



# Plantinventering och plantkontroll med digitala bilder från helikopter

*Plant inventory with digital aerial photographs from helicopter*



Foto:Kallax flyg

**Jonas Orgum**

**Arbetsrapport 222 2008**  
**Examensarbete 30hp D**

**Handledare:**  
**Sören Holm**

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
S-901 83 UMEÅ  
www.srh.slu.se  
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-222-SE



# **Plantinventering och plantkontroll med digitala bilder från helikopter**

*Plant inventory with digital aerial photographs from helicopter*

**Jonas Orgum**

Examensarbete i ämnet skogshushållning

Handledare: Sören Holm

Examinator: Mats Nilsson

---

## **Förord**

Detta examensarbete är genomfört inom ämnet skogshushållning vid institutionen för skoglig resurshushållning vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Det är utfört i samarbete med Holmen Skog, Distrikt egen skog Norrköping och Kallax fly AB. Examensarbetet omfattar 30 högskole poäng på D-nivå.

Ett stort tack riktas till personalen på Egen skog Norrköping vilka jag haft intressanta diskussioner med, men jag vill framförallt ge ett stort tack till min handledare Sören Holm som ställt upp med tips och bra handledning under arbetets gång.

Jag vill även tacka examinatorn Mats Nilsson för hjälp med att skicka ner en GPS till Norrköping under fältarbetet och med konstruktiva förslag på förbättringar av texten i arbetet.

## Sammanfattning

Den här studien genomfördes på uppdrag av Holmen Skog, distrikt Egen skog i Norrköping. Under oktober månad år 2006 inventerades ett antal bestånd med helikopter där nästa åtgärdsförslag var plantinventering och plantkontroll. Av dessa inventerade bestånd valdes 16 plantinventerings- och 18 plantkontrollsobjekt ut för att besökas i fält. Fältarbetet utfördes under slutet av november och december månad år 2006 på Holmen Skogs egna skogsinnehav i Norrköpings region.

Flyginventeringen utfördes med en helikopter av modell EC 120 som var utrustad med en avancerad gyroupphängd kamera. Bildtagningen över objektet startade automatiskt när GPS:n meddelade kameran att positionen var inom objektets yttergränser.

I plantinventeringen identifierades 84 enskilda bilder som besöktes i fält. I bildens verkliga läge lades en cirkelprovyta ut med radien 5 meter och inom provytans areal noterades både totala antalet plantor och antalet huvudplantor. Inom studien av plantinventeringen utfördes också en konventionell inventering (20 provytor med 1.785 meters radie) för en jämförelse med resultatet från helikopterinventeringen, särskilt vad gäller precisionen.

Studien av plantkontrollen skedde på beståndsnivå på grund av svårigheter att lokalisera bildens verkliga läge i fält. Fältarbetet inom plantkontrollen utfördes med objektiv inventering med cirkelprovytor med radien 3 meter.

I studien har funktioner tagits fram för att skatta huvudplantor från totalt antal räknade stammar i bildtolkningen. Med hjälp av funktionerna kan antalet huvudplantor skattas med någorlunda bra precision, vilket är en nödvändighet för att kunna godkänna en för yngning då det är antalet huvudplantor som är av intresse. Funktionen för att skatta huvudplantor från antalet bildtolkade plantor i plantinventeringen är, för en given bild,

$$Hpl = 3381 - 60,5 * 1000 / \sqrt{\text{bildtolkat}} \quad (S = 489)$$

och för plantkontrollen är funktionen, här för bestånd,

$$Hpl = 3218 - 2485 1000 / \text{bildtolkat} \quad (S = 287)$$

För att få ett rimligt underlag och tillräckligt god noggrannhet för beslut, krävs i plantinventeringen uppskattningsvis cirka 10 stycken 350 m<sup>2</sup> stora bildytor per objekt för att motsvara 20 stycken 10 m<sup>2</sup> provytor i fält.

Kostnaden för den konventionella inventeringen uppskattas till 100 kr per hektar och 175 kr per hektar för helikopterinventeringen. Detta medför att den konventionella inventeringsmetoden är den metod som fortfarande bör användas med hänsyn till både kostnad och precision.

## Summary

This study was carried out as a commission from Holmen Skog, district “Egen skog” in Norrköping. During October 2006 several stands were inventoried by aerial photos from helicopter. The stands were those for which the next action proposed was plant inventory or plant check. The photos were interpreted and the number of stems was calculated. Of the stands in the inventory, 16 were chosen for plant inventory and 18 for plant check. A field survey was performed for these stands in late November and December in 2006 to study the performance of the helicopter inventory.

The helicopter used in the inventory was model EC 120 which was equipped with an advanced gyro-stabilized camera. The photography started when the GPS registered that the position of the helicopter was inside the border of the object.

For the plant inventory the locations of 84 pictures were identified and visited in field. At the location of the photography a circular sample plot with a radius of 5 meters was placed and within the area of the sample plot the number of plants as well as the main crop plants was counted. Within the plant inventory a conventional survey was also performed (20 sample plots with a radius of 1.785 meters) for a comparison with the results from the helicopter inventory, especially for precision statements.

The study of the plant check was performed on a stand level due to the difficulties of finding the location of the photography. The field survey within the plant control was done by an objective inventory with circular sample plots with a radius of 3 meters.

In the study, functions for prediction of the number of main crop plants from the total amount of stems interpreted in the picture were produced. It was found that these functions could predict the number of main crop plants with reasonable precision. This is necessary for approve a regeneration or not, as it is the number of main crop plants that is used for decision. For the plant inventory the function for estimating the number of main crop plants from the total number of plants in the photography is, for a given photography,

$$\text{Main crop plant} = 3381 - 60,5 * 1000 / \sqrt{\text{plants in the photography}} \quad (S = 489)$$

and for the plant control on a stand level the function is,

$$\text{Main crop plant} = 3218 - 2485 * 1000 / \text{plants in the photography} \quad (S = 287)$$

For a reasonable coverage of stands and sufficient accuracy for management decisions, approximately 10 photos (each with an area of about 350 m<sup>2</sup>) seemed to correspond with the conventional survey.

The cost for the conventional survey is estimated to 100 Sw. crowns per hectare while the cost for the helicopter inventory is approximately 175 Sw. crowns per hectare. This means that the conventional survey method is more cost efficient than the helicopter method.

## Innehållsförteckning

Förord .....	2
Sammanfattning .....	3
Summary .....	4
Innehållsförteckning .....	5
Inledning.....	7
Bakgrund .....	7
Allmänt om föryngringsinventering och begreppet huvudplantor .....	7
Holmen Skogs direktiv för plantinventering och plantkontroll .....	9
Tidigare studier av fjärranalys inom föryngringsinventering .....	10
Syfte .....	10
Material och metoder .....	11
Förarbete.....	11
Flyginventeringen.....	11
Urval för Plantinventeringen .....	11
Urval för Plantkontrollen .....	12
Fältarbete .....	12
Plantinventering .....	13
Plantkontroll .....	13
Bildtolkning.....	13
Analys.....	14
Resultat.....	16
Plantinventering .....	16
Plantkontroll .....	20
Enskilda rutor .....	23
Kostnader och tidsåtgång .....	24
Diskussion .....	25
Sammanfattning .....	25
Plantinventeringen.....	25
Plantkontrollen .....	26
Kostnader .....	26
Svagheter med helikopterinventeringen.....	26
Krav på noggrannhet .....	27
Förslag till förbättrad/mer omfattande studie.....	29
Slutsatser .....	29
Litteraturförteckning .....	30
Muntliga källor.....	30
Bilder .....	30
Bilagor.....	31
Bilaga 1 .....	31
Bilaga 2 .....	31
Bilaga 3 .....	33





# Inledning

## *Bakgrund*

Föryngringsinventering är en resurskrävande och kostsam åtgärd inom svenskt skogsbruk. Försök med att använda andra metoder än en okulär besiktning i fält har varit aktuella de senaste 30 åren i ett försök att reducera kostnaden med föryngringsinventeringen. Idén till den här studien väcktes av personal från Holmen skog då de skulle inventera bestånd med helikopter till ett annat examensarbete som handlar om röjningsinventering (Zethraeus, 2007). I samband med den flygningen fotograferades ett antal objekt där nästa åtgärd var plantinventering eller plantskogs kontroll. Det som är av största intresse vid dessa två inventeringsmetoder är att skatta antalet huvudplantor per hektar.

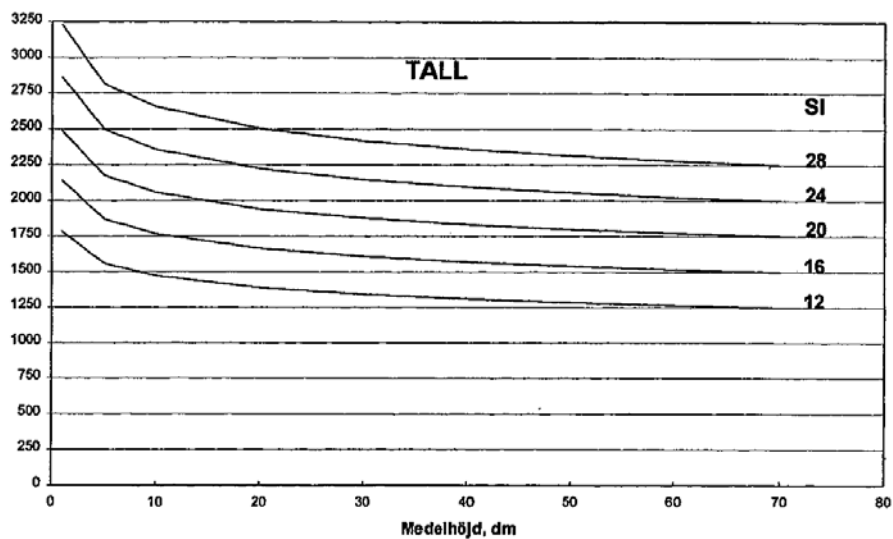
## *Allmänt om föryngringsinventering och begreppet huvudplantor*

Huvudplantor är ett viktigt begrepp när det handlar om föryngringar för det är de stammarna som är tänkta att vara kvar efter en framtida röjning. En huvudplanta definieras som en planta av för växtplatsen lämpligt trädslag och som med hänsyn till kvalitet, utvecklingsstadium och skaderisk har möjligheter att utvecklas väl i det framtida beståndet (Skogsstyrelsen, 2001). Till detta kommer krav på planthöjd och avstånd mellan huvudplantor (för alla detaljer, se bilaga 1), vilket medför att huvudplantor knappast kan utses i flygbild.

De som utför de flesta och mest avancerade föryngringsinventeringarna i landet är Skogsstyrelsen. Skogsstyrelsen har två olika typer av föryngringsinventeringar D-polytax och R-polytax och deras främsta uppgift är att se till att de nationella kraven på produktion och miljömål uppfylls av skogsbruket (Strömberg m.fl. 2001). R-polytax är en förkortning för rikspolytax som är en objektiv inventering på riks- och landsdelsnivå. D-polytax är en förkortning för distriktpolytax som används på region- och distriktsnivå för operativ verksamhet. D-polytax utförs som en kombination av subjektiv och objektiv inventering, medan R-polytax endast sker som objektiv. En detaljerad beskrivning av de objektiva inventeringarna ges i bilaga 2.

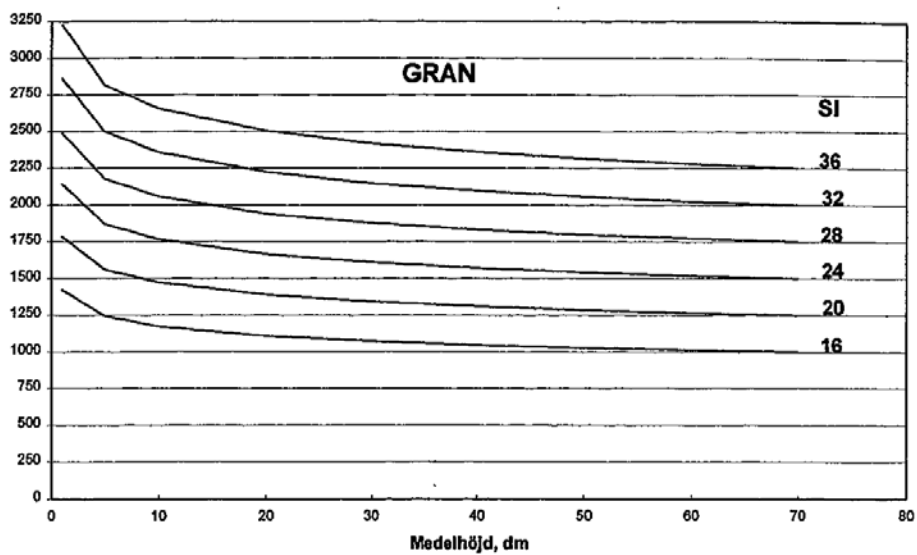
Det finns en studie gjord för att utröna vilket antal huvudplantor per hektar som krävs för att den förväntade volymproduktionen, beroende på trädslag, skall motsvara ståndortens produktionsförmåga (Kempe, 1995). I studien utvecklades kurvor för tall och gran som visar det antal huvudplantor per hektar som krävs för full slutenhet vid olika boniteter och medelhöjder (figur 1 och 2, Kempe op.cit). Det begrepp för slutenhet som användes var produktionsslutenhet. Dessa tabeller ligger till grund för lagkravet som presenteras i tabell 1.

Huvudplantor/stammar per ha



Figur 1. Figuren visar det antal huvudplantor per hektar av tall som krävs för full slutenhet vid olika medelhöjder och boniteter.

Huvudplantor/stammar per ha



Figur 2. Figuren visar det antal huvudplantor per hektar av gran som krävs för full slutenhet vid olika medelhöjder och boniteter.

**Tabell 1.** Lägsta antal huvudplantor som skall finnas per hektar vid senaste tidpunkt för hjälpplantering, gäller för Holmen Skog och Skogsstyrelsen

	<b>Ståndorts- index H 100</b>	<b>Stamantal/hektar</b>
<b>Tallskog</b>	T28+	2300
	T24	2000
	T20	1700
	T16	1300
	T12-	1100
<b>Granskog</b>	G36+	2300
	G32	2000
	G28	1800
	G24	1500
	G20	1100
	G16-	900
<b>Lövskog främst björk</b>	Alla	2000

### ***Holmen Skogs direktiv för plantinventering och plantkontroll***

Målet för inventeringarna är att fastställa vilka hjälpåtgärder som krävs, var på hygget hjälpåtgärder behövs, bedöma anledning till att plantor saknas och att bedöma behov av hyggesrensning och framtida röjning.

Plantinventering ska utföras 1-5 vegetationsperioder efter förnygring beroende på vilken återväxtmetod som har använts (se tabell 2) (Normark, 1999). Inventeringsmetoden är objektiv provyteinventering och syftet är att avgöra om och vilka hjälpåtgärder som behövs.

Plantskogskontrollen utförs efter 5-10 år beroende på vilken återväxtmetod som har använts (se tabell 2). Den här typen av kontroll kan utföras både objektivt och subjektivt. Om planteringen vid den subjektiva bedömningen anses vara tveksamt godkänd måste en objektiv inventering genomföras och detta för att bestämma vilka hjälpåtgärder som eventuellt måste utföras och var i beståndet.

**Tabell 2.** Tidpunkt för inventering efter utförd återväxtåtgärd

<b>Återväxtmetod</b>	<b>Tidpunkt, plantinventering</b>	<b>Tidpunkt, plantskogskontroll</b>
Plantering	En vegetationsperiod och en vinter	Fem vegetationsperioder
Hjälpplantering	En vegetationsperiod och en vinter	Fem vegetationsperioder
Sådd	Fem vegetationsperioder	Tio vegetationsperioder
Fröträdsställning, tall	Fem vegetationsperioder	Tio vegetationsperioder
Skärmställning, gran	Fem vegetationsperioder	Tio vegetationsperioder
Insådd	Fem vegetationsperioder	Tio vegetationsperioder

Målet för Holmen är att fem vegetationsperioder efter anläggning skall beståndet ha minst 2000 huvudplantor per hektar och maximalt 5 % nollytor. På ståndorter som är bördigare än T28 och G36 är målet satt till 2 500 huvudplantor. Lövträd och då främst björk får vara huvudplantor på fuktig och blöt mark. Definitionen på en nollyta är att huvudplantor saknas inom en radie av 3 meter från ytcentrum.

### ***Tidigare studier av fjärranalys inom föryngringsinventering***

Under tidigt 80-tal genomfördes en studie med återväxttaxering i flygbilder från helikopter (Sylvander, 1983). Den studien utfördes på två- och fyraåriga planteringsobjekt i Dalarna och Härjedalen. I studien fotograferades ytorna från 10 meters höjd med en Hasselbladskamera. För att skalbestämma bilderna och därigenom få ett korrekt stamantal lades ett kors med känd storlek ut på marken. Fotograferingen utfördes efter snösmältningen och innan gräset började frodas för att därigenom lättare kunna identifiera plantorna i bilden. Studierna påvisade att plantantalet på de 2-åriga planteringsobjekten underskattades med 15-25 % medan det för de 4-åriga objekten var en god överensstämmelse mellan fältinventerat och bildtolkat plantantal. Det som framförallt gjorde att helikopterinventeringen inte slog igenom var att kostnaden var för hög. Kostnaden för en konventionell markinventering skattades då studien genomfördes till 30-35 kr/ha medan kostnaden för helikopterinventeringen och bildtolkningen var 80-85 kr/ha.

Samtidigt med Sylvanders studie gjordes ett examensarbete på Skogsmästarskolan (Hellström & Hessman, 1984). Där undersöktes plantinventering i storskaliga färgbilder som fotograferats med stor- (23x23 cm) och små bilder med mellanformats (6x6 cm) kamera. I de stora färgbilderna krävdes enligt studien en skala på 1:800 och med den skalan uppskattades kostnaden till 91 kr/ha jämfört med kostnaden för den konventionella inventeringen som vid tillfället låg på 35 kr/ha. För de små färgbilderna var den uppskattade kostnaden 80-85 kr/ha som ligger i paritet med den kostnad som Sylvander skattade i sin studie, men med den stora skillnaden att plantupptäckten var betydligt lägre än i Sylvanders studie.

Förutom studier med helikopter som inventeringsmetod har pilotstudier gjorts med att försöka använda infraröda bilder tagna från flygplan vid föryngringsinventering (Larsson u.å). Slutsatserna från den pilotstudien var att det fanns möjligheter att använda metoden för att identifiera åtgärdsbehov som lövröjning eftersom det gick att se skillnad på barr- och lövträd, men att det inte fanns någon möjlighet att använda metoden för föryngringsinventering.

### ***Syfte***

Syftet med denna studie är att utvärdera om bilder tagna från helikopter är en lämplig metod vid plantinventering och plantkontroll med avseende på noggrannhet och kostnader. En naturlig del av studien är att få fram ett samband mellan totalt plantantal och huvudplantantal för att därigenom få fram funktioner för att skatta huvudplantor från bilden. Detta är också en grund för en utredning av precisionen i skattningarna. Att jämföra kostnaderna mellan en konventionell inventering och en helikopterinventering ingår också som en självklar del i arbetet. För ytteligare en central fråga, är kanske inte syftet att helt besvara den, men väl ge den en genomlysning, och det är frågan om hur noggrann en inventering av en föryngring behöver vara för att ge acceptabelt underlag vid bedömningen om föryngringen ska bedömas som godkänd eller ej.

## **Material och metoder**

### ***Förarbete***

Inventeringen och flygningen utfördes på Holmens Skogs egna skogsmarksinnehav i Norrköpingsregionen. Under oktober månad 2006 inventerades bestånden med helikopter av Kallax flyg AB.

### **Flyginventeringen**

Fotograferingen skedde från en helikopter av modell EC 120 som var utrustad med en avancerad grouwphängd lodkamera (Flink 2006, muntligen). Kameran är gyrostabiliserad och centrumsökande vilket innebär att bilderna blir tagna lodrät mot marken oavsett läge och vinkel på helikoptern (Skogen, 2007). De indata som behövde förberedas innan helikopterinventeringen var att i ett GIS skapa en fil (shapefil) över de bestånd som ska inventeras, innehållande geografisk placering, beståndets yttergränser, id-nummer och storleken på bestånden. Av denna shapefil skapades sedan en rutt med hjälp av ett program som bygger på närmsta granne principen och detta för att minimera flygsträckan. Vid flygningen följer helikoptern rутten och kameran tar bilder när GPS:n meddelar att helikoptern befinner sig inom beståndet. Bilderna tas slumpmässigt inom beståndet på cirka 150 meters höjd och ett zoomobjektiv används för att zooma ner till ungefär 50 meters höjd. Hastigheten vid fotograferingstidpunkten är 75- 110 km/h och bilderna tas i nord-sydlig riktning.

### **Urval för Plantinventeringen**

Av primärt intresse var att undersöka om antalet bildtolkade plantor stämde överens med antalet registrerade i fält, bild (yta) för bild, och om överensstämmelsen kunde bero på egenskaper hos bestånden. Initialt var tanken därför att välja ut bestånd efter befintliga beståndsuppgifter och det för att få ett urval av bestånd med olika trädslag och boniteter. Det visade sig vara omöjligt att utföra ett sådant urval för kvaliteten på bildtagningen varierade stort mellan bestånden, så det slutliga urvalet fick istället baseras på om det fanns en god täckning av bilder över beståndet. Bilderna (ytorna) som skulle besökas i fält valdes ut utifrån förekomsten av någon typ av referenspunkt som möjliggjorde en navigering till bildens verkliga läge. Referenspunkterna kunde vara ett speciellt stenparti, vindfälle, stubbe eller någon annan utmärkande detalj i terrängen. Totalt kom 16 bestånd och 84 bilder att väljas ut för fältbesök och inventering.

**Tabell 3.** De utvalda bestånden med beståndsidentitet och nummer, areal (ha) och antalet bilder per hektar

Bestånd (ID)	Bestånd (nr)	Areal (ha)	Antal bilder (bilder/ha)
65115102200	220	5	2
65115214141	1414	6	1
65115220770	2077	5	2
65115122070	2207	3,2	1
65115223760	2376	5,1	1
65115227680	2768	5,5	2
65115129200	2920	5,4	1
65115229670	2967	3	2
65115231110	3111	2	2
65115235480	3548	1,9	4
65115236480	3648	2,6	3
65115247830	4783	2	3
65115248030	4803	5,4	4
65115248130	4813	3	2
65115250770	5077	6	2
65115265100	6510	2,6	3

### Urval för Plantkontrollen

I objekten för plantkontrollen visade det sig i praktiken vara omöjligt att hitta igen tillräckligt många enskilda bilder. Undersökningen kom därför att gälla jämförelser mellan beståndvärden. Bestånd valdes ut subjektivt med krav på att det fanns god täckning av bilder över beståndet och för att få en jämn fördelning mellan tall och gran. Totalt valdes 18 bestånd ut att besökas i fält.

**Tabell 4.** De utvalda bestånden med beståndsidentitet och nummer, areal (ha) och antalet bilder per hektar

Bestånd (ID)	Bestånd (nr)	Areal (ha)	Antal bilder (bilder/ha)
65115221680	2168	5,3	3,2
65115134820	3482	1,5	2,7
65115244640	4464	4,5	3,1
65115244710	4471	2,3	4,3
65115145880	4588	3,5	2
65115246610	4661	3	3,7
65115247640	4764	1,8	3,3
65115251450	5145	10,7	3,6
65115254590	5459	4,9	3,1
65115256130	5613	2,4	3,8
65115260110	6011	2,1	4,8
65115166790	6679	3,6	3,9
65115168700	6870	4,9	3,1
65115268700	6870	3,7	2,4
65115278830	7883	4,8	1,5
65115181940	8194	2,5	4
65115195920	9592	1,5	4,7
65115197880	9788	1	4

### Fältarbete

De bestånd som valdes ut besöktes i fält under tidsperioden 2006-11-28 till 2006-12-22.

## **Plantinventering**

De hjälpmedel som förfogades över för att möjliggöra navigering till bildens verkliga läge var GPS- koordinater på den enskilda bilden, utskrivna bild och en GPS-mottagare. Väl vid bildens verkliga läge i geografiska lades en cirkelprovyta ut med fem meters radie. Inom provytans area noterades totala antalet plantor och huvudplantor valdes ut. Dessa ytor används för jämförelsen mellan bild- och fälträknat plantantal. Efter att inventeringen av de enskilda bilderna var klar utfördes även en traditionell plantinventering över hela beståndet enligt Holmen Skogs direktiv. Plantinventeringen utfördes på 10 m<sup>2</sup> stora cirkelytor (radien 1,785 m) och med 50 meters förband. Orienteringen till provytan skedde med hjälp av kompass och längdmätningen med stegning. Ytor som delvis hamnade utanför objektet flyttades in så att hela ytan var inom objektet. Spegling av ytan användes inte. Om större delen av ytan hamnade inom impediment så gjordes ingen registrering. Var objektet mindre än 5 hektar skulle minst 20 provytor läggas ut och då fick förbandet korrigeras efter storleken på objektet med hjälp av tabellen i bilaga 3.

## **Plantkontroll**

Fältarbetet av de utvalda bestånden i plantkontroller utfördes som en objektiv inventering, med systematisk provyteutläggning. Förbandet bestämdes efter storleken på beståndet och önskat antal cirkelprovytor, som var minst 15 stycken i mindre bestånd (0.5-1 hektar) och 20 stycken i större (>1 hektar). Ytorna som lades ut i inventeringen hade radien 3 meter och i varje provyta noterades totala antalet plantor och de plantor som uppfyllde kraven för huvudplanta. Navigeringen mellan ytorna skedde med kompass och längdmätningen med trådmätare. Hamnade en yta delvis utanför beståndsgränsen speglades ytan och om den hamnade på ett impediment gjordes ingen registrering.

## **Bildtolkning**

Bilderna som tagits över förnygringen är indelade i nio rutor med lika stor area i varje ruta (se bild 1). På varje bild finns information om total areal och arealen för enskild ruta. Arealen på bilden beror på den höjd bilden är tagen från och på vilken brännvidd som använts för den aktuella bilden. Vid bildtolkningen användes en ordinär Pc med en 19 tum skärm och mjukvaran som användes för att tolka bilderna var ArcGis 9.0 som är ett geografiskt informationsprogram. I ArcGis 9.0 skapades ett punktlager för tall och ett för gran. Varje träd markerades med en punkt, med angivande av gran eller tall och när alla plantor på bilden hade markerats summerades antalet plantor och fördes sedan in i ett Excel kalkylblad. I Excel omvandlades antalet räknade plantor till totalt antal plantor per hektar och antalet stammar per hektar för tall och gran. Rutor som helt täcktes av fröträd togs bort och rutor som helt säkert kunde tolkas som impediment likaså. I rutor som delvis täcktes av fröträd eller impediment gjordes en bedömning av hur stort arealavdrag som skulle göras.

I bilderna från ett av bestånden (för plantkontroll) noterades även antalet plantor för varje enskild ruta. Detta gjordes för att undersöka om det är tillräckligt att räkna plantor i färre rutor än alla nio.

I samband med räknandet av plantor i bilderna valdes fem bestånd ut i vardera plantinventeringen och plantkontrollen för att ingå i en tidsstudie. Tidsstudien är underlag vid kostnadskalkylen. I samband med bildtolkningen noterades tiden det tog att räkna plantorna i bilden och att lägga in resultatet i Excel.



**Bild 1.** Bild från bestånd 6870 som ingick i plantkontrollen. Plantorna som syns på bilden är *Foto: Kallax flyg framförallt granar.*

### ***Analys***

Materialet från plantinventeringen används bl.a för att studera följande viktiga frågor:

- Råder det en systematisk skillnad i totala antalet plantor mellan bildtolkningen och fältinventeringen?
- Kan antalet huvudplantor (räknade i fält) skattas utifrån antalet plantor räknade i bild?

och, kanske de mindre viktiga, men ändå intressanta,

- Kan totala antalet plantor (fält) skattas utifrån antalet plantor räknade i bild?
- Kan antalet huvudplantor (fält) skattas utifrån totala antalet plantor i fält?

Frågan om systematisk skillnad har studerats med variansanalys (ANOVA), där den beroende variabel varit skillnaden mellan fältinventerat och bildräknat antal plantor. I variansanalysen förekommer både en beståndsfaktor och en ytfaktor, enligt modellen



$$\text{Differens} = \mu + \text{Beståndsvärde} + \text{Ytvärde}$$

Här står  $\mu$  för väntevärdet, och om  $\mu \neq 0$  föreligger ett systematiskt fel. Beståndsvärdena och ytvärdena är stokastiska variabler med varianserna  $\sigma_b^2$  respektive  $\sigma_y^2$ , som skattas i variansanalysen. För test av nollhypotesen ("inget systematiskt fel")  $H_0 : \mu = 0$  mot

$H_1 : \mu \neq 0$  användes testvariabeln  $z = \frac{\hat{\mu}}{SE(\hat{\mu})}$ , där  $\hat{\mu}$  = medelvärdet av alla differenser och

$SE(\hat{\mu}) = \sqrt{\hat{\sigma}_b^2 / m + \hat{\sigma}_y^2 / n}$ , där  $m$  = antal bestånd och  $n$  = antal ytor. Variabeln  $z$  antas vara (approximativt) normalfördelad om nollhypotesen är sann.

De tre övriga frågorna har studerats med linjär regressionsanalys.

Materialet från plantkontrollen används på samma sätt, för samma frågor. Ett undantag gäller frågan om den systematiska skillnaden som testas med parat t-test och detta eftersom vi bara har värden på beståndsnivå.

Beräkningarna har utförts med hjälp av Microsoft Excel och statistikprogrammet Minitab (Basic Statistics, Regression och General Linear Model).

Analyserna utfördes för tall och gran var för sig och tillsammans. Endast analyserna på det sammanslagna materialet redovisas i studien eftersom det inte kunde påvisas någon skillnad mellan trädslagen. Olika funktionstyper testades vid regressionsanalyserna, t.ex enkel linjär, logaritmisk, 1000/bildtolkat stammar per hektar m.fl och detta för att finna den funktion som gav lägst standardavvikelse och som var lämpligast som funktion vid skattningen av antalet huvudplantor per hektar.

## Resultat

### *Plantinventering*

Det ingick 16 bestånd i plantinventeringen och 84 bilder besöktes i fält. 130 bilder analyserades på rummet.

Resultatet från den konventionella inventeringen i fält visar att ett flertal av de besökta objekten bara med tveksamhet kunde bedömas som godkända. Tveksamma objekt var bestånd med mycket hållmark inom beståndet och fröträd av tall. Huvuddelen av de besökta bestånden var talldominerade. Det bestånd som har flest huvudplantor i den konventionella inventeringen var bestånd 6510 med 2813 plantor per hektar (tabell 5). Lägst antal plantor uppskattades i bestånd 1414 och 2768 där bägge avdelningarna hade 1770 plantor per hektar.

**Tabell 5.** Tabell över resultatet från den konventionella plantinventeringen på respektive bestånd. Uppdelat på beståndsnummer, totalt antal huvudplantor per hektar, tall och gran huvudplantor per hektar, biplantor per hektar och om föryngringen bedömdes som godkänd eller ej

Bestånd (nr)	Totalt Hpl/ha	Tall Hpl/ha	Gran Hpl/ha	Totalt Bipl/ha	Tall Bipl/ha	Gran Bipl/ha	Godkänd ja/nej
220	2359	1791	568	524	524	0	Ja
1414	1770	1483	287	0	0	0	Tveksamt
2077	2420	1964	457	274	274	0	Ja
2207	2420	1964	457	274	274	0	Ja
2376	1798	1798	0	0	0	0	Tveksamt
2768	1770	1196	574	0	0	0	Tveksamt
2920	2248	1292	957	48	48	0	Ja
2967	1851	1269	582	0	0	0	Ja
3111	2146	548	1598	0	0	0	Ja
3548	2329	639	1690	320	320	0	Ja
3648	2228	2184	44	568	568	0	Ja
4803	2440	48	2392	0	0	0	Ja
4783	2009	1557	452	0	0	0	Ja
4813	2201	2057	144	574	574	0	Ja
5077	2488	0	2488	0	0	0	Ja
6510	2813	2662	151	0	0	0	Ja

Resultatet från den konventionella inventeringen och den som utfördes i de enskilda bilderna med avseende på huvudplantor redovisas i tabell 6. Det antal huvudplantor som har framkommit från fältinventeringen i de enskilda bilderna visar på ett betydligt lägre antal huvudplantor. Som mest skiljer sig skattningen mot den konventionella med 1274 huvudplantor per hektar och i procent med 53 %.

**Tabell 6.** Tabell över hur andelen huvudplantor skiljer sig mellan den konventionella inventeringen och den som uppskattades i bildens verkliga läge ute i terrängen

Bestånd (nr)	Konventionell inv. (hpl/ha)	Fältinventerat enskilda bilder (hpl/ha)	Differens (hpl/ha)	Differens (%)
220	2359	2165	194	8%
1414	1770	2063	-293	-17%
2077	2420	1146	1274	53%
2207	2420	2080	340	14%
2376	1798	1095	703	39%
2768	1770	1859	-89	-5%
2920	2248	1375	873	39%
2967	1851	1273	578	31%
3111	2146	1273	873	41%
3548	2329	1710	619	27%
3648	2228	2317	-89	-4%
4803	2440	2456	-16	-1%
4783	2009	1751	258	13%
4813	2201	2080	121	5%
5077	2488	1995	493	20%
6510	2813	2037	776	28%

Den konventionella inventeringen har en medelskattning på 2206 stammar per hektar med en standardavvikelse på 300 stammar per hektar och ett medelfel på 75 (tabell 7). För inventeringen i de enskilda bilderna ligger medelskattningen på 1792 stammar per hektar med en standardavvikelse på 434 stammar per hektar och ett medelfel på 108 stammar per hektar. Det parade t-testet visar att det förekommer en systematisk skillnad mellan inventeringsmetoderna ( $P = 0.002$ ).

**Tabell 7.** Parat t-test mellan konventionella plantinventeringen och fältinventeringen på beståndsnivå ( $n=16$ )

	N	Mean	StDev	SE Mean
Konventionell	16	2205,63	300,02	75,01
Fältinventerat	16	1792,19	433,96	108,49
Difference	16	413,438	432,474	108,119

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 3,82 P-Value = 0,002

De mest intressanta resultaten är jämförelsen mellan fältinventeringen och bildtolkningen och som följer i tabell 8 och 9 och i figur 3 nedan.

**Tabell 8.** Variansanalys (ANOVA) av skillnaden mellan fältinventeringen och bildtolkningen av enskilda bilder ( $n=84$ )

#### Variansanalysstabla

Källa	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Bestånd	15	14345824	14345824	956388	1.39	0.177
Error	68	46725149	46725149	687135		

Total 83 61070973

#### Varianskomponenter

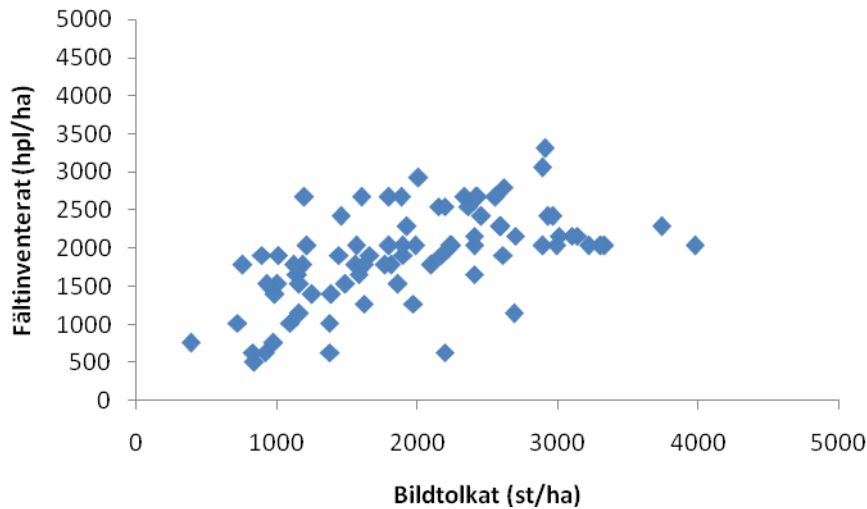
$$\hat{\sigma}_b^2 = 51481 \quad (m = 16)$$

$$\hat{\sigma}_y^2 = 687135 \quad (n = 84)$$

$$\hat{\mu} = 463.7 \quad SE(\hat{\mu}) = 106.8 \quad z = 463.7/106.8 = 4.34$$

Det stora  $z$ -värdet ( $|z| > 1.96$ ) visar att det föreligger en systematisk skillnad (underskattning) i bildtolkningen av totala antalet plantor. Beståndsvariansen är liten och ej signifikant.

Relationen mellan totala antalet räknade plantor i bild och huvudplantor i fält beskrivs i figur 3 nedan



**Figur 3.** Scatterplott över fältinventerat enskilda bilder huvudplantor per hektar och bildtolkat enskilda bilder stammar per hektar. ( $n=84$ ).

Funktionen för att skatta huvudplantor från tolkade bilder i plantinventeringen framgår av tabell 9. Standardavvikelse kring funktionen är 489 huvudplantor per hektar. Det högsta värdet som antalet huvudplantor kan anta genom den här funktionen är 3381 huvudplantor per hektar. Funktionen, skattad från de 84 provytorna, är (enhet st/ha)

$$Hpl = 3381 - 60,5 * 1000 / \sqrt{\text{bildtolkat}}$$

**Tabell 9.** Antal huvudplantor skattade i fält som funktion av  $1000 / \sqrt{\text{antal bildtolkat}}$

The regression equation is

Fält Hpl st/ha = 3381 - 60,5 1000/rot(bild)

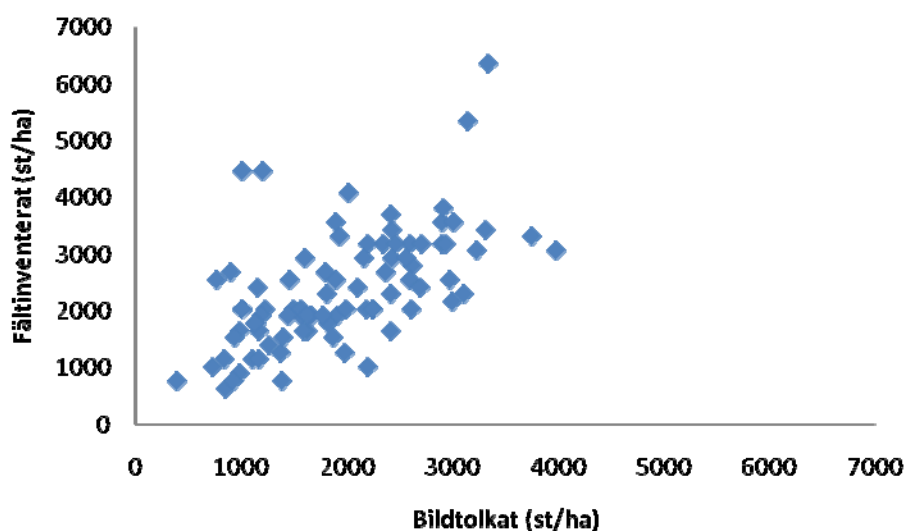
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3381,0	225,9	14,97	0,000
1000/rot(bild)	-60,486	8,978	-6,74	0,000

S = 489,221 R-Sq = 35,6% R-Sq(adj) = 34,8%

Den tydliga trenden mellan antalet stammar som är bildtolkat och som är fältinventerat är att man underskattar stamantalet vid bildtolkningen (tabell 10). Den största underskattningen är på 46 % och det är i bestånd nummer 1414. I två bestånd 3111 och 4783 överskattar man antalet plantor med 18 respektive 2 %.

**Tabell 10.** Antalet stammar per hektar som är bildtolkat och fältinventerat i de enskilda bilderna och differensen dem emellan både som stammar per hektar och procentuell skillnad

Bestånd (nr)	Bildtolkat enskilda bilder (st/ha)	Fältinventerat enskilda bilder (st/ha)	Differens (st/ha)	Differens (%)
220	1866	3098	-1232	-40%
1414	1431	2674	-1243	-46%
2077	1057	1252	-195	-16%
2207	2047	2249	-202	-9%
2376	1010	1146	-136	-12%
2768	1644	1681	-37	-2%
2920	1800	2419	-619	-26%
2967	1913	1974	-61	-3%
3111	2594	2207	387	18%
3548	1752	2637	-885	-34%
3648	2062	2750	-688	-25%
4803	2309	3063	-754	-25%
4783	1734	1706	28	2%
4813	2185	2462	-277	-11%
5077	2228	2610	-382	-15%
6510	3098	3383	-285	-8%



**Figur 4.** Scatterplott över stammar per hektar som är fältinventerat och stammar per hektar som är bildtolkat. ( $n=84$ ).

I tabell 11 redovisas regressionsanalysen mellan totalt antal stammar som är uppskattade i fält och antalet stammar som är räknade i bilderna. Standardavvikelsen kring funktionen är 843 stammar per hektar. Regressionsfunktionen för att skatta antalet plantor i fält är:

$$\text{Fältinventerat} = 915 + 0.767 * \text{bildtolkat}$$

**Tabell 11.** Antal stammar som är uppskattade i fält som funktion av antalet stammar som är bildtolkade (per hektar)

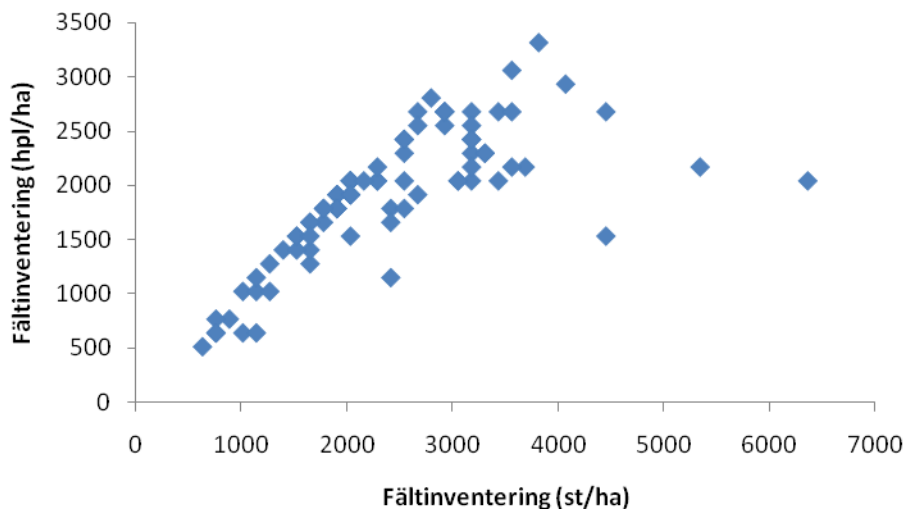
The regression equation is

$$\text{Fält.Tot st/ha} = 915 + 0.767 \text{ Bild Tot.st/ha}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	915.0	244.4	3.74	0.000
Bild Tot.st/ha	0.7669	0.1170	6.56	0.000

S = 842.892    R-Sq = 34.4%    R-Sq(adj) = 33.6%

Slutligen visar figur 5 nedan relationen mellan antalet huvudplantor i fält och totala antalet plantor i fält. Data utgörs av de 84 provytorna med 5 meters radie. Figuren visar på en växande linjär trend i antal huvudplantor upp till cirka 3000 stammar per hektar och därefter är antalet konstant. Brytpunkten vid 3000 stammar per hektar visade sig vara den bästa av de provade funktionstyperna (med s.k bruten linjär regression).



**Figur 5.** Scatterplott över sambandet mellan huvudstammar per hektar och totala antalet stammar per hektar som är fältinventerade i de enskilda bilderna (n=84).

## Plantkontroll

I studien av plantkontrollen ingick 204 bilder från 18 bestånd.

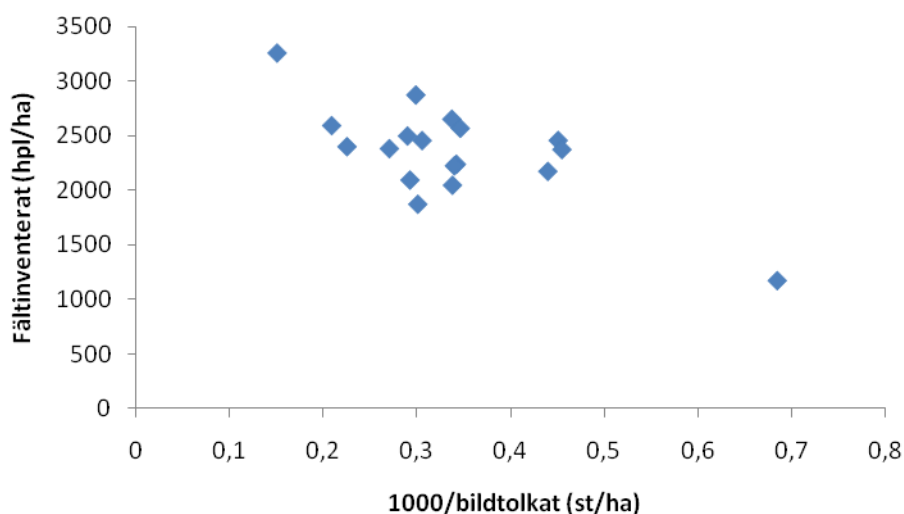
I tabell 12 redovisas t-test för jämförelse mellan parametrarna fältinventerat och bildtolkat stammar per hektar. Medel för skattningarna i fältinventeringen är 3981 st/ha med en standardavvikelse på 1571 stammar per hektar och medelfel på 370 stammar per hektar. För bildtolkat var medel för skattningarna 3238 stammar per hektar med en standardavvikelse på 1184 stammar per hektar och ett medelfel på 139 stammar per hektar. Differensen för de olika skattningarna är för medelskattningen 743 stammar per hektar med en standardavvikelse på 588 stammar per hektar och ett medelfel på 139 stammar per hektar. P-värdet för testet är nära 0 vilket visar att det är en signifikant skillnad mellan de olika metoderna.

**Tabell 12.** Parat t-test mellan fältinventerat totalt antal stammar per hektar och bildtolkat stammar per hektar (n=18)

Paired T for Fältinv.Tot st/ha - Bild Tot st/ha

	N	Mean	StDev	SE Mean
Fältinv Tot st/ha	18	3980.88	1571.42	370.39
Bild Tot st/ha	18	3238.36	1183.71	279.00
Difference	18	742.518	588.490	138.708

T-Value = 5.35 P-Value < 0.001



**Figur 6.** Scatterplott över fältinventerat antal huvudplantor per hektar och 1000/bildtolkat antal stammar per hektar (n=18).

Jämförelsen mellan huvudstammar per hektar som är fältinventerat och den transformerade variabeln 1000/bildtolkade antalet stammar per hektar visar på en tydlig linjär trend (figur 6).

Den regressionsfunktion som gav lägst standardavvikelse (S-värde) i plantkontrollen visas i tabell 14. I funktionen transformeras det uppskattade antalet stammar per hektar i bilden till 1000/bildtolkat stammar per hektar. Standardavvikelsen kring funktionen är 287 stammar per hektar. Funktionen för att skatta antalet huvudplantor är

$$Hpl = 3218 - 2485 * 1000/bildtolkat$$

**Tabell 14.** Antalet fältinventerat huvudplantor per hektar som funktion av 1000/bildtolkat stammar per hektar

Hpl st/ha = 3218 - 2485 1000/bild

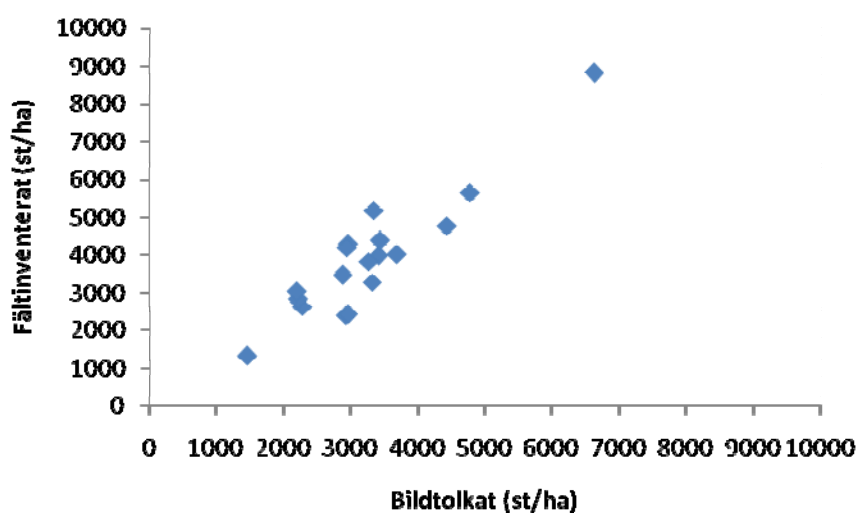
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3217.7	194.8	16.52	0.000
1000/bild	-2484.7	524.8	-4.73	0.000

S = 287.303 R-Sq = 58.4% R-Sq(adj) = 55.7%

Den genomgående trenden är en underskattning av stammar vid bildtolkningen jämfört med fältinventeringen (se tabell 15). I fyra bestånd är antalet uppskattade stammar per hektar i bildtolkningen fler än i fältinventeringen. Den största procentuella underskattningen uppnåddes i bestånd 8194 med en underskattning på 35 % och den största procentuella överskattningen i bestånd 4764 med 23 %.

**Tabell 15.** Antalet stammar per hektar som är bildtolkat och fältinventerat och differensen dem emellan både som stammar per hektar och procentuell skillnad

Bestånd (nr)	Bildtolkat (st/ha)	Fältinventerat (st/ha)	Differens (st/ha)	Differens (%)	Antal bilder (bilder/ha)
2168	4780	5659	-879	-16%	3,2
3482	3418	3972	-554	-14%	2,7
4464	2276	2635	-359	-14%	3,1
4471	2924	2387	537	22%	4,3
4588	2966	4288	-1322	-31%	2
4661	1463	1322	141	11%	3,7
4764	2960	2414	546	23%	3,3
5145	2943	4201	-1258	-30%	3,6
5459	2221	2829	-608	-21%	3,1
5613	2201	3015	-814	-27%	3,8
6011	3220	3462	-242	-7%	4,8
6679	3274	3816	-542	-14%	3,9
6870	3695	4013	-318	-8%	3,1
6870	3323	3272	51	2%	2,4
7883	4435	4765	-330	-7%	1,5
8194	3347	5173	-1826	-35%	4
9592	6619	8823	-2204	-25%	4,7
9788	3449	4386	-937	-21%	4



**Figur 7.** Scatterplott över fältinventerat stammar per hektar och bildtolkat stammar per hektar (n=18).

Antalet fältinventerade stammar per hektar och bildtolkat antal stammar per hektar visar på ett tydligt linjärt samband (figur 7).



Funktionen för att skatta det totala antalet stammar i fält, givet antalet bildtolkade, fås från funktionen i tabell 16. Standardavvikelsen kring funktionen är 1045 stammar per hektar. Det maximala värde antalet stammar i fält kan uppnå med funktionen är 7612 stammar per hektar. Funktionen för att skatta totala antalet plantor från bilden är:

$$\text{Fältinventerat} = 7612 - 10961 * 1000 / \text{bildtolkat}$$

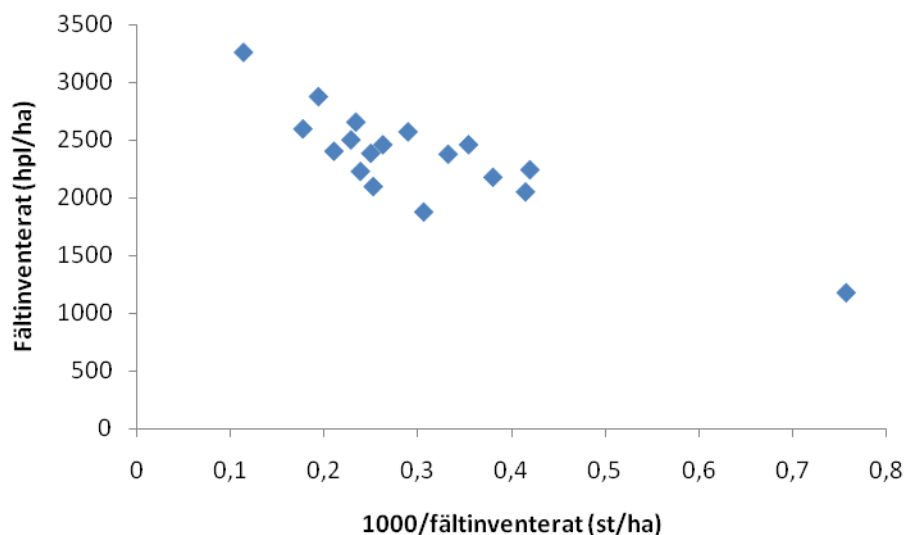
**Tabell 16.** Antal fältinventerat stammar per hektar som funktion av antal bildtolkade stammar per hektar

The regression equation is

$$\text{Fält St/ha} = 7612 - 10961 \cdot 1000 / \text{bild}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7612,0	771,0	9,87	0,000
1000/bild	-10961	2165	-5,06	0,000

S = 1044,90    R-Sq = 61,6%    R-Sq(adj) = 59,2%



**Figur 8.** Scatterplotten över antalet huvudplantor per hektar i fält och totala antalet fältinventerade plantor per hektar (n=18).

Scatterplotten i figur 8 visar på ett linjärt samband mellan antalet huvudplantor och totalt antal plantor per hektar. Maximala antalet huvudplantor per hektar som kan fås från funktionen är 3135. Standardavvikelsen är 237 huvudplantor per hektar. Funktionen för att skatta antalet huvudplantor är

$$Hpl = 3135 - 2606 * 1000 / \text{fältinventerat}$$

### Enskilda rutor

En fråga, givet att man skulle använda sig av räknade plantor i flygbild, är om det räcker att räkna plantorna i t.ex den centrala rutan av de nio per bild och ta fler bilder eller räkna plantorna i alla nio rutorna. Den statistiska principen är att om antalet plantor i de nio rutorna i en bild är ungefär lika många, medan antalet varierar över bilder så lönar det sig att endast räkna plantorna i en av rutorna. Denna fråga har studerats på följande sätt:

1. Rutorna i bilderna har numrerats 1 – 9. För varje ruta har standardavvikelsen för antalet

plantor per ha beräknats över de 10 bilderna och standardavvikelseerna har poolats över rutorna. Den poolade standardavvikelsen blev 1114 stammar per ha.

2. Standardavvikelsen för antalet plantor per ha och bild, alla nio rutorna tillsammans, har beräknats och den blev 385 stammar per ha.

Om de två värdena hade varit ungefär lika stora räcker det att räkna antalet i centrumrutan. Skulle den poolade standardavvikelsen vara ungefär en tredjedel (tre kommer från kvadratroten ur antalet rutor per bild, nio alltså) av standardavvikelsen enligt 2 så förefaller antalet plantor per ruta vara okorrelerade och då ska man absolut räkna antalet plantor över alla nio rutorna. I det här fallet gäller det senare, vi får  $385 \approx 1114 / 3 = 371$  som är mycket nära varandra. Det förefaller alltså vara motiverat att räkna plantorna över alla nio rutorna.

Att stamantalet för smårutorna förefaller vara okorrelerade är något anmärkningsvärt. Det skulle innebära att standardavvikelsen för totala antalet plantor skulle vara omvänt proportionell mot kvadratroten ur provytearealen. Ett liknande förhållande gäller även för fältinventeringen i undersökningen, där genomsnittliga standardavvikelsen för antalet huvudplantor på provytan med  $10 \text{ m}^2$  är 1135, medan den på provytorna med  $78,5 \text{ m}^2$  är 505, vilket inte helt misstämmer med kvadratrotsrelationen.

### ***Kostnader och tidsåtgång***

Helikopterkostnaden för inventeringen i Norrköping var 95 kr per hektar (Bergqvist, 2008). Lägg därtill en bildtolkningskostnad på cirka 80 kr per hektar, så blir den totala kostnaden 175 kr per hektar. Bildtolkningskostnaden grundas på uppskattningen att det behövs 10 bildytor per bestånd och medelarealen är cirka 4 hektar, vilket betyder att det behövs 2.5 bilder per hektar. Kostnaden för bildtolkaren är satt till 400 kr per timme och tiden för bildtolkningen till 5 minuter per bild. Kostnaden för den konventionella inventeringen på distrikt Egen skog Norrköping uppskattades till 100 kr per hektar (Svensson, 2006).

## Diskussion

Plantinventering och plantkontroll är viktiga uppföljningar för att säkerställa att föryngringen leder till ett framtida skogsbestånd med avseende på produktion och kvalitet. Därav är det av yttersta vikt att bedömningarna blir korrekta vid inventeringen, vare sig de sker ute i fält och/eller vid tolkning av bilder tagna från helikopter eller på annat sätt. Val av inventeringsmetod är en avvägning mellan noggrannhet och kostnad.

## Sammanfattning

Tanken med plantinventeringen är att se om, var och hur olika åtgärder ska genomföras på de enskilda bestånden. I den konventionella inventeringen går förrättningsmannen över objektet efter ett visst mönster med fast förband beroende på storleken på objektet. Vid inventering från helikopter är det piloten som bedömer hur flygningen skall ske och vart bilderna ska tas i geografin och det finns inget fast förband mellan bilderna eller startpunkt för bildtagningen.

För tolkaren är det i stort sett omöjligt att välja ut huvudplantor i bilden då det är så många faktorer som måste tas i beaktande i urvalet av huvudplantor. Det är antalet huvudplantor som avgör om en föryngring skall anses vara godkänd eller inte. Det är höga krav på de plantor som får klassas som huvudplantor t.ex. får de inte vara betade i någon större utsträckning eller ha sådana fel som kan medföra att kvaliteten och överlevnaden blir lidande. Betesskador på plantorna kan vara svåra att upptäcka vid tolkningen av bilderna och vid fältinventeringen av den här studien upptäcktes ganska många tallar som var påverkade av bete. Även andra skador är svåra att upptäcka i bilderna som till exempel frostsador, fejningssador och insektssador.

I stället för direkt tolkning måste bestämning av antalet huvudplantor ske via funktioner, som de som i den här studien framtagits med linjär regressionsanalys. En av funktionerna ger direkt antalet huvudplantor från antal räknade stammar i bild. En annan möjlighet hade varit att först gå från bildtolkade till sant totalt antalet stammar med *en* funktion och sedan från totalt stamantal till huvudplantor med *en annan*. Studien visade att det gick bra att gå direkt från bildtolkat stamantal till huvudplantor.

## Plantinventeringen

Vid bildtolkningen har det fungerat bra att räkna plantorna och identifiera trädslag. Det är viktigt att kvalitén och skärpan på bilden är bra för annars minskar möjligheten till en bra bedömning av antalet plantor markant.

Studien av plantinventeringen skedde på bildnivå och med det menas att ett urval av de bilder som tagits från helikoptern besöktes i fält. En jämförelse mellan det fältinventerade antalet stammar per hektar och det antal stammar som är bildtolkat visar på att man systematiskt underskattar antalet stammar i bilden (tabell 9). I vissa bestånd är antalet stammar högre än det fältinventerade antalet och detta beror säkerligen på att provytan (radie 5 meter) som lades ut i fält inte helt överensstämmer med bilden. För att få en exakt jämförelse skulle provytan i fält behövt motsvara bilden d.v.s. en rektangulär provyta. Det är praktiskt ogenomförbart, så målet blev att lägga provytecetrum så centralt i bilden som möjligt. Detta medför att provytan och bilden inte motsvarar varandra exakt.

I många fall var det svårt att exakt säga om det var en planta man såg eller inte och då speciellt om det var riktigt små plantor och mycket vegetation runt omkring. I de fall stammarna var belägna nära varandra s.k. trädgrupper var det svårt att bedöma antalet.

Materialet från bildtolkningen och fältinventeringen användes för att ta fram relationer mellan de två. Den regressionsfunktion som gav den bästa anpassningen (låg standardavvikelse och realistisk funktion) för att skatta antalet huvudplantor från antalet bildtolkade stammar per hektar var

$$Hpl = 3381 - 60,5 * 1000 / \sqrt{\text{bildtolkat}}$$

Standardavvikelsen kring funktionen är 489 huvudplantor per hektar, vilket innebär att i cirka två bilder av tre avviker från skattning ovan med högst 489 stycken per hektar. Det förefaller dock som om avvikelserna mellan provytor inom bestånd inte är stokastiskt oberoende utan att det finns en beståndskomponent. Detta innebär att medelavvikelsen för provytorna i ett bestånd inte går mot noll oavsett hur många bilder man än skulle ta.

#### Plantkontrollen

Studien av plantkontrollobjekten skedde på beståndsnivå och det på grund av att det var stora svårigheter att i fält lokalisera det verkliga läget på bilderna. Det hade varit önskvärt att lokalisera den exakta positionen även inom plantkontrollen för att se mer exakt hur fältinventeringen och bildtolkningen skiljer sig. Det var dock enklare att se och räkna plantorna i plantkontrollen än i plantinventeringen och det beror på i första hand att plantorna är äldre och därigenom större.

Den genomgående trenden var att man underskattade antalet plantor i bilden kontra antalet plantor som man fick ute i fält (tabell 12).

Även för plantkontrollen skattades funktioner för prediktion av antal huvudplantor per hektar, här på beståndsnivå. Den regressionsfunktion som gav lägst spridning var

$$Hpl = 3218 - 2485 1000 / \text{bildtolkat}$$

Den skattade standardavvikelsen för den här funktionen är 287 huvudplantor per hektar, vilket betyder att antalet huvudplantor i två *bestånd* av tre avviker med högst 287 från skattningen.

#### **Kostnader**

Kostnaden uppskattades till 175 kr per hektar för helikoptermetoden jämfört med 100 kr per hektar för den konventionella metoden. Detta visar att det i dagsläget inte finns några incitament att använda helikoptermetoden, för den blir först aktuell när den blir billigare än den konventionella inventeringen.

#### **Svagheter med helikopterinventeringen**

En stor svaghet men den här metoden är att bilderna som är tagna av helikoptern inte är slumpmässigt positionerade inom objektet. I studien har vi antagit att relationerna mellan bilddata och fältdata inte påverkats av bristen på objektivitet.

Materialet som studien grundar sig på skulle i den perfekta världen helst ha varit mer omfattande. Ett större sampel ger mer tillförlitliga värden och resultatet skulle vara mer statistiskt säkerställt.

Bilderna i studien är tolkade av en förrättningsman och i många fall är det subjektiva bedömningar och uppskattningar som ligger till grund för hur många plantor som uppskattas i bilden och hur stor areal som ska borträknas p.g.a skymmande fröträd eller impediment. Detta medför att det troligen finns skillnader i skattningarna mellan olika förrättningsmän. Det är många faktorer som förrättningsmannen måste ta i beaktande vid bildtolkningen som inte är helt lätta att uppmärksamma med endast bilden som underlag. Vad som är impediment och vad som är produktiv skogsmark är inte självklara bedömningar och kan leda till feltolkningar, vilket i sin tur kan leda till fel slutsatser för hela beståndet. För att förrättningsmannen skall få en bra känsla för tolkningen krävs det att personen ifråga är ute och tittar på olika objekt och kalibrerar sig.

Det var stor skillnad på antalet huvudplantor som är skattade mellan den konventionella inventeringen och den inventering som utfördes i de enskilda bilderna inom plantinventeringen. En trolig orsak till att antalet huvudplantor bedöms som fler i den konventionella inventeringen än i den som är utförd i de enskilda bilderna är storleken på provytorna i de respektive metoderna. I den konventionella inventeringen är storleken på provytan 10 m<sup>2</sup> med en radie på 1,785 meter och inventeringen i de enskilda bilderna användes en radie på 5 meter som motsvarar 78,5 m<sup>2</sup>. Det kan bero på att man i de mindre provytorna inte tar samma hänsyn till omgivningen omkring provytan i valet av huvudplanta. Står det en planta inom 0,6 meter från en planta inom provytan, och den som står utanför ytan har bättre möjligheter att utvecklas väl så ska *den* väljas och inte plantan i provytan. Denna systematiska skillnad påverkar dock inte på något sätt resultaten i studien för övrigt.

Andelen nollytor är av stor betydelse för om ett objekt skall godkännas eller inte. En nollyta är en provyta med en radie på tre meter där det inte växer några huvudplantor. I den här studien har andelen nollytor inte tagits i beaktande vid bildtolkandet, vilket i sin tur skulle kunna medföra att något objekt skulle klassas som underkänt med avseende på nollytor.

De bestånd som inte kan bedömas som godkända vid tolkningen av bilderna måste besökas av en förrättningsman i fält och detta för att se vilka åtgärder som måste utföras och vart i beståndet som behovet finns. Detta kommer att leda till en extra kostnad då det förutom bildtolkningen även kostnaden för fältinventeringen måste inräknas.

### ***Krav på noggrannhet***

Kravet på lägsta antalet huvudplantor för godkänd föryngring framgår av tabell 1. Nu skattas antalet utifrån ett sampel (som här nedan antas vara objektivet) och eftersom skattningen är behäftat med ett slumpmässigt fel så är det två frågor som kan ställas:

- a. Hur stor är sannolikheten att en egentligen underkänd föryngring klarar gränsen och förklaras godkänd?
- b. Hur stor är sannolikheten att en egentligen godkänd föryngring inte klarar gränsen och förklaras ej godkänd?

Frågan är om inte dessa frågor också har styrt kravet på godkännande. Målet med en föryngring borde vara "full slutenhet", vilket visas av figurerna 1 och 2, medan tabell 1 ger gränsen för godkännande. Värdena för full slutenhet vid höjden 0.5 m är cirka 500 högre än godkännandekravet för tall och 350-500 högre för gran. Man kan misstänka att dessa skillnader avspeglar säkerhetsmarginaler som motiveras av samplingfelet.

En beräkning av sannolikheterna kan gå till på följande sätt: Beteckna kravet på godkänt antal huvudplantor med  $K$ . Det *sanna* antalet betecknas  $P$ . Det skattade värdet betecknas med  $\hat{y}$  och dess standardavvikelse (medelfel) med  $\sigma$ . Då är sannolikheten (åtminstone approximativt) att föryngringen förklaras *icke godkänd* lika med

$$\text{Sannolikheten att } \hat{y} \leq K = \Phi\left(\frac{K - P}{\sigma}\right)$$

där  $\Phi$  betecknar normalfördelningens fördelningsfunktion. Om  $K = P$  så är sannolikheten 0.5 oavsett standardavvikelsen  $\sigma$ , annars beror sannolikheten på värdet på  $\sigma$ .

Den konventionella plantinventeringen som gjorts för denna studie antyder att ett rimligt normalvärde för medelfelet (standardavvikelsen för skattningen) är cirka 250 stammar per ha, givet att 20 provytor används. Om en föryngring är fullsluten och detta överskrider kravet med 500, så att  $K - P = -500$  blir sannolikheten  $\Phi(-500/250) \approx 0.023$ , vilket då skulle vara svaret på fråga b för en fullsluten föryngring. Om det sanna värdet understiger kravet med 250 stammar per ha, så att  $K - P = 250$ , blir sannolikheten att den blir godkänd lika med  $1 - \Phi(250/250) \approx 0.16$ . Sannolikheterna är ganska känsliga för standardavvikelsen. Är variationen i plantantal stor i en föryngring, så att  $\sigma = 400$  blir de två sannolikheterna i stället ungefär 0.11 respektive 0.27. Standardavvikelsen kan sänkas genom att öka på antalet provytor.

Antag att man i stället använder sig av det bildtolkade totala antalet plantor (hela bilder) och funktionen för skattning av antalet huvudplantor (tabell 9). Standardavvikelsen för totala antalet plantor per yta sätts till 385 (samplingfelet, se Enskilda rutor sid. 22). Det verkliga antalet huvudplantor avviker från funktionen med 489 huvudplantor (prediktionsfel). Totalt ger detta, om man antar att felet är oberoende, en standardavvikelse per bild på  $622/\sqrt{6}$  huvudplantor. Medelfelet för *skattningen* av antalet huvudplantor (per ha) i beståndet blir då  $622/\sqrt{6}$ , återigen under förutsättning om oberoende. Med  $n = 6$  blir medelfelet för skattningen cirka 250 huvudplantor, vilket då motsvarar normalfallet ovan med en konventionell inventering om 20 provytor med arealen  $10 \text{ m}^2$ . Nu är det dock inte fullt så enkelt. För det första är det svårt att tänka sig att endast sex bilder kan ge en god areell täckning av hela beståndet. Vidare antyder en något mer avancerad analys av data än den som redovisas i tabell 9 att prediktionsfelet inom bestånd inte är oberoende. Det kan inte uteslutas att antalet huvudplantor för vissa bestånd konsekvent över- eller understiger funktionsvärdena i tabell 9. Analysen ger en skattad standardavvikelse kring funktionen *inom* (mellan bilder) bestånd på 422 och *mellan* bestånd på 258 huvudplantor per ha. Dessa värden är osäkra (ett av bestånden, med bara tre bilder, bidrar ganska mycket till siffran 258), men stämmer de någorlunda väl skulle *hela* beståndet behöva täckas med bilder för att komma ner i ett medelfel kring 250 (258). Jämförelsen kräver slutligen att överflygningen sker så att bildtolkningen inte ger ett systematiskt fel.

Beslut om vilka gränser och sannolikheter som är lämpliga måste tas på skogspolitiska grunder. Man bör då väga in kostnaderna för de olika fel som kan uppstå på grund av felaktiga beslut (kan kostnadsfunktioner specificeras kan beräkningar göras så att sannolikheterna ovan kan ersättas med förväntade kostnader).

Samma sorts beräkningar som ovan kan göras om man i stället formulerar problemet som ett dimensioneringsproblem: "Hur många provytor behövs för att fastslå att en föryngring med visst antal huvudplantor blir (blir ej) godkänd?" (med givna sannolikheter för beslutsfel).

## ***Förslag till förbättrad/mer omfattande studie***

Användning av fjärranalys vid olika typer av inventering kommer i framtiden med största sannolikhet att öka, men om det kommer att ske med hjälp av helikopter, flygplan eller miniflygplan återstår att se. För att få metoden med helikopter mer kostnadseffektiv vore det mycket intressant att undersöka om det finns möjlighet att använda någon typ av mjukvara som identifierar plantorna i bilden. Kan identifieringen av plantorna utföras med tillräcklig noggrannhet med sådan mjukvara vore det säkerligen mer aktuellt att använda metoden i plantkontrollen. Detta är en intressant möjlighet att undersöka vidare.

För att funktionerna som framkommit i studien skall kunna användas på andra geografiska områden än i bara Norrköping så krävs det att information samlas in för nya områden och att analyser genomförs på insamlade data.

## ***Slutsatser***

Det är helt klart möjligt att räkna plantor och bestämma trädslag i bilderna, både för plantinventeringen och för plantkontrollen. Det är dock mer lättvindigt i plantkontrollen då plantorna är äldre och större, vilket ger en bättre tydlighet i bilden. Kvalitén på bilderna behöver vara god för att möjliggöra en tillfredställande tolkning av bilderna för vid sämre skärpa är det näst intill omöjligt att kunna bedöma vad som är en planta. Svårigheter för bildtolkaren är bl.a. att bedöma hur stor areal som upptas av fröträd, vad som är impediment och vad som är produktiv skogsmark i bilden.

I studien har funktioner för att skatta huvudplantor från totalt antal räknade stammar i bildtolkningen framtagits. Med hjälp av funktionerna kan antalet huvudplantor skattas med någorlunda bra precision, vilket är en nödvändighet för att kunna godkänna en föryngring då det är antalet huvudplantor som är av intresse. Helikoptermetoden kan inte bli lika exakt som den konventionella inventeringen i fält.

För att få helikoptermetoden att bli rimligt objektiv skulle det krävas någon form av flygdesign. Designen bör vara utformad så att större delen av föryngringsarealen blir representerad i bilderna. Då krävs det att helikoptern flyger i ett sicksackmönster eller flyger flera stråk över beståndet.

För att få ett rimligt underlag och tillräckligt god noggrannhet, så krävs i plantinventeringen uppskattningsvis cirka 10 stycken 350 m<sup>2</sup> stora bildytor per objekt för att motsvara 20 stycken 10 m<sup>2</sup> provytor i fält.

Vid tolkningen av bilderna så bör alla nio rutor i bilden räknas

Plantkontrollen behöver till skillnad mot plantinventeringen inte vara en objektiv inventering utan det räcker med en subjektiv bedömning av beståndet. Det medför att helikoptermetoden är mer aktuell för plantkontrollen, om man då bortser från kostnaden.

Kostnaden för helikoptermetoden uppskattas till 175 kr per hektar, vilket är betydligt mer än de 100 kr per hektar för konventionella metoden. Detta medför att den konventionella inventeringen fortfarande är den metod som bör användas.

## **Litteraturförteckning**

Anon. 2001. Distrikts – polytax, Inventering efter föryngring. Skogsstyrelsen. Fältinstruktion.

Anon. 2007. Nytt flygfoto. Tidningen skogen 3. Sid 20-22.

Kempe, G. 1995. Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. Arbetsrapport 1 1995. Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. ISSN 1401-1204.

Larsson, S-G. u.å. Inventering av skogliga föryngringar med hjälp av färginfrabilder.

Normark, Erik. SVA 1999. Plantinventering och plantskogs kontroll. Fältinstruktion.

Strömberg, C mfl. 2001. Föryngring av skog- metoder, åtgärder och resultat. Rapport 8D Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.

Sylvander, R. 1983. Återväxtaxering i flygbild. Institutionen för biometri och skogsindelning.

Zethraeus, F. 2007. Inventering av röjningsobjekt från helikopter. Examensarbete nr.86. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap.

## **Muntliga källor**

Anders Bergqvist, kvalitetschef/pilot, Kallax Flyg AB. (2008)

Tommy Flink, FotIT/Gis/Pilot, Kallax Flyg AB (2006)

Håkan Svensson, Produktionsledare Holmen Skog Distrikt egen skog. (2006)

## **Bilder**

Kallax flyg AB, (2006)



## **Bilagor**

### **Bilaga 1**

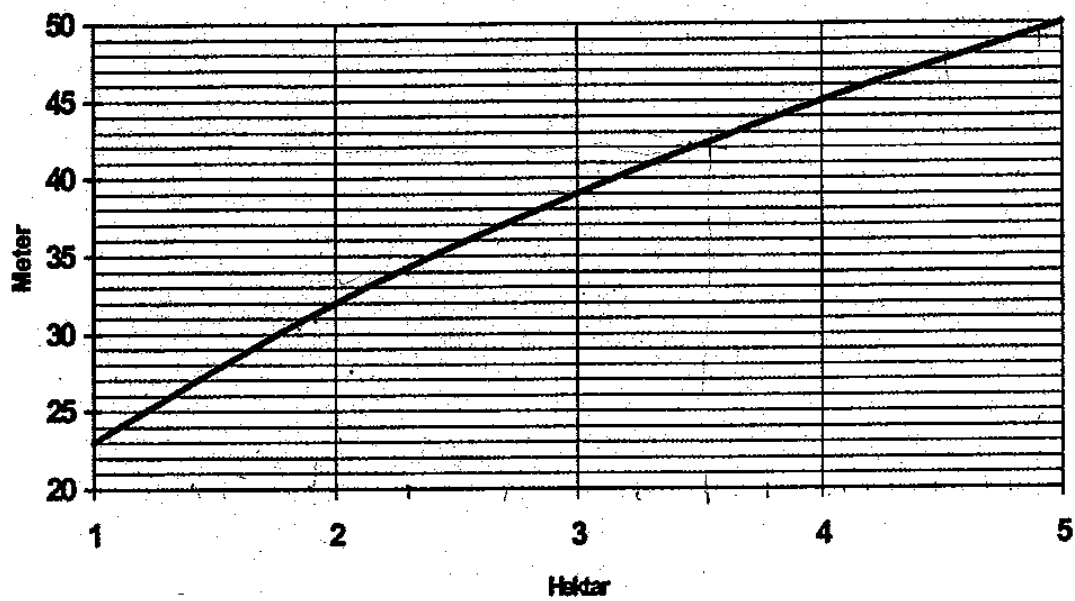
Trädslag som anses vara lämpliga ska ha en virkesproduktionsförmåga som anses vara tillfredställande med avseende på växtplatsens förutsättningar och ska ha en volymproduktion på minst 60 % av det bästa inhemska trädslaget. Kvalitén på plantan ska vara sådan att den har en genomgående stam och den får inte ha fel som medför att tillväxten blir mycket sämre som olika typer av sjukdomar, skador och tekniska fel. Med utvecklingsstadium menas att plantan minst ska vara två vegetationsperioder gamla. Avståndet mellan två huvudplantor måste vara minst 0.6 meter och då gäller det endast huvudplantor av samma trädslag med en höjdskillnad på högst 5 decimeter. Är höjdskillnaden större än 5 decimeter eller plantorna är av olika trädslag så ska minsta avstånd mellan plantorna vara 1 meter. Huvudplantor som befinner sig nära varandra får inte ha en höjdskillnad på mer än 1 meter och detta för att undvika att den högre plantan konkurrerar ut den lägre. Den allmänna skaderisken får inte vara högre än att man bedömer plantan till att ha goda möjligheter att utvecklas.

### **Bilaga 2**

De objekt som väljs ut att ingå i R-polytaxen besöks tre gånger. Första inventeringstillfället sker innan föryngringsavverkning (R0), den andra en vegetationssäsong efter avverkning (R1) och den tredje antingen fem eller sju vegetationssäsonger efter avverkning beroende på om objektet ligger i norra eller södra delen av Sverige (R5/7). Inventeringen går till så att förrättningsmannen går i taxeringslinjer med ett förband mellan linjerna som grundar sig på storleken på objektet d.v.s. ett större objekt har längre förband än ett mindre. Startpunkten för inventeringen slumpas fram för att få det strikt objektivt. Förrättningsmannen noterar sedan föryngringsresultat och utförda åtgärder på varje enskilt objekt samt noterar och mäter död och levande ved i bälten efter taxeringslinjerna. Bredden på bältena är 7-14 meter på vardera sida om taxeringslinjen. För att se om objektet har tillräckligt med huvudplantor läggs det ut cirka 30 cirkelprovytor per bestånd med en area på 10 m<sup>2</sup> per provyta. D-polytax är en förkortning för distriktpolytax och den inventeringsmetoden används på distrikts- och regionnivå för att få fram taktiska och operativa data. D-polytaxen sker år 1 (D1) och 5 eller 7 år (D5/7) efter avverkning och den är först och främst subjektiv, men om det vid den subjektiva bedömningen inte går att klart bedöma föryngringen som godkänd eller icke godkänd ska en objektiv inventering utföras.



### Bilaga 3



Figur 10. Förband mellan provytor inom objekt mindre än 5 hektar.