



Stamräkning och identifiering av åtgärdsbehov i röjnings- och gallringbestånd med hjälp av låghöjdsbilder

*Estimation of stem number and identification of standwise cleaning
and thinning requirements using aerial photographs*

Johan Djurberg

**Arbetsrapport 289 2010
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Mats Nilsson**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
901 83 UMEÅ
www.srh.slu.se
Tfn: 090-786 81 00



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-289-SE

Stamräkning och identifiering av åtgärdsbehov i röjnings- och gallringbestånd med hjälp av låghöjdsbilder

*Estimation of stem number and identification of standwise cleaning
and thinning requirements using aerial photographs*

Johan Djurberg

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot fjärranalys, 30hp

Jägmästarprogrammet

EX0310

Handledare: Mats Nilsson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Examinator: Johan Fransson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för skoglig resurshushållning

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2010

ISSN 1401-1204

ISRN SLU-SRG-AR-289-SE

Förord

Detta examensarbete är en del av studierna i Jägmästarprogrammet på Sveriges lantbruksuniversitet. Kursen omfattar 30 högskolepoäng, vilket motsvarar 20 veckor och har utförts vid Institutionen för skoglig resurshushållning i Umeå. Uppdragsgivare har varit Stora Enso Skog AB och fältarbetet har utförts på distrikten Siljan och Falun. Kontaktperson på företaget har varit Anna Norén som bistått med det material som behövts för att genomföra studien.

Fotograferingen och flygbildstolkningen har utförts av L&L Flygbildteknik AB i Falun samt Dianthus AB i Boden.

Ett stort tack till berörda personer på Stora Enso Skog AB för den hjälp jag fått med utrustning och material, Karin Hansson på L&L Flygbildteknik AB samt Mats Nilsson på SLU som varit min handledare och hjälpt mig i genomförandet av examensarbetet.

Umeå 2010

Johan Djurberg

Summary

This report is an assessment of the feasibility of using aerial photographs to estimate number of stems per hectare in young forest stands, used together with upper height to determine the need for pre-commercial thinning or ordinary thinning cutting. Aerial photo-interpretation was conducted in 2007 on assignment of Stora Enso Skog AB. A mean height function based on stand age produced with data from Bergvik Skog AB's 2006 forest inventory assessment was used as a proxy for upper height and used together with photo-interpreted number of stems per hectare to determine the need for thinning cutting according to Bergvik Skog AB's definitions. The test area is located north of Falun on Bergvik Skog AB's land.

Flight altitude was approximately 900 m above ground and the aerial photos were taken by L&L Flygbildteknik AB. The aerial photos were taken with a Hasselblad 555eld camera using a digital shutter PhaseOne P45+ and a 40 mm lens from a Cessna 172. The selection of flight altitude was based on experiences from a pilot study made in 2007.

A field inventory was conducted during the spring and summer of 2008 in 29 stands with a total area of 417 ha productive forest. Stand variables measured were: stems per hectare, site index and upper height. Each variable was first measured on 7 – 16 circular plots per stand depending on the stand size. The plot radius was set to 5 or 7 m depending on the number of stems per hectare in the stand. Mean values were then calculated for each stand.

Results show that using aerial photographs to estimate stems per hectare lead to systematic underestimation of the true stem numbers. For stems ≥ 1.3 m in height the average difference between photo-interpreted and field measured values was about 1600 stems per hectare. For stems ≥ 6 cm in diameter at 1.3 m height, the difference between photo-interpreted and field measured stem numbers was about 450 stems per hectare.

Comparisons between the mean height from Bergvik Skog AB's mean height function and upper height from the field inventory show that the height function underestimates the upper height in pine stands by 2.7 m and spruce stands by 1.1 m.

The fact that the mean height underestimates upper height and that stems per hectare were underestimated using photo-interpretation is also reflected in the stand treatments based on these two variables, as compared to treatments based on field data.

A regression function was made to estimate stems per hectare ≥ 6 cm in diameter (at 1.3 m height) at stand level using stems per hectare counted in the aerial photography and mean height as independent variables. Two regression functions were also created to estimate upper height using mean height from Bergvik Skog AB's height function as independent variable, one for pine and one for spruce stands.

A new treatment classification was made for stands with thinning cutting potential using upper height and stems per hectare ≥ 6 cm in diameter estimated with the above described regression functions. The result shows a classification accuracy of 74% compared to 63% obtained using photo-interpreted number of stems per hectare and mean height according to Bergvik Skog AB's height function.

Sammanfattning

L&L Flygbildteknik AB i Falun har på uppdrag av Stora Enso Skog AB flygfotograferat delar av Bergvik Skog AB:s innehav under 2007. De fotograferade bestånden ligger norr om Falun och utgörs av potentiella röjnings- och gallringsobjekt. Syftet med detta examensarbete är att undersöka hur väl åtgärdsbehov kan bestämmas utifrån en kombination av flygbildstolkat stamantal per hektar och övre höjd. Flygbildstolkningen har gjorts i enkelbilder (ortofoton). Övre höjd har inte mätts i flygbilderna utan approximerats med hjälp av beståndshöjden enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva. Medelhöjdskurvan uttrycker höjden som en funktion av beståndets ålder och har tagits fram av Bergvik Skog AB med hjälp av data som samlats in vid en företagstaxering år 2006.

Vid flygfotograferingen var flyghöjden ca 900 m. Det flygplan som användes var en Cessna 172 och bilderna togs med en Hasselbladskamera modell 555eld med digitalt bakstycke (PhaseOne P45+) och ett 40 mm objektiv. Valet av flyghöjd baserades på erfarenheter från en pilotstudie som utfördes under våren 2007.

Efter fotograferingen har L&L Flygbildteknik AB:s personal tolkat stamantal per hektar. För att utvärdera hur bra de tolkade stamantalen är och om medelhöjdskurvan kan användas för att approximera övre höjd som indata i Bergvik Skog AB:s röjnings- och gallringsmallar har objektiva utvärderingsdata samlats in under våren och sommaren 2008. Totalt inventerades 29 bestånd med en totalareal motsvarande 417 ha produktiv skogsmark. Vid inventeringen mättes stamantal per hektar, ståndortsindex och övre höjd på mellan 7 och 16 provytor per bestånd, beroende på beståndets storlek. Provyteradien var 5 eller 7 m beroende på stamantalet enligt beståndsregistret. De insamlade uppgifterna har därefter sammanställts till beståndsmedelvärden.

Resultatet från utvärderingen visar att stamantalet per hektar systematiskt underskattas i flygbilderna. För stammar med en höjd $\geq 1,3$ m är underskattningen i medeltal 1600 stammar per hektar. Motsvarande värde för stammar med en diameter ≥ 6 cm i brösthöjd är 450 stammar per hektar.

Vid jämförelsen mellan medelhöjd som skattats med Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva och övre höjd enligt fältinventeringen framgår att Bergvik Skog AB:s skattningar av övre höjd i medeltal underskattar övre höjden med 2,7 m för tall- och 1,1 m för granbestånd.

Den relativt stora underskattningen för både stamantal och övre höjd återspeglas också i de åtgärdsförslag som erhålls om variablerna används som indata i Bergvik Skog AB:s röjnings- och gallringsmallar. Även den subjektiva åtgärdsbedömningen som utförts av L&L Flygbildteknik AB visar en relativt stor avvikelse från åtgärdsförslagen som baseras på de objektivt insamlade fältuppgifterna.

I studien undersöks genom regressionsanalys möjligheten att skatta antalet stammar per hektar med en diameter ≥ 6 cm i brösthöjd utifrån flygbildstolkade stamantal och medelhöjd (enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva). Detta har gjorts eftersom Bergvik Skog AB:s röjnings- och gallringsmallar baseras på antalet stammar per hektar med en diameter ≥ 6 cm i brösthöjd. Dessutom har regressionsfunktioner tagits fram som skattar övre höjd för tall- och granbestånd utifrån de beståndshöjder som Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva ger.

En ny åtgärdsklassificering där de skattade värdena för antalet stammar per hektar med en diameter > 6 cm i bröst höjd och övre höjd användes som indata i Bergvik Skog AB:s gallringsmall visar att 74 % av de bestånd som har ett potentiellt gallringsbehov fått samma klassning som den enligt fältinventeringen. Resultatet kan jämföras med åtgärdsklassificeringen som baserades på medelhöjd enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurvan och flygbildstolkat stamantal per hektar där motsvarande siffra är 63 %.

Innehållsförteckning

Förord	2
Summary	3
Sammanfattning	4
1. Bakgrund	7
1.1 Syfte	8
2. Material och metoder	9
2.1 Allmänt.....	9
2.2 Studieområde.....	9
2.3 Flygfotografering	11
2.4 Beståndsurval	11
2.5 Flygbildsinventering.....	12
2.5.1 Uppskattning av beståndsvariabler i flygbilder.....	12
2.5.2 Åtgärdsklassificering.....	13
2.5.3 Automatisk tolkning av beståndsvariabler i ortofoton	13
2.6 Fältinventering	13
2.6.1 Åtgärdsklassificering i fält	16
2.7 Analys.....	16
3. Resultat.....	18
3.1 Stamantal	18
3.1.1 Stamantal per hektar (höjd $\geq 1,3$ m).....	18
3.1.2 Stamantal per hektar (diameter ≥ 6 cm i brh).....	19
3.1.3 Skattning av stamantal per hektar (diameter ≥ 6 cm i brh)	20
3.2 Utvärdering av ståndortsindex och övre höjd	20
3.2.1 Ståndortsindex.....	20
3.2.2 Övre höjd.....	21
3.2.3 Skattning av övre höjd.....	22
3.3 Åtgärdsklassificering.....	23
3.3.1 Gallringsbehov baserat på fältinventering och flygbildstolkning	23
3.3.2 Røjning	24
3.3.3 Gallringsbehov baserat på skattade variabler.....	24
3.4 Automattolkning.....	25
4. Diskussion	26
4.1 Stamantal	26
4.1.1 Stamantal per hektar (höjd $\geq 1,3$ m).....	26
4.1.2 Stamantal per hektar (diameter ≥ 6 cm i brh).....	26
4.2 Övre höjd.....	27
4.3 Åtgärdsklassificering.....	28
4.4 Ståndortsindex	29
4.5 Automattolkning.....	29
5. Slutsatser	30
Litteraturförteckning	31
Bilaga 1	32
Bilaga 2	33

1. Bakgrund

Bergvik Skog AB har liksom många andra skogsföretag i Sverige en stor andel skog i huggningsklasserna R2 och G1, dvs. yngre skog som är i behov av en sista röjning eller förstagallring. Problemet är dels att dessa bestånd inte har ajourhållits efter föryngringsarbetet och dels att de ofta haft en annan tillväxt än den beräknade. Detta resulterar i att många bestånd är felaktigt beskrivna i Bergvik Skog AB:s register. Vid en utsökning av potentiella röjnings- och gallringsobjekt från registret kommer därför inte alla bestånd med röjnings- eller gallringsbehov med, vilket leder till svårigheter i planeringsarbetet samt förluster p.g.a. att åtgärder utförs vid fel tidpunkt. Ett exempel på detta är ungskogar som vuxit bättre än förväntat och som därför riskerar att röjas alltför sent, s.k. konfliktbestånd.

Ett sätt att förbättra kvaliteten i registeruppgifterna är genom ajourhållning i fält, något som är både tidskrävande och kostsamt. Därför strävar företagen efter att finna nya kostnadseffektiva metoder för ajourhållning av beståndsregistren och även för operativ planering som baseras på fjärranalys. Idag används fjärranalys bl.a. för att göra nyindelningar och skatta virkesförråd.

Nyligen har ett examensarbete genomförts med syftet att undersöka om plantinventeringar kan genomföras med naturliga färgbilder tagna på 150 m höjd från helikopter (Orgum, 2008). Slutsatsen från Orgums arbete är att antalet plantor per hektar kan skattas med tillräckligt hög noggrannhet om bildmaterialet håller god kvalitet. Kostnaden blir dock betydligt högre än vid traditionell fältinventering. Anderson (2008) har i sitt examensarbete undersökt möjligheten att identifiera röjningsbehov med hjälp av infraröda (IR) färgbilder med en pixelstorlek på 25 × 25 cm. Resultatet visar att röjningsbehovet i 60 % av bestånden klassats lika i flygbilder och fält.

Bergström och von Essen (1994) har studerat möjligheten att ajourhålla äldre skog samt möjligheten att identifiera gallringsbehov med hjälp av flygbildstolkning åt Stora Enso. De variabler som tolkades eller mättes i bilderna var bl.a. medelhöjd, stamantal och trädslagsblandning. Resultaten visar att skattningen av medelhöjd (medelfel 7 %) och trädslagsblandning blev något bättre än i tidigare studier, exempelvis i jämförelse med Talts (1977) och Ericson (1984). Stamantalet skattades med ett medelfel på 368 stammar per hektar, vilket överensstämmer med resultaten från Talts (1977) och Ericsson (1984). Bergström och von Essen (1994) visar också att gallringsbehovet klassats korrekt för 75 % av bestånden m.h.a. flygbildstolkning.

Idag identifieras vilka av Bergvik Skog AB:s bestånd som kan vara aktuella att röja eller gallra genom en utsökning i deras beståndsregister (skogsGIS STINGIS). Dessutom inkluderas alla bestånd som inte gallrats och som enligt registervärdena har uppnått en medelhöjd på ca 13 m i utsökningen. Därefter gallringsinventeras bestånden med subjektivt utlagda cirkelprovytor. Vid behov avverkningsplaneras bestånden i samband med inventeringen. Vid gallringsinventeringen uppskattas bl.a. stamantal per hektar och övre höjd (ÖH), vilka används som ingångsdata i gallringsmallen. Röjningsinventeringen sker på liknande sätt, antalet huvudstammar skattas i fält och beroende på utfall beslutas om hela eller delar av beståndet skall röjas. Vissa bestånd röjningsinventeras endast från helikopter utan efterföljande fältbesök.

1.1 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka om stamantal per hektar (ha) som uppskattats i flygbilder som fotograferats från en flyghöjd på 1100 – 1200 m.ö.h (ca 900 m.ö. referensplanet), s.k. låghöjdsbilder, och övre höjd som skattats utifrån beståndsålder kan användas för att identifiera röjnings- och gallringsbehov i bestånd som är yngre än 50 år. I studien jämförs åtgärdsförslag enligt Bergvik Skog AB:s röjnings- och gallringsmallar som baseras på flygbildstolkat stamantal per ha och skattad övre höjd med åtgärdsförslag som baseras på objektivt insamlade fältuppgifter. Dessutom jämförs dessa med åtgärdsförslag som bedömts subjektivt vid flygbildstolkning.

I studien har även ingått att utvärdera kvaliteten i de ståndortsindexuppgifter för ungskogar som Bergvik Skog AB har i sitt beståndsregister, samt att utvärdera möjligheten att automatiskt skatta antalet stammar per ha och övre höjd i digitala ortofoton.

2. Material och metoder

2.1 Allmänt

Undersökningen är uppdelad i följande fyra delar:

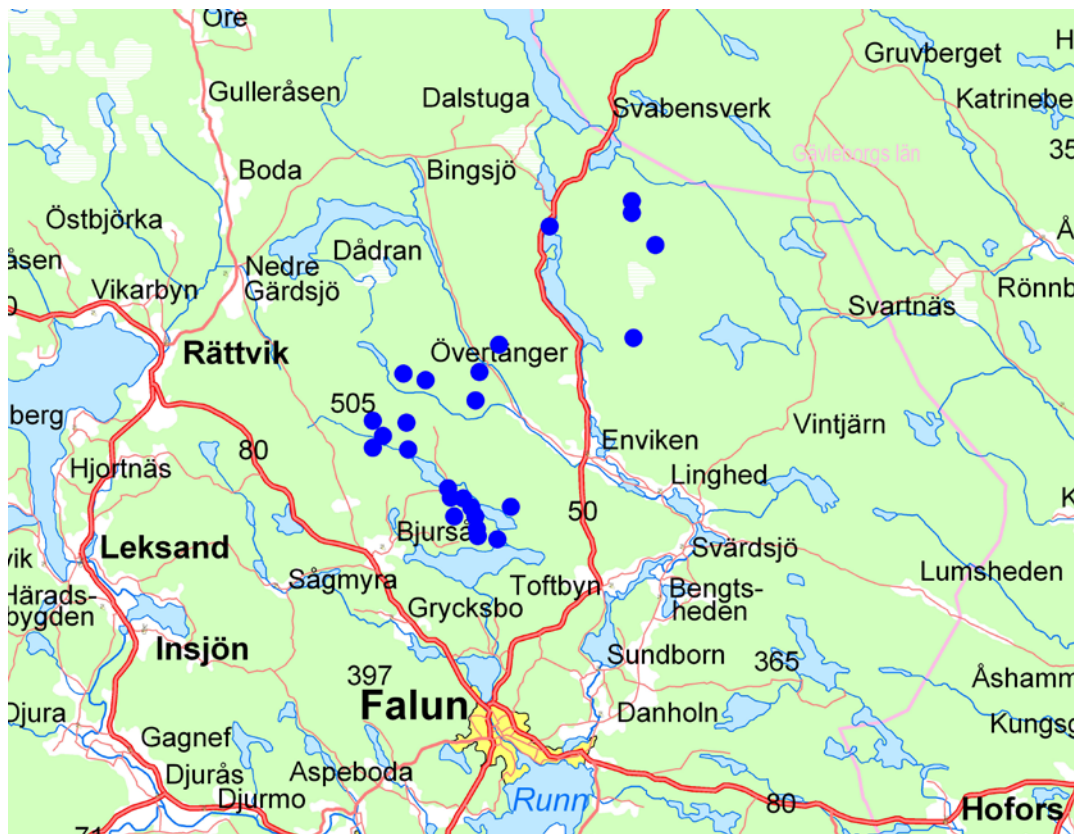
1. Uppskattning av stamantal per ha i låghöjdsbilder
2. Identifiering av åtgärdsbehov i låghöjdsbilder
3. Utvärdering av kvaliteten i Bergvik Skog AB:s uppgifter om ståndortsindex
4. Automatisk uppskattning av skogliga variabler i låghöjdsbilder

I delstudie 1, 2 och 3 ingår samtliga 29 bestånd som har flygbildstolkats manuellt av L&L Flygbildteknik AB. För dessa bestånd jämförs flygbildstolkat stamantal per ha med motsvarande värden från en objektiv fältinventering. Dessutom jämförs åtgärdsförslag baserad på subjektiv flygbildstolkning samt åtgärdsförslag baserad på flygbildstolkat stamantal per ha och skattad övre höjd med åtgärdsförslag baserad på fälldata från en objektiv fältinventering.

I den fjärde delstudien ingår 9 av de 29 bestånden. Dessa är potentiella slutröjningsobjekt enligt Bergvik Skog AB:s beståndsregister. Med en slutröjning avses röjning till önskat stamantal inför kommande förstagallring. För dessa bestånd har stamantal per hektar och övre höjd skattats m.h.a. automatisk flygbildstolkning av Dianthus AB i Boden.

2.2 Studieområde

Studien är utförd på Bergvik Skog AB:s marker norr om Falun i Dalarnas län (figur 1). Totalt ingår 29 bestånd med en totalareal på 417 ha produktiv skogsmark som tillhör distrikten Falun och Siljan. Stora Enso Skog AB ansvarar för skogsvården inom studieområdet.



Figur 1. Översiktskarta över 29 objektivt fältinventerade bestånd (blå prickar).

Tabell 1 och 2 nedan ger en övergripande beskrivning av bestånden i respektive delstudie. Samtliga uppgifter är från den objektiva fältinventering som genomförts under 2008, förutom areal och ålder som hämtats från Bergvik Skog AB:s beståndsregister.

Tabell 1. Medelvärden för de 29 objektivt fältinventerade bestånd som ingår i delstudie 1, 2 och 3

	Medel	Min	Max
Ålder*	28	19	49
SI tall	21	19	25
SI gran	22	21	23
ÖH	12,1	7,8	18,1
Stammar/ha (höjd \geq 1,3 m)	2900	780	5000
Stammar/ha (diameter \geq 6 cm i brh)	1463	760	2091
Stammar/ha (flygbildstolkade)	1321	760	1720
Areal (ha)*	14,4	0,6	55,8
Antal provytor/bestånd	10	7	16

*) Uppgiften är hämtad från Bergvik Skog AB:s beståndsregister

Tabell 2. Medelvärden för de 9 objektiva fältinventerade bestånd som ingår i delstudie 4, dvs. Dianthus AB automattolkning

	Medel	Min	Max
Ålder*	21,1	19	23
SI tall	20	19	21
SI gran	22	21	23
ÖH (m)	9,3	7,8	10,6
Stam/ha \geq 1,3 m höjd	2942	1500	4626
Stam/ha (flygbildstolkade)	1484	1255	1723
Areal (ha)*	10,0	0,6	55,8
Antal provytor/bestånd	10	7	16

*) Uppgiften är hämtad från Bergvik Skog AB:s beståndsregister.

2.3 Flygfotografering

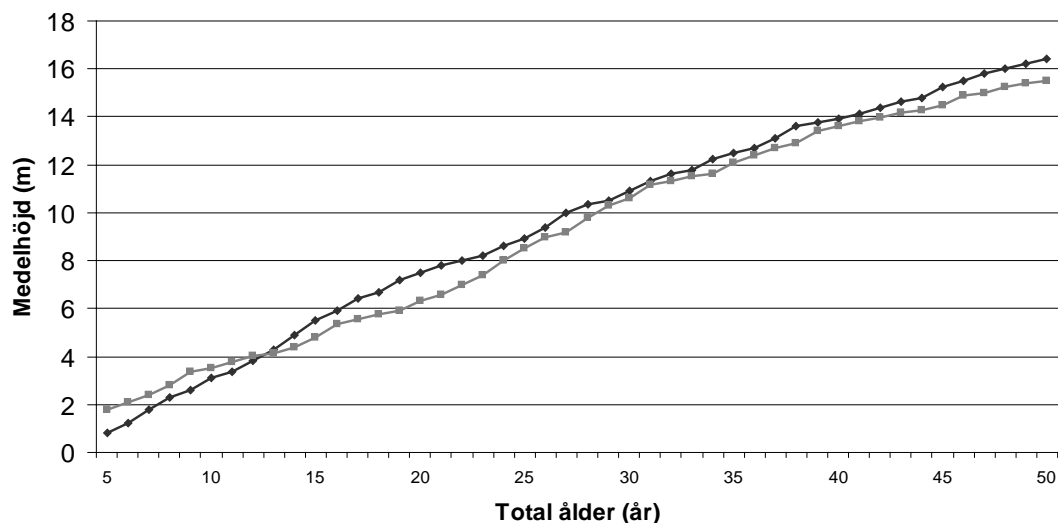
L&L Flygbildteknik AB i Falun har på uppdrag av Stora Enso Skog AB flygfotograferat potentiella röjnings- och gallringsobjekt på delar av Bergvik Skog AB:s innehav under 2007. Totalt flygfotograferades 23 bestånd (424 ha) under våren 2007 och 253 bestånd (1221 ha) under hösten 2007. Bestånden valdes ut av Erik Brodén, Stora Enso Skog AB, genom ett subjektivt utsök i Bergvik Skog AB:s skogsGIS, STINGIS. Det flygplan som användes var en Cessna 172. Fotograferingen utfördes med en Hasselbladskamera modell 555eld med digitalt bakstycke (PhaseOne P45+) och ett 40 mm objektiv. Flyghöjden valdes till 1100 – 1200 m.ö.h. (ca 900 m.ö. referensplanet), baserat på erfarenheter från en pilotstudie som Stora Enso Skog AB genomfört i 23 röjnings- och gallringsbestånd. En av fördelarna med den låga flyghöjden är att fotografering kan göras under molniga förhållanden.

Flygbilderna är naturliga färgbilder som lagrats i tif-format. Dessa har m.h.a. Lantmäteriets höjdmödel (50 m grid) gjorts om till skalriktiga ortofoton. Pixelstorleken varierade något mellan bilderna, men låg runt 0,15 m och det är i dessa ortofoton som antalet stammar per ha har uppskattats.

2.4 Beståndsurval

Av de bestånd som fotograferats under 2007 identifierades de som hade en total ålder under 50 år och en medelhöjd på 7 m eller mer enligt den medelhöjdskurva (figur 2) som tagits fram av Pekka Untinen, Bergvik Skog AB. Medelhöjdskurvan baseras på data som samlats in vid Bergvik Skog AB:s företagstaxering år 2006 m.h.a. den objektiva fältmetod som ingår i det s.k. Indelningspaketet (Jonsson et al., 1993). Gränsen på 7 m användes för att endast få med bestånd som potentiellt var i behov av slutröjning (en sista röjning) eller gallring.

Totalt uppfyllde 38 bestånd höjd- och ålderskravet. Enligt beståndsregistret var 29 talldominerade och resterande 9 grandominerade bestånd. Åldern varierade mellan 19 – 49 år. Av dessa gick sju bestånd bort p.g.a. att de åtgärdats efter fotograferingen (fem hade röjts och två gallrats), något som upptäcktes vid fältbesöket. Dessutom utgick två bestånd p.g.a. att flygbildstolkade data saknades. I det ena fallet berodde detta på att beståndet klassats som kalmare. Det andra beståndet var geografiskt uppdelat med ojämnt trädskikt och i behov av nyindelning varför inga flygbildstolkningar utfördes. Ståndortsindex och övre höjd från fältmätningen av de två sistnämnda bestånden har dock använts för utvärdering av kvaliteten för ståndortsindex i beståndsregistret samt för skattning av övre höjd.



Figur 2. Medelhöjdskurva för tallbestånd (■) respektive granbestånd (◆) framtagen med hjälp av data från Bergvik Skog AB:s företagstaxering 2006.

2.5 Flygbildsinventering

2.5.1 Uppskattning av beståndsvariabler i flygbilder

För samtliga 29 bestånd har L&L Flygbildteknik AB i Falun tolkat eller uppskattat följande variabler i de ortokorrigerade flygbilderna:

- Trädslagsblandning
- Stamantal per ha
- Slutenhet

Tolkningen har genomförts på en stationär PC i programmet ArcView 3.3. Enligt den tolkare som utfört en större del av tolkningsarbetet var bildkvaliteten bra.

Vid tolkningen av antalet stammar per ha användes fem provytor med 8,92 m radie (250 m²) per bestånd. I små bestånd tolkades något färre provytor (subjektiv bedömning). Provyornas lägen har valts subjektivt, i representativa delar av bestånden. Vid stamräkningen räknades samtliga trädkronor som var synliga inom provytan. Gränsträd räknades med om merparten av kronverket var inom provytan.

Inget förberedande fältbesök har gjorts av L&L Flygbildteknik AB, något som ibland görs för att förbättra tolkarnas kännedom om de lokala förhållandena inför tolkningsarbetet.

Vid tolkningen upplevdes det svårt att uppskatta stamantalet per ha i yngre bestånd med högt stamantal, eftersom de enskilda träden var svåra att identifiera. Det samma gäller flerskiktade bestånd där huvudsakligen härskande och medhärskande träd är synliga i bilden.

Tolkarna ansåg att talldominerade bestånd var svårare att tolka än grandominerade i både vår- och höstbilderna medan lövträd var enklare att identifiera i höstbilderna.

2.5.2 Åtgärdsklassificering

Åtgärdsklassificeringen har utförts med Bergvik Skog AB:s nya röjnings- och gallringsmallar (bilaga 1 och 2) samt med subjektiv bedömning i flygbilder. I denna studie har flygbildstolkat totalt stamantal per ha och en approximation av övre höjd använts som indata i mallarna. Som approximation av övre höjd har medelhöjden enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurvor för tall- och granbestånd (figur 2) använts. Den ålder som använts som indata till medelhöjdskurvorna är medelåldern enligt beståndsregistret. Anledningen till att medelhöjd använts istället för övre höjd är att Bergvik Skog AB:s register saknar uppgifter om övre höjd för ungskogar samt att de vill undersöka möjligheten att istället använda medelhöjden för att ta fram röjnings- och gallringsförslag.

Bergvik Skog AB:s nya gallringsmall gäller för både tall- och granbestånd med ett ståndortsindex över 16. Tidigare mall var uppdelad på både trädslag och ståndortsindex. Gallringsmallen fungerar på så sätt att stamantalet hela tiden skall ligga mellan min och max kurvorna (det ljusa fältet i bilaga 1). Om stamantalet överstiger maxkurvans värde bör beståndet gallras. Samtliga bestånd med 1000 – 1700 huvudstammar per ha skall senast gallras vid en övre höjd av 15 m.

2.5.3 Automatisk tolkning av beståndsvariabler i ortofoton

En automatisk tolkning av digitala ortofoto har utförts av Dianthus AB. Totalt har 9 bestånd tolkats med automatiska metoder. I det fall det fanns fler än en flygbild över beståndet har den centralaste bilden i beståndet använts. Den metod som använts är mycket komplex, men förenklat kan den beskrivas enligt följande:

1. Efter flygfotograferingen fältinventeras ett antal bestånd med avseende på de variabler som skall skattas i flygbilden. För detta användes fältdata (stamantal per ha fördelat på trädslag och övre höjd) från den fältinventering som genomförts.
2. Flygbilderna görs om till ortofoton med en pixelstorlek på 20×20 cm.
3. I flygbilden läggs cirkelytor med 25 m radie ut slumpmässigt. Antalet cirkelytor varierar beroende på beståndets storlek. I medeltal användes 94 mätpunkter per bestånd. Varje cirkelyta representerar en liten grupp av träd och utifrån dessa definieras ett antal bildvariabler som sedan används tillsammans med fältdata för att ta fram regressionsfunktioner som skattar stamantal per ha, trädslagsblandning och övre höjd. De framtagna funktionerna tillämpas därefter på likartade bestånd.

2.6 Fältinventering

En objektiv fältinventering genomfördes under våren och sommaren 2008. Samtliga bestånd som ingår i studien inventerades m.h.a. systematiskt slumpmässigt utlagda provytor. Antalet provytor per bestånd har valts beroende på beståndets storlek (tabell 3). Förbandet mellan provytorna är uträknade med följande formel:

$$F = (A/n)^{0,5} \quad (1)$$

där

F = förband mellan provytorna (m)

A = beståndsareal (m²)

n = antalet provytor per bestånd enligt tabell 3

Tabell 3. Antalet provytor som inventerats i bestånd med viss storlek

Beståndsstorlek	Antal provytor
0 – 1 ha	8
1 – 15 ha	10
15 – 40 ha	12
≥ 40 ha	15

De ytor som hamnade på en beståndsgräns speglades, och de som helt hamnade på impediment togs bort. Den provyteradie som använts var 7 m (153,9 m²) i bestånd med upp till 1700 stammar per ha och 5 m (78,5 m²) i bestånd med mer än 1700 stammar per ha. Valet av provyteradie baserades i första hand på beståndsregistrets uppgifter om stamantal per ha, men ersattes i de fall uppgiften var uppenbart felaktig med en subjektiv uppskattning i fält.

På samtliga provytor mättes följande variabler:

- Antal stammar (höjd ≥ 1,3 m)
- Dominerande trädslag (baserat på grundytan)
- SI
- Övre höjd

För varje bestånd har antalet stammar per trädslag och totalt antal stammar per ha beräknats enligt formlerna (2) och (3):

$$N_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{n_{ij}}{a} \cdot 10000 \quad (2)$$

$$N_{tot} = \sum_i N_i \quad (3)$$

N_i = Antal stammar/ha för trädslag i

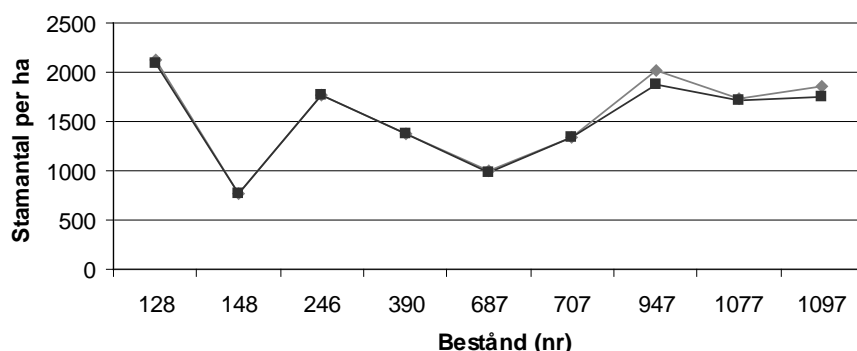
n_{ij} = Antal stammar av trädslag i på provyta j

a = Provytans areal (m²)

m = Antal provytor i beståndet

N_{tot} = Totalt antal stammar/ha

Dessutom gjordes en subjektiv uppskattning av antalet stammar per ha med en höjd mellan 1,3 m och halva övre höjden i de 20 gallringsbestånd som ingår i studien. Hypotesen är att dessa stammar är svåra att se i flygbilden och benämns därför underväxt fortsättningsvis. Antalet stammar per ha med en brösthöjdsdiameter ≥ 6 cm (benämns fortsättningsvis stamantal ≥ 6 cm i brh) har också registrerats i fält. Anledningen till detta är att Bergvik Skog AB:s mallar för gallring och eftersatt röjning baseras på denna variabel. Tyvärr registrerades variabeln endast i 9 av de 20 gallringsbestånden. Vid en jämförelse mellan stamantal ≥ 6 cm i brh och antal stammar med en höjd större än $0,5 \times \text{ÖH}$ för dessa 9 bestånd, visade det sig att skillnaden var marginell (figur 3). Därför har antalet stammar över $0,5 \times \text{ÖH}$ använts som en approximation av stamantal ≥ 6 cm i brh i de fall variabeln inte registrerats i fält.



Figur 3. Antal stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh (■) och antal stammar per ha med en höjd $> 0,5 \times \text{ÖH}$ utan underväxt (◆).

Vid bestämningen av övre höjd identifierades de två grövsta träden inom en provyta med 10 m radie (samma ytcentrum som tidigare). Dessa höjdmättes och åldersbestämdes. I de fall provytan inte uppfyllt kraven för övre höjdsmätning enligt Hägglund och Lundmark (1987a) dokumenterades vilket eller vilka krav som frångåtts (tabell 4). Endast 16 av de 302 provytorna uppfyllde kraven för övre höjdsbestämning.

Tabell 4. Antal provytor som uppfyller eller inte uppfyller kraven för uttag av ÖH-träd. De provytor som inte uppfyller ÖH-kraven redovisas uppdelat på vilket krav som inte uppfyllts

	Antal ytor	Procent
Uppfyller kraven	16	5,3
förutom jorddjup	178	58,9
förutom jorddjup och trädslagsblandning	62	20,5
förutom krav på slutenhet	2	0,7
förutom krav på slutenhet och trädslagsblandning	3	1,0
Har huggits ovanifrån	10	3,3
Samtliga ÖH-träd skadade på provytan	4	1,3
Ej dominerande trädslag	19	6,3
Ej för beståndet representativa ÖH-träd	7	2,3
Data saknas	1	0,3
Totalt	302	100,0

Ståndortsindex (SI) bestämdes med övre höjdsbonitering i bestånd som är äldre än 30 år i brösthöjd och interceptbonitering i bestånd som är 30 år eller yngre i brösthöjd. I bestånd som ej uppfyller kraven för dessa metoder, har SI bestämts m.h.a. ståndortsfaktorer. Fördelningen

mellan de olika metoderna presenteras i tabell 5. Samtliga ståndortsindex har räknats om till samma trädslag (tall) i enlighet med skogshögskolans boniteringssystem (Hägglund och Lundmark, 1987b) för att enklare kunna jämföra resultaten.

Tabell 5. Andelen ytor som boniterats med respektive metod

	Antal ytor	Procent
Ståndortsbonitering	286	94,7
Interceptbonitering	1	0,3
ÖH-kurvor	15	5,0
Totalt	302	100,0

För att ta sig till provytecentrum användes kompass, måttband och en GPS/handdator med beståndsgränser, ortofoto och karta. Trädhöjd samt trädens avstånd till provytecentrum mättes med en digital avståndsmätare/höjdmätare (Haglöfs) och övre höjdsträdens ålder bestämdes genom att räkna årsringarna i brösthöjd. För att bestämma jordart samt jorddjup användes en jordsond.

2.6.1 Åtgärdsklassificering i fält

En åtgärdsklassificering har utförts i de 19 bestånd som fotograferats våren 2007. Detta har gjorts med två olika mallar, Bergvik Skog AB:s nya röjnings- och gallringsmall (bilaga 1) samt deras skötselmall för eftersatta bestånd (bilaga 2). Med eftersatta bestånd avses bestånd som inte är slutröjda men som uppnått en höjd på minst 5 m. Denna typ av objekt benämns även konfliktbestånd. Anledningen till att båda mallarna har använts är att se ifall åtgärdsförslaget varierar beroende på vilken mall som använts. Som indata i de båda mallarna användes beståndsvisa uppgifter om stamantal per ha och övre höjd från den objektiva fältinventeringen.

Observera att röjningsförslag för de 10 yngsta bestånden (19 – 23 år) inte har tagits fram med hjälp av de insamlade fältuppgifterna utan att det bedömts visuellt vid en helikopterinventering som genomförts av Stora Enso Skog AB:s personal. Åtgärdsklassificeringen från helikopter är med andra ord en subjektiv bedömning och baseras inte på objektiva fältmätningar. Anledningen till att inte fältuppgifterna använts för åtgärdsbedömningen är att stamantal ≥ 6 cm i brh inte registrerats i dessa bestånd.

2.7 Analys

Alla data som ingår i studien har sammanställts in i en Excel-fil där medelvärden för respektive bestånd beräknats. Detta gäller inte bara fältdata utan även de data som samlats in och levererats av L&L Flygbildteknik AB och Dianthus AB. Beståndsdata har sedan analyserats med Minitab där ett s.k. parat *t*-test har gjorts för att studera systematiska skillnader mellan fältmätt och flygbildstolkat stamantal per ha samt fältmätt stamantal och stamantal enligt beståndsregistret. Om möjligheten att i flygbilder tolkat stamantal påverkas av trädslagsblandningen har undersökts med hjälp av regressionsanalys.

Jämförelsen mellan flygbildstolkat åtgärdsförslag och åtgärdsförslag enligt fältinventeringen har gjorts beståndsvis. Eftersom endast det totala antalet stammar per ha registrerats vid flygbildstolkningen har en linjär regressionsmodell som skattar stamantal ≥ 6 cm i brh som en

funktion av flygbildstolkat stamantal och beståndshöjd enligt medelhöjdskurvan (figur 2) tagits fram. Dessutom har linjära regressionsmodeller som skattar övre höjd för tall och gran utifrån höjden enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva (figur 2) tagits fram. De skattade värdena har sedan använts som indata i gallringsmallen för att undersöka möjligheten att öka träffsäkerheten i åtgärdsklassificeringen.

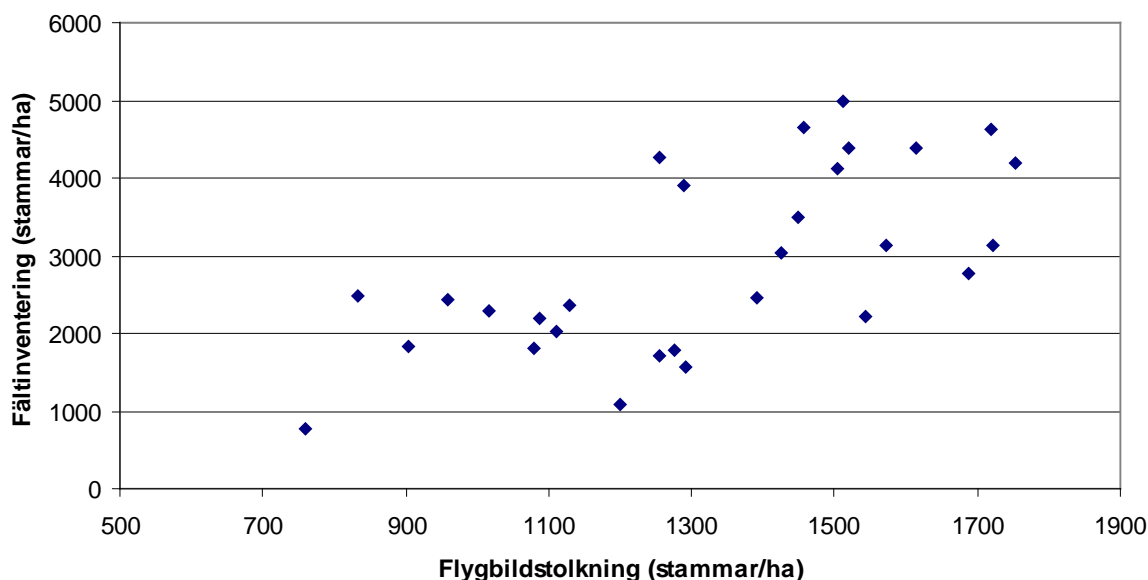
3. Resultat

3.1 Stamantal

3.1.1 Stamantal per hektar (höjd $\geq 1,3$ m)

Sambandet mellan fältmätt stamantal per ha (höjd $\geq 1,3$ m) och totalt antal flygbildstolkat stamantal per ha visas i figur 4. I medeltal underskattar de flygbildstolkade värdena de fältmätta med 1579 stammar per ha. Variationen är dock stor, alltifrån en överskattning på 104 stammar per ha till en underskattning på 3204 stammar per ha.

Enligt fältinventeringen har bestånden i medeltal 2900 stammar per ha med ett medelfel på 219 stammar per ha. Flygbildstolkningen gav ett medelvärde på 1321 stammar per ha och ett medelfel på 52 stammar per ha. Det parade t -testet visar att det är en systematisk skillnad mellan fältmätt och flygbildstolkat stamantal ($p < 0,001$), dvs. flygbildtolken underskattar antalet stammar per ha.



Figur 4. Sambandet mellan fältmätt och flygbildstolkat stamantal per ha med en höjd $\geq 1,3$ m för de 29 bestånd som ingått i delstudien.

En tydlig trend är att underskattningen av stamantalet vid flygbildstolkningen ökar med ökat stamantal, något som även observerats i tidigare studier, bl.a. Bergström och von Essen (1994). Resultaten visar också att underskattningen av stamantalet ökar med ökad medelhöjd ($p = 0,031$).

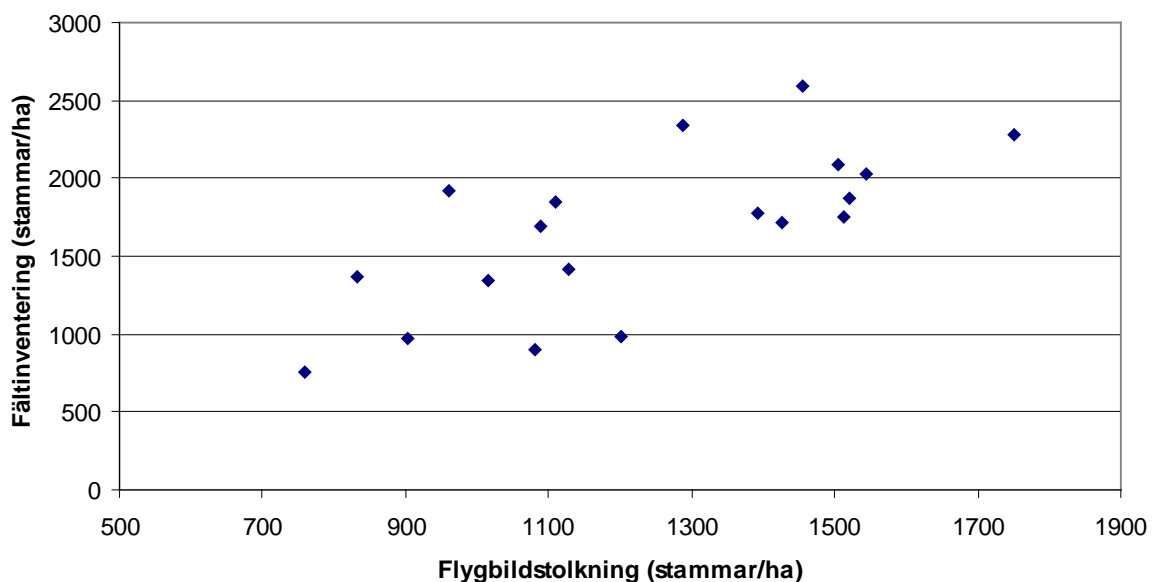
Genom linjär regression går det inte att påvisa något signifikant samband mellan skillnaden för fältmätt och flygbildstolkat totalt stamantal och antalet tallstammar per ha enligt fältinventeringen, något som konstaterats för antalet lövstammar ($p = 0,001$) där underskattningen ökar med ökande lövandel. Ett visst samband finns för gran men trenden är inte signifikant ($p = 0,132$). Det finns även ett samband mellan skattad lövandel och skattat stamantal ($p = 0,021$), underskattningen ökar med ökande lövandel.

3.1.2 Stamantal per hektar (diameter ≥ 6 cm i brh)

Som framgått tidigare registrerades stamantal ≥ 6 cm i brh under fältinventeringen endast i 9 bestånd. En jämförelse med antal stammar med en höjd större än $0,5 \times \text{ÖH}$ visar att skillnaden mellan de två stamantalsmåttarna är marginell (figur 3). Därför har antalet stammar över $0,5 \times \text{ÖH}$ använts som en approximation av antalet stammar ≥ 6 cm då denna uppgift saknats.

Enligt fältinventeringen har bestånden i medeltal 1682 stammar per ha med ett medelfel på 120 stammar per ha. Flygbildstolkningen gav ett medelvärde på 1235 stammar per ha och ett medelfel på 64 stammar per ha. Det parade t -testet visar att det är en systematisk skillnad mellan fältmätt och flygbildstolkat stamantal ($p < 0,001$), dvs. flygbildtolkningsunderskattar antalet stammar per ha.

Samma tydliga trend som konstaterades vid jämförelsen av de flygbildstolkade stamantalen med antalet stammar med en höjd ≥ 1.3 m erhöles även vid jämförelsen med antalet stammar ≥ 6 cm i brh, dvs. underskattningen ökar med ökat stamantal. Underskattningen varierar mellan 0 och 45 % av fältmätt värde. I figur 5 visas skillnaderna mellan fältmätta och flygbildstolkade värden.



Figur 5. Sambandet mellan fältmätt och flygbildstolkat antal stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh för de 19 bestånd som ingått i delstudien

Det går inte att påvisa ett signifikant samband mellan skillnad i fältmätt och flygbildstolkat stamantal och trädslagsblandningen enligt fältinventeringen. Observera att de flesta bestånd i denna del av undersökningen är talldominerade, vilket ger ett litet stickprov för att undersöka övriga trädslags påverkan på resultatet. Resultaten visar dock att skillnaden mellan det flygbildstolkade totala stamantalet per ha och antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh minskar med ökad medelhöjd ($p = 0,038$). Detta kan åtminstone delvis förklaras av att det totala antalet stammar per ha normalt minskar med en ökad beståndshöjd, vilket gör det lättare att i flygbilder identifiera och räkna träd.

I två av bestånden har antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh överskattats vid flygbildstolkningen. Båda bestånden har mindre än 1000 stammar per ha. Det ena är tall- och det andra grandominerat.

En jämförelse mellan fältmätt stamantal (diameter ≥ 6 cm i brh) och stamantal enligt beståndsregistret visar att skillnaden mellan dessa värden inte är signifikant ($p = 0,767$). Enligt registret har bestånden i medeltal 1706 stammar per ha med ett medelfel på 112 stammar per ha. Medelfelet för den genomsnittliga differensen mellan fältmätt stamantal och stamantal enligt beståndsregistret är 78 stammar per hektar.

3.1.3 Skattning av stamantal per hektar (diameter ≥ 6 cm i brh)

För att undersöka möjligheten att öka träffsäkerheten i åtgärdsförslagen har en regressionsfunktion tagits fram som skattar antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh som en funktion av flygbildstolkat totalt stamantal per ha och beståndshöjd enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva (figur 2):

$$\text{Fältmätt stamantal} = 1925 + 0,8 \times \text{Flygbildstolkat totalt stamantal} - 111 \times \text{Beståndshöjd} \quad (4)$$

där Fältmätt stamantal och Flygbildstolkat totalt stamantal anges i stammar per hektar och Beståndshöjd i meter.

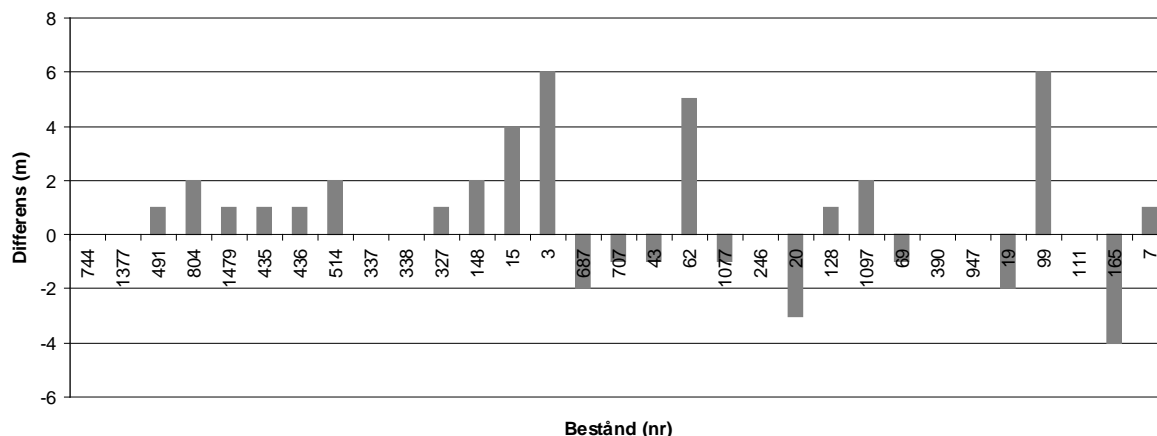
I funktionen är de oberoende variablerna båda signifikanta ($p < 0.05$). Förklaringsgraden (justerad) skattades till 59,5 %.

3.2 Utvärdering av ståndortsindex och övre höjd

3.2.1 Ståndortsindex

Ståndortsindex är omräknat till tall (H100T) för samtliga bestånd i enlighet med Skogshögskolans boniteringssystem (Hägglund & Lundmark, 1987b). Medelvärdet för fältmätt ståndortsindex är T22 och från beståndsregistret T23. Skillnaden mellan fältmätt värde och värdet enligt registret varierar mellan -4 och 6 enheter (se figur 6), vilket motsvarar en variation på -18 % och 30 %. Trenden är att man i beståndsregistret underskattar ståndorter under T22 och överskattar ståndorter över T22.

Värt att notera är att de tre största differenserna finns bland de nio bestånd som har ajourhållits under de senaste åren i enlighet med den s.k. 13 m inventeringen (bestånd 15, 3, 707, 43, 62, 128, 69, 390 och 99). Ståndortsindex har vid ajourhållningen beräknas med övre höjdskurvor, oavsett om kraven för övre höjdsbonitering uppfyllts eller ej.



Figur 6. Differens mellan SI från fältinventeringen och SI enligt beståndsregistret ($SI_{\text{beståndsregister}} - SI_{\text{fältinventering}}$), där samtliga ståndortsindex är omräknade till H100T (n = 31).

3.2.2 Övre höjd

Resultatet från jämförelsen av beståndens övre höjd enligt fältinventeringen och deras medelhöjd enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva redovisas i tabell 6 och 7 uppdelat på tall- respektive granbestånd. För tall varierar differensen mellan 0,8 och 5,3 m och för gran mellan -2,2 m och 3,2 m.

Tabell 6. Jämförelse mellan övre höjd för tallbestånd enligt fältinventeringen och medelhöjd enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva (figur 2)

Bestånd (nr)	Ålder (år)	ÖH (m)	Medelhöjd (m)	Differens (m)	Differens (%)
804	22	8,8	7,0	1,8	25
1479	22	10,4	7,0	3,4	48
436	23	9,8	7,4	2,4	33
7	26	13,8	9,0	4,8	54
111	26	12,7	9,0	3,7	41
99	27	12,7	9,2	3,5	38
19	27	11,7	9,2	2,5	27
20	27	14,5	9,2	5,3	57
246	27	11,9	9,2	2,7	29
1077	28	12,6	9,8	2,8	28
69	29	11,2	10,3	0,9	9
947	29	12,3	10,3	2,0	19
1097	29	12,5	10,3	2,2	22
3	31	15,0	11,2	3,8	34
62	32	12,4	11,3	1,1	9
43	32	12,5	11,3	1,2	11
128	32	12,1	11,3	0,8	7
15	36	17,5	12,5	5,0	40
390	44	15,9	14,3	1,6	11
148	44	18,1	14,3	3,8	27
165	50	16,9	15,5	1,4	9
Medel		13,2	10,4	2,7	27

Tabell 7. Jämförelse mellan övre höjd för granbestånd enligt fältinventeringen och medelhöjd enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva (figur 2)

Bestånd (nr)	Ålder (år)	ÖH (m)	Medelhöjd (m)	Differens (m)	Differens (%)
744	19	8,0	7,2	0,8	11
1377	19	10,4	7,2	3,2	44
337	20	7,8	7,5	0,3	4
338	20	9,0	7,5	1,5	20
327	20	8,4	7,5	0,9	11
435	23	10,6	8,2	2,4	29
491	23	12	8,2	3,8	46
514	23	8,8	8,2	0,6	7
687	37	13,2	13,1	0,1	1
707	49	14,0	16,2	-2,2	-14
Medel		10,2	9,1	1,13	16

Observera att enbart tio bestånd är grandominerade, alltså ett mycket litet stickprov. I ett bestånd (bestånd 707) är övre höjden lägre än medelhöjd enligt medelhöjdskurvan. En förklaring till detta kan vara att medelhöjdskurvan inte tar hänsyn till SI och att beståndet har ett relativt lågt SI, vilket resulterat i en överskattning av medelhöjden. Åldern i beståndet stämmer väl överens med den i beståndsregistret, även om det finns inslag av betydligt äldre granar, vilka eventuellt skulle kunna hämmat utvecklingen i beståndet.

3.2.3 Skattning av övre höjd

Två regressionsfunktioner har tagits fram för att skatta övre höjd för tall- respektive granbestånd baserat på beståndshöjden enligt medelhöjdskurvan (figur 2):

$$\text{Övre höjd (tall)} = 3,86 + 0,887 \times \text{Beståndshöjd} \quad (5)$$

där Övre höjd och Beståndshöjd anges i meter.

I funktionen är den oberoende variabeln signifikant ($p < 0.001$). Förklaringsgraden (justerad) skattades till 68,4 %.

$$\text{Övre höjd (gran)} = 3,41 + 0,770 \times \text{Beståndshöjd} \quad (6)$$

där Övre höjd och Beståndshöjd anges i meter.

I funktionen är den oberoende variabeln signifikant ($p < 0.05$). Förklaringsgraden (justerad) skattades till 50,5 %.

3.3 Åtgärdsklassificering

3.3.1 Gallringsbehov baserat på fältinventering och flygbildstolkning

Tabell 8 beskriver resultatet från en parvis jämförelse av åtgärdsförslaget enligt fältinventeringen och flygbildstolkningen. Tabellen visar att de två mallarna (bilaga 1 och 2) gav samma åtgärdsförslag i samtliga 19 bestånd baserat på de data som samlats in vid fältinventeringen. Jämförelsen mellan åtgärdsförslagen enligt den subjektiva bedömningen vid flygbildstolkningen och fältinventeringen visar att de klassats lika i 12 av de 19 bestånd som ingår i studien (dvs. i 63 % av fallen). Används stamantal från flygbildstolkningen och övre höjd från medelhöjdskurvan som indata i skötselmallarna blir åtgärdsförslaget ingen åtgärd i samtliga bestånd.

Tabell 8. Åtgärdsförslag enligt fältinventeringen och flygbildstolkningen. Åtgärdsklassificeringen i fält redovisas både för Bergvik Skog AB:s röjnings- och gallringsmall (bilaga 1) samt deras skötselmall för eftersatta bestånd (bilaga2) (n = 19)

Bestånd (nr)	Fältinventering Röjnings- och gallringsmall	Flygbildstolkning Röjnings- och gallringsmall	Fältinventering Mall för eftersatta bestånd	Flygbildstolkning Mall för eftersatta bestånd	Flygbildstolkning Subjektiv bedömning
148	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Låt stå till slutavverkning/ Svag gallring	Ingen åtgärd	Gallring
15	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Låt stå till slutavverkning/ Svag gallring	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
3	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
687	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Gallring
707	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
43	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
62	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
1077	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
246	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
20	Gallring	Ingen åtgärd	Samtidig röjning och låggallring före 15 m ÖH	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
128	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Gallring
1097	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
69	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Gallring
390	Gallring	Ingen åtgärd	Låggallring före 17 m ÖH	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
947	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
19	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
99	Röjning + Gallring	Ingen åtgärd	(Röjning+) gallring före 13 m ÖH	Ingen åtgärd	Gallring
111	Gallring	Ingen åtgärd	(Röjning+) gallring före 13 m ÖH	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
7	Gallring	Ingen åtgärd	Samtidig röjning och låggallring före 15 m ÖH	Ingen åtgärd	Gallring

3.3.2 Røjning

Sju av de tio helikopterinventerade bestånden bedömde fältpersonalen på Stora Enso Skog AB vara i behov av en røjning. Observera att røjningsbehovet bedömts subjektivt. Utifrån L&L Flygbildteknik AB:s resultat var inget av bestånden i behov av røjning vilket innebär att 30 % av bestånden klassats lika, att jämföra med 63 % för gallringsbestånden.

3.3.3 Gallringsbehov baserat på skattade variabler

När skattade värden för både antal stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh, (4), och övre höjd, (5) och (6), användes som ingångsdata i gallringsmallen (bilaga 1) överensstämde åtgärdsförslagen med åtgärdsförslagen enligt fältinventeringen i 14 av de 19 bestånden, dvs. 74 % mot tidigare 63 % (tabell 9).

Tabell 9. Åtgärdsklassificering utifrån fältinventerade och skattade värden för stamantal och övre höjd (n = 19)

Bestånd (nr)	Fältinventering	Skattad åtgärd
148	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
15	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
3	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
687	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
707	Ingen åtgärd	Gallring
43	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
62	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
1077	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
246	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
20	Gallring	Ingen åtgärd
128	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
1097	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
69	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
390	Gallring	Gallring
947	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
19	Ingen åtgärd	Ingen åtgärd
99	Gallring (røjning)	Røjning
111	Gallring	Ingen åtgärd
7	Gallring	Ingen åtgärd

Skillnaden mellan skattad övre höjd och fältmätt övre höjd var i medeltal 0,5 %. Motsvarande värde för stamantal ≥ 6 cm i brh var 1 % (tabell 10).

Tabell 10. Differensen mellan skattade och fältmätta värden för antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh och övre höjd (n = 19)

Bestånd (nr)	Skattat (stammar/ha)	Skattad ÖH (m)	Differens			
			Differens stammar (%)	Differens (stammar/ha)	Differens ÖH (%)	Differens ÖH (m)
148	948	16,5	20	188	-9,5	-1,6
15	1405	14,9	36	501	-16,8	-2,5
3	1408	13,8	31	439	-8,8	-1,2
687	1435	13,3	31	451	0,7	0,1
707	943	19,9	-43	-401	29,7	5,9
43	1576	13,9	10	160	9,7	1,3
62	1544	13,9	-10	-150	11,0	1,5
1077	1982	12,6	13	262	-0,1	0,0
246	2022	12,0	12	251	1,3	0,2
20	1795	12,0	-3	-58	-20,3	-2,4
128	1878	13,9	-11	-213	13,1	1,8
1097	1996	13,0	12	244	3,5	0,5
69	1553	13,0	-23	-365	13,6	1,8
390	1006	16,5	-36	-366	4,2	0,7
947	2002	13,0	6	129	5,5	0,7
19	2144	12,0	6	118	2,9	0,4
99	2311	12,0	1	32	-5,4	-0,7
111	1960	11,8	-19	-378	-7,2	-0,9
7	2095	11,8	-24	-495	-16,9	-2,0
Medel:			1	18	0,5	0,2

För 11 bestånd var differensen mellan skattat och fältinventerat stamantal ≥ 6 cm i brh inom 20 % av det fältinventerade värdet (tabell 10). Om det flygbildstolkade totala stamantalet jämförs med det fältmätta stamantalet ≥ 6 cm i brh var det endast 6 bestånd där det flygbildstolkade stamantalet låg inom 20 % av det fältinventerade värdet. Differensen mellan skattad och fältinventerad övre höjd ligger inom 10 % för 12 bestånd. Om värden enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva jämförs med den fältmätta övre höjden låg endast 4 bestånd inom 10 % av det fältmätta värdet.

3.4 Automattolkning

Resultaten i tabell 11 är hämtade från Dianthus AB:s rapport, Brandtberg (2008).

Tabell 11. Noggrannheten i skattade variabler

Variabel	Medelfel	Relativt medelfel (%)
Stammar per ha	438	16
ÖH (m)	0,54	6
Tall-Gran-Löv-andel (%)	11-11-4	29-23-29

4. Diskussion

4.1 Stamantal

4.1.1 Stamantal per hektar (höjd $\geq 1,3$ m)

Det är tydligt att antalet stammar som uppnått brösthöjd underskattas i flygbildstolkningen (figur 4), samt att underskattningen ökar med ökat stamantal i beståndet. Underskattningen är störst i täta flerskiktade bestånd med underväxt av löv, något som även framgår av Nilsson (1983). Förklaringen till detta är med stor sannolikhet att det inte går att se igenom det övre kronskiktet, något som styrks av att skillnaden blir betydligt lägre om man jämför flygbildstolkat stamantal med det fältmätta antalet stammar med en diameter ≥ 6 cm i brh. En annan förklaring kan vara att lövträd generellt är svårare att tolka p.g.a. att toppen inte är lika tydlig som för barrträd, vilket gör tolkningen svår och mer subjektiv.

I absoluta tal är underskattningen lägre i bestånd som nyligen röjts eller gallrats, vilket betyder att bestånden har ett lägre stamantal men även en jämnare karaktär vad gäller trädhöjd och förband.

Tolkningen av det totala stamantalet i flygbilderna överensstämmer med resultaten för bestånden i Andersson (2008), vilka är av röjningskaraktär (tabell 12). Andersson har i sin studie jämfört flygbildstolkat totalt stamantal med fältinventerat antalet stammar som bedömts följa med i höjdotvecklingen, vilket ungefär motsvara träd som är högre än halva beståndsmedelhöjden.

Tabell 12. Jämförelse mellan systematiskt fel och standardavvikelse för flygbildstolkat totalt stamantal per ha enligt Andersson (2008) och denna studie

Studie	Systematiskt fel		Standardavvikelse		Medelvärde (stammar/ha)
	(stammar/ha)	(%)	(stammar/ha)	(%)	
Andersson (2008)	-386	-16	958	46	2459
Denna studie	-1579	-55	1019	35	2900

4.1.2 Stamantal per hektar (diameter ≥ 6 cm i brh)

Resultaten visar också att det flygbildstolkade totala antalet stammar per ha i medeltal är 447 stammar lägre än antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh enligt fältinventeringen. Att använda det flygbildstolkade totala stamantalet som en approximation av antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh kan inte rekommenderas då en felbedömning i den storleksklassen kan leda till stora skillnader i åtgärdsförslag. Vid två tillfällen överskattades stamantalet, vilket i sig inte är ett så stort problem då ett fältbesök i regel behövs vid planeringen, och att felet troligen upptäckts av förrättningsmannen.

I Bergström och von Essen (1994) var underskattningarna störst i täta äldre granbestånd. I Andersson (2008) är underskattningen störst i lövdominerade yngre bestånd. Någon liknande trend går inte att påvisa i den här studien, vilket åtminstone delvis kan bero på att stickprovet är litet samt att merparten av bestånden är talldominerade. Det finns med andra ord inte tillräckligt med data för att utreda om möjligheten att skatta antalet stammar beror på trädslaget.

En intressant observation är att det flygbildstolkade totala stamantalet i medeltal ger en något sämre skattning av antalet stammar per ha med en diameter ≥ 6 cm i brh än vad den befintliga registeruppgiften ger.

I tabell 13 finns en sammanställning av resultat från några tidigare studier för jämförelse med resultaten från den här studien. Den första studien av Ståhl (1992) är en fältstudie i medelålders och äldre skog, där olika subjektiva fältmetoder jämförts. Från Ståhl (1992) redovisas resultatet från en metod där stamantal mäts genom klavning på ett stickprov av subjektivt utlagda provytor (radie 7,98 m). I de övriga studierna har stamantalet tolkats i flygbilder och jämförts med stamantal som mätts i fält.

Tabell 13. Jämförelse mellan uppskattat stamantal per ha och antalet huvudstammar per ha i fält för gallrings- och slutavverkningsbestånd

Studie	Systematiskt fel	Standardavvikelse
	%	%
Ståhl (1992)	-6,8	15
Ståhl (1988)	-34	20
Talts (1977)	-30	30
Andersson (2008) (diameter ≥ 11 cm i brh)		39
Denna studie (höjd $> 0,5 \times \text{ÖH}$)	-27	22

Resultatet för antalet stammar med en höjd större än $0,5 \times \text{ÖH}$ ligger i ungefär samma nivå som resultaten i de tidigare studierna. Den systematiska underskattningen är något lägre i denna studie jämfört med Ståhl (1988) och Talts (1977), vilket åtminstone delvis kan bero på den låga flyghöjden.

4.2 Övre höjd

Skillnaden är relativt stor mellan medelhöjden från Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva (figur 2) och övre höjdsuppskattningen från fältinventeringen, något som var förväntat eftersom det är två olika variabler. Störst är avvikelserna för tallbestånden, men även för granbestånden är avvikelserna stora. Att använda medelhöjdskurvan som en approximation av övre höjd vid klassificeringen av åtgärdsförslag kan vara riskabelt. Ett exempel på detta är bestånd 390 som har ett stamantal på ca 1370 stammar per ha och en övre höjd på 15,9 m, vilket resulterar i gallringsbehov då beståndet ej varit gallrat tidigare och övre höjden passerat 15 m. I detta bestånd gav medelhöjdskurvan en medelhöjd på 14,3 m, vilket resulterar i ingen åtgärd.

Vid fältmätning av övre höjd uppfylldes kraven i endast 5,3 % av provytorna. Detta måste ses som ett problem när åtgärdsplanerna är uppbyggda på övre höjd.

4.3 Åtgärdsklassificering

Det uppstår problem med åtgärdsklassificeringen när de variabler som den baseras på kraftigt underskattas, som i den här studien. I röjningsbestånden (19 – 23 år) har sju av tio bestånd klassas med fel åtgärd. Det bör påpekas att utvärderingen av åtgärdsbehovet för dessa bestånd baseras på subjektiva bedömningar från en helikopterinventering utförd av fältpersonal på Stora Enso Skog AB. Värt att notera är att de tre bestånd som klassats rätt i flygbilderna är slutröjda, dvs. endast tänkta huvudstammar har lämnats kvar. Även för dessa bestånd ligger underskattningen mellan 17 % och 29 %, vilket motsvarar 272 – 508 stammar per ha.

Den underskattning av antalet stammar med en diameter ≥ 6 cm i brh på ca 450 stammar per ha som flygbildtolkningen gav, påverkar åtgärdsförslagen från gallringsmallen. Samma sak gäller för övre höjd om den skattas m.h.a. medelhöjdskurvan. Någon skillnad i åtgärd mellan gallringsmallen (bilaga 1) och mallen för eftersatta bestånd (bilaga 2) kunde dock inte konstateras. Skillnaden mellan mallarna är att den för eftersatta bestånd ger mer precisa uppgifter om när och hur åtgärden skall utföras baserat på stamantal och övre höjd.

Genom att skatta stamantal och övre höjd utifrån flygbildstolkade stamantal och beståndshöjd enligt Bergvik Skog AB:s medelhöjdskurva (figur 2) förbättras träffsäkerheten i åtgärdsförslagen. Problemet är att på beståndsnivå skiljer sig de skattade och fältinventerade värden så mycket att åtgärdsbedömningen för vissa bestånd ändå blir felaktig. Något som är svårt att komma ifrån trots att medelskattningen är bra.

Klassningsnoggrannheten för de subjektiva åtgärdsförslagen är jämförbar med den rapporterad i Andersson (2008). Om ingångsvariablerna till mallarna istället skattas med hjälp av de framtagna regressionsfunktionerna, (4)-(6), förbättras klassningsnoggrannheten till en nivå motsvarande den som Bergstöm och von Essen (1994) redovisar för gallring. Skillnaden mellan denna och tidigare studier redovisas i tabell 14.

Tabell 14. Jämförelse av klassningsnoggrannheten för flygbildsbaserade åtgärdsförslag enligt Andersson (2008) och Bergström och von Essen (1994) med klassningsnoggrannheten för åtgärdsförslagen i denna studie

Studie	Klassningsnoggrannhet (%)
Bergstöm och von Essen (1994)	75
Andersson (2008)	60
Denna studie	
- Subjektiv flygbildstolkning	63
- Skattade variabler	74

4.4 Ståndortsindex

Skillnaden i ståndortsindex enligt fältinventeringen och beståndsregistret varierar mellan -18 % och 30 %. Störst skillnad finns i bestånd som ajourhållits vid den s.k. 13 m inventeringen. Det är svårt att säga hur säkert värdet från 13 m inventeringen är eftersom bestånden inte uppfyller kraven för övre höjdsbonitering, resultatet visar dock en variation mellan -1 och 6 enheter i ståndortsindex. I medeltal överskattas ståndortsindex för dessa bestånd med 3 m (H100T).

Vid fältinventeringen har 95 % av provytorna ståndortsboniterats på grund av att kraven för överhöjds- och interceptbonitering inte uppfyllts. Eftersom ståndortsboniteringen har ett relativt högt medelfel (Hägglund & Lundmark, 1987a) är det svårt att ge något tydligt besked på hur väl ståndortsindex i beståndsregistret verkligen stämmer överens mot verkligheten.

4.5 Automattolkning

Det är svårt att jämföra resultaten från automattolkningen med övriga resultat i denna studie då man använt fältmätt data från fältinventeringen för att skapa de regressionsfunktioner som används för att skatta stamantal, övre höjd och trädslagsandelar. Det skulle vara intressant att utföra en fördjupad studie kring automattolkning där separata fältdataset används för att ta fram de regressionsfunktioner som används för att skatta olika variabler och för att utvärdera hur bra skattningarna blir. Trots allt indikerar resultaten att det går att ta fram regressionsfunktioner som kan användas för att automatiskt skatta skogliga variabler som stamantal och ÖH med relativt hög noggrannhet utifrån digitala ortofoton.

5. Slutsatser

Den underskattning av det totala stamantalet per ha som erhöles vid tolkningen av flygbilderna är på samma nivå som underskattning i Nilsson (1983) där flyghöjden var 3000 m. Det bör dock påpekas att studien av Nilsson (1983) baseras på stereotolkning och inte tolkning i enkelbild (ortofoto) som denna studie. Om uppskattningen av stamantal i röjnings- och gallringsbestånd kan förbättras genom stereotolkning i låghöjdsbilder återstår att utreda.

Det är svårt att avgöra vilka trädkronor som faktiskt är synliga i flygbilderna, men med störst sannolikhet är det kronorna från de härskande och medhärskande träden. Jämför man de flygbildstolkade stamantalen med det fältmätta antalet stammar med en diameter ≥ 6 cm i brh blir det flygbildstolkade resultatet mer likt det fältmätta. Detta stödjer hypotesen att det framför allt är härskande och medhärskande träd som kan räknas i flygbilden. I glesa bestånd kan möjligen mindre träd och viss undervegetation identifieras.

För att skatta åtgärdsbehovet eller för ajourhållning av beståndsregistret kan den framtagna metoden inte jämföras med traditionell fältinventering. Den systematiska underskattningen av stamantalet är för högt, vilken är en bidragande orsak till att åtgärdsklassificeringen inte överensstämde bättre med den enligt fältinventeringen. Det samma gäller möjligheten att använda medelhöjdskurvan för att skatta beståndets övre höjd.

Att genom regressionsanalys skatta de flygbildstolkade variablerna för att förbättra åtgärdsklassificeringen kan inte rekommenderas då variationen för dessa är relativt hög på beståndsnivå.

Litteraturförteckning

Andersson, L. 2008. Utvärdering av flygbildstolkning för uppskattning av beståndsvariabler och åtgärdsförslag i ungskogar. Examensarbete vid Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå. Arbetsrapport 210.

Bergström, J. & von Essen, I. 1994. Ajourhållning av beståndsregister med hjälp av flygbildsinventering. Examensarbete vid Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.

Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1987a. Bonitering Del 1, definitioner och anvisningar, Skogsstyrelsen, Jönköping.

Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1987b. Bonitering Del 2, diagram och tabeller, Skogsstyrelsen, Jönköping.

Jonsson, B., Jacobsson, J. & Kallur, H. 1993. The Forest Management Planning Package. Theory and Application. Studia Forestalia Suecica 189, 56 pp.

Nilsson, B. 1983. Räkning av stamantal i flygbild. Examensarbete vid skogsmästarskolan 1982, LMV-Rapport 1983:1.

Orgum, J. 2008. Plantinventering och plantkontroll med digitala bilder från helikopter. Examensarbete vid Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.

Ståhl, G. 1992. En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder. Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, SLU, Umeå.

Ståhl, G. 1988. Noggrannheten i skogliga data insamlade med subjektiva inventeringsmetoder. En utvärdering av försök i Remningstorp och Jokkmokk utförda inom projektet "Snabb beståndsbeskrivning". Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, SLU, Umeå.

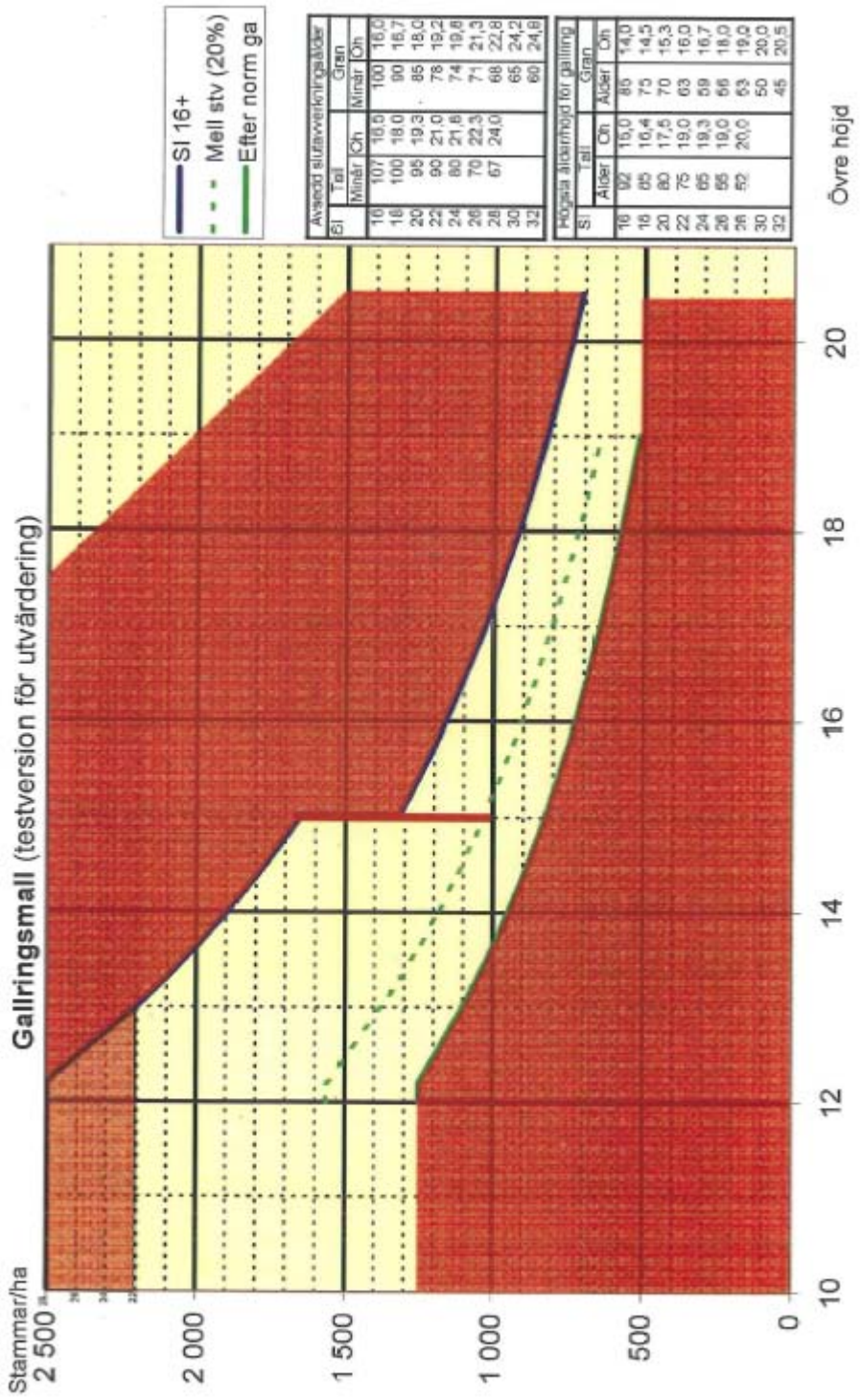
Talts, J. 1977. Mätning i storskaliga flygbilder för beståndsdatainsamling. Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning, SLU, Umeå.

Brandtberg, T. 2008. Automatisk flygbildstolkning för Stora Enso, Augusti 2008. Rapport från Dianthus AB.

Ericson, O. 1984. Beståndsinventering med flygbild. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse nr. 8, SLU, Umeå.

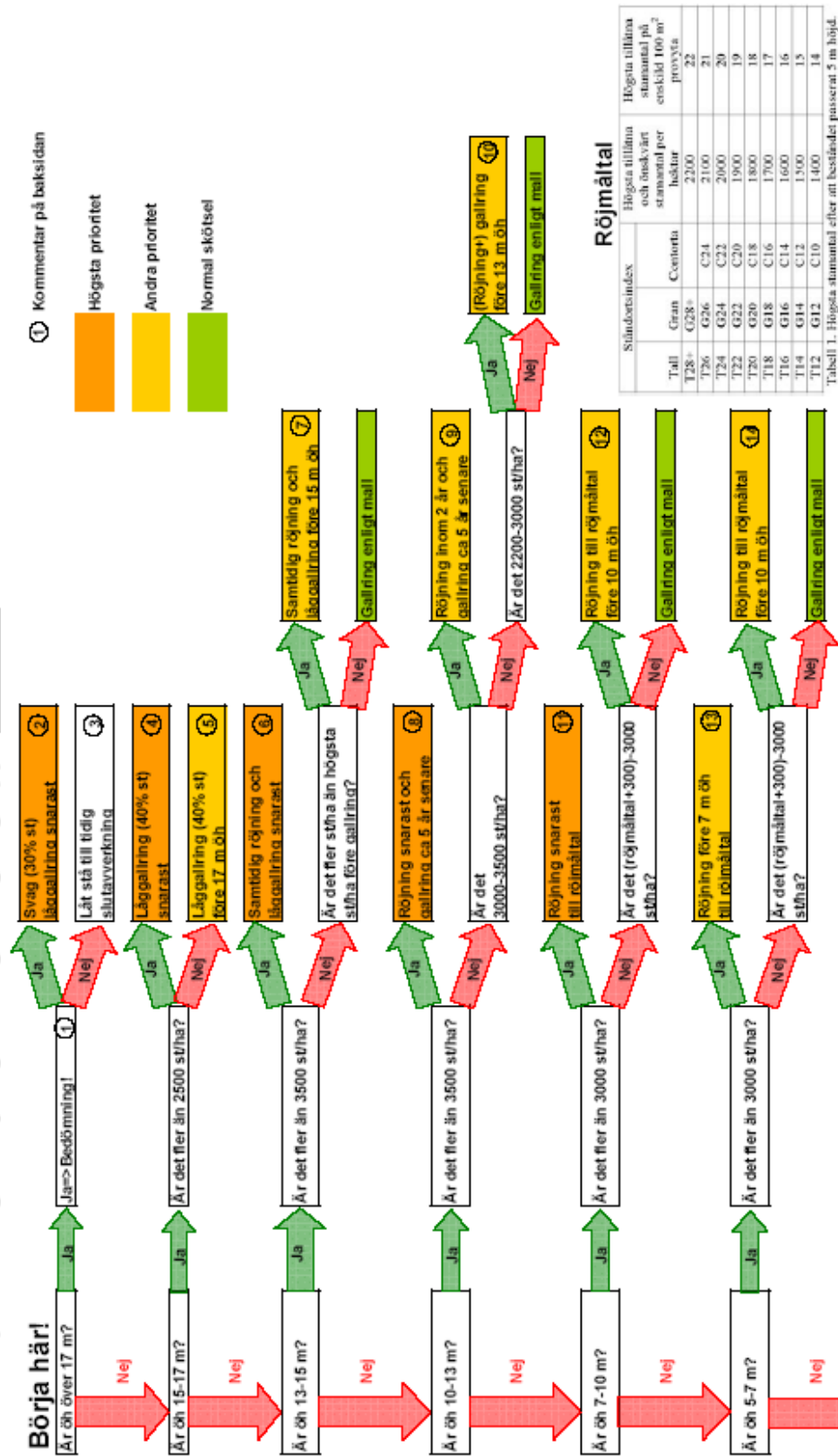
Bilaga 1

BERGVIK SKOG



Bilaga 2

Stöd för prioritering av röjnings- och gallringsgrepp i eftersatta bestånd



Röjmåttal

Ståndortsindex		Högsta tillåtna och önskvärd stamantal per hektar	Högsta tillåtna stamantal på enskild 100 m ² provyta
Tall	Gran	Conorta	
T28+	G28+	C24	2200
T26	G26	C24	2100
T24	G24	C22	2000
T22	G22	C20	1900
T20	G20	C18	1800
T18	G18	C16	1700
T16	G16	C14	1600
T14	G14	C12	1500
T12	G12	C10	1400

Tabell 1. Högsta stamantal eller ant beståndet passerat 5 m höjd.

Grundregeln är att inga bestånd ska tillåtas växa från en höjdklass till nästa utan att åtgärdas