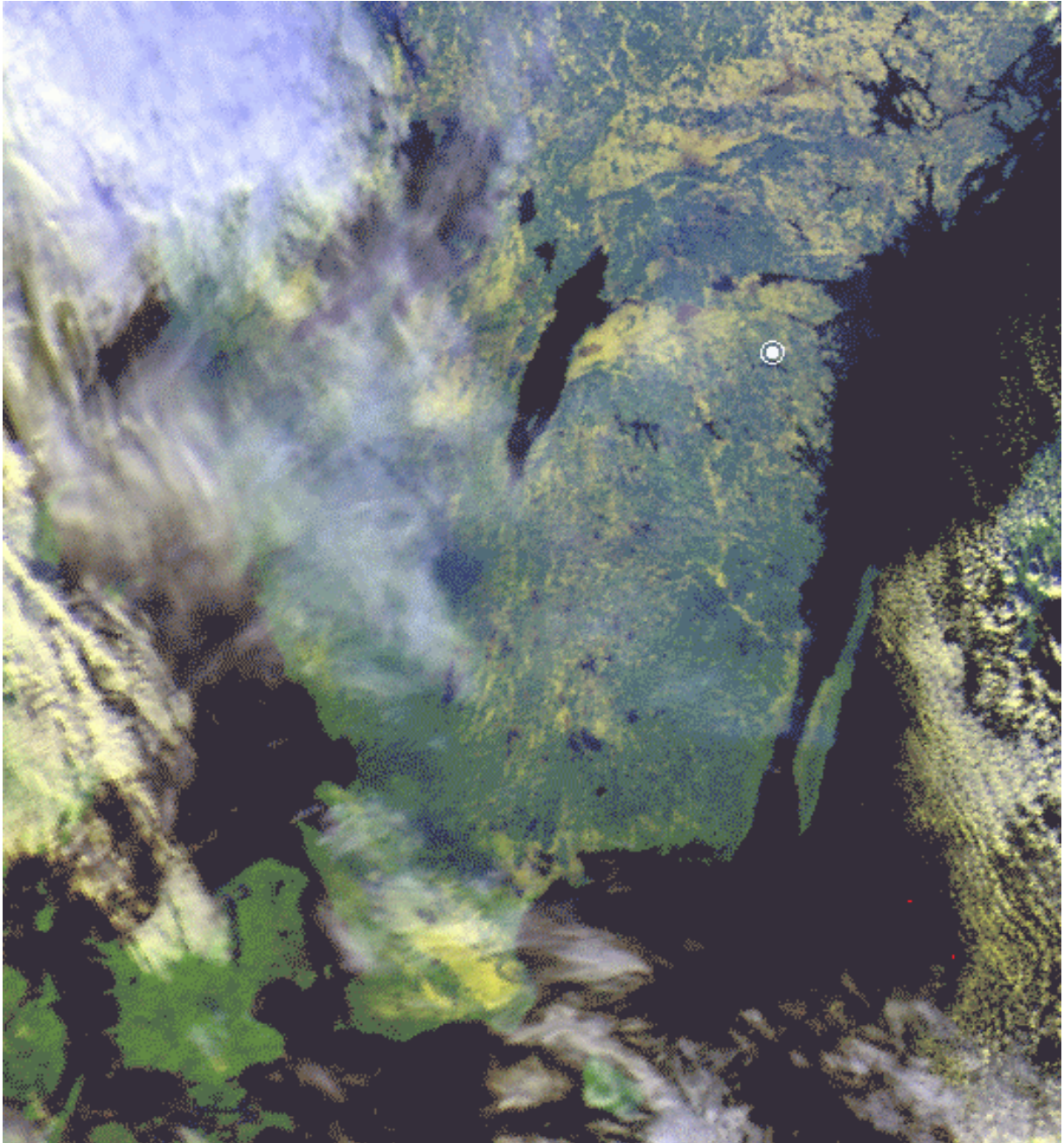
Histogram har beräknats enligt Schwering och Krusemans metod (Schwering *et al.*, 1993a) med hjälp av Terrtex. De använder sig utav ett spridningsmått, $RMS'(x,y)$, med en storlek av 4×12 pixlar. I Terrtex är dock regionerna alltid kvadratiska och därför har i detta fallet fönsterstorleken 16×16 pixlar använts.

7. Resultat

De två flygbilderna, 6662 respektive 8140, är analyserade med hjälp av ett flertal texturmått från Terrtex. Området där de är registrerade visas nedan i figur 9 och 10 som översiktsbilder från NOAA AVHRR. Positionerna är utpekade med en rund markering där flygplanet befann sig vid tidpunkten då satellitbilden togs. Detta är gjort för att ta reda på vilken slags molntyp som planet befann sig i och registrerade när flygbilderna togs. Enligt klassificeringen utförd av SMHI, Norrköping är molntypen vid markeringen i figur 9 Stratusmoln medan det i figur 10 istället handlar om Stratocumulus.

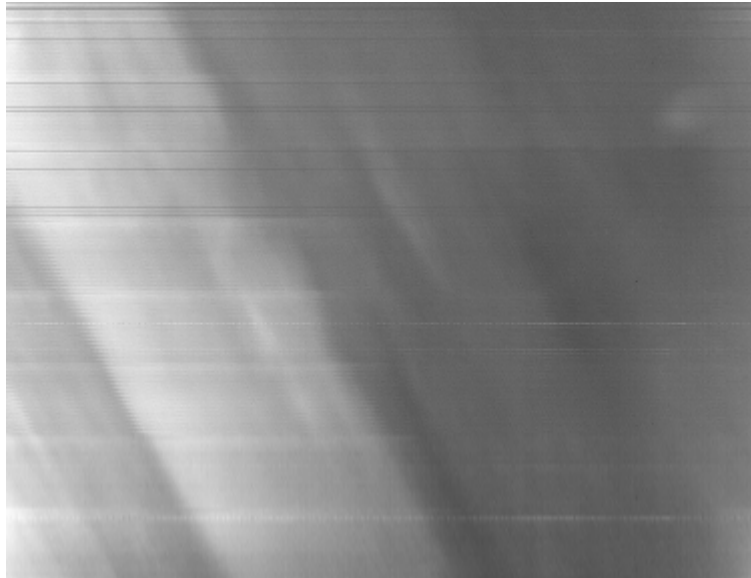


Figur 9. NOAA AVHRR bild över södra Sverige. Den runda symbolen i bildens högra mitt markerar var flygbild 6662 är tagen. Båda bilderna är registrerade vid samma tillfälle.

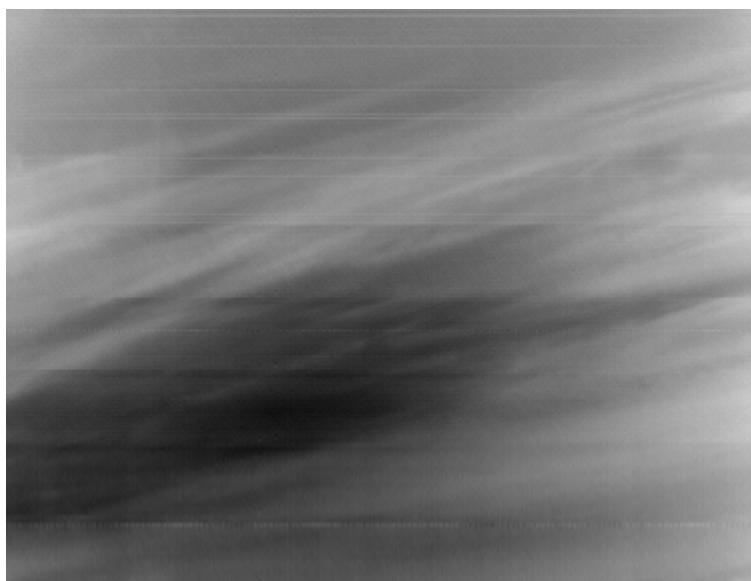


Figur 10. NOAA AVHRR bild över södra Sverige. Den runda symbolen i bildens högra mitt markerar var flygbild 8140 är tagen. Båda bilderna är registrerade vid samma tillfälle.

Själva flygbilderna som analyserats i detta arbete visas nedan. De är tagna i horisontell led, även om planet verkar ha befunnit sig i en roll när åtminstone 6662 registrerades. Just denna bild innehåller Stratus, medan 8140 består av Stratocumulus. Båda bilderna uppvisar en striering som förmodligen uppkommit i samband med scanningen.

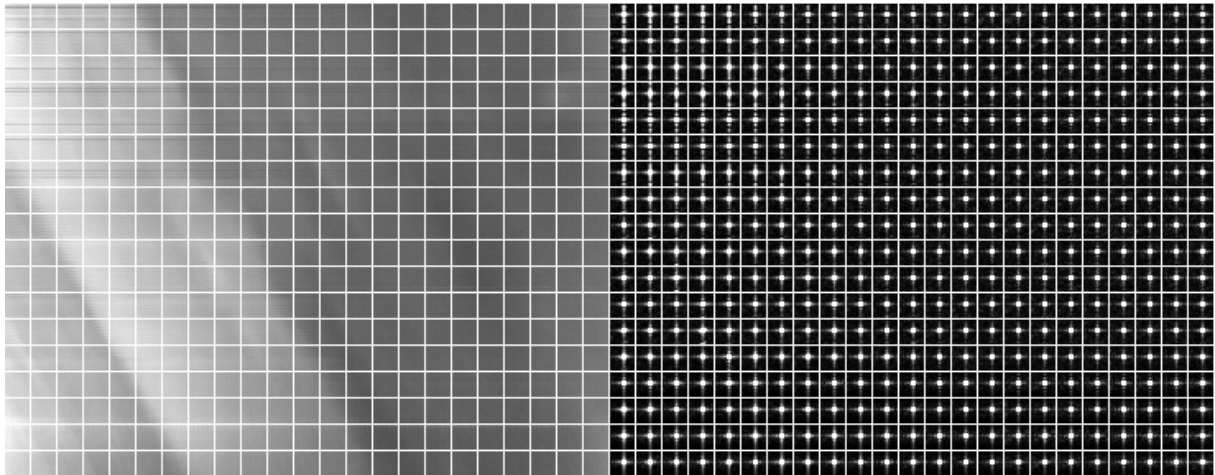


Figur 11. Flygbild 6662. Stratusmoln på en höjd av 4300 meter.

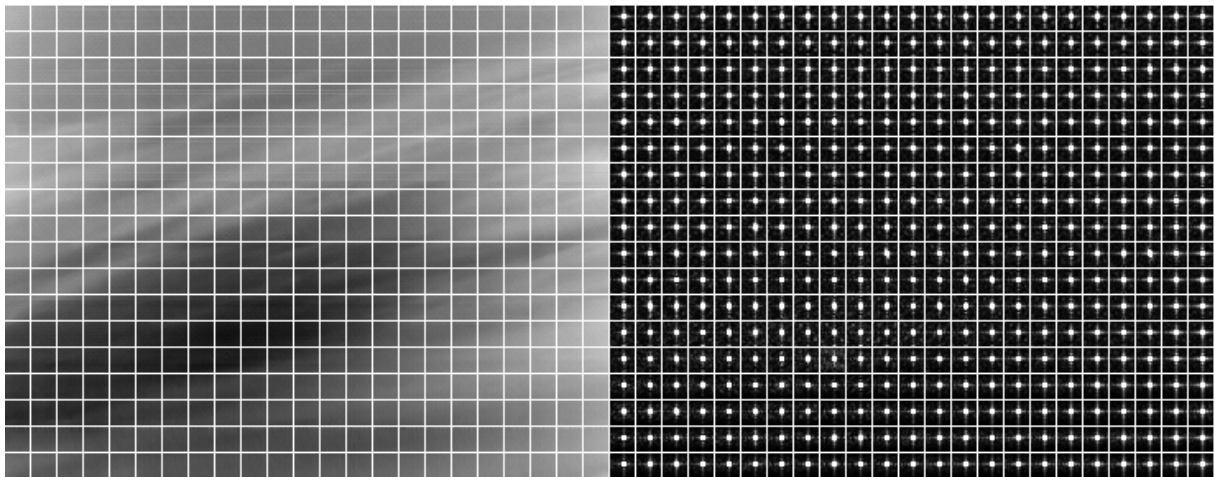


Figur 12. Flygbild 8140. Stratocumulus på en höjd av 2000 meter.

Lokala wienerspektra har beräknats för de båda bilderna. När bilderna producerades användes en lokal fönsterstorlek på 16 pixlar samt en lika stor stegstorlek, det vill säga att fönstret flyttade sig så många pixlar mellan beräkningarna. Anledningen till att beräkningen inte gjordes så att fönstret bara flyttade sig en pixel i taget är att datamängden blev så stor att det var svårt att hantera den på ett effektivt sätt.

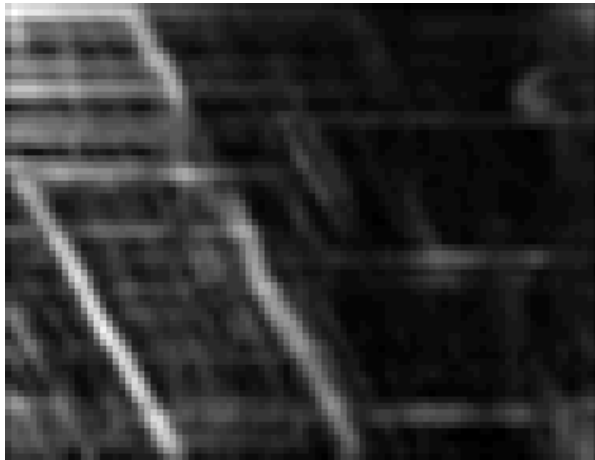


Figur 13. Den vänstra delen visar den infraröda bilden 6662. Till höger de lokala wienerspektra

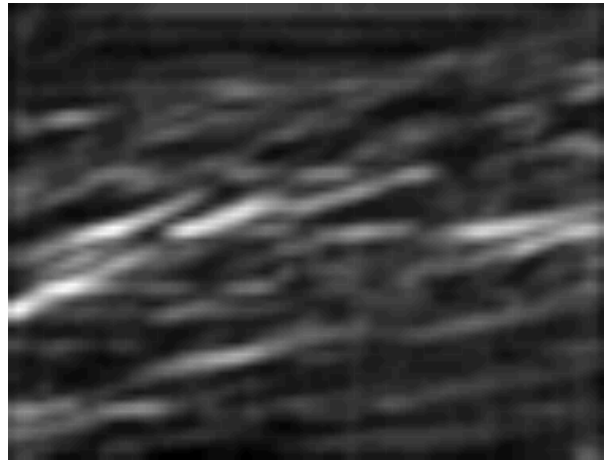


Figur 14. Den vänstra delen visar den infraröda bilden 8140. Till höger de lokala wienerspektra.

Nästa set av bilder visar standardavvikelsen för fönstrena. Fönsterstorleken är 16 pixlar och stegstorleken 8 pixlar.

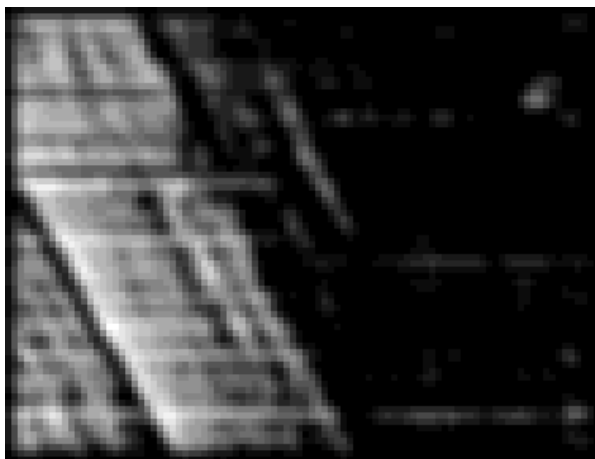


Figur 15. Standardavvikelsen för bild 6662.

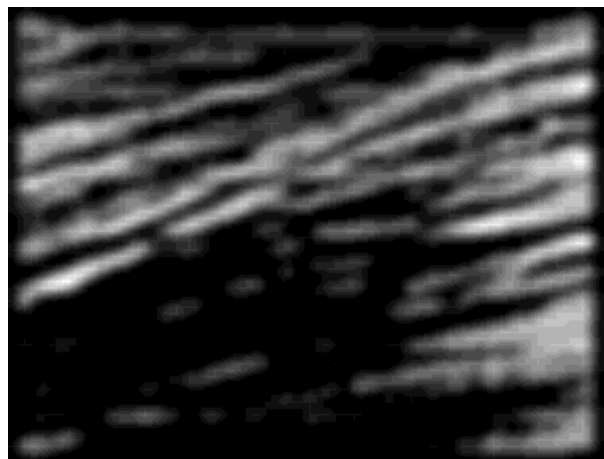


Figur 16. Standardavvikelsen för bild 8140.

Bilderna nedan som visar blobconcentration avser att påvisa eventuella anhopningar av pixlar som skulle avslöja varmare eller kallare objekt eller områden i bilden. De är beräknade med 16 pixlars fönsterstorlek och stegstorleken 4.



Figur 17. Blobconcentration för bild 6662.

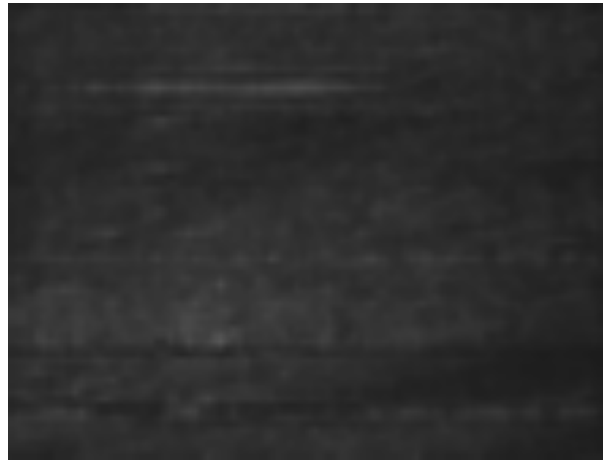


Figur 18. Blobconcentration för bild 8140.

Autoshape bilderna nedan visar variationen i original bilderna med hjälp av wienerspektrumets egenskaper.



Figur 19. Autoshape för bild 6662.



Figur 20. Autoshape för bild 8140.

Bilderna som representerar highband, midband och lowband säger inte så mycket i sig själva, däremot används de för komplexitetsberäkningarna. För sig själva säger de inte så mycket och i vissa saknas information nästan helt. De är, tillsammans med angular deviation samt angular entropy, de mest relevanta för att karakterisera ett mönsters skala.



Figur 21. Highband för 6662.



Figur 22. Midband för 6662.



Figur 23. Lowband för 6662.



Figur 24. Highband för 8140.



Figur 25. Midband för 8140.

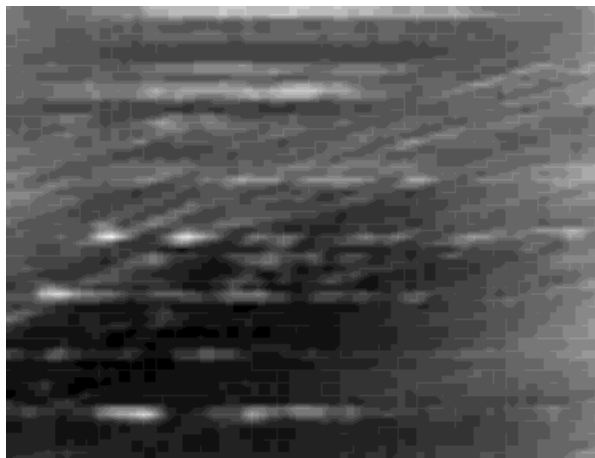


Figur 26. Lowband för 8140.

I de bilder som visar angular deviation är höga värden (ljusa pixlar) en indikation på många och höga frekvenskomponenter i bilden. Detta betyder att spridningen av wienerspektrumet är stort och klottret betydande. Fönster- och stegstorlek är 16 respektive 4 pixlar.

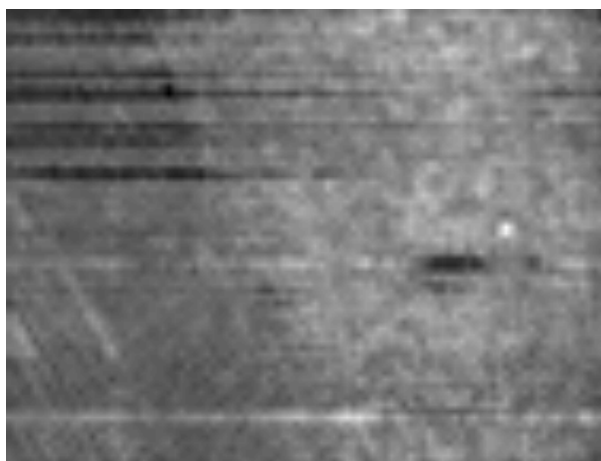


Figur 27. Angular deviation för bild 6662.

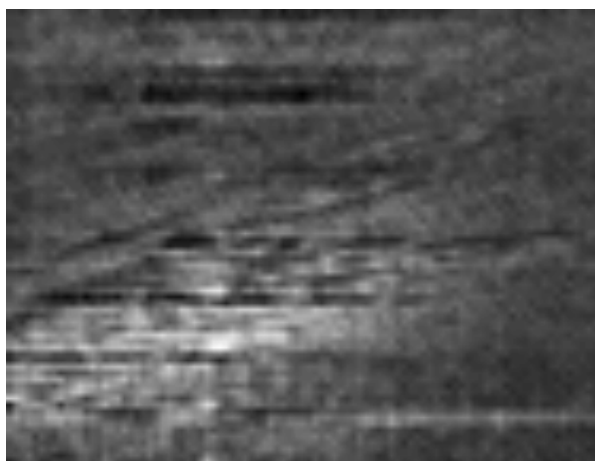


Figur 28. Angular deviation för bild 8140.

Angular entropy bilderna visar graden av enhetlighet i scenen. Ljusa pixlar visar de höga värdena där fördelningen av höga frekvenser är likformig. Även här är fönster och stegstorlek satt till 16 respektive 4 pixlar vid bearbetningen av bilderna.

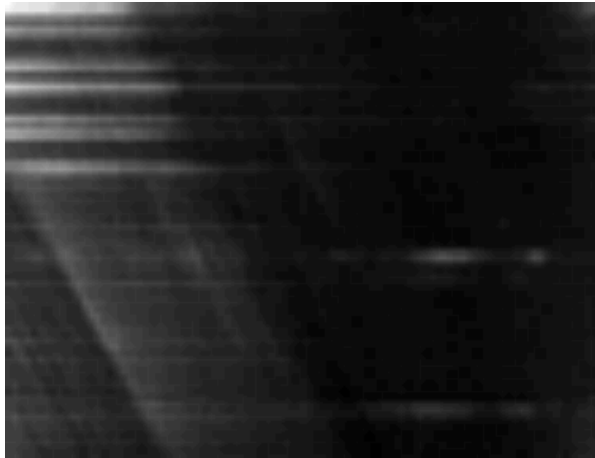


Figur 29. Angular entropy för bild 6662.

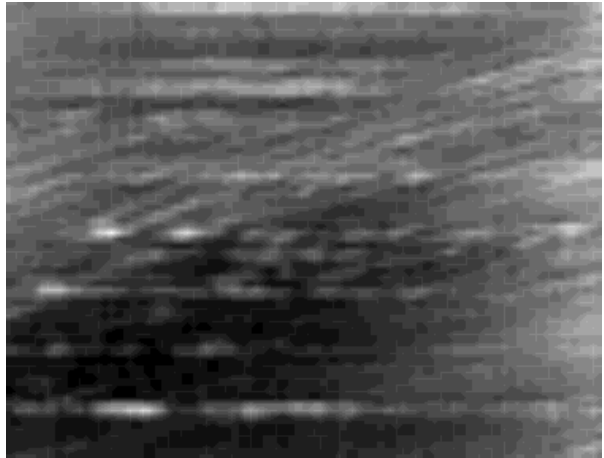


Figur 30. Angular entropy för bild 8140.

Bilderna som visar den totala energin för fouriertransformationen (ftenergy) har ett högt värde där pixlarna är ljusa, vilket betyder att bilden har en stor variation inom sig. Fönster- och stegstorlek är 16 respektive 4 pixlar vid beräkningen.

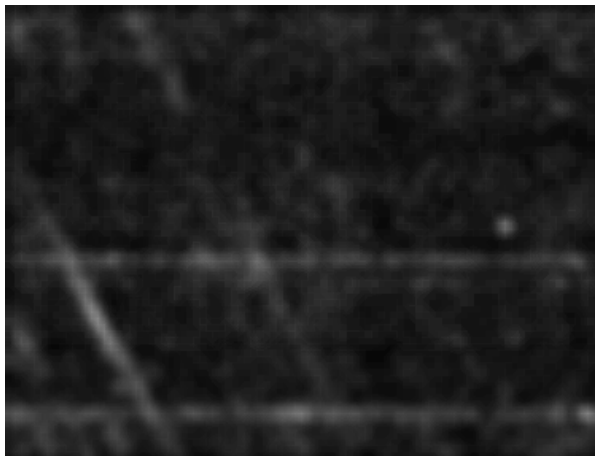


Figur 31. Fourier transformation energy för 6662.

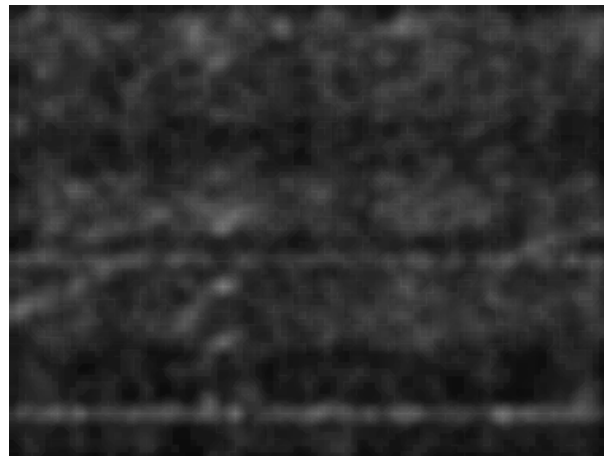


Figur 32. Fourier transformation energy för 8140.

Bilderna som representerar komplexitetsmåten är här beräknade på tre olika sätt. Ett högt pixelvärde indikerar att komplexiteten i bilden är stor, det vill säga att det finns många spatiala frekvenser i olika riktningar. De första bilderna som visar komplexiteten är beräknade på fyra filter, de så kallade Laws filterna (Nyberg *et al.* 1997).

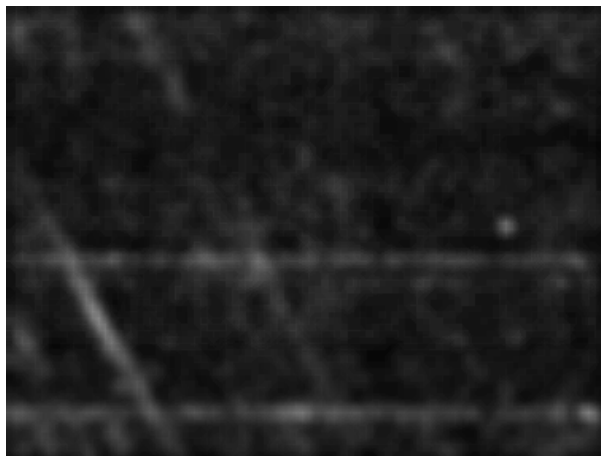


Figur 33. Komplexitetsmått med fyra filter för 6662.

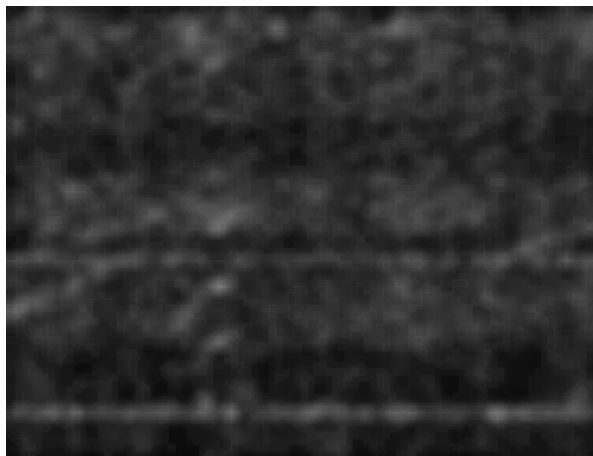


Figur 34. Komplexitetsmått med fyra filter för 8140.

Nästa set med bilder över komplexiteten är beräknade på standardavvikelsen och fractal dimension. I korthet kan det sägas att fractal dimension handlar om fraktaler som ett instrument för texturanalys. Wienerspektrumet behandlas här som en funktion av frekvensens magnitud. Fönster- och stegstorlek här är 16 respektive 4 pixlar.

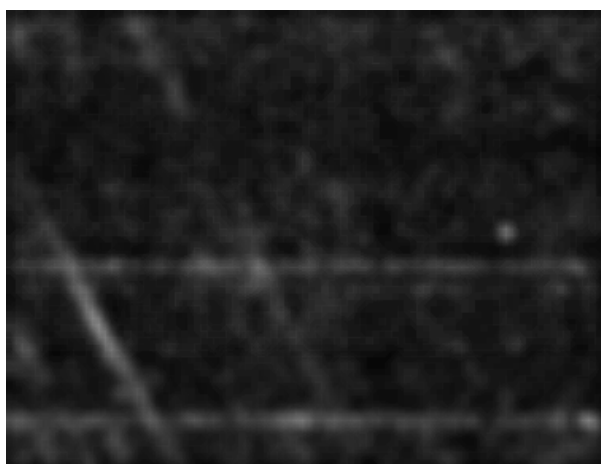


Figur 35. Komplexitetsmått med standardavvikelse och fractal dimension för bild 6662.

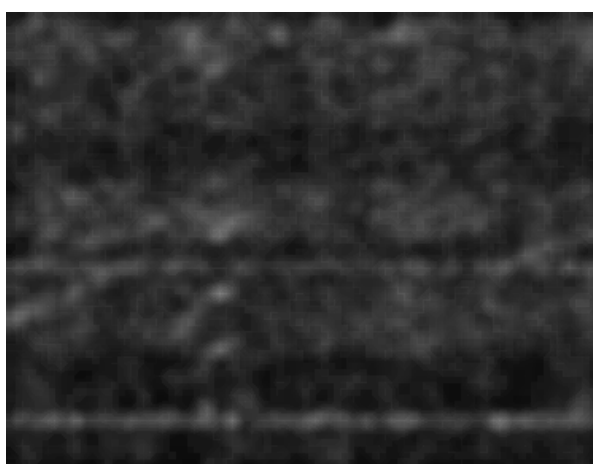


Figur 36. Komplexitetsmått med standardavvikelse och fractal dimension för bild 8140.

Det tredje bildsettet från komplexitetsmätningarna grundas på tre mått, standardavvikelse, edgeconcentration samt fourier transform energy. Fönster- och stegstorlek är 16 respektive 4 pixlar.

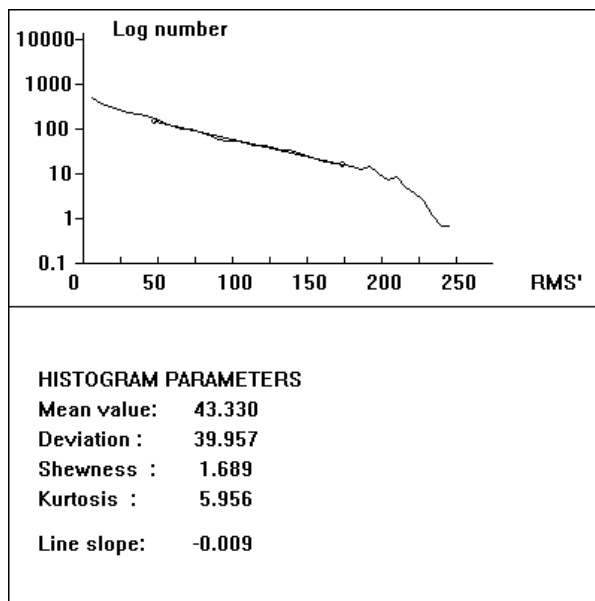


Figur 37. Komplexitetsmått med standardavvikelse, edge concentration och ftenergy för bild 6662.

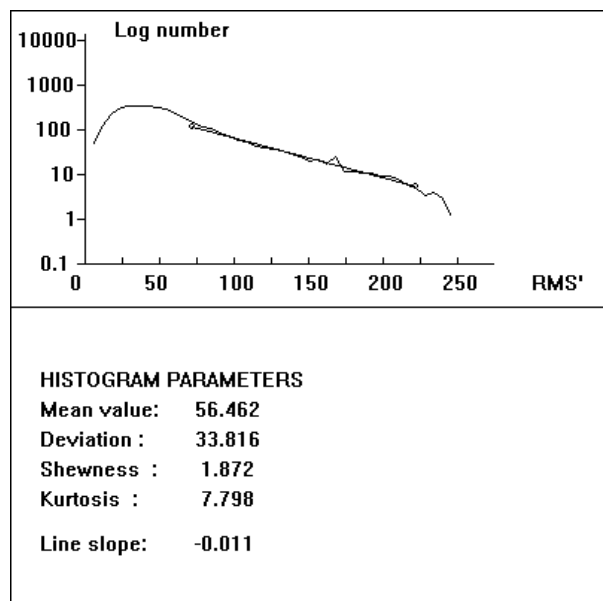


Figur 38. Komplexitetsmått med standardavvikelse, edge concentration och ftenergy för bild 8140.

RMS'-histogrammen ger en uppfattning om klottermängden i bilden. Som tidigare nämnts är det den beräknade lutningen på linjen som är av intresse. Ju brantare den lutar, desto mer klotter innehåller originalbilden. För båda bilderna har klassvidden 6 använts. Vad detta betyder är att närliggande nivåer i bilden slås samman till en klass. Nästa klass intill använder sedan de sex nästa nivåerna. För att anpassa en linje till kurvan har gränserna satts så att större delen av 'svansen' täcks in. Hänsyn tagits till att försöka undvika eventuella omotiverade dippar och toppar som kan uppträda i grafen.



Figur 39. RMS'-histogram för bild 6662.



Figur 40. RMS'-histogram för bild 8140.

8. Diskussion

Analysen av de producerade bilderna har främst skett genom visuell tolkning samt jämförelse av pixelvärden över vissa områden där man kan ana att klotret framträder. När det gäller resultaten av RMS'-värdena kan man dra vissa slutsatser av de histogram som framställts.

Anledningen till att endast två av de ursprungligen tio tillgängliga flygbilderna användes för analysen är att de övriga åtta innehöll pixlar med osäkert värde. Detta uppkom förmodligen i samband med konverteringen från 12 bitars till 8 bitars bilder då vissa områden fick pixelvärdet 255 när det i själva verket sannolikt skulle varit högre (om det inte varit för 8-bitars bildformatet). På grund av tidsbrist gjordes inget försök till omkonvertering för att komma tillrätta med problemet. Istället gjordes de beskrivna analyserna bara på bilderna 6662.bmp och 8140.bmp (figur 11 respektive 12) eftersom detta ansågs vara tillräckligt för syftet med arbetet.

Analysen av bilderna försvåras till en viss del på grund av att det i bilderna finns en tendens till striering. Denna har uppkommit i samband med registreringen av bilden och inverkar givetvis på analysen i flera avseenden. Bland annat så detekteras horisontella kanter och linjer som en följd av linjeringen i bilden, även kontrasten påverkas till en viss utsträckning. Detta på grund av att en del av linjerna är betydligt ljusare än sin omgivning, andra mörkare. Strieringen i bilden är en bidragande orsak till att bilderna analyserats så som de gjorts. På så sätt har det varit möjligt att selektivt bortse från de områden som varit mest utsatta för störningar. Att helt försöka få bort strieringen ur bilden är inte omöjligt, men ett relativt tidskrävande jobb.

När det gäller Terrtex i sig självt så uppkommer en del osäkerheter. Eftersom programmet är utvecklat för att analysera mål som relativt skarpt avviker från bakgrunden på grund av sin form, är kanske inte så väl lämpat för att analysera textur och klotter i moln. Terrtex huvudsakliga uppgift är ju att detektera mål, främst konstruerade av människan, med skarpa vinklar som avviker från naturens egna former. Moln, och dess textur, har inte dessa utmärkande egenskaper inom sig vilket därmed försvårar en texturanalys. Ett exempel på detta är de beräkningar som använder sig av något av de mått som innehåller vinkelparametrar (*angular deviation* samt *angular entropy*). Anledningen till att just dessa två använts trots allt, är att de enligt Terrtex manualen (Nyberg *et al.* 1997) är mått som är relaterade till texturanalys av bakgrunder. Tanken var att se om de även tillför något till undersökning av naturliga objekt, i detta fallet moln.

De lokala wienerspektra visar inte direkt på några större spridningar av frekvenser. Det finns vissa områden i bilderna där spektrumet är något yvigare, till exempel i det diagonala molnbandet i den vänstra delen av figur 13. Utanför detta är moltäcket återigen tunnare, vilket ger utslag hos wienerspektrumet som också indikerar en mindre andel klotter. Även figur 14 uppvisar ungefär samma beteende. Det är där molnen är som tjockast man främst kan skönja en viss spridning bland de lokala spektra, här tydligast uppe i högra hörnet av bilden. Studerar man istället området i nedre halvan till vänster i samma bild, där molntäcket tillsynes är i det närmaste obefintligt, finner man att även spridningsspektrumet minskat i utsträckning.

När det gäller bilderna över analysen av standardavvikelsen kan man se klara mönster. Ju ljusare pixlarna är över ett område, desto större är standardavvikelsen, och därmed mängden klotter. Intressantast här är kanske figur 16 där man tydligt kan se konturerna av molnkanterna. Det tycks som om det är här som den största kontrasten finns. Klottret inom själva molnet framkommer inte lika starkt till skillnad från ovan nämnda wienerspektrumet. I figur 15 görs samma iakttagelse. Även här är det utkanterna av molnen som framträder bäst. Detta har sin förklaring i att det är störst skillnad i temperatur just i gränsen mellan ett tätare moln och en bakgrund där molnen inte är lika täta så att en viss del bakgrundsstrålning registreras. Vad som tyvärr inte syns lika tydligt är molnklottret i bilden. Förmodligen eftersom pixelvärdena domineras av molnkonturerna. I de ljusaste områdena runt kanterna av molnen ligger värdet runt 200 och inne i de mest molniga områdena mellan cirka 50 och 125 för båda bilderna. Strieringen är påtaglig i främst figur 15 men kan även anas i figur 16.

I stället för att använda sig utav standardavvikelsen som ett mått på klottret i bilden kan man som alternativ beräkna variationskoefficienten, vilken tidigare nämnts i kapitel 6.2. För att endast kort belysa skillnaden mellan de två metoderna visas ett exempel.

I figur 41 visas en principbild över hur en klotterfördelningen kan se ut. Värdena är slumpmässiga och ingen textur finns i bilden, endast klotter. Om man studerar den ser man att den vänstra delen och den högra delen är identiska med undantaget att den högra delen har adderats med värdet 50. Klottermängden är fortfarande den samma i de båda halvorna även om intensiteten inte är det, vänster halva är mörk och höger är ljus. Detta har markerats i figurerna med en skuggad del och en ljus del.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 7 | 4 | 4 | 3 | 4 | 57 | 54 | 54 | 53 | 54 |
| 9 | 3 | 2 | 6 | 4 | 59 | 53 | 52 | 56 | 54 |
| 3 | 9 | 5 | 5 | 9 | 53 | 59 | 55 | 55 | 59 |
| 2 | 1 | 6 | 2 | 10 | 52 | 51 | 56 | 52 | 60 |
| 3 | 1 | 6 | 4 | 7 | 53 | 51 | 56 | 54 | 57 |

Figur 41. Klotterbilden.

Nästa figur visar den beräknade standardavvikelsen för den mörka respektive ljusa delen. Den är beräknad med ett 3x3 pixlar stort filter. Även standardavvikelsen är samma för de två halvorna.

| | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 2.7 | 2.0 | 2.1 | 0 | 0 | 2.7 | 2.0 | 2.1 | 0 |
| 0 | 2.9 | 2.5 | 2.8 | 0 | 0 | 2.9 | 2.5 | 2.8 | 0 |
| 0 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 0 | 0 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figur 42. Standardavvikelsen för de båda halvorna beräknat med ett 3x3 pixlar stort filter.

För att beräkna variationskoefficienten behövs även medelvärdet. Figuren nedan visar medelvärdet i bilden. Även detta är beräknat med ett 3x3 pixlar stort filter. Som synes skiljer medelvärdena för de båda halvorna sig kraftigt åt.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 5 | 4 | 5 | 0 | 0 | 55 | 54 | 55 | 0 |
| 0 | 4 | 4 | 5 | 0 | 0 | 54 | 54 | 55 | 0 |
| 0 | 4 | 4 | 6 | 0 | 0 | 54 | 54 | 56 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figur 43. Medelvärdet för de båda halvorna beräknat med ett 3x3 pixlar stort filter.

Figur 44 visar variationskoefficienten för de olika bildhalvorna. Som tidigare nämnts är VK lika med standardavvikelsen dividerad med medelvärdet (och multiplicerat med 100). Då denna beräkning utförts ser man att variationskoefficienterna för den mörka respektive ljusa bildhalvan skiljer sig markant åt. I snitt är standardavvikelsen 54% av medelvärdet i exemplet för den mörka delen bilden. I den ljusa halvan av bilden är motsvarande siffra endast 5%. Skillnaden mellan de olika metoderna kan spela roll när man analyserar texturen i bilder med kraftiga skillnader i intensitet. Standardavvikelsen ger variationen av intensiteten i absoluta tal, medan variationskoefficienten ger variationen i förhållande till medelvärdet i bilden.

| | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 53 | 46 | 43 | 0 | 0 | 5 | 4 | 4 | 0 |
| 0 | 66 | 59 | 52 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| 0 | 68 | 61 | 42 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figur 44. Variationskoefficienterna (%) för de båda bildhalvorna.

Bilderna över blobconcentration (figur 17 respektive figur 18) är lite svårare att få ett grepp om. Jämför man de producerade bilderna med flygbilderna i original, så ser man också här var molnen och klottret befinner sig. Det är dock svårt att uttyda något annat än att det tydligt visar var i scenen det finns en textur. Detta mått är kanske inte det mest lämpade för studier av molntexturer av olika slag.

Autoshapemåttet är intressant att studera. I figur 19 fluktuerar pixelvärdena inom molnbandet i den vänstra delen av bilden runt ett värde av cirka 35. Enligt tidigare nämnda tillvägagångssätt för beräkning av detta autoshape betyder detta att förhållandet mellan tröghetsellipsens mindre och större radie är omkring 1:6, det vill säga att längdaxeln är stor. Detta innebär att wienerspektrumet har en relativt god spridning inom detta område av bilden, vilket även betyder att det finns en påtaglig textur. I andra delar av bilden där molntäcket inte är lika tjockt, till exempel i det övre högra hörnet, ökar värdet på pixlarna och ligger istället runt 50. Förhållandet mellan de två radierna blir då 1:4, vilket betyder att spektrumet inte är lika utspritt och att klotterandelen minskat. Detta stämmer väl överens med resultatet från de lokala wienerspektra som studerats ovan. Resultatet stämmer även in på figur 20 även om kvoterna är lite annorlunda där. För ett molnigare område i bildens vänstra del är förhållandet cirka 1:5, och för det mindre molntäta området i bildens nedre mitt ungefär 1:3. Skall man vara konsekvent kan man dra slutsatsen att molnen i den tidigare bilden, det vill säga Stratusmolnen, har en kraftigare och tydligare textur, eller mer klotter.

Vinkelvariationen (angular deviation) i figur 27 och figur 28 säger tyvärr inte så mycket om texturen i bilden. Pixelvärdena i de molnigare områdena i den förra bilden ligger till största delen mellan 25 och 65, vilket får anses vara lågt. I de mindre molniga områdena av bilden är värdet på majoriteten av pixlarna noll. Undantag förekommer, men de kan uteslutande härledas till de ställen där striering förekommer. I den senare bilden är värdena i de molnigare områdena förvisso högre, mellan 85 och 130, men det får ändå anses vara relativt lågt eftersom så gott som samtliga värden är mindre än hälften av det maximala värdet 255. Förklaringen till de dåliga utslagen av angular deviation kan man eventuellt finna i att det inte förekommer särskilt mycket vinklar i moln. Givetvis finns det vissa delar av molnens textur som passar in på måttet vilket förklarar att det trots allt finns en antydning till resultat.

Resultaten av vinkellikformigheten (angular entropy) i figur 29 och figur 30 berättar lite om distributionen av de höga frekvenserna i bilden. Generellt sett är pixelvärdena i båda bilderna högre i de områden med lägre molntäthet. Det betyder att fördelningen av höga frekvenser där är mer uniform än inom de molnigare delarna av bilden. Det kan verka lite förvirrande eftersom de tidigare resultaten visat att wienerspektrafrekvenserna är högst där molnen är som kraftigast och lägst där molntäckena är som tunnast. Förklaringen ligger antagligen i att frekvenserna förvisso är lägre där, totalt sett, men att det även finns höga frekvenser också. Det är dessa som är likformigt distribuerade, vilket skulle förklara resultatet. Det är vid detta tillfälle svårt att se någon annan förklaring.

Studerar man figur 31 och figur 32 så ser man att variationen av wienerspektras magnituder är högre i de molniga områdena, där pixlarna är ljusare. I stort sett kan man endast säga att

det tyder på en större andel klotter än inom övriga områden av bilderna. Detta mått är kanske inte det som bäst beskriver klotter och textur. Däremot är det mycket användbart i beräkningarna av komplexitetsmåten.

Komplexitetsmättet med de fyra Laws filtrena i figur 33 och figur 34 är tyvärr så gott som oanvändbara. Det är tillsynes omöjligt att få ut någon vettig information ur dem. Det enda man kan urskilja är ytterkanterna på det diagonala molnband i vänsterkanten på figur 33. I övrigt är det bara strieringen som framträder, resten är, åtminstone när det gäller pixelvärden, en tämligen homogen massa. Det samma verkar gälla för komplexitetsmåten i figur 35 och 36. Även dessa bilder är relativt intetsägande trots att man eventuellt också kan urskilja något högre pixelvärden längs molnkanten som markerar det mindre molniga området i figur 36.

Även figur 37 och 38 som representerar det tredje sortens mått över komplexiteten i bilden kan avfärdas. Bilderna är i stort sett identiska med figur 35 och 36 trots att bilden bygger på tre texturkomponenter, varav två är helt annorlunda än de vid tidigare beräkningar. Det går inte att dra några slutsatser om att de tätare molnen har en större komplexitet än de tunnare, eller vice versa. Pixelvärdena i bilderna är alldeles för homogent fördelade för detta.

Figur 39 och 40 visar diagram över hur RMS'-värdena är fördelade. Som tidigare nämnts talar lutningen på den anpassade linjen i grafens 'svans' om hur stor andel klotter som finns i bilden. Det skall nämnas att detta mått endast är relativt och ger således inte några absoluta värden av klottermängden. Huruvida kurvan ser ut beror på ett flertal parametrar, bland annat hur mycket brus som registreras. Även lutningen på linjen kan variera beroende på olika omständigheter, vilket beskrivits tidigare i detta arbete. Grafen i figur 40 visar tydligt både en topp vid de låga RMS'-värdena med ett högsta värde runt ett värde av 40 samt en uttalad 'svans'. Lutningen på linjen är -0.011. Molnen som diagrammet representerar är Stratocumulus och bilden är registrerad på en höjd av 2000 meter. I figur 39 är lutningen -0.009, och molntypen är Stratus som ligger på 4300 meters höjd. Denna bild har inte en lika typiskt utseende som den tidigare, men trots det går det att få fram godtagbara värden. Det är svårt att dra någon slutsats om vilken typ av moln som enligt denna metod skulle ha mest klotter eftersom metoden inte är till fullo utforskad.

9. Slutsats

Ett av syftena med arbetet var att genomföra en litteraturstudie som redogör för liknande analysmetoder av termalt klotter som genomförts i detta arbete. Det har visat sig att det finns

en del oklarheter angående vilka metoder som är lämpligast. Anledningen till detta är att inget av de studerade olika projekten är helt lik en andra. På grund av detta har det endast funnits ett begränsat urval av artiklar att välja emellan. Dessa har dock visat att utvecklingen inom området hela tiden går framåt och samtidigt gett nya infall till klotteranalys. Ett exempel på detta är tillskottet av beräkningen av RMS' som (tack vare Sten Nyberg, FOA3, Linköping) tillfördes Terrtex under arbetets gång.

Ett annat syfte med arbetet var att med hjälp av Terrtex försöka analysera IR-OTIS bilder med avseende på termalt bakgrundsklotter. Ett flertal olika texturmått i programmet har använts, varav några visat sig mer lämpade än andra, vilket redogörs för nedan.

Analysen av molnen visar inte på några större mängder kraftigt klotter. Detta beror till stor del på att båda sorters moln (Stratus i 6662-bilden respektive Stratocumulus i 8140-bilden) består av relativt homogena molnmassor. Detta resulterar givetvis i att klotret inte framträder så markant i bilderna.

Det är svårt att få fram ett entydigt svar på vilken av de två analyserade molntyperna som innehåller mest klotter, eller har en tydligare textur. Utfallen av de olika metoderna som använts ger motsägande resultat i flera fall. En anledning till detta kan vara att flygbilderna innehåller områden med kraftigare respektive tunnare molnmassor. Detta påverkar pixelvärdena i de termala bilderna. Även måtten i sig skiljer sig åt. Vissa är mer lämpade än andra för studier av detta slag. Ett exempel på detta är komplexitetsmått som visade sig att inte ge några nämnvärda resultat överhuvudtaget, åtminstone när det gäller molnbilder av detta slag. Däremot så gav både autoshape, de lokala wienerspektra och RMS'-histogrammen bra utvärderingar.

För att på ett bättre sätt kunna analysera bilder av detta slag bör man lägga ner mer arbete på att försöka få bort strieringen i bilderna, eller åtminstone reducera den till ett minimum. Detta skulle förbättra analyskvaliteten avsevärt. Det bör dock nämnas att bilderna nu verkligen ser ut som de gör, med striering och homogena molnmassor, vilket är den sanna återspegligen av tillfället då de registrerades. Med tanke på detta kan man därför säga att det går att få fram intressant information om klotret i bilden. Det är möjligt att så småningom går att komma fram till en algoritm som klarar av att urskilja molnklotter från målobjekt i det termala infraröda våglängdsområdet genom att studera texturen i, till exempel, Terrtex.

10. Referenser

Bovik, A.C., Clark, M., Geisler, W.S., 1990. *Multichannel Texture Analysis Using Localized Spatial Filters*. TransPAMI (IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence). Vol. 12., s. 55.

- Cross, G.R., Jain, A.K., 1983. *Markov Random Field Texture Models*. TransPAMI (IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence). Vol. 5., s. 25.
- Faugeras, O.D., Pratt, W.K., 1980. *Decorrelation Methods of Texture Feature Extraction*. TransPAMI (IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence). Vol. 2., s. 323.
- Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973. *Textural Features for Image Classification*. TransSMC (IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics). Vol .3, no.6, s.611.
- Körner, S., Wahlgren, L., 1996. *Praktiskt statistik*. Andra upplagan. Studentlitteratur, Lund, Sverige
- MeasTex, uppdateringen Jan. 1998.
http://www.cssip.elec.uq.edu.au/~guy/meastex/www/texture_defn.html
- Nyberg, S., Uppsäll, M., 1997. *TERRTEX - A Software Package for Texture Analysis*. Försvarets Forskningsanstalt. Avdelningen för Sensorteknik. FOA-R—97-00574-615--SE
- Reynolds, W., R., 1990. *Toward Quantifying Infrared Clutter*. Characterization, Propagation and Simulation of Infrared Scenes, SPIE vol. 1311, s. 232 - 240
- Schwering, P., 1992. *Characterization of Infrared Cloud Background Clutter*, Characterization, Propagation and Simulation of Sources and Background II., SPIE vol. 1687, s. 311 - 322.
- Schwering, P., Kruseman, B., 1993a. *All-sky Infrared Cloud Clutter*, Presentations by TNO-FEL Researchgroup, Electro Optical Systems, at SPIE Conference: Infrared Technology XIX, San Diego 1993.
- Schwering, P., Kruseman, B., 1993b. *All-sky Infrared Cloud Clutter Analysis*, Characterization, Propagation and Simulation of Sources and Background III., SPIE vol. 1967, s. 419 - 430
- Shaw, G., Wheeler, D., 1994 *Statistical Techniques in Geographical Analysis* (2nd edition), David Fulton Publishers, London.
- Uppsäll, M., 1994. *Texturbaserade Metoder för Bildanalys - en Översikt*. Försvarets Forskningsanstalt. Avdelningen för Sensorteknik. FOA-R—94-00006-3.1—SE.
- Welch, R. M., Navar, M. S., Sengupta, S. K., 1989. *The Effect of Spatial Resolution upon Texture-Based Cloud Field Classifications*, Journal of Geophysical Research, vol. 94 (D12), s. 14767 - 14781.

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 13, 223 62 LUND.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 13, S-223 62 Lund, Sweden.

1. Pilesjö, P. (1985): Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
2. Ahlström, K. & Bergman, A. (1986): Kartering av erosionskänsliga områden i Ringsjöbygden.
3. Huseid, A. (1986): Stormfällning och dess orsakssamband, Söderåsen, Skåne.
4. Sandstedt, P. & Wällstedt, B. (1986): Krankesjön under ytan - en naturgeografisk beskrivning.
5. Johansson, K. (1986): En lokalklimatisk temperaturstudie på Kungsmarken, öster om Lund.
6. Estgren, C. (1987): Isälvsstråket Djurfälla-Flädermo, norr om Motala.
7. Lindgren, E. & Runnström, M. (1987): En objektiv metod för att bestämma läplanterings läverkan.
8. Hansson, R. (1987): Studie av frekvensstyrd filtringsmetod för att segmentera satellitbilder, med försök på Landsat TM-data över ett skogsområde i S. Norrland.
9. Matthiesen, N. & Snäll, M. (1988): Temperatur och himmelsexponering i gator: Resultat av mätningar i Malmö.
- 10A. Nilsson, S. (1988): Veberöd. En beskrivning av samhällets och bygdens utbyggnad och utveckling från början av 1800-talet till vår tid.
- 10B. Nilson, G., 1988: Isförhållande i södra Öresund.
11. Tunving, E. (1989): Översvämning i Murcia-provinsen, sydöstra Spanien, november 1987.
12. Glave, S. (1989): Termiska studier i Malmö med värmebilder och konventionell mätutrustning.
13. Mjölbo, Y. (1989): Landskapsförändringen - hur skall den övervakas?
14. Finnander, M-L. (1989): Vädrets betydelse för snöavsmältningen i Tarfaladalen.
15. Ardö, J. (1989): Samband mellan Landsat TM-data och skogliga beståndsdata på avdelningsnivå.
16. Mikaelsson, E. (1989): Byskeälvens dalgång inom Västerbottens län. Geomorfologisk karta, beskrivning och naturvärdesbedömning.
17. Nhilen, C. (1990): Bilavgaser i gatumiljö och deras beroende av vädret. Litteraturstudier och mätning med DOAS vid motortrafikled i Umeå.
18. Brasjö, C. (1990): Geometrisk korrektion av NOAA AVHRR-data.
19. Erlandsson, R. (1991): Vägbanetemperaturer i Lund.
20. Arheimer, B. (1991): Näringsläckage från åkermark inom Brååns dräneringsområde. Lokalisering och åtgärdsförslag.
21. Andersson, G. (1991): En studie av transversalmoräner i västra Småland.
- 22A. Skillius, Å., (1991): Water harvesting in Bakul, Senegal.
- 22B. Persson, P. (1991): Satellitdata för övervakning av höstsådda rapsfält i Skåne.
23. Michelson, D. (1991): Land Use Mapping of the That Luang - Salakham Wetland, Lao PDR, Using Landsat TM-Data.
24. Malmberg, U. (1991): En jämförelse mellan SPOT- och Landsatdata för vegetationsklassning i Småland.
25. Mossberg, M. & Pettersson, G. (1991): A Study of Infiltration Capacity in a Semiarid Environment, Mberengwa District, Zimbabwe.
26. Theander, T. (1992): Avfallsupplag i Malmöhus län. Dränering och miljöpåverkan.
27. Osaengius, S. (1992): Stranderosion vid Löderups strandbad.
28. Olsson, K. (1992): Sea Ice Dynamics in Time and Space. Based on upward looking sonar, satellite images and a time series of digital ice charts.
29. Larsson, K. (1993): Gully Erosion from Road Drainage in the Kenyan Highlands. A Study of Aerial Photo Interpreted Factors.
30. Richardson, C. (1993): Nischbildningsprocesser - en fältstudie vid Passglaciären, Kebnekaise.
31. Martinsson, L. (1994): Detection of Forest Change in Sumava Mountains, Czech Republic Using Remotely Sensed Data.
32. Klintonberg, P. (1995): The Vegetation Distribution in the Kärkevagge Valley.
33. Hese, S. (1995): Forest Damage Assessment in the Black Triangle area using Landsat TM, MSS and Forest Inventory data.
34. Josefsson, T. och Mårtensson, I. (1995). A vegetation map and a Digital Elevation Model over the Kapp Linné area, Svalbard -with analyses of the vertical and horizontal distribution of the vegetation
35. Brogaard, S och Falkenström, H. (1995). Assessing salinization, sand encroachment and expanding urban areas in the Nile Valley using Landsat MSS data.
36. Krantz, M. (1996): GIS som hjälpmedel vid växtskyddsrådgivning.
37. Lindegård, P. (1996). VINTERKLIMAT OCH VÅRBAKSLAG. Lufttemperatur och kådflödessjuka hos gran i södra Sverige.

38. Bremborg, P. (1996). Desertification mapping of Horqin Sandy Land, Inner Mongolia, by means of remote sensing.
39. Hellberg, J. (1996). Förändringsstudie av jordbrukslandskapet på Söderslätt 1938-1985.
40. Achberger, C. (1996): Quality and representability of mobile measurements for local climatological research.
41. Olsson, M. (1996): Extrema lufttryck i Europa och Skandinavien 1881-1995
42. Sundberg, D. (1997): En GIS-tillämpad studie av vattenerosion i sydsvensk jordbruksmark.
43. Liljeberg, M. (1997): Klassning och statistisk separabilitetsanalys av marktäckningsklasser i Halland, analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR.
44. Roos, E. (1997): Temperature Variations and Landscape Heterogeneity in two Swedish Agricultural Areas. An application of mobile measurements.
45. Arvidsson, P. (1997): Regional fördelning av skogsskador i förhållande till mängd SO₂ under vegetationsperioden i norra Tjeckien.
46. Akselsson, C. (1997): Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i norra Tjeckien.
47. Carlsson, G. (1997): Turbulens och supraglacial meandering.
48. Jönsson, C. (1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI
49. Kolmert, S. (1998): Evaluation of a conceptual semi-distributed hydrological model – A case study of Hörbyån.
50. Persson, A. (1998): Kartering av markanvändning med meteorologisk satellitdata för förbättring av en atmosfärisk spridningsmodell.
51. Andersson, U. och Nilsson, D. (1998): Distributed hydrological modelling in a GIS perspective – an evaluation of the MIKE SHE model.
52. Andersson, K. och Carlstedt, J. (1998): Different GIS and remote sensing techniques for detection of changes in vegetation cover - A study in the Nam Ngum and Nam Lik catchment areas in the Lao PDR.
53. Andersson, J., (1999): Användning av global satellitdata för uppskattning av spannmålsproduktion i västafrikanska Sahel.
54. Flodmark, A.E., (1999): Urban Geographic Information Systems, The City of Berkeley Pilot GIS
55. Tagesson, I., och Wramneby, A., (1999): Kväveläckage inom Tolångaåns dräneringsområde – modellering och åtgärdssimulering.
56. Almkvist, E., (1999): Högfrekventa tryckvariationer under de senaste århundradena.
57. Alstorp, P., och Johansson, T., (1999): Översiktlig buller- och luftföroreningsinventering i Burlövs Kommun år 1994 med hjälp av geografiska informationssystem – möjligheter och begränsningar.
58. Mattsson, F., (1999): Analys av molnklotter med IRST-data inom det termala infraröda våglängdsområdet