

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 43

**KLASSNING OCH STATISTISK
SEPARABILITETSANALYS AV
MARKTÄCKNINGSKLASSER I HALLAND**

Analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR

**TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET
UTLÅNAS EJ**

Marcus Liljeberg



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

1997



**LUNDS UNIVERSITET
GEOBIBLIOTEKET**

KLASSNING OCH STATISTISK SEPARABILITETSANALYS AV MARKTÄCKNINGSKLASSER I HALLAND

Analys av multivariata data
Landsat TM och ERS-1 SAR

Abstract

The objective of this study is to classify Swedish land cover classes using multisource satellite data. Multispectral Landsat TM data from April 1993, and multitemporal ERS-1 SAR data acquired seven times during the growing season of 1993 have been used. Nine agricultural and seven forest land cover classes have been analysed. The statistical separabilities between land cover classes have also been investigated to determine the best combinations of satellite data for discrimination between land cover classes. The Jeffries-Matusita distance is used as a separability measurement. When each data source is analysed separately, separabilities are greater with the SAR data. However, the highest separabilities are generally achieved when the two data types are combined. A synergy can therefore be confirmed in this multisource approach, based on statistical separability results. A maximum likelihood algorithm is used for the classification. When classifying various combinations of TM and SAR data the highest overall classification accuracy using all sixteen land cover classes is achieved when TM and SAR data are combined (58%), compared to classification accuracy achieved when using TM-data alone (43%) or SAR-data alone (45%) respectively.

Marcus Liljeberg
Department of Physical Geography
Lund University
Sölvegatan 13, S-223 62 Lund
Sweden

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	2
2. BAKGRUND	2
3. SYFTE.....	3
4. OMRÅDESBESKRIVNING.....	3
5. MATERIAL.....	4
5.1 LANDSAT TM	4
5.2 ERS-1 SAR	5
5.3 FÖRBEBARBNING AV SATELLITDATA.....	7
5.3.1 <i>Korrigerig av TM-data</i>	7
5.3.2 <i>Korrigerig SAR-data</i>	7
5.4 KLASSER, TRÅNINGSYTOR OCH KONTROLLPUNKTER	8
5.5 UTRUSTNING.....	9
6. SEPARABILITETSANALYS.....	9
6.1 METOD.....	9
6.1.1 <i>Jeffries-Matusita distance</i>	10
6.2 RESULTAT.....	12
6.2.1 <i>Separabilitet TM</i>	12
6.2.2 <i>Separabilitet SAR</i>	12
6.2.3 <i>Separabilitet TM + SAR</i>	13
6.3 DISKUSSION	14
7. FILTRERING	15
7.1 METOD.....	16
7.1.1 <i>Medelvärdesfilter</i>	16
7.1.2 <i>Lee-filter</i>	17
7.1.3 <i>Kuan-filter</i>	17
7.2 RESULTAT.....	17
7.3 DISKUSSION	18
8. RESAMPLING.....	19
8.1 METOD.....	19
8.2 RESULTAT	19
8.3 DISKUSSION	20
9. KLASSNING	20
9.1 METOD.....	20
9.1.1 <i>Maximum likelihood (ML)</i>	21
9.2 RESULTAT	22
9.3 DISKUSSION	22
10. DISKUSSION & SLUTSATSER.....	25
TACK.....	27
REFERENSER.....	28
BILAGOR	

1. Inledning

Kunskap om marktäckningstyper och deras rumsliga fördelning i landskapet är av fundamental betydelse inom många områden, såsom resursövervakning inom jord- och skogsbruk, miljöövervakning, övervakning och modellering av landskapets utveckling i tid och rum, hydrologisk modellering, etc.

Då aktiva radarinstrument som *Synthetic Aperture Radar* (SAR) till skillnad från traditionell optisk satellitdata ej är beroende av goda ljusförhållanden och låg molnfrekvens (Wastenson, 1993) är det lätt att motivera en undersökning av det potentiella värdet hos SAR-data som informationskälla vid tillämpad fjärranalys. För svenskt vidkommande är denna aspekt viktig eftersom Sverige är beläget i en region med hög molnfrekvens och dåliga naturliga ljusförhållanden.

I och med introduktionen av ERS-satelliten (*European Remote Sensing satellites*) finns nu SAR-instrument utvecklade för geografiska ändamål. Dessa instrument kan användas vid regional övervakning av geografiska arealer under ett regelbundet tidsintervall (en upprepningscykel på 35 dagar hos ERS-1 satelliten.).

Variationer i radarekot orsakat av varierad infallsvinkel inom stråkbredden, vilket är ett vanligt problem vid flygburen radarregistrering (variationer i höjd, fart och flygriktning hos plattformen) minimeras hos satellitburen SAR, samtidigt som större arealer kan analyseras (Kramer, 1992)

Michelson och Seaquist (1995) har påvisat svårigheter att särskilja flera marktäckningsklasser i en singulär SAR-scen. Det ses därför som nödvändigt att utnyttja vegetationens temporala variation under växtsäsongen genom att analysera olika

SAR-scener från flera registreringstillfällen, dvs multitemporal SAR-data. Det är också intressant att undersöka möjligheterna att kombinera SAR-data med konventionell optisk data, som *Landsat Thematic Mapper* (TM). Brisco och Brown (1995) har tidigare påvisat synergism mellan flygburen SAR-data och TM-data vid klassning av jordbruksmark i Kanada.

Solberg *et al.* (1994) har presenterat en ny metod vid kontextuell klassning av Landsat TM-data och ERS-1 SAR-data i Norge. Denna metod gav en signifikant förbättring av resultatet jämfört med konventionell teknik och kan komma att bli värdefull för framtida klassningsapplikationer.

För att fastställa en eventuell synergism mellan SAR- och TM-data genomfördes en separabilitetsanalys på ofiltrerad SAR-data i kombination med TM-data. Efter separabilitetsanalys konstaterades att möjligheten att skilja olika marktäckningsklasser från varandra ökade om SAR-data kombinerades med TM-data.

Olika filteralgoritmer prövades för att reducera andelen brus i SAR-datan.

Vid klassning av datamaterialet användes en *maximum likelihood algorithm* där de kanalkombinationer som gav den högsta genomsnittliga separabiliteten i separabilitetsanalysen användes som ingångsdata.

2. Bakgrund

Koncentrationen av kväve i Östersjön har ökat under de senaste 20 åren, förmodligen beroende på ökad atmosfärisk transport och ökad transport från avrinningsvatten (Sandén & Rahm, 1993). Problem relaterade till marin eutrofiering har dokumenterats utförligt (SNV, 1988, Hansson & Rudstam, 1990, Rosenberg *et al.*, 1990). Det

svenska bidraget till den marina eutrofieringen utgörs i huvudsak av flodtransporterat kväve (SNV, 1988), där 75% av kvävet kommer från geografiskt diffusa källor, sk *non point* källor (Löfgren & Olsson, 1990). Fordonstrafik, gödning av jordbruksmark etc, är exempel på dylika *non point* källor.

Restaurerade och nyanlagda våtmarker har identifierats som viktiga kvävefällor, för att, till haven, reducera andelen transporterat kväve (Fleischer & Stibe, 1991, Mitsch, 1993 och Leonardson, 1994). I våtmarker ges kvävet tid att genom kemiska och biologiska processer återgå till den naturliga kvävecykeln.

Under de senaste fyra åren har Svenska Naturvårdsverket (SNV) finansierat forskningsprojektet "Våtmarker och sjöar som kvävefällor", (Jansson *et al.*, 1990). Som en komponent i detta projekt har en dynamisk modell av våtmarkernas effekt på regional kväve transport utvecklats (Arheimer & Wittgren, 1994). En av flera ingångsparametrar i denna modell avser markanvändning, både i fråga om typ och geografisk position. Modellen ställer höga krav på rumslig upplösning av markanvändning, vilket har föranlett detta arbete.

3. Syfte

Huvudsyftet med detta arbete är att undersöka potentialen hos satellitdata för detaljerad klassning av svenska marktäckningsklasser på en regional nivå genom att kombinera data från olika sensorer.

Huvudsyftet kan delas in i tre mer specifika syften:

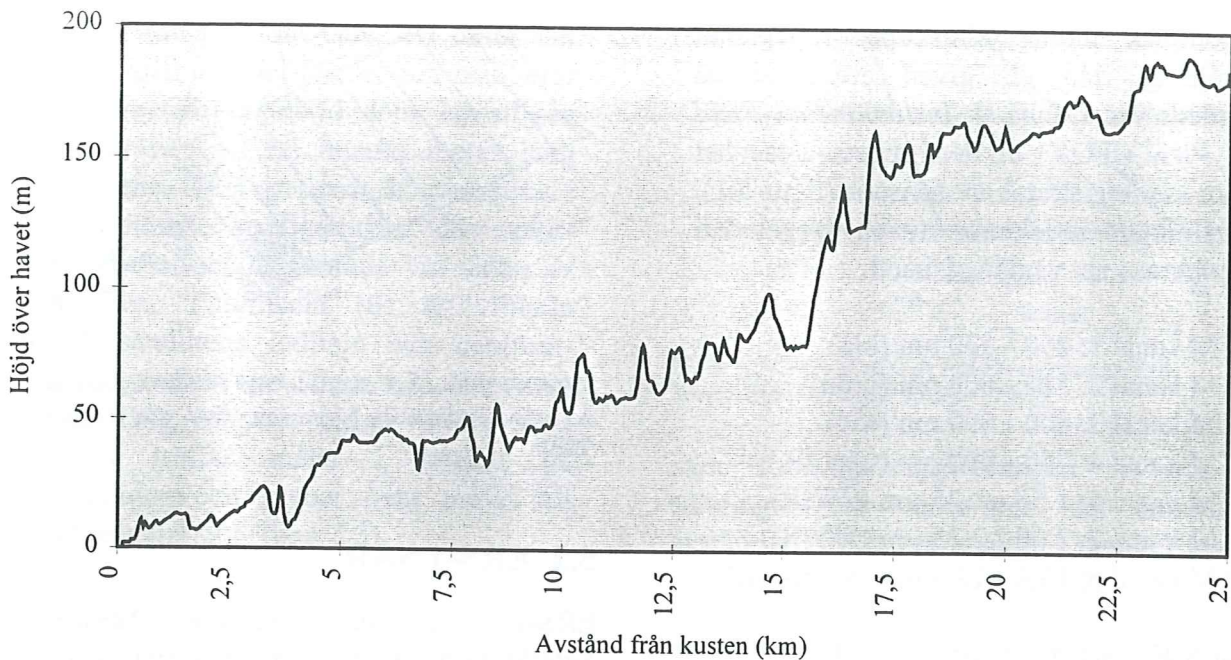
1. Att undersöka den statistiska separabiliteten mellan marktäckningsklasser i;
 - Multispektral Landsat TM-data från april 1993.
 - Multitemporal ERS-1 SAR-data från växtsäsongen 1993.
 - Kombinationer av TM- och SAR-data.
2. Att genomföra en klassning av marktäckning med ledning av resultat från separabilitetsanalysen.
3. Att utvärdera klassningsresultatet mot observationer i fält.

4. Områdesbeskrivning

Undersökningsområdet i detta arbete utgörs av Genavadsåns dräneringsbassäng belägen i Halland på den svenska västkusten. Området upptar en ungefärlig areal av 250 km². För närmare presentation av undersökningsområdets utsträckning hänvisas till karta 1 och karta 2.

Både jordbruksmark och skogsmark finns representerat i det aktuella området. Jordarterna utgörs av sandiga och leriga jordar och områdets topografi är plan till böljande med en höjdstigning från 0 vid kusten till något under 200 möh 25 km in mot land (figur 4.1).

Profil genom undersökningsområdet



Figur 4.2 Generell topografisk profil genom undersökningsområdet. Observera skalskillnaden mellan axlarna.

5. Material

Det datamaterial som använts här är tidigare bearbetat och presenterat i studier utförda av Michelson & Seaquist (1995).

Tabell 5.1 Landsat TM- och ERS-1 SAR-data som använts i denna studie.

Registreringsdatum	Data typ	Orbit/Track	Ruta	Källa
feb 4, 1993	SAR	8140	2457	UK PAF
mars 11, 1993	SAR	8641	2457	UK PAF
apr 11, 1993	TM	195	20/Q4	Swedish NPOC
maj 20, 1993	SAR	9643	2457	UK PAF
juni 24, 1993	SAR	10144	2457	German PAF
juli 29, 1993	SAR	10645	2457	UK PAF
sep 2, 1993	SAR	1114	2457	Italian PAF
okt 7, 1993	SAR	11647	2457	Italian PAF

PAF = Processing and Archiving Facility.
NPOC = National Point of Contact.

Två olika typer av satellitdata har använts. En multispektral Landsat TM-scen och sju

stycken ERS-1 SAR-scener. Satellitdata presenteras i tabell 5.1.

Eftersom skillnaden mellan dessa båda sensorer utgör grundförutsättningen för detta arbetet, krävs en närmare presentation av hur dessa opererar.

5.1 Landsat TM

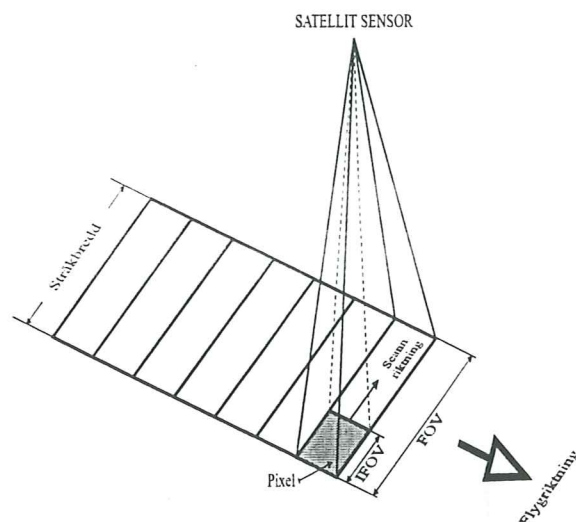
TM-sensorn finns sedan 1982 ombord på Landsat-satelliterna. De senaste Landsat-satelliterna (LS), från och med LS-4, har en solsynkron polär bana med en höjd av 705 km och med en inklinationsvinkel på 98.2° (Kramer, 1992). Omloppsperioden är 99 minuter och tiden mellan två lika positioner, upprepningsscykeln, är 16 dagar. TM-sensorn är en svepradiometer

som opererar i det synliga och det infraröda (IR) våglängdsområdet. Sensorn består i huvudsak av ett teleskop tillsammans med ett antal optiska och elektroniska komponenter. Vid ett givet ögonblick mottar teleskopet reflekterad strålning från en given areaenhet på jordens yta. Denna sk *Instantaneous Field of View* (IFOV) är den minsta areaenhet som kan registreras av sensorn (figur 5.1). Strålningen reflekteras av en spegel och separeras i sju våglängdsband:

- TM kanal 1: 450 - 520 nm (blå)
- TM kanal 2: 520 - 600 nm (grön)
- TM kanal 3: 600 - 690 nm (röd)
- TM kanal 4: 760 - 900 nm (nära IR,)
- TM kanal 5: 1.55 - 1.75 μm (SWIR)
- TM kanal 7: 2.08 - 2.35 μm (SWIR)
- TM kanal 6: 10.4 - 12.5 μm (termisk IR)

där SWIR står för Short Wave IR, kortvågig infraröd strålning.

Intensiteten hos den inkommande strålningen mäts av en detektor. Detektorn ger reflektionen för ett bildelement (pixel) i 8-bitars radiometrisk upplösning, vilket motsvarar ett siffervärde mellan 0 och 255. Ett lågt värde innebär låg reflektion. Pixlarna bygger succesivt upp en scanninglinje allteftersom IFOV förflyttas i scanningriktningen. Efterföljande scanning-linje beror på satellitens rörelse framåt. En multispektral scanner producerar flera bilder parallellt, en för vart våglängdsband. Den geometriska upplösningen, dvs det minsta urskiljbara avståndet i den producerade bilden är 30 m (120 m för TM6). Stråkbredden (figur 6.1) är 185 km och scenens längd är 172 km. Stråkbredd och scenlängd ger en bildstorlek på $185 \times 172 \text{ km}^2$ eller $6928 \text{ pixlar} \times 5760 \text{ scanninglinjer}$ (Kramer, 1992).



Figur 5.1 Schematisk skiss över hur en bild registreras av en svepradiometer byggs upp. Fritt efter Kramer (1992).

5.2 ERS-1 SAR

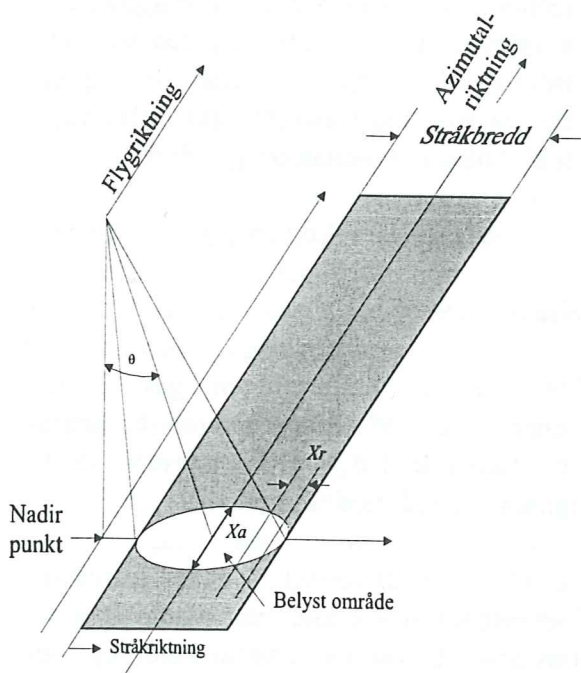
ERS-1 (*European Remote Sensing Satellite*) sändes upp i omloppsbanan 17 juli 1991. Satelliten har en solsynkron polär bana (inklination 98.52°) med en banhöjd på 785 km. Mätningar sker i två omloppsperioder, (Kramer, 1992):

- I. *Ice-orbit* med tre dagars upprepningscykel
- II. *Mapping-orbit* med 35 dagars upprepningscykel, full global täckning garanteras.

Ombord på ERS-1 satelliten finns ett aktivt mikrovågsinstrument (AMI) med två separata mikrovågssändare. En SAR (*Synthetic Aperture Radar*) för mark- och vågmätning och ett instrument för vindmätning.

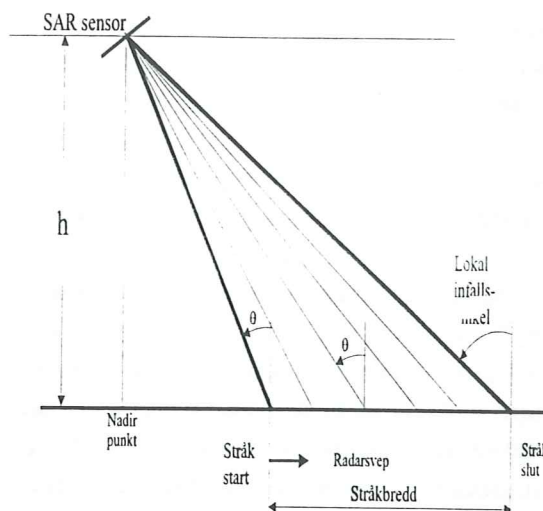
För markapplikationer sker mätningar i C-bandet, (frekvens = 5.3 GHz, vilket motsvarar en våglängd på 5.66 cm, bandbredd = 15.55 MHz) i VV-polarisation. Tittvinkeln (θ) är 23° . Den rumsliga upplösningen är 30 m och stråkbredd är 100 km. Den alstrade bildens längd är begränsad till 100 km (Kramer, 1992).

Till skillnad från TM som är en passiv sensor är SAR ett aktivt instrument. I ett SAR-instrument sänds en radarsignal som reflekteras av målet. Radarekott registreras succesivt av satellitantennen allteftersom satelliten rör sig i sin bana. På detta sätt byggs bilden upp del för del och resulterar i en syntetisk radarbild som egentligen skulle kräva en flera hundra meter lång radarantenn. SAR-systemet är arrangerat i en sidotittande konfiguration, där radarantennen belyser ett område vid sidan av nadirlinjen. Tittvinkeln (θ) är vinkeln mellan satellitens lodlinje och centrumlinjen för radarsvepet (figur 5.2). Sändaren skickar iväg en serie pulser. Varje sänd vågfront träffar målet i början på stråkbredden och sveper över målet till stråkbreddens slut (figur 5.3).



Figur 5.2 Karakteristiska geometridefinitioner för sidotittande radar. Fritt efter Kramer (1992).

Sensorn mäter tidsskillnaden mellan flera sekventiella vågfronter från det belysta området (Doppler-effekt).



Figur 5.3 Generell skiss av radarsvepet hos ett SAR-instrumentet. Fritt efter Kramer (1992).

Den rumsliga upplösningen i stråkriktningen X_r motsvarar det minsta avståndet mellan två punkter i den belysta ytan som kan separeras (figur 5.2).

$$X_r = c / (2B \sin \theta) \quad (5.1)$$

Där: c = ljusets hastighet
 B = signalens bandbredd
 θ = tittvinkel

Den azimutala upplösningen X_a (parallell med flygriktning) för en egentlig radar (icke SAR) motsvarar det minsta avståndet mellan två separerbara punkter längs azimutallinjen (parallell med flygriktning) och beräknas:

$$X_a = h\lambda / (L \cos \theta) \quad (5.2)$$

Där: h = höjden över marken
 λ = våglängd hos signalen
 L = antennlängd

För ett SAR-instrument däremot är X_a (figur 5.2) oberoende av stråkbredden.

$$X_a = L/2 \quad (5.3)$$

Den rumsliga azimutalupplösningen hos SAR-bilden är således oberoende av sensorns höjd över objektet. Detta kan

förklaras av att bilden genereras av dels Doppler-skiftningar i radareköt och dels av skillnaden i tidsfördröjning mellan punkter på marken. Båda dessa effekter kan beräknas oavsett avstånd mellan sensor och markytan (Kramer, 1992). Värt att notera är att avståndet spelar en avgörande roll för att erhålla ett tillräckligt starkt radareko. I SAR-bilder förekommer i regel mycket brus (kap 7). Bruset reduceras till viss del genom att tilldela varje pixel ett medelvärde beräknat för ett antal grannpixlar. Denna förbättring av bildkvaliteten genomförs redan då bilden produceras. Tekniken kallas *number of looks* och avser antalet pixlar som använts vid medelvärdesbildningen (Kramer, 1992).

5.3 Förbearbetning av satellitdata

All kalibrering och korrigerings av satellitdatan är utförd av Michelson & Seaquist (1995).

5.3.1 Korrigerings av TM-data

TM-datan var radiometriskt kalibrerad enligt Markham och Baker (1986). Alla TM kanaler kalibrerades förutom TM6 som inte används i denna studie.

Enligt Hall-Könyves (1988) är sambandet mellan variationer i reflekterad strålning (TM och MSS) och topografiska parametrar svagt för svensk jordbruksmark. Därför genomfördes ingen korrektion av eventuella topografiska effekter i TM-datan.

Vid geometrisk korrigerings av TM-datan användes CHIPS (1992), ett programpaket för digital behandling av satellitbilder. Korrektion till det svenska koordinatsystemet, Rikets Triangelnät 1990 (RT90, UTM-projektion) utfördes med en *nearest neighbour* algoritm i ett polynom av första

ordningen (linjärt) för att minimera korrigeringsfel i scenens utkant. UTM-projektion innebär att alla pixlar får samma area, oavsett position i satellitbilden. Vid korrigerings användes 31 referenspunkter, med kända koordinater. Samma 31 punkter identifierades i satellitbilden och den resulterande pixelstorleken sattes till 25 × 25 m. Efter geometrisk transformation av TM-datan beräknades RMS-felet (PCI, 1994) mellan transformerad data och använda referenspunkter till <15 m, vilket ansågs acceptabelt.

5.3.2 Korrigerings SAR-data

Varje ERS-1 SAR *single precision image* (PRI) var radiometriskt kalibrerad enligt metod presenterad av Laur (1992) för att erhålla den återreflekterade radarkoefficienten, σ° (*back-scattering coefficient*). Radarkoefficienten mäts antingen som ett amplitudvärde uttryckt i meter (σ_a) eller också som signalstyrka uttryckt i dB (σ_{dB}), där förhållandet mellan $\sigma^\circ_{(dB)}$ och $\sigma^\circ_{(a)}$ är:

$$\sigma^\circ_{(dB)} = 10 \times \text{Log}(\sigma^\circ_{(a)}) \quad (5.4)$$

(Kramer, 1992)

Resultatet av kalibreringen gav SAR-scener där σ° uttrycks i 16-bitars amplitudvärde. Högt värde motsvarar stark signal (hög radarreflektion).

NL (*Number of looks*) = 3 för samtliga SAR-scener, dvs antalet närliggande pixlar som använts vid medelvärdesbildning, se 5.2.

Provområdet är relativt flackt varför ingen korrektion med avseende på topografiska effekter genomfördes för SAR-datan.

De radiometriskt kalibrerade SAR-bilderna korrigerades geometriskt i programpaketet EASI/PACE GCPWorks (PCI, 1994) till RT90. Här användes en *nearest neighbour*

algoritm i ett polynom av andra ordningen (kvadratisk) för att förbättra inpassningen av polynomet till referenspunkterna. Referenspunkterna låg väl spridda över hela SAR-scenen varför stora korrigeringsfel i scenens utkant kunde undvikas. Korrigeringen genomfördes "bild till bild" där den korrigerade TM-datan användes som referensbild. Antalet referenspunkter var 57 och det slutgiltiga RMS-felet (PCI, 1994) mellan referensdata och korrigerad data beräknades till <50 m. Resulterande pixelstorlek sattes till 12.5×12.5 m.

5.4 Klasser, träningsytor och kontrollpunkter

Det totala antalet klasser uppgår till 16 stycken fördelade i två grupper: 9 st jordbruksklasser och 7 st skogsklasser. För varje klass insamlades representativa träningsytor och kontrollpunkter utmed slumpvis valda vägsträckor (Olsson & Stern, 1981). Träningsytor avser det datamaterial som används för att generera träningsstatistik vid separabilitetsanalys och vid klassning. Kontrollpunkter avser det datamaterial som använts för att utvärdera klassningsresultatet

Samplingsmetoden favoriserade insamlandet av större volymer jordbruksdata i förhållande till skogsdata, då vägarna huvudsakligen går genom jordbrukslandskapet. Samplingsmetoden försvaras med möjligheten att insamla stora mängder data på kort tid. Detta förfarande underlättar också den geografiska lokaliseringen av träningsytor och kontrollpunkter på kartor och satellitbilder, då positionen för insamlad data är bestämd på traditionellt sätt med karta och kompass.

Klasserna presenteras i tabell 5.2, tillsammans med antalet träningsytor och kontrollpunkter för varje klass. Det bör påpekas att träningsytorna valdes med

omsorg för att vara representativa för hela undersökningsområdet. Det är viktigt att avspegla den naturliga variationen inom varje klass, då enbart stora, flacka och homogena träningsytor skulle ge en orealistisk träningsstatistik. Antalet kontrollpunkter är i lägsta laget för en god utvärdering av klassningsresultatet, i synnerhet för några av klasserna. Detta beror på att en stor del av de kontrollpunkter som insamlades i fält kom att ligga utanför de erhållna SAR-scenerna, vilket upptäcktes först under ett senare skeende i studien. Kontrollpunkterna som används för utvärdering av klassningsresultatet ligger samtliga utanför använda träningsytor.

Tabell 5.2 Markanvändningsklasser och antalet träningsytor (pixlar) och antalet kontrollpunkter för varje klass.

Klass	Träningsytor (pixlar)	Kontrollpunkter (pixlar)
<i>Jordbrukslandskap</i>		
Socketbetor	5 (289)	2
Potatis	14 (759)	8
Raps	14 (1658)	6
Trädesåker	6 (736)	12
Vete	14 (2101)	28
Råg	9 (619)	13
Korn	28 (2107)	39
Havre	12 (462)	30
Betesmark	42 (4663)	78
Antal	144 (13394)	216
<i>Skogslandskap</i>		
Lövskog	8 (1174)	1
Blandskog	8 (912)	8
Blandad barrskog	3 (462)	1
Tall	6 (784)	3
Gran	12 (1253)	10
Hygge	5 (355)	4
Mosse	7 (1558)	8
Antal	49 (6498)	35
Totalt antal	193 (19892)	251

Alla träningsytor och kontrollpunkter digitaliserades till vektorformat i programpaketet PC ARC/INFO (ESRI, 1996) från Gula kartan (LMV, 1987) i skalan 1:20 000 koordinatsystem RT90.

Denna studie är fokuserad på problematiken dels med att skilja mellan olika klasser inom jordbruksmark och dels med att skilja mellan olika klasser inom skogsmark. Därför användes masker för att definiera vilka områden som skulle klassas. Följande masker erhållna från LMVs digitala karta (LMV, 1996) användes vid klassningen.

1. Skogsmask
2. Jordbruksmask
3. Vattenmask
4. Stadsmask

5.5 Utrustning

Hårdvara som använts vid beräkning och analys:

Windows 95 Pentium PC 100 Mhz

UNIX Solaris OS/2 SUN (4/80) Sparc Station 10

Använd mjukvara är redovisad under respektive moment.

Övrig programvara som använts i detta arbete och vid framställningen av denna rapport utgörs av ordbehandlingsprogram, statistikprogram, kalkylprogram, relationsdatabaser och ritprogram.

6. Separabilitetsanalys

Vid klassning av multivariata data, temporala och spektrala, är statistisk separabilitet mellan klasser av stort värde.

Behovet av kostnadseffektivitet kräver effektiva metoder för att reducera dimensionaliteten i datamaterialet utan att göra alltför stora avkall på informations-

innehållet och därigenom klassningsnoggrannheten (Sharma *et al.*, 1995).

Flera statistiska metoder finns tillgängliga för att avgöra den bästa kombinationen av ingångsdata vid klassning. Separabilitetsindex som *divergence*, *transformed divergence* (Swain, 1978), *Bhattacharyya distance* (Kailath, 1967), *Jeffries-Matusita distance* (JM-avstånd) (Swain, 1978, Richards, 1986) är olika mätmetoder av det statistiska avståndet mellan definierade klasspar som används för detta syfte. JM-avstånd anses vara det separabilitetsindex som ger det bästa resultatet (Swain, 1978, Richards 1986). I detta arbete har därför JM-avstånd använts.

6.1 Metod

Beskrivande statistik, (min, max, medelvektor, varians, korrelation, och kovarians) extraherades för samtliga klasser ur varje TM-kanal och ur varje SAR-scen. För TM-kanalerna baserades statistiken för respektive klass pixelvis, medan statistiken för SAR-scenerna extraherades polygonvis (per träningsyta). Detta förfarande motiveras med behovet av att minimera andelen brus (*speckle*) som återfinns i alla SAR-system.

I radarbilder är *backscattering coefficient* (σ^0) "återreflexen" från en yta, en funktion av medelvärdet av de pixlar som ingår i ytan (Touzi *et al.*, 1988). Det är därför önskvärt att analysera SAR-data kontextuellt. Ett enkelt och effektivt sätt är att medelvärdesbilda pixlarna i varje träningsyta (polygon) och använda dessa medelvärden vid beräkning av statistik för varje hel klass bestående av flera polygoner (tabell 5.2) (Michelson *et al.*, 1996).

Det genomsnittliga JM-avståndet beräknades för de kombinationer av TM-,

SAR- och (TM + SAR)-data som listas i tabell 6.1. Tre olika landskapstyper definierades:

1. Jordbruksklasser (9 st.).
2. Skogsklasser (7 st.).
3. Alla klasser tillsammans (16 st.).

Tabell 6.1 Kombinationer av TM, SAR och (TM + SAR) som använts vid beräkning av JM-avståndet.

Scenario	Sensor	Kombination	*Antal testade kombinationer
Alla klasser	TM	enskild	6
	TM	3 komb.	20
	SAR	enskild	7
	SAR	3 komb.	35
	TM + SAR	3 komb	286
	TM + SAR	3 + 3 komb	700
	TM + SAR	alla	1
Jordbrukslandskap	TM	3 komb.	20
	SAR	3 komb	35
	TM + SAR	3 komb.	286
	TM + SAR	3 + 3 komb.	700
	TM + SAR	alla	1
Skogslandskap	TM	3 komb	20
	SAR	3 komb	35
	TM + SAR	3 komb	286
	TM + SAR	3 + 3 komb.	700
	TM + SAR	alla	1

*Antal testade kombinationer avser hur många kombinationer som måste prövas för att hitta den bästa kanalkombinationen med avseende på JM-avstånd.

Ytterligare ett mått som användes för att fastställa separabiliteten var den procentuella andelen helt separerbara klasspar, baserat på JM-avståndet. Där god separabilitet ges av ett JM-avstånd ≥ 1.9 (PCI, 1994).

6.1.1 Jeffries-Matusita distance

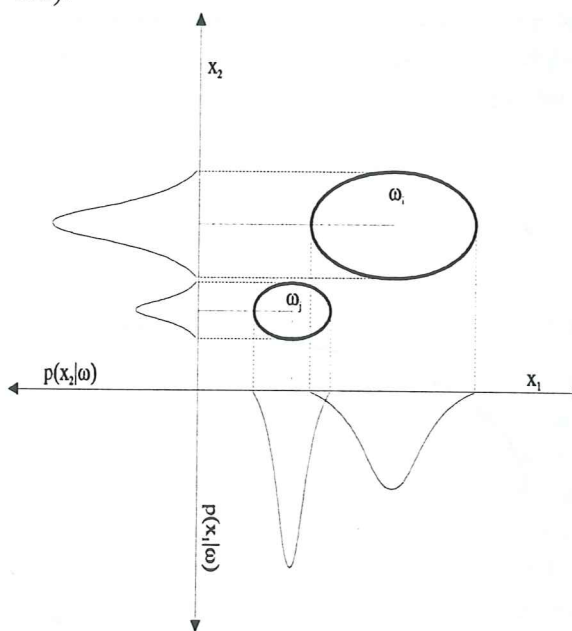
Jeffries-Matusita avståndet (JM) är ett mått på den statistiska separabiliteten för ett

klasspar. Matematiskt definieras JM som (Richards, 1995):

$$JM_{ij} = \int \{ \sqrt{p(x|\omega_i)} - \sqrt{p(x|\omega_j)} \}^2 dx \quad (6.1)$$

där $p(x|\omega_i)$ är sannolikhetsfunktionen för klass ω_i , dvs chansen att hitta en pixel från klass ω_i på position x (Richards, 1995). Detta kommer att diskuteras mer utförligt under kap 9.

JM är ett mått på det genomsnittliga avståndet mellan två klassers densitetsfunktioner, där densitetsfunktion definieras som den sannolikhetsfördelning klassen (ω) beskriver för position x , $p(x|\omega_i)$ (figur 6.1).



Figur 6.1 Tvådimensionellt spektralt vektorrum med hypotetisk separabilitet i respektive spektral kanal.

För normalfördelade klasser kan (6.1) reduceras till (Richards, 1995):

$$JM_{ij} = 2(1 - e^{-\beta}) \quad (6.2)$$

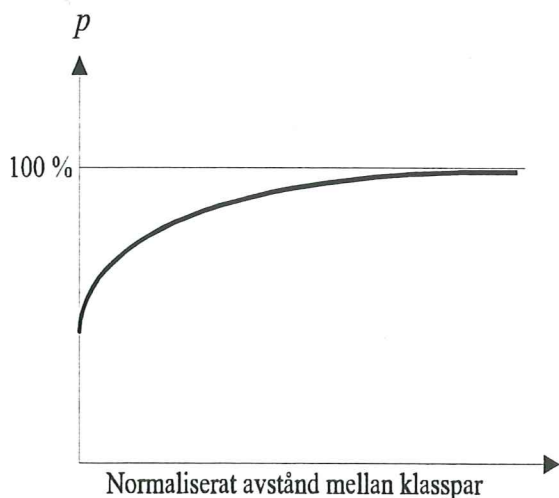
där:

$$\beta = \frac{1}{8} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j)' \left\{ \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right\}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{|\left(\frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right)|}{\sqrt{|\Sigma_i|} \times \sqrt{|\Sigma_j|}} \right\} \quad (6.3)$$

och: m_i = medelvektor för klass i
 Σ_i = kovariansmatris för klass i

För normalfördelade klasser kan således JM-avståndet mellan ett klasspar beräknas ur klassernas medelvektor och kovarians (jämför *maximum likelihood* under kap 9).

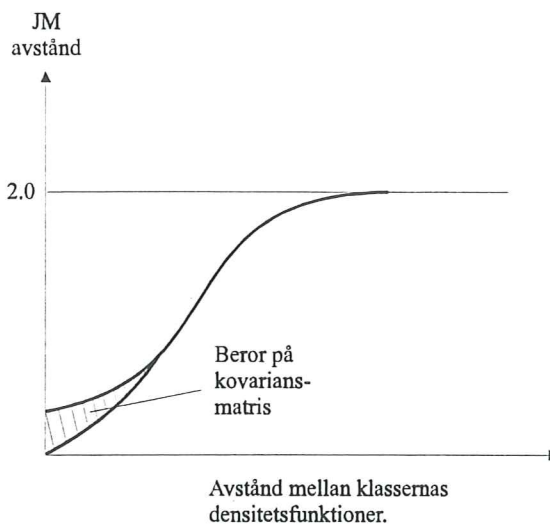
Om sannolikheten för rätt klasstillhörighet mellan två klasser plottas mot avståndet mellan klassernas densitetsfunktioner erhålls en funktion (Swain, 1978) som illustreras i figur 6.2.



Figur 6.2 Sannolikhet för rätt klasstillhörighet mellan två klasser som en funktion av avståndet mellan klassernas densitetsfunktioner. Fritt efter Swain (1978).

Den negativa exponenten (β) i (6.2) innebär en exponentiellt avtagande vikt med ökat avstånd mellan klasser. Det vill säga, om avståndet mellan klasserna (β) ökar kommer JM-avståndet att närma sig värdet 2 (figur 6.3). Detta är önskvärt

eftersom det ger en övre gräns för den statistiska separabiliteten. Om JM-avståndet för två klasser plottas mot avståndet mellan klassernas densitetsfunktioner fås en funktion som påminner om funktionen i figur 6.2, vilket är vad som eftersträvas.



Figur 6.3 JM-avstånd som en funktion av avståndet mellan klassernas densitetsfunktioner. Fritt efter Swain (1978).

Swain (1978) har visat att när det statistiska avståndet mellan några av klassparen i ett datamaterial är stort tenderar andra separabilitetsindex att ge dessa klasspar oproportionerligt stort inflytande på den genomsnittliga separabiliteten för hela datamaterialet. Därför är JM ett bättre separabilitetsindex när många klasser analyseras eftersom det ger en övre gräns för separabiliteten.

JM ger ett separabilitetsindex mellan 0 och 2, där 0 motsvarar total överlappning mellan klasspar (ingen separabilitet) och $JM \geq 1.9$ full separabilitet mellan klasspar (PCI, 1994).

6.2 Resultat

Resultatet av separabilitetsanalysen är indelad i tre delar:

1. Separabilitet mellan klasser för TM-data.
2. Separabilitet mellan klasser för SAR-data.
3. Separabilitet mellan klasser vid kombination av TM- och SAR-data.

6.2.1 Separabilitet TM

Den TM-kanal som ger det högsta genomsnittliga JM-värdet är TM7, för båda landskapstyper (tabell 6.2). Trots att enskilda TM-kanaler ger högre JM-värden för skogsmark än för jordbruksmark ger kombinationen av samtliga TM-kanaler ett något högre värde för jordbruksmark (tabell 6.2). Denna separabilitetsökning framträder endast då samtliga kanaler analyseras och kan förklaras av att skogsklasserna är bättre separerade än jordbruksklasserna i de enskilda TM-kanalerna men där klassernas fördelning är snarlik i varje TM-kanal. Detta i sin tur leder till att separabiliteten inte ökar i motsvarande grad för skogsklasserna som för jordbruksklasserna då kombinationen av alla TM-kanaler analyseras.

Det finns inga helt separerbara klasspar i de enskilda TM-kanalerna.

Tabell 6.2 JM-avstånd för TM-kanaler för olika landskapstyper.

TM-kanal	JM-medelavstånd	
	Jordbrukslandskap	Skogslanskap
TM1	0.13	0.28
TM2	0.13	0.31
TM3	0.16	0.46
TM4	0.23	0.22
TM5	0.17	0.55
TM7	0.35	0.61
Alla	1.02	0.98

Vid multispektral analys av bästa tre TM-kanaler (tabell 6.3) är resultatet något bättre för skogsklasserna än för jordbruksklasserna.

Tabell 6.3 JM-avstånd och procentuell andel helt separerbara klasspar för olika landskapstyper, beräknat för kombinationen av de tre bästa TM-kanalerna.

Landskapstyp	Bästa 3 TM-kanaler	JM medel	% helt separerbara klasspar
Jordbrukslandskap	4 5 7	0.89	0.0%
Skogslanskap	2 4 7	0.92	0.0%
	3 4 5	0.92	0.0%
	3 4 7	0.92	0.0%
Tillsammans	3 4 7	1.11	12.5%
	4 5 7	1.11	12.5%

Då alla klasser analyseras tillsammans stiger det genomsnittliga JM-avståndet och andelen helt separerbara klasspar ökar. Denna ökning beror i huvudsak på den generellt sätt höga separabiliteten mellan klasspar från olika landskapstyper, jordbruksmark respektive skogsmark.

6.2.2 Separabilitet SAR

Den bästa enskilda SAR-scenen för jordbruksmark är scenen registrerad i maj (tabell 6.4.) I maj har de höstsådda grödorna kommit långt i sin utveckling jämfört med de vårsådda dito vilket i sin tur ger en detekterbar skillnad i radareko för SAR-instrumentet. Senare under sommaren sjunker separabiliteten mellan jordbruksklasserna, klasserna konvergerar med avseende på radareko. I slutet av växtsäsongen sjunker separabiliteten ytterligare. Det beror på att många av grödorna skördas. Den skördade marken ger samma radarreflektion oavsett vilken gröda som växt där tidigare.

För skogsmark är den bästa enskilda SAR-scenen registrerad i mars. Detta beror på att den texturella differansen mellan barr- och lövskog är som störst innan lövsprickning.

Den lägre separabilitet i februari kan förklaras av eventuell förekomst av snö, som påverkar radareköt. Efter lövsprickning sjunker separabiliteten för skogsklasserna för att sedan öka under hösten då löven faller.

Tabell 6.4 JM-avstånd för ERS-1 SAR-bilder för olika landskapstyper.

SAR registrering	JM-medelavstånd	
	Jordbrukslandskap	Skogslandskap
Feb	0.52	0.40
Mar	0.55	0.53
Maj	0.64	0.21
Jun	0.48	0.21
Jul	0.46	0.22
Sep	0.49	0.23
Okt	0.40	0.41
Alla	1.85	1.59

Inga helt separerbara klasspar återfinns i de enskilda SAR-scenerna. Separabiliteten ökar dramatiskt både för jordbruksmark och skogsmark då alla SAR-scener analyseras.

Vid multitemporal analys av de bästa tre SAR-scenerna (tabell 6.5) framgår att den bästa kombinationen alltid innehåller maj-scenen. Separabiliteten är bättre för jordbruksklasser än för skogsklasser, både med avseende på genomsnittligt JM-avstånd och andelen helt separerbara klasspar. JM-avståndet ökar om alla klasser analyseras tillsammans, jämför TM ovan.

Tabell 6.5 JM-avstånd och procentuell andel helt separerbara klasspar för olika landskapstyper, beräknat för de tre bästa ERS-1 SAR-bilderna.

Landskaps- typ	Bästa 3 SAR- bilder	JM medel	% helt separerbara klasspar
Jordbruks- landskap	mar maj jun feb maj jun	1.46 1.46	2.8% 0.0%
Skogs- landskap	mar maj okt	1.19	0.0%
Till- sammans	mar maj okt mar maj sep	1.59 1.59	19.2% 17.5%

6.2.3 Separabilitet TM + SAR

För att bestämma den optimala tre-bilderskombinationen användes både TM och SAR som ingångsdata. Den kombination av kanaler/scener som ger det högsta JM-värdet för jordbruksklasser innehåller enbart SAR data (tabell 6.6).

Tabell 6.6 JM-avstånd och procentuell andel helt separerbara klasspar för olika landskapstyper, beräknat för kombinationen av TM och SAR, 3 kanaler/scener.

Landskaps- -typ	Bästa 3 (TM + SAR) kombination	JM medel	% helt separerbara klasspar
Jordbruks- landskap	mar maj jun feb maj jun	1.46 1.46	2.8% 0.0%
Skogs- landskap	TM7 mar okt	1.30	0.0%
Tillsam- mans	TM7 mar maj mar maj okt mar maj sep	1.59 1.59 1.59	35.0% 19.2% 15.8%

JM-avståndet är högre för jordbruksklasserna jämfört med skogsklasserna, liksom andelen helt separerbara klasspar.

Då kombinationen av bästa tre bilder analyseras för alla klasser ingår TM (kanal 7) endast i en kombination av totalt tre med samma genomsnittliga JM-värde (tabell 6.6). Värt att notera är att denna kombination ger flest helt separerbara klasspar.

För att ytterligare höja separabiliteten mellan klasser krävs att analysen drivs ett steg längre. Kombinationer av bästa tre TM bilder tillsammans med bästa tre SAR-scener, en fördubbling av ingångsdatan, analyserades. Resultatet av analysen (tabell 6.7) visar att det genomsnittliga JM-avståndet steg dramatiskt. Andelen helt separerbara klasspar steg likaså. Gemensamt för de bästa kombinationerna är att de alla innehåller TM-kanaler i det närainfraröda till mellaninfraröda våglängdsområdet (TM4, TM5, TM7) och SAR-scener från månaderna mars och/eller maj.

Tabell 6.7 JM avstånd och procentuell andel helt separerbara klasspar för olika landskapstyper, för de bästa kombinationerna av tre TM-kanaler tillsammans med tre SAR-scener.

Landskapstyp	Bästa kombinationer av 3 TM + 3 SAR	JM medel	% helt separerbara klasspar
Jordbrukslandskap	TM3 TM4 TM7 / mar maj jun	1.72	11.1%
	TM3 TM4 TM5 / mar maj jun	1.72	8.3%
Skogslandskap	TM3 TM4 TM7 / mar maj okt	1.56	5.8%
	TM1 TM4 TM7 / mar maj okt	1.56	0.0%
	TM2 TM4 TM5 / mar maj okt	1.56	0.0%
	TM2 TM4 TM7 / mar maj okt	1.56	0.0%
	TM3 TM4 TM5 / mar maj okt	1.56	0.0%
	TM4 TM5 TM7 / mar maj okt	1.56	0.0%
Tillsammans	TM4 TM5 TM7 / mar maj sep	1.80	45.8%
	TM2 TM4 TM7 / mar maj sep	1.80	45.0%
	TM3 TM4 TM7 / mar maj okt	1.80	45.0%
	TM4 TM5 TM7 / mar maj okt	1.80	45.0%
	TM2 TM4 TM7 / mar maj okt	1.80	44.7%
	TM1 TM4 TM7 / mar maj sep	1.80	44.2%
	TM1 TM4 TM7 / mar maj okt	1.80	44.2%
	TM2 TM4 TM5 / mar maj okt	1.80	44.2%
	TM3 TM4 TM5 / mar maj okt	1.80	44.2%
	TM3 TM4 TM7 / mar maj jun	1.80	44.2%
	TM3 TM4 TM7 / mar maj sep	1.80	44.2%
	TM4 TM5 TM7 / mar maj jun	1.80	44.2%
	TM3 TM4 TM5 / mar maj sep	1.80	42.5%
	TM2 TM4 TM5 / mar maj sep	1.80	41.7%

Separabiliteten mellan klasser blir som störst om alla TM-kanaler kombineras med alla SAR-scener vid analysen (tabell 6.8).

Tabell 6.8 Statistisk separabilitet (JM-avstånd) och procentuell andel helt separerbara klasspar för olika landskapstyper och för samtliga kanaler/scener.

Landskaps- typ	Sensor, samtliga kanaler/scener	JM medel	% helt separerbara klasspar
Jordbruks- landskap	TM	1.02	0.0%
	SAR	1.85	25.0%
	TM + SAR	1.93	38.9%
Skogs- landskap	TM	0.98	0.0%
	SAR	1.59	4.8%
	TM + SAR	1.82	23.8%
Tillsammans	TM	1.39	17.5%
	SAR	1.85	48.3%
	TM + SAR	1.93	63.3%

Separabiliteten är bättre för jordbruksmark än för skogsmark i alla konfigurationer, liksom andelen helt separerbara klasspar. Ett intressant resultat är JM-avståndet för kombinationen av TM- och SAR-data. I

samtliga tidigare separabilitetsanalyser ökar JM-avståndet då landskapstyperna analyseras tillsammans vilket inte är fallet för denna kombination. Detta förhållande kan förklaras av att separabiliteten för jordbruksklasserna närmar sig funktionens gränsvärde (figur 6.3), vilket innebär att ökat avstånd mellan klasspar tillför en mycket liten ökning av JM-avståndet. Vidare kan det konstateras att separabiliteten mellan klasser är större för SAR-data än för TM-data.

6.3 Diskussion

Beräkning av JM-avståndet mellan klasspar är generellt sett högre då det beräknas på SAR-data jämfört med TM-data. Detta lite förvånande resultat, kan till viss del förklaras av att statistiken för SAR-datan är extraherad per polygon/träningsyta. Denna statistik minimerar effekten av *speckle* och höjer därmed separabiliteten

mellan klasspar, i synnerhet för homogena jordbruksklasser. Det genomsnittliga JM-avståndet för skogsklasser, beräknat på SAR-data, är konsekvent lägre än för jordbruksklasserna. Detta förhållande kan bero på flera orsaker. För det första är heterogeniteten för skogsklasser större än för jordbruksklasser vilket ger en högre variabilitet i den återreflekterade signalen och därmed större effekt av *speckle* för skogsklasser (Lopes *et al.*, 1990). För det andra påverkas SAR-signalen av topografisk relief. I det område som undersökts är den topografiska differansen större i skogsområden än i de mer flacka jordbruksområdena, vilket kan påverka separabiliteten för skogsklasser. I denna studie verkar det som om multitemporal SAR-data är av större värde än multispektral TM-data, åtminstone för att separera jordbruksklasser. Detta förhållande kan, till vissa delar, förklaras med registreringstidpunkten för TM-datan, 11 april 1993, vilket inte kan betraktas som ett optimalt registreringsdatum för studie av jordbruksklasser i Sverige. Grödorna befinner sig precis i början på sin utveckling och är svåra att överhuvudtaget detektera i TM-datan, än mindre särskilja från varandra.

Det är uppenbart att informationsvärdet i en kombination av TM- och SAR-data stiger med stigande informationsvärdet i varje ingående datakälla. I denna studie var TM-data tillgänglig tidigt under växtsäsongen. Ytterligare TM-data från senare stadier av växtsäsongen skulle med stor sannolikhet höja separabiliteten mellan jordbruksklasserna. Det är dock intressant att notera den klara förbättring av separabiliteten mellan klasspar då kombinationen av TM- och SAR-data analyseras, trots den illa valda tidpunkten för TM-data. Multitemporal och multispektral TM-data kombinerat med multitemporal SAR-data utgör för-

modligen den optimala satellitbaserade datakällan i dagsläget för liknande studier.

7. Filtrering

Speckle är ett grynigt signalberoende brus som förekommer i alla typer av aktiv fjärranalys, oavsett sänd signal. Radar, ljudvågor och laser är alla exempel på olika typer av signalbärare som medför *speckle* i den resulterande återreflexen. *Speckle* är ett resultat av den slumpvisa interferensen av mindre signalvågor vars ursprung orsakas av de småskaliga fluktuationerna hos objektets yta inom ett upplösningselement (pixel) (Kuan *et al.*, 1987).

I SAR bilder kan en yta, bestående av flera pixlar, dels karaktäriseras av den återreflekterande radarkoefficienten σ° i varje pixel, och dels av dess inneboende rumsliga variabilitet mellan pixlar, ytans textur. Möjligheten att skilja en yta från en annan med avseende på de radiometriska och de texturella aspekterna sjunker då *speckle* förekommer i datamaterialet. En reduktion, filtrering av *speckle* i SAR-scenerna skulle förbättra separabiliteten mellan olika markanvändningsklasser och höja effektiviteten hos konventionella, per-pixel baserade, klassningsalgoritmer (Lopes *et al.*, 1990).

Då undersökta ytor är relativt homogena, som i fallet med jordbruksmark, ska filtret bevara den radiometriska informationen och gränserna mellan olika ytor. För heterogena ytor som skogsmark ska filtret bevara den texturella informationen, dvs variationen av radarekot inom samma träningsyta bestående av flera pixlar.

Många adaptiva filter har utvecklats vars uppgift är att bevara radiometrisk och texturell information. I detta arbete har fem

olika adaptiva filter prövats, vilka har jämförts med ett konventionellt medelvärdesfilter. Vilket filter som slutligen skulle komma att användas bedömdes dels rent visuellt och dels med ledning av tidigare jämförelser utförda av Lopes *et al.* (1990) och Shi och Fung (1994).

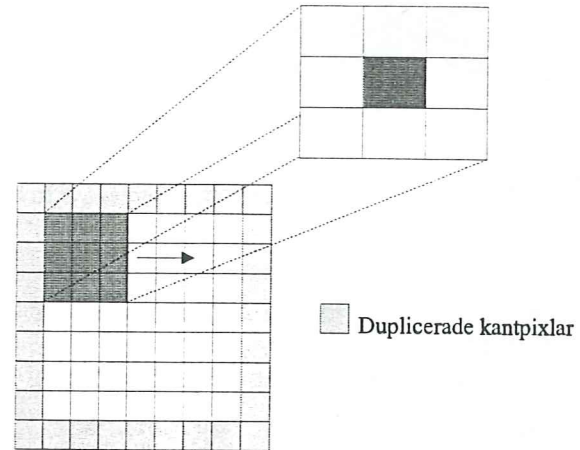
7.1 Metod

Filtreringen utfördes i programpaketet EASI/PACE (PCI 1994) där fem adaptiva filter prövades:

1. Lee filter (Lee, 1980).
2. Enhanced Lee filter (Shi & Fung 1994, Lopes *et al.*, 1990).
3. Frost filter (Frost *et al.*, 1982).
4. Enhanced Frost filter (Shi & Fung 1994, Lopes *et al.*, 1990),
5. Kuan filter (Kuan *et al.*, 1985)

Varje filter applicerades på den av SAR-scenerna (mars) som har det högsta genomsnittliga JM-avståndet för både jordbruks- och skogsmark (tabell 6.4). De olika filtren prövades och jämfördes systematiskt dels med avseende på filter och dels med avseende på styrparametrar inom respektive filter. Varje filtreringsresultat jämfördes visuellt med ett medelvärdesfilter där motsvarande styrparametrar (storlek på filterfönstret) sattes lika. Efter provfiltrering valdes två filteralgoritmer, Lee och Kuan, som tillsammans med medelvärdesfiltret genererade det bästa resultatet. Dessa filter beskrivs nedan. För beskrivning och härledning av övriga filter hänvisas till respektive artikel ovan. För att slutligen välja ett gemensamt filter för hela datamaterialet jämfördes medelvärde och standardavvikelse för varje filtreringsresultat med medelvärde och standardavvikelse för originalscenen.

De filteralgoritmer som använts i detta arbete bygger på samma grundprincip. Filtringen utförs succesivt över hela bilden där ett filterfönstret sätts att löpa över bilden på ett sådant sätt att alla pixlar någon gång är centumpixel i filterfönstret, vilket illustreras i figur 7.1.



Figur 7.1 Filterfönstrets rörelse över den i filtrerade bilden.

Nytt pixelvärde beräknas för centumpixeln i filterfönstret varefter filterfönstret flyttas ett steg i horisontell riktning. När fönstret når bildens kant förflyttas fönstret ett steg i vertikal riktning. Proceduren upprepas tills hela bilden filtrerats. För att få med pixlarna i bildens kant dupliceras intilliggande pixlar.

7.1.1 Medelvärdesfilter

Vid medelvärdesfiltrering beräknas summan av alla pixlar som ingår i filterfönstret vilken sedan divideras med antalet ingående pixlar. Filterfönstrets centumpixel tilldelas detta medelvärde. Pixelvärdet beräknas ur (PCI, 1994):

$$r = \frac{(p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n)}{n} \quad (7.1)$$

Där: r = nytt pixelvärde
 p = individuella pixelvärden i filterfönstret
 n = antalet i filterfönstret ingående pixlar

7.1.2 Lee-filter

Lee-filtret utför liksom medelvärdesfiltret en rumslig filtrering av hela bilden där pixlar i bildens kant dupliceras för att ge tillräcklig data. Lee-filtret opererar i tre olika konfigurationer beroende på typ av brus i bilden:

1. Adderat brus.
2. Multipliserat brus.
3. Både adderat och multipliserat brus.

I datamaterialet som används i denna studie bedömdes bruset vara av typen multipliserat brus varför endast algoritmen för multipliserat brus redovisas. Det resulterande pixelvärdet beräknas ur (PCI, 1994):

$$r = I + K(CP - I) \quad (7.2)$$

där:

$$K = 1 - \frac{(MVAR / U^2)}{(QVAR / I^2)} \quad (7.3)$$

och:

r = nytt pixelvärde
 CP = centumpixeln i fönstret
 I = pixelmedelvärdet i fönstret
 $QVAR$ = variansen i fönstret
 U = medel bruset
 $MVAR$ = variansen hos bruset

7.1.3 Kuan-filter

Hela bilden filtreras även vid Kuan-filtrering och kantpixlarna dupliceras för att ge tillräcklig data. Resulterande pixelvärde beräknas ur (PCI, 1994):

$$r = CP \times W + I(1 - W) \quad (7.4)$$

där:

$$W = \left(1 - \frac{Cu}{Ci}\right) / (1 + Cu) \quad (7.5)$$

$$Cu = \frac{1}{NL} \quad (7.6)$$

$$Ci = \frac{VAR}{I} \quad (7.7)$$

och: r = nytt pixelvärde
 CP = centumpixeln i fönstret
 I = pixelmedelvärdet i fönstret
 NL = number of looks
 VAR = variansen i filterfönstret

7.2 Resultat

Ett filterfönster med en storlek på 7×7 pixlar genererade det bästa visuella resultatet. Denna storleken på filterfönstret sammanfaller med storleken på de minsta träningsytor som använts i denna studie, omkring 50 pixlar. Med detta i åtanke ansågs ett filterfönster med en storlek på 7×7 pixlar som lämpligt.

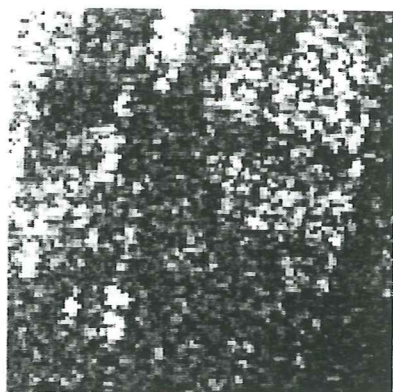
Number of looks för alla scener är 3, se kap 5.

Exempel på filtreringsresultat redovisas nedan (figur 7.2 - 7.5) Filtreringen har utförts på SAR-scenen registrerad i mars. Exemplet visar samma geografiska del av originalscenen.

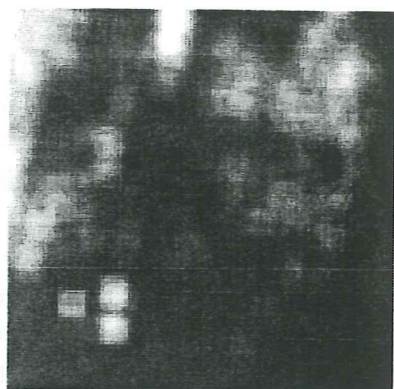
Skillnaden mellan originaldata och filtrerad data framgår tydligt, däremot är skillanden mellan de olika filtreringarna inte lika tydlig. Lee-filtrering och Kuan-filtrering genererar i det närmaste identiska resultat. Något bättre kontrast kan skönjas i den Kuan-filtrerade bilden.

För att slutligen välja lämpligt filter analyserades varje resultatfiltrering med avseende på beskrivande statistik, medelvärde och standardavvikelse för hela

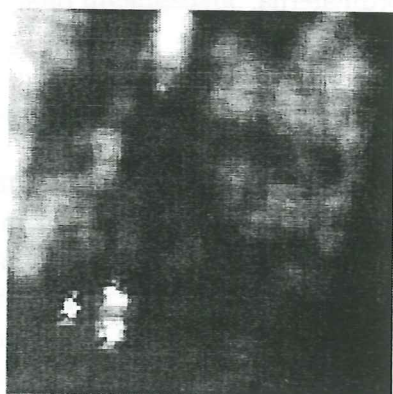
scenen. För homogena ytor ger ett medelvärdes-filter ett bra resultat vid filtrering av SAR-data (Lopes *et al.*, 1990). Därför kom ett medelvärdes filter att användas som referens.



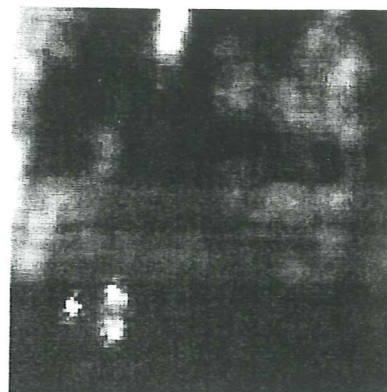
Figur 7.2 Del av originalscen



Figur 7.3 Medelvärdesfilter



Figur 7.4 Lee-filter



Figur 7.5 Kuan-filter

Följande kriterier sattes upp vid slutgiltigt val av filter:

1. Medelvärdet för den filtrerade scenen skall ligga nära medelvärdet för scenen filtrerad med medelvärdesfilter.
2. Standardavvikelsen för den filtrerade scenen skall ligga så nära standardavvikelsen för originalbilden som möjligt.

Beskrivande statistik, medelvärde och standardavvikelse (Std), extraherades för hela scenen ur respektive filtreringsresultat (tabell 7.1).

Tabell 7.1 Medelvärde och standardavvikelse för SAR-scen registrerad i mars för respektive filtreringsresultat.

SAR-scen (mars)	medelvärde	Std
Original	386.929	213.342
Medelvärdesfilter	386.943	131.495
Lee-filter	386.358	158.754
Kuan-filter	386.372	160.335

Det filter som bäst uppfyller ovan ställda villkor är Kuan-filtret varför Kuan-filtret valdes som slutgiltig filteralgoritm för alla SAR-scener.

7.3 Diskussion

Det är svårt att objektivt utvärdera filtreringen eftersom det inte finns någon objektiv sanning att jämföra med. Det finns heller inga generella regler som avgör

vilken typ filter som ska användas. Det önskade resultatet vid filtrering av SAR-data är att utjämna andelen *speckle* samtidigt som relevant information bibehålls. Shi och Fung (1994) har visat att det alltid finns en tendens till "ge och ta" mellan dessa önskemål. Ambitionen i detta arbete har inte varit utvärdera varje filter i alla tänkbara konfigurationer utan att hitta ett lämpligt filter för att reducera andelen *speckle* i SAR-bilderna. Det ansågs viktigt att filtreringen genomfördes konsekvent för alla SAR-scener för att bibehålla det relativa förhållandet mellan SAR-scenerna, varför samma filter med konstanta styrparametrar applicerades på varje scen.

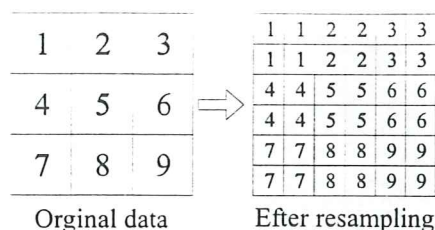
Lopes *et al.* (1990) och Shi och Fung (1994) har visat att adaptiva filter för reduktion av *speckle* i SAR-data är generellt sätt bättre än konventionella filter (medelvärdesfilter).

De adaptiva filter som har prövats i detta arbete är konstruerade utifrån olika kriterier, vilket får till följd att de i viss mån är scenberoende. Detta innebär att filtreringsresultatet varierar mellan olika scener, vilket bidrar till problematiken med att välja ett lämpligt filter vid filtrering av multitemporala data.

8. Resampling

Resampling avser en process där pixelvärdet i originaldata interpoleras, beroende på algoritm, till ett nytt värde i den resamplade utgångsdatan. Efter Michelson och Seaquist i tidigare arbeten utförda geometriska korrektion av SAR-datan bestämdes pixelstorleken till 12.5×12.5 m. För att möjliggöra en klassning där SAR-datan kombineras med TM-data (pixelstorlek 25×25 m) är det nödvändigt av beräkningstekniska skäl att pixelstorleken är lika. Att minska pixelstorleken

för TM-datan är ett dåligt alternativ eftersom informationsinnehållet inte ökar. Däremot ökar lagrings- och hanteringsutrymmet för datan med faktor 4 (400%) (figur 8.1).



Figur 8.1 Ett 3×3 pixelfönster före resampling och efter resampling, där pixelstorleken har resamplats från 25×25 m till 12.5×12.5 m.

Återstående alternativ är att öka pixelstorleken för SAR-datan.

8.1 Metod

Resampling av SAR-scenerna genomfördes i programmodulen EASI/PACE GCPWorks, (PCI, 1996) där en bilinjär interpolationsalgoritm användes för att inkludera intilliggande pixlars värde vid interpolationen. Vid bilinjär interpolation beräknas det nya pixelvärdet för ingångskordinaterna ur det viktade medelvärdet av de fyra närmaste pixlarna i originaldatan. Det interpolerade värdet ges till de nya utgångskordinaterna.

8.2 Resultat

Efter *resampling* erhöles SAR-data med pixelstorleken 12.5×12.5 m där lagringsstorleken minskade med 75% jämfört med ingångsdatan. En uppskattning av informationsförlusten vid *resampling* kan göras genom att jämföra medelvärde och standardavvikelse från ingångsdatan med medelvärde och standardavvikelse, (Std) för den "resamplade" resultatbilden (tabell 8.1).

Tabell 8.1 Medelvärde och standardavvikelse före respektive efter *resampling*.

SAR mars-scen	medelvärde	Std
före resampling	386.372	160.335
efter resampling	385.949	158.104
absolut skillnad	0.423	2.231

8.3 Diskussion

Vid resampling förloras information, vilket är ett problem. Om *resampling* istället utförts på TM-datan skulle ingen information gå förlorad (figur 8.1), däremot skulle datamängden för TM-datan öka med 400%. Ställt mot varandra valdes att resampla SAR-datan och därmed förlora en förhållandevis liten informationsmängd.

9. Klassning

Huvudsyftet med detta arbete är att genomföra en markanvändningsklassning för undersökningsområdet. I separabilitetsanalysen har flera kombinationer av ingångsdata analyserats med varierat resultat. Klassningen är genomförd enligt resultat från separabilitetsanalys där de kanalkombinationer som gav de högsta genomsnittliga separabilitetsresultaten användes som ingångsdata.

9.1 Metod

Klassning är utförd i EASI/PACE (PCI, 1994). Vid klassning av datamaterialet användes en *Maximum likelihood* algoritm enligt 9.1.1.

Ny träningsstatistik genererades för de filtrerade och *resamplade* SAR-scenerna, med samma träningsytor som använts tidigare. Träningsstatistiken visade att klasserna var normalfördelade eller nära nog normalfördelade.

Denna studie är fokuserad på problematiken med att skilja mellan olika klasser inom jordbruksmark och att skilja mellan olika klasser inom skogsmark. Därför användes masker för att definiera vilka områden som skulle klassas. Båda landskapstyperna klassades under mask. Jordbruksmark och skogsmark klassades var för sig och de två resulterande klassningarna sammanfördes till en gemensam klassning för hela området. Ingen ytterligare förkunskap om klassernas generella fördelning i undersökningsområdet fanns tillgänglig varför *a priori* sattes lika för samtliga klasser. Samtliga pixlar under respektive mask klassades. Klassningen genomfördes i fyra olika kanalkombinationer:

1. Alla TM-kanaler.
2. Alla SAR-scener
3. Bästa 6-kanals kombination enligt separabilitetsanalys, (tabell 6.7).
4. Alla TM-kanaler + alla SAR-scener.

Klassning av kanalkombination 1 och 2 genomfördes för att jämföra klassningsresultatet från de båda sensorerna.

I ovanstående kombinationer har samtliga 16 klasser använts vid klassning. För den sista kombinationen, alla kanaler, genomfördes ytterligare en klassning där ursprungliga klasser slogs samman till sex nya klasser (tabell 9.1).

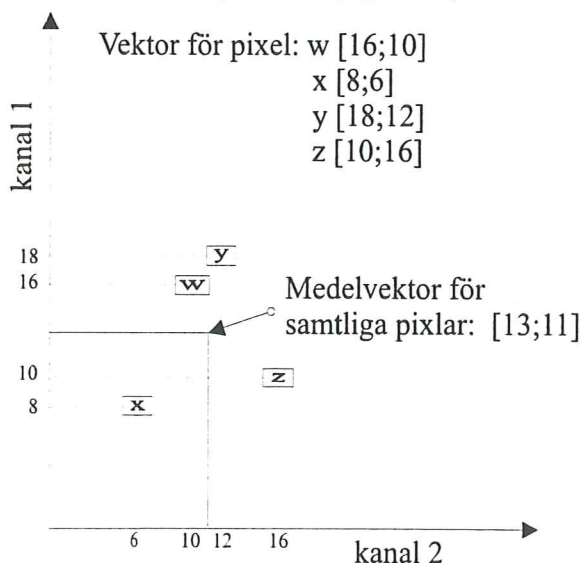
Tabell 9.1 Beskrivning av sammanslagna klasser.

Ursprungliga klasser	Sammanslagna klasser
Socketbetor Potatis Korn Havre	KLASS 1
Trädesåker Betesmark	KLASS 2
Vete Råg Raps	KLASS 3
Lövskog Blandskog Blandad barrskog	KLASS 4
Tall Gran	KLASS 5
Hygge, föryngringsyta Mosse	KLASS 6

Utvärdering av klassningsresultatet är utförd enligt Congalton (1991) i programpaketet EASI/PACE (PCI, 1994).

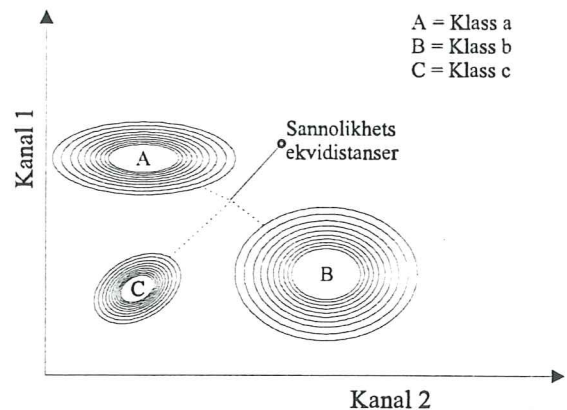
9.1.1 Maximum likelihood (ML)

Ett effektivt sätt att representera multispektral data för kvantitativ analys är att representera pixlar i ett multispektralt vektorrum. Vektorrummets dimensionalitet definieras av antalet spektrala komponenter, kanaler. Varje pixel kan plottas i vektorrummet där koordinaterna ges av pixelns värde i varje kanal (figur 9.1).



Figur 9.1 Tvådimensionellt spektralt vektorrum där pixelvärdet i respektive kanal ger rumskoordinaterna för pixelvektorn räknat från origo.

ML-klassning bygger på antagandet att varje spektral klass kan beskrivas av en sannolikhetsfördelning i det multispektrala rummet (Richards 1986). Den "kropp" som klassen beskriver kommer att ha en multivariabel fördelning med lika många variabler som dimensioner i vektorrummet. (Jämför 6.1.1 *Jeffries-Matusita distance*). I figur 9.2 illustreras sannolikhetsfördelning hos tre klasser.



Figur 9.2 Sannolikhetskurvor för klass A, B och C. Ökat avstånd från ellipsoidens centrum innebär lägre sannolikhet för klasstillhörighet. Ellipsoidens form och riktning bestäms av klassens kovarians. Fritt efter Lillesand och kiefer (1987).

Varje fördelning ger med vilken sannolikhet en godtyckligt vald pixel tillhör respektive klass. Om klasserna antas vara normalfördelade, kan sannolikheten att pixel x ingår i klass ω_i beräknas ur (Swain, 1978):

$$p(x|\omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \sqrt{|\Sigma_i|}} e^{-\frac{1}{2}(x-m_i)^t \Sigma_i^{-1}(x-m_i)} \quad (9.1)$$

där:

- n = antalet spektrala kanaler
- e = basen för naturliga logaritmen
- x = vektorn för pixel x
- m_i = medelvektorn för klass i
- $(x-m_i)^t$ = transponering av $(x-m_i)$
- Σ_i = kovariansmatris för klass i
- $|\Sigma_i|$ = determinanten av Σ_i
- Σ_i^{-1} = inversen av Σ_i

Sannolikhetsvärdet $p(x|\omega)$ för undersökt pixel beräknas för respektive klass. Undersökt pixel sägs tillhöra den klass för vilken $p(x|\omega)$ är störst.

Genom antagandet att sannolikhetsfördelningen för varje klass kan approximeras av en normalfördelning kan fördelningen fullständigt beräknas ur klassens medelvektor och kovarians. Eftersom medelvektor och kovarians för klassen är okänd approximeras dessa ur träningsytor från respektive klass. Kovariansen (Σ_i) för träningsdatan för klass i beräknas ur (Swain, 1978):

$$\Sigma_i = \frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^K (x_j - m)(x_j - m)' \quad (10.2)$$

där:

K = antalet träningspixlar
 m = medelvektor

med avseende på respektive klass.

9.2 Resultat

En summering av klassningsresultatet presenteras i tabell 9.2. där resultatet är beräknat ur resultattabell för respektive klassning. Resultattabell och fullständig resultatstatistik presenteras i bilaga 1.

Tabell 9.2 Summering av klassningsresultat.

Klassning 16 klasser	Total- noggrannhet*	95% konfidensintervall
alla TM	43.462%	±6.367%
alla SAR	45.418%	±6.359%
3 TM + 3 SAR	48.207%	±6.381%
alla (TM + SAR)	57.769%	±6.310%
alla (TM + SAR) (6 klasser)	74.900%	±5.563%

* Det totala antalet korrekt klassade kontrollpunkter dividerat med det totala antalet kontrollpunkter.

De två klassningarna med högsta totalnoggrannhet presenteras på kommande sidor även som markanvändningskartor (karta 1 och karta 2). Kartorna är

konstruerade i programpaketet ArcView GIS (ESRI, 1996).

9.3 Diskussion

Noggrannhetsutvärderingen av klassningsresultatet måste betraktas med viss skepsis eftersom antalet kontrollpunkter för några av klasserna är alldeles för få. Däremot är resultatet relevant för att avgöra vilken kanalkombination som genererar det bästa klassningsresultatet.

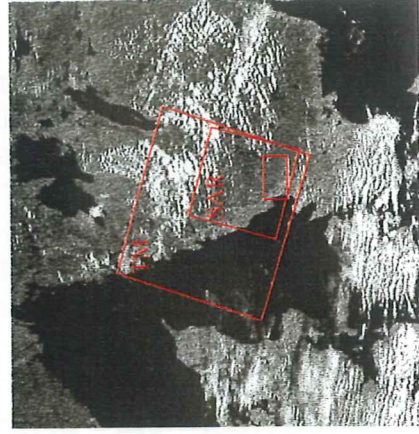
Det bästa klassningsresultatet erhålls om samtliga kanaler/scener används vid klassningen, vilket överensstämmer med separabilitetsanalysen. Klassningsresultatet där alla TM-kanaler används är sämre än klassningsresultatet för alla SAR-scener. Ett resultat som också överensstämmer med separabilitetsanalysen.

Klassningsresultatet för bästa sex-kanals kombination med tre TM-kanaler (TM4, TM5 och TM7) och tre SAR-scener (mars, maj och september) är något bättre än klassningsresultatet för alla SAR-scener, vilket är intressant. I resultatet från separabilitetsanalysen är förhållandet det omvända (tabell 6.7 och 6.8). Detta kan förklaras av att träningsstatistiken för separabilitetsanalysen är genererad per träningsyta för SAR-scenerna medan träningsstatistiken för klassningen är genererad pixelvis (kap 6). För att kompensera för detta filtrerades SAR-datan inför klassningen (kap 8). Om filtreringen varit optimal för SAR-datan borde resultatet från separabilitetsanalysen åter speglas i klassningsresultatet, vilket inte är fallet. Det ska också påpekas att pixelstorleken i SAR-datan "resamplats", innan klassning vilket med all säkerhet har kommit att påverka klassningsresultatet.

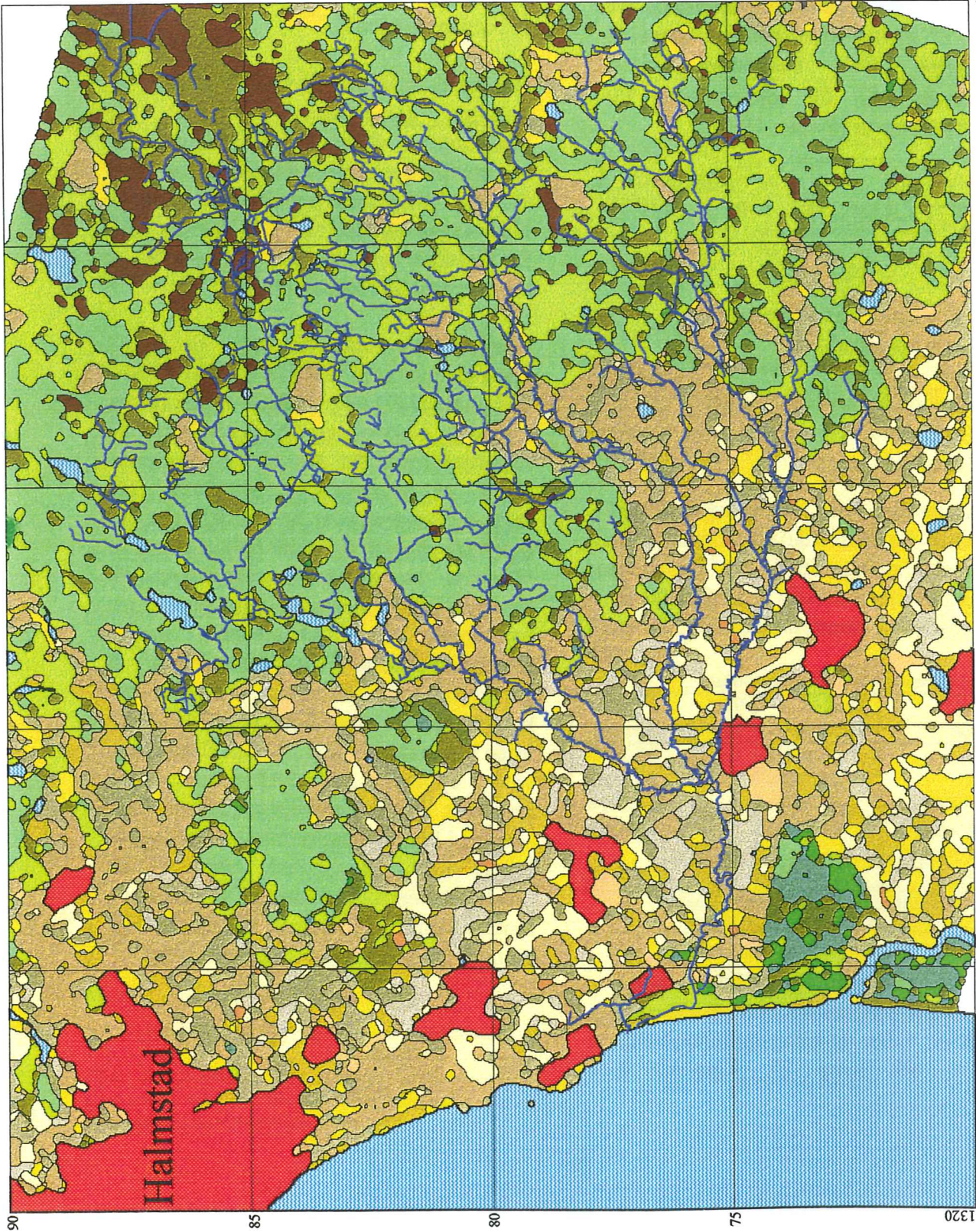
MARKTÄCKNING

Samtliga 16 klasser

- Jordbruksmark
- Sockerbetor
- Potatis
- Raps
- Trädesåker
- Vete
- Råg
- Korn
- Havre
- Betesmark
- Skogsmark
- Lövskog
- Blandskog
- Blandad barrskog
- Tall
- Gran
- Hygge, föryngringsyta
- Mosse
- Övrigt
- Sjöar och vattendarg
- Tätort
- Utanför satellit scen



Det studerade området sät i relation till ERS-1 SAR- och Landsat TM-scen. Bakgrunden utgörs av en NOAA AVHRR-subscen. Ungefärlig skala 1:3,500,000.



45

40

35

30

25

6270

15 Km

12.5

10

7.5

5

2.5

0

75

80

85

90

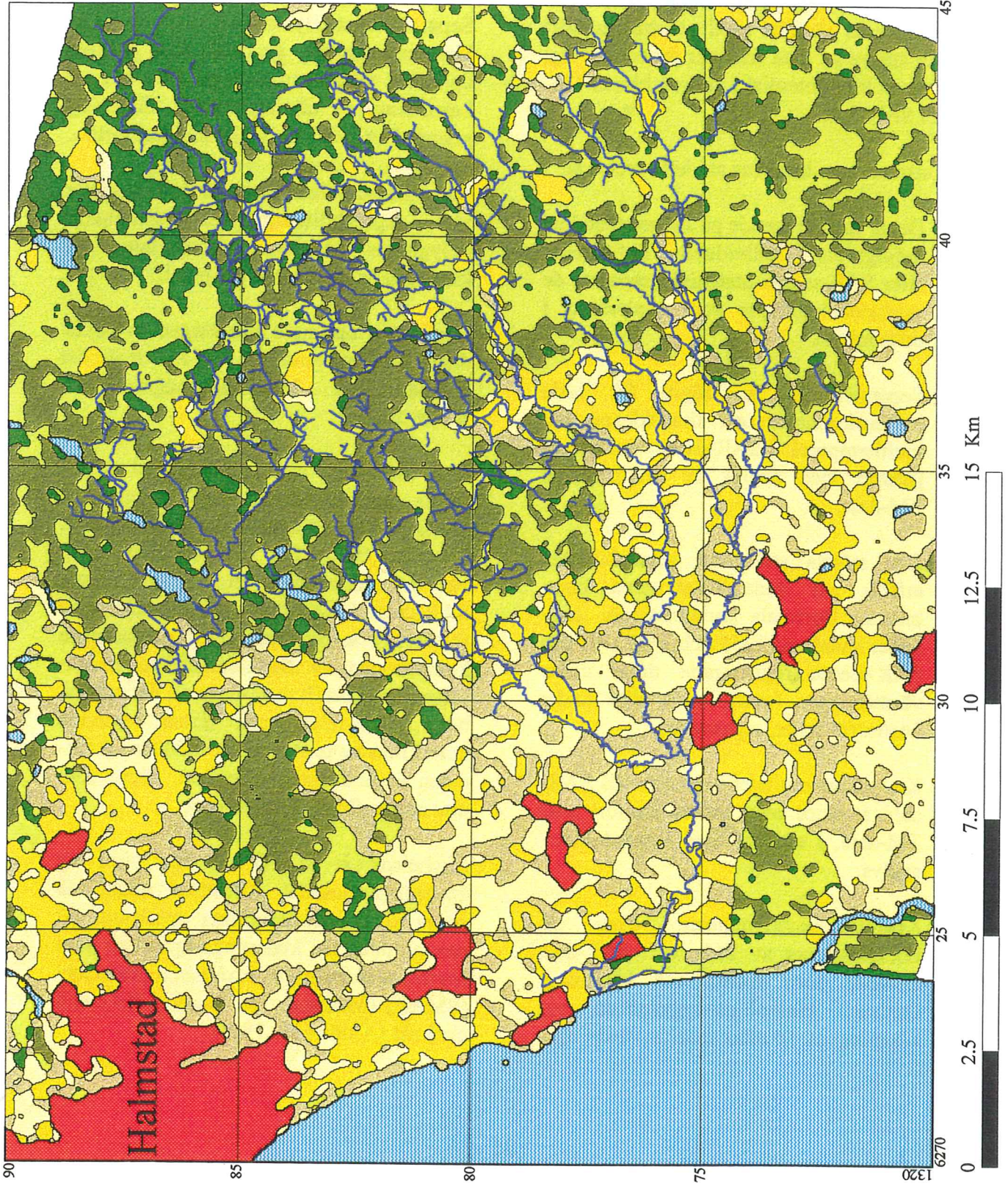
Koordinatsystem RT90 UTM-projektion

Skala 1:120000

KARTA 2

MARKTÄCKNING

Ursprungliga 16 klasser sammanslagna till 6 klasser enligt tabell 9.1.

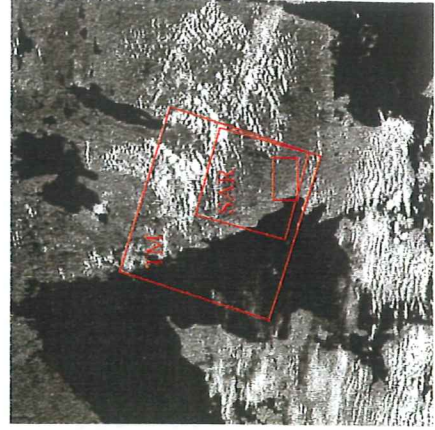


KLASSINDELNING

- KLASS 1
- KLASS 2
- KLASS 3
- KLASS 4
- KLASS 5
- KLASS 6

ÖVRIGT

- Sjöar och vattendrag
- Tätort
- Utanför satellit scen



Det studerade området satt i relation till ERS-1 SAR- och Landsat TM-scen. Bakgrunden utgörs av en NOAA AVHRR-subscen. Ungefärlig skala 1:3,500,000.

Skala 1:120000

Koordinatsystem RT90 UTM-projektion

10. Diskussion & slutsatser

Syftet med detta arbete var i huvudsak att undersöka potentialen hos satellitdata genom att kombinera data från skilda sensorer. Resultatet från separabilitetsanalysen och resultatet från klassningen påvisar en synergism mellan TM- och SAR-data och eftersom resultaten blir bättre om data från båda sensorerna kombineras jämfört med resultat erhållet från analys av data från var sensor för sig, finns en klar potential i att kombinera TM- och SAR-data.

Slutsatser som kan dras av detta arbete är:

1. Det är med avseende på JM-avstånd inte möjligt att i individuella TM-kanaler eller SAR-scener statistiskt separera de marktäckningstyper som analyserats i detta arbete.
2. Separabiliteten är högre för både jordbruksklasser och skogsklasser när multitemporal SAR-data analyseras jämfört med analys av multispektral TM-data.
3. Den största statistiska separabiliteten erhålls när båda datatyperna kombineras. Optimala kombinationer innehåller kanalerna TM5 och TM7 (IR) och SAR-scener registrerade tidigt under växtsäsongen (mars, maj) eller under hösten (oktober, september).
4. Klassningsresultatet blir bättre då SAR-data används som indata jämfört med TM-data, i enighet med separabilitetsanalys.
5. Klassningsnoggrannheten ökar då kombinationer av TM-, och SAR-data används som indata vid klassning. Optimal klassningsnoggrannhet vid klassning av 16 olika markanvändnings-

typer erhålls om samtliga TM-kanaler kombineras med samtliga SAR-scener.

6. De resulterande totalnoggrannheten vid klassning av 16 olika markanvändningsklasser blev 58%. Om antalet klasser decimeras från 16 stycken till 6 stycken förbättras totalnoggrannheten dramatiskt, från 58% till 75%.

Separabilitetsanalysen indikerar ett bättre klassningsresultat än vad som faktiskt uppnåtts, vilket kan bero på olikheter vid behandling av träningsstatistik, filtrering, *resampling*, och val av klassningsalgoritm.

Som tidigare diskuterats är träningsdatan vid separabilitetsanalysen extraherad polygonvis medan träningsdata vid klassning är extraherad per pixel.

Genom att optimera filtreringen av SAR-datan med avseende på varje scen är det tänkbart att klassningsnoggrannheten skulle öka.

Den SAR-data som använts vid denna studie var kalibrerad och geometriskt korrigerad för ett annat syfte (Michelson & Seaquist, 1995). För att passa detta syfte var det nödvändigt att omtransformera SAR-datan (*resampling*) vilket inneburit en förlust av information. Den geometriska korrektionen av SAR-datan kan ifrågasättas, framförallt med tanke på det relativt höga RMS-felet, men också huruvida korrektion av topografiska effekter i SAR-datan är nödvändig eller inte, något som inte genomförts på denna data.

Michelson *et al.*, (1997) har visat att klassningsresultatet förbättras något då andra klassningsalgoritmer appliceras på samma data. De klassningsalgoritmer som åsyftas är *Sequential maximum a posteriori* (SMAP) (McCauley & Engel, 1994) och nivå nät (Ardö *et al.*, 1994).

Tack

Ett varmt tack till min handledare Dr. Petter Pilesjö.

Ytterligare ett varmt tack till Daniel Michelson som har varit initiativtagare till detta arbete och utan vars hjälp det aldrig blivit av.

Tack Lisa för uppmuntran och stöd.

Referenser

- Ardö J., Pilesjö P., Skidmore A. & Brinkhof W., 1994: Neural networks, multitemporal TM data and topographical data to classify forest damages in the Czech Republic, *submitted to International Journal of Remote Sensing*.
- Arheimer B. & Wittgren H. B., 1994: Modelling the effects of wetlands on regional nitrogen transport, *Ambio* 23, 378-386.
- Brisco B. & Brown R. J., 1995: Multidate SAR/TM Synergism for Crop Classification in Western Canada, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61:8 1009-1014.
- CHIPS Development Team 1992: *CHIPS Satellite Image Processing System v. 3.0 User's guide, Routine reference & Technical reference*, Institute of Geography, University of Copenhagen, Denmark.
- Congalton R. G., 1991: A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.
- ESRI, 1996: *Using ArcView GIS Version 3.0*, (Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.).
- ESRI, 1996: *PC Arc/Info Version 3.5 Starter kit User's Guide*, (Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.).
- Fleischer S. & Stibe L., 1991: Drainage basin management - reducing river transported nitrogen, *Verh. Int. Verein. Limnol.* 24, 1753-1755.
- Frost V. S., Stiles S. A. Shanmugan K. S. & Holtzman J. C., 1982: A Model for Radar Images and its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 4:2, 157-165.
- Hall-Könyves K., 1988: *Remote Sensing of Cultivated Lands in the South of Sweden*. Meddelanden från Lunds Universitets Geografiska Institutioner, Avhandlingar 102 (Lund: Lund University Press), 199 s.
- Hansson S. & Rudstam L. G., 1990: Eutrophication on Baltic fish communities, *Ambio* 19, 123-125.
- Jansson M., Andersson R., Berggren H., Emanuelsson U., Espeby L., Herman J., Leonardson L., Persson J. & Thyssen N., 1990: *Våtmarker som kvävefällor. Forskningsprogram för perioden 1990/91 -1993/94*. SNV Rapport 3962. Solna.
- Kailath T., 1967: The Divergence and Bhattacharyya Distance Measures in Signal Selection, *IEEE Transactions on Communication Technology*, 15:1, 52-60.

- Kramer H. J., 1992: *Earth Observation Remote Sensing, Survey of Missions and Sensors* (Berlin: Springer-Verlag), 251 s.
- Kuan D. T., Sawchuck A. A., Strand T. C. & Chavel P., 1985: Adaptive Noise Smoothing Filter for Images with Singnal-Dependent Noise, *IEEE, Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 7:2, 165-177.
- Kuan D. T., Sawchuck A. A., Strand T. C. & Chavel P., 1987: Adaptive Restoration of Images with Speckle, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 35:3, 373-383.
- Laur H., 1992: *Derivation of Backscattering Coefficient σ° in ERS-1 SAR.PRI Products*. Issue 1, Rev. 0, ESA ESRIN.
- Lee J.-S., 1980: Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2:2, 165-168.
- Leonardson, L.; 1994: *Våtmarker som kvävefällor. Svenska och internationella erfarenheter*, SNV Rapport 4176. Solna.
- Lillesand T. M. & Keifer R. W., 1987: *Remote Sensing and Image Interpretation*, Second edition (New York: John Wiley & Sons, Inc.), 721 s.
- LMV, 1987: *Gula kartan, ekonomiska kartan skala 1:20,000*. Kartblad: Laholm 4C:24, Knäred 4C:27, Veinge 4C:44 och Mästocka 4C:47. (Gävle: Lantmäteriverket).
- LMV, 1996: *Geografiska Sverige Data GSD-Ekonomiska kartan*. (Gävle: Lantmäteriverket)
- Lopes A., Touzi R. & Nezry E., 1990: Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28:6, 992-1000.
- Löfgren S. & Olsson H., 1990: *Load of nitrogen and phosphorus to watercourses in Sweden*, SNV Rapport 3692. Solna.
- Markham B. L. & Barker J. L., 1986: *Landsat MSS and TM Post Calibration Dynamic Ranges. Exoatmospheric Reflectances an At-Satellite Temperatures*. EOSAT. Landsat Technical Notes No. 1. NASA/GSFC, Greenbelt, MD 20771.
- McCauley J. D. & Engel B. A., 1994: Comparison of Scene Segmentations: SMAP, ECHO and Maximum Likelihood, *Submitted as Correspondence to IEEE Transactions on Image Processing, June 1994, 1-4*.
- Michelson D. B. & Seaquist J. W., 1995: Change Detaction in Swedish Land Cover From a Year of ERS-SAR Data. I Askne J. (ed.), *Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing*. (Balkema: Rotterdam) ISBN 90 5410 524 0.

- Michelson D. B., Liljeberg B. M. & Pilesjö P., 1996: Statistical Separabilities of Swedish Land Cover Classes in Landsat TM and ERS-1 SAR Data. I *Remote Sensing in Agriculture, Proceedings, Nordic Association of Agricultural Sciences (ed.) R. Kuittinen October 21-23 1996*, 28-38. ISBN 951-711-198-3
- Michelson D. B., Liljeberg B. M. & Pilesjö P., 1997: Classification of Swedish Land Cover Classes Using TM/SAR Data. *Ej slutfört manus*.
- Mitsch W. J., 1992: Landscape design and the role of created, restored and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. *Ecolo. Engineer 1*, 27-47.
- Olsson L. & Stern M., 1981: *Large Area Data Sampling for Remote Sensing Applications and Statistical Analysis of Environment*. Lunds Universitets Naturgeografiska Institution, Rapporter och Notiser, 49. 57 s.
- PCI, 1994: *Using PCI Software. Version 5.3 EASI/PACE* (Richmond Hill: Pci Inc.), 478 s.
- Richards J. A., 1995: *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction* Second edition (Berlin: Springer-Verlag), 340 s.
- Rosenberg R., Elmgren R., Fleischer S., Jonsson P., Persson G., & Dalin H., 1990: Marine eutrophication case studies in Sweden, *Ambio 19*, 102-108.
- Sandén P. & Rahm L., 1993: Nutrient trends in the Baltic Sea, *Environmenics 4*, 75-103.
- Sharma S. A., Bhatt H. P. & Ajai, 1995: Oilseed crop discrimination: selection of optimum bands an role of middle infrared, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 50:5, 25-30.
- Shi Z, & Fung K. B., 1994: A Comparison of Digital Speckle Filters, *Proceedings of IGARSS 94, August 8-12 1994*, 2129-2133.
- SNV, 1988: Sweden's marine environment-ecosystems under pressure, *Monitor 1988*. SNV, Solna.
- Solberg A. H. S., Jain A. K. & Taxt T., 1994: Multisourced Classification of Remotely Sensed Data: Fusion of Landsat TM and SAR Images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32:4, 768-778.
- Swain P. H., 1978: Fundamentals of pattern recognition in remote sensing. I *Remote Sensing The Quantitative Approach*, ed. P. H. Swain och S. M. Davis (New York: McGraw-Hill), 136-187.
- Touzi R. Lopes A. & Bousquet P., 1988: A Statistical and Geometrical Edge Detector for SAR Images, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26:6 764-773.
- Wastenson L., 1993: Fjärranalysens grunder. I *Flygbildsteknik och fjärranalys, nämnden för skoglig fjärranalys*. Projektansvarig H. Minell. (Jönköping: Skogsstyrelsen), 337-372.

KLASSNING 1
Alla TM-kanaler

Total noggrannhet 43,426% 95% Konfidensintervall 37,095% 49,758%

Klass	Producer's Accuracy	95% Konfidensintervall	User's Accuracy	95% Konfidensintervall
Socketbeur	0,000%	-25,000%	0,000%	-2,273%
Pointis	37,500%	-2,298%	77,298%	21,429%
Raps	16,667%	-21,487%	54,820%	-9,143%
Trädskäker	50,000%	17,543%	82,457%	35,294%
Vete	53,571%	33,113%	73,810%	62,500%
Råg	38,462%	8,169%	68,754%	26,316%
Korn	7,692%	-1,953%	17,338%	-3,403%
Havre	43,333%	23,934%	62,733%	36,111%
Betesmark	64,103%	52,816%	75,389%	83,333%
Lövskog	100,000%	50,000%	150,000%	12,500%
Blandad hartskog	50,000%	-9,102%	90,898%	80,000%
Blandad hartskog	0,000%	-50,000%	50,000%	0,000%
Tall	33,333%	-16,678%	103,344%	50,000%
Gran	30,000%	-3,403%	63,403%	42,857%
Hygge	0,000%	-12,500%	12,500%	0,000%
Mosse	50,000%	9,102%	90,898%	87,500%

Producer's accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet referenspunkter för avsedd klass (rad) i kontrolltabellen (*Error matrix*) och indikerar med vilken sannolikhet en referenspunkt har klassats korrekt.

User's accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet punkter för avsedd klass (rad) i kontrolltabellen (*Error matrix*) och indikerar med vilken sannolikhet en klassad punkt på kartan faktiskt representerar den klassen i verkligheten.

KONTROLLTABELL

KLASSNING 1

Alla TM-kanaler

Error (confusion) matrix

Klassad data	Referensdata											Total					
	Socketbeur	Pointis	Raps	Trädskäker	Vete	Råg	Korn	Havre	Betesmark	Lövskog	Blandad hartskog		Blandad hartskog	Tall	Gran	Hygge	Mosse
Socketbeur	0	2	1	1	3	1	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	22
Pointis	1	3	0	1	0	0	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	14
Raps	0	0	1	1	2	3	1	3	1	0	0	0	0	2	0	0	14
Trädskäker	0	0	0	6	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	17
Vete	0	0	1	0	15	4	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	24
Råg	0	0	1	0	5	5	2	1	5	0	0	0	0	0	0	0	19
Korn	1	1	1	1	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Havre	0	1	1	1	1	0	16	13	3	0	0	0	0	0	0	0	36
Betesmark	0	1	0	2	2	0	4	1	50	0	0	0	0	0	0	0	60
Lövskog	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	2	2	0	8
Blandad hartskog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	5
Tall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	5
Gran	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Hygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	7
Mosse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4
Ukännovna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Total	2	8	6	12	28	13	39	30	78	1	8	1	3	4	8	0	251

KLASSNING 2
Alla SAR-scener

Totala noggrannhet 45,418%

95% Konfidensintervall 39,059%

51,777%

Klass	Producer's Accuracy	95% Konfidensintervall	User's Accuracy	95% Konfidensintervall
Sockerbehor	0,0000%	-25,0000%	0,0000%	-12,5000%
Potatis	75,0000%	38,7449%	30,0000%	7,4165%
Raps	33,3333%	-12,7209%	18,1829%	-9,1579%
Tradesaker	41,6679%	9,6066%	41,6679%	9,6066%
Vete	57,1433%	37,0277%	48,4859%	29,9189%
Rag	30,7699%	1,8349%	59,7059%	64,1729%
Korn	38,4629%	21,9109%	55,0139%	60,0009%
Havre	46,6679%	27,1489%	66,1869%	81,2049%
Betesmark	58,9749%	47,4179%	70,5319%	81,5149%
Lovskog	0,0009%	-50,0009%	0,0009%	-10,0009%
Blandad hartskog	12,5407%	-16,6689%	41,6689%	79,9359%
Blandad hartskog	0,0009%	-50,0009%	50,0009%	10,0009%
Tall	33,3333%	-36,6789%	103,344%	14,2869%
Gran	10,0007%	-13,5949%	33,5949%	16,6679%
Hygge	25,0009%	-29,9359%	79,9359%	20,0009%
Mosse	25,0009%	-11,2569%	61,2569%	66,6679%

Producer's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet referenspunkter för avsedd klass (kolonn) i kontrolltabellen (Error matrix) och indikerar med vilken sannolikhet en referenspunkt har klassats korrekt.

User's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet punkter för avsedd klass (rad) i kontrolltabellen (Error matrix) och indikerar med vilken sannolikhet en klassad punkt på kartan faktiskt representerar den klassen i verkligheten.

KONTROLLTABELL

Error (confusion) matrix

KLASSNING 2

Alla SAR-scener

Klassad data	Referensdata										Total										
	Sockerbehor	Potatis	Raps	Tradesaker	Vete	Rag	Korn	Havre	Betesmark	Lovskog											
Sockerbehor	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Potatis	0	6	2	2	2	0	1	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Raps	0	0	2	0	1	0	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
Tradesaker	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Vete	0	0	0	0	0	0	6	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
Rag	0	0	0	0	1	4	1	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Korn	1	2	1	0	0	0	15	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
Havre	1	0	1	0	2	2	6	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
Betesmark	0	0	0	0	6	3	4	4	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
Lovskog	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Blandad hartskog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Blandad hartskog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Tall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4
Gran	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Hygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Hygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5
Mosse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Okänd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	8	6	12	28	13	39	30	78	1	8	1	8	1	3	10	4	8	8	0	251

KLASSNING 3
3 TM + 3 SAR

Total noggrannhet 48,207% 95% Konfidensintervall 41,826% 54,588%

Klass	Producer's Accuracy	95% Konfidensintervall	User's Accuracy	95% Konfidensintervall
Sockerbetor	0,000%	-25,000%	0,000%	-5,556%
Potatis	50,000%	9,102%	40,000%	4,636%
Raps	33,333%	-12,720%	12,500%	-6,810%
Trädskäker	33,333%	2,494%	64,172%	26,667%
Vete	42,857%	22,741%	62,973%	57,143%
Råg	53,846%	22,900%	84,792%	71,175%
Korn	35,897%	19,560%	52,235%	29,694%
Have	53,333%	33,814%	72,852%	48,485%
Betesmark	60,256%	48,755%	71,758%	82,456%
Lövskog	100,000%	9,102%	150,000%	-21,487%
Blandad barrskog	50,000%	-50,000%	66,667%	20,613%
Tall	0,000%	-16,678%	0,000%	-25,000%
Blandad barrskog	33,333%	-36,678%	103,344%	103,344%
Gran	40,000%	4,636%	75,364%	9,102%
Hygge	25,000%	-29,935%	50,000%	20,000%
Mosse	50,000%	9,102%	90,898%	87,500%

Producer's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet referenspunkter för avsedd klass (kolonn) i kontrolltabellen (Error matrix) och indikerar med vilken sannolikhet en referenspunkt har klassats korrekt.

User's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet punkter för avsedd klass (rad) i kontrolltabellen (Error matrix) och indikerar med vilken sannolikhet en klassad punkt på kartan faktiskt representerar den klassen i verkligheten.

KONTROLLTABELL
KLASSNING 3
3 TM + 3 SAR

Error (confusion) matrix

Klassad data	Referensdata											Total			
	Sockerbetor	Potatis	Raps	Trädskäker	Vete	Råg	Korn	Have	Betesmark	Lövskog	Blandad barrskog		Tall	Gran	Hygge
Sockerbetor	0	1	2	1	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0
Potatis	0	4	0	1	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0
Raps	0	0	2	1	3	2	3	1	2	0	0	0	0	0	0
Trädskäker	0	0	0	4	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0
Vete	0	0	1	0	12	3	1	1	3	0	0	0	0	0	0
Råg	0	1	0	0	8	7	3	1	8	0	0	0	0	0	0
Korn	1	2	1	0	2	0	14	7	1	0	0	0	0	0	0
Have	1	0	0	0	2	1	10	16	3	0	0	0	0	0	0
Betesmark	0	0	0	5	1	0	2	2	47	0	0	0	0	0	0
Lövskog	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Blandad barrskog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1
Tall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Gran	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2
Hygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0
Mosse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Utknöv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	8	6	12	28	13	39	30	78	1	8	1	3	4	8

KLASSNING 4
alla TM + alla SAR

Total noggrannhet 57,760%

95% Konfidenstervall 51,450%

64,079%

Klass	Producer's Accuracy	95% Konfidenstervall	User's Accuracy	95% Konfidenstervall
Sockebeor	0,000%	-25,000%	0,000%	-50,000%
Ponatis	75,000%	38,744%	37,500%	10,653%
Raps	50,000%	1,658%	23,077%	-3,673%
Tradesaker	33,333%	2,494%	50,000%	9,102%
Vete	39,286%	19,410%	68,750%	42,913%
Rdg	61,538%	31,246%	27,586%	9,595%
Korn	56,410%	39,565%	66,667%	49,068%
Havre	61,313%	44,422%	57,576%	39,198%
Betesmark	73,077%	62,592%	83,562%	74,336%
Lovskog	100,000%	50,000%	150,000%	-29,935%
Blandskog	62,500%	22,702%	71,429%	30,819%
Blandad bartskog	0,000%	-50,000%	0,000%	-25,000%
Tall	66,667%	-3,344%	66,667%	-3,344%
Gran	40,000%	4,636%	40,000%	4,636%
Hygge	0,000%	-12,500%	0,000%	-12,500%
Mosse	37,500%	-2,298%	75,000%	20,065%

Producer's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekta klassade punkter med det totala antalet referenspunkter för avsedd klass (kolonn) i kontrolltabellen (*Error matrix*) och indikerar med vilken sannolikhet en referenspunkt har klassats korrekt.

User's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekta klassade punkter med det totala antalet punkter för avsedd klass (rad) i kontrolltabellen (*Error matrix*) och indikerar med vilken sannolikhet en klassad punkt på kartan faktiskt representerar den klassen i verkligheten.

KONTROLLTABELL

KLASSNING 4

alla TM + alla SAR

Error (confusion) matrix

Klassad data	Referensdata											Total					
	Sockebeor	Ponatis	Raps	Tradesaker	Vete	Rdg	Korn	Havre	Betesmark	Lovskog	Blandskog		Blandad bartskog	Tall	Gran	Hygge	Mosse
Sockebeor	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ponatis	0	6	0	3	0	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	16
Raps	0	0	3	0	3	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	13
Tradesaker	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	8
Vete	0	0	1	0	11	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	16
Rdg	0	0	0	0	9	8	3	2	7	0	0	0	0	0	0	0	29
Korn	1	2	2	0	0	0	22	3	3	0	23	0	0	0	3	0	33
Havre	1	0	0	0	4	1	6	19	2	0	0	0	0	0	0	0	33
Betesmark	0	0	0	5	1	1	2	2	57	0	0	0	0	0	0	0	68
Lovskog	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	4
Blandskog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	7
Blandad bartskog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Tall	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	3
Gran	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	10
Hygge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4
Mosse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	4
Utkonv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	8	6	12	28	13	39	30	78	1	8	1	1	3	4	8	251

BILAGA 1

Klass	Producer's Accuracy	95% Konfidensintervall	User's Accuracy	95% Konfidensintervall
Klass 1	83.544%	74.735%	76.744%	67.234% 86.254%
Klass 2	77.778%	68.633%	92.105%	85.385% 98.826%
Klass 3	74.468%	60.938%	87.998%	50.014% 77.259%
Klass 4	60.000%	24.636%	95.364%	46.154% 15.208% 77.100%
Klass 5	53.846%	22.900%	84.792%	53.846% 22.900% 84.792%
Klass 6	33.333%	2.494%	64.172%	50.000% 9.102% 90.898%

Producer's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet referenspunkter för avsedd klass (kolumn) i kontrolltabellen (*Error matrix*) och indikerar med vilken sannolikhet en referenspunkt har klassats korrekt.

User's Accuracy beräknas genom att dividera antalet korrekt klassade punkter med det totala antalet punkter för avsedd klass (rad) i kontrolltabellen (*Error matrix*) och indikerar med vilken sannolikhet en klassad punkt på kartan faktiskt representerar den klassen i verkligheten.

KONTROLLTABELL

Error (confusion) matrix

KLASSNING 5

alla TM + alla SAR

6 klasser

Klassad data	Referensdata						Total
	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Klass 5	Klass 6	
Klass 1	66	10	10	0	0	0	86
klass 2	4	70	2	0	0	0	76
Klass 3	8	10	35	0	2	0	55
Klass 4	1	0	0	6	2	4	13
Klass 5	0	0	0	2	7	4	13
Klass 6	0	0	0	2	2	4	8
Okänd	0	0	0	0	0	0	0
Total	79	90	47	10	13	12	251

Referensdata

(Kontrollpunkter)

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 läplanteringsläverkan.
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. Nillson, 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 transversal moräner 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 Semi-arid 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 Kärkevage 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.