

Seminarieuppsatser nr 122

Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata

Anders Magnusson

2005
Centrum för Geobiosfärvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata

Anders Magnusson
Examensarbete i naturgeografi och ekosystemanalys

Handledare:
Lars Eklundh, Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys,
Lunds universitet
och
Kerstin Sonesson, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp

Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys, Lunds universitet, 2005

Abstract

Since the middle of the 1970's damage to forest have been observed in large areas of central Europe. The same indications on forest damage were soon found in Sweden as well. Forest damage was first observed in coniferous forest stands, but during the 1980's damage indication were also observed on deciduous forest stand, particularly on beech and oak. To investigate this further the National Board of Forestry has in 1988, 1993 and 1999 carried out field surveys on forest condition in beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) forests in southern Sweden. Results showed that the condition of beech and oak has deteriorated between 1988 and 1999. Remote sensing has a potential role in forest damage mapping because it can provide spatially explicit data on vegetation change due to disturbance. The study aims at investigating the use of Landsat enhanced thematic mapper plus (ETM+) for mapping defoliation in beech and oak stands in southern Sweden. The relationship between defoliation and reflectance of a number of single spectral bands and several vegetation indices was investigated. A classification of stands into defoliation classes was also carried out. The results indicate negative significant relationships between Landsat ETM+ reflectance and defoliation, but the relationship is not very strong. The best single band on defoliation estimate is the near infrared (ETM+ 4) and the best vegetation index is the simple ratio (ETM+ 4/ETM+ 3). To discriminate beech from oak stands and the two defoliation classes <25 % and >25 % from each other is very hard due to overlapping in spectral signatures. The weak correlations found between defoliation and Landsat ETM+ reflectance and the low capability to classify defoliation in beech and oak stands is probably due to the field data collection method. Defoliation estimates were carried out on single trees, in several directions and distance from a known grid point. This means that the Landsat ETM+ with its 30 x 30 meter resolution may cover vastly different damage classes in a single pixel.

Sammanfattning

Ökande skador på skogen har observerats i stora delar av Europa sedan mitten av 1970-talet. Samma indikationer på skador sågs ganska snart även i Sverige. Skadorna observerades först på barrträdsbestånd, men under 1980-talet observerades även skador på lövträd, framförallt hos bok och ek. Skogsstyrelsen lät till följd av detta genomföra skogsskadeinventeringar 1988, 1993 och 1999 av bok (*Fagus sylvatica*) och ek (*Quercus robur* och *Quercus petraea*) i Sydsverige, vilket inkluderade Skåne, Halland och Blekinge. Vid inventeringen 1999 inkluderades även vissa delar av Småland. Resultatet från fältinventeringarna visar att konditionen hos bok och ek i södra Sverige har försämrats kraftigt mellan åren 1988 till 1999. Under optimala förhållanden har satellitbaserad fjärranalys visat sig vara ett kvalitativt acceptabelt och ekonomiskt fördelaktigt alternativ till fältbaserade skogsskadeinventeringar. Syftet med denna studie är att undersöka möjligheten att kartera skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av Landsat enhanced thematic mapper plus (ETM+), utifrån befintlig inventeringsdata i form av bok och ekdatabasen. Kronutglesning representerade skadegraden vid fältinventeringen och dess relation till reflektans observerad av satelliten ifrån inventeringsytorna har undersökts. Samband mellan kronutglesning och reflektans från ett flertal spektrala band och index undersöktes, samt utfördes en klassificering av kronutglesning. Resultatet visar att det finns en signifikant negativ korrelation mellan kronutglesning och Landsat ETM+ reflektanser hos flera band och kombinationer av band. Sambanden är dock inte särskilt starka och klusterna har en stor spridning och kan därför inte användas vid skadekartering. Det bästa enskilda bandet för kronutglesningsestimering är det nära infraröda bandet (ETM+ 4) och bland indexen är SR (ETM+ 4/ETM+ 3) bäst. De spektrala signaturerna för bok och ek samt klasserna <25 % och >25 % kronutglesning överlappar varandra, vilket gör det svårt att skilja dom åt. En orsak till den låga korrelationen mellan kronutglesning och reflektans samt svårigheten att klassificera bok- och ekbestånd kan vara hur inventeringsdata som använts är insamlad. Data är insamlad i heterogena bestånd, där enskilda träd har bedömts i olika riktningar och avstånd från de kända koordinatsatta punkterna. Detta har inneburit att Landsat ETM+ med en upplösning på 30 x 30 meter har registrerat ett flertal olika skadeklasser inom en pixel.

Innehållsförteckning

Abstract	i
Sammanfattning	iii
1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Skogsskador	1
1.3 Skogsskadeinventering	1
1.4 Skogsskadors orsak	4
1.5 Satellitbaserad fjärranalys potential på skogsskador	5
1.6 Syfte	5
2. Teoretisk bakgrund	6
2.1 Satellitbaserad fjärranalys	6
2.2 Faktorer som påverkar reflektanserna från skogsbestånd	6
2.3 Skadeeffekter på reflektanserna hos skogsbestånd	9
2.4 Metoder för kartering av skadade skogsbestånd	9
3. Material och metod	11
3.1 Fjärranalysdata	11
3.2 Övriga data	12
3.3 Förbehandling av satellitdata	14
3.4 Analys av satellitdata	16
3.5 Korrektion för topografi	17
3.6 Statistiska analyser på spektrala egenskaper	18
3.7 Klassningsmetod	18
4. Resultat	21
4.1 Korrelation mellan reflektans och kronutglesning	21
4.2 Korrelationen mellan reflektans och kronutglesning efter korrektion för topografi	26
4.3 Beståndsparametrar	28
4.4 Klassindelning av kronutglesning	29
4.5 Bhattacharyya distance och maximum likelihood klassificering	33
5. Diskussion	36
5.1 Resultat	36
5.2 Metod	37
5.3 Möjligheter för framtida studier	41
6. Slutsatser	42
Författarens tack och tillkännagivanden	44
Referenser	45
Appendix	47
Tidigare seminarieuppsatser	48

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Sedan mitten av 1970-talet har man observerat ökande skador på skogen i stora delar av Europa. Skadorna uppträdde först på barrträdsbestånd, men under 1980-talet observerades även skador på lövträd, framförallt hos bok och ek. Olika grader av skador och den geografiska fördelningen har gjort det svårt att förklara utifrån endast naturliga orsaker (Anon, 1999). Även i Sverige konstaterades snart samma skadesymptom som förekom i centrala Europa (Anderson och Sonesson, 2000).

1.2 Skogsskador

Skogsskador är ett begrepp som används som beteckning för en mängd olika skadesymptom på träd, som t.ex. gradvis nedbrytning av kronan, ökande kronutglesning, reducerad årsskottslängd, gulningsfenomen, försämrad rotvitalitet och stamskador. Ett av de mest använda måtten på hälsotillståndet hos träden är kronutglesning. Kronutglesningen är ett mått på trädets vitalitet och summerar effekterna av flera olika stressfaktorer, både naturliga och antropogena. Vitalitet beskriver trädets förmåga att långsiktigt kunna växa normalt och reproducera sig. Kronutglesning bedöms i kronans övre 2/3 delar och anger hur stor andel av kronans bladskrud som förlorats, saknas eller är död jämfört med om trädet skulle ha fullt utvecklad krona och bladskrud. Kronutglesning anges i procent från 0 till 100 (Anderson och Sonesson, 2000).

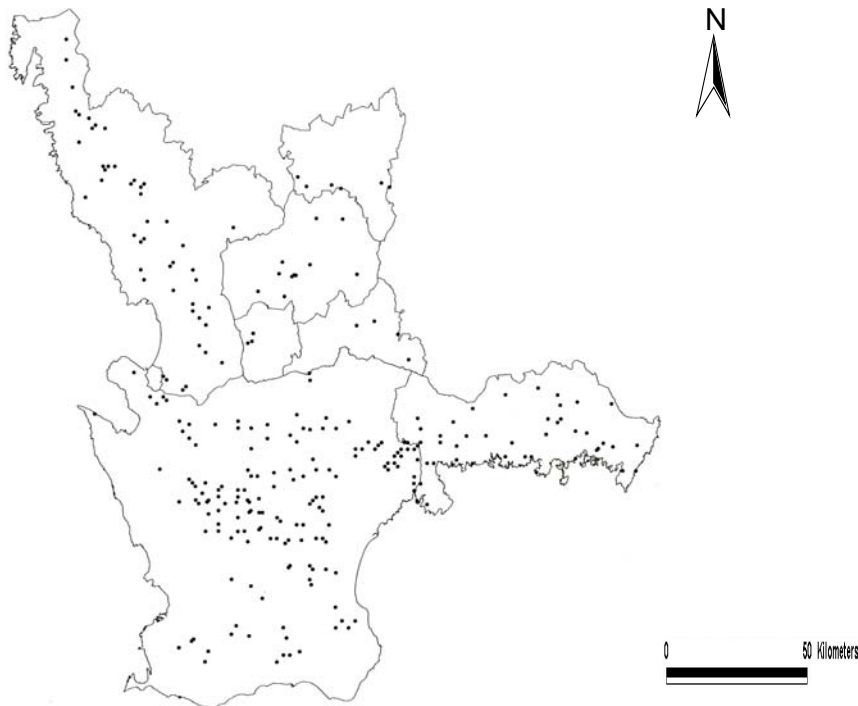
Klassindelning av kronutglesning

Det finns olika sätt att klassa in kronutglesningen som ett mått på hur skadade träden är. ICP Forests (UN/ECE och EU) använder sig av klasserna: 0-10 % (oskadat), 11-25 % (tendens till skada), 26-60 % (skadat) och (kraftigt skadat) >60 % (Eichhorn et al. 2004). Denna klassindelning används i stor utsträckning internationellt. En annan vanligen använd klassindelning som bygger på två klasser är <25 % kronutglesning (oskadat) och >25 % kronutglesning (skadat) (Eichhorn et al. 2004). Ytterligare klassindelningar som används är 20 % klasser: 0-20 %, 21-40 %, 41-60 %, 61-80 % och >80 % (Eichhorn et al. 2004; Ekstrand, 1994).

1.3 Skogsskadeinventering

Skogsstyrelsen lät 1988 genomföra den första skogsskadeinventeringen av bok (*Fagus sylvatica*) och ek (*Quercus robur* och *Quercus petraea*) i Sydsverige, vilket inkluderade Skåne, Halland och Blekinge (Skogsskadeinventering av bok och ek 1988 i Skåne, Blekinge och Halland. Skogsstyrelsen Rapport 7, 1989. SVO 1989:7). Inventeringen byggde på ett objektiva urval av fasta provträd i ett geografiskt nät av provpunkter. En likadan inventering upprepades 1993, med vissa kompletteringar 1994 och ytterligare en inventering utfördes 1999. Inventeringen 1999 genomfördes under perioden 16/7 – 27/8 och inkluderade de befintliga provpunkterna och dessutom skapades 25 nya provpunkter i västra Kronobergs och Jönköpings län (Skogsskadeinventering av bok och ek i

Sydsverige 1999. Skogsstyrelsen rapport 6, 2000. SVO 2000:6). Inventeringarna omfattade totalt observationer av 2606 bokar och 1642 ekar från 268 olika provpunkter i södra Sverige (se figur1).



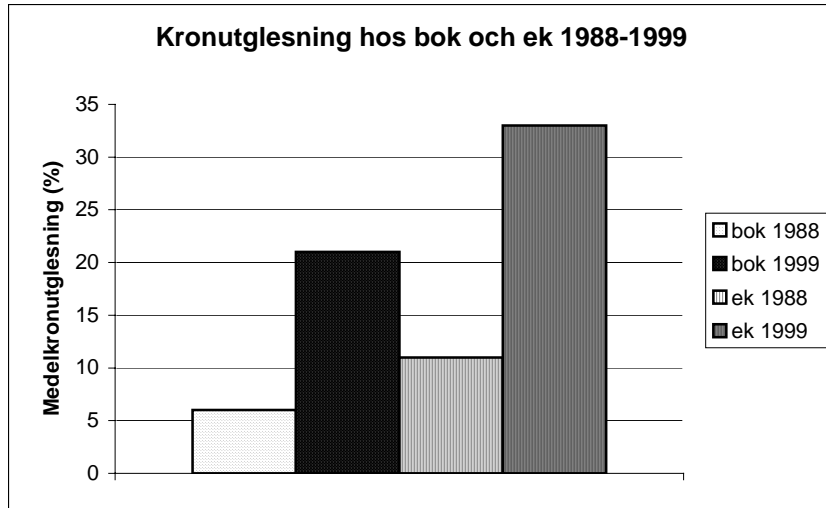
Figur 1. Fördelning av provpunkter i Skåne, Blekinge, Halland och i de västra delarna av Jönköpings och Kronobergs län (Anderson och Sonesson, 2000).

Syftet med inventeringarna var att beskriva hälsotillståndet hos bok och ek i södra Sverige och visa på eventuella skillnader inom regionen. Sambandet mellan skadornas utbredning och potentiella skadefaktorer som t.ex. väderlek, bestånds- och ståndortsegenskaper samt belastning av luftföroreningar undersöktes. Förändringar i trädens hälsotillstånd över tiden mellan inventeringarna studerades också.

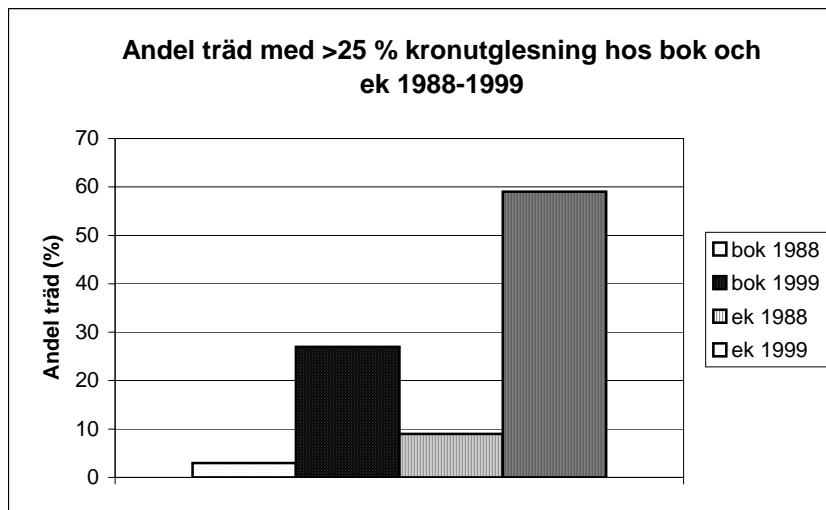
Inventeringen av skogsskador 1988 visade att kronutglesningen hos ek i södra Sverige var i samma nivå som rapporterats från flera länder i Europa. Av de inventerade ekarna, kunde enligt internationella normer 9 % betraktas som skadade (>25 % kronutglesning). Kronutglesningen hos bok var däremot betydligt lägre än vad som hade rapporterats från andra länder i Europa. Ungefär 3 % av alla inventerade bokträd kunde betraktas som skadade. Följande inventering 1993, visade att konditionen hos bok och ek var betydligt sämre än vid inventeringen 1988. Eftersom det endast var fem år mellan inventeringarna och årsmånsvariationen (variationer i väderförhållanden, insektsangrepp och fruktsättning) kan vara av betydelse, var det svårt att dra några slutsatser (Wijk, 1989; Anderson och Sonesson, 2000).

Vid inventeringen 1999 utfördes även en markkemisk undersökning, som innefattade markprovtagning på 20-30 cm djup i mineraljorden. Detta gjordes för att visa på eventuella skillnader och samband mellan markkemi och utbredningen av skogsskadorna

inom regionen. Resultatet från inventeringen 1999 visar att konditionen hos bok och ek i södra Sverige har försämrats kraftigt sedan den första inventeringen 1988 (Anderson och Sonesson, 2000). Figur 2 och 3 visar skillnaden i medelkronutglesning och andel träd med >25 % kronutglesning mellan inventeringarna.



Figur 2. Medelkronutglesning har ökat från 6 till 21 % hos bok och från 11 till 33 % hos ek mellan åren 1988 till 1999.



Figur 3. Andel träd med >25 % kronutglesning har ökat från 3 till 27 % hos bok och från 9 till 59 % hos ek mellan åren 1988 till 1999.

Även på beståndsnivå visade inventeringen en kraftig förändring i kronutglesning. 1988 hade 99 % av bokbestånden och 91 % av ekbestånden en medelkronutglesning som var <20 %. 1999 hade endast 55 % av bokbestånden och 13 % av ekbestånden en medelkronutglesning på <20 %. Hos ekbestånden uppvisade hela 19 % en medelkronutglesning på >40 %. Förutom kronutglesning, kunde det också ses en försämrad årsskottstillväxt och grenutveckling. Antalet träd med stor försämring i årsskottstillväxt och grenutveckling hade mer än fördubblats sedan 1988. En förändring i

den underliggande markvegetationen har också registrerats med tiden. Andelen bestånd med örtvegetation har minskat från 35 % 1988 till 23 % 1999, medan andelen bestånd med gräsvegetation har under samma period ökat från 42 % till 52 %.

En regional trend kunde ses, med sämre kondition hos bok i de västra delarna (Skåne och Halland) av undersökningsområdet. I dessa län var det även störst negativ utveckling på beståndsnivå. Hos ek var den regionala trenden mindre tydlig. Undersökningen visade också att det fanns ett negativt samband mellan fattiga jordar med t.ex. lågt näringsämnesinnehåll och konditionen på träden. Man fann ett signifikant negativt samband mellan kronutglesning och låg basmättnadsgrad. En basmättnadsgrad lägre än 20 % kunde ses i 76 % av undersökningsytorna och i 39 % av undersökningsytorna var basmättnadsgraden lägre än 10 %. Endast 24 % av undersökningsytorna hade en normal basmättnadsgrad, vilket är över 20 %. Basmättnadsgraden beskriver andelen baskatjoner (kalcium-, kalium-, magnesium- och natriumjoner) av en jords utbytbara katjoner. Basmättnadsgraden är viktig för markens pH och en hög basmättnad ger marken större förmåga att motstå försurning.

För att mäta konditionen på jordarna mättes pH på 20-30 cm djup och hela 86 % av undersökningsytorna visade sig vara starkt sura d.v.s. $\text{pH} < 4,2$ (BaCl_2). Då 39 % av bok- och ekbestånden uppvisade en basmättnadsgrad som var mindre än 10 %, kan förmågan att motstå ytterliggare försurning betraktas som mycket låg (Anderson och Sonesson, 2000).

1.4 Skogsskadors orsak

Det finns flera faktorer med komplexa samband som kan orsaka skador på träden. Stress uppstår när inte trädet har en gynnsam samverkan med sin omgivning. Varje miljöfaktor som gör att trädet inte kan fungera optimalt utgör därför en stressfaktor. Tre olika stressfaktorer förekommer: biotisk stress, abiotisk stress och antropogen stress (Manion, 1991). Den biotiska stressen orsakas av andra levande organismer och kan vara t.ex. insekts- och svampangrepp, betning och avbarkning av däggdjur. Abiotisk stress kan utgöras av t.ex. svår torka, ovanligt sen eller tidig frost. Den antropogena stressen orsakas av mänskliga aktiviteter såsom exempelvis luftföroreningar. Svavel- och kväveföroreningar, ozon och tungmetaller är exempel på faktorer av antropogent ursprung som kan orsaka stress på träden. Markförsurning är en process som kan kopplas till luftföroreningar och analyser visar att nästan samtliga inventerade bok- och ektytor i södra Sverige är starkt sura och har en låg basmättnadsgrad. Den pågående markförsurningens betydelse för skador på träden kan därför inte uteslutas (Anderson och Sonesson, 2000). Undersökningar visar att en dålig markstatus, med låg basmättnadsgrad ($< 10\%$), kan ha en negativ inverkan på trädens hälsotillstånd. Nihlgårds (1985, 1994) hypotes om att kvävetillförsel och försurning har negativa effekter på lövträdens vitalitet är en förklaring som ofta framförs. Sedan 1980-talet har alltså en allmän försämring av träd Kronornas tillstånd observerats. Bok och ek hör till de arter som haft den mest negativa utvecklingen sedan observationerna började. Eftersom skadornas utbredning och omfattning är så stora, räcker inte enbart naturliga orsaker som förklaring (Anderson och Sonesson, 2000).

1.5 Satellitbaserad fjärranalys potential på skogsskador

Satellitbaserad fjärranalys har en potentiell roll i att kartlägga skogsskador, genom möjligheten att kunna påvisa förändringar i reflektans från vegetation, som beror på störningar. Man kan också studera förändringar mellan olika tidpunkter med hjälp av satellitbaserad fjärranalys. Möjligheter att integrera annan miljöinformation som t.ex. topografi och klimatdata, vid analyser gör fjärranalys mycket användbart (Olthof et al. 2004).

Satellitbaserade tekniker ger oss ett verktyg för att analysera kronutglesning på regional skala och resultatet fås i ett rumsligt perspektiv. Med satellitbaserad fjärranalys fås ett resultat som visar fördelningen och förändringar i rummet och tiden på ett lättöverskådligt sätt. Dessutom ger satellitbaserad fjärranalys också information och överblick på landskapsnivå t.e.x. kan det visa utbredning av olika vegetationstyper, migrationszoner och mosaik i landskapet. Vid fältinventering eller flygbildstolkning uppskattas kronutglesning på enstaka träd, men vid satellitbaserad fjärranalys uppskattas medelkronutglesning över ett bestånd eller en pixel. Den spatiala upplösningen på satellitdata, gör att radiansen i varje pixel som registreras av sensorn, är den spektrala responsen från lövverket och den underliggande marken (Falkenström, 1999).

Fältbaserade inventeringar av skogsskador är dyrt och tidskrävande. Under optimala förhållanden är satellitbildsteknik ett kvalitativt acceptabelt och ekonomiskt fördelaktigt alternativ till fältbaserade skogsskadeinventeringar. Undersökningar har visat att en ekonomisk besparing endast görs om det finns fler än 20 inventeringsytor per satellitscen (Wijk, 2000).

Sverige har förhållandevis goda förutsättningar för att använda satellitbilder för skogsskadeövervakning. Överlag är det större homogena och sammanhängande skogsområden, med liten topografisk variation och störningar från bebyggelse, vägar etc. är förhållandevis små. Detta gäller dock inte i samma utsträckning för lövskogsbestånd i södra Sverige. Även om analyser ska utföras på stora homogena skogsområden krävs ändå ofta fältinventeringar för att kartlägga all typ av skog d.v.s. även blandskog, bryn, tätortsnära, m.m. och satellitbilder kan därför ses som ett komplement till detta (Wijk, 2000).

1.6 Syfte

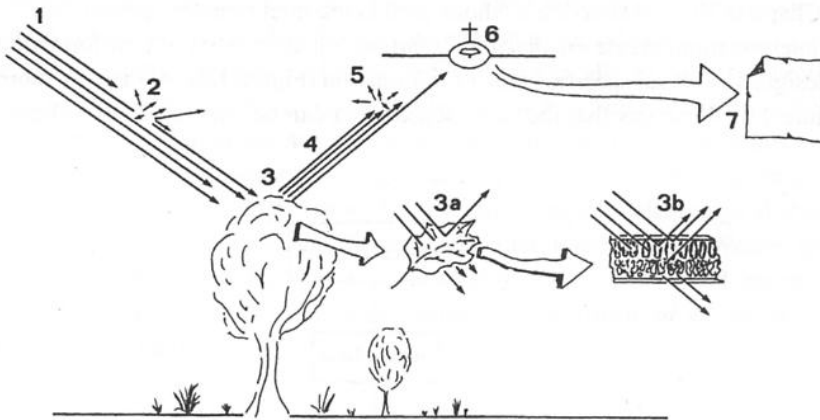
Det övergripande syftet är att undersöka möjligheten att kartera skogsskador på bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata i form av Landsat ETM+. I detta inkluderas:

1. Undersöka samband mellan kronutglesning och satellitdata, d.v.s. jämföra uppmätta fälldata med satellitdata
2. Undersöka ifall det går att skilja ut friska bestånd från skadade bestånd samt bokbestånd ifrån ekbestånd med satellitdata.

2. Teoretisk bakgrund

2.1 Satellitbaserad fjärranalys

Fjärranalys är ett samlingsnamn för de tekniker, med vilka man kan samla information om mark, vatten, vegetation och atmosfär på avstånd utan att vara i fysisk kontakt med objekten (Börjas, 1993). Fjärranalys innefattar huvudsakligen registreringsmetoder som använder flygplan eller i allt större utsträckning satelliter som instrumentplattform. Ombord på satelliten finns en sensor som registrerar den av objektet reflekterande strålningen (energin) från solen. Energins väg från solen via det reflekterande objektet till sensorn påverkas av en rad faktorer. Figur 4 visar i stora drag hur en satellitbild blir till.



Figur 4. Schematisk bild över hur satellitbaserad fjärranalys fungerar. Inkommande solstrålning (1), varav en del sprids eller absorberas av atmosfären (2). Den resterande energin når jordens yta och träffar objektet som finns i landskapet- i detta fall ett träd (3). Hur mycket av energin som reflekteras från trädet beror på strålningen träffar enskilda blad (3a), vilka selektivt absorberar, transmitterar och reflekterar energin beroende på dess våglängd (3b). Den reflekterande energin (4) blir igen utsatt för atmosfärens påverkan (5), innan den till slut registreras av sensorn (6). Utifrån den av sensorn registrerade energin kan en bild skapas (7). (Campell, 2002).

2.2 Faktorer som påverkar reflektanserna från skogsbestånd

Kartering av kronutglesning på skog med satellitbaserad fjärranalys har visat sig vara känslig för atmosfäriska effekter, beståndsparametrar och topografiska variationer (Ekstrand, 1994, 1996; Ardö, 1998).

Atmosfäriska effekter

Spridning, refraktion (avböjning) och absorption av strålning i atmosfären påverkar data som sensorn registrerar. När sensorn observerar jordens yta registrerar strålning från två olika källor. Strålning som beror på reflektansen från jordens yta och strålning från själva atmosfären. Det är mycket svårt att veta hur stor del av den totala strålningen som sensorn mäter, som egentligen är reflektansen från jordens yta och vice versa. Därför bör en korrigering göras för att separera dessa åt och ta fram den korrekta reflektansen från jordens yta (Campell, 2002).

En absolut korrektion kräver data på fysikaliska och meteorlogiska parametrar, samt värden på bakgrundsreflektans. Finns det tillgång till dessa parametrar kan de atmosfäriska effekterna korrigeras med hjälp av strålningsmodeller som t.ex. 6S radiative transfer model, MODTRAN eller LOWTRAN. Ett annat sätt är en indirekt korrektion som baseras på i fält uppmätta radianser från objekt på marken. Genom att subtrahera den av sensorn uppmätta radiansen med den i fält uppmätta radiansen, kan man se hur atmosfären påverkar. Denna metod korrigerar på ett mycket enklare sätt och tar inte hänsyn till absorptionen i atmosfären.

Ytterligare ett sätt är att använda sig av mörka objekt såsom sjöar eller skuggor. Dessa objekt antas vara helt eller nära svarta ytor som inte reflekterar något. Radians som uppmäts i de svarta objekten antas därför vara effekten av atmosfären. Genom att subtrahera hela scenen med radiansen som uppmäts i svarta objekten, elimineras den atmosfäriska effekten (Falkenström, 1999).

Beståndsparametrar

Det finns en mängd beståndsparametrar som påverkar reflektansen i ett bestånd. Undersökningar i granbestånd visar att reflektansen i det synliga, nära infraröda (NIR) och mellaninfraröda (MIR) generellt minskar med ökad ålder, biomassa, krontäthet, bladyteindex (LAI) och densitet. Dessa faktorer är vanligen positivt korrelerade till varandra. En mättnad uppstår när lövverket når 100 % täckning och mycket lite minskning i reflektansen sker. Volymstillväxten fortsätter med ökad ålder, men ingen minskning i reflektansen kan ses då en mättnad uppstår (Ardö, 1998).

Effekten från underliggande vegetation och mark beror på hur sluten kronan är. Om kronan är gles kommer den underliggande vegetationen påverka reflektansen. I en barrskog kommer kronutglesning att leda till att reflektansen ökar då reflektansen från själva kronan är relativt låg jämfört med reflektansen från underliggande vegetation. Effekten är inte lika stor i lövskog eftersom den har en högre reflektans från själva kronan jämfört med barrskog (Ardö, 1998).

Artsammansättningen påverkar också reflektansen från ett bestånd. Gran har generellt en lägre reflektans jämfört med tall och lövträd har högre reflektans än både gran och tall, speciellt i det nära infraröda området (Ardö, 1998). Det spelar alltså stor roll vilka arter som finns i området som skall analyseras. Ekstrand (1994) upptäckte att ett 25 procentigt innehåll av tall i ett granbestånd, helt neutraliserade den spektrala effekten av barrförlust på 10 procent. Likadant att 20 procent inslag av lövträd neutraliserade 20 procent barrförlust. Det finns inga standardmetoder för att korrigera för effekterna av variationer i beståndsparametrar. En mängd olika sätt att korrigera för beståndsparametrar har gjorts i olika studier. Exempelvis studerade Ekstrand (1994) hur inslag av tall och lövträd påverkade reflektansen för granbestånd. Korrektionskoefficienter beräknades för tall respektive löv.

Topografi

Topografin påverkar radiansen som sensorn registrerar på flera sätt. Den inkommande irradiansen som träffar ett objekt på marken varierar med cosinus av solzenithvinkeln,

som är vinkeln mellan solinstrålningen och normalen för markytan. Ju större solzenithvinkeln är, desto mindre mängd strålning träffar objektet på markytan (se figur 5). Mindre strålning som träffar ytan ger mindre strålning som kan reflekteras tillbaka och registreras av sensorn (Ekstrand, 1996).



Figur 5. Solzenithvinkeln (α), är vinkeln mellan solinstrålningen och normalen för markytan (Falkenström, 1999)

Radiansen som registreras av sensorn påverkas också av solhöjden p.g.a. atmosfärisk spridning. En låg solhöjd innebär en längre sträcka för solstrålningen att transporteras genom atmosfären innan den når objektet och därmed blir spridningen större. Vilken altitud objektet befinner sig på spelar också in för att den optiska tjockleken på atmosfären minskar med ökad altitud och detta i sin tur påverkar den atmosfäriska spridningen (Falkenström, 1999).

Ett flertal modeller för topografisk korrektion har tagits fram för att kompensera för de effekter som skapas av variationer i terrängen. Några av modellerna som vanligen används är Lambert cosine correction, Minnaert correction, C-correction (Falkenström, 1999) och Sun-canopy-sensor model (Gu och Gillespie, 1998). Att använda sig av förhållande mellan olika spektrala band (index) istället för enskilda band, är ett annat sätt att minska den topografiska effekten. Detta sätt tar bort en del av den topografiska effekten, men inte all (Ekstrand, 1999). Hur mycket den topografiska effekten egentligen påverkar reflektansen från ett bestånd är inte särskilt väl förstått (Falkenström, 1999).

Ytterligare faktorer som påverkar reflektansen

Utöver de nämnda faktorerna som påverkar reflektansen från ett objekt, influeras reflektansegenskaperna även av: bladens fördelning, bladvinklar, lövverkets geometri, solens-sensorns-objektets geometri, underliggande jordmåns egenskaper, reflektansegenskaper hos bark, grenar och stam, bakgrundsreflektans (jord, berg och avfall), typen och mängden av underliggande vegetation, samt hur träden är orienterade i förhållande till varandra (Ardö, 1998). Hur träden är orienterade till varandra påverkar främst när det gäller planteringar.

2.3 Skadeeffekter på reflektanserna hos skogsbestånd

En opåverkad skog sett ovanifrån, har en karakteristisk skuggfraktion och ljusfraktion som beror på tätheten och distributionen på lövverket (Olthof et al. 2004). En frisk ädellövskog har t.ex. hög reflektans, speciellt i det nära infraröda området (Alhcróna och Johansson, 2003; Vogelmann, 1999). Med ökande skador, kommer lövverket att bli mer oregelbundet, då grenar och blad dör. Den oregelbundna strukturen ökar skuggningen på bilden, beroende på större glapp i lövverket och på ökad inbördes skuggning, som generellt leder till en lägre lövverksreflektans. En lägre reflektans beror också på den minskning av biomassan i lövverket som följer en skada, speciellt i den synliga gröna toppen och i NIR.

Vid hög grad av skada, kan reflektansen öka för att det blir större glapp och vegetationen under träden blir synlig och reflekteras. Ökad reflektans vid hög grad av skada kan också orsakas av en större direkt spridning av strålningen från skadade och oregelbundna lövverk. Dessa strukturella effekter, plus att stressfaktorer producerar ökad synlig reflektans från blad, har gjort att man i många studier har sett ökad reflektans i det synliga, NIR och MIR med ökad grad av skada. Detta har framförallt observerats i barrskog p.g.a. dess låga reflektans i oskadat tillstånd och ofta med en undervegetation som har en högre reflektans (Olthof et al. 2004). Hos lövskog såg Vogelmann (1999) däremot en minskning i reflektansen i den nära infraröda regionen med ökad skada.

Själva stressen som vegetationen utsätts för kan också påverka de typiska reflektanskurvorna som friska blad har. Stress leder generellt till en minskning i den totala klorofyllhalten i bladet, som förändrar proportionen av ljusabsorptionspigment, vilket leder till en lägre total absorption speciellt i det synliga spektrumet. Dessa förändringar leder till en ökad reflektans i den synliga gröna toppen (570 nm) och det röda klorofyllabsorptionsbandet. Ökningen av reflektansen i både det gröna och röda området, gör att skadade löv ser gula ut (Olthof et al. 2004).

Reflektionsförändringar i den infraröda regionen till följd av stress inträffar ofta först vid mer långtgående skador, när cellväggarna påverkas beroende på vattenbrist och mesofyllkollaps (Börjars, 1993). NIR- banden har visat sig vara ganska okänsliga för att upptäcka stress på vegetationen, men i MIR ökar känsligheten beroende på uttorkning i bladen och den minskade vattenabsorptionen (Olthof et al. 2004).

2.4 Metoder för kartering av skadade skogsbestånd

Ett flertal metoder har applicerats för att försöka kartlägga förändringar i skogen med hjälp av satellitbaserad fjärranalys. Några av dessa metoder inkluderar linjär och logaritmisk regression, diskriminant analys, styrd och icke styrd klassificering, neurala nätverk (Olthof et al, 2004), bildalgebra, multitemporal linjär datatransformation och kompositanalys (Lunetta och Elvigde, 1999).

De flesta tidigare studier på kartering av skogsskador har behandlat kronutglesning i barrskog. Kartering av skogsskador i lövskog har modellerats främst med hjälp av högupplösta flygbilder. Endast några få studier har använt satellitbaserad data för att kartera skogsskador i lövskog (Olthof et al, 2004).

Tidigare studier på lövskog

Vogelmann och Rock (1989) karterade skogsskador på lövskog med Landsat Thematic Mapper data och använde sig av visuell tolkning av spektrala band, förhållande mellan spektrala band och multitemporal bildalgebra. Skogsskador i form av avlövning och kronutglesning till följd av insektsangrepp studerades. De försökte att separera skadad skog från oskadad skog med hjälp av falska färgbilder bestående av rött, grönt och blått (RGB). Där kvoten mellan TM band 5 och 4 representerade rött, TM band 5 representerade grönt och TM band 3 representerade blått. Utöver detta beräknades bildalgebra mellan en bild innan någon skada fanns och en bild efter det att en skada var upptäckt. TM band 4 kombinerades med TM band 5 och TM band 3 i en RGB kompositbild. Statistiskt T-test utfördes för att se om det gick att skilja ut skadade bestånd från friska. Resultatet jämfördes med kartor baserade på flygbilder och överensstämmelsen var överlag bra.

I en annan studie försökte Vogelmann (1990) att särskilja hög, medel och låg grad av skada (kronutglesning) på lövskog. Han använde sig av två separata index, moisture stress index ($MSI=(TM5/TM4)$) och normalized difference vegetation index ($NDVI=(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$). T-test utfördes för att se om det gick att urskilja reflektanserna i skadade bestånd från oskadade bestånd. Både NDVI och MSI visade signifikans på att skilja ytor utan kronutglesning från ytor med kronutglesning. MSI visade signifikans på att särskilja bestånd med hög och låg grad av skada, men det kunde inte skilja på bestånd med låg och medelgrad av skada. MSI visade positiv korrelation, till skillnad mot NDVI som visade negativ korrelation. Med NDVI kunde de även skilja ut bestånd med låg, medel och hög grad av skada från varandra.

Eklundh et al. (2003) visade att TM band 4 var det bästa enskilda bandet och att indexet simple ratio ($SR=(TM4/TM3)$) var det bästa indexet att estimeras LAI i lövskog i södra Sverige. LAI definieras som den totala mängden bladyta per enhet markyta. Reflektansen från ett lövverk är direkt relaterat till LAI som i sin tur påverkas av kronutglesning, då en ökande kronutglesning minskar LAI. En minskning i LAI karaktäriseras av en minskning i den nära infraröda regionen (Wiegand et al. 1979). Därför kan band/index som visat signifikans i LAI- studier vara av intresse även när det gäller kartering av kronutglesning.

3. Material och metod

3.1 Fjärranalysdata

Satellitensensor

Landsat 7, sattes i sin omlopps bana i april, 1999. Ombord på satelliten finns sensorn enhanced thematic mapper plus (ETM+) som är en uppgradering på Thematic Mapper (TM). ETM+ har samma spektrala egenskaper som sin föregångare, vilket gör att studier över tiden är möjlig, men en rad tekniska förbättringar har gjorts. ETM+ har en svepvidd på 185 km och täcker in hela jorden med 16 dygns intervall. Banden 1-5 samt 7 har en spatial upplösning på 30 x 30 meter. Sensorn är också utrustad med ett termalt band med 60 m upplösning, samt ett pankromatiskt band med en upplösning på 13 x 15 m (Campbell, 2002). Tabell 1 listar sensorns spektrala egenskaper och spatiala upplösning.

Tabell 1. Spektrala egenskaper för Landsat ETM+ (Landsat 7 science data users handbook, 2003)

Spektralt band	Bandbredd (μm)	Spatial upplösning (m)
Pankromatiskt	0.520-0.900	15
1 (blått)	0.450-0.515	30
2 (grönt)	0.525-0.605	30
3 (rött)	0.630-0.690	30
4 (nära-infrarött)	0.775-0.900	30
5 (mellan-infrarött)	1.550-1.750	30
6 (termalt)	10.40-12.50	60
7 (mellan-infrarött)	2.090-2.350	30

Satellitscen

Kvalitet på bilderna, molntäckning och hur många inventeringspunkter som täcktes in var kriterier när satellitscenen valdes. Två olika satellitscener från 1999 över det aktuella området fanns att tillgå. Efter genomgång visade det sig att delar av den ena scenen täcktes av moln. Moln reflekterar kraftigt i hela spektrumet och en korrekt korrigering för detta är tidskrävande och svår. Den andra scenen var molnfri, men det fanns i vissa delar av kusten inslag av dis vilket också påverkar reflektansen. Den sistnämnda scenen valdes ut för vidare analys, då inslagen av dis inte vägde upp till nackdelen av moln i scenen. Dessutom sammanföll datumet för satellitbilden (11/7, 1999) väl med skogsskadeinventeringen 1999 som utfördes 16/7 – 27/8.

Den satellitscenen som användes var:

Landsat ETM+, scen 193/021, 11 juli 1999, med solhöjd 53,8° och solläge 151,4°

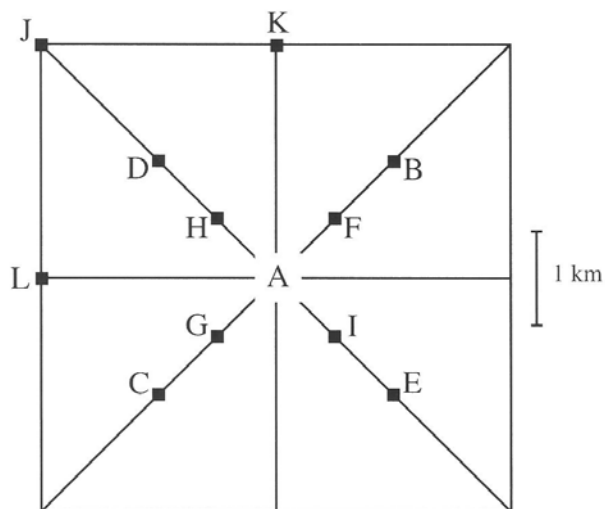


Figur 6. Satellitscenens utbredning. Östra Skåne, Blekinge samt de södra delarna av Småland täcks in.

3.2 Övriga data

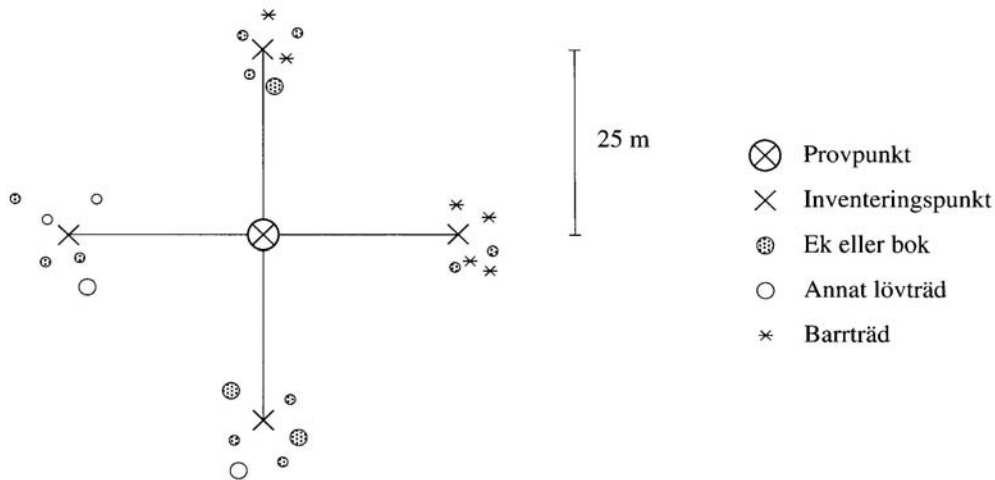
Skogsskadeinventeringen av bok och ek

Den av Skogsstyrelsen genomförda inventeringen 1999 av bok och ek utgörs av ett provpunktsnät som grundar sig på den ekonomiska kartans bladindelningar (skala 1:10 000). Upp till 12 provpunkter (A-L) har valts ut på varje kartblad (se figur 7). Beroende på målet med inventeringen och ädellövskogens geografiska fördelning varierar dock antalet provpunkter per kartblad.



Figur 7. Provpunkternas fördelning på de ekonomiska kartbladen (Anderson och Sonesson, 2000).

Endast provpunkter som innehöll minst 10 provträd av bok eller ek med en minimiålder av 60 år användes. Samtliga provpunkter var placerade i skogsområden större än 1 ha. En inventeringspunkt placerades 25 meter rakt norr om provpunkten (se figur 8).



Figur 8. Metod för urval av provträd. De sex närmaste träden som står närmast respektive inventeringspunkt utses till provträd. Bedömningen av vitalitet och skadesymptom har genomförts på de provträd som utgjorts av bok eller ek med en ålder på minst 60 år (Anderson och Sonesson, 2000).

Från inventeringspunkten gjordes sedan ett urval av provträd. De sex träd som befinner sig närmast inventeringspunkten och tillhör någon av trädklasserna överståndare (enskilda dominanta träd som sticker upp över skogen eller i ungskogsbestånd kvarstående äldre träd från föregående bestånd), härskare (meddominanta) eller medhärskare (subdominanta) inventerades (Nationalencyklopedin, 2005). Skadebedömningen var kronutglesning ingick utfördes på de provträd som utgjordes av bok eller ek med en uppskattad ålder av minst 60 år (Anderson och Sonesson, 2000). För övriga trädslag antecknades art och brösthöjdsdiameter. Samma procedur gjordes för väderstrecken öst, syd och väst. Om man inte uppnått sammanlagt 10 provträd av bok eller ek genom de 6 närmaste träden, lades ytterliggare 6 träd till i varje inventeringspunkt. Totalt erhöles 24 eller 48 provträd per provpunkt, varav bok- och ekträd ofta endast utgjorde en liten del.

Kronutglesning har bedömts i de översta 2/3 av kronan och anges som en procentuell del av en helt frisk och väl tilltagen krona. Den estimerade kronutglesningen inkluderar lövfällning, kronans genomskinlighet, döda grenar som fallit och döende grenar. Kronan jämförs med det "bästa" trädet med frisk krona med fullt lövverk, som kan växa på platsen under samma förutsättningar. Kronutglesningen uttrycks i 1 % klasser från 0 till 100 (Anderson och Sonesson, 2000). En mängd andra parametrar har mätts upp eller estimerats vid inventeringen. Exempelvis har andelen procent av ek, bok, andra lövarter, gran eller tall uppskattats. Ytterliggare parametrar som uppmätts vid inventeringen och som använts i studien är medelålder, densiteten (antal stammar per hektar) på alla provträd i ytan, samt vilken markvegetation som finns på ytan. Markvegetationen har delats upp i sex olika klasser som beskrivs i tabell 2.

Tabell 2. Beståndsbeskrivningskoder för underliggande markvegetation (Anderson och Sonesson, 2000).

Markvegetationskod	Typ
1	Örttyp
2	Utan fältskikt
3	Gräs
4	Starr/fräken
5	Ris
6	Lavmark

CORINE Marktäckedata

CORINE Marktäckedata är en produktion av en rikstäckande marktäck- (vegetation) och markanvändningsdatabas, där minsta karteringsenheten är 25 hektar. Databaserna innehåller redovisning av marktäcket med en indelning som bygger på EU:s klassificeringssystem för CORINE Land Cover – anlagda ytor, jordbruksmarker, skog, naturliga marker, våtmarker och vatten. För att möta de svenska behoven av en högre karteringsenhet, har även produkten Svensk Marktäckedata (SMD) tagits fram. I studien har SMD över Skåne använts och denna redovisar 57 olika klasser med minsta karteringsenhet 1-25 ha, beroende på klass. När det gäller skog är 1 hektar minsta karteringsenhet. Klassindelningen i skogen skiljer mellan barrskog, blandskog och lövskog samt tar viss hänsyn till trädens höjd. Information ges också ifall det är skog på myr eller skog på berg i dagen (Engberg, 2002). I studien har en vektorbaserad produkt (SMD vektor) använts.

Höjddata

Höjddata inhämtades från en digital höjdmodell (Digital Elevation Model, DEM), som täckte in hela Skåne. I den digitala höjdmodellen representeras höjden av värden arrangerade i ett rutnät över landskapet (Eklundh, 1999). Upplösningen på den använda höjddatan är 50 x 50 m och den innehåller information om lutning och aspekt i grader samt altitud (m ö h).

3.3 Förbehandling av satellitdata

Geometrisk korrektion

För att geometriskt korrigera Landsat ETM+ data till det svenska koordinatsystemet Rikets nät - RT 90, insamlades kontrollpunkter ifrån den digitala topografiska kartan (gröna kartan med skala 1:50 000). Totalt insamlades 35 kontrollpunkter utspridda över hela scenens utbredning. Kontrollpunkterna bestod av vägkorsningar, vattendrag, bebyggelse m.m. som var lätta att hitta på både kartan och satellitscenen.

Första gradens polynomtransformation användes för att beskriva relationen mellan koordinatsystemen, d.v.s. det visar fel i x- och y-led. Felet i passningen mellan de olika koordinatsystemen ska inte överstiga en ½ pixel, i detta fall 15 m (Campell, 2002). Det totala medelfelet (root mean square error) beräknades till 7,55 m vilket motsvarar en noggrannhet på ca en ¼ pixel. För att ge pixeln i den korrigerade bilden värdet i den okorrigerade bilden, gjordes en omsampling. Metoden som användes var cubic convolution resampling, som bygger ett viktat medelvärde av alla värden som ligger inom ca två pixlars avstånd i varje riktning. Detta innebär vanligen att ett viktat

medelvärde beräknas på de 16 närmaste pixlarna. ETM+ banden 1-5 omsamlades till det nya koordinatsystemet (Fel i data från band 7 gjorde det inte möjligt att använda bandet i studien).

Extrahering av satellitdata

Ett punktskikt skapades utav koordinaterna för provpunkterna och överlagrades på satellitscenen. Sedan extraherades pixelvärdet (det digitala numret) i de koordinatsatta provpunkterna. Detta sätt gav endast den koordinatsatta provpunktens pixelvärde och eftersom de inventerade träden inte sannolikt befann sig i samma pixel som provpunkten gjordes en filtrering. Ett low-pass filter där alla celler är lika mycket viktade på medelvärdet över 3 x 3 pixlar, med provpunkten som mittpixel applicerades på satellitdata. Pixelvärdet extraherades igen ur de koordinatsatta provpunkterna. Detta sätt gav information om pixelvärden över en yta på 90 x 90 meter.

Radiometrisk korrektion

De digitala nummer (DN) som sensorn registrerat konverterades till absolut radians. Vid beräkning av den absoluta radiansen normaliserar man också data oavsett vilken sensor som använts och data kan därmed jämföras. Radiansen beräknades enligt följande ekvation:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{DN_{\max}} \cdot DN_{\lambda} + L_{\min\lambda} \quad \text{Ekvation 3.1 (Markham and Barker 1987)}$$

Där:

λ = ETM+ band

L = spektral radians ($\text{mWcm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)

$L_{\max\lambda}$ = maximal spektral radians ($\text{mWcm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) registrerat av sensorn

$L_{\min\lambda}$ = minimum spektral radians ($\text{mWcm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) registrerat av sensorn

DN_{\max} = maximalt digitalt nummer

DN = digitalt nummer, kalibrerat från distributör

L_{\min} och L_{\max} är de spektrala radianserna för varje band vid minimum DN respektive maximum DN. Dessa värden förändras över tiden i och med att ETM+ detektorn förlorar känslighet. För att få en korrekt kalibrering måste därför framtagna parametrar användas och dessa inhämtades från Landsat 7 science data users handbook (2003). Tabell 1 i appendix listar kalibreringskoefficienterna L_{\min} och L_{\max} som användes för att få en korrekt omvandling till spektral radians. Vid beräkningen användes kalibreringsparametrarna för high gain.

För att minska skillnader mellan olika scener görs en normalisering av solarirradiansen, genom att omvandla den beräknade spektrala radiansen till reflektans eller albedo. Denna kombinerade mark- och atmosfärsreflektans beräknades enligt:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{sun_{\lambda}} \cdot \cos \theta_s}$$

Ekvation 3.2 (Markham and Barker 1987)

Där:

ρ_{λ} = reflektans (enhetslös)

L_{λ} = spektral radian (mWcm⁻²Sr⁻¹μm⁻¹)

d = Jord – Sol distans i astronomisk enhet

$E_{SUN_{\lambda}}$ = medelsolarirradian (mWcm⁻²Sr⁻¹μm⁻¹)

θ_s = solzenith-vinkel i grader

Tabell 2 och 3 i appendix listar de kalibreringskoefficienter som använts vid beräkningen av reflektansen. Den juliiska dagen den 11 juli var 162 och jord- sol distansen interpolerades fram utifrån detta.

Index

Ett antal vegetationsindex beräknades på den korrigerade datan. Detta gjordes dels för att undgå de topografiska effekter som kan uppstå och dels för att de visat sig vara signifikanta i tidigare studier på skogsskador. Tre index valdes ut till analysen och urvalet grundade sig på tidigare studier på kronutglesning och LAI (se kap. 3.3). Tabell 3 listar de index som använt i studien.

Tabell 3. Vegetationsindex som användes i studien.

Index	Ekvation	Referens
NDVI	$\frac{ETM 4 - ETM 3}{ETM 4 + ETM 3}$	Rouse et al., 1974
MSI	$\frac{ETM 5}{ETM 4}$	Vogelmann, 1990
SR	$\frac{ETM 4}{ETM 3}$	Jordan, 1969

3.4 Analys av satellitdata

Urval av provpunkter

Efter att den geometriska och radiometriska korrektionen var gjord, kontrollerades varje provpunkt mot CORINE marktäckedata. Punkter som låg i eller nära tätorter, vägar, sjöar etc. togs bort för att undvika reflektansstörningar. Även punkter som klart och tydligt låg inom andra klasser än lövskog plockades också bort.

Efter genomgången var antalet provpunkter med minst 10 inventerade träd totalt 154 stycken. Relativt rena bok- respektive ektytor valdes ut efter kriteriet att de måste innehålla minst 10 träd med >70 % av respektive trädslag. Klassen ”alla” tilldelades samtliga ytor, även de som inte uppfyllde kriteriet med >70 % av bok eller ek. Ytor med >70 % bok tilldelades klassen ”bok” och ytor med >70 % ek tilldelades klassen ”ek”. Tabell 4 visar hur många ytor som tilldelades respektive klass.

Tabell 4. Antal provytor i respektive klass.

Klass	Antal provytor
Alla	154
Bok	79
Ek	20

Kronutglesning och beståndsparametrar

Kronutglesning, medelålder, densitet och underliggande vegetationstyp för respektive utvald provyta som finns lokaliserad inom scenens utbredning extraherades ur inventeringsdatan. Vid inventeringstillfället har kronutglesningen bestämts för varje provträd inom ytorna. För att få en kronutglesning som representerade hela provytan beräknades median, medelvärde samt ett viktat medelvärde av alla enskilda träd, där vikten angavs av antalet träd i varje kronutglesningsstorlek. Det viktade medelvärdet beräknades enligt:

$$V_{medel} = \frac{\sum W_i^2}{\sum W^2} \cdot x_i \quad \text{Ekvation 3.3 (Viktat medelvärde)}$$

Där:

W = summan av vikterna

Ytterligare ett mått på kronutglesningen skapades genom att ange andel träd i procent för varje provyta som översteg en kronutglesning på 25 %.

Skadeklasser

Kronutglesningen för varje provyta delades upp i skadeklasser för att titta på eventuella signifikanta skillnader på reflektanserna. Två separata klassindelningar på kronutglesning användes vid analyserna:

1. <25 % och >25 % kronutglesning
2. 0-10 %, 11-25 %, 26-60 % och >60 % kronutglesning

3.5 Korrektion för topografi

För att korrigera för eventuella topografiska effekter extraherades data ur en DEM över Skåne. Provpunktssiktet överlagrades höjddata och informationen extraherades ur den pixel som provpunkten hamnade i. Den extraherade datan innehöll information om lutning, aspekt och höjd över havet. En topografisk korrektionsmodell, sun-canopy-sensor (SCS) applicerades på radianterna från banden 1-5, för varje provpunkt enligt:

$$L_{\lambda(korr)} = L_{\lambda(okorr)} \frac{\cos \theta}{\cos \alpha \cdot \cos \theta_s}$$

Ekvation 3.4 (Gu och Gillespie, 1998)

Där:

L_{λ} = radians i pixeln ($\text{mWcm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$)

θ = tittvinkel (grader)

α = lutning (grader)

θ_s = solzenith vinkel (grader)

Den topografiska korrigerade radiansen omvandlades sedan till reflektans enligt tidigare nämnd metod (kap. 3.3). Då höjddata endast fanns tillgängligt för Skåne, kunde inte korrektion för topografi göras för alla provytor. Den topografiska korrektionen minskade reflektansen med en storleksfaktor på 0.001-0.15 beroende på vilket band eller index som korrigerats. Tabell 5 listar antalet provytor i respektive klass som korrigerats för topografi.

Tabell 5. Antal provytor som korrigerats för topografi i respektive klass.

Klass	Antal provytor
Alla	116
Bok	72
Ek	12

3.6 Statistiska analyser på spektrala egenskaper

Korrelation

För att studera eventuella samband applicerades linjär regression på reflektansvärdena och kronutglesning, både för okorrigerad data och för topografiskt korrigerad data. Likaså applicerades regressionen både på filtrerad och på ofiltrerad data i varje provpunkt. Den linjära regressionen utfördes dels direkt mellan reflektanserna och medianen, medelvärde, viktat medelvärde samt dels på andel träd i varje provyta som översteg en kronutglesning på 25 %. Även korrelationer mellan reflektans och beståndsparametrarna medelålder, densitet, samt underliggande vegetationstyp undersöktes.

Spektrala karaktärer för kronutglesningsklasserna

Icke-parametriska testerna Mann-Whitney och Kruskal-Wallis användes för att studera ifall det fanns signifikanta skillnader i reflektanserna från de olika skadeklasserna. Samma metod användes för att studera skillnader i reflektanser från bok respektive ek. För att tydligare undersöka ifall det gick att skilja ut skadeklasser och arter, studerades medianen och distributionen av reflektanserna med hjälp av boxplot.

3.7 Klassningsmetod

Klassning av satellitdata utfördes med hjälp av separationsmått för multivariata (flerdimensionella) normala spektrala klassmodeller och klassningsalgoritmen maximum likelihood. Bhattacharyya (eller Jeffries-Matusita) distance mellan ett par av sannolika

fördelningar (spektrala klasser) beskriver måttet på medeldistansen mellan de två klassernas densitetfunktioner (Richards och Xiuping, 1999). Beräkning av måttet sker enligt:

$$J_{ij} = 2(1 - e^{-B}) \quad \text{Ekvation 3.5 (Kailath, 1967)}$$

i vilken

$$B = 1/8(\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j)^t \left\{ \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right\}^{-1} (\mathbf{m}_i - \mathbf{m}_j) + 1/2 \ln \left\{ \frac{|(\Sigma_i + \Sigma_j)/2|}{|\Sigma_i|^{1/2} |\Sigma_j|^{1/2}} \right\}$$

Ekvation 3.6 (Kailath, 1967)

Där:

- \mathbf{m} = medelvärde
- i = klass 1
- j = klass 2
- t = transponat
- Σ = kovarians

Måttet beskriver hur bra det går att separera olika spektrala klassers medelvärden och varierar i en exponentiell funktion från 0 till 2.0, där 0.0 indikerar total överlappning mellan klasserna och vid 2.0 kan man med 100 % noggrannhet kan skilja ut klasserna från varandra. En utförligare förklaring av måttet visas i tabell 6.

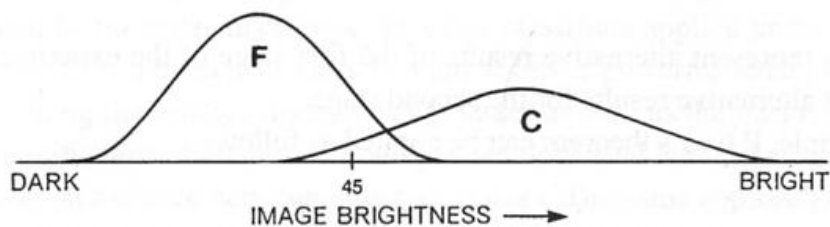
Tabell 6. Beskrivning av Bhattacharyya distance separationsmått.

Resultat	Förklaring
0.0 – 1.0	Mycket svårt att skilja mellan två klasser (signaturen är statistiskt sett väldigt lika varandra)
1.0 – 1.9	Svårt att skilja mellan två klasser (signaturen kan skiljas ut till en viss grad)
1.9 – 2.0	Lätt att skilja mellan två klasser (signaturen skiljer sig åt statistiskt)

Två olika klassningsförsök utfördes:

1. Klassning av den ofiltrerade scenen, med träningsytor runt den koordinatsatta pixeln lika stora som filtret (3 x 3 pixlar).
2. Klassning av den filtrerade scenen, med träningsytor som endast utgjordes av den koordinatsatta pixeln.

En antal olika kombinationer av band, antal och val av träningsytor gjordes vid de olika klassningsförsöken. Klassningsalgoritmen maximum likelihood tilldelar pixeln en klass med hjälp av det minsta avståndet till ett klassmedel, men tar samtidigt hänsyn till kovariansen mellan våglängdsbanden för varje klass (se figur 9).



Figur 9. Maximum likelihood klassificering. De två olika distributionerna (F och C) representerar två olika träningsytors digitala nummer, där den överlappande zonen visar digitala nummer som förekommer i båda ytorna. Relationen mellan värdena inom överlappningen och den totala distributionen för varje klass, styr vilken klass pixeln ska ges (Campell, 2002).

I klassificeringen användes tre klasser: 1. <25 % kronutglesning, 2. >25 % kronutglesning samt klassen 0 som tilldelades pixlar som inte hade liknande spektrala signaturer som klassen 1 eller 2. Vid klassificeringen kombinerades våglängdsbanden 1 – 5 på olika sätt för att se hur det påverkade resultatet. En utvärdering av klassificeringen gavs genom hur stor andel pixlar i procent som t.ex. var träningsyta i klassen 1, som slutligen klassades som klass 1. Detta är dock inte en korrekt utvärderingsmetod och diskuteras under kap. 5.2.

4. Resultat

4.1 Korrelation mellan reflektans och kronutglesning

Korrelationskoefficienten beräknades mellan reflektansen och medianen, medelvärdet, viktade medelvärdet samt andel träd över 25 % kronutglesning för varje provyta. Dels redovisas resultaten på ofiltrerad data och dels för medelvärdesfiltrerad data. Det viktade medelvärdet på kronutglesningen hade generellt den högsta korrelationen och signifikansen i samtliga analyser. Därför redovisas inte resultaten för medianen och medelvärdet på kronutglesningen. Resultatet redovisas av korrelationskoefficienten (r) och kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) vilken benämns på engelska som root mean square error (RMSE) och anger det totala medelfelet i den residuala variationen.

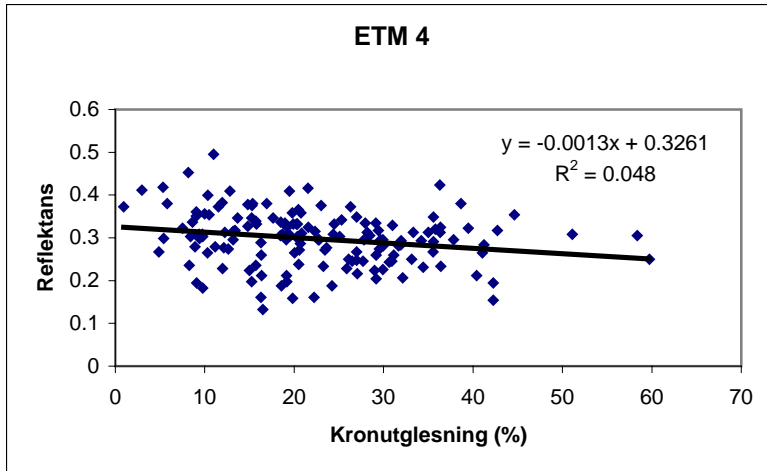
Ofiltrerad data

Tabell 7. Korrelationskoefficienten (r) kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan viktad medelvärdeskronutglesning och reflektans (ofiltrerad).

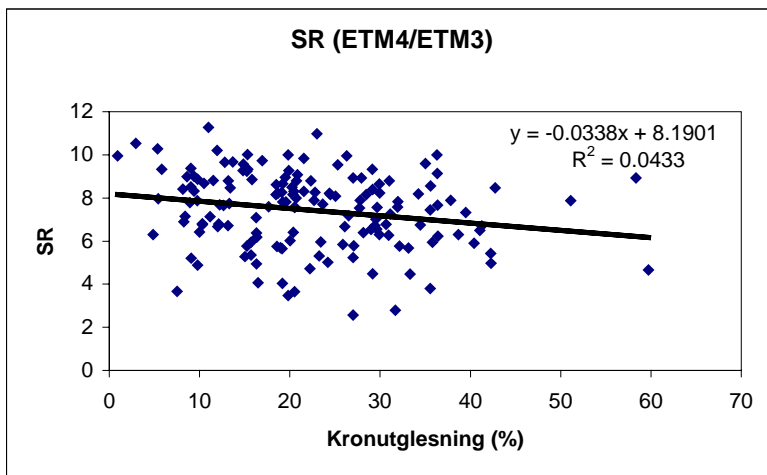
Band eller index	alla (n=154)		bok (n=79)		ek (n=20)	
	r	s	r	s	r	s
1	0.00	10.9	-0.18	9.8	0.06	9.9
2	-0.04	10.9	-0.16	9.8	0.16	9.8
3	0.03	10.9	-0.09	9.9	0.06	9.9
4	-0.25	10.7	-0.28	9.6	0.27	9.5
5	-0.10	10.9	-0.12	9.9	0.20	9.7
NDVI	-0.18	10.8	-0.17	9.8	0.09	9.9
MSI	0.11	10.9	0.15	9.9	0.07	9.9
SR	-0.22	10.7	-0.20	9.8	0.10	9.8

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

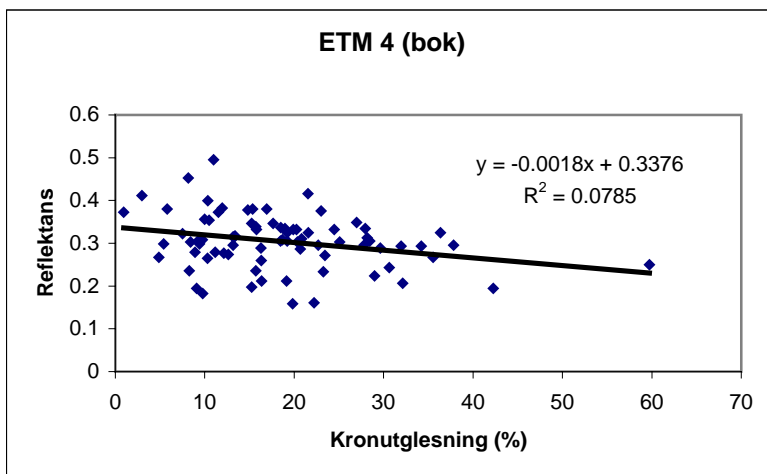
Ofiltrerad data visar endast på signifikant korrelation med band 4 och indexet SR, då alla provytor tas med. Det mest intressanta är att band 4 också visar ett signifikant samband hos rena bokbestånd. Trenden är negativ för samtliga signifikanta band eller index, men sambandet för ofiltrerad data är inte särskilt starkt (se figur 10 -12). I ekytor återfinns inga signifikanta samband, men korrelationerna är positiva till skillnad från när alla ytor och bokytor studeras.



Figur 10. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 4 reflektans hos alla ytor, n=154 (ofiltrerad).



Figur 11. Korrelation mellan kronutglesning och SR (ETM4/ETM3) reflektans hos alla ytor, n=154 (ofiltrerad).



Figur 12. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 4 reflektans hos bokytor, n=79 (ofiltrerad)

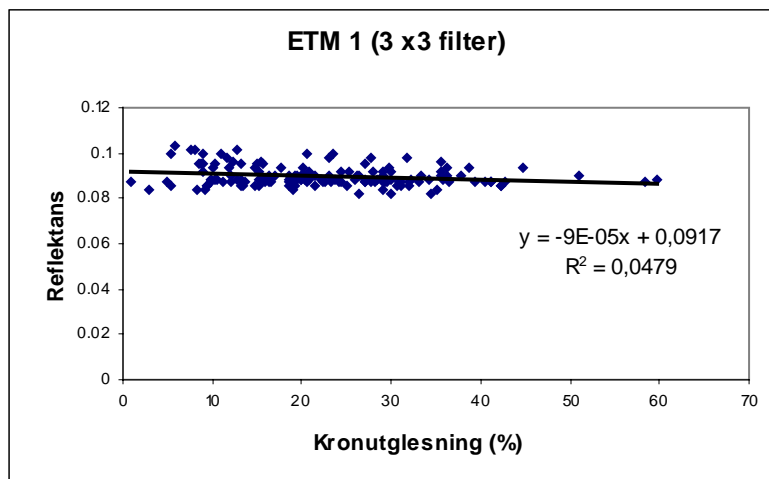
Filtrerad data

Tabell 8. Korrelationskoefficienten (r) kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan viktad medelvärdeskronutglesning och reflektans (3 x 3 filter).

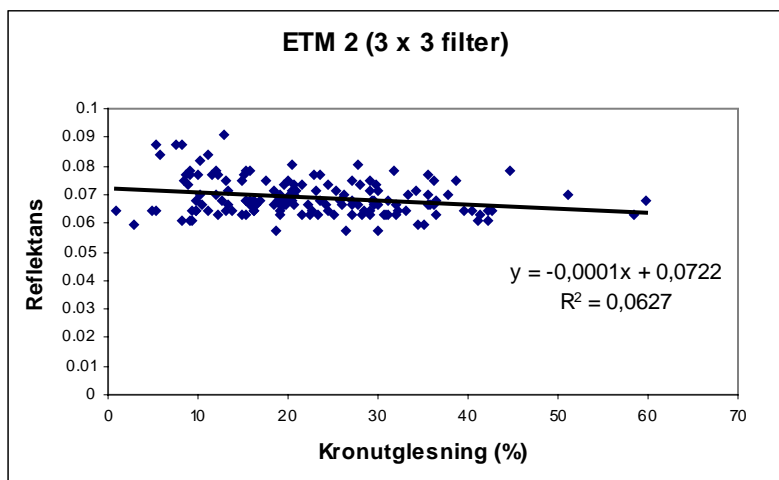
Band eller index	alla (n=154)		bok (n=79)		ek (n=20)	
	r	s	r	s	r	s
1 (3 x 3 filter)	-0.22	10.7	-0.20	9.8	-0.10	9.8
2 (3 x 3 filter)	-0.26	10.6	-0.18	9.8	-0.16	9.8
3 (3 x 3 filter)	-0.21	10.7	-0.21	9.7	-0.09	9.9
4 (3 x 3 filter)	-0.26	10.7	-0.11	9.9	0.24	9.6
5 (3 x 3 filter)	-0.24	10.7	-0.12	9.9	0.28	9.5
NDVI (3 x 3 filter)	-0.04	10.9	0.11	9.9	0.25	9.6
MSI (3 x 3 filter)	0.01	10.9	-0.04	10.0	0.04	9.9
SR (3 x 3 filter)	-0.05	10.9	0.07	9.9	0.26	9.5

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

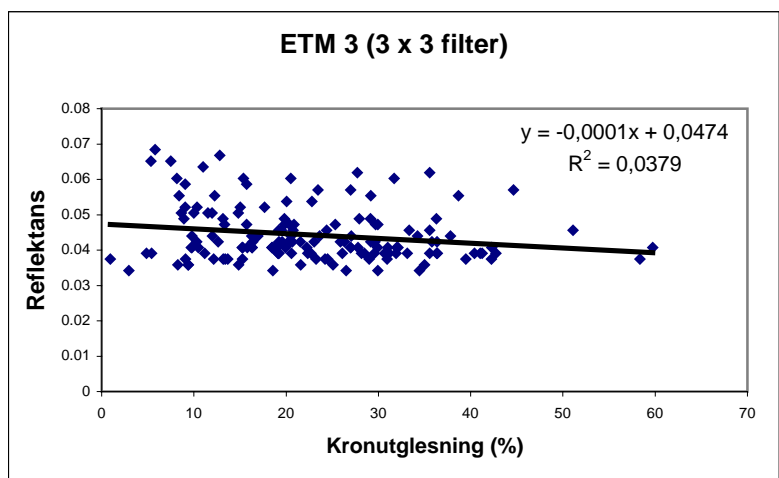
Korrelationskoefficienten visar på signifikans mellan reflektans hos samtliga enskilda band på filtrerad data och medelkronutglesning när alla inventerade ytor som finns inom scenens gränser studeras. Detta skiljer sig mot ofiltrerad data som endast visade på signifikans med band 4 och indexet SR. Det linjära sambandet är dock inte särskilt starkt, men trenden visar att reflektansen minskar för samtliga band med ökad kronutglesning (se figur 13-17). Den högsta korrelationen syns hos band 2 och 4. De använda indexen (NDVI, MSI och SR) visar däremot inget signifikant samband då alla provytor tas med. Om endast bok- respektive ekytor studeras, återfinns inga signifikanta korrelationer överhuvudtaget. Intressant är att band 4 och 5 visar på positiva korrelationer när ekytor studeras, till skillnad från när alla ytor eller bokytor studeras.



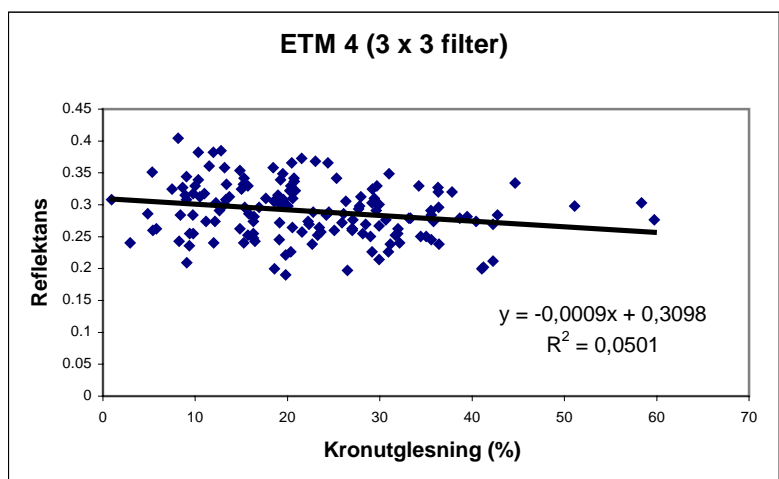
Figur 13. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 1 reflektans hos alla ytor, n=154 (3 x 3 filter).



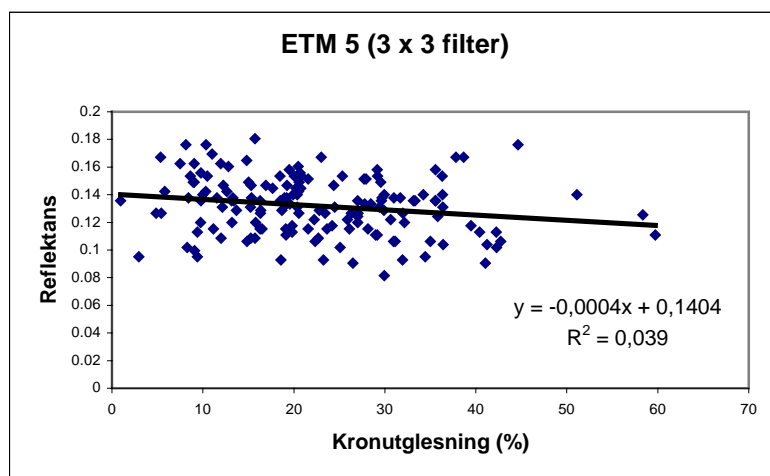
Figur 14. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 2 reflektans hos alla ytor , n=154 (3 x 3 filter).



Figur 15. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 3 reflektans hos alla ytor, n=154 (3 x 3 filter).



Figur 16. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 4 reflektans hos alla ytor, n=154 (3 x 3 filter).



Figur 17. Korrelation mellan kronutglesning och ETM 5 reflektans hos alla ytor, n=154 (3 x 3 filter).

Andel träd över 25 % kronutglesning

Tabell 9. Korrelationskoefficienten (r) kvadratrot ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan andel över 25 % kronutglesning och reflektans (ofiltrerad).

Band eller index	alla (n=154)		bok (n=79)		ek (n=20)	
	r	s	r	s	r	s
1	0.05	0.25	-0.20	0.24	0.12	0.20
2	-0.04	0.25	-0.19	0.24	0.13	0.20
3	0.04	0.25	-0.15	0.24	0.07	0.20
4	-0.26	0.24	-0.26	0.23	0.10	0.20
5	-0.13	0.25	-0.16	0.24	0.10	0.20
NDVI	-0.18	0.25	-0.11	0.24	0.00	0.20
MSI	0.08	0.25	0.05	0.24	0.07	0.20
SR	-0.21	0.24	-0.16	0.24	0.00	0.20

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

Tabell 10. Korrelationskoefficienten (r) kvadratrot ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan andel över 25 % kronutglesning och reflektans (3 x 3 filter).

Band eller index	alla (n=154)		bok (n=79)		ek (n=20)	
	r	s	r	s	r	s
1 (3 x 3 filter)	-0.15	0.25	-0.13	0.24	0.04	0.20
2 (3 x 3 filter)	-0.22	0.24	-0.14	0.24	-0.08	0.20
3 (3 x 3 filter)	-0.16	0.25	-0.15	0.24	-0.01	0.20
4 (3 x 3 filter)	-0.22	0.24	-0.09	0.24	0.23	0.19
5 (3 x 3 filter)	-0.20	0.24	-0.08	0.24	0.29	0.19
NDVI (3 x 3 filter)	-0.05	0.25	0.06	0.24	0.19	0.19
MSI (3 x 3 filter)	0.03	0.25	0.00	0.24	0.06	0.20
SR (3 x 3 filter)	-0.05	0.25	0.05	0.24	0.19	0.19

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

Resultatet visar att det inte sker någon större förändring i korrelation om man tittar på andelen träd med en kronutglesning >25 % eller på den viktade medelkronutglesning. Generellt sett minskar korrelationen och det är i stort sett samma band som visar på

signifikans i båda fallen. Detta styrker att det viktade medelvärdet är ett bättre mått på kronutglesningen från en yta, än andel över 25 %.

4.2 Korrelationen mellan reflektans och kronutglesning efter korrektion för topografi

De för topografi korrigerade provpunkterna jämfördes med samma provpunkter innan de korrigerats för att undersöka vilken effekt den topografiska korrigeringen hade.

Korrelation mellan reflektans och medelkronutglesning

Tabell 11- 13 visar resultatet för korrelationen mellan reflektans och kronutglesning efter att topografisk korrektion var utförd.

Tabell 11. Korrelationskoefficienten (r) kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan viktad medelvärdeskronutglesning och reflektans hos alla.

Band eller index	Korrigerad (n=116)		Okorrigerad (n=116)	
	r	s	r	s
1 (3 x 3 filter)	-0.27	10.7	-0.29	10.6
2 (3 x 3 filter)	-0.31	10.5	-0.30	10.5
3 (3 x 3 filter)	-0.29	10.6	-0.29	10.6
4 (3 x 3 filter)	-0.22	10.8	-0.21	10.8
5 (3 x 3 filter)	-0.27	10.6	-0.27	10.7
NDVI (3 x 3 filter)	-0.12	11.0	0.11	11.0
MSI (3 x 3 filter)	-0.12	11.0	-0.12	11.0
SR (3 x 3 filter)	-0.10	11.0	0.10	11.0
1	-0.19	10.9	-0.19	10.9
2	-0.13	11.0	-0.20	10.8
3	-0.16	10.9	-0.15	10.9
4	-0.21	10.8	-0.21	10.8
5	-0.17	10.9	-0.16	10.9
NDVI	-0.05	11.1	-0.16	10.9
MSI	-0.01	11.1	-0.01	11.1
SR	-0.09	11.0	-0.09	11.0

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

Tabell 12. Korrelationskoefficienten (r) kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan viktad medelvärdeskronutglesning och reflektans hos bok.

Band eller index	Korrigerad (n=72)		Okorrigerad (n=72)	
	r	s	r	s
1 (3 x 3 filter)	-0.21	10.0	-0.23	10.0
2 (3 x 3 filter)	-0.22	10.0	-0.20	10.0
3 (3 x 3 filter)	-0.23	10.0	-0.22	10.0
4 (3 x 3 filter)	-0.19	10.1	-0.17	10.1
5 (3 x 3 filter)	-0.17	10.1	-0.17	10.1
NDVI (3 x 3 filter)	0.08	10.2	0.09	10.2
MSI (3 x 3 filter)	0.01	10.2	-0.03	10.2
SR (3 x 3 filter)	0.03	10.2	0.03	10.2
1	-0.19	10.1	-0.21	10.0
2	-0.28	9.8	-0.21	10.0
3	-0.09	10.2	-0.10	10.2
4	-0.39	9.4	-0.35	9.6
5	-0.18	10.1	-0.17	10.1
NDVI	-0.27	9.9	-0.23	10.0
MSI	0.16	10.1	0.14	10.1
SR	-0.29	9.8	-0.26	9.9

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

Tabell 13. Korrelationskoefficienten (r) kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan viktad medelvärdeskronutglesning och reflektans hos ek.

Band eller index	Korrigerad (n=12)		Okorrigerad (n=12)	
	r	s	r	s
1 (3 x 3 filter)	-0.14	13.3	-0.06	13.4
2 (3 x 3 filter)	-0.06	13.4	-0.18	13.2
3 (3 x 3 filter)	-0.07	13.4	-0.12	13.3
4 (3 x 3 filter)	-0.17	13.2	0.10	13.3
5 (3 x 3 filter)	-0.14	13.3	0.09	13.4
NDVI (3 x 3 filter)	0.17	13.2	0.17	13.2
MSI (3 x 3 filter)	0.02	13.4	0.02	13.4
SR (3 x 3 filter)	0.22	13.1	0.22	13.1
1	-0.31	12.8	-0.42	12.2
2	-0.18	13.2	-0.35	12.6
3	-0.43	12.1	-0.46	12.0
4	-0.17	13.2	0.14	13.3
5	-0.10	13.4	-0.13	13.3
NDVI	0.54	11.3	0.54	11.3
MSI	-0.35	12.6	-0.35	12.6
SR	0.50	11.6	0.50	11.6

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

De enskilda banden på filtrerad data ger fortfarande signifikans efter topografisk korrektion om alla provytor tas med. I bokytor ökar korrelationen och antal band med signifikans, men endast i ofiltrerad data. Ekytor visar fortfarande inga signifikanta korrelationer, men en liten ökning i korrelationer kan ses efter topografisk korrektion. Anmärkningsvärt är att en relativt stark korrelation kan ses för ekytor och ett antal band och index för ofiltrerad data både innan och efter topografisk korrektion. Korrelationen är i vissa fall negativ och i vissa fall positiv. Korrelationen är dock inte signifikant och hänsyn bör tas till att antalet ytor är få ($n=12$). Totalt sett gör den topografiska

korrektionen att korrelationen i vissa fall ökar, men i vissa fall minskar den. Ingen tydlig trend syns, vilket visar att korrektionen för topografi inte påverkar resultatet i stor grad.

Andel träd med >25 % kronutglesning

Tabell 14. Korrelationskoefficienten (r) kvadratroten ur medelkvadratavvikelsen (s) för linjärt samband mellan andel träd över 25 % kronutglesning och reflektans, korrigerad för topografi.

Band eller index	alla (n=116)		bok (n=72)		ek (n=12)	
	r	s	r	s	r	s
1 (3 x 3 filter)	-0.25	0.25	-0.14	0.25	0.03	0.20
2 (3 x 3 filter)	-0.29	0.24	-0.18	0.25	-0.14	0.20
3 (3 x 3 filter)	-0.26	0.25	-0.17	0.25	-0.03	0.20
4 (3 x 3 filter)	-0.24	0.25	-0.14	0.25	-0.13	0.20
5 (3 x 3 filter)	-0.25	0.25	-0.10	0.25	0.03	0.20
NDVI (3 x 3 filter)	0.06	0.26	0.05	0.25	-0.02	0.20
MSI (3 x 3 filter)	-0.05	0.26	0.04	0.25	0.16	0.20
SR (3 x 3 filter)	0.05	0.26	0.02	0.25	-0.04	0.20
1	-0.16	0.25	-0.21	0.25	0.16	0.20
2	-0.28	0.25	-0.31	0.24	0.12	0.20
3	-0.14	0.25	-0.14	0.25	-0.02	0.20
4	-0.32	0.24	-0.39	0.23	-0.03	0.20
5	-0.26	0.25	-0.24	0.24	-0.08	0.20
NDVI	-0.16	0.25	-0.23	0.24	0.06	0.20
MSI	-0.05	0.26	0.07	0.25	-0.06	0.20
SR	-0.20	0.25	-0.26	0.24	0.06	0.20

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

Resultatet visar att det inte sker någon större förändring i korrelation om man tittar på andelen träd med en kronutglesning >25 % eller den viktade medelkronutglesning. Generellt sett minskar korrelationen något. Trenden är fortfarande negativ för samtliga signifikanta band/index.

4.3 Beståndsp parametrar

Tabell 15 listar korrelationskoefficienten mellan reflektansen vid de olika ytorna och beståndsp parametrarna medelålder på beståndet, densitet (antal stammar per hektar) och markvegetationstyp.

Korrelation mellan reflektansen och beståndsp parametrarna densitet, ålder och markvegetation ger inte några tydliga förklaringar på varför korrelationen mellan kronutglesning och reflektans är relativt svag. Resultatet visar visserligen på signifikanta samband hos vissa parametrar beroende på vilka provpunkter som tas med. Den högsta korrelationen kan ses med densiteten hos ektytor. Även beståndets medelålder och markvegetation visar på signifikans hos boktytor och likaså markvegetation när samtliga ytor studeras. Korrelationskoefficienten för reflektansen och beståndsp parametrarna på data innan topografisk korrektion visar på liknande resultat.

Tabell 15. Korrelationskoefficienten (r) för linjärt samband mellan reflektansen, korrigerad för topografi hos de olika banden/indexen och parametrarna densitet, medelålder och underliggande markvegetation. Alla n= 116, bok n= 72 och ek n= 12.

Band /index	alla	bok	ek	alla	bok	ek	alla	bok	ek	
		densitet			medelålder			markveg.		
1 (3x3)	-0.10	-0.18	-0.01	0.11	0.30	-0.50	-0.20	-0.17	-0.06	
2 (3x3)	-0.06	-0.10	0.13	0.07	0.22	-0.47	-0.25	-0.22	-0.13	
3 (3x3)	-0.04	-0.10	0.16	0.07	0.27	-0.53	-0.27	-0.25	-0.28	
4 (3x3)	-0.09	-0.10	-0.22	0.07	0.13	0.02	-0.19	-0.17	0.44	
5 (3x3)	-0.12	-0.13	0.30	0.09	0.28	-0.38	-0.28	-0.32	0.22	
NDVI (3x3)	-0.03	0.05	-0.27	-0.01	-0.16	0.47	0.11	0.13	0.47	
MSI (3x3)	-0.06	-0.10	0.59	0.03	0.23	-0.48	-0.17	-0.26	-0.11	
SR (3x3)	-0.05	0.02	-0.29	-0.02	-0.16	0.43	0.10	0.10	0.53	
1	0.06	-0.01	0.60	0.11	0.20	0.07	-0.08	-0.15	0.05	
2	0.10	0.17	0.41	0.11	0.06	-0.18	-0.08	-0.17	0.11	
3	0.11	0.08	0.56	0.07	0.08	0.09	-0.11	-0.16	-0.09	
4	0.00	0.17	-0.03	0.08	0.07	0.06	-0.07	-0.11	0.10	
5	0.01	0.12	0.14	0.07	0.07	0.14	-0.02	-0.04	0.13	
NDVI	-0.13	0.05	-0.55	0.04	0.01	-0.11	0.02	0.01	0.15	
MSI	0.07	0.01	0.23	0.01	0.03	0.16	0.05	0.08	0.05	
SR	-0.08	0.10	-0.55	0.04	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	0.12	

Anmärkning: Korrelationskoefficienter i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$)

4.4 Klassindelning av kronutglesning

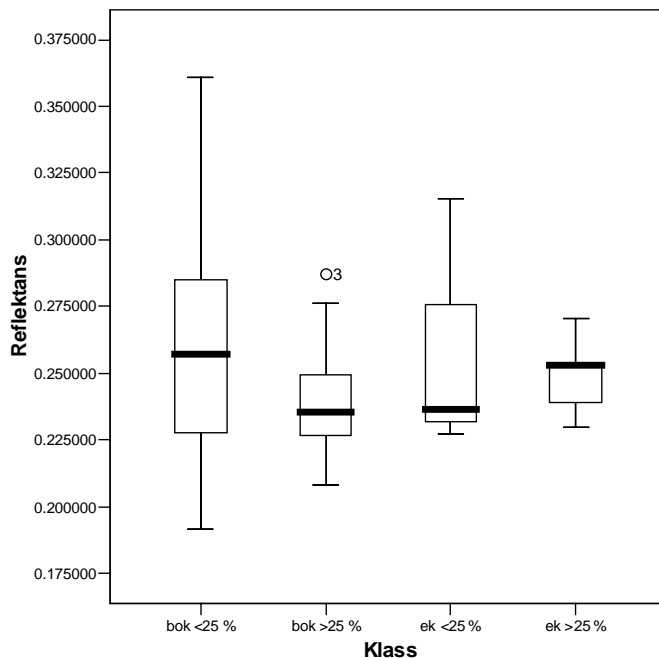
Två kronutglesningsklasser inom bok- respektive ektytor

Tabell 16. Kruskal-Wallis test hos band/index mellan klasserna 1 (bok <25 %), 2 (bok >25 %), 3 (ek <25 %) och 4 (ek >25 %), korrigerad för topografi.

Band/index	Klass					
	1 och 2	1 och 3	1 och 4	2 och 3	2 och 4	3 och 4
1 (3x3 filter)	0.118	0.163	0.488	0.560	0.017	0.153
2 (3x3 filter)	0.169	0.300	0.450	0.491	0.053	0.221
3 (3x3 filter)	0.403	0.186	0.275	0.368	0.081	0.066
4 (3x3 filter)	0.061	0.943	0.967	0.560	0.020	0.540
5 (3x3 filter)	0.092	0.372	0.200	0.560	0.024	0.307
NDVI (3x3 filter)	0.211	0.163	0.356	0.057	0.634	0.153
MSI (3x3 filter)	0.681	0.086	0.324	0.050	0.680	0.066
SR (3x3 filter)	0.377	0.211	0.356	0.057	0.634	0.153
1	0.157	0.186	0.785	0.266	0.680	0.221
2	0.096	0.163	0.502	0.427	0.975	0.414
3	0.169	0.411	0.304	0.491	0.266	0.683
4	0.015	0.668	0.585	0.634	0.427	0.838
5	0.312	0.694	0.437	0.958	0.634	1.000
NDVI	0.123	0.789	0.629	0.560	0.391	0.838
MSI	0.339	0.915	0.240	0.560	0.136	1.000
SR	0.123	0.789	0.629	0.560	0.391	0.838

Anmärkning: Signifikansnivå i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$).

Kruskal-Wallis test visar att man kan skilja ut bok med mer än 25 % kronutglesning från ek med både mindre än 25 % och större än 25 % kronutglesning. Däremot visar det att det inte finns någon skillnad i reflektanserna inom de två klasserna hos bok respektive ek om filtrerad data används. Endast ofiltrerad data i kombination med band 4 visar på signifikans mellan de två klasserna inom bokytor. Boxplot över de spektrala klasserna visar att de överlappar varandra, vilket styrker att de är svåra att separera från varandra (se figur 18).



Figur 18. Skillnader i reflektans hos alla med ETM 4 (3x3 filter), korrigerad för topografi mellan klasserna 1, 2, 3 och 4. Boxploten visar median, kvartilavstånd, avvikande värden och extremer.

Eftersom topografisk korrektion inte påverkade korrelationen mellan kronutglesning och reflektans något nämnvärt, utfördes ett likadant test med data okorrigerad för topografi. Resultatet visar att man kan skilja mellan klass 1 och 4 till skillnad från data som var korrigerad från topografi. Däremot kan man inte skilja mellan klass 3 och 4 som i fallet med topografiskt korrigerad data. Vilka indata som än används, så är det inte möjligt att skilja ut två klasser inom respektive trädslag från varandra. Totalt sett visar resultatet att det är svårt att utföra en klassificering inom rena bok- eller ekytor grundat på rent statistiska mått.

Skillnader i reflektanser mellan bok och ek

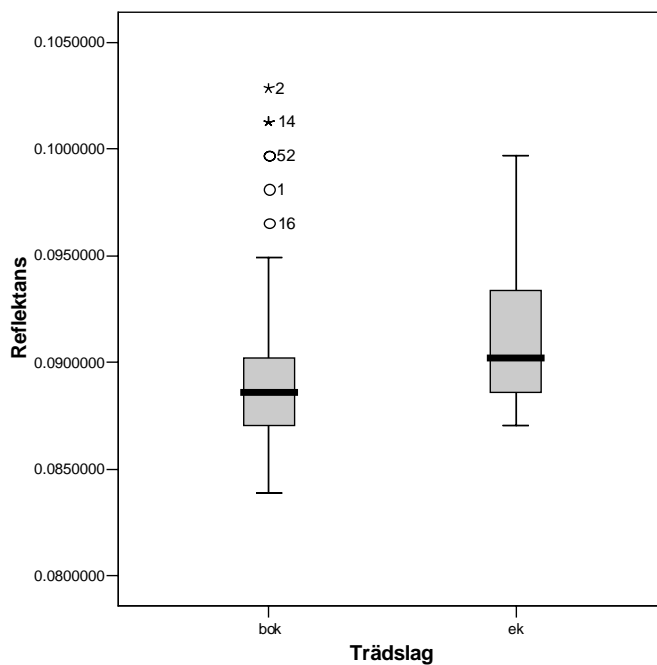
Eftersom tvåklassindelningen inte visade på en signifikant urskiljning mellan alla klasserna, kontrollerades om reflektanserna skiljde sig totalt åt mellan alla bokytor respektive ekytor. Tabell 17 redovisar resultatet både för topografiskt korrigerad data och för okorrigerad data.

Tabell 17. Mann-Whitney test hos band/index mellan bok- och ektytor.

Band/index	Med topografi (n bok= 74, n ek=12)	Utan topografi (n bok= 79, n ek= 20)
1 (3x3 filter)	0.421	0.016
2 (3x3 filter)	0.413	0.117
3 (3x3 filter)	0.364	0.072
4 (3x3 filter)	0.428	0.360
5 (3x3 filter)	0.206	0.660
NDVI (3x3 filter)	0.913	0.038
MSI (3x3 filter)	0.908	0.132
SR (3x3 filter)	0.913	0.038
1	0.848	0.293
2	0.406	0.982
3	0.215	0.498
4	0.980	0.494
5	0.539	0.635
NDVI	0.954	0.488
MSI	0.220	0.650
SR	0.954	0.488

Anmärkning: Signifikansnivå i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$).

Resultatet visar att efter en korrektion för topografi, går det inte att skilja ut bok från ek med något band eller index. I den för topografi okorrigerade data visar ett enskilt band och två index på signifikans. Samtliga band/index som visar på signifikans, grundar sig på filtrerad data, vilket än en gång styrker att det är den mest korrekta metoden för att återspegla provpunkternas signatur. Figur 19 visar de spektrala signaturerna för bok respektive ek hos band 1 för topografiskt okorrigerad data. En viss överlappning kan ses, vilket försvårar särskiljning mellan arterna.



Figur 19. Skillnader i reflektans hos bok och ek med ETM 1 (3x3 filter) utan korrektion för topografi, $p=0.016$. Boxploten visar median, kvartilavstånd, avvikande värden och extremer.

Two kronutglesningsklasser inom alla provytor.

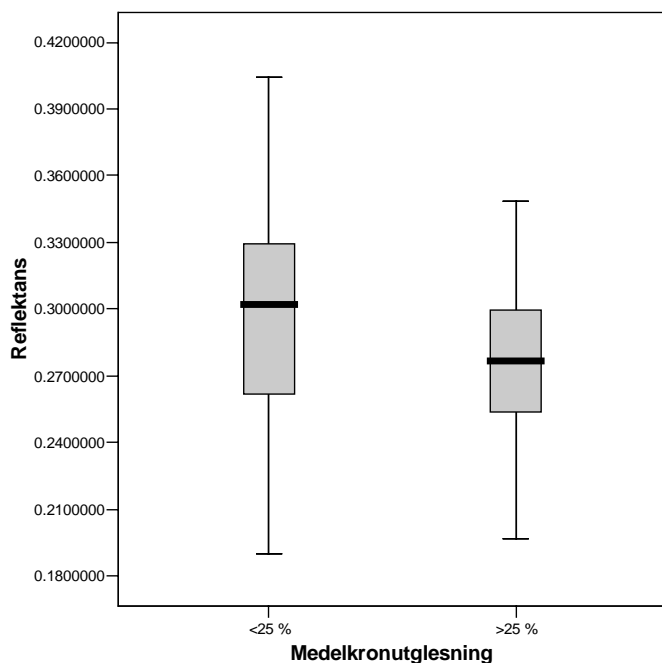
Eftersom reflektanserna hos bok och ek inte skiljer sig mycket åt kan klassen ”alla” vara av intresse för analyser på kronutglesning. Tabell 18 visar resultaten för särskiljning av två kronutglesningsklasser när alla inventeringsytor både korrigerade och okorrigerade för topografi som fanns inom scenens utbredning var med.

Tabell 18. Mann-Whitney test hos band/index mellan <25 % och >25 % kronutglesning för alla provytor.

Band/index	Alla med topografi (n<25=78, n>25=38)	Alla utan topografi (n<25=95, n>25=59)
1 (3x3 filter)	0.079	0.034
2 (3x3 filter)	0.038	0.006
3 (3x3 filter)	0.059	0.056
4 (3x3 filter)	0.009	0.001
5 (3x3 filter)	0.009	0.009
NDVI (3x3 filter)	0.720	0.157
MSI (3x3 filter)	0.495	0.530
SR (3x3 filter)	0.720	0.157
1	0.102	0.897
2	0.601	0.268
3	0.055	0.444
4	0.114	0.006
5	0.050	0.194
NDVI	0.597	0.021
MSI	0.135	0.587
SR	0.597	0.021

Anmärkning: Signifikansnivå i fet stil är statistiskt signifikanta ($p < 0.05$).

Det finns signifikanta skillnader hos många band/index mellan reflektanser med en medelkronutglesning på under 25 %, jämfört med över 25 % om man tittar på alla inventerade ytor. Korrektion för topografi ger en liten försämring i att kunna särskilja kronutglesningsklassen, men det är i stort sett samma enskilda band som visar signifikanser på reflektansen för de olika klasserna. Det bästa enskilda bandet är ETM 4 som visar på hög signifikansnivå oavsett om topografisk korrektion har applicerats eller inte. Boxplot över reflektanserna hos band 4 hos de två klasserna visar att medianen skiljer sig åt, men att hela spektrumet för klasserna överlappar varandra (se figur 20).



Figur 20. Skillnader i reflektans mellan <25 % och >25 % medelkronutglesning med ETM 4 (3x3 filter) utan korrektion för topografi, $p=0.001$. Boxploten visar median, kvartilavstånd, avvikande värden och extremer.

Fyra kronutglesningsklasser

Kruskal Wallis test på de fyra klasserna: 1. oskadat (0-10 %), 2. tendens till skada (11-25 %), 3. skadade (26-60 %) och 4. kraftigt skadade (>60 %) visade att det inte gick att skilja mellan klass 1 och klass 2, samt klass 1 och klass 3 oavsett om bok- respektive ekytor eller alla ytor togs med. Däremot visade det sig finnas signifikanta skillnader mellan klass 2 och 3, men endast när alla provytor togs med, inte hos bok- och ekytor. Klass 4 var ej med i analysen eftersom det inom scenens utbredning fanns någon provyta som hade en viktad medelkronutglesning som var större än 60 %.

4.5 Bhattacharyya distance och maximum likelihood klassificering

En antal olika kombinationer av antal och val av träningsytor och band gjordes vid de två klassningarna för att se hur det påverkade resultatet och ifall det gick att nå upp till en önskvärd separationsnivå på 1.9 – 2.0. Det bästa resultatet erhöles då samtliga band 1 – 5 kombinerades. Eftersom det inte gick att särskilja på kronutglesning <25 % och >25 % inom rena bok- och ekytor (se kap. 4.4), användes alla ytor inom scenens utbredning vid klassificeringen.

Klassning 1

Ofiltrerad data, med träningsytor på 3 x 3 pixlar runt den koordinatsatta provpunkten.

Tabell 19. Bhattacharyya distance separationsmått för klassning 1.

	Värde
Bhattacharyya distance (bästa)	1.72
Bhattacharyya distance (sämsta)	0.70

Vid det erhållna separationsmättet 1.72 var antalet insamlade träningsytor 40 pixlar (360 pixlar totalt) med <25 % kronutglesning och 25 pixlar (225 pixlar totalt) med >25 % kronutglesning. Antalet träningsytor varierade vid de olika analyserna, men låg inom intervallet ± 5 inom respektive klass.

De träningsytor som gav det högsta värdet på Bhattacharyya distance användes sedan vid maximum likelihood klassificeringen. Klassningsnoggrannheten anges i både medelnoggrannhet och totalnoggrannhet samt kappa koefficient och standardavvikelse. Eftersom samma punkter användes vid klassificeringen som vid skapande av träningsytor, ger metoden inte ett objektivt mått på den totala noggrannheten, utan bara ett mått på hur bra träningsytorna klassas. Klassningsresultat för klassning 1 redovisas i tabell 20 och 21.

Tabell 20. Klassningsnoggrannhet för klassning 1.

Statistiskt mått	Värde	Definition
Medelnoggrannhet	50.92 %	Medelvärde för noggrannheten för varje klass
Totalnoggrannhet	59.45 %	Medelvärde för noggrannheten för varje klass/antal träningsytor för klassen
Kappa koefficient	0.08010	Variar mellan -1 och +1 och uttrycker i vilken grad pixlarna i den utvärderade bilden skiljer sig från en slumpmässig klasstillhörighet. Vid en slumpmässig fördelning blir kappa lika med 0, medan en perfekt överensstämmelse ger värdet +1 och en total avsaknad av överensstämmelse ger värdet -1 (Eklundh, 1999).
Standardavvikelse	0.05062	Spridningsmått.

Tabell 21. Matris över hur träningsytorna blev klassificerade i procent för klassning 1.

Klass	0	1	2
1	4.48	86.83	8.68
2	6.82	78.18	15.00

Där:

Klass 1 (vertikalt): Representerar klassen <25 % kronutglesning.

Klass 2 (vertikalt): Representerar klassen >25 % kronutglesning.

Klass 0 (horisontellt): Anger hur många i procent av träningsytorna som representerar klass 1 eller 2, som blev klassade som annat.

Klass 1 (horisontellt): Anger hur många i procent av träningsytorna som representerar klass 1 eller 2, som blev klassade som klassen 1 (<25 % kronutglesning).

Klass 2 (horisontellt): Anger hur många i procent av träningsytorna som representerar klass 1 eller 2, som blev klassade som klassen 2 (>25 % kronutglesning).

Klassning 2

Samma utförande fast med filtrerad data, med träningsytor som endast består av den koordinatsatta provpunkten.

Tabell 22. Bhattacharyya distance separationsmått för klassning 2.

	Värde
Bhattacharyya distance (bästa)	1.33
Bhattacharyya distance (sämsta)	0.54

I klassning 2 var antalet insamlade träningsytor 34 pixlar (34 pixlar totalt) med <25 % kronutglesning och 26 pixlar (26 pixlar totalt) med >25 % kronutglesning vid det erhållna separationsmålet 1.33.

Tabell 23. Klassningsnoggrannhet för klassning 2.

Statistiskt mått	Värde
Medelnoggrannhet	84.01 %
Totalnoggrannhet	82.45 %
Kappa koefficient	0.67285
Standardavvikelse	0.00848

Tabell 24. Matris över hur träningsytorna blev klassificerade i procent för klassning 2.

Klass	0	1	2
1	0.78	71.78	17.44
2	0.00	3.76	96.24

Resultatet från klassificeringarna visar att det inte går att skilja de två klasserna åt fullt ut i något av fallen. Det finns alltså en överlappning i spektrala signaturer mellan de olika klasserna, vilket redan innan har konstaterats (se figur 20). Felmatiserna avslöjar att få ytor blev klassade som klassen 0. Istället blev de klassade som den andra kronutglesningsklassen än var de egentligen tillhörde.

Även om en relativt hög separationsnivå erhöles i klassning 1 (1.72), blev noggrannheten låg. Felmatisen visar att hela 78 % som i träningsytorna skulle tillhöra klassen >25 % kronutglesning, slutligen klassades till <25 % kronutglesning. Endast 15 % av pixlarna klassades rätt. I klassning 2 var separationsmålet lägre men noggrannhetsanalysen och felmatrisen visar på ett bättre resultat än klassning 1. Exempelvis har de träningsytor som användes för att representera >25 % kronutglesning i hela 96 % blivit klassade som densamma. Ingen av träningsytorna som representerar >25 % kronutglesning har dessutom blivit klassade som klassen 0 (annat). Ett sämre resultat kan ses för klassen <25 % kronutglesning, där 17 % blev klassade som den andra kronutglesningsklassen.

5. Diskussion

Tidigare studier främst på barrskog har visat att Landsat TM är ett kapabelt verktyg att studera svår grad av skogsskador med. Däremot har satellitdata som ett verktyg för att studera mild grad av skador på skogen varit i fokus för diskussion. Detta beror på i stor grad att de spektrala skillnader i reflektansen som kronutglesning utgör vid lättare skador är svaga och dessutom väldigt känsliga för förändringar i beståndsparametrar och topografi (Ekstrand, 1994).

5.1 Resultat

Resultatet i studien visar att korrelationerna mellan kronutglesning och reflektans för samtliga band och index för vilka indata som än används är svaga även om statistisk signifikans kan ses i vissa fall. Korrelationsanalyser utfördes mellan medelvärde, median och reflektans. Det viktade medelvärdet hade överlag bäst korrelation med reflektansen, följt av medelvärde som visade liknande resultat dock med en något lägre generell korrelation och till sist median som visade på en relativt låg korrelation. Ett viktat medelvärde av kronutglesningen bör vara det mest rättvisande värdet att använda i analyserna då hänsyn tas till hur många träd som har en viss procent i kronutglesning. Exempelvis kan en yta som har två träd med >80 % kronutglesning och 12 träd med <10 % kronutglesning, vid vanligt beräkning av medelvärde ge en missvisning i hela ytans totala kronutglesning. Vid viktat medelvärde kommer de 12 träden med <10 % kronutglesning att få en större vikt än de två träden med >80 % kronutglesning i den totala kronutglesningen för ytan. Resultatet tyder på att det någon form av viktat medelvärde bör användas vid karteringar av kronutglesning och Landsat data.

Då alla ytor studerades gav filtrerad data högst antal band/index med signifikant samband mellan kronutglesning och reflektans. Alla enskilda band visade en negativ korrelation när filtrerad data ifrån alla ytor analyserades. Vid analyser på endast bokytor visade istället ofiltrerad data på signifikans, speciellt band 4. Överlag visar band 4 på mest signifikanta korrelationer med kronutglesning oavsett vilka indata som används. Alla signifikanta korrelationer med band 4 visar att reflektansen minskar med ökad kronutglesning vilket också har setts i studier av Ekstrand (1994) och Vogelmann (1989). Även band 2 som motsvarar det gröna spektrumet visar i flera fall på en relativt hög korrelation. Detta stämmer med att en minskning i trädskronans biomassa som följer en skada leder till en lägre reflektans, speciellt i den synliga gröna toppen och i den nära infraröda regionen. Ekstrand (1994) fann att TM band 4 var det bästa enskilda bandet och det visade en distinkt minskning av reflektansen med ökad kronutglesning i granskog ($r = -0.75$, $p < 0.001$). Det mellaninfraröda bandet (ETM+ 5) visade också på signifikans i flera fall. Att inte band 7 kunde användas i studien, p.g.a. fel i data kan ha påverkat analyserna då responsen i den mellaninfraröda regionen inte fullt ut kunde undersökas. Ardö (1998) visade vid kartering av kronutglesning på granbestånd att TM band 7 (MIR) var det bästa enskilda bandet på att skilja ut skadeklasser. Att sambanden mellan reflektans och kronutglesning skulle bli avsevärt starkare med band 7 är dock osannolikt, då de spektrala egenskaperna i stor grad liknar band 5. Det bästa av de testade indexen var simple ratio (SR) som visade på signifikanta samband i flera fall.

Eklundh et al. (2003) visade att det bästa enskilda bandet var TM 4 och indexet SR var det bästa för att estimeras LAI hos lövskog i södra Sverige. Att samma band och index visade sig vara bäst även i denna studie visar att kopplingen mellan LAI och kronutglesning är stark. Det svaga sambandet mellan kronutglesning och reflektans i studien, jämfört med tidigare studier kan bero på flera faktorer och diskuteras nedan.

5.2 Metod

Extrahering av satellitdata

Skogsskadeinventeringen 1999 genomfördes under perioden 16/7–27/8 och sammanfaller väl med satellitbilden tagen 11/7, vilket minskar problem som kan uppstå med förändringar över tiden. Reflektansdata från satellitscenen insamlades på två olika sätt. Dels insamlades data utifrån den i inventeringen koordinatsatta provpunkten och dels genom att ett medelvärdesfilter fick samla in reflektanser från en yta på 90 x 90 meter, med provpunkten som mittpunkt. I det första fallet samlades endast reflektansen från den koordinatsatta pixeln in, vilket förmodligen har lett till att en stor del av informationen har gått förlorad. Detta eftersom inventeringen har utgått ifrån provpunkten och sedan inkluderat information om träd i de fyra riktningarna (N, S, V och Ö) 25 m från provpunkten. Tillvägagångssättet gör att det är en stor chans att de inventerade träden inte hamnar i samma pixel som provpunkten. Medelvärdesfiltreringen gjorde att denna information kom med, men det är också stor sannolikhet att även annan information insamlades. Exempelvis kan provpunkten ha befunnit sig i utkanten av ett lövträdsbestånd som angränsat till en granskog. Vid inventeringen har information tagits ifrån träd i riktningarna N, S och W men i Ö är granskogen belägen. Medelvärdesfiltreringen gör att även information om reflektanser från granskogen tas med och detta påverkar såklart den totala reflektansen som sedan extraheras från provpunktspixeln. Dessa två tillvägagångssätt skiljer sig åt och varför signifikanta korrelationer kunde ses för alla ytor när filtrerad data analyserades men inte för ofiltrerad data och där boktyper visade på motsatta resultatet är inte enkelt att förstå.

Att data samlats in pixelvis och inte beståndvis har med stor sannolikhet påverkat resultatet. Ekstrand (1997) fann att en förutsättning för klassificering av kronutglesning är att den görs beståndvis, inte pixelvis. Täthet och artsammansättning skiftar ofta så kraftigt inom bestånden trots ett korrekt beståndsmedelvärde att ca 80 % av pixlarna blir felklassade med pixelvis klassning. För att undkomma detta problem borde data insamlas på homogena bestånd med tydliga gränser som går att urskilja på satellitbilden. Utifrån den inventeringsdata som använts bör man gå igenom varje provpunkt för sig och titta på i vilka väderstreck de inventerade träden befunnit sig och utifrån detta samla in information om reflektanser.

Urval av provpunkter

Ytorna inom satellitscenen delades upp i klasserna bok, ek (>10 träd med >70 % av respektive trädslag) samt klassen alla som tilldelades de ytor som inte hamnade inom kriteriet för bok eller ek. De högsta korrelationerna har erhållits då samtliga ytor analyserats. Detta är något förvånande då en större heterogenitet borde finnas i de ytor som inte innehåller minst 70 % av bok eller ek. Å andra sidan blir antalet ytor fler som

tas med vilket kan påverka de statistiska analyserna. Då endast ekylor analyseras är antalet 20 ytor innan korrektion för topografi är utförd. Efter korrektion för topografi så sjunker antalet till 12 ytor. Så få ytor påverkar de statistiska analyserna och kan vara förklaring till att inga signifikanta korrelationer kan ses då endast ekylor studeras. Ett större antal ytor (>30 st) inom klassen ek hade varit bra ur en statistisk synvinkel. Ytterligare en faktor som kan ha orsakat de låga korrelationerna är att även om >70 % av bok eller ek inom en yta betraktats representera respektive art, inte gör det. Inslag av upp till 30 % av andra arter har sannolikt en stor påverkan på reflektansen från ytan.

Beståndsparametrar

Ekstrand (1994) undersökte vilken påverkan beståndsparametrarna artsammansättning, ålder, densitet (inkl.volym timmer) och underliggande vegetation hade på reflektansen. Resultatet visade att det som hade störst inverkan på reflektansen hos band 4 var inslag av löv, sedan kom ålder, inslag av tall och sist densitet. Påverkan av ålder korrigerades för genom att exkludera bestånd som hade en lägre ålder än 70 år. Vid inventeringen av data som använts i denna studie togs endast bok- och ekylor med som hade en ålder på minst 60 år. Åldern 60 år för bok respektive ek är en låg ålder att anta att reflektansförändringar upphör, med tanke på att Ekstrand exkluderade granbestånd som var yngre än 70 år. Vilken uppnådd ålder på bok respektive ek där reflektansförändringar inte längre uppstår borde undersökas vidare. Ekstrand fann att densitet hade en svag men signifikant korrelation med band 4, men volymen timmer inte hade någon signifikant korrelation med något av banden. En korrigering för detta gjordes genom att bestånd med låg volym timmer (<120 m³/ha) och hög volym timmer (>310 m³/ha) inte ingick i analyserna. Den högsta korrelationen med beståndsparametrar i denna studie återfanns mellan densitet och reflektans på ekylor. Resultatet bör nog dock tolkas med viss försiktighet eftersom antalet ytor endast var 12 stycken. Eftersom granbestånden som undersöktes av Ekstrand var väldigt täta, bortsågs påverkan ifrån underliggande vegetation. Vid studier på bok och ek kan säkert den underliggande vegetationen påverka mer då träden ofta står mycket glesare och glapp kan finnas i lövverket, speciellt vid en hög kronutglesning.

För att studera problemet med artsammansättning utförde Ekstrand en klassning av två kronutglesningsnivåer (<25 % och >25 %) på bestånd med 100 % gran, 85-94 % gran, 75-84 % gran och 65-74 % gran. De övriga procenten utgjordes av lövarter (björk, ek och asp), samt tall. Noggrannhetsanalysen visade att klassningen för bestånden med ca 100 respektive ca 90 % gran var god (93 % respektive 79 % noggrannhet i bästa fall). Vid klassning av bestånd med ca 80 % gran sjönk noggrannheten till ca 70 % och slutligen hade bestånd med 70 % gran en noggrannhet på 61 %. Detta indikerade att artsammansättningen i ett bestånd påverkade reflektansen i stor grad och bör korrigeras för. För att åtgärda problemet skapades en korrektionsmodell baserad på regressionen mellan parametrarna och band 4. En liknade korrektionsmodell borde tas fram och appliceras på inventeringsdatan för att komma ifrån problemet med varierande artsammansättning. Efter att korrektionsmodellen applicerats ökade korrelationskoefficienten mellan reflektans och kronutglesning från 0.75 till 0.81 för band 4, vilket bevisar att en påverkan finns.

Topografi

Variationer i terrängen har också i flera studier visat sig påverka resultatet vid kartläggning av skogsskador. Ekstrand (1996) utvecklade en semiempirisk korrektionsmodell för topografiska effekter på granskog och Landsat TM data under Skandinaviska förhållanden. Algoritmen som användes var en modifiering av Minnaert correction model där nya konstanter beräknades ur den tillgängliga datan. Falkenström (1999) använde sig av korrektionsmodellen och applicerade den på kartering av kronutglesning på granskog med hjälp av satelliten IRS-1C LISS-3. Korrektionen för topografin resulterade i att korrelationskoefficienten (r) ökade från -0.19 till -0.83 för det nära infraröda bandet, vilket tydligt visar dess påtaliga inverkan. När korrektion för topografi applicerades på data i denna studie blev förbättringarna i korrelationen mellan kronutglesning och reflektans mycket små.

Varför korrektionen för topografi inte påverkade resultatet lika mycket som synts i andra studier kan bero på flera faktorer. För det första var variationerna i terrängen mycket små inom studieområdet. Majoriteten av provytorna hade en lutning på $<5^\circ$, till skillnad från studieområdet där SCS modellen verifierades som hade kraftiga variationer i terrängen med lutningar mellan 20 och 40° . Modellen visade sig också fungera bäst när lövverkets täckning översteg 50% , vilket inte har kontrollerats för respektive provyta då data ej fanns att tillgå. Att extrahera lutning och aspekt från en DEM kan också utgöra en felkälla. Väldigt skarpa terrängskillnader mellan 50 meters punkterna kommer inte att synas. Ekstrand (1996) visade att den till 25 meters omsamplade höjddatan gav ett bättre resultat än om den ursprungliga 50 meters höjddatan användes. Ett mer korrekt sätt borde vara att 50 meters DEM omsamplades till Landsats upplösning på 30×30 m och att en filtrering på runtliggande pixlar med provpunkten som centrumpunkt utfördes på samma sätt som vid extraheringen av reflektansen. Detta sätt borde vara mer rättvisande även om inte tvära topografiska skillnader inom eller mellan pixlarna fås med. För att ytterligare kartlägga topografiska effekter hos bok- och ekbestånd i södra Sverige borde nya studier utföras. Olika typer av vegetation ger olika respons på sluttnings- och belysningseffekter och en modell som gäller för all vegetation under alla förutsättningar finns inte.

Atmosfärisk korrektion

En annan faktor som kan ha påverkat resultaten är att ingen korrektion för atmosfäriska effekter utfördes. Andra studier (Ekstrand, 1994, 1996; Falkenström, 1999 och Vogelmann, 1990) utförde alla atmosfäriska korrektioner i form av dark target subtraktion (se kap. 3.2). En dark target subtraktion innebär dock bara att värdena förskjuts och påverkar således inte alls regressions samband. Däremot kan en korrektion med atmosfärsmodell, t.ex. MODTRAN eller 6S påverka värdena icke-linjärt och således även regressionerna. Hur en atmosfärisk korrektion skulle ha påverkat resultaten är svårt att säga. Då bara en scen använts i studien kanske inverkan av atmosfären inte är så stor, men ska flera scener användas med olika datum för bilderna bör absolut någon form av atmosfärisk korrektion göras. Inslagen av dis främst vid Blekinges kust kan också ha påverkat reflektansen. För att undkomma de eventuella problem som diset utgör, borde en korrektion för detta ha gjorts. Det är dock inte så troligt att det varit avgörande för resultatet då endast ett få antal provpunkter låg inom området som var disigt.

Klassificering

Faktorer som påverkar resultatet är val av träningsytor (ska vara homogena och representativa för klassen) och vilka band eller kombinationer av band som används. Utvärderingen gav klassning 1 en noggrannhet på ca 50 % och klassning 2 ca 80 %. Klassning 1 visar alltså att ungefär hälften av pixlarna blir felklassade och i klassning 2 blir ungefär 20 % felklassade. Detta är dock ingen korrekt utvärderingsmetod, men ger ändå ett mått på hur bra klassningen blev. Ska man göra en korrekt utvärdering krävs oberoende data att jämföra med. Med oberoende data menas att andra data ska användas än de som använts vid analysen, annars överskattas klassningsnoggrannheten. Detta betyder att noggrannhetsmått som erhöles i själva verket förmodligen skulle ha varit ännu lägre. En faktor som kan ha bidragit till den låga noggrannheten var att ingen lövskogsmask applicerades på data. För att plocka ut endast lövskog använde Olthof (2004) sig av skogsdata i form av vektorer. Denna överlagrades med den klassade bilden och osäkerhet mellan lövskog och andra klasser minskade i stor grad. Noggrannheten i klassningen ökade från 59 % till 91 % (3 skadeklasser: Hög skada >51 % kronutglesning, medium skadat 26-50 % kronutglesning och lite skadat <26 % kronutglesning). Denna stora förändring i noggrannhet är dock inte så troligt att man skulle se i denna studie, eftersom det inte var så många pixlar som blev klassade som klassen 0 (annat) utom som den andra av kronutglesningsklasserna.

Storleken på träningsytorna som insamlats påverkar också. De måste vara stora nog för att representera den spektrala signaturen för klassen på ett korrekt sätt. Joyce (1978) rekommenderar att varje träningsyta bör vara minst 4 ha och helst bör de vara 16 ha stora. För små träningsytor kan vara svåra att lokalisera och dessutom kanske de inte representerar hela spektrumet för klassen. För stora träningsytor kan däremot öka sannolikheten för spektral heterogenitet och Joyce rekommenderar 65 ha som maximum. Dessa rekommendationer är grundade på MSS data med en upplösning på ca 80 m. Direkt applicering på ETM+ data ger minimum på ca 1.5 ha och maximum på ca 25 ha. I studien var storleken på träningsytorna i samtliga fall <1 ha, vilket förmodligen var negativt för de statistiska analyserna. Homogenitet i träningsytorna är också en förutsättning för en korrekt klassning. Trots att träningsytorna undersöktes med histogram som visade på homogenitet blev resultatet för klassningen inte speciellt tillfredställande. Detta kan kanske bero på klassindelningen av skadeklasser på kronutglesning.

Klassificering av kronutglesning förutsätter att man delar in kontinuerliga data av skada till diskreta skadeklasser. Gränserna mellan skadeklasserna är artificiella och subjektiva, vilket begränsar klassningens korrekthet. Exempelvis görs i denna studie en skillnad på en yta med 24 % kronutglesning från en yta med 26 % kronutglesning. Egentligen är skillnaden mellan ytorna nästan obefintliga och inte signifikanta, speciellt i förhållande till precisionen i den i fält bedömda kronutglesningen. Inventeringen har dessutom utförts av ett flertal personer som trots samma tillvägagångssätt bedömer kronutglesningen individuellt vilket kan påverka resultatet. Detta problem med subjektiv bedömning tas också upp i SVO 2000:6.

Landsat ETM+ potential på skogsskador

Det finns också en möjlighet att det inte finns något starkt samband mellan kronutglesning och Landsat ETM+ reflektanser under de givna förhållandena. Landsat ETM+ kan alltså vara ett inkapabelt verktyg för att studera skador på bok och ek med. Tidigare studier har dock visat ett starkare samband mellan kronutglesning och Landsat reflektanser, vilket motsäger resultatet i denna studie. Som tidigare diskuterats behövs det korrigeras för en mängd olika parametrar. För att kunna utföra dessa korrigeringar behövs en mängd insamlad data som ofta kräver fältundersökning. Detta betyder att man inte helt kan ersätta fältundersökningar med satellitbildsanalys och även om en korrigering skulle utföras för en mängd parametrar som påverkar reflektansen är det möjligt att ett svagt samband kvarstår.

5.3 Möjligheter för framtida studier

Summering av resultaten i studien visar att ett av problemen för kartering av kronutglesning på bok och ek utifrån befintlig inventeringsdata, sannolikt är hur den är insamlad gentemot Landsats spatials upplösning. Att enstaka träd i olika riktningar och avstånd utifrån den koordinatangivna punkten bedömts i relativt heterogena bestånd gör att de spektrala reflektanserna kan variera kraftigt. Dessutom kan ett medelvärde på kronutglesningen för en yta vara missvisande, speciellt om en stor variation finns. För att minimera dessa problem utifrån hur inventeringen är utförd kan en mer högupplöst satellitdata vara fördelaktigare. Satellitsystemet SPOT har i den senaste versionen en upplösning på 10 x 10 meter. Användning av detta system skulle förbättra möjligheten att kunna urskilja enskilda träd och beståndsgränser. Generellt har Landsatsystemen dock visat på bättre precision än SPOT systemen i tidigare studier (Ekstrand, 1999), men med en bra kalibrering bör dessa kunna jämföras. För att komma undan problemen som kan vara en orsak till det i denna studie svaga samband, bör en korrigering utföras för både beståndsparametrar och variationer i terrängen oavsett vilket satellitsystem som används. En korrektionsmodell som tar hänsyn till främst artsammansättningen och topografien och som går att applicera på inventeringsytorna under de givna förhållandena bör vara det steg man måste ta för att vidare undersöka den satellitbaserade teknikens potential på de inventeringsdata som finns. Detta bör göras för att minimera parametrarnas påverkan och på så sätt kontrollera ifall satellitbaserad fjärranalys är ett kapabelt verktyg för att kartera skogsskador på bok- och ekbestånd. Ett annat sätt att kringgå denna procedur, som kan vara komplicerad och tidskrävande är att utföra analyser på mer homogena bestånd med starkare gränser för att vidare undersöka ifall det svaga sambandet beror på hur fältdata är insamlat.

Andra angreppssätt kan vara att utföra en förändringsanalys med satellitbilder från olika årtal t.ex. utifrån tillgänglig data 1988 och 1999 för att studera eventuella skillnader i reflektansen till följd av ökande kronutglesning. Man kan också tänka sig att integrera annan miljöinformation med satellitdata som markkemi, speciellt basmättnadsgrad som visat sig ha ett signifikant samband med kronutglesning.

6. Slutsatser

Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata i form av Landsat ETM+, med en upplösning på 30 x 30 m har undersökts. Som underlag till studien har Skogsstyrelsens inventeringsdata från 1999 använts (SVO 2000:6). Kronutglesning har representerat skadegraden och dess relation till reflektans ifrån inventeringsytorna har studerats. Vidare har analyser gjorts på huruvida oskadade bestånd (<25 % kronutglesning) kan skiljas ut från skadade bestånd (>25 % kronutglesning). Slutligen har det undersökts om en klassificering på kronutglesning är möjlig, utifrån inventeringsdata som finns tillgänglig. Slutsatserna från studien kan summeras enligt följande:

1. Det finns en signifikant negativ korrelation mellan kronutglesning och Landsat ETM+ reflektanser hos flera band och kombinationer av band. Sambanden är dock för svaga för att kunna användas vid skadekartering.
2. Flest signifikanta korrelationer mellan kronutglesning och Landsat ETM+ reflektanser återfinns då alla inventeringsytor används. Om endast ytor med bok analyseras minskar antal band/index med signifikanta korrelationer. Hos ytor med endast ek återfinns inga signifikanta korrelationer överhuvudtaget.
3. Korrektion för topografiska effekter påverkade inte korrelationerna i hög grad. Detta beror förmodligen på att variationer i terrängen inom studieområdet var små och att den använda korrektionsmodellen var framtagen under förhållanden med stor topografisk variation.
4. Det bästa enskilda bandet för kronutglesningsestimering är det nära infraröda bandet (ETM+ 4). Även det gröna synliga bandet (ETM+ 2), samt det mellaninfraröda bandet (ETM+ 5) visar på signifikans i flera fall. Bland indexen visar sig SR (ETM+ 4/ETM+ 3) vara bäst på kronutglesningsestimering.
5. Beståndsparametrar såsom densitet, medelålder på beståndet och underliggande markvegetation påverkar reflektansen och kan därför behövas korrigeras för.
6. Det går att skilja ut ytor med kronutglesning på över respektive under 25 % om man tittar på alla inventerade ytor, även om klassernas reflektanser överlappar varandra. Däremot går det inte att skilja mellan de två kronutglesningsklasserna då rena bok- och ektytor studeras. Signifikanta skillnader i reflektans från bok respektive ek kan ses, men endast om inte data korrigerats för topografi. De spektrala signaturerna för bok och ek samt klasserna <25 % och >25 % kronutglesning överlappar varandra, vilket gör det svårt att skilja dom åt.
7. Klassificeringen bekräftar att de två kronutglesningsklasserna (<25 % och >25 % kronutglesning) är svåra att separera. Endast ca 50 % respektive ca 80 % av träningspixlarna blev rätt klassade i de två klassificeringsförsöken.

8. Hur inventeringsdata är insamlad gentemot Landsat ETM+ upplösning på 30 x 30 meter kan vara en förklaring till den svaga korrelationen och svårigheten att klassificera kronutglesningen. Data är insamlad i heterogena bestånd, där enskilda träd har bedömts i olika riktningar och avstånd från de kända koordinatsatta punkterna.
9. Det finns också en möjlighet att den svaga korrelationen och svårigheten att klassificera data beror på att det är ett svagt samband mellan kronutglesning och Landsat ETM+ reflektanser.

Författarens tack och tillkännagivanden

Jag skulle vilja tacka flera personer för hjälp och inspiration till detta arbete. Först och främst vill jag tacka min handledare i fjärranalysdelen, Lars Eklundh vid Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys vid Lunds universitet för värdefull handledning, problemlösning och ”feedback”. Ett stort tack vill jag också rikta till min handledare i den ekologiska delen, Kerstin Sonesson, vid Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU, Alnarp för upplägg av arbetet, värdefulla tips och idéer om hur studien kunde genomföras. Ett stort tack vill jag även rikta till Skogsstyrelsen i Jönköping för att jag fick använda data från inventeringarna av bok och ek i södra Sverige till studien. Jag skulle också vilja tacka följande personer för idéer och lån av material.

Jonas Ardö Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys, Lunds universitet

Thomas Hickler Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys, Lunds universitet

Samt alla examensarbetare och anställda vid Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys.

Referenser

- Alhcróna, E. & Johansson, Thomas. (2003): *Ädellövskogskartering med satellitdata i Kalmar län, test av operativ metod*. Rapport för Rymdstyrelsen och Naturvårdsverket, Metria 2003, 57 s.
- Anon. (1999): *Forest Condition in Europe. Results of the 1998 crown condition survey*. 1999 Technical Report. UN/ECE and EC. Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg, Germany.
- Ardö J. (1998): *Remote Sensing of Forest Decline in the Czech Republic*. Meddelanden från Lunds Universitet geografiska institutioner, avhandlingar 135. Lunds University Press, 47 s.
- Börjars, E. (red) Nämnden för skoglig fjärranalys (1993): *Flygbildsteknik och Fjärranalys*. Skogsstyrelsens förlag, 426 s.
- Campbell J. B. (2002): *Introduction to Remote Sensing, Third edition*. Taylor & Francis Ltd, 620 s.
- Eklundh, L (red). (1999): *Geografisk informationsbehandling – metoder och tillämpningar*. Andra reviderade upplagan, 2001. Byggnadsrådet, Stockholm, 351 s.
- Eklundh, L., Hall, K., Eriksson, H., Ardö, J., och Pilesjö, P. (2003): Investigating the use of Landsat thematic mapper for estimation of forest leaf area index in southern Sweden. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **29**(3): 349-362.
- Ekstrand, S. (1994): Assessment of forest damage with Landsat TM: Correction for varying forest stand characteristics. *Remote Sensing of Environment* **47**: 291-302.
- Ekstrand, S. (1996): Landsat TM-based forest damage assessment: Correction for topographic effect. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **62**(2): 151-161.
- Ekstrand, S. (1997): *Kartläggning av kronutglesning i Västernorrland med satellitbilder*. IVL Rapport B 1255, 28 s.
- Engberg, A. (2002): *Produktspecifikation av Svenska CORINE Marktäckedata*. Lantmäteriet, SCMD-0001, 8 s.
- Falkenström H. (1999): *Evaluation of IRS-1C LISS-3 satellite data for Norway spruce defoliation assessment*. IVL Rapport B 1321, 24 s.
- Gu, D. & Gillespie, A. (1998): Topographic normalization of Landsat TM images of forest based on subpixel sun-canopy-sensor geometry. *Remote Sensing of Environment*, **64**: 166-175.
- Jordan, C.F. (1969): Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* Vol. **50**: 663-666.
- Joyce, A. T. (1978) *Procedures for gathering ground truth information for a supervised approach to computer-implemented land cover classification of Landsat-acquired Multispectral Scanner data*. NASA Reference Publication 1015, 43 s.
- Kailath, T. (1967): The Divergence and Bhattacharyya distance measure in signal selection, *IEEE Trans. Communication Theory*, COM- **15**:52-60.
- Lunetta R. S. & Elvidge C. D. (1999): *Remote Sensing Change Detection- Environmental Monitoring Methods and Applications*. Taylor & Francis Ltd, 318 s.

- Manion, P.D. (1991): *Tree disease concept, Second edition*. Prentice Hall, 402 s.
- Markham, B. L., & Barker, J., L. (1987): Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, **8(3)**: 517-523.
- Olthof I, King D. J., Lautenschlager R. A. (2004): Mapping deciduous forest ice storm damage using Landsat and environmental data. *Remote Sensing of Environment*, **89**: 484-496.
- Richards, J. A. & Xiuping, J. (1999): *Remote sensing digital image analysis, an introduction, 3rd edition*. Springer-Verlag, Berlin, 363 s.
- Rouse, J.W.J., Haas, R.H., Schell, J.A., och Deering, D.W. (1974): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 10-14 Dec. 1973, Washington D.C. Edited by S.C. Freden, E.P. Marcanti, and M.A. Becker. NASA SP-351, Scientific and Technical Information Office, NASA, Washington D.C. s. 309-317.
- Sonesson, K. och Anderson, S. (2000): *Skogsskadeinventering av bok och ek i Sydsvrige 1999*. Skogsstyrelsen Rapport 6, 2000 (**SVO 2000:6**). Skogsstyrelsens förlag, Jönköping, 56 s.
- Vogelmann, J. E., & Rock, B. N. (1989): Use of Thematic Mapper data for the detection of forest damage caused by the Pear Thrips. *Remote Sensing of Environment*, **30**: 217-225.
- Vogelmann, J. E. (1990): Comparison between two vegetation indices for measuring different types of forest damage in the north-eastern United States. *International Journal of Remote Sensing*, **11(12)**: 2281-2297.
- Wiegand, C. L., Richardson, A. J., och Kanemasu, E. T. (1979): Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. *Argon. Journal* **15**:336-342.
- Wijk, S. (1989): *Skogsskadeinventering av bok och ek 1988 i Skåne, Blekinge och Halland*. Skånelänens samrådsgrupp mot skogsskador. Skogsstyrelsen rapport 7/89 (**SVO 1989:7**). Skogsstyrelsens förlag, Jönköping
- Wijk, S. (2000): *Fjärranalystillämpningar inom skogsskadeövervakningen*. Anteckningar från diskussion vid möte på SKS 15/2 2000, 3 s.

Internetkällor

- Eichhorn, J., Szepesi, A., Ferreti, M., Durrant, D., Roskams, P. (2004): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Part II: Visual assessment of crown condition*. Hämtat från >http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt2_compl2004.pdf<. Hämtat 15 augusti, 2005.
- Ekstrand, S. (1999): Remote sensing for ecological forest monitoring at local, national and Pan-European levels. *Rogow 99 Conference*. Hämtat från >http://rogow99.sggw.waw.pl/08_session_4/02/index.htm<. Hämtat 22 mars, 2005.
- Landsat 7 science data users handbook (2003). Hämtat från >http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook_toc.html<. Hämtat 3 mars, 2003.
- Nationalencyklopedin, NE (2005). Hämtat från ><http://www.ne.se><. Hämtat 22 aug, 2005.

Appendix

Tabell 1. ETM+ spektrala radians område ($\text{Wm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) före 000701 (Landsat 7 science data users handbook , 2003).

Band	Low gain		High gain	
	Lmin	Lmax	Lmin	Lmax
1	-6.2	297.5	-6.2	194.3
2	-6.0	303.4	-6.0	202.4
3	-4.5	235.5	-4.5	158.6
4	-4.5	235.0	-4.5	157.5
5	-1.0	47.70	-1.0	31.76
6 (termalt)	0.0	17.04	3.2	12.65
7	-0.35	16.60	-0.35	10.932
8 (pankromatiskt)	-5.0	244.00	-5.0	158.40

Tabell 2. ETM+ spektrala solirradianser ($\text{Wm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$) (Landsat 7 science data users handbook , 2003).

Band	$\text{Wm}^{-2}\text{Sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$
1	1969.000
2	1840.000
3	1551.000
4	1044.000
5	225.700

Tabell 3. Sol – jord distans i astronomisk enhet (Landsat 7 science data users handbook , 2003).

Juliansk dag	Distans dag	Juliansk dag	Distans dag	Juliansk dag	Distans dag	Juliansk dag	Distans dag	Juliansk dag	Distans dag
1	0.9832	74	0.9945	152	1.0140	227	1.0128	305	0.9925
15	0.9836	91	0.9993	166	1.0158	242	1.0092	319	0.9892
32	0.9853	106	1.0033	182	1.0167	258	1.0057	335	0.9860
46	0.9878	121	1.0076	196	1.0165	274	1.0011	349	0.9843
60	0.9909	135	1.0109	213	1.0149	288	0.9972	365	0.9833

Tidigare seminarieuppsatser

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serie startade 1985.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.
Report series started 1985.

64. Elmqvist, B., Lundström, J., (2000): The utility of NOAA AVHRR data for vegetation studies in semi-arid regions.
65. Wickberg, J., (2000): GIS och statistik vid dräneringsområdesvis kväveläckagebeskrivning i Halland.
66. Johansson, M., (2000): Climate conditions required for re-glaciation of cirques in Rassepautasjtjåkka massif, northern Sweden.
67. Asserup, P., Eklöf, M., (2000): Estimation of the soil moisture distribution in the Tamne River Basin, Upper East Region, Ghana.
68. Thern, J., (2000): Markvattenhalt och temperatur i sandig jordbruksmark vid Ils-torp, centrala Skåne: en mättnings- och modelleringsstudie.
69. Andersson, C., Lagerström, M., (2000): Nitrogen leakage from different land use types - a comparison between the watersheds of Graisupis and Vardas, Lithuania.
70. Svensson, M., (2000): Miljökonsekvensbeskrivning med stöd av Geografiska Informationssystem (GIS) – Bullerstudie kring Malmö-Sturup Flygplats.
71. Hyltén, H.A., Ugglå, E., (2000): Rule-Based Land Cover Classification and Erosion Risk Assessment of the Krkonoše National Park, Czech Republic.
72. Cronquist, L., Elg, S., (2000): The usefulness of coarse resolution satellite sensor data for identification of biomes in Kenya.
73. Rasmusson, A-K., (2000): En studie av landskapsindex för kvantifiering av rumsliga landskapsmönster.
74. Olofsson, P., Stenström, R., (2000): Estimation of leaf area index in southern Sweden with optimal modelling and Landsat 7 ETM+Scene.
75. Ugglå, H., (2000): En analys av nattliga koldioxidflöden i en boreal barrskog avseende spatial och temporal variation.
76. Andersson, E., Andersson, S., (2000): Modellering och uppmätta kväveflöden i energiskog som bevattnas med avloppsvatten.
77. Dawidson, E., Nilsson, C., (2000): Soil Organic Carbon in Upper East Region, Ghana - Measurements and Modelling.
78. Bengtsson, M., (2000): Vattensänkningar - en analys av orsaker och effekter.
79. Ullman, M., (2001): El Niño Southern Oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
80. Andersson, A., (2001): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
81. Laloo, D., (2001): Geografiska informationssystem för studier av polyaromatiska kolväten (PAH) – Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra

- hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
82. Almqvist, J., Fergéus, J., (2001): GIS-implementation in Sri Lanka.
Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study.
Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
 83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
 84. Umegård, J., (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
 85. Rosenberg, R., (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk – en studie i norra Island.
 86. Håkansson, J., Kjörling, A., (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie.
 87. Arvidsson, H., (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf – A study of barrier morphodynamics.
 88. Bemark, M., (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan.
 89. Dahlberg, I., (2002): Rödlistade kärlväxter i Göteborgs innerstad – temporal och rumslig analys av rödlistade kärlväxter i Göteborgs artdataarkiv, ADA.
 90. Poussart, J-N., (2002): Verification of Soil Carbon Sequestration - Uncertainties of Assessment Methods.
 91. Jakubaschk, C., (2002): Acacia senegal, Soil Organic Carbon and Nitrogen Contents: A Study in North Kordofan, Sudan.
 92. Lindqvist, S., (2002): Skattning av kväve i gran med hjälp av fjärranalys.
 93. Göthe, A., (2002): Översvämningsskartering av Vombs ängar.
 94. Lööv, A., (2002): Igenväxning av Köphultasjö – bakomliggande orsaker och processer.
 95. Axelsson, H., (2003): Sårbarhetskartering av bekämpningsmedels läckage till grundvattnet – Tillämpat på vattenskyddsområdet Ignaberga-Hässleholm.
 96. Hedberg, M., Jönsson, L., (2003): Geografiska Informationssystem på Internet – En webbaserad GIS-applikation med kalknings- och försurningsinformation för Kronobergs län.
 97. Svensson, J., (2003): Wind Throw Damages on Forests – Frequency and Associated Pressure Patterns 1961-1990 and in a Future Climate Scenario.
 98. Stroh, E., (2003): Analys av fiskrättsförhållandena i Stockholms skärgård i relation till känsliga områden samt fysisk störning.
 99. Bäckstrand, K., (2004): The dynamics of non-methane hydrocarbons and other trace gas fluxes on a subarctic mire in northern Sweden.
 100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
 101. Lina Möllerström (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
 102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
 103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
 104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka

105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
106. Sjöström, M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
107. Danilovic, A., Stenqvist, M., (2004): Naturlig föryngring av skog
108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tolleback, E.,(2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacsson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogområden i södra Sverige.