



# **Användning av satellitdata för lokalisering av skogsområden där lövröjning bedöms angelägen**

**- En analys av användbarheten med fjärranalys  
som hjälpmedel till röjningsrådgivning**

**Magnus Pettersson**

**Arbetsrapport 149 2005**

## Förord

Detta examensarbete är utfört vid institutionen för skoglig resurshållning och geomatik, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Umeå. Arbetet är en del av Jägmästareutbildningen och omfattar 20 högskolepoäng på D-nivå. Erik Wilhelmsson har varit handledare på SLU som gett gott stöd under processen.

Skogsvårdsstyrelsen, distrikt Gästrikland (SVS X) är uppdragsgivare åt arbetet där skogsvårdskonsulent Fredrik Sätter fungerat som handledare. Distriktskontoret har stått för satellitdata, fältmateriel och annan nödvändig utrustning till fältarbetet. Ett stort tack riktas speciellt till handledare som alltid har tagit sig tid för problemlösning och annat som varit hinder i arbetets gång, och även till alla på SVS:s distriktskontor i Sandviken. Dessutom ett tack till Karin Öhman vid SLU som varit examinator, men också lämnat förslag till förbättringar.

Tack även till institutionen för skogens produkter och marknader, SLU Uppsala, som bistod med ett arbetsrum.

## Sammanfattning

Detta examensarbete är en del av "Järboprojektet", vilket drivs av skogsvårdsstyrelsen distrikt Gästrikland. Projektet ska ge svar på frågor om satellitbildsanalys kan användas för att kontakta och informera markägare till lokaliserade objekt med eftersatt röjning. Projektet ingår i SVOs IT-satsning där satellitbildsanalys, på de breddgrader det är möjligt, skall anpassas på distriktsnivå. Examensarbetet innefattar en fältinventering av objekt som efter analys i satellitbild bedöms ändamålsenliga att lövröja. Studien görs för enskilt ägd skog inom Järbo församling i norra Gästrikland. Den grundläggande principen för satellitbildsanalysen är att utnyttja skillnaden i reflektansen, från klorofyllet i växterna, i våglängderna för rött ljus och nära infrarött ljus (NIR). Lövträd ger den största skillnaden mellan dessa våglängder varför dessa arter lokaliserar med störst precision.

I studien antogs att mindre objekt lokaliserar med sämre säkerhet än större. Detta ledde till att en uppdelning av objekten utfördes där den undre gränsen för de större objekten sattes till lika med eller större än 1.5 ha. Samtliga objekt större eller lika med 1.5 ha inventerades i fält och ett begränsat antal av de mindre objekten inventerades efter dels ett slumpmässigt och dels ett subjektivt urval. Ett antal egenskaper hos objekten bedömdes subjektivt och registrerades på en fältblankett. Data insamlades även till en ekonomisk analys av röjning. Vissa parametrar som höjd och stamantal mättes på subjektivt utlagda provytor för vidare behandling i ett program för prognostisering av röjningens effekter.

Skogsvårdsstyrelsens generella rekommendation är att röjning bör utföras när ett bestånds medelhöjd är mellan 2-4 m om stamantalet överstiger rekommenderat antal för given marktyp, trädslagssammansättning, m.m. Av de inventerade objekt som identifierats som aktuella för röjning uppfyller ca 25 % detta höjdintervall. Ungefär 50 % av de inventerade objekten med eftersatt röjning har en medelhöjd mellan 5-8 m. Vidare finns en stor andel objekt, av de som bedömts lämpliga att röja, med ett stamantal mellan 3000-6000 st/ha. Angelägenheten för röjningsinsatsen i de identifierade objekten bedömdes i 85 % av fallen vara "nödvändig genast" medan 11 % av objekten "bör röjas inom 5 år". Andelen lokaliserad areal, uppmätt i ArcView, där röjning bedömdes vara en nödvändig åtgärd hos objekt större eller lika med 1.5 ha var 73 %. Motsvarande areal för objekt mindre än 1.5 ha slumpvis valda endast var 51 % vilket motsvarar en skillnad på 22 % enheter. Denna skillnad visade sig också vara statistiskt signifikant.

Skador och kvalitetsfel är vanliga följder av hög stamtäthet. Om röjningen görs omgående kan dessa problem reduceras avsevärt. Därför är kontakten med respektive markägare angelägen. Den relativt höga andelen objekt klassificerade som G1 och G2 tyder på att brytpunktsvärdet (dvs. gränsvärdet när objektet förs till någon av kategorierna lövröjning resp. ej lövröjning) ligger något högt eftersom dessa objekt verkar reflektera mer andel NIR än röjningsobjekt. Givet nuvarande förutsättningar för analysen bör man i kommande analyser koncentrera sig på större objekt för bästa träffsäkerhet. Dock finns fler kompletterande metoder för att öka andelen lokaliserade röjningsobjekt. Sådana kan vara avverkningsanmälningar, högre upplösning i satellitbilden, studera histogram för satellitbilden för att lättare kalibrera brytpunktsvärdet m.m.

Nyckelord: Fjärranalys, nära infrarött ljus, röjning, satellitbild

## Abstract

This master thesis project is a part of a project called “Järboprojektet” at the regional board of forestry, the district of Gästrikland. The project will give answers to questions regarding if an analysis of satellite images can be used to contact and inform landowners of the located areas where precommercial thinning is useful. The whole project is a part of the National Board of Forestry's IT-stake where the analysis of satellite images will, at the latitudes possible, be adapted to each district in purpose to identify these areas in need of precommercial thinning. This master thesis project is based on a field inventory of identified objects where precommercial thinning is useful. The region for the experiment comprise the whole parish of Järbo in the northeast part of Gästrikland which is in the southern part of Swedens boreal zone. The principals of the analyses is to use the high difference between the amount of reflected light, from the chlorophyll, in the wavelenghts for red light and near infrared light (NIR). Deciduous species gives the highest difference and is therefore the species located with the best accuracy.

A field inventory of all located objects was not possible because of the time limits of this project. Therefore an assumption was made that large objects containing forests in need of precommercial thinning are more easily detected than small ones. That resulted in a selection of objects where the lowest area limit was set to 1.5 hectares. All these areas were observed together with a limited quantity of smaller objects both randomly and subjectively selected. In each object variables as mean height, mean stem density, composition of tree species etc. were registrated. To obtain data for an economic simulation of the precommercial thinning, between two and four sample plots were subjectively chosen in each object. The data collected was for instance tree height, tree species and stem density.

The National Board of Forestry recommends precommercial thinning to be done when the stand mean height is between 2-4 m and the stem density is higher than recommended for given soil classification, tree species composition, etc. Results from the field inventory shows that 25 % of the identified stands with need of precommercial thinning fulfill this recommendation, while approximately 50 % of the rest of these stands has a mean height between 5-8 m. In 85 % of the objects the precommercial thinning is estimated to be useful “immidiately” and 11 % “within five years”. The share of the inventored area that comprises forest with need of precommercial thinning is, for objects larger than 1.5 ha, 73 %. That should be compared with the percentage of objects smaller than 1.5 ha randomly selected which is 51 % which gives a difference of 22 units of %. This difference is statistically significant.

In most objects, a fearly immediate precommercial thinning can avoid the severe damages that occurs in stands with high stem density. Thus the contact with landowners for objects found after the satellite image analysis is important. The high amount of objects in phases G1 and G2 indicates that the treshold value (i.e. the value when an object is classified as where precommercial thinning is useful or not) is rather high since these stands seems to reflect among the highest amount of NIR. If another similiar satellite image analysis is to be done, with the same conditions as this analysis, one should concentrate on larger objects for best accuracy. However, there are several complementary measures to use such as: landowner registration of clearcutting, a higher resolution in satellite images, studying the histogram for a satellite image in order to find patterns usable for setting a threshold value, etc.

Keywords: Remote sensing, satellite images, near infrared light, precommercial thinning

# Innehållsförteckning

<b>1 INLEDNING</b>	<b>5</b>
1.1 Röjningsberget	5
1.2 Syfte	6
1.3 Avgränsningar	6
1.3 Järboprojektet	5
1.4 Målobjekt	6
1.5 Fjärranalys	7
<b>2 MATERIAL OCH METODER</b>	<b>9</b>
2.1 Geografiskt område	9
2.2 Datorprogram	9
2.3 Analysen	9
2.4 Urval av objekt	10
2.5 Inventering i fält	11
2.5.1 Förberedelser för datainsamling	11
2.5.2 Inventeringens utförande	12
2.6 Träffsäkerhet	13
2.7 Analys av resultaten	13
2.8 Ekonomisk analys av röjning	13
<b>3 RESULTAT</b>	<b>15</b>
3.1 Precision	15
3.2 Skogstillståndet i objekten	16
3.3 Ekonomisk analys av röjning i typobjekt	19
<b>4 DISKUSSION</b>	<b>22</b>
4.1 Precision	22
4.2 Objektens egenskaper	23
4.3 Ekonomisk analys av röjning	24
4.4 Kompletterande åtgärder	25
4.5 Felkällor	26
<b>5 SLUTSATSER</b>	<b>27</b>
<b>6 REFERENSER</b>	<b>28</b>
<b>Bilagor</b>	
1a. Fältblankett från inventering	
1b. Formulär för datainsamling till den ekonomiska analysen av röjning	
2a. Exempel på utskrift av satellitbild som gjorts för varje objekt.	
2b. Exempel på gränskorrigerering	
3. Indata för typobjekt	

# 1 Inledning

## 1.1 Røjningsberget

Røjning är en av de långsiktigt mest lönsamma investeringarna man kan göra bland skogsvårdsåtgärder enligt Eriksson (muntlig kommunikation) och redan i förstagallringen tydliggörs de ekonomiskt positiva resultaten (Björkman 2004). Røjningen medför att markens potential utnyttjas av huvudstammarna som kan utveckla både kvalitet och dimension. Åtgärden ger också flexibilitet för framtiden och möjlighet att utveckla naturvärden. Ju tidigare røjningsinsatsen utförs desto större möjligheter skapas (Alriksson 1998). Røjningen medför stabilitet vilket har betydelse för bl.a. snöbrottsrisken. En eftersatt eller utebliven røjning medför ett stort risktagande. Senare insatser tvingar markägaren lämna förväxande träd med dålig kvalitet, vilket ger långsiktigt dåliga netton i både gallringar och slutavverkningar (Frohm 1996). För skogsägare var det under 1980 talet en plikt enligt skogsvårdslagen att røja, men 1994 avskaffades tvånget. Relativt snabbt noterades en halvering i røjningsaktiviteten över landet och minskningen har fortsatt (Bondeson 2001). Minskningen beror troligtvis inte endast på lagändringen. Färre rådgivningsinsatser, avskaffade ekonomiska bidrag, brist på arbetskraft bland røjningsentreprenörer och minskad kunskap bland markägarna om røjningens positiva effekter kan vara viktiga bidragande orsaker (Alriksson 1998). Detta har skapat det idag flitigt använda begreppet ”røjningsberget”.

## 1.3 Järboprojektet

I mitten av 1990-talet beslutade skogsvårdsorganisationen att undersöka potentialen i att använda fjärranalys för att lokalisera røjningsobjekt samt förnygringsytor. Detta skulle ge möjligheter att rikta rådgivning direkt till berörda markägare och därmed öka effektiviteten i rådgivningsverksamheten för røjning. Metoden ansågs främst vara användbar för att lokalisera røjningsobjekt innehållande stor andel lövträd. En pilotstudie genomfördes där först försöksområden subjektivt utsågs följt av en satellitbildsanalys, varefter omfattande inventeringar gjordes i de lokaliserade objekten. Resultatet blev så tillfredsställande att detta skulle ingå i SVO:s IT-satsning där varje distrikt bl.a. avsågs utföra en liknande analys. För Gästriklands distrikt medförde detta starten av ”Järboprojektet” (Setter, muntlig kommunikation). En av de viktiga förutsättningarna för genomförandet av projektet var KUA-fonden<sup>1</sup>, som verkade dels som initiativtagare men även som stor finansär.

Huvudmomenten i Järboprojektet är en satellitbildsanalys, inventering av lokaliserade objekt och uppskattning av träffsäkerheten och sist kontakt med ägare till identifierade objekt där røjning anses vara nödvändig. Tidigare erfarenheter har visat att denna typ av analys fungerat bristfälligt i södra Sverige. Möjliga orsaker till störningar kan enligt Olsson (muntlig kommunikation) vara örtrika marker, hög tillväxt, brutenhet i landskapet och blandskogar. Att Gästrikland utgör början av Norrland och övergången från hemiboreal zon till den boreala zonen gjorde inte projektet mindre intressant. Olika metoder diskuterades för att mäta träffsäkerheten i analysen. Ett alternativ var att någon eller några av de inblandade i fält

---

<sup>1</sup> KUA-fonden: Konjunkturutjämningsfonden är bildad av medel från en tidigare period av överskott hos några skogsbolag. Fonden ger bidrag till diverse projekt inom skogsbruket.

stickprovsmässigt skulle undersöka hur analysen stämde med verkligheten. Ett annat alternativ, vilket blev det utvalda, var att låta en projektanställd inventera fler objekt och en betydligt större areal. Att den projektanställda tillika skulle utföra inventeringen som ett examensarbete blev en mycket kostnadseffektiv lösning vilket gav utrymme för en omfattande inventering. Resultaten har därför högre tillförlitlighet och visar ett säkrare mått på tillämpbarheten i denna metod, än vad som varit möjligt med enbart några få observationer i fält.

Efter analysen i satellitbilderna och inventeringen gjordes slutligen ett utskick till markägarna. Detta beskrev projektet i korthet samt att det troligtvis fanns anledning att röja i ett eller fler objekt, på markägarens ägor, vilka utmärktes på en bifogad karta. En viss betoning lades på "troligtvis" eftersom analysen även lokaliserar andra objekt som kalytor och gallringsskogar. Man erbjöd även tjänster som gratis rådgivning vid genomförande av röjningskurser.

## 1.2 Syfte

Syftet med studien är att ge information om digital analys av satellitbilder kan användas i Gästrikland för att lokalisera objekt där lövröjning bedöms vara en lönsam investering. Vidare ska studien ge erfarenhet av lämpligt brytpunktsvärde (NDVI, se avsnitt 2.3) för satellitbildsanalysen. Den ekonomiska analysen av röjning syftar till att visa på den positiva effekt röjningen har på avkastningen samt om det finns typer av objekt lokaliserade med analysen i satellitbilderna där röjningsingreppets lönsamhet är tveksam.

Studien utförs på enskilt ägd skog inom Järbo församling i skogsvårdsstyrelsens distrikt Gästrikland.

## 1.3 Avgränsningar

Inventeringen i examensarbetet är gjord på objekt lokaliserade av en satellitbildsanalys utförd av IT-ansvarig på skogsvårdsstyrelsen distrikt Gästrikland. Analysen är dock grundligt beskriven i examensarbetet som en viktig bakgrund. Det arbete inom Järboprojektet som följer efter examensarbetet och identifieringen av de objekt som anses vara nödvändig att lövröja, d.v.s. kontakten med berörda markägare, nämns endast i vissa delar i uppsatsen och behandlas för övrigt inte i examensarbetet.

## 1.4 Målobjekt

Definitionen av huggningsklassen R1 är en godkänd föryngring där medelhöjden i beståndet är mindre än 1.3 m. Över denna höjd träder beståndet in i fasen R2 och befinner sig där tills beståndets härskande stammar har en brösthöjdsdiameter över 10 cm. Inom ovanstående ramar kan strukturen i de lokaliserade objekten variera kraftigt sinsemellan men även inbördes. Enligt skogsvårdsstyrelsen skall röjningsåtgärder generellt utföras när beståndet har en medelhöjd mellan ca 2-4 m vilket innebär att beståndet ungefär befinner sig i den första halvan av R2-fasen. Röjning kan även vara nödvändig i fasen R1 där exv. plantskogsröjning kan tillämpas och plantor mellan 0.5-1m enkelställs samtidigt som "vargar" avlägsnas (Frohm 1996). Rådgivningsverksamhet i dessa skeden torde skapa möjligheter till att förebygga de framtida negativa effekterna av en eftersatt röjning. Målet med analysen är således att

lokalisera så många objekt som möjligt i huggningsklasserna R1 och R2 där en röjningsåtgärd är nödvändig genast eller i en nära framtid.

## 1.5 Fjärranalys

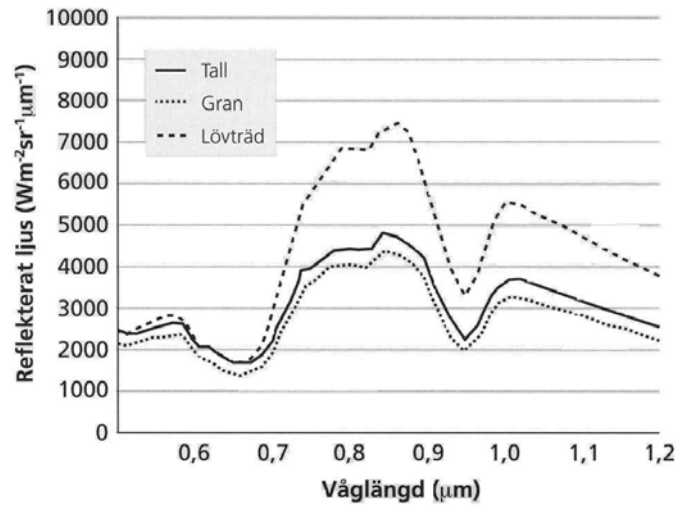
Fjärranalys är från början ett samlingsbegrepp på teknik för insamling av information på avstånd, vanligtvis med flygplan eller satellit. Kärnan i tekniken är ett utnyttjande av att alla material reflekterar solljuset olika mycket inom olika våglängdsområden. Med dagens teknik kan satelliter, utrustade med en s.k. radiometer, registrera den reflekterade energin i olika våglängder (se figur 1). På markstationer kan mottagna data bearbetas vilket något förenklat resulterar i en multispektral bild. Dessa bilder är uppdelade i skikt som var för sig utgör en fullständig bild i ett våglängdsband. Skillnaden i den reflekterade energin kan analyseras med datorprogram för att fastställa vad som finns på jordytan (Arnberg m.fl.; 2001).

Tillgången på satellitdata är idag relativt stor och trots att satellitbilder med minst 30 meters upplösning funnits tillgängliga sedan 1982 har utnyttjandet av denna teknik varit blygsam inom skogsbruket (Hagner 1997). Inom de senaste 20 åren har mer än 10 satelliter skjutits upp där både aktiva och passiva sensorer förekommer (Arnberg m.fl.; 2001). Till skillnad från flygbilder täcker satellitbilder relativt stora områden. Eftersom avståndet mellan linsen och jordytan är relativt stort (ca 70 mil) är belysning och betraktningvinklar i det närmaste konstanta vilket är en stor fördel vid mätning av skogliga variabler (Hagner m.fl. 1999). Det finns dock vissa nackdelar med satellitbilder som har påverkan på informationen i bilden. Atmosfäriska störningar, moln, markens lutning och tidpunkt i vegetationsperioden är exempel på faktorer som ständigt ändrar utseendet på satellitbilden (Dahl 2001). Landsat och SPOT är exempel på satelliter vars information används i skogsbruket. Den franska satelliten SPOT-4 uppskjuten 1998 kan med sitt "vegetation instrument" och HRVIR registrera ljus i fem våglängdsband (Lillesand & Kiefer 2000):

- 0.43-0.47  $\mu\text{m}$  Blått ljus
- 0.50-0.59  $\mu\text{m}$  Grönt ljus
- 0.61-0.68  $\mu\text{m}$  Rött ljus
- 0.79-0.89  $\mu\text{m}$  Nära infrarött ljus (NIR)
- 1.58-1.75  $\mu\text{m}$  Mellan infrarött ljus

En metod för att kunna klassificera informationen i en multispektral satellitbild är att använda sig av ett vegetationsindex. Detta bygger på kombinationer av spektralbanden rött ljus och nära infrarött ljus där höga indexvärden indikerar hög andel vegetation som lövträd, gräs och örtbevuxen mark. Detta är ett resultat av att klorofyllet absorberar mer än hälften av det synligt röda ljuset samtidigt som större delarna av NIR reflekteras (Persson & Bank 1998). I sammanhang kring skoglig fjärranalys skapas därigenom möjligheter då lokalisering av lövträd blir genomförbart med relativt enkla medel. I Figur 1 illustreras detta faktum där reflektansen jämförs mellan tall, gran och lövträd. Anmärkningsvärt är topparna på kurvorna vilka ligger ungefär mellan våglängdsintervallet 0.8-0.9  $\mu\text{m}$ , d.v.s. våglängdsbandet för nära infrarött ljus.





**Figur 1.** Genomsnittliga spektralkurvor för jämgamla bestånd dominerade av björk, tall respektive gran. Registrerade med bildalstrande hyperspektral radiometer (Olsson m.fl.; 1999)

## 2 Material och metoder

### 2.1 Geografiskt område

Försöksområdet omfattar hela Järbo församling som är belägen ca 15 km norr om Sandviken. Inom området finns ca 8000 ha produktiv skogsmark. Regionen ligger i norra Gästrikland och i södra delen av Sveriges boreala zon.

### 2.2 Datorprogram

Enforma version 3 är ett datorprogram framtaget av Skogsvårdsstyrelsen i samarbete med bl.a. Metria. Det hanterar i huvudsak rasterdata via vegetationsindex NDVI för vidare behandling i GIS-verktyg. I Enforma finns även en skogsmask samt en molnmask som visar vilka områden som skuggats av moln i bilden. Kotten, skogsvårdsstyrelsens version av GIS-programmet ArcView, har använts för framtagning av kartdata för inventering, för vidare behandling och digitalisering samt för analys. Alla fältdata har matats in i databasprogrammet Access och samtliga beräkningar, tabeller, diagram m.m. har utförts i Excel.

### 2.3 Analysen

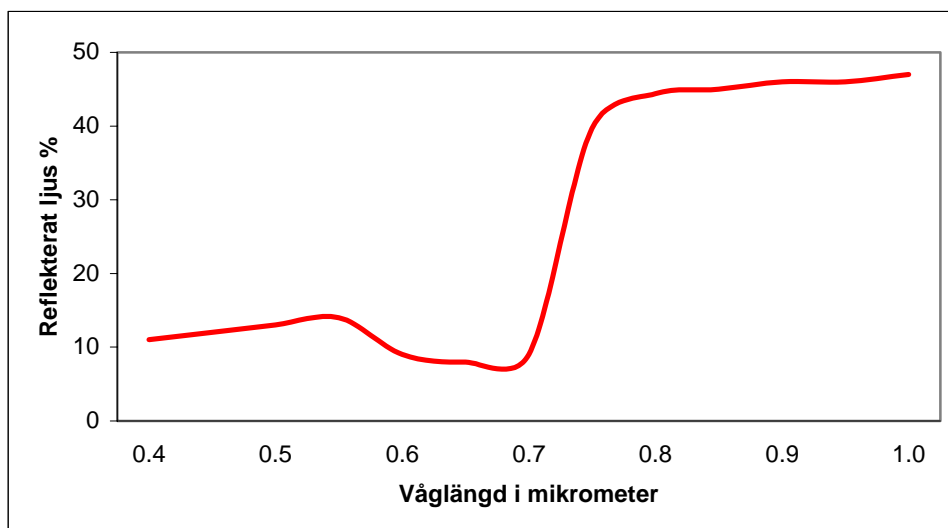
Multispektrala data från Spot4<sup>2</sup> med en upplösning av 20 m har använts. Detta innebär att varje pixel i den digitala bilden motsvarar en yta av 20 x 20 m i verkligheten. För senaste uppdatering av röjningsbehovet i området för studien har man använt bilder från juni i 2003 års vegetationsperiod. Varje pixel har ett sammanvägt värde på graden av registrerat ljus inom varje våglängdsband. Data från våglängderna nära infrarött ljus (NIR) och synligt rött ljus används vidare i vegetationsindex. Det finns flera typer av vegetationsindex och i Enforma har ett av de vanligaste av index tillämpats, Normalised Difference Vegetation Index (NDVI). Indexet bygger på följande formel:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Mängd NIR} - \text{Mängd rött ljus}}{\text{Mängd NIR} + \text{Mängd rött ljus}}$$

Indexet utnyttjar följaktligen differensen mellan andelen reflekterat synligt ljus och nära infrarött ljus. Differensen divideras i sin tur med totala mängden reflekterat ljus. Värdena på NDVI ligger inom intervallet -1 och 1 där ytor som absorberar större delen av både NIR och rött ljus ger värden nära -1 (exv. vatten), medan ytor med mycket vegetation som lövröjningsobjekt ger värden närmare 1. Detta för att ca 10 % av det synligt röda ljuset reflekteras samtidigt som kring hälften av NIR reflekteras. Detta åskådliggörs i figur 2 nedan (Persson & Bank 1998).

---

<sup>2</sup> Spot4: satellit uppskjuten 1998 med möjligheter att mäta multispektrala bilder (Arnberg m.fl.; 2001).



**Figur 2.** Reflektion av det inkommande solljuset. Rött ljus mellan 0.61 – 0.68 µm samt NIR mellan 0.79-0.89 µm.

Vid analysen av bilden delar man in bildelementen i två klasser beroende på det så kallade tröskelvärdet på NDVI. Höga värden innebär att lövträd förekommer, låga värden att lövträd saknas. Tröskelvärdet sätts efter jämförelse med visuell tolkning av bilden. Sammanhängande pixlar med indexvärden som uppfyller kriteriet löv låter man bilda unika ytor. I ArcView omvandlas pixlarna till vektorformat som bildar polygoner i satellitbilderna (Persson & Bank 1998).

För att analysen skall bli användbar för att identifiera lövröjningsobjekt måste träffsäkerheten bli tillräckligt hög. Gräs och örtvegetation är exempel på material på jordytan som reflekterar stora mängder ljus vilket ger höga värden i NDVI. Detta medför att sammanhängande ytor av dessa material tenderar att bli felaktigt klassificerade som lövröjningsobjekt och bör därför uteslutas. Här finns ett antal möjligheter att använda sig av externa data. Den kanske viktigaste är den s.k. skogsmasken som skapats på följande sätt. Med den gröna skogskartan, även kallad ekonomiska kartan, tydliggörs åkermark, kraftledning och andra ägoslag som inte är skogsmark. Genom att bilda ett eget skikt i ArcView för dessa ytor sållas skogsmarken fram på ett enkelt sätt. En fördel med att använda just ekonomiska kartan är den höga upplösningen, 1:25 000, som ger skogsmasken god noggrannhet. Lokaliserade objekt klassificerade som lövröjningsobjekt har även jämförts med data från ÖSI-inventering i olika egenskaper som exv. huggningsklassen.

Med ett skikt med fastighetsgränser och därtill en tabell med delar ur det allmänna fastighetsregistret kan de identifierade objekten knytas till fastigheter. De objekt som omfattar fler fastigheter delas. Denna åtgärd är en förutsättning för de utskick som görs till markägarna efter analys och inventering.

## 2.4 Urval av objekt

Varje pixelvärde är en sammanvägning av mängden reflekterat ljus motsvarande, med befintlig upplösning, en yta av 20 X 20 m. Vid kanterna av ett röjningsobjekt kan många av pixlarna vara en sammanvägning av röjningsskog och annan slags skog alltifrån kala ytor till fullvuxen skog. Därmed uppstår en s.k. kanteffekt. Omfattningen av kanteffektens påverkan beror på storleken av objektet. Antag att gränserna hos ett helt kvadratisk objekt med ytan 1

ha placerats så att de klyver pixlarna i kanten. Detta medför att sidan som är 100 m klyver 5 pixlar och kvadraten totalt 16 pixlar. I mitten av objektet finns pixlar som enbart består av lövröjningsskog. Motsvarande resonemang på ett fyra ha stort objekt ger 36 kluvna pixlar och 64 ”rena” pixlar. Således ökar andelen ”rena” pixlar ökar mest med ökad objektsstorlek vilket talar för att större objekt säkrare lokaliseras i analysen. Det är emellertid viktigt att tillägga att kanteffekten har stor påverkan även på stora objekt om dessa har en extremt avlång form. Avverkningar är dock i dagens skogsbruk sällan utformade på detta sätt varför antagandet med tillräcklig säkerhet torde kunna praktiseras.

Resultatet av analysen gav över 300 objekt med varierande storlek. Inom ramen för ett examensarbete var därför ett urval bland objekten nödvändigt för att avgränsa inventeringen. Baserat på bl.a. kanteffektens påverkan sattes, utifrån en subjektiv bedömning, en undre gräns för storleken på objekten till 1.5 ha vilket gav 108 objekt. Metodens användbarhet på mindre objekt undersöktes också genom ytterligare två urval bland objekt mindre än 1.5 ha. Ett subjektivt urval gjordes av 26 objekt i södra delen av Järbo församling, och ett slumpmässigt urval på 30 objekt över hela socknen för att få en representativ jämförelse.

## **2.5 Inventering i fält**

### **2.5.1 Förberedelser för datainsamling**

Vid Järboprojektets planeringsstadium antogs inventeringen äga rum i huvudsak i yngre lövskogar. För enklast möjliga datainsamling och framkomlighet valdes därför en tidpunkt innan lövsprickning. Då inventeringen utfördes i februari månad fanns, i regionerna kring Järbo, dessutom rikligt med snö vilket erbjöd snabba transporter mellan objekt medelst skidor. Inventeringens tidsmässigt totala omfattning var fyra veckor med ca 6 h effektiv datainsamling per dag. Dessa fyra veckor inkluderade även två veckors datainsamling för den ekonomiska analysen av röjning, vilket beskrivs nedan.

För att ha möjlighet till att dra slutsatser utifrån analyserna krävdes information om skogstillståndet i objekten. En inventering med exakt mätning av objektens utseenden och noggrann datainsamling ansågs dock vara alltför tidskrävande och inte nödvändigt för huvudsyftet med detta examensarbete. Det primära målet var att objektsvis bedöma vilken typ av skog som lokaliseras och om röjning är en lämplig åtgärd. Detta kunde uppfyllas med subjektiv och okulär datainsamling. Utifrån detta utformades en fältblankett med kolumner för de viktigaste variablerna, allt för att, genom vidare analys av fältdata, finna de mest intressanta egenskaperna och variationerna bland objekten.

Följande egenskaper bedömdes: objekt-ID, ägoslag, reflekterande material (i fältblanketten benämnt ”utslagsfaktorn”), åtgärd, bedömd angelägenhet för åtgärden, huggningsklass (hkl), ålder, trädslagsblandning, medelhöjd, stammar/ha och noteringar.

Objekt-ID skiljer objekten vilket är elementärt för att objektsdata skall bli användbar. Registrering av ägoslag är viktigt främst för att kunna bekräfta om något objekt med annat ägoslag än skog passerat sorteringen med skogsmasken. Reflekterande material visar av vilken orsak objektet lokaliseras av Enforma, d.v.s. vilken typ av vegetation som bedömts ha reflekterat huvuddelen av NIR. Utslagsfaktorn delades in i tre koder: 1 träd, 2 blandning av träd och gräs, 3 gräs samt 4 övrigt. Åtgärd är subjektiv och samlad benämning av lämplig åtgärd. Angelägenhet angav tidpunkt för en åtgärd fördelat på tre klasser: 1 åtgärden skall utföras snarast, 2 inom 2-5 år och sist 3 inom 5-10 år. Huggningsklassen visar i vilket stadium

objektet befinner sig vid inventeringen. Åldern består av objektets skattade medelålder. Trädslagsblandningen avser andelen tall, gran och löv i objektet uttryckt i tiotals procent. Medelhöjd anger den skattade medelhöjden för objektet i meter. Antal stammar per hektar är det uppskattade medeltalet av objektets stamtäthet. Slutligen har kolumnen noteringar använts för att notera anmärkningsvärda observationer under inventeringen vilka senare värderas huruvida dessa haft någon påverkan på analysen.

Fältblanketten finns i slutet av examensarbetet som bilaga 1a.

### **2.5.2 Inventeringens utförande**

Inför inventeringen skrevs kartblad ut i färg för varje objekt i skala 1:10 000. Satellitbilden placerades i bakgrunden på kartan vilket gjorde att man, utifrån färgnyanser, redan på rummet kunde se detaljer som pekade på olika trädslagsblandning och i viss mån områden med äldre sluten barrskog. För att möjliggöra planering och minimering av transporter mellan objekt skapades även en översiktskarta i skala 1:70 000.

Så stora ytor som var möjligt inventerades i objekten för att fånga variationerna till en representativ bedömning av variablerna i fältblanketten. Arbetsgången i fält kan sammanfattas i följande punkter:

- Kontroll av färgskiftningar i satellitbilden som iakttagits på rummet.
- De delar av objektets gränser, som på rummet misstänks utesluta ytterligare skog där en röjningsåtgärd är nödvändig, undersöks.
- Skatta gränsdragning för arealer som innehåller annat än skog där röjning kan rekommenderas.
- Gränser för objekt justeras för hands i utskrift av satellitbild för vidare digitalisering i ArcView (se bilaga 2b).
- Sist antecknas helhetsbedömningen av tillståndet i objektet ned på fältblanketten.

## 2.6 Träffsäkerhet

För att mäta precisionen i satellitbildsanalysen användes fältdata från inventeringen till två typer av mått på träffsäkerheten. Det första är antal objekt där röjning rekommenderas på åtminstone någon del, i förhållande till antalet inventerade objekt. Det andra måttet på träffsäkerheten baserades på relationen mellan areal där röjning anses nödvändig och den totalt inventerade arealen. Då ArcView innehåller funktioner som uppskattar arealer krävdes varken avancerade mätningar eller beräkningar. Gemensamt för båda metoderna är att träffsäkerheten uttrycks i procent (uttrycks i examensarbetet ofta som träffprocent). För att ett objekt eller en areal skulle räknas som en träff i analysen krävdes att föreslagen åtgärd var "röj". Samtliga objekt/arealer med denna åtgärd föreslagen räknades som träff oavsett angelägenhetsgraden för röjningsinsatsen.

## 2.7 Analys av resultaten

Efter det att träffprocenten räknats ut var det även av intresse att testa om skillnaderna mellan urvalen var statistiskt signifikanta och om större objekt, i vilka röjning anses vara en lämplig åtgärd, med större säkerhet lokaliserades i analysen. En lämplig variant var att göra ett  $\chi^2$ -test (Engstrand & Olsson 2001). Data ställs upp som en korstabell med följande utseende:

**Figur 3.** Korstabell för beräkning av  $\chi^2$ -test.

Åtgärd röj	Obj. $\geq 1.5$ ha	Obj. $< 1.5$ ha slump	Obj. $< 1.5$ ha subj.
Ja			
Nej			

Två tabeller konstruerades, en med jämförelsen av skillnaden i frekvensen objekt och en för jämförelse av ytan i ha för objekten där röjning är föreslagen. Testet beräknas enligt följande formel: Summan av alla  $((O_{ij}-E_{ij})^2) / E_{ij}$  där O är värdet från respektive cell i tabellen och E är det förväntade antalet för O. E beräknas med (summan i rad i)(summan i kolumn j) / summan av samtliga celler, vilket beräknas för varje O.

Vidare analys och presentation av fältdata har till stor del gjorts via tabeller och diagram i form av frekvensdata. Dessa baseras på egenskaper som medelhöjd, stamantal, huggningsklass etc. där objekten delats in i olika klasser för egenskapen i fråga. Frekvensen redovisas i antingen antal objekt per klass eller den procentuella andelen för respektive klass.

## 2.8 Ekonomisk analys av röjning

Vid prognostisering av röjningens effekter som jämförelse mellan skötselprogram finns många parametrar att beakta och även många orsaker till felkällor. Inom ramen för ett 20 p examensarbete fanns därför inget utrymme till att skapa någon enkel simulering varför ett externt redan komplett datorprogram användes (tillgängligt på skogsforsks hemsida [www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)). Detta beräknar gallringsnettot för förstagallringen med utgångspunkt från indata vilka beskriver förhållanden hos ett önskat bestånd vid röjningstidpunkten. Analyserna från förstagallring till slutavverkning är gjorda med ett program för prognostisering av beståndsutveckling vilket beskrivs sist i detta avsnitt.

Med hänsyn till osäkerheten kring prognostisering och simuleringar har fältdata insamlats med mer noggranna objektiva mätningar kombinerat med viss subjektiv skattning för att så långt det är möjligt minimera osäkerheten i fältdata till den ekonomiska analysen av röjningsinsatsen. Under inventeringen gjordes därför en provytämätning i 35 objekt vilket resulterade i totalt 114 provytor.

Provytorna lades ut subjektivt och endast i de objekt där det bedömdes lämpligt att röja. Provytans storlek bestämdes till 25 m<sup>2</sup> vilket ger en radie på 2.82 m. Dessa lades ut 2-4 st för varje objekt beroende på storleken på objektet. För att mäta upp provytornas storlek användes en transponder och en mottagare där transpondern placerades i provytans centrum. Mottagaren sänder ultraljudsvågor till transpondern som reflekterar ljudet tillbaka till mottagaren vars display visar uppmätt avstånd. De objektiva variablerna var stamantal, trädslag och höjd. Höjden mättes för varje stam med hjälp av ett konventionellt metspö där sektioner om 50 cm markerats varpå stamantalet räknades in och typ av trädslag bestämdes. Om stamantalet översteg 30 för halva provytan, skattades hela provytans stamantal genom att mäta in halva provytan och multiplicera med två. De subjektiva parametrarna i inmätningarna var ståndortsindex och, när inte metspöet räckte till, höjden. Samtliga variabler antecknades i fältblanketten för den ekonomiska analysen (se bilaga 1b).

Den erhållna datamängden efter provytemätningarna blev alltför stor för att kunna hanteras inom rådande tidsramar. För att minska indata i simuleringsprogrammet gjordes därför följande beräkningar:

Medelvärden räknades ut objektsvis för samtliga data från provytorna. Då höjden är en av de faktorer som påverkar prestationen i störst utsträckning sorterades objekten sedan efter höjd. Objekten samlades i nio grupper med fyra objekt i varje grupp, förutom den sista gruppen som innehöll tre objekt, så att beståndshöjder representerades från tre till nio meter. Därefter beräknades medelvärden för höjd, stamantal, ståndortsindex samt trädslagsblandning. Varje provyta har ett eget ID-nummer vilket antecknades för varje grupp så att eventuella anmärkningsvärda resultat från analysen kan ”spåras” till något objekt eller specifik provyta. Dock kunde endast de fem första typobjekten analyseras eftersom den maximala medelhöjden i simulationsprogrammet var begränsad till 6 m. Typobjekten redovisas i bilaga 3.

Indata i Skogforsks kalkylmodell var följande: medelhöjd, stammar/hektar, trädslagsblandning, ståndortsindex, höjd över havet, gallringsstyrka (i förstagallring) och kalkylränta. Då de fyra första nu var kända krävdes en subjektiv bedömning av de kvarvarande variablerna. Höjd över havet för regionen ligger kring 200 m vilket också sattes för samtliga simuleringar i programmet. Gallringsstyrkan sattes till 30 % och kalkylräntan för samtliga analyser var 3 %. De grundinställda virkespriserna var 218 kr för tallmassa, 253 kr för granmassa, 370 kr för talltimmer samt 335 kr för grantimmer.

Analyserna mellan förstagallring och slutavverkning görs med ett system för simulering av beståndutveckling av Eriksson (1983). För varje bestånd beräknas alla möjliga kombinationer av gallring och slutavverkning med hänsyn till vissa kriterier för skötselåtgärder. Dessa har definierats så att de återspeglar vanliga gallringsprogram (skogsstyrelsen 1985) och lägsta tillåtna slutavverkningsålder (skogsstyrelsen 1998), samt för att reducera antalet möjliga kombinationer av åtgärder för varje bestånd. Simuleringen av bestånden görs för volymen med Agestam (1985), och den ekonomiska beräkningen för skogsvårdskostnaden med Brunberg (2002), för maskinkostnader med Källman (pers komm 2001) och för virkespriser enligt SCA (2002). Kalkmarkvärdet beaktas inte i dessa analyser eftersom de bedöms vara små jämfört med osäkerheterna i analyserna.

## 3 Resultat

### 3.1 Precision

Av de objekt som med fjärranalys identifierats som lämpliga att röja har 77 % efter fältkontroll bedömts lämpliga att röja. Som väntat är träffprocenten något högre, 81 %, för objekt som är 1.5 ha eller större, och lägre för mindre objekt, 68 %. Ingen skillnad märks mellan slumpmässigt eller subjektivt valda objekt mindre än 1.5 ha. Ser man till areal blir träffprocenten lägre, nämligen 71 %. Även för arealen är träffprocenten högre för objekt större än 1.5 ha, 73 %. Andelen areal där röjning är nödvändig i de subjektivt och slumpvis valda objekt mindre än 1.5 ha, är 66 respektive 51 %. Därmed är skillnaden i andel areal mellan objekt som är 1.5 ha eller större och slumpvis utvalda objekt mindre än 1.5 ha 22 %.

Det subjektiva urvalet visar minst skillnad mellan de två träffprocenterna. Med avseende på den arealsbaserade träffprocenten skiljer det endast 7 % mellan de större objekten och de mindre subjektivt utvalda objekten.

**Tabell 1.** Träffprocent för antal objekt respektive areal där röjning föreslagits som lämplig åtgärd.

Träffprocent	> 1.5 ha	< 1.5 ha slump	< 1.5 ha subj.	Totalt
Andel objekt där röjning föreslagits för någon del, %	81	67	69	77
Totalt antal inventerade objekt	108	30	26	164
Antal objekt där röjning föreslagits	87	20	18	125
Andel areal med röjning föreslagen, %	73	51	66	71
Totalt inventerad areal, ha	298.7	25	24.7	348.4
Areal där röjning föreslagits, ha	217.3	12.8	16.4	246.5
Medelstorlek hos objekt, ha				
röjning	2.8	1	1	2.3
ej röjning	2.4	1	1	1.8
Standardavvikelse hos objekt, ha				
röjning	1.4	0.2	0.2	1.5
ej röjning	0.8	0.3	0.2	1.0

Skillnaden mellan de tre urvalen har testats med hjälp av ett  $\chi^2$ -test. Detta har utförts både på frekvensen av objekt där röjning är föreslagen och andelen yta där röjning är en lämplig åtgärd. Skillnaden mellan urvalen med avseende på frekvensen av objekten där röjning är föreslagen, är endast signifikant på 75 % gränsen. Mer anmärkningsvärd är skillnaden i jämförelsen av arealen. Differensen mellan urvalen är signifikant med 95 % gräns och skillnaden mellan objekten större eller lika med 1.5 ha och objekt mindre än 1.5 ha slumpmässigt utvalda är signifikant med 97.5 % gräns. Medelstorleken för de objekt där röjning är föreslagen som lämpligaste åtgärd är 0.5 ha större än medelstorleken för objekt med annat åtgärdsförslag. Även standardavvikelsen är större hos dessa objekt med en skillnad på 0.5 ha. Även medelstorleken för objekt större eller lika med 1.5 ha där röjning är den lämpligaste åtgärden, är större jämfört med objekt med samma storlekskrav men annan åtgärd. Anmärkningsvärt är dock att standardavvikelsen för detta urval visar en större skillnad jämfört med det totala resultatet, 1.4 ha och 0.8 ha.

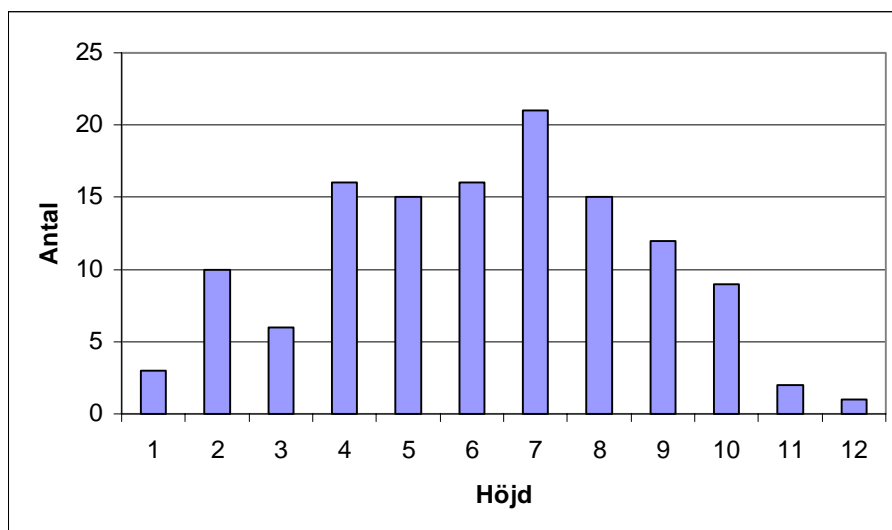


**Tabell 2.** Frekvensen av utslagsfaktorena (huvudorsak till lokalisering av objektet) från samtliga inventerade objekt uttryckt i procent. Detta inkluderar de nya objekt som bildats efter digitalisering och ny gränsdragning. Totalt 125 objekt.

Orsak till lokalisering	Antal objekt	Procent
Löv	164	78
Blandning av löv och gräs	33	16
Gräs	8	4
Övrigt	4	2

Som synes i tabell 2 är andelen objekt med utslagsfaktorn gräs mycket liten och innan den delning av objekten som gjordes i och med digitaliseringen efter inventeringen, fanns inga objekt med den sammanvägda utslagsfaktorn gräs. Utslagsfaktorn ”blandning av löv och gräs” utgör 33 objekt av samtliga inventerade objekt. Detta innefattar, förutom objekt där röjningsbehov föreligger, även luckiga gallrings- eller slutavverkningsobjekt, röjningsobjekt som behöver kompletteringsplantering samt icke godkända föryngringar med inslag av lövsly. Utslagsfaktorn ”gräs” och ”blandning av löv och gräs” innehåller inte uteslutande arealer vars markvegetation endast eller delvis består av gräs. Inventeringen gjordes i princip under hela februari månad samt början av mars då marken var täckt med snö. Det fanns därmed inga möjligheter att urskilja arealer med exv. örtvegetation eller inblandning av sådan.

### 3.2 Skogstillståndet i objekten



**Figur 4.** Frekvensen av samtliga objekt där röjning är nödvändig fördelat på höjdklasser. Talen för höjd anges med klassbotten. Totalt 125 objekt.

Figur 4 visar att 25 % av de 125 objekten där röjning bedöms nödvändig befinner sig i faser 2-4 m, medan drygt 50 % av objekten har en medelhöjd mellan 5-8 m. De högsta klasserna, 9 t.o.m. 12 m, utgör ca 20 %. Endast frekvensen i höjd 3 och 7 m avviker något från den i övrigt relativt jämna fördelningen.

**Tabell 3.** Antal och andel (procent) av samtliga objekt med avseende på angelägenhetsgrad för röjning (1 = genast, 2 = inom 1-5 år och 3 = inom 5-10 år). Totalt 125 objekt.

		Angelägenhet för åtgärd			Totalt
		> 1.5 ha	< 1.5 ha slump	< 1.5 ha subj	
Frekvens	1	75	16	15	106
	2	9	4	1	14
	3	3	0	2	5
Andel	1	86	80	83	85
	2	10	20	6	11
	3	4	0	11	4

Tabell 4 visar att majoriteten av objekten har stamantal mellan 3000 - 8000 st/ha och figur 4 en medelhöjd mellan 4-8 m. Detta gör att resultaten i tabellen ovan inte är särskilt överraskande. Tabell 1 visar totalt att flertalet av objekten behöver röjas snarast och 11 % inom 5 år vilka tillsammans utgör 96 %. Detta betyder att de skogar som lokaliserats och bedömts befinna sig i fasen R2 faktiskt har ett kraftigt röjningsbehov. Det går inte att se några betydande skillnader mellan de tre urvalen beträffande angelägenhetsgraden. Inget talar heller för att mindre bestånd skulle röjas mer frekvent än större enligt dessa data.

**Tabell 4.** Frekvens av objekt fördelat på stamantalsklasser, samt medelålder och medelhöjd i respektive klass. Talen för stamantalen anger klassbotten.

St/ha	Antal	Ålder (år)	Medelhöjd
2000	5	15	7.4
3000	17	14	7.1
4000	19	14	7.0
5000	17	12	6.4
6000	14	14	6.5
7000	9	11	6.2
8000	14	12	5.7
9000	6	9	4.4
10000	11	10	4.2
11000	4	9	4.0
12000	4	14	5.5
13000	2	14	4.5
14000	2	11	5.0
15000	1	12	9.0
16000	3	11	5.2

**Tabell 5.** Generella rekommendationer för stamantal efter röjning i björkbestånd vid en röjning i tre steg. ([www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se))

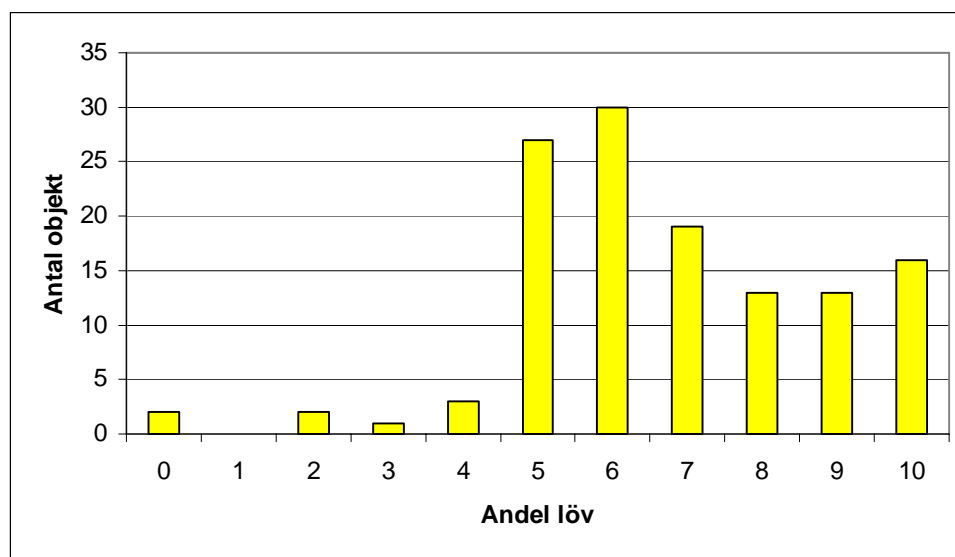
Röjning nr	Höjd (m)	Stamantal st/ha
1	2-3	3000-4000
2	4-5	1500-2500
3	6-7	1300-1800

En tydlig överrepresentation av objekt i klasserna 3000 t.o.m. 8000 st/ha tydliggörs i tabell 4 och upp till 10 000 st/ha är frekvensen fortfarande relativt hög. En likadan inventering över ett skött område kan förväntas visa fallande medelhöjd med stigande antal stammar. Det finns en viss tendens till att höjden sjunker något men endast ett par meter från första till sista klass. Resultatet var inte oväntat eftersom endast två av samtliga objekt uppenbart varit skötta. Spridningen i medelhöjd i klasserna kan vara stor men medelvärdena för höjden inom respektive klass tyder ändå på att ingen korrelation existerar mellan det sammanvägda stamantalet och medelhöjden i objekten. Även medelåldern borde sjunka med ett stigande

stamantal. Upp till 7000 st/ha sjunker medelåldern för att sedan bli mer oregelbunden mellan klasserna, vilket liknar mönstret för värdena hos medelhöjden.

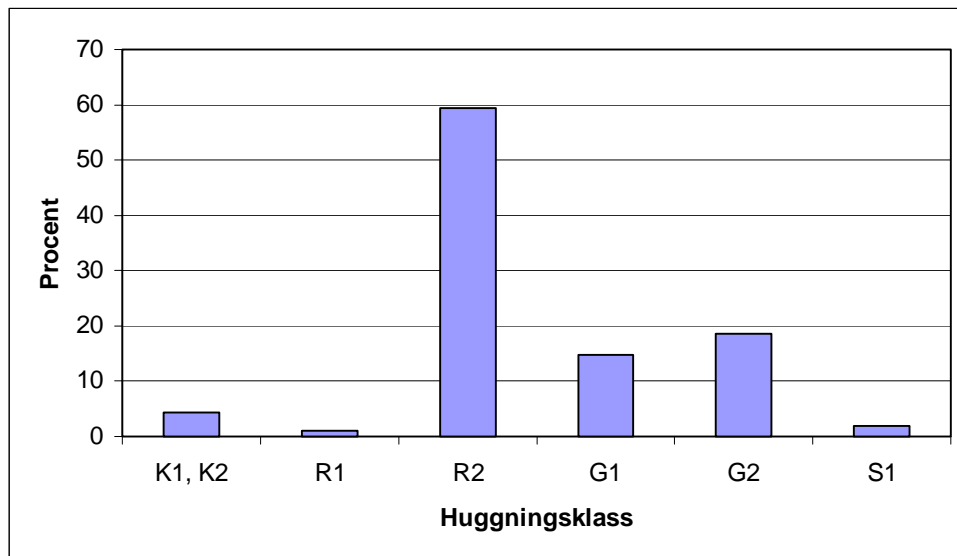
Eftersom syftet med analysen av satellitbilderna var att lokalisera lövröjningsobjekt där uppslagen kan vara mycket täta förväntades stamantalet överstiga 10 000 st/ha i fler objekt än i det befintliga utfallet. De objekt som har ett stamantal lika med 10 000 eller högre utgör endast 21 % av de objekt med påtagligt röjningsbehov.

För att skötselmässigt illustrera den eftersatta röjningen finns tabell 5 för jämförelse med tabell 4. Tabell 5 presenterar ett skötselprogram för björk i tre steg med antalet stammar per hektar efter röjning. Ett direkt jämförande av de två tabellerna ger att endast den första klassen visar värden i närheten av skötselförslaget med hänsyn till stamantal och medelhöjd. Inte heller en noggrannare genomgång av inventeringsdata gav något positivt resultat och endast några få procent stämmer in i något av åtgärdsstegen i tabell 5. Skötselförslaget är givetvis endast schablonmässigt applicerbart och hänsyn måste tas till förhållanden som risk för vilt- och snöskador, om röjningen är sent utförd och föryngringsresultat vilket kan ge skillnader i några tusental i antalet stammar efter röjning (Iwarsson 2001). Till saken hör också att de inventerade objekten inte endast innehåller björkträd. Dock har i princip samtliga objekt där röjningsbehov påträffats en trädslagsblandning på minst hälften löv (se figur 5) där björk är vanligast förekommande.



**Figur 5.** Frekvensen objekt med röjningsbehov fördelat på lövandelen i trädslagsblandningen från fälldata. Varje klass omfattar 10 %. Totalt 125 objekt.

En klar majoritet av de objekt där röjning bedömts som en lämplig åtgärd har, enligt figur 5, en lövandel över 50 %. En hög koncentration uppstår i klasserna 5 och 6 d.v.s. 50 och 60 %. Därefter inträder en minskande trend i klasserna 7-9. Endast 13 % av samtliga objekt som bedömts ha lövröjningsbehov innehåller enbart lövträd. Flertalet objekt utgörs således av blandskog med övervägande andel löv. I början av x-axeln fram till klass 4 visas lokaliserade objekt med låga lövandelar. Av objekten utan lövträd utgörs det ena av enbart tall och det andra med enbart gran. Objekt med hög andel tall är förmodligen inte ovanliga i Järbo församling, men de utgör en mycket låg andel bland de objekt som identifierats med fjärranalys i denna studie. Andelen gran är för övrigt sammantaget högre jämfört med tallandelen vilket stämmer överens med tidigare erfarenheter inom området fjärranalys och dito figur 1.



**Figur 6.** Frekvensen av samtliga objekt fördelad på huggningsklasser uttryckt i procent. Detta inkluderar även de nya objekt som bildades efter digitaliseringen av de nya gränserna. Totalt 209 objekt.

Fördelningen av huggningsklasserna från inventeringsdata åskådliggörs i figur 6. Denna visar en klar majoritet av huggningsklassen R2. Även objekt med huggningsklasserna G1, G2 och S1 utgör tillsammans en relativt stor andel av de inventerade objekten. Ett mer önskvärt resultat vore att fördela de sistnämnda huggningsklasserna på R1 och R2 eftersom inget intresse fanns från SVS- distrikt Gästrikland att lokalisera objekt med gallringsbehov i denna studie. Det bör tilläggas att en fördelning baserat på areal skulle höja den procentuella andelen för objekt klassade som R2 då dessa totalt har en större yta.

### 3.3 Ekonomisk analys av röjning i typobjekt

**Tabell 6.** Resultat av den ekonomiska analysen. Kolumnen röjningskostnad är det kalkylerade värdena för kostnaden av röjningsinsatsen. Kolumnerna gagnvirke, gallringsnetto i förstagallringen och gallringsnetto i förstagallringen för motsvarande objekt i öröjt tillstånd innehåller prognostiserade värden.

Typobjekt	Stamantal (st/ha)	Medelhöjd (m)	Röjningskostnad	Gagnvirke (m <sup>3</sup> fub/ha)	Gallr.netto	Gallr.netto öröjt
1	7742	3	2819	43	3900	-4 989
2	9267	4	3883	30	1631	-19 394
3	11550	5	4441	44	3961	-19 545
4	8675	6	4786	40	2961	-18 316
5	8358	6	4806	39	2546	-20 155

Typobjekt 1 ger, enligt tabell 6, det största gagnvirkesuttaget, ett av de högsta gallringsnettona samt den lägsta röjningskostnaden. Objekt nr 3, vars medelhöjd är 5 m, har liknande siffror som objekt 1. Som väntat stiger röjningskostnaden för varje objekt medan gallringsnettot i förstagallringen sjunker. Det finns även en tendens till att volymen gagnvirke som kan tillvaratas i förstagallringen sjunker med en stigande höjd för röjningsinsatsen. Endast objekt 1 gav högre värde för gallringsnetto än röjningskostnad. För varje simulering visades även ett alternativ i motsvarande objekt där ingen röjning utfördes. Det prognostiserade gallringsnettot i förstagallringen för dessa objekt redovisas i tabell 6. Anmärkningsvärt är att detta värde för typobjekt 1 uppgår till ca -5000 kr medan motsvarande värde för typobjekt 2, som har ett högre stamantal samt endast en meters skillnad i medelhöjd, tangerar -20 000.

**Tabell 7.** Tidpunkt för (beståndsålder, år) och netto (SEK/ha) av åtgärder

Obj	Röjning		Gallr 1		Gallr 2		Gallr 3		Slutavv	
	Ålder	Netto	Ålder	Netto	Ålder	Netto	Ålder	Netto	Ålder	Netto
1 Röjs	9	-2 819	41	3 900	61	6 022	81	14 155	101	67 649
Röjs ej	9	0	41	-4 989					101	19 425
2 Röjs	10	-3 883	34	1 631					94	21 149
Röjs ej	10	0	34	-19 394					124 <sup>1</sup>	51 252
3 Röjs	13	-4 441	36	3 961					86	60 011
Röjs ej	13	0	36	-19 545					116	29 927
4 Röjs	15	-4 786	37	2 961	57	6 237	77	15 092	97	72 105
Röjs ej	15	0	37	-18 316					107	21 754
5 Röjs	16	-4 806	38	2 546	68	8 031			88	47 198
Röjs ej	16	0	38	-20 155					118	23 808

1) Den optimala slutavverknings-tidpunkten kan ligga senare utanför analysprogrammets räckvidd, och nettot i så fall något högre.

**Tabell 8.** Nuvärde (SEK/ha) vid 3 % ränta för skötselalternativ samt skillnader i nuvärde mellan röjning resp ej röjning.

Obj	Röjning	Röjn och Gallr 1	Gallr 2+ och Slutavv	Total	Skillnad R+G1	Skillnad G2- +S	Skillnad i
							total
1 Röjs		-1 304	7 439	6 134	633	6 159	6 791
Röjs ej		-1 937	1 280	-657			
2 Röjs		-3 081	1 766	-1 315	6 460	3	6 463
Röjs ej		-9 541	1 763	-7 778			
3 Röjs		-2 434	6 936	4 502	7 469	5 511	12 980
Röjs ej		-9 903	1 425	-8 478			
4 Röjs		-3 241	10 604	7 363	6 318	9 170	15 488
Röjs ej		-9 559	1 434	-8 125			
5 Röjs		-3 477	7 346	3 868	7 041	6 178	13 219
Röjs ej		-10 519	1 168	-9 351			

Resultaten visar att röjning är en lönsam investering för alla typobjekten. Röjningen är lönsam redan vid förstagallring. För objekt 2-5 är skillnaden i nuvärde mycket stor, nämligen 6 000 – 7 000 SEK/ha. Även för skedet efter förstagallringen är skillnaden stor, 5 500 – 9 000 SEK/ha, utom för objekt 2. I tabell 8 finns en tendens till att den totala skillnaden i nuvärde ökar med ökad medelhöjd för beståndet. I de röjda objekten syns även höga nuvärden mellan andragallring och slutavverkning. Tabell 7 visar att slutavverkningstidpunkten mellan röjt och oröjt objekt skiljer sig mellan ca 10-30 år utom för typobjekt 1.

## 4 Diskussion

### 4.1 Precision

Olsson (1994) hävdar, med stöd av mätningar med satelliten TM 4 (Häme 1991), att skogen reflekterar störst mängd nära infrarött ljus under de första tio åren av omloppstiden och därefter sker en minskning av reflektansen. Persson & Bank (1998) menar å andra sidan att ett lägre brytpunktsvärde medför ett större antal lokaliserade objekt i huggningsklasserna R1 och R2 vilket även överensstämmer med praktisk erfarenhet från andra analyser inom skogsvårdsorganisationen. En förklaring till detta kan vara att ett bestånd i huggningsklassen R1 reflekterar mycket energi tack vare riklig vegetation ofta i form av gräs och örter, varav andelen NIR däremot är relativt låg vilket ger låga indexvärden. Olssons påstående stämmer förmodligen till viss del men ett bestånd i huggningsklassen G1 och äldre är mer slutet jämfört med ett bestånd i huggningsklasserna R1 och R2 vilket kan ge stor mängd reflekterat NIR och höga indexvärden. Därmed befinner sig R2 bestånden generellt mellan G1 och R1 i vegetationsindex enligt Persson (muntlig kommunikation). Med hänsyn till figur 6 där andelen objekt klassade som G1 och G2 är relativt hög, bör det finnas utrymme för att använda sig av ett något lägre brytpunktsvärde än det befintliga. Detta kan möjliggöra större andel lokaliserade objekt i huggningsklassen R1 med ett bibehållet antal objekt klassade som R2 samt en mindre andel objekt i G1 och G2. Dock finns det en större risk för en ökad lokalisering av gräsytor och objekt med annat ägoslag än skog vid ett lägre brytpunktsvärde. Denna risk kan emellertid reduceras inte minst av den till synes effektiva skogsmasken (se nedan). Att istället för ett brytpunktsvärde kunna sätta en övre och en undre gräns för ett önskat intervall skulle således vara en uppskattad funktion i bildanalysprogrammet Enforma.

Den största skillnaden i precision angående objektsstorleken syns i träffprocenten baserad på areal där differensen mellan de större objekten och de slumpvis utvalda objekten mindre än 1.5 ha är 22 %. Vidare statistiska beräkningar med  $\chi^2$ -test där antagandet att lokalisering av större objekt görs med större säkerhet sattes som hypotes, stärkte antagandet. Skillnaderna mellan samtliga urval var signifikanta med 95 % säkerhet samtidigt som skillnaden mellan de större objekten och de slumpvis utvalda objekten mindre än 1.5 ha var signifikant med 97.5 % säkerhet. Denna typ av beräkning utgör en möjlighet att undersöka den mest optimala gränsen för objektsstorleken, vilket däremot inte gavs utrymme i detta examensarbete. Beträffande storlek på objekten inom urvalet där objekten är lika med eller större än 1.5 ha erhålls här den största standardavvikelsen. En jämförelse mellan objekt där röjning är föreslagen och objekt med annan åtgärd visar en standardavvikelse på 1.4 respektive 0.8, samtidigt som den maximala storleken på objekten är 9 respektive 4 ha. Detta ger ytterligare stöd åt att ju större objekten är desto säkrare går det att bestämma dess innehåll.

Den träffprocent som kan anses mest intressant för rådgivningsverksamhet är frekvensen av röjningsobjekt. Ingen signifikant skillnad i träffprocent påträffades vad gäller objektsstorleken och data från fler av de mindre objekten borde ha samlats in för att kunna dra några säkra slutsatser kring hypotesen om objektsstorlek och träffsäkerhet. Träffprocenten totalt är 77 % medan andelen objekt som bedömdes ha röjningsbehov av de större objekten var 81 %. Detta kan jämföras med SVOs förstastudie där bästa frekvens av röjningsobjekt var 59 %, samt den träffprocent där även ”röjning/gallring” (objekt klassade som G1) räknades som träff, vilken var 79 % (båda träffprocenterna från försöksområde i Luleå). Något urval med avseende på objektsstorlek gjordes aldrig i förstastudien. Enligt Persson & Bank (1998) bör träffprocenten överstiga 75 % om analysen skall vara användbar. Det fanns dock inget mål formulerat kring

precisionen från SVS sida men resultatet i denna studie bör kunna anses som tillfredsställande och fullt användbart för breddgraderna inom SVS-Gästriklands distrikt. Skogsmasken och ÖSI-data har delvis påverkat detta positiva resultat. I fält påträffades endast tre objekt i samtliga urval med andra ägoslag än skog, två kraftledningarna och en inäga. Denna slutsats stärks även med resultatet i tabell 2 där andelen gräsytor endast utgör 3 % av samtliga objekt.

En stor vinst med examensarbetet är att man, på SVS distrikt Gästrikland, efter inventeringen har kännedom om vilka objekt som har röjningsbehov och vilka som med fjärranalys felaktigt klassificerats som objekt där röjningsbehov föreligger. Då de förhållanden som bestämmer hur brytpunktsvärdet skall sättas förändras vid olika tidpunkter för bildtagning, underlättas kalibreringen av nästa satellitbildsanalys avsevärt i och med dessa data. Eftersom de röjningsobjekt som lokaliserats har en lövträdsandel nära 50 % eller mer (se figur 5) bör man dock inrikta sig på objekt med hög andel löv vid framtida kalibreringar för bästa precision.

## 4.2 Objektens egenskaper

Då analysen i satellitbilderna till störst del lokaliserar objekt med övervägande delen lövträd, förväntades ett högt stamantal i objekten. Det visade sig dock att endast 21 % av bestånden hade ett stamantal över 10 000 st/ha. En förklaring till de lägre siffrorna kan vara att röjningsingrepp ändå utförts i ett tidigt skede. En annan möjlig förklaring kan vara att markens näringsutbud fördelat på alltför många stammar inte ger tillräcklig klorofyllhalt i gröndelarna, i synnerhet på lägre boniteter, för att kunna reflektera NIR i tillräcklig utsträckning. Därmed lokaliserar inte dessa bestånd.

Om man tar hänsyn till den generella rekommendationen som gör gällande att röjningsinsatsen skall in när medelhöjden är mellan 2 och 4 m, befinner sig ca 27 % i denna fas enligt inventeringsdata. En klar majoritet av dessa har hög stamtäthet men en kraftig röjningsinsats i detta skede kan fortfarande ge goda resultat med tillfredsställande förräntning över hela omloppstiden. Vidare ger jämförelserna av tabellerna 2 och 3 indikationer på att röjningen är kraftigt eftersatt i samtliga klasser vilket ger följder som självgallring, kvalitetsfel, ökad snöbrottsrisk m.m. Hälften av objekten där röjning föreslagits har en medelhöjd mellan 5-8 m enligt figur 4. Då stamantalen även i dessa objekt är höga torde vissa skador i detta skede bli skönjbara. Däremot har fler av stammarna som stått trängda förmodligen utvecklats god kvalitet och de stammar som fortfarande har relativt hög andel krona bör dessutom ha stora möjligheter till hög produktion varför det är av stor vikt att kontakten med markägarna ger resultat.

Angelägenheten för röjningsinsatsen hos objekten är viktig, inte minst för rådgivningen och kontakten med markägarna. Markägare till objekt där röjning bör ske genast, dvs. angelägenhet 1, bör anses ha högst behov av kurser och rådgivning. Ägare till objekt med angelägenhet 3 (endast 5 objekt) för röjningen har antingen en tidigare bristfällig föryngring eller ett någorlunda skött objekt, förhoppningsvis det senare. Huruvida analysen lokaliserat max antal objekt med akut röjningsbehov eller om detta går att kalibrera är förmodligen mindre viktigt eftersom röjningen är tillräckligt eftersatt över hela landet. Ett lokaliserat objekt i huggningsklassen R2 har med stor sannolikhet ett akut röjningsbehov. Tabell 3 stärker det påståendet då 85 % av samtliga inventerade objekt där röjning är nödvändig bör röjas genast, och 96 % av objekten bör röjas genast eller inom 5 år. Sannolikheten för att ett



objekt som nyligen är röjt lokaliseras, varpå irritation hos markägaren skapas när utskicken anlant, är relativt liten då endast två av samtliga lokaliserade objekt var röjda.

Resultatet som visas i figur 4 tyder på att andelen lövträd i objekten skall överstiga, eller vara i närheten av, 50 % för att objektet skall lokaliseras i satellitbilsanalysen. Några objekt med låg eller ingen andel lövträd lokaliserades. Dessa består av hög andel gran, men även några objekt med stor andel tall. Gemensamt med dessa är att de troligtvis växer på en god ståndort som ger hög tillväxt med höga klorofyllhalter och reflekterar därmed tillräckligt med NIR för att lokaliseras. Dock ger varken granen eller tallen någon tillförlitlig reflektion när de växer på sina respektive ”nischartade” ståndorter, och allra minst tallen, för att metoden i dagsläget skall kunna tillämpas på några rena tall- eller granobjekt där röjning bör utföras. Fler av de lokaliserade objekten befinner sig med stor sannolikhet på ståndorter som är torra eller friska och med lågt näringsinnehåll. Ett stort lövinnehåll medför därmed ett bristfälligt utnyttjande av produktionen. Eftersom däremot endast 13 % av objekten totaldomineras av lövträd finns stora möjligheter vid ett röjningsingrepp att gynna barrträden och skapa en vital blandskog.

### 4.3 Ekonomisk analys av röjning

Inte oväntat erhöles det bästa resultatet ekonomiskt sett i typobjekt 1 (se tabell 6). Röjningsåtgärden har utförts vid lämplig tidpunkt samtidigt som stamantalet innan röjning var högt, vilket medför att valmöjligheterna för skötseln av objektet är många. Det simulerade oröjda beståndet för typobjekt 1 gav nästan lika hög volym uttaget gagnvirke som den röjda motsvarigheten av typobjekt 1. Gallringsnettot var förvisso negativt men mycket högre än de övriga oröjda objekten. Det kan finnas möjligheter i verkligheten att vissa oröjda bestånd kan tangera gagnvirkesinnehållet med ett välröjt bestånd. Detta med en hög andel massaved men knappast med samma volym timmer, varför resultatet i typobjekt 1 kan anses orimligt. Typobjekt 2 visar ett relativt lågt värde för gallringsnettot i förstagallringen vilket delvis kan bero på att inga barrträd fanns med i detta objekt. En så låg avkastning från skötsel av rena lövbestånd är i verkligheten troligtvis inte rimlig. Enligt Agestam (muntlig kommunikation) finns inget dataunderlag till funktionerna för tillväxten i björkbestånd äldre än 60 år. Det medför att i simuleringsprogrammet för skogens tillväxt, är skattningen av beståndsutvecklingen i lövskog över 60 år en extrapolering, dvs mycket osäker. Prognosen visar på en orimligt hög volymtillväxt och därmed att slutavverkningen görs för sent, och att även nuvärdet skattas med stor osäkerhet.

Med gallringsnettot från de prognostiserade oröjda objekten kan man konstatera att ett röjningsingrepp är lönsamt upp till 6 m trots de med höjden ökande röjningskostnaderna. Detta påstående stärks ytterligare med resultaten i tabellerna 7 och 8. Anmärkningsvärt är att skillnaden i nuvärde mellan en röjningsinsats och en utebliven röjning stiger med ökad höjd enligt tabell 8. Undantaget är typobjekt 2 där nuvärdena överlag är låga samt att skillnaden i nuvärde mellan röjning och utebliven röjning för senare gallringar samt slutavverkning endast är 3 kr. Detta kan möjligt förklaras med att typobjektet endast innehåller lövträd kombinerat med alltför sena slutavverkningstidpunkter (i synnerhet hos det röjda alternativet). Resultaten av nuvärdesberäkning visar på en lägre optimal slutavverkningssålder hos de röjda alternativen (tabell 7), och ett högre nuvärde (tabell 8), vilket talar för röjning.

Det vore av stort intresse att göra en simulering även för objekt med en medelhöjd högre än, den i Skogforsks röjningsanalys maximala höjden, 6 m. Om man räknar med röjningens effekter över hela omloppstiden skulle förmodligen även objekten i höjdklasserna 5-8 m vara

lönsamma att röja. Enligt figur 4 befinner sig ca 18 % av objekten med uppenbart röjningsbehov i höjdklasserna 9 t.o.m. 12 m. Att röja träd i den här storleken kräver däremot hög prestation vid motormanuell röjning och uteblir röjning måste en underväxtröjning förmodligen utföras före en maskinell förstagallring. I fler av fallen är valmöjligheterna för kvalitetsproduktion troligen kraftigt begränsade och en mer systematisk gallring kommer att tillämpas snarare än kvalitetsgallring. Enligt en studie utförd av Eriksson och Nordén (1999) blev den totala ekonomin (intäkt-kostnad) för röjningsinsatsen för motormanuell röjning respektive röjning med ackumulerande aggregat följt av flisning ungefär likvärdig. Flisningen är då en förutsättning för nettot. Denna studie belyser emellertid inga framtida effekter eller jämförelser mellan en motormanuell röjning i ett tidigare skede och maskinell röjning i ett eftersatt bestånd. Till exempel berörs varken tidigt upptag av stickvägar eller den kväveutförsel som orsakas av helträdsutnyttjandet i och med en maskinell röjning och som båda ger långsiktigt negativ påverkan på produktionen. Detta alternativ ger med andra ord inga argument för att senarelägga röjningsinsatsen.

#### 4.4 Kompletterande åtgärder

Redan i förstastudien som utfördes av SVO i Jönköping nämnde man arkiverade avverkningsanmälningar som lämpliga kompletterande externa data. På de anmälda föryngringsytorna kan man nämligen efter ett visst antal år förvänta sig ungskog där röjning kan vara en lönsam investering. Rapporten för studien publicerades 1998 och alltfler avverkningsanmälningar registreras idag elektroniskt varför det inom en snar framtid kan bli användbart för liknande projekt inom fjärranalys. I dagsläget tillämpas Enforma även vid lokalisering av föryngringsytor för kontroll av avverkningsanmälningar. Även dessa data lagras i en databas vilket skapar förutsättningar för att, på ett liknande sätt som med avverkningsanmälningarna, kunna appliceras i en satellitbildsanalys. Då hyggen reflekterar mer energi jämfört med exv. lövträd är precisionen hög i analyserna och träffprocenten ligger ofta mellan ca 90-100 %. Exempel på annan värdefull extern data är skogsbruksplaner. Att ha tillgång till exv. Mellanskogs ”gröna planer” innebär säkra data för de bestånd där röjning är den enligt planen lämpligaste åtgärden, i synnerhet för att en form av inventering redan gjorts i och med planläggningen.

I dagsläget utförs tester på laserskanning på skog. Detta resulterar i digitala bilder där möjligheter finns till att skatta virkesvolym, tillväxt, trädhöjd m.m. Försöken utförs till en början endast med hjälp av flygplan vilket ekonomiskt inte är intressant som komplement till satellitbildsanalysen. Metoden i sig kommer sannolikt användas alltmer i skogsbruket och möjligtvis kommer metoden i framtiden även bli satellitburen.

Tidigare har upplösningen på multispektrala satellitbilder varit begränsad men idag levererar exv. Quick bird satellitbilder med en upplösning mellan 2.44 - 2.88 m och den relativt nyuppskjutna Spot-5 satelliten är utrustad med sensorer som möjliggör multispektrala bilder med en upplösning på 10 m. Förutom mer detaljerade bilder kan en högre upplösning reducera problemet med kanteffekt avsevärt eftersom andelen pixlar som är opåverkade av kanten och omgivande mark skulle öka varpå det exponentiella förhållandet mellan dessa pixlar blir mer påtagligt. Samma analys gjord på en satellitbild med högre upplösning reducerar förmodligen också skillnaden mellan större och mindre objekt avsevärt beträffande precisionen i lokaliseringen av objekt med röjningsbehov. Detta kan förmodligen ses som en av de enklaste utförda och möjligtvis effektivaste åtgärden för att förbättra precisionen i analysen.

I flera dataprogram som används för bildanalys finns funktioner för framtagning av histogram. Detta är ett diagram som visar fördelningen av pixlarna i bilden, ofta i form av stapeldiagram där frekvensen av pixlarna delas in i klasser på pixelvärden. Genom att studera ett histogram för satellitbilden som skall användas för satellitbildsanalysen kan mönster i fördelningen av pixlarna upptäckas vilket kan underlätta exv. grovinställningen av brytpunktsvärdet.

Om en inventering i framtiden skall utföras i samband med en liknande satellitbildsanalys kan man med fördel jämföra träffprocenten för några fler brytpunktsvärden med godtyckligt antal observationer i fält för varje träffprocent. Denna åtgärd kan vara nödvändig om data från tidigare inventeringar blivit inaktuell för en säker jämförelse av vilken typ av objekt som lokaliserats.

## **4.5 Felkällor**

En stor del av resonemangen och slutsatserna bygger på värden som är subjektivt bedömda av en inventerare med liten erfarenhet av datainsamling i fält. T.ex. är data om trädhöjd osäkra i de fall stammarna var betydligt högre än det metspö som användes till höjdmätning.

Justeringen av gränserna som i fält utfördes för hands i en kartutskrift skulle relativt enkelt kunna göras med en GPS-mottagare. Detta skulle öka precisionen avsevärt för digitaliseringen av de nya gränserna.

Vid jämförandet av ÖSI-data och de lokaliserade objekten studerades i vissa fall bestånd med huggningsklasserna S1 och S2, eftersom ÖSI-data börjar bli relativt gammal. Man kan därför ifrågasätta användbarheten av ÖIS-data i framtida analyser.

## 5 Slutsatser

Utifrån resultatet av denna satellitbildaanalys kan man konstatera att brutenhet i landskapet, örtrika marker, blandskogar och andra störande faktorer inte påverkar och/eller förekommer i samma utsträckning som vid motsvarande analyser i Södra Sverige. Således är de förhållanden som råder kring Järbo församling sådana att metoden bör kunna tillämpas på hela Gästriklands distrikt.

Med samma upplösning i satellitbilden och utan några kompletterande data eller övriga externa åtgärder för att förbättra precisionen, bör man enligt resultaten från inventeringen i en framtida satellitbildaanalys koncentrera sig på lokalisering av större objekt. Därmed är det inte sagt att det optimala värdet för den undre gränsen för objektsstorleken är 1.5 ha. Förutom en förbättring av precisionen täcker man på detta vis även in större arealer vilket bör resultera i en högre andel röjd areal efter det att utskicken nått markägarna.

Enligt resultatet som redovisas exv. i figur 5 är andelen objekt i huggningsklasserna G1 och G2 relativt höga. Eftersom dessa objekt ofta reflekterar en stor mängd NIR skulle de förmodligen inte ha lokaliserats i samma omfattning om brytpunktsvärdet satts något lägre.

Resultaten från den ekonomiska analysen av röjningsåtgärden visar inga oväntade värden. En röjning utförd vid rätt tidpunkt (med hänsyn tagen till bl.a. viltskador) är en av de investeringar man kan göra i skogsbruket som har högst avkastning. Sannolikheten för att lokalisera ett objekt i huggningsklassen R2 som inte skulle vara lönsamt att röja kan anses liten och bör inte ge anledning att undvika kontakt med berörd markägare. Det vore önskvärt att undersöka närmare var en gräns går där röjning inte längre är lönsam investering.

Fjärranalys i form av satellitbildaanalyser är en brukbar metod för ändamålet i projektet och fortsatt teknisk utveckling för bättre precision i framtida analyser torde öka möjligheterna. I sådana projekt bör man vara medveten om att tekniska hjälpmedel är utan värde om det inte finns resurser till arbetet efter identifieringen av var skogsvårdsåtgärder bör vidtas.

## 6 Referenser

- Agestam, E. 1985. *En produktionsmodell för blandbestånd av tall, gran och björk i Sverige*. Inst för skogsproduktion, SLU, Garpenberg, Sweden. Rapport nr 15.
- Alriksson, B-Å. 1998. *Röjningsberget: så klarar du det*. Skogseko 1998/2. s. 27-31
- Arnberg, W., Arnborg, S., Eklundh, L., Harrie, L., Hauska, H., Olsson, L., Pilesjö, P., Rystedt, B., Sandgren, U. 2001. *Geografisk informationsbehandling*. Byggeforskningsrådet. ISBN 91-540-5841 4
- Björkman, H. 2004. *Röjningens betydelse för beståndsutvecklingen*. Examensarbete, skogsmästarskolan. Skinnskatteberg.
- Bondeson, L. 2001. *Skogsvårdsorganisationens utvärdering av skogspolitikens effekter – SUS 2001*. Skogsstyrelsen 2001, Jönköping.
- Brunberg, T. 2002. *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2001*. Skogforsk, Uppsala. Skogforsk Reultat nr 15.
- Dahl, M. 2001. *Satellitbaserade skattningar av områden med lövröjningsbehov*. Examensarbete i ämnet fjärranalys. Institutionen för skoglig resurshållning och geomatik. SLU.
- Engstrand, U., Olsson, U. 2001. *Biometri – kompendium för grundkurs i statistik*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för Biometri och informatik. Uppsala
- Eriksson, L.O. 1983. *Långsiktig skoglig planering —En studie av ett skogsinnehav i förändring*. Inst för skogsteknik. Swed. univ. agr. sci., Section of Forest Technology, Garpenberg, Sweden. Reports 154.
- Eriksson, P. & Nordén, B. 1997. *Bränsleuttag i bestånd med eftersatt röjning*. Resultat nr 7, 1997. Skogforsk. Uppsala.
- Frohm, S. 1996. *Röjning – ett medel för god lönsamhet och förbättrad mångfald*. Redogörelse nr 1, 1996, s 123-127. Skogforsk
- Hagner, O. 1997. *Satellitfjärranalys för skogsföretag*. Arbetsrapport nr 28 1997. Institutionen för skoglig resurshållning och geomatik. SLU.
- Hagner, O., Nilsson, M., Olsson, H. 1999. *Satelliter ser skogen*. Faktaskog nr 9, 1999.
- Hagner, O., Holmgren, J., Joyce, S., Nilsson, M., Olsson, H. 1999. *Framkomliga fjärranalystekniker*. Skog och Forskning, nr 3/99. Sveriges skogsvårdsförbund.
- Iwarsson, M. 2001. *Motormanuell röjning*. Skogforsk. ISBN 91 7614 098 9

Källman, U, SCA i Östersund (via Daniel Andersson Inst f skogl resurshushållning och geomatik, SLU).

Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. 2000. *Remote sensing and image interpretation*. ISBN 0-471-25515-7.

Olsson, H. 1994. *Monitoring of Local Reflectance Changes in boreal Forests using Satellite Data*. Department of Biometry and Forest Management, Remote Sensing Laboratory. SLU.

Persson, A. & Bank, H. 1998. *Användning av satellitdata – hitta avverkad skog och uppskatta lövröjningsbehov*. Rapport 4, 1998. Skogsstyrelsen. Jönköping.

SCA SKOG AB, 2002, *Virkesprislista—AA0301* [online]. Tillgänglig på <[http://www.skog.sca.com/se/koporganisation/prislistor/prislista\\_virkesyd.asp](http://www.skog.sca.com/se/koporganisation/prislistor/prislista_virkesyd.asp)>, (030825)

Skogsstyrelsen 1985. *Gallringsmallar—norra Sverige*. Skogsstyrelsen, Jönköping.

Skogsstyrelsen 1998. *Skogsstyrelsens författningssamling—SKSFS 1998:7*. Skogsstyrelsen, Jönköping, Sweden, 10 pp. ISSN 0347–5212.

### **Personliga referenser**

Agestam, E. 2005. Forskare. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap. 2005-08-18  
Tel. 040-415192

Eriksson, L. 2004. Docent. Institutionen för skogens produkter och marknader. SLU. Uppsala.  
2004-05-11. Tel. 018-67 12 79

Olsson, U. 2004. Rådgivningsansvarig. Skogsvårdsstyrelsen Mellannorrland. 2004-03-18.  
Tel. 0620-577 85

Persson, A. 2004. Skogsstyrelsen. Jönköping. 2004-09-24. Tel. 036-15 56 28

Setter, F. 2004. Skogsvårdskonsulent. Skogsvårdsstyrelsen distrikt Gästrikland. 2004-04-12.  
Tel. 026-24 55 58

### **Simulationsprogram för förstagallring**

Pettersson, F. ; Nyström, K. *Röjningsanalys* Skogforsk, [www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se), (040906)

SCA SKOG AB, 2002, *Virkesprislista—AA0301* [online]. Tillgänglig på <[http://www.skog.sca.com/se/koporganisation/prislistor/prislista\\_virkesyd.asp](http://www.skog.sca.com/se/koporganisation/prislistor/prislista_virkesyd.asp)>, (030825)

## Bilaga 1

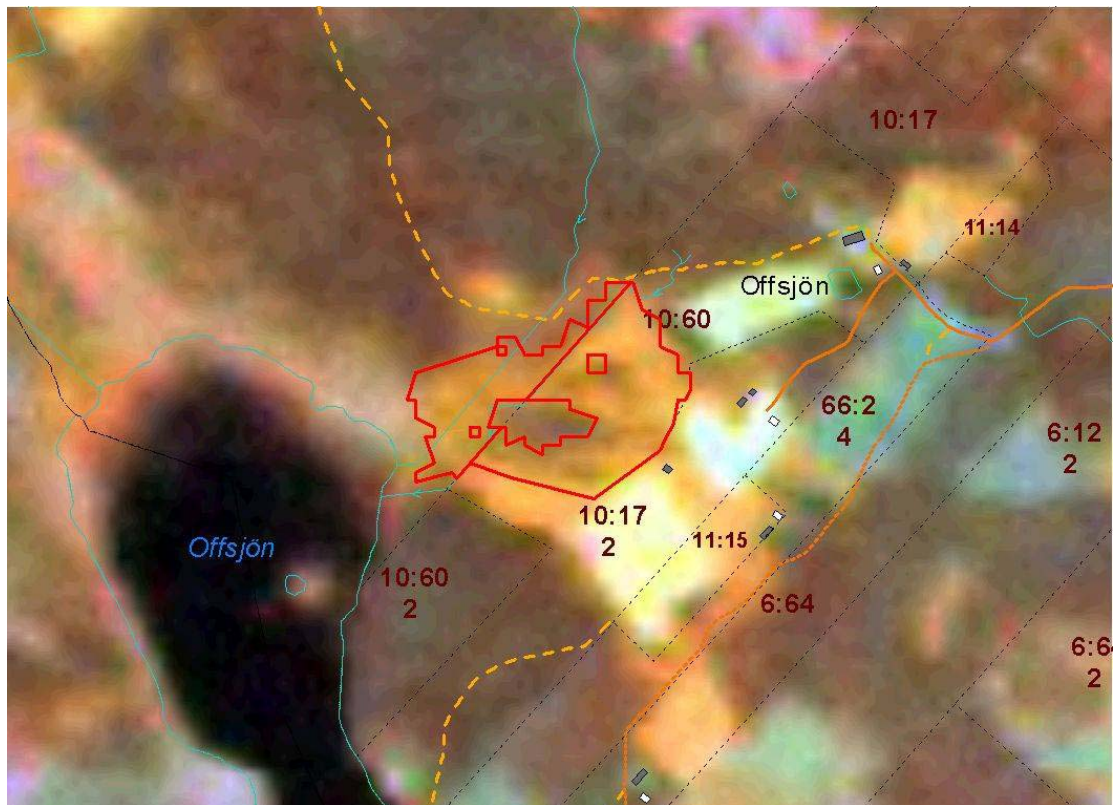
Objekt-ID	Utslagsfaktor	Ägoslag	Åtgärd	Angelägenhet	Hkl	Ålder	TGL	Medelhöjd	Stamantal	Noteringar

1a. Fältblankettens utseende.

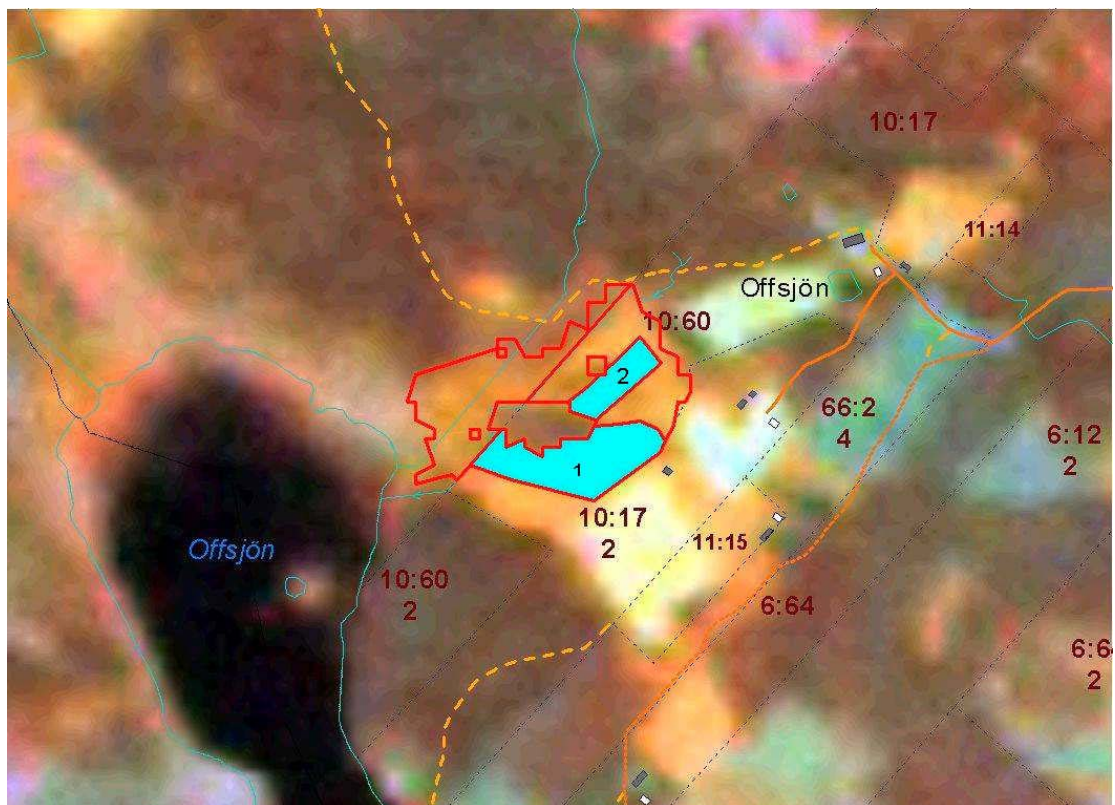
Objekt-ID		Provyte nr.	
Trädslag	Höjd	SI Stamantal	

1b. Formulär för datainsamling till den ekonomiska analysen för röjning.

## Bilaga 2



2a. Exempel på i fält medhavd utskrift av objekt. Notera att objektet delas av skiktet med fastighetsgränser.



2b. Exempel på den korrigering av objektet som görs i fält (korrigering av bilden ovan). Område 1 är gallringsskog i huggningsklass G1 och område 2 är en igenväxande inäga.



### Bilaga 3

Indata för typobjekten för den ekonomiska analysen.

<b>Typobjekt</b>	<b>Höjd</b>	<b>St/ha</b>	<b>SI</b>	<b>T</b>	<b>G</b>	<b>L</b>
1	2.9	7742	G26		3	7
2	4.1	9267	G26			10
3	4.9	11550	T26	1		9
4	6.5	8675	G28		2	8
5	7.1	8358	T24	1	1	8
6	7.6	8558	G26		2	8
7	7.9	6333	T26		3	7
8	8.5	4767	G26	1	2	7
9	9.1	7111	G26		1	9