

Lunds Universitets Naturgeografiska Institution

Seminarieuppsatser Nr. 83

**Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med
hjälp av en strålningsmodell**

Anna Berntsson



2001

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



Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
ABSTRACT	3
1. INLEDNING	4
1.1 MODELLERING OCH FJÄRRANALYS	4
1.2 SYFTE	4
1.3 BETFAKTA	5
2. STRÅLNINGSTEORI	6
2.1 ELEKTROMAGNETISK STRÅLNING	6
2.2 BLADETS INTERNA STRUKTUR	7
2.3 BLADETS SPEKTRALA EGENSKAPER	7
2.4 CANOPY REFLECTANCE; ETT BESTÅNDS REFLEKTANS	8
3. MODELLTEORI	10
3.1 CANOPY REFLECTANCE MODELLER	10
3.2 MODELLBESKRIVNING MCRM	11
3.2.1 Inparametrar till MCRM-modellen	13
4. METOD	14
4.1 MÄTUTRUSTNING	14
4.2 FÄLTMÄTNINGAR	14
4.3 LABORATORIEMÄTNINGAR	14
4.4 JÄMFÖRELSE AV UPPMÄTT OCH MODELLERAD REFLEKTANS	15
4.4.1 Beräkning av bladmedianvinkel (θ_m) och bladexcentricitet (ϵ)	15
4.4.2 PROSPECT modellen	16
4.4.3 Beräkning av Prices jordparametrar	16
4.5 PARAMETERSKATTNING FÖR SIMULERING AV SCENARIO "VÅR"	17
4.6 UTFÖRANDE AV SIMULERING SCENARIO "VÅR"	18
4.7 KÄNSLIGHETSANALYS	19
5. RESULTAT	21
5.1 REFLEKTANSVÄRDEN: MCRM OCH FÄLTMÄTNINGAR	21
5.2 RESULTAT AV KÄNSLIGHETSANALYS	22
5.3 RESULTAT AV SIMULERING	24
5.4 KÄNSLIGHETSANALYS PÅ SIMULERINGSPARAMETRAR	25
6. DISKUSSION	27
6.1 FELKÄLLOR	28
7. SAMMANFATTNING	30
8. REFERENSER	31
8.1 LITTERATUR:	31
8.2 INTERNETREFERENSER:	33
BILAGA 1: BERÄKNINGAR AV PRICES PARAMETRAR	34

Abstract

The Multispectral Canopy Reflectance Model (MCRM) by Kuusk (1995) has been used to simulate the reflectance of a sugarbeet canopy. The simulated reflectance values show high absorptance in the VIS area, compared to field measurements, and high reflectance values in the NIR area. The errors may be due to overestimation of chlorophyll content in the sugarbeet leaves and scattered light during field measurements. The estimation of the chlorophyll content where carried out using the PROSPECT-model by Jacquemoud & Baret (1990).

During the vegetation period, the state of the canopy moves towards a closed canopy, with sparse vegetation in spring. The MCRM-model was used to perform a “spring” simulation, which was compared to the original simulation. It accurately described the differences in reflectance between the dense and sparse canopies. The background, i.e. the soil, has larger influence on the canopy reflectance when the canopy is sparse, while the influence from LAI and chlorophyll lessens. The sensitivity of the model changes with the canopy characteristics. In a closed or dense canopy, the leaves completely cover the ground and the sensitivity for leaf properties are high. The sensitivity patterns for a sparse canopy shows a larger sensitivity to soil properties and lesser sensitivity to leaf properties.

1. Inledning

1.1 Modellering och fjärranalys

Ett av de vanligaste användningsområdena för fjärranalys är vegetationskartering av olika slag. Det kan röra sig om rena vegetationskartor där man enbart skiljer på några få sorters skog, odlad mark/betesmark och bebyggda områden. I mer avancerade tillämpningar vill man åt mer kvantitativa data. Detta innebär att man måste få ut mer information ur fjärranalysdata än vad man har krävt tidigare. Vill man bedöma kvantitativa parametrar som Leaf Area Index (bladyteindex, kommer härnäst att förkortas LAI) eller biomassa med hjälp av statistiska samband, där den uppmätta reflektansen sätts i direkt relation till de vegetationsattribut man vill mäta, kommer resultatet med all sannolikhet inte bli speciellt bra. De faktorer som bestämmer ett bestånds reflektans är många och interaktionen mellan strålningen och vegetationsbeståndet är för komplex för att kunna beskrivas med enkla förhållanden (Asrar *et al* 1989). En lösning på problemet är att man ute i fält mäter träningsytor, och försöker bestämma statistiska samband mellan objekten och dess spektrala signatur (Goel 1989). Detta sätt är dock tidsödande och dyrt. Dessutom är träningsytorna begränsade att gälla endast till de arter och under de förhållanden de har blivit framtagna. Därför har forskare under många år tagit fram och testat olika generella metoder att få fram mer kvantitativ information ur fjärranalysdata. En sådan metod är fysikalisk reflektansmodellering, där man tar hänsyn till många olika egenskaper hos beståndet. Egenskaperna hos beståndet beskrivs genom parametrar som sedan tas in i modellen när reflektanskurvan ska beräknas. LAI och klorofyllhalt är två vanliga parametrar som används för att beskriva egenskaper hos beståndet. Beroende på bladens storlek och dess klorofyllinnehåll får parametrarna olika värden och reflektanskurvan som modellen genererar ser annorlunda ut för varje nytt parametervärde. Reflektansen varierar med beståndets egenskaper. Fysikaliska modeller kan inverteras och fungerar då i omvänd riktning. Den appliceras på ett uppmätt reflektansspektra, som t ex kan bestå av satellitdata, och resultatet av modelleringen blir de parametrar som beskriver beståndets egenskaper. (Asrar *et al* 1989). Detta är även målet med att använda fysikaliska modeller inom fjärranalys. Man vill med utgångspunkt i fjärranalysdata kunna beräkna LAI och andra kvantitativa vegetationsparametrar. MCRM-modellen av Kuusk (1995a, 1995b) är en sådan modell. Den är framtagen för att användas på fjärranalysdata för att bestämma främst LAI, men även andra vegetationsparametrar. Den används ibland som modell för undervegetationen vid skogsmodellering och kan därför vara lämplig att använda på odlad mark.

1.2 Syfte

Arbetets mål är att testa hur väl det MCRM-modellerade reflektansspektrat stämmer överens med fältuppmätta spektra. Scenariomodelleringar kommer att spegla olika faser i plantornas tillväxt och hänsyn kommer att tas till bakgrundens inverkan på reflektansen från ett bestånd. Slutligen kommer frågan om fjärranalys är användbart för mätning av sockerbets LAI att diskuteras.

I punktform:

- Test om MCRM-modellen kan användas för att simulera fältförhållandena.
- Visa hur reflektansen förändras under växtsäsongen p g a plantornas tillväxt, med hjälp av scenariomodelleringar med MCRM-modellen.
- Analysera hur bakgrundsreflektansen kan påverka möjligheterna till bestämning av LAI med fjärranalys.
- Utvärdera vilka parametrar som är viktigast för modellen i de olika scenarierna.

1.3 Betfakta

Sockerbetan heter på latin *Beta vulgaris* var. *altissima* och är nära släkt med mangold (var. *cicla*), rödbeta (var. *vulgaris*) och foderbeta (var. *rapacea*). I Norden är sockerbetans vanligaste förekommande vilda släkting strandbetan; *Beta vulgaris* ssp. *maritima* (Mossberg *et al*, 1992). Sockerbetan tillhör familjen är Chenopodiaceae (mållväxter) och den tillhör *Beta*-släktet (betor). Sockerbetan är huvudråvara vid framställning av socker. I Sverige har sockerbetor odlats sedan slutet av 1800-talet, odling och förädling av betor går dock tillbaka till antiken (internetreferens 1). I Sverige odlas sockerbetor endast i södra delen på grund av betans krav på klimat och jordmån. Ungefär 90 procent av sockerbetsodlingen sker i Skåne, Blekinge och södra Halland, resterande del på Gotland, Öland och i Kalmar-regionen. Under den s k betkampanjen - som pågår från mitten av september till årsskiftet - skördar bönderna betorna och levererar dem efter en noggrant uppgjord leveransplan till sockerbruket, där sockret utvinns. Arealen som odlas med sockerbetor uppgår till ca 60000 hektar. Sockerbetan består till ca 75% av vatten, 17-18% socker, 5-6% betfiber och 2-3% övrigt, bl a mineralämnen. Av betans sockerinnehåll kan nästan 90% utvinnas till vitt socker. Resten blir kvar i den melass som används vid framställning av djurfoder och jästillverkning (internetreferens 2).



Figur 1. Sockerbeta: *Beta vulgaris* var. *altissima*

2. Strålningsteori

2.1 Elektromagnetisk strålning

Alla objekt, utom de som befinner sig vid absoluta nollpunkten, sänder ut elektromagnetisk strålning. Vissa objekt reflekterar strålning som utsänts av andra objekt. Den största källan till den elektromagnetiska strålning som når jorden är solen. Den kanske viktigaste delen av det elektromagnetiska spektrat är det synliga ljuset, vilket utgör endast en liten del av det elektromagnetiska spektrat. Den allra största delen av spektrat utgörs av strålning som det mänskliga ögat inte kan uppfatta (Campbell 1996, Young 1992).

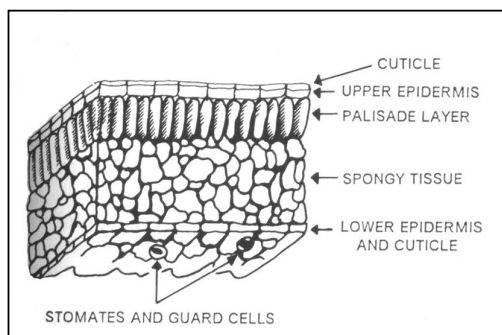
Strålningen passerar genom atmosfären innan den når jordytan. Här kan strålningen antingen absorberas eller spridas. Spridning heter på engelska scattering, och denna benämning används allmänt, även på svenska. När strålningen absorberas tas energin upp av objektet som strålningen träffar. Scattering kan ske på två sätt; genom reflektion eller transmission (Goel 1989). Reflektion innebär att strålningen "studsar" på något objekt och får en ny riktning. Om ytan på objektet är slät i jämförelse med våglängden reflekteras nästan allt ljus i samma riktning. Detta kallas för spekulär eller direkt reflektion. Om ytan däremot är ojämn kommer den att fungera som en diffus eller isotropisk reflektor och strålningen kommer att spridas nästan jämnt fördelat åt alla håll. När det gäller synligt ljus fungerar många naturliga ytor, t ex åkermark eller skog, som diffusa reflektorer. En perfekt diffus reflektor, ofta kallad Lambert-yta, skulle framträda som lika ljusstark från vilket håll man än betraktade den. Naturliga ytor är inte perfekta diffusa reflektorer och visar ofta upp komplexa reflektionsmönster som bestäms av ytans utseende, t ex form och orientering på blad. Ofta använder man istället en matematisk beskrivning på en ytas optiska beteende. Denna kallas bidirectional reflectance distribution function, kort BRDF. BRDF är dubbelriktad (bidirectional) eftersom den tar hänsyn till både illuminationsvinkeln och betraktelsevinkeln. BRDF visar ofta upp en reflektanstopp om ljuskällan (oftast solen) är direkt bakom sensorn man mäter med. Denna reflektanstopp, eller "hot spot" som den kallas, uppstår eftersom den del av objektet som är mätbart med sensorn är helt illuminerad och inga skuggningseffekter uppstår (Asrar et al 1989, Campbell 1996, Goel 1989, Young 1992)

Den del av strålningen som inte reflekteras eller absorberas när det når jordytan kan istället refrakteras, d v s fortsätta från luften i atmosfären till nästa medium, som kan vara t ex bladvävnad. När strålning passerar genom ett medium utan att försvagas märkbart kallas det transmission. Transmission kan ske nästan totalt eller selektivt. Till exempel är blad generellt nästan helt opaka för synligt ljus, men transmitterar stor del av den inkommande strålningen inom det infraröda (IR) området (Campbell 1996) Infallande strålning kan spridas många gånger efter sin första kontakt med jordytan. Den kan "studsa" flera gånger mellan närliggande objekt. Man kan tala om single scattering och multiple scattering; strålning som interagerar med en yta endast en gång och strålning som interagerar med en yta flera gånger. Denna uppdelning är nödvändig för att förstå vad som påverkat strålningen innan den når en sensor. Multiple scattering finns på alla skalnivåer större än strålningens våglängd och hur stor den blir styrs av hur stora ytans formelement är och vilken reflektivitet ytan har, samt illuminationen från solen och diffus irradians från atmosfären (Li et al 1998). Multiple scattering ökar med ytans reflektivitet och formelementens storlek. Andelen multiple scattering varierar därför med variationer i strukturen hos ett bestånd. Vid

mätning kommer då spridningen att förskjuta reflektansspektrat och ändra dess amplitud. Multiple scattering kan utgöra upp till ca 5 % av den totala reflektionen från en yta. (Gillespie et al 1999, Leblanc & Chen 1997, Li et al 1998). För tillfället finns endast lite empirisk information om scattering från olika typer av blad. Därför antar man oftast att spridningen är isotropisk, alternativt att den representeras av en idealiserad scattering-transfer funktion (Myneni et al 1989). I MCRM-modellen representeras spridningen av en scattering-transfer funktion (Kuusk 1995a).

2.2 Bladets interna struktur

Ett blad består av ett flertal olika lager med sinsemellan olika uppbyggnad och funktion (se fig. 2). Det översta lagret kallas övre epidermis och är täckt med ett lager av bladvax som förhindrar läckage av vatten. Det understa lagret kallas följaktligen för nedre epidermis och är i nästan alla avseenden identisk med den övre epidermalvävnaden. Dock finns i det understa lagret stomata, som är små öppningar med tillhörande vaktceller som kan stänga till öppningarna vid behov.



Figur 2. genomskärning av bladvävnad ,
(Campbell 1996)

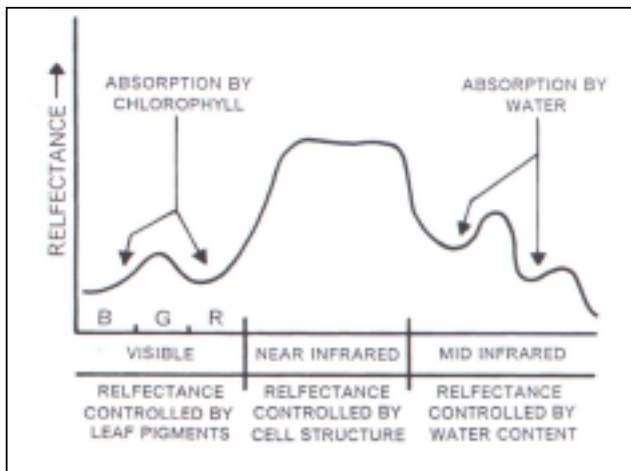
Huvudfunktionen för stomata är att släppa in CO_2 , vilket är ett måste för att fotosyntesen ska fungera. Just nedanför den övre epidermalvävnaden finns pallisadlagret. I detta lager finns kloroplasterna; linsformade strukturer som innehåller klorofyll och andra pigment som behövs vid fotosyntesen. Klorofyll är den viktigaste aktiva komponenten vid fotosyntes eftersom den gör det möjligt för bladet att absorbera solljus. Klorofyll förekommer i två former, den vanligaste kallas *klorofyll a* och denna form är även den vanligaste i gröna blad. Den andra formen kallas *klorofyll b* och denna form finns förutom i grön vegetation även i alger och bakterier. Under pallisadlagret finns den ”svampiga” mesofyllvävnaden. Här sker utbytet av CO_2 och O_2 under fotosyntesen. Det som gör fotosyntesen så fantastisk är att växten genom att använda solljus som energi kan omvandla CO_2 och H_2O till kolhydrater. Alla växter har inte identisk bladstruktur och beskrivningen måste därför generaliseras till de vanligaste beståndsdelarna. De flesta växter använda i jordbruket eller i skogsbrukssammanhang är möjliga att förklara på detta sätt (Campbell 1996).

2.3 Bladets spektrala egenskaper

För att klarlägga hur strålning beter sig när den når ett vegetationsbestånd måste man först förstå hur den interagerar med enskilda blad. Det är bladens koncentration av biokemiska substanser, t ex cellulosa och klorofyll, samt beståndets struktur som bestämmer hur reflektansspektrat ska se ut. I det synliga området kontrolleras reflektansen av bladets pigment, d v s klorofyll och kartenoider (Campbell 1996, Dawson et al 1998). Klorofyllmolekylerna absorberar upp till 90% av det infallande blå och röda ljuset för användning i fotosyntesen. I det gröna området absorberas mindre andel infallande strålning och den största delen av det reflekterade ljuset inom

det synliga området är därför grönt. Detta är även anledningen till att det mänskliga ögat uppfattar vegetation som grön.

I det nära infraröda området beror reflektansen till största delen på bladets interna cellstruktur (se fig. 3). Det viktigaste lagret här är mesofyllvävnaden, då epidermalvävnaden och bladvaxet är nästan helt transparent för NIR-strålning. Mesofyllagrets struktur gör att den infallande NIR-strålningen sprids; s.k. scattering, och upp till 60 % reflekteras antingen tillbaka uppåt till atmosfären eller transmitteras vidare ner genom bladet (Campbell 1996, Jacquemoud *et al* 1996). Den faktor som framför andra styr reflektansen i det infraröda området med längre våglängd (större än 1,3 μm) är bladets vattenhalt. För att hitta ett bra sätt att uttrycka bladets vattenhalt på har begreppet *equivalent water thickness* (EWT) tagits fram. EWT ska motsvara en film av vatten som har samma absorptionsspektrum som ett levande blad i våglängdsområdet 1,4 – 2,5 μm .



Figur 3. Typiskt bladreflektansspektra (Campbell 1996).

Flera modeller har framtagits för att beskriva bladreflektans utifrån fysikaliska parametrar. En av de mest använda under senare tid är PROSPECT-modellen av Jacquemoud & Baret (1990). PROSPECT-modellen behandlas närmare i avsnitt 4.3.3.

2.4 Canopy Reflectance; ett bestånds reflektans

Det första man måste ta hänsyn till vid canopy reflectance-modellering (kort CR-modellering) är uppdelningen i direkt och diffus instrålning. Den diffusa instrålningen har blivit spridd i atmosfären innan den når markobjekt och därefter sensorn. Riktningen av den direkta instrålningen bestäms av solzenithvinkeln och azimuthvinkeln. Den diffusa instrålningen karakteriseras framförallt av sin vinkelfördelning. Nästa steg är att beskriva hur stor del av de olika instrålningstyperna som kommer från vegetationen respektive jorden. Detta beror på hur tätt eller glest beståndet är, men också på bladvinkeldistributionen (leaf area distribution, LAD). Hur täta eller glesa bestånden är beror på hur växterna är planterade, vilken typ av vegetation som är planterad och tillväxtstadium. Glesa bestånd beskrivs med hjälp av subbestånd med enkla geometriska former. Ett bestånd där vegetationen helt täcker marken kallas en *closed canopy*. Om distributionen av vegetationselement i en *closed canopy* är lateralt homogen kallas den *homogenous canopy*.

Leaf area distribution parametern (LAD) påverkar magnituden av hotspot effekten, eftersom bladens orientering kommer att påverka hur mycket ljus de reflekterar i en viss riktning. LAD påverkar även sannolikheten att det finns ett mellanrum mellan vegetationselementen, ett "gap". Mellanrummet, eller "gapet", bestämmer om den

infallande eller utgående strålningen kommer att interagera med vegetationen. Vid en hög solvinkel (solen nära zenith) kommer ett bestånd med en majoritet av vertikala blad (*erectofilt* bestånd) att ha en högre sannolikhet för mellanrum än ett bestånd med en majoritet av horisontella blad (*planofilt* bestånd). Om vegetationselementen är ojämnt fördelade (*clumped*) ökar sannolikheten för ett mellanrum över hela beståndet. Den kanske viktigaste parametern i CR-modeller är LAI. I VIS-regionen absorberas den största delen av den infallande strålningen av vegetationen. Ju mer LAI ökar, desto större del av den infallande strålningen absorberas. När LAI når ett tröskelvärde kommer nästan all infallande strålning att absorberas och vidare ökning av LAI kommer inte att påverka beståndets reflektans. CR-kurvan minskar medan LAI blir större och kurvan planar ut för LAI runt 2-3. I NIR absorberas mycket mindre del av den infallande strålningen än i VIS och spridningen är maximal. Här ökar CR med LAI tills kurvan planar ut runt LAI 6-8, då reflektansen inte påverkas mycket av en vidare ökning i LAI. (Goel 1989, Campbell 1996)

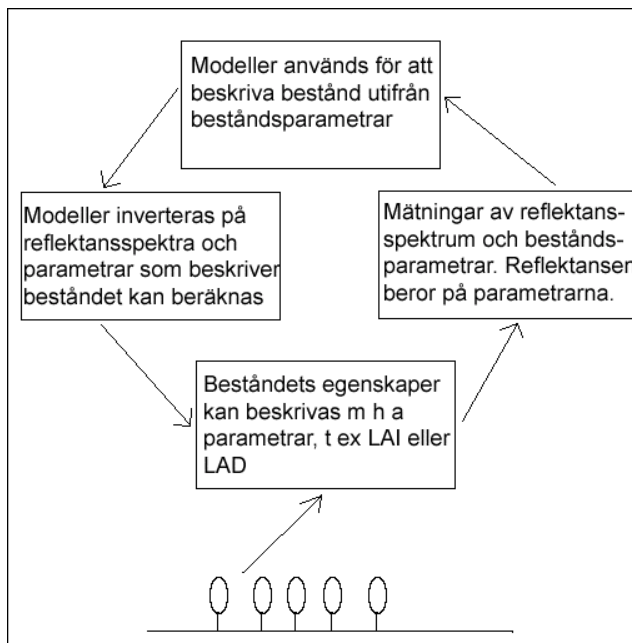
Under varje bestånd finns jord, och liksom vegetationen kommer även jorden att interagera med infallande strålning. Precis som med vegetationen kommer den reflekterade strålningen från jorden att bestå av en direkt och en diffus del. BRDF för jord beror på våglängden och på ytans formelement. Ofta beter sig jord inte som en diffus reflektor, men i många modeller approximeras den som en sådan. Detta antagande går bra att använda vid modellering av täta bestånd, som *closed canopies*, men bör inte användas på glesa bestånd där jordreflektansen spelar en större roll. Multiple scattering i jordlagret kommer då att leda till mer absorption, vilket ger en lägre CR (Goel 1989, Sellers 1989).

3. Modellteori

3.1 Canopy Reflectance modeller

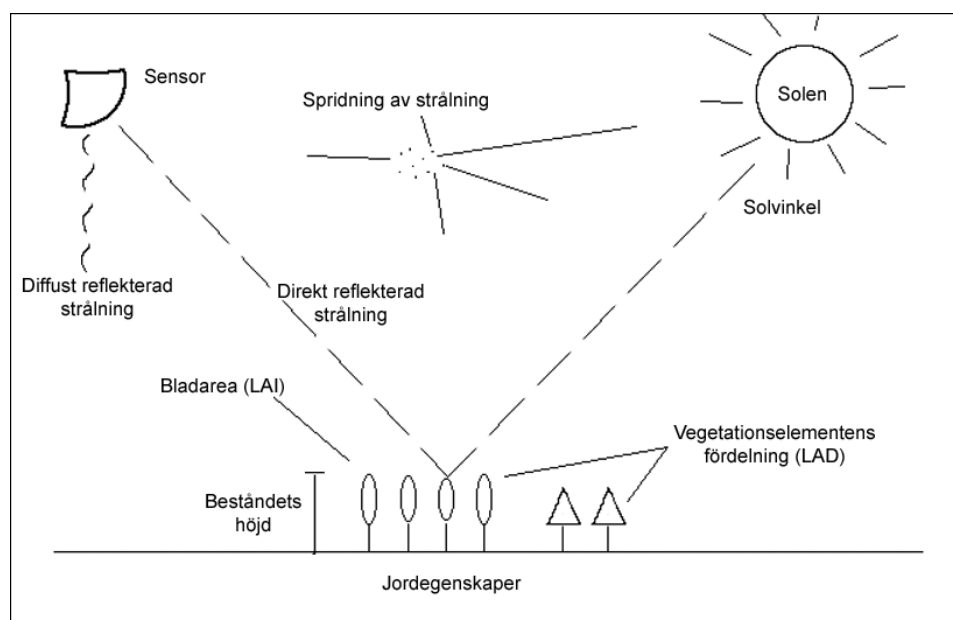
Canopy Reflectance-modeller (kort CR-modeller) beräknar ett bestånds reflektans med hjälp av parametrar som beskriver beståndet (se fig. 4 och 5). Utgångspunkten är att beståndets egenskaper kan sammanfattas i ett begränsat antal parametrar och att reflektansen varierar med parametrarna. Beskrivningen av beståndet kan göras olika generaliserad. Målet är en modell som är enkel att arbeta med, men som ändå förmår beskriva en stor del av beståndets egenskaper och koppla dessa till reflektansen.

Nedan i fig. 5 finns en förenklad beskrivning av vilka faktorer som påverkar ett bestånds reflektans. Goel (1989) delar upp dem i fyra huvudgrupper: inkommande solstrålning, vegetationselementens spektrala egenskaper, beståndets uppbyggnad och jordens spektrala egenskaper.



Figur 4. Schematisk beskrivning av hur canopy reflectance modeller fungerar.

Nedan i fig. 5 finns en förenklad beskrivning av vilka faktorer som påverkar ett bestånds reflektans. Goel (1989) delar upp dem i fyra huvudgrupper: inkommande solstrålning, vegetationselementens spektrala egenskaper, beståndets uppbyggnad och jordens spektrala egenskaper.



Figur 5. Förenklad beskrivning av vilka parametrar och samband som tas hänsyn till vid fysikalisk modellering.

Enligt Goel (1989) finns i praktiken tre använda typer av CR-modeller.

- Geometriska modeller:* i modellen betraktas beståndet som bestående av geometriska objekt med kända former ovanför en markyta med kända spektrala egenskaper. Denna variant av CR-modell passar framförallt glesa bestånd.
- Turbid-medium modeller:* beståndet behandlas som ett horisontellt uniformt medium, vars spektrala egenskaper främst bestäms av LAI och LAD. Passar framförallt täta bestånd.
- Hybridmodeller:* beståndet beskrivs som en fördelning av geometriskt formade element, men tar även hänsyn till multipel spridning. Passar bestånd som är varken täta eller glesa. Denna typ av modeller är mest avancerade av de tre.

När modellerna inverteras på uppmätta reflektansspektra kan en eller flera av modellens parametrar bestämmas, t ex LAI eller beståndsdensitet. Det enda kända sättet att invertera en CR-modell är att minimera en meritfunktion. Mätningar har visat att invertering av modellerna är mycket känslig för förändringar i reflektansvärdena. Vidare är känsligheten i hög grad beroende av det geometriska förhållandet mellan solen och sensorn (Goel 1989).

3.2 Modellbeskrivning MCRM

MCRM (Multispectral Canopy Reflectance Model) är utvecklad av Kuusk (1995a) från Tartu Observatory, Estland. Den bygger på en Markovmodell, vilket innebär att den behandlar övergångssannolikheter mellan olika tillstånd (Rydén & Lindgren 1996). MCRM-modellen är en vidareutveckling av SAIL-modellen av Verhoef (1984) och Nilson-Kuusk-modellen (1989).

När reflektansmodeller för bestånd ska utvecklas är noggrannheten och beräkningseffektiviteten två viktiga faktorer att ta hänsyn till. SAIL-modellen är en *turbid-medium* modell och är beräkningseffektiv. Däremot tar den inte hänsyn till beståndets hot spot eller dess spekulära reflektion. Nilson-Kuusk-modellen är en analytisk modell för en statistiskt homogent vegetationsbestånd och tar hänsyn till både beståndets hot spot och den spekulära reflektionen (Nilson & Kuusk 1989). Modellen är dock svår att invertera då den är beräkningsineffektiv. MCRM-modellen har ärvt Nilson-Kuusk-modellens förmåga att ta hänsyn till beståndets hot spot och spekulära reflektion, medan den samtidigt inte kräver mycket datorkraft att invertera, liksom SAIL-modellen (Goel 1989, Kuusk 1995a). MCRM-modellen använder sig av PROSPECT-modellen (Jacquemoud & Baret 1990) för att beräkna reflektansegenskaperna hos vegetationen och av Prices parametrar (Price 1990) för att beräkna reflektansegenskaper hos jorden.

MCRM-modellen beskriver ett bestånds reflektansfaktor ρ som bestående av en direkt reflekterad del och en diffus del;

$$\rho = (S'_\lambda / Q_\lambda) \rho^1 + \rho_D \quad (1)$$

där

ρ^1 = reflektans beroende på single scattering

ρ_D = bidrag från diffus instrålning

S'_λ / Q_λ = direkt irradianskvot

Den del av beståndets reflektansfaktor som härstammar från single scattering, ρ^1 , dvs den direkt reflekterade delen av ρ , beskrivs;

$$\rho^1 = \rho^1_c + \rho^1_{soil} \quad (2)$$

där

ρ^1_c = reflektansbidrag beroende på single scattering från vegetationsmassan

ρ^1_{soil} = reflektansbidrag från single scattering från jorden

Om beståndet är relativt tätt kommer majoriteten av reflektansfaktorn ρ att bestå av direkt reflektans från vegetationsmassan; vegetationsmassans single-scattering reflektans, ρ^1_c ;

(3)

$$\rho^1_c = \Gamma(r_1 r_2) \left\{ \begin{array}{l} \frac{1 - \exp \left[-L_H G_L^{(1)} / \mu_1 + G_L^{(2)} / \mu_2 \right]}{G_L^{(1)} \mu_2 + G_L^{(2)} \mu_1} \\ + \frac{1 - \exp \left[L_H \left(G_L^{(1)} / \mu_1 + G_L^{(2)} / \mu_2 \right) / 2 - a / \left(2 S_L \sqrt{\mu_1 \mu_2} \right) \right]}{\left(G_L^{(1)} \mu_2 + G_L^{(2)} \mu_1 \right) / 2 + a \sqrt{\mu_1 \mu_2} / \left(2 S_L L_H \right)} \\ - \frac{1 - \exp \left[-L_H \left(G_L^{(1)} / \mu_1 + G_L^{(2)} / \mu_2 \right) - a / \left(2 S_L \sqrt{\mu_1 \mu_2} \right) \right]}{G_L^{(1)} \mu_2 + G_L^{(2)} \mu_1 + a \sqrt{\mu_1 \mu_2} / \left(2 S_L L_H \right)} \end{array} \right\}$$

där

$\Gamma(r_1, r_2)$ = area scattering phase function, en funktion som beskriver fördelningen av den spridda energin

G_L = Ross-Nilsons G-funktion, definierad enligt Ross (1981), även beskriven i Myneni *et al* (1989)

$\mu_i = \cos \vartheta_i$, där ϑ_i är polarvinkeln

S_L = den relativa linjära bladstorleken

L_H = LAI

a = spridningsvinkeln

Hur mycket den diffusa instrålningen bidrar med till reflektansfaktorn ρ beskrivs med faktorn ρ_D , enligt;

$$\rho_D = \rho_{D,c} + \rho_{D,soil} \quad (4)$$

där

$\rho_{D,c}$ = reflektansbidrag från diffus instrålning från vegetationsmassan

$\rho_{D,soil}$ = reflektansbidrag från diffus instrålning från jorden

Funktionen som beskriver hur mycket av den underliggande jorden som kommer att synas genom vegetationen, d v s “gapet” mellan vegetationselementen kallas gap probability function. Sannolikheten att det finns ett “gap” i beståndet i riktningen r_i beskrivs i modellen av faktorn p , enligt nedan;

$$p(H, r_i) = \exp(-L_H G_L^{(i)} / \mu_i) \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

där

H = beståndets höjd

L_H = LAI

$G_L^{(i)}$ = Ross-Nilsons G-funktion, definierad enligt Ross (1981), även beskriven i Myneni *et al* (1989)

$\mu_i = \cos \vartheta_i$, där ϑ_i är polarvinkeln

3.2.1 Inparametrar till MCRM-modellen

Inparametrarna till MCRM-modellen kan delas upp i tre olika klasser: Strukturparametrar, Optiska parametrar och Geometriska- och illuminationsparametrar m fl. Till strukturparametrarna hör LAI och LAD-parametrarna. De LAD-parametrar som används i MCRM-modellen är relativ bladstorlek, bladens medianlutning och excentriciteten hos bladdistributionen. De optiska parametrarna beskriver främst de biokemiska egenskaperna hos bladet, t ex klorofyllhalt, samt jorden.

4. Metod

4.1 Mätutrustning

Fält- och laboratoriemätningarna utfördes med hjälp av en FieldSpec®Pro bärbar spektroradiometer. Innan mätning måste instrumentet kalibreras mot en vitreferens, som är en platta bestående av bariumsulfat (BaSO_4), ett material som ger en spektral signatur väldigt nära den från en perfekt vit kropp. Instrumentet internkalibrerar sig mot en mörk referens genom att stänga till den öppning som sensorerna ”ser” igenom. Man kan ställa in olika långa mättider med instrumentet och kalibreringen ligger till grund för detta valet. Redan vid vitreferenskalibreringen ställer man in den mättid som passar de ljusförhållanden man ska mäta vid. Vanligtvis behövs korta tider utomhus och längre inomhus. Klart väder kräver kortare tider än molnigt. Vid molnigt väder ökar dessutom mängden spridning i atmosfären och tillför fel till mätningarna, samtidigt som ljusförhållandena sällan är konstanta. Mätningar i molnigt väder bör därför i möjligaste mån undvikas.

4.2 Fältmätningar

Mätningar i fält på sockerbetsblast utfördes i Önnerup, Lunds kommun. Alla mätningar utfördes mellan klockan 14.00 och 15.30 vid 4 olika tillfällen i september för att undvika större skillnader i instrålningen. Spektroradiometern kalibrerades i fält innan mätning och med jämna mellanrum under mätningen. För att inte störa odlingarna mer än nödvändigt begränsades samplingen till ett ca $50 * 50 \text{ m}^2$ stort område. Mätningarna utfördes i kvadrater om $3 * 3 \text{ m}$ med en mätning per m^2 . Kvadraterna lades på snedden mot odlingsraderna för att undvika eventuella fel p g a tät vegetation endast i odlingsraderna. Tre kvadrater bildar underlag till medelvärdesbildning för kurvritning och jämförelse. 1 m^2 betblast skördades för bestämning av LAI.

4.3 Laboriemätningar

I laboratorium användes FieldSpec®Pro för att mäta reflektansen från enskilda sockerbetsblad och från jordprover. Två olika sockerbetsblad användes vid mätningarna. Från varje jordprov uppmättes 6 spektra som sedan medelvärdesbildades. Spektroradiometern fästes på ett stativ och belysningen av proverna under mätningarna kom från en likströmsdriven fotolabslampa. Ett urval av skördade betblad scannades in och deras areor beräknades med hjälp av ArcView. Alla skördade blad räknades och sorterades efter storlek. Från denna information beräknades LAI.

För att känslighetsanalysen av jordparametern s_1 skulle följa en så naturlig variation som möjligt har reflektansspektrum från en sandig och en lerig jordart uppmätts vid olika fuktighetsgrad. Två omgångar mätningar på jordreflektans i fält har utförts, som referensmaterial för att se om det skiljer något mellan fältmätningarna och laboriemätningarna från samma sorts jordart.

4.4 Jämförelse av uppmätt och modellerad reflektans

MCRM modellen av Kuusk (1995a, 1995b) har många inparametrar som kräver förbearbetning på olika sätt. Många av de optiska inparametrarna till MCRM genereras med hjälp av PROSPECT-modellen av Jacquemoud & Baret (1990). För att få fram jordparametrar användes Prices funktion (Price 1990) som underlag. Den modellerade reflektansen har sedan plottats i samma diagram som spektra uppmätt på sockerbeter i fält. Följande invärden har använts vid MCRM-modelleringen (se tabell1).

Tabell 1: Invärden till MCRM-modellen

<i>Parameter</i>	<i>Invärde</i>
Sol zenith vinkel	47,6
Tittvinkel (View azimuth)	0
Ångströms turbiditetsfaktor	0,068
LAI	7,0
S _L	0,8
Markov parameter	2,0
ε (excentriciteten)	0,0089
ϑ _m (median bladvinkeln)	56,36
n_ratio	0,9
s ₁ –s ₄	0,228; 0,098; 0; 0
c _{AB}	58,493
c _w	0,01139
c _p	0,0002
c _c	0,0004
N	2,5

4.4.1 Beräkning av bladmedianvinkel (θ_m) och bladexcentricitet (ε)

För att kunna uppskatta bladmedianvinkeln och skapa beräkningsunderlag till excentricitetsparametern ε, användes en genomskärningsbild på en sockerbeta (*Beta vulgaris* var. *altissima*) från Danisco Sugars hemsida (internetreferens 2). Utifrån bilden skattades bladens fördelning och detta användes som inparametrar för en elliptisk passning som utfördes i MatLab. Samtidigt beräknades även bladmedianvinkeln θ_m. Bladvinkeldistributionen beräknas enligt Kuusk (1995a) och en ellipsformel med polära koordinater används.

$$g_L(\vartheta_L) = B_g / \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cos^2(\vartheta_L - \vartheta_m)} \quad (6)$$

där

B_g = normaliseringsfaktorn

ϑ_L = bladvinkeln

ϑ_m = medianbladvinkeln

ε = excentriciteten

Formeln för att beräkna excentricitetsparametern ε :

$$\varepsilon = \sqrt{1 - a_e^2 / b_e^2} \quad (7)$$

där

a_e = ellipsens vertikala semiaxel

b_e = ellipsens horisontella semiaxel

Vi beräkningen av excentriciteten sattes totalt antal bladenheter till 1. Resultaten av beräkningarna redovisas i tabell 2.

Tabell 2: Beräknade ϑ_m och ε

Bladmedelvinkel	ϑ_m	56.36°
Excentricitet	ε	0.00089

4.4.2 PROSPECT modellen

PROSPECT-modellen av Jacquemond & Baret (1990) är en fysikalisk strålningsmodell; en *radiative transfer model*, som beskriver bladens optiska egenskaper. Genom inversion av modellen kan man återskapa reflektansvärden mellan 400-2500 nm. Teorin bakom PROSPECT-modellen bygger på interaktionen mellan bladets biokemi och den inkommande strålningen. Modellen tar även hänsyn till scattering genom parametern c_n (eller n_ratio , som den även kallas), som är bladmaterialets refraktiva index och N , som beskriver bladets mesofyllstruktur (Jacquemoud & Baret 1990, Jacquemoud *et al* 1996) PROSPECT-modellen inverterades på de i laboratorium uppmätta bladreflektanserna från sockerbetsbladen, vilket gav följande inparametrar till MCRM-modellen: c_{AB} , c_W , c_C , c_P , n_ratio , N .

4.4.3 Beräkning av Prices jordparametrar

Price (1990) har analyserat över 500 jordprover från hela världen med avseende på variation i reflektans. Analyserna som rörde det synliga och nära infraröda området visade att fyra basvektorer var nog för att beskriva 99,6% av all variation i dataseten. För att kunna applicera metoden krävs data i fyra våglängdsband; 9,3–11,3 μm (NIR), 20,3–23,1 μm (MIR), 6,3–7,4 μm (synligt ljus) och 16,1–18,0 μm (MIR), (Campbell 1996). Beräkning av Prices parametrar, s_1 – s_4 , innebär i korthet integrering av reflektansen i ovan nämnda våglängdsband. Reflektanskurvan kan beskrivas genom att de framräknade koefficienterna multipliceras med basvektorer. Det är möjligt att approximera Prices parametrar genom regression. Genom denna ansats kan man även få fram parametrarna s_2 – s_4 . Om data saknas för att täcka alla nödvändiga intervall är regression den enda möjligheten att få fram värden på alla parametrarna, då man behöver de tidigare parametrarna för att räkna ut de påföljande. (Se bilaga 1 för mer information om uträkningen av Prices parametrar.)

Data som uppmättes med FieldSpec spektroradiometer gav mycket störningar i intervallet innan 400 nm och efter ca 900 nm. Därför klipptes detta intervall bort och

endast intervallet 400 – 900 nm behövs. Av naturliga skäl blev det därför omöjligt att räkna fram alla Price parametrarna. För att kunna integrera det första intervallet och få fram parametern s_1 var det nödvändigt att interpolera fram en del data i intervallet efter 900nm. Eftersom sambandet mellan våglängd och reflektans är nästintill linjärt i detta område kan man anta att approximationen är tillförlitlig.

Regression var i detta fallet den enda chansen att räkna fram alla parametrarna ur fältdata. Jag valde att använda mig av regression för att räkna ut Price's parametrar. Regressionen utfördes i MatLab. Den första Price parametern (s_1) räknades samtidigt ut med Prices funktion för att användas som jämförelsematerial.

Medelvärdet av de beräknade Prices parametrar s_1 och s_2 användes som inparametrar i MCRM-modellen.

Beräkningen av s_3 och s_4 är något osäker beroende på de få mätvärdena som kunde användas i det infraröda området. I flertalet modelleringar har Kuusk (1995a, 1995b) satt inparametervärdena på s_3 och s_4 till 0. Jag har valt att följa hans exempel. Resultatet av regressionsberäkningarna av s_1 - s_4 finns i tabell 3.

Tabell 3: Medelvärden på beräknade Price's parametrar

s_1	0.228
s_2	0.098
s_3	0.024
s_4	-0.041

4.5 Parameterskattning för simulering av scenario "vår"

Beståndet som använts som fältreferens och som indata för skattning av parametrar är en closed canopy (enl. Goel 1989). Den befinner sig i mitten-slutet på växtsäsongen och plantorna är fullvuxna. Det finns inga mellanrum mellan plantorna och sannolikheten att det finns ett "gap" mellan bladen är litet. För ett bestånd betor i början av säsongen kommer förhållandena att vara annorlunda. Plantorna kommer att vara mindre och bladen kommer inte helt att täcka jorden under. Detta medför att jordens reflektans får en större inverkan på beståndets totala reflektans. LAI kommer att vara mindre, och troligen ligga under gränsen för mättnad, som i VIS är på LAI 2-3 och i NIR på LAI 6-8 (Goel 1989). Därmed kommer modellen att bli känsligare för förändringar i jordreflektans och LAI. Det är även troligt att bladens orientering ser något annorlunda ut. I ursprungsmodelleringen användes en nästintill sfärisk bladfördelning. Man skulle kunna tänka sig att yngre plantor visar upp en mer *erectofil* (upprättstående) bladfördelning. En simuleringstidpunkt tidigare på året kommer även att ge en annorlunda solvinkel.

4.6 Utförande av simulering scenario "vår"

Parameterskattningen för simuleringen baserades på ovanstående diskussion. Parameterinställningen redovisas nedan i tabell 4 (jmf tabell 1 i kap 4). De simulerade värdena jämfördes sedan med ursprungsmodelleringen. Därefter utfördes en känslighetsanalys.

Tabell 4: Parameterinställning vid simulering

<i>Parameter</i>	<i>Invärde</i>
Sol zenith vinkel	48,14
Tittvinkel (View azimuth)	0
Ångströms turbiditetsfaktor	0,068
LAI	1,5
S_L	0,7
Markov parameter	2,0
ϵ (excentriciteten)	0,7
ϑ_m (median bladvinkeln)	70
n_ratio	0,9
$s_1 - s_4$	0,228; -0,07; 0; 0
c_{AB}	30
c_W	0,01139
c_P	0,0002
c_C	0,0004
N	2,5

4.7 Känslighetsanalys

Känslighetsanalys har utförts både med avseende på ursprungsmodelleringen och scenariomodellering ”vår”. Meningen med känslighetsanalysen är att utröna hur stor inverkan de olika parametrarna har på modelleringsresultatet. De flesta mätningar är inte felfria, därför får man räkna med att det i alla inparametrar finns ett visst fel. Om förändringen är stor i de modellerade resultaten vid en liten variation i inparametrarna är modellen instabil och inversion kommer inte att ge ett meningsfullt resultat (Goel 1989).

De flesta parametrarna varieras på samma sätt procentuellt uppåt och neråt. De som skiljer sig är LAI, som vid ursprungsmodelleringen har modellens maxvärde och därför inte kan varieras uppåt, och s_1 , Prices första jordparameter, som kommer att varieras för att i så stor utsträckning som möjligt spegla naturliga förhållanden. Invärdena till känslighetsanalysen för s_1 kommer att baseras på i laboratorium eller i fält uppmätta reflektansspektra på olika jordarter vid olika fuktighet.

Känsligheten kommer att redovisas genom ett känslighetsindex, β , enligt Lankreijer (1998). Detta index är dimensionslöst och ska göra det möjligt att jämföra känsligheten mellan de olika parametrarna.

$$\beta = \frac{(X_1 - X_0)}{X_0} \bigg/ \frac{(P_1 - P_0)}{P_0} \quad (8)$$

där X_1 är det simulerade värdet vid den ändrade parametern P_1 .

X_0 är det simulerade värdet vid referensparametern P_0 .

En ändring i parametern P kommer att generera en direkt proportionell ändring i det simulerade värdet X när $\beta=1$.

Det beräknade β kommer att vara ett genomsnitt för alla parameterinställningarna i känslighetsanalysen, vilket inte i alla fall är en rättvisande bild. Känsligheten kan variera mycket beroende på parameterinställning.

Känslighetsberäkningarna kommer att baseras på våglängdsbanden hos Landsat TM (Campbell 1996, Vaughan 1986). De genererade reflektansvärdena kommer sedan att delas upp baserat på Landsat TMs våglängdsband (se tabell 5). För känslighetsindexberäkningar kommer medelvärdet av reflektansen inom varje våglängdsband att användas. Endast TM band 1-4 kommer att användas, eftersom indatans klipptes inom detta intervall för att undvika inverkan av brus..

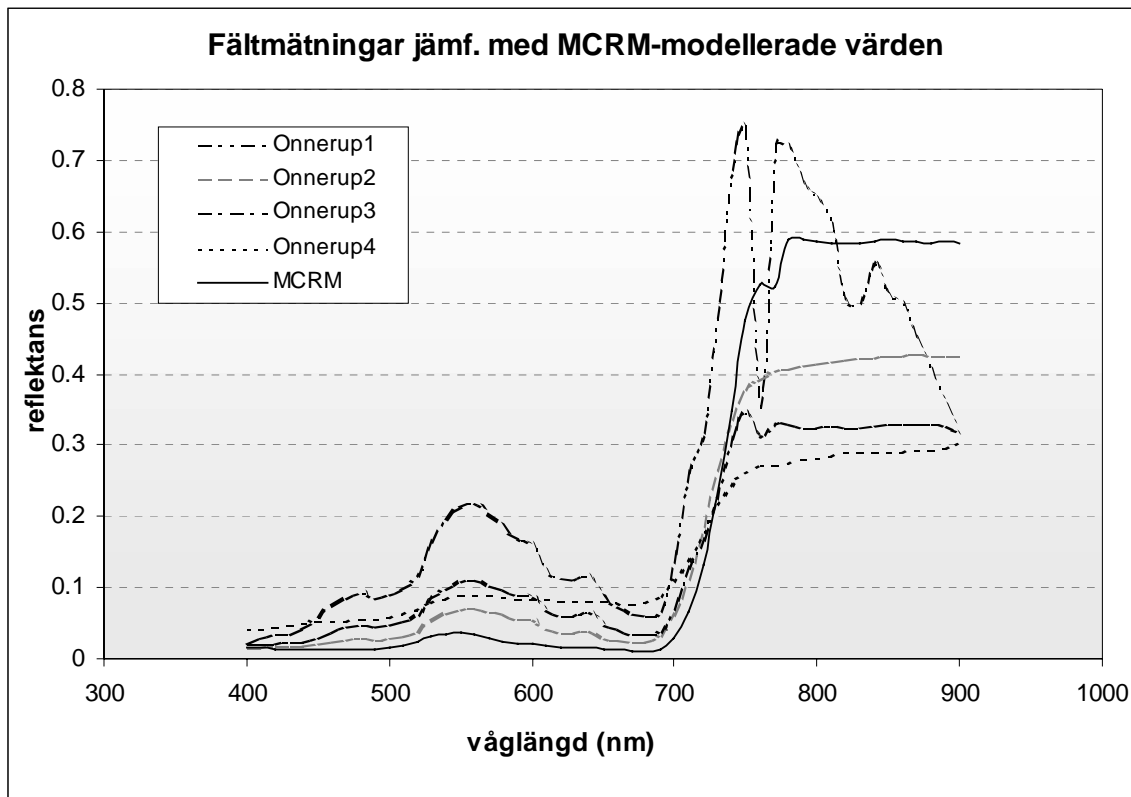
Tabell 5: Våglängdsband Landsat TM

TM band	1	2	3	4
Våglängdsintervall (nm)	450-520	520-600	630-690	760-900
Benämning	blått	grönt	rött	NIR

Ett annat sätt att beskriva känsligheten är genom att jämföra kurvor med olika inställningar på den intressanta parametern för hela intervallet. Även denna metod kommer att användas för vissa parametrar. Kurvorna för de olika parametrarna är inte sinsemellan jämförbara, men de kan ändå ge en god bild av hur modelleringsresultatet påverkas av förändringar och inte minst felmätningar av parametrarna.

5. Resultat

5.1 Reflektansvärden: MCRM och fältmätningar



Figur 6. MCRM-modellerade reflektansvärden i jämförelse med fältmätningar från Önnerup

Mätserierna Onnerup 1, 2, 3, 4 är uppmätta i fält (se figur 6). MCRM kurvan visar de frammodellerade reflektansvärdena. MCRM-modelleringen visar upp lägre reflektansvärden i VIS (synliga våglängdsband) och högre reflektansvärden i det infraröda området (NIR), utom i fallet Onnerup 1, som har höga och oregelbundna reflektansvärden i NIR.

5.2 Resultat av känslighetsanalys

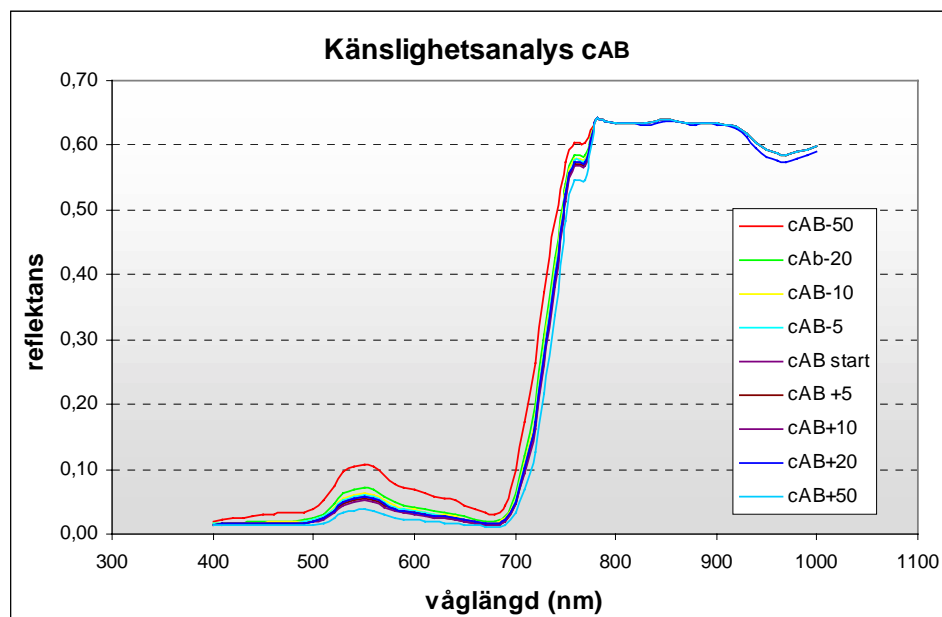
Resultaten av känslighetsanalysen redovisas genom ett dimensionslöst känslighetsindex, β , enligt Lankreijer (1998) i tabell 6.

Tabell 6: Känslighetsindex β , för inparametrar i MCRM-modellering

Sensitivity index (β)	ϵ	c_{AB}	c_w	LAI
TM band 1	0,0001	0,91	0	0,34
TM band 2	0,0001	1,11	0	0,13
TM band 3	0,0001	1,12	0	0,59
TM band 4	0,00003	0,012	0,00511	0,37

s_1	N	n-ratio	S_L	ϑ_m
0,00033	0,27	0,55	0,023	0,0012
0,00027	0,61	0,28	0,025	0,0007
0,00108	0,51	0,69	0,032	0,0005
0,01131	0,12	0,024	0,037	0,0001

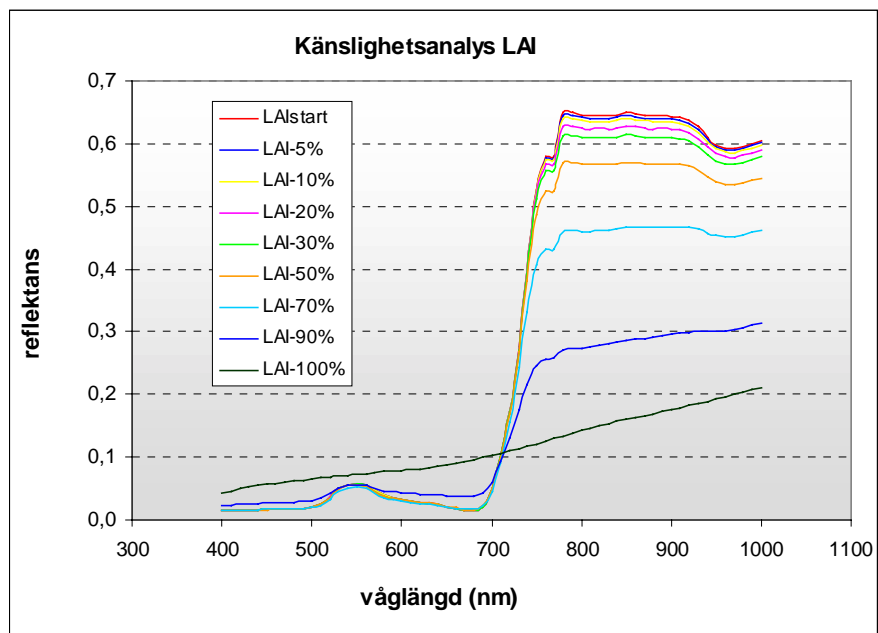
Nedan resultat av känslighetsanalys för c_{AB} med kurva som beskriver hela intervallet. Klorofyllhalten har varierats från +50% till -50%. De olika kurvorna visar modellerade reflektansvärden vid respektive parameterinställning. Känsligheten är störst för en parametersättning på -50% från utgångsvärdet.



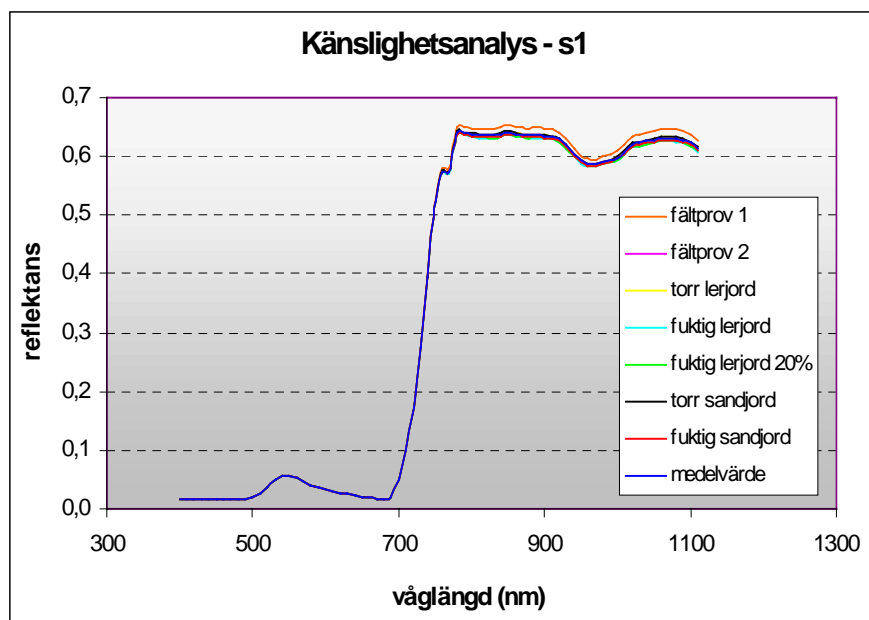
Figur 7. Känslighet c_{AB} i ursprungsmodelleringen

Känslighetsanalysen för LAI (fig. 8) fick utföras så att LAI bara varierades neråt eftersom inparametern låg på maximalt värde som MCRM-modellen hanterar. Parameterinställningen varierades från utgångsvärdet till i stort sett 100%, då

reflektanskurvan i stort sett kommer att bestå av jordreflektansen. s_1 , Prices första parameter, varierades på samma sätt som c_{AB} (fig. 7).



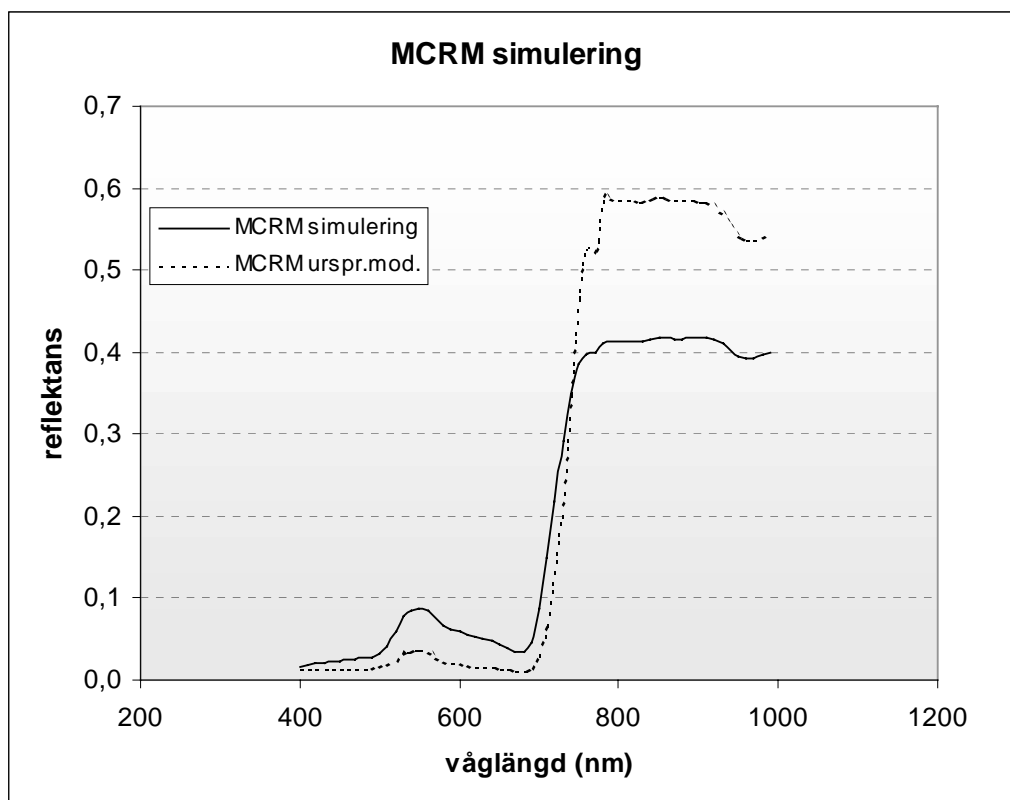
Figur 8. LAI känslighet vid olika parameterinställningar



Figur 9. s_1 känslighet för olika sorters jordarter vid olika fuktighet

För s_1 (fig. 9) har variationen under känslighetsanalysen baserats på så naturliga förhållanden som möjligt.

5.3 Resultat av simulering

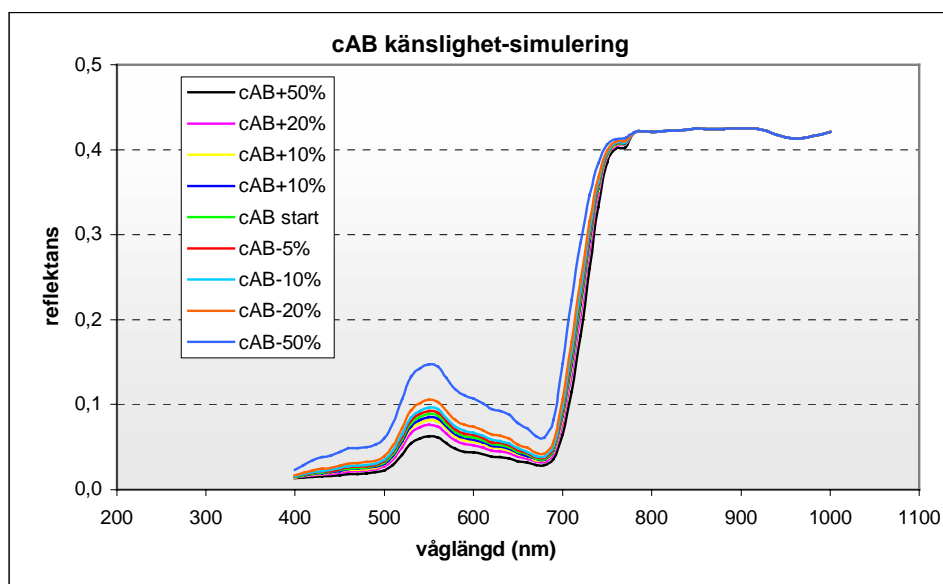


Figur 10. Simuleringsresultat i samma diagram som ursprungsmodelleringsresultetan

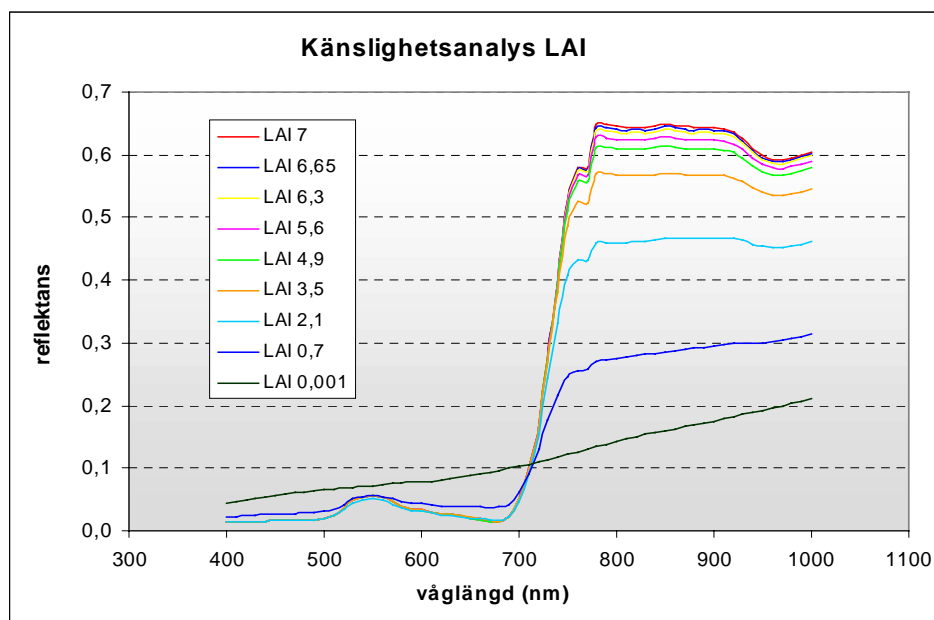
Ovan har den resulterande reflektansen för ursprungsmodelleringen (som redovisats tidigare i kap. 6) ritats upp i samma figur som reflektansen från scenariomodelleringen (fig. 10). Scenariomodelleringen ska försöka visa hur reflektansen kan se ut från samma bestånd vid en annan tidpunkt på växsäsongen; denna gång på våren i tidig maj. Resultatet av simuleringen visar en högre reflektans i VIS, framförallt i det gröna våglängdsområdet (520-600 nm) och samtidigt en lägre reflektans i NIR.

5.4 Känslighetsanalys på simuleringsparametrar

Den känslighetsanalys som utfördes på inparametrarna till scenariosimuleringen liknar den som utfördes på inparametrarna till ursprungsmodelleringen (fig.11, 12 & 13). Samma känslighetsindex, β , kommer att användas och för några parametrar kommer även skillnaden i känslighet mellan de olika variationerna hos en och samma parameter att visas.

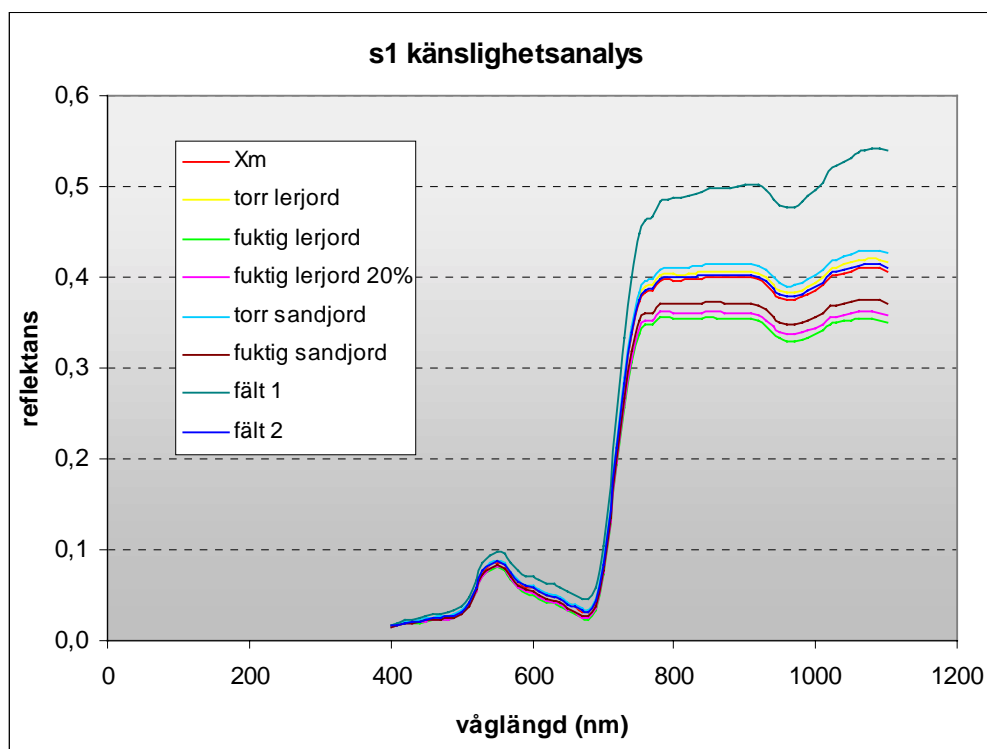


Figur 11. c_{AB} känslighet vid variation av simuleringsparametrar



Figur 12. LAI känslighet i simuleringsmodelleringen.

För Prices första parameter utfördes en känslighetsanalys där uppmätta värden för olika sorters jord användes som parameter variation (fig. 13). Jämför känslighetsanalys av s_1 för utgångsmodelleringen (fig. 9).



Figur 13. s_1 känslighet vid simulering, jmf. figur 9. s_1 känslighet vid ursprungsmodellering.

Liksom vid ursprungsmodelleringen redovisas även känsligheten med ett dimensionslöst känslighetsindex β (se tabell 7). β är ett medelvärde från alla variationsgrader hos inparametern.

Tabell 7: Känslighetsindex för simuleringsparametrar.

Sensitivity index (β)	s_1	c_{AB}	LAI
TM band 1	0,44	0,97	0,12
TM band 2	0,40	0,89	0,09
TM band 3	0,95	0,82	0,69
TM band 4	0,56	0,0035	0,34

6. Diskussion

MCRM-modellen kan ej hantera LAI-värden på mer än 7,0, vilket modellens skapare, Kuusk, själv anger som en svaghet för modellen (Kuusk 1998). Vid fältmätningar konstaterades ett LAI på 7,49. Invärdet på LAI sattes därmed till 7,0 vid inmatning i modellen. För de genererade reflektansvärdena kommer dock inte denna justering att spela en stor roll, det sker en mättnad av reflektansökningen vid LAI på 2-3 i VIS och LAI på 6-8 i NIR (Goel 1989).

Modelleringsresultatet uppvisar en större absorption i VIS än fältmätningarna, samtidigt en generellt högre reflektans i NIR än fältmätningarna (se fig 6). I VIS styrs reflektansen främst av klorofyllhalten. Klorofyllhalten beräknas med hjälp av PROSPECT-modellen. Feluppskattningen kan antingen bero på PROSPECT-modellens för höga beräknade värde av klorofyll eller på att MCRM-modellen beräknar absorptionen för högt. Spritt ljus kan även ha påverkat fältmätningarna att ge för höga reflektansvärden i VIS-området. I NIR ger MCRM-modellen generellt högre reflektansvärden än fältmätningarna, utom i fallet Onnerup 1, där reflektansen i NIR är högre. I detta område skiljer det även mer mellan de olika fältmätningarna och detta kan bero på olika stor andel spritt ljus vid mättillfällena.

Vid ursprungsmodelleringen har parametrarna c_{AB} (klorofyllhalten) och LAI störst betydelse för resultatet. Klorofyllhalten bestämmer hur stor absorptionen i VIS-området blir. Känslighetsanalysen visar att klorofyllhalten är modellens känsligaste parametern i detta område. Indatan till PROSPECT-modellen och Price parameter beräkningarna var i våglängdsområdet 400-900 nm. Därför klipptes modelleringsvärdena så att de täckte samma våglängdsintervall.

LAI har generellt hög känslighet i alla fyra våglängdsbanden (blått 450-520 nm, grönt 520-600 nm, rött 630-690 nm och NIR 760-900 nm), allra högst i NIR och minst i det gröna våglängdsbandet. Vid känslighetsanalysen kunde LAI endast varieras nedåt och många av variationerna låg fortfarande innanför mättnadsgränsen, speciellt i VIS. Det är mycket möjligt att LAI haft en högre känslighet om startvärdet för LAI varit lägre. Detta beskrivs tydligt i diagrammen över LAI- och c_{AB} känslighet (fig. 8 & fig. 7).

Alla parametrar (utom LAI och jordparametern s_1) har varierats på samma sätt. Det är inte säkert att alla parametrar normalt varierar lika mycket, vilket kan vara en förklaring till det stora utslaget i känslighetsanalysen för N och n-ratio. N och n-ratio är även svåra att bedömma eftersom lite referensmaterial finns och det är fullt möjligt att de båda parametrarna är mer eller mindre artspecifika och att det kan skilja mycket mellan olika arter. s_1 parametern har varierats efter så naturliga förutsättningar som möjligt. Reflektansmätningar på olika jordarter vid olika fuktighetsgrad har utförts både i fält och i laboratorium.

I NIR visar simuleringsresultaten en lägre reflektans än ursprungsmodelleringen. Eftersom betplantorna i början av maj är mindre och har färre blad än vad de har i slutet av växtsäsongen kommer de att påverka reflektansen mindre än vid det senare tillfället. Däremot ökar jordens inverkan på reflektansen. Jord reflekterar inte lika kraftigt i NIR som vegetation och därför blir nettoreflektansen lägre. Jord absorberar heller inte lika kraftigt i VIS.

Känslighetsanalysen visar upp ett något annat mönster än vad den gjorde för ursprungsmodelleringen. Detta illustreras bäst med känsligheten hos s_1 parametern, som visas ovan i kap 6.4. Ursprungsmodelleringen utfördes på en *closed canopy* i slutet av växtsäsongen. Bladen var stora och täckte marken nästan totalt. Känsligheten för jordparametern s_1 är låg. Ett annat förhållande råder vid simuleringstillfället, då plantorna är små och bladen inte helt täcker marken. Känsligheten för variation i s_1 är mycket större. Detta märks både vid en grafisk beskrivning av reflektansen (se fig. 13) och i β -värdet, som ökar i snitt 176 ggr.

Känslighetstesterna på c_{AB} ger relativt lika resultat och man kan anta att känsligheten för c_{AB} inte skiljer sig mycket mellan det ursprungliga modelleringstillfället och simuleringstillfället. För båda tillfällena är variationen i modellerad reflektans störst i det gröna våglängdsbandet (520-600 nm) och för en parameterinställning på 50% av startvärdet.

Känslighetstesterna för LAI är svårare att jämföra, eftersom parameterinställningen i ursprungsmodelleringen var det maximala värdet på LAI som modellen tolererade. Vid en jämförelse av LAI parametrarnas känslighet för minskning 5%-50% skiljer sig inte reflektansen mellan de båda modelleringstillfällena med mycket. Kurvorna uppvisar ett liknande mönster, utan mycket skillnad i amplitud. Mättnaden i LAI kunde ge tydligare utslag i känslighetsanalysen. Om våglängdsintervallet hade täckt in ett längre område kanske denna effekt hade synts tydligare i jämförelsen. Känsligheten för LAI är störst i det infraröda våglängdsbandet (se fig. 8) både vid ursprungsmodelleringen och vid scenariosimulering "vår". Vid beräkning av LAI med modellen bör därför NIR området (vilket motsvarar Landsat TM band 4) användas.

Känsligheten för jordparametrarna skiljer sig markant mellan ursprungsmodelleringen och simuleringstillfället. Vid ursprungsmodelleringen har jordparametrarna nästan inget inflytande på modelleringen, medan de vid scenario "vår" visar stor påverkan i det infraröda området. Scenario "vår" utspelar sig tidigt under växtsäsongen och marktäckningsgraden är relativt låg. I glesa bestånd har jorden stor inverkan på beståndsreflektansen och detta får konsekvenser för bestämningen av LAI. Jordparametrarna och LAI är båda känsliga inom det infraröda området och har båda stor inverkan på reflektansmodelleringen. Detta medför att bestämningen av LAI kommer att bli osäkrare i ett glegt bestånd tidigt på växtsäsongen. Senare på växtsäsongen blir bladen större och marktäckningsgraden ökar. Jordparametrarna får mindre inverkan på beståndsreflektansen och LAI kan beräknas med större säkerhet.

6.1 Felkällor

När fältmätningarna utfördes var inte vädret idealiskt vid alla tillfällen. Vid reflektansmätningar i fält ska vädret vara klart. Moln och dis påvekar mätningarna genom att öka andelen diffus spridning från atmosfären som sedan tas upp av sensorn och skapar mätfel. Spritt ljus påvekar amplituden på reflektanskurvan (Goel 1989). Mängden moln och dis, och därmed andelen spritt ljus varierade något mellan de olika mättillfällena.

Andra parametrar som har relativt höga känslighetsvärden är N (effektivt antal bladlager) och n -ratio (bladvaxets refraktiva index). Dessa parametrar hör till de inparametrar som är svårast att mäta eller skatta. Jacquemoud et al (1996) anger värden på N mellan 1,2 – 5,9 för skogsdata (LOPEX; Leaf Optical Properties Experiment, 1993). Troligt är att det värdena på N skiljer sig en del mellan skog och odlad mark. Kuusk (1995) anger n -ratio värden på 0,9. Vid modelleringarna har både värdet på N och n -ratio tagits från litteraturen, vilket innebär en felkälla.

Känslighetsanalysen ska spegla naturliga variationer hos de ingående parametrarna. Vissa parametrar är svåra att beräkna eller hitta överensstämmande litteraturvärden på. Detta kan inverka negativt på känslighetsanalysen och parametern kan verka känsligare/okänsligare än vad den naturligt är.

MCRM-modellens behandling av bladdistributionen passar inte in på sockerbetans växtsätt. Kuusk *et al* (1997) påpekar att betbladens längd/höjd förhållande inte på alla punkter följer antagandet om en Markov-fördelning. Detta kan påverka approximationen av bladvinkeldistributionen med en enda elliptisk distribution. Det är med andra ord svårt att få en bra tillpassad ellips till bladfördelningen och excentricitetsvärdet, ϵ , ligger i stor utsträckning nära 1.

7. Sammanfattning

MCRM-modellen lyckas till viss del simulera fältförhållanden, men resultatet verkar vara relativt mycket beroende av andelen spritt ljus. I VIS-området (synligt ljus) ger modellen för låga reflektansvärden och i NIR för höga. Det är möjligt att man genom att mäta enbart vid idealiskt väder och arbeta mer med tester av mätinstrumentet kan få bättre passning, men i dagsläget är passning ofullständig.

Under växtsäsongen förändras beståndets reflektans och detta simulerades med hjälp av MCRM-modellen. Resultatet från scenario "vår" visar på en högre reflektans i VIS (de synliga våglängderna) och alltså en mindre absorption, än i ursprungsmodelleringen, samtidigt som reflektansen i NIR är mindre. Detta stämmer väl överens med förhållandet mellan ett glest bestånd (simuleringsfall "vår") och ursprungsmodelleringen (en *closed canopy*).

Vid modellering av en *closed canopy* ligger LAI troligen över sitt mättnadsvärde, både i VIS och NIR. Bakgrunden kommer då endast att ha en lite inverkan på reflektansen och inte heller på möjligheterna att bestämma LAI från reflektansspektrat. Reflektansspektrat från ett glest bestånd kommer att påverkas betydligt mer av bakgrunden och LAI får mindre inverkan på spektrat (jmf fig. 12 och β -värden för simuleringsparametrar).

I ursprungsmodelleringen är klorofyll och LAI de viktigaste parametrarna. Enligt β -värdena följs de av N (effektivt antal bladlager) och n -ratio (bladvaxets refraktiva index). Huruvida N och n -ratio är så känsliga i modellen som de verkar kan vara svårt att veta, eftersom det finns få värden i litteraturen att referera till. Det är inte säkert att de varierar mycket för en viss vegetationstyp, medan de kan skilja sig mycket mellan olika vegetationstyper. LAI är känsligast i det infraröda området både i ursprungsmodelleringen och i scenariomodellering "vår". Därför lämpar sig NIR-området bäst för att bestämma LAI med reflektansmodellering.

Jorparametrarnas inflytande varierar beroende på beståndets marktäckningsgrad. När marktäckningsgraden är hög och beståndet är tätt har jordparametrarna mycket liten betydelse, medan de har hög känslighet i NIR när beståndet är glest och marktäckningsgraden låg. Detta får inverkan på bestämningen av LAI, som också är känsligast i NIR-området. LAI kan bestämmas med större säkerhet när beståndet har högre marktäckningsgrad än när det är glest med låg marktäckningsgrad.

8. Referenser

8.1 Litteratur:

Asrar, G., Myneni, M. B. & Kanemasu, E. T., 1989, Estimation of Plant Canopy Attributes from Spectral Reflectance Measurements, Ed. Asrar, G., *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, sid 253-296, John Wiley & Sons

Campbell, J., B., 1996, *Introduction to Remote Sensing, Second edition*, Taylor & Francis

Dawson, T., P., Curran, P., J. & Plummer, S., E., 1998, LIBERTY-Modeling the Effects of Leaf Biochemical Concentration on Reflectance Spectra, *Remote Sensing of Environment* 65:50-60

Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Hook, S. J. Matsunga, T. & Kahle, A. B., 1999, Temperature/Emissivity Separation Algorithm Theoretical Basis document, Version 2.4. NASA Contract NAS5-31372, http://eosps.gsfc.nasa.gov/ftp_ATBD/REVIEW/ASTER/ATBD-ASF-03/atbd-ast-03.pdf

Goel, N. S., 1989, Inversion of Canopy Reflectance Models for Estimation of Biophysical Parameters from Reflectance data, Ed. Asrar, G., *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, sid 205-251, John Wiley & Sons

Jacquemoud, S. & Baret, F., 1990, PROSPECT: a model of leaf optical properties spectra, *Remote Sensing of Environment* 34: 75-91

Jacquemoud, S., Ustin, S. L., Verdebout, J., Schmuck, G., Andreoli, G. & Hosgood, B., 1996, Estimating Leaf Biochemistry Using the PROSPECT Leaf Optical Properties Model, *Remote Sensing of Environment* 56:194-202

Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W., 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd Edition*, kap 6. Earth Resource Satellites Operating in the Optical Spectrum, John Wiley & Sons

Kuusk, A., 1995a, A Fast, Invertible Canopy Reflectance Model, *Remote Sensing of Environment* 51:342-350

Kuusk, A., 1995b, A Markov Chain model of canopy reflectance, *Agricultural and Forest Meteorology* 76:221-236

Kuusk, A., Andrieu, B., Cheille, M. & Aries, F., 1997, Validation of a Markov chain Canopy Reflectance Model, *International Journal of Remote Sensing* vol. 18, no. 10, 2147-2159

- Kuusk, A., 1998, Monitoring of vegetation parameters on large areas by inversion of a canopy reflectance model, *International Journal of Remote Sensing of Environment* vol. 19, no. 15, 2893-2905
- Lankreijer, H. J. M., 1998, *The water balance of forests under elevated atmosphere CO₂*,
- Leblanc, S. G. & Chen, J. M., Applications of the 4-scale Radiative-Transfer Model in the Remote Sensing of Boreal Forests, tillägg till; Leblanc, S. G. & Chen, J. M., 1997, A4-scale bidirectional reflection model based on canopy architecture, *IEEE TGRS* 35:1316-1337
- Li, W. -H, Weeks, R. & Gillespie, A. R., 1998, Multiple scattering in Remote Sensing of natural surfaces, *International Journal of Remote Sensing* vol. 19, 1725-1740, Taylor & Francis
- Mossberg, B. & Stenberg, L., 1992, *Den nordiska floran*, Wahlström & Widstrand
- Myneni, B. R., Asrar, G. & Kanemasu, E. T., 1989, The Theory of Photon Transport in Leaf Canopies, Ed. Asrar, G., *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, sid 142-204, John Wiley & Sons
- Myneni, B.R. & Ross, J., 1991, Eds. *Photon-Vegetation Interactions*, Springer
- Price, J. C., 1990, On the Information Content of Soil Reflectance Spectra, *Remote Sensing of Environment* 33:113-121
- Rydén, T. & Lindgren, G., 1996, *Markovprocesser (in Swedish)*, Lunds tekniska högskola, Lund
- Sellers, P. J., 1989, Vegetation Canopy Spectral Reflectance and Biophysical Processes, Ed. Asrar, G., *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, sid 297-335, John Wiley & Sons
- Vaughan, R. A., 1986, *Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology*, D. Reidel Publishing Company
- Young, H. D., 1992, *University Physics, 8th edition*, Addison-Wesely Publishing Company

8.2 Internetreferenser:

Internetreferens 1;

<http://linnaeus.nrm.se/flora/>, Den virtuella floran, Naturhistoriska riksmuseet, uppdaterad 1 nov 2000

Internetreferens 2;

<http://www.danisco.sugar.se/betodling/betodling2s.htm>, Danisco Sugar, uppdaterad 26 juni 2000

Internetreferens 3;

<http://susdesign.com/sunangle/index.html>, program skrivet av Christopher Gronbeck, 1994 ”SunAngle is an on-line tool that calculates solar angles and related information for a given location, date, and time” Updateras regelbundet enligt information på sidan

Internetreferens 4;

<http://www.smhi.se/>, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (Ångströms tubiditets faktor), uppdaterad 8 feb 2001.

Internetreferens 5;

<http://www.geog.ucl.ac.uk/~plewis/kuusk/kuusk.man.html> (förklaringar till parametrar litegrann + om programmet mcrm_ns.exe)

Internetreferens 6;

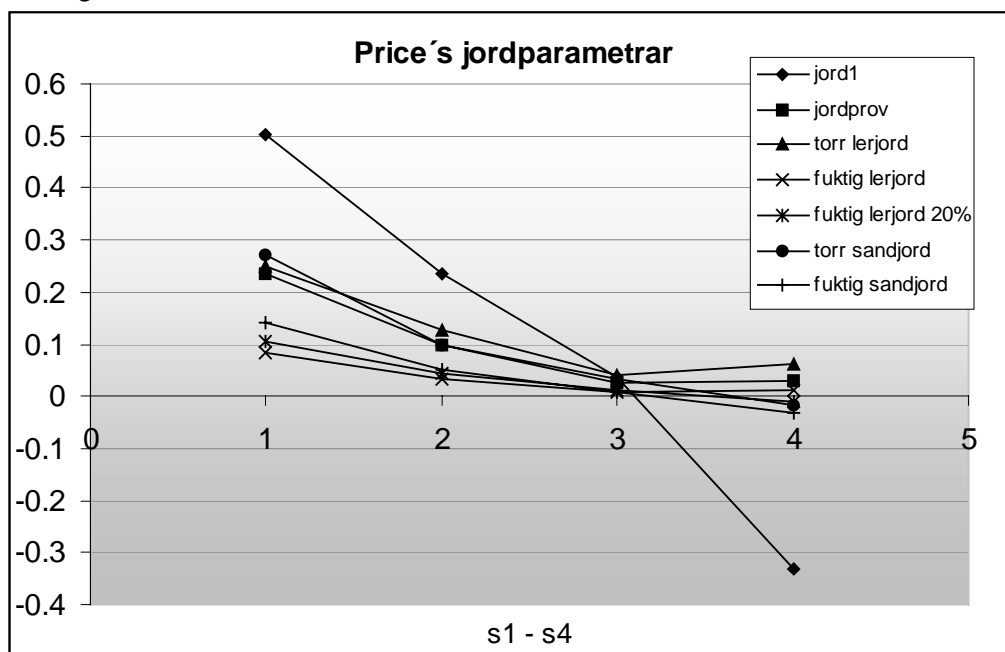
<http://cloud.ucsd.edu/missions/triana/epic.html>, Triana mission, Atmospheric Research Laboratory, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, uppdaterad 11 aug 2000

Internetreferens 7;

<http://www.callisto.si.usherb.ca/~cartel/noneill/optics.htm#Validation> parameters, CARTEL (Centre d'applications et de recherches en télédétection), Québec Canada, uppdaterad 25 okt 2000

Bilaga 1: Beräkningar av Prices parametrar

Nedan redovisas resultatet av regressionsanalys på uppmätta jordspektrum. De flesta prover ligger ganska samlat och har en likartad trend. Det prov som skiljer sig mest från de övriga är det i fält uppmätta ”jord1” som uppvisar en extremare fördelning än de övriga mätvärdena.



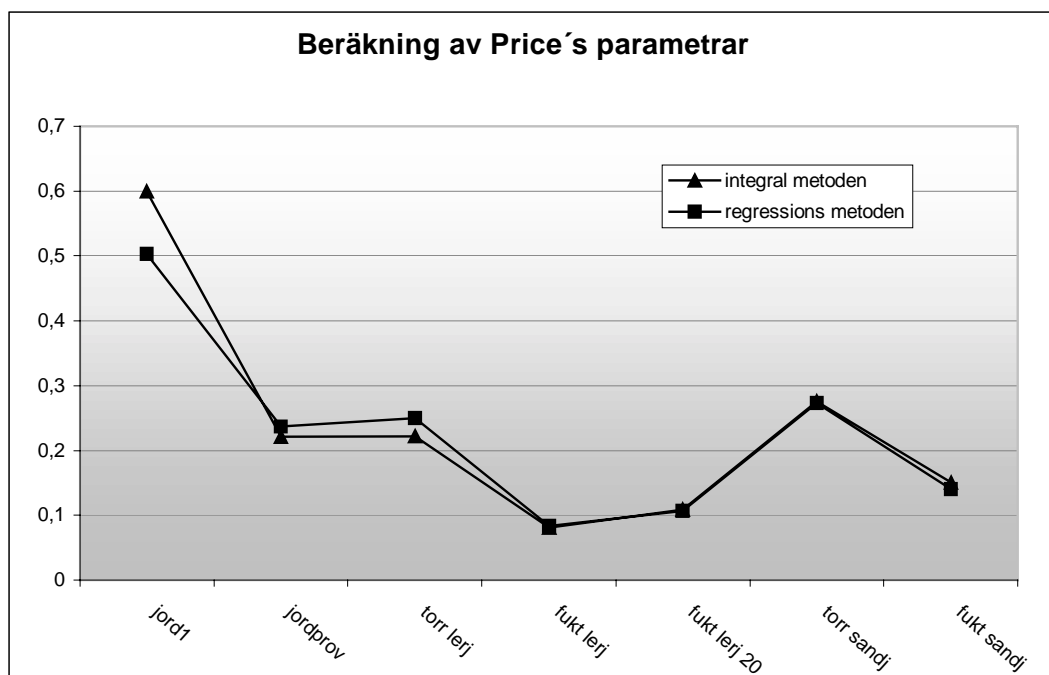
Figur 14. Från den spektrala datan beräknade Price's parametrar med regressionsmetoden.

För att genomföra känslighetsanalysen behövs invärden som uppvisar varians, men det är viktigt att variansen håller sig inom verklighetens ramar, d v s, indata får inte anta orimliga värden. Det bästa är om indatan speglar naturlig varians. Därför uppmättes värden för olika jordar med olika fuktighet i laboratorium och några även några fältmätningar gjordes. Price's parametrar beräknades på de uppmätta spektra med hjälp av ett program i MATLAB. Nedan anges max och min värden för de respektive Price parametrarna $s_1 - s_4$.

Tabell 8: Max och min-värden för s_1-s_4 .

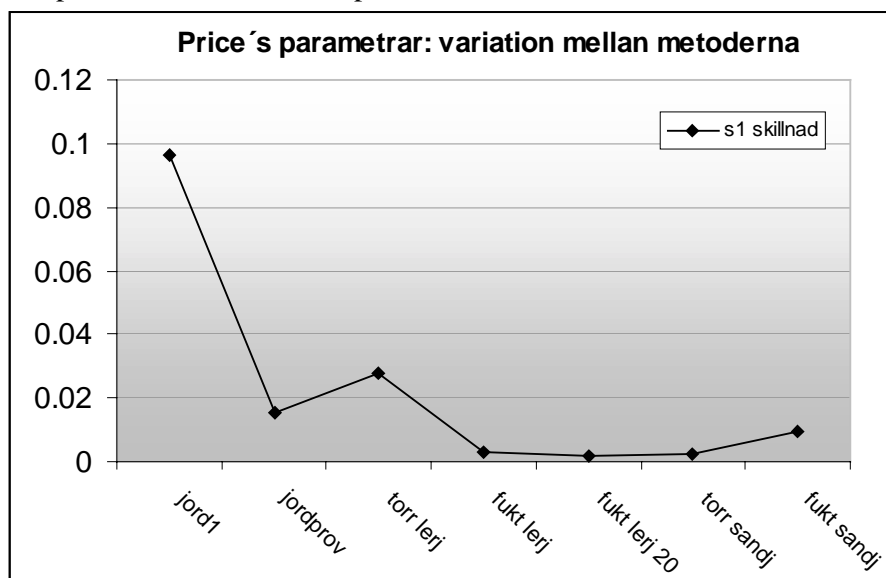
Variation	Max	Prov	Min	Prov
s1	0.5032	jord1	0.0837	fuktig lerjord
s2	0.2336	jord1	0.0335	fuktig lerjord
s3	0.0417	torr lerjord	0.0092	fuktig sandjord
s4	0.0635	torr lerjord	-0.3298	jord1

Price's parametrar ska egentligen beräknas utifrån integration av vissa våglängdsintervall med förkunskap om Price's (1990) basvektorer. Till detta krävs mer data än vad jag hade tillgängligt och endast den första av Price's parametrar var möjlig att beräkna. För att jämföra resultatet från regressionsanalysen beräknades den första Priceparametern med båda metoderna. Resultatet kan ses nedan i fig. 15.



Figur 15. Resultat av beräkning av Price's parameter s_1 med integralmetoden och regressionsmetoden.

Resultaten från de båda metoderna skiljer sig inte mycket vad gäller den första Price parametern s_1 . Variationen mellan de olika proven och metoderna redovisas i fig. 16 nedan för parametern s_1 , den enda parametern som beräknats med båda metoderna.



Figur 16. Resultatvärden på variationerna mellan de olika beräkningssätten.

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

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

1. Pilesjö, P. (1985): Metoder för morfometrisk analys av kustområden.
2. Ahlström, K. & Bergman, A. (1986): Kartering av erosionskänsliga områden i Ringsjöbygden.
3. Huseid, A. (1986): Stormfällning och dess orsakssamband, Söderåsen, Skåne.
4. Sandstedt, P. & Wällstedt, B. (1986): Krankesjön under ytan - en naturgeografisk beskrivning.
5. Johansson, K. (1986): En lokalklimatisk temperaturstudie på Kungsmarken, öster om Lund.
6. Estgren, C. (1987): Isälvsstråket Djurfälla-Flädermo, norr om Motala.
7. Lindgren, E. & Runnström, M. (1987): En objektiv metod för att bestämma läplanteringsläverkan.
8. Hansson, R. (1987): Studie av frekvensstyrd filtringsmetod för att segmentera satellitbilder, med försök på Landsat TM-data över ett skogsområde i S. Norrland.
9. Matthiesen, N. & Snäll, M. (1988): Temperatur och himmelsexponering i gator: Resultat av mätningar i Malmö.
- 10A. Nilsson, S. (1988): Veberöd. En beskrivning av samhällets och bygdens utbyggnad och utveckling från början av 1800-talet till vår tid.
- 10B. Nilson, G., 1988: Isförhållande i södra Öresund.
11. Tunving, E. (1989): Översvämning i Murcia-provinsen, sydöstra Spanien, november 1987.
12. Glave, S. (1989): Termiska studier i Malmö med värmebilder och konventionell mätutrustning.
13. Mjölbo, Y. (1989): Landskapsförändringen - hur skall den övervakas?
14. Finnander, M-L. (1989): Vädrets betydelse för snöavsmältningen i Tarfaladalen.
15. Ardö, J. (1989): Samband mellan Landsat TM-data och skogliga beståndsdata på avdelningsnivå.
16. Mikaelsson, E. (1989): Byskeälvens dalgång inom Västerbottens län. Geomorfologisk karta, beskrivning och naturvärdesbedömning.
17. Nhilen, C. (1990): Bilavgaser i gatumiljö och deras beroende av vädret. Litteraturstudier och mätning med DOAS vid motortrafikled i Umeå.
18. Brasjö, C. (1990): Geometrisk korrektion av NOAA AVHRR-data.
19. Erlandsson, R. (1991): Vägbanetemperaturer i Lund.
20. Arheimer, B. (1991): Näringsläckage från åkermark inom Brååns dräneringsområde. Lokalisering och åtgärdsförslag.
21. Andersson, G. (1991): En studie av transversalmoräner i västra Småland.
- 22A. Skillius, Å., (1991): Water harvesting in Bakul, Senegal.
- 22B. Persson, P. (1991): Satellitdata för övervakning av höstsådda rapsfält i Skåne.
23. Michelson, D. (1991): Land Use Mapping of the That Luang - Salakham Wetland, Lao PDR, Using Landsat TM-Data.
24. Malmberg, U. (1991): En jämförelse mellan SPOT- och Landsatdata för vegetationsklassning i Småland.
25. Mossberg, M. & Pettersson, G. (1991): A Study of Infiltration Capacity in a

- Semiarid Environment, Mberengwa District, Zimbabwe.
26. Theander, T. (1992): Avfallsupplag i Malmöhus län. Dränering och miljö-påverkan.
 27. Osaengius, S. (1992): Stranderosion vid Löderups strandbad.
 28. Olsson, K. (1992): Sea Ice Dynamics in Time and Space. Based on upward looking sonar, satellite images and a time series of digital ice charts.
 29. Larsson, K. (1993): Gully Erosion from Road Drainage in the Kenyan Highlands. A Study of Aerial Photo Interpreted Factors.
 30. Richardson, C. (1993): Nischbildningsprocesser - en fältstudie vid Passglaciären, Kebnekaise.
 31. Martinsson, L. (1994): Detection of Forest Change in Sumava Mountains, Czech Republic Using Remotely Sensed Data.
 32. Klintonberg, P. (1995): The Vegetation Distribution in the Kärkevagge Valley.
 33. Hese, S. (1995): Forest Damage Assessment in the Black Triangle area using Landsat TM, MSS and Forest Inventory data.
 34. Josefsson, T. och Mårtensson, I. (1995). A vegetation map and a Digital Elevation Model over the Kapp Linné area, Svalbard -with analyses of the vertical and horizontal distribution of the vegetation.
 35. Brogaard, S och Falkenström, H. (1995). Assessing salinization, sand encroachment and expanding urban areas in the Nile Valley using Landsat MSS data.
 36. Krantz, M. (1996): GIS som hjälpmedel vid växtskyddsrådgivning.
 37. Lindegård, P. (1996). Vinterklimat och vårbakslag. Lufttemperatur och kåd-flödessjuka hos gran i södra Sverige.
 38. Bremborg, P. (1996). Desertification mapping of Horqin Sandy Land, Inner Mongolia, by means of remote sensing.
 39. Hellberg, J. (1996). Förändringsstudie av jordbrukslandskapet på Söderslätt 1938-1985.
 40. Achberger, C. (1996): Quality and representability of mobile measurements for local climatological research.
 41. Olsson, M. (1996): Extrema lufttryck i Europa och Skandinavien 1881-1995.
 42. Sundberg, D. (1997): En GIS-tillämpad studie av vattenerosion i sydsvensk jordbruksmark.
 43. Liljeberg, M. (1997): Klassning och statistisk separabilitetsanalys av marktäckningsklasser i Halland, analys av multivariata data Landsat TM och ERS-1 SAR.
 44. Roos, E. (1997): Temperature Variations and Landscape Heterogeneity in two Swedish Agricultural Areas. An application of mobile measurements.
 45. Arvidsson, P. (1997): Regional fördelning av skogsskador i förhållande till mängd SO₂ under vegetationsperioden i norra Tjeckien.
 46. Akselsson, C. (1997): Kritisk belastning av aciditet för skogsmark i norra Tjeckien.
 47. Carlsson, G. (1997): Turbulens och supraglacial meandering.
 48. Jönsson, C. (1998): Multitemporala vegetationsstudier i nordöstra Kenya med AVHRR NDVI
 49. Kolmert, S. (1998): Evaluation of a conceptual semi-distributed hydrological model – A case study of Hörbyån.
 50. Persson, A. (1998): Kartering av markanvändning med meteorologisk satellitdata för förbättring av en atmosfärisk spridningsmodell.
 51. Andersson, U. och Nilsson, D. (1998): Distributed hydrological modelling in a GIS perspective – an evaluation of the MIKE SHE model.

52. Andersson, K. och Carlstedt, J. (1998): Different GIS and remote sensing techniques for detection of changes in vegetation cover - A study in the Nam Ngum and Nam Lik catchment areas in the Lao PDR.
53. Andersson, J., (1999): Användning av global satllitdata för uppskattning av spannmålsproduktion i västafrikanska Sahel.
54. Flodmark, A.E., (1999): Urban Geographic Information Systems, The City of Berkeley Pilot GIS
- 55A. Lyborg, Jessic & Thurfell, Lilian (1999): Forest damage, water flow and digital elevation models: a case study of the Krkonose National Park, Czech Republic.
- 55B. Tagesson, I., och Wramneby, A., (1999): Kväveläckage inom Tolångaåns dräneringsområde – modellering och åtgärdssimulering.
56. Almkvist, E., (1999): Högfrekventa tryckvariationer under de senaste århundradena.
57. Alstorp, P., och Johansson, T., (1999): Översiktlig buller- och luftföroreningsinventering i Burlövs Kommun år 1994 med hjälp av geografiska informations-system – möjligheter och begränsningar.
58. Mattsson, F., (1999): Analys av molnklotter med IRST-data inom det termala infraröda våglängdsområdet
59. Hallgren, L., och Johansson, A., (1999): Analysing land cover changes in the Caprivi Strip, Namibia, using Landsat TM and Spot XS imagery.
60. Granhäll, T., (1999): Aerosolers dygnsvariationer och långväga transporter.
61. Kjellander, C., (1999): Variations in the energy budget above growing wheat and barley, Ilstorp 1998 - a gradient-profile approach
62. Moskvitina, M., (1999): GIS as a Tool for Environmental Impact Assessment - A case study of EIA implementation for the road building project in Strömstad, Sweden
63. Eriksson, H., (1999): Undersökning av sambandet mellan strålningstemperatur och NDVI i Sahel.
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 Ilstorp, 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 Graispis 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 Krkonose 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. Uggla, 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): Vattensänkning - 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. Lalloo, 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, GIS applications in Hambantota district - a case study -, GIS in socio-economic planning - a case study -.
 83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.