



Gallringsinventering från helikopter utrustad med profilerande laser och kamera för låghöjdsfotografering

Inventory of thinning cuttings using a helicopter equipped with profiling laser and digital camera for low elevation photography



Foto: Kallax Flyg

Olle Wiklund

Arbetsrapport 266 2009
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet

Handledare:
Mats Nilsson

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



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-266-SE

Gallringsinventering från helikopter utrustad med profilerande laser och kamera för låghöjdsfotografering

Inventory of thinning cuttings using a helicopter equipped with profiling laser and digital camera for low elevation photography

Olle Wiklund

Examensarbete i skogshushållning med inriktning fjärranalys, 30hp

Jägmästarprogrammet

EX0310

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

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

Extern handledare: Ola Kårén, Holmen Skog

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skoglig resurshushållning
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2009

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-266-SE

Förord

Det här examensarbetet är utfört inom Jägmästarprogrammet och motsvarar 30 högskolepoäng på D-nivå. Ansvarig institution på SLU är Institutionen för skoglig resurshushållning. Examensarbetet har utförts på uppdrag av Holmen Skog.

När jag våren 2007 fick höra Holmen Skogs förslag till examensarbete angående gallringsskogar tyckte jag direkt att det verkade intressant. Jag hade redan upptäckt att det fanns ett behov av bättre beslutsunderlag vid urval av gallringar eftersom jag tidigare hade säsongsarbetat med gallringsplanering. Detta i kombination med ett intresse av fjärranalys gjorde att jag hösten 2007 startade examensarbetet.

Tack till Mats Nilsson, min handledare på SLU som har varit engagerad och till stor hjälp under hela arbetet. Tack också till Holmen Skog, handledare Ola Kårén, Olov Norgren samt David Rönnblom för värdefulla synpunkter och hjälp med praktiska frågor rörande utrustning och kartmaterial. Jag vill även tacka Tommy Flink hos Kallax Flyg som svarat på tekniska frågor om mätningarna.

Sammanfattning

I dagsläget väljer Holmen Skog ut lämpliga gallringsobjekt med hjälp av beståndsuppgifter som övre höjd och grundyta. Uppgifterna skrivs ofta fram med hjälp av tillväxtfunktioner där variabler som t.ex. ålder, trädslag och bonitet utgör indata. Problemet är att dessa uppgifter inte alltid stämmer. På uppdrag av Holmen Skog undersöktes därför möjligheten att använda data från profilerande laser och digitala flygbilder för att uppskatta stamantal per hektar, trädslagsblandning samt grundytvägd medelhöjd och övre höjd för enskilda bestånd. Detta för att avgöra gallringsbehovet.

Datainsamlingen gjordes från en helikopter på ca 100 m flyghöjd. Totalt flygfotograferades 48 ungskogsbestånd av Holmen Skogs innehav i Västerbotten. Utav dessa lottades 21 bestånd ut att ingå i studien. Tyvärr visade det sig att två av de utvalda bestånden gallrats efter flygfotograferingen varför studien begränsats till 19 ungskogsbestånd. En klar majoritet av de utvalda bestånden var talldominerade. Gemensamt för alla bestånd var att det var ungskogar som enligt Holmen Skogs beståndsregister var föremål för förstagallring inom kommande femårsperiod.

För att skatta grundytvägd medelhöjd och övre höjd har två regressionsmodeller tagits fram som beskriver dessa variabler som en funktion av insamlade laserdata. Funktionerna har tagits fram med hjälp av fälldata som samlats in särskilt för detta, dvs. genom ett separat stickprov i fält. Funktionerna har därefter använts på laserdata från de olika bestånden.

Bedömningen av stamantal gjordes i ca 10 flygbilder per bestånd med hjälp av ett program som heter FotIT-GIS. Med hjälp av programmet delades flygbilderna in i 9 lika stora kvadrater, därefter markerades de enskilda träden manuellt inom tre slumpmässigt utvalda kvadrater per bild. Programmet räknade sedan automatiskt ut stamantal per trädslag och hektar för hela beståndet.

De laserbaserade höjdsfattningarna och stamräkningen i flygbilderna har jämförts med motsvarande beståndsuppgifter som samlats in genom en objektiv fältinventering med ca 10 provtytor per bestånd. Resultaten visar att den laserbaserade regressionsfunktionen för grundytvägd medelhöjd signifikant underskattar höjden med 3,7 % jämfört med den fältmätta grundytvägda medelhöjden. För övre höjd gav regressionsfunktionen en underskattning av den fältmätta övre höjden med 1,2 %, skillnaden är dock inte signifikant.

Jämförelsen mellan flygbildsuppskattat och fältmätt totalt stamantal per hektar visar att flygbildstolkningen i medeltal ger ett stamantal som är 7,1 % lägre än stamantalet enligt fältinventeringen. Skillnaden är signifikant.

Nyckelord: Gallring, flygburen laser, digitala låghöjdsbilder, stamantal, medelhöjd

Summary

Today Holmen Skog finds and selects suitable thinning stands using data on upper height and basal area. These figures are often based on basic forest data that has been updated with the help of growth prediction models. The problem is that these figures are not always correct. The aim of this study was to investigate if a combination of data from a profiling laser and a digital camera for low elevation photography, can be used for collecting data on number of stems per ha, tree species mixture as well as basal area weighted mean height and upper height for stands. The possibility to use these data to assess the need for thinning cutting was also investigated.

Laser data and aerial photographs were collected from a helicopter operating at an approximate height of 100 meters. In total, data were collected for 48 of Holmen Skog's young stands in Västerbotten and 21 of these were selected for the study (including two stands that were removed because they had been thinned after the air photo acquisition). A majority of the stands were dominated by Scots pine. All stands were young forests that according to Holmen Skog were ready for their first thinning cutting in the following five year period.

The estimation of number of stems per hectare was based on about 10 aerial photographs per stand with the help of the FotIT-GIS software. The photographs were first automatically divided into 9 equally sized squares. Then, the trees and their species were marked in three randomly selected squares in each selected photograph. In the last step, FotIT-GIS calculated the total number of stems per tree species and hectare for each stand.

Upper height and basal area weighted mean height were calculated for each stand using two functions, which were created with the help of field data and laser data. The basal area weighted mean height derived from laser data was 3,7% lower than corresponding field measured height. The difference was significant. The upper height estimates based on laser data was 1,2% lower than the upper height according to the field inventory, this difference was not significant.

The comparison showed that the number of stems per hectare estimated from the aerial photographs were 7,1% lower than the objectively collected stem numbers, and it was significantly lower than the estimate obtained from the objectively collected field data.

Keywords: Thinning cutting, airborne laser, digital photographs, number of stems, tree height

Innehållsförteckning

Förord.....	2
Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning	6
Bakgrund och historik.....	7
Syfte	7
Material och metoder	8
Studieområde	8
Flyginventering	8
Datainsamling i fält.....	9
Skattning av grundtyvägd medelhöjd och övre höjd.....	11
Stamräkning i flygbilder	13
Analyser	15
Resultat	16
Grundtyvägd medelhöjd och övre höjd.....	16
Stamantal.....	18
Diskussion.....	23
Slutsatser	25
Framtiden	25
Referenser	26
Muntliga källor.....	26
Bilder.....	26

Inledning

Gallring är en beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagande av virke (Skogsordlistan, 1994). Nästan all skog som sköts enligt trakthyggesbruket gallras någon gång under sin omloppstid, allt från 5 gånger på de bästa granmarkerna i Skåne till två gånger i Norrlands inland (Söderström, 1971).

Ett av syftena med gallring är att undvika självgallring vilket innebär att träd dör på grund av för hög konkurrens om ljus och näring. Ett annat syfte med gallring är att fördela tillväxten till de stammar som ska stå kvar efter gallringen. De utvalda stammarna får en ökad tillväxt genom att konkurrensen om ljus och näring minskar. Dessutom ökar vindutsattheten vilket får träden att sträva efter att öka diametertillväxten för att stabilisera stammen (Anon., 1985).

Det är inte bara minskad konkurrens som ökar näringstillgången för de enskilda träden. Marken i ett nygallrat bestånd får en högre marktemperatur vilket ökar hastigheten i de biologiska processerna och ökar näringsomsättningen. Ökningen av marktemperatur beror dels på ökad solinstrålning men även utav ett större snödjup (Lundmark, 1988). En annan effekt av gallringen är att det bildas en tillfällig gödslingseffekt när avverknings-rester och finrötter bryts ner. Det som gör att den ökade näringstillgången snabbt kan tas tillvara på av de kvarvarande träden är att rotsystemen ofta delvis är ihopkopplade, dessutom får träden hjälp att ta upp näringen av mykorrhiza. En annan faktor som på de flesta marker påverkar tillväxten positivt är en ökad tillgång till vatten (Lundmark, 1988). Dessutom ger många gallringar ett positivt netto och en tidigarelagd inkomst från skogen (Söderström, 1981). Tidpunkten för gallring är avgörande både för biologiska aspekter och ekonomiska aspekter. En för tidig gallring kan innebära att träden inte ännu hunnit sluta kronorna och tillvarata markens produktionsmöjlighet på ett effektivt sätt, samt att man ofta vill att träden ska stå relativt trångt i ungdomen för att gynna kvalitet och höjdtillväxt. En annan effekt av en för tidig gallring är att trädens medelvolym och diameter är lägre vilket ger en dyrare avverkning och en lägre nettoinkomst (Philström, 1996).

Problemet med en försenad gallring är dels att träden kan börja självgallras på grund av för hög konkurrens om ljus och näring. En sen gallring kan även innebära att träden ej utvecklade nödvändig motståndskraft för den ökade vindutsatthet och snöutsatthet som gallringen innebär. Helt enkelt är träden för höga och smala på grund av den trängsel som uppkommit så att de i avsaknaden av sina gallrade grannar inte klarar av ett ökat vind och snötryck (Söderström, 1971). Även här kan det ekonomiska resultatet av gallringen försämrats eftersom träden stått och trängts för länge så att diametertillväxten avstannat, och uttaget i gallringen måste hållas nere för att inte riskera stora avgångar på grund av vind och snö (Söderström, 1971).

Bakgrund och historik

Holmen Skog tar i dagsläget ut en femtedel av sitt totala virkesuttag från de egna skogarna genom gallringar. För att bedöma när en ungskog ska gallras använder de Skogsstyrelsens gallringsmall som utgår från beståndets trädslag, bonitet, övre höjd och grundyta (Rönblom 2008, muntligen). Gallringsmallen visar grafiskt i en figur när skogen ska gallras och hur mycket som är ett lämpligt uttag. Det finns olika mallar beroende på trädslag och bonitet. Det finns numera även gallringsmallar som endast använder sig av stamantal och övre höjd för att bedöma gallringsbehovet.

För bestånd som enligt grunddata i Holmen Skogs register förväntas vara gallringsmogna samlas normalt subjektiva data in i fält med relaskop och höjdmätare. Problemet är att grunddata för ungskogor inte alltid överensstämmer med det verkliga tillståndet, vilket medför ökade kostnader i form av att bestånd som inte är gallringsmogna blir fältbesökta i förtid och i onödan. För Holmen Skog i Västerbotten beräknas dessa utgöra ca 20 % av de bestånd som enligt registret bör gallras. Dessutom förväntas det finnas motsvarande mängd bestånd som borde ha gallrats men ännu inte kommit med i beståndsregistrets förslag (Rönblom 2008, muntligen). Det är därför viktigt att ha tillförlitliga tillståndsbeskrivningar av ungskogarna.

Metoder för att använda profilerande laser för höjdmätning började utvecklas på 1970-talet. Det var först när GPS-tekniken började användas som hjälpmedel vid flygnavigering som metoden med framgång kunde tillämpas för topografiska studier av markytan och vegetationen (Lillesand & Kiefer, 2004). De enklaste lasersystemen registrerar endast avståndet till det första objektet som träffas. De mer avancerade lasrarna registrerar två eller flera avstånd utifrån den returnerade laserpulsen, exempelvis kan avstånden motsvara toppen av ett träd och marken under trädet (Nilsson, 1994). I den här studien har den första typen av laser använts. Gemensamt för alla laserbaserade system är att de vanligen benämns med uttrycket LiDAR (Light Detection and Ranging).

Skannande laser ger möjlighet att skapa en tredimensionell bild av vegetationen där höjd och volym kan bestämmas för enskilda träd (Wulder & Franklin, 2003). Vid mätning av trädvariabler med laserteknik är jämnåriga välslutna homogena bestånd med ett apikalt växtsätt och begränsad underväxt ideala (Nelson, 2006). I en studie från Norge där yngre till medelålders skog laserskannades var standardavvikelsen 8,7 dm (6,3 % av medelvärdet från fältinventeringen) för grundtyevägd medelhöjd och 13,3 dm (8,0 % av medelvärdet från fältinventeringen) för övre höjd (Naasset, 2002).

Syfte

Syftet med detta arbete är att ta fram och utvärdera en metod för insamling av data i yngre till medelålders skogar inför en första gallring. Förhoppningen är att minska tidsåtgången och kostnaden vid planering av gallringar genom att ha tillgång till ett bättre beslutsunderlag. De skogliga variabler som analyserats i studien är stamantal per hektar, trädslagsblandning, grundtyevägd medelhöjd och övre höjd.

Studien har delats upp i två delar. I den första delen undersöks om låghöjdsfotografering med en helikopterburen digitalkamera samt efterföljande semiautomatiska bildtolkning kan ge en korrekt bild av tillståndet i yngre till medelålders bestånd vad gäller stamantal per hektar och trädslagsblandning.

Den andra delen är att se om en laserprofil som registrerats samtidigt som de digitala bilderna kan användas för att bestämma grundtyevägd medelhöjd och övre höjd i yngre till medelålders bestånd före första gallringen.

Material och metoder

Studieområde

Studieområdet utgörs av 48 ungskogsbestånd på Holmen Skogs mark i Västerbotten som flygfotograferats sommaren 2007 av Kallax Flyg AB.

Flyginventering

Vid flyginventeringen användes en helikopter av modellen EC 120 utrustad med en gyrophängd digitalkamera och en profilerande laser. Totalt flyginventerades 48 ungskogsbestånd som enligt Holmen Skogs register skulle gallras för första gången. Av dessa 48 bestånd valdes några bort på grund av att för få bilder fotograferats inom bestånden. Gränsen sattes till minst 3 bilder per bestånd. Bland de återstående bestånden valdes 21 stycken ut slumpmässigt för att inventeras i fält. Vid fältinventeringen konstaterades att två bestånd gallrats efter flygfotograferingen varför studien begränsats till 19 bestånd.

Inom varje bestånd flög helikoptern en eller flera vändor beroende på beståndets storlek och form. Samtidigt togs digitala färgbilder automatiskt med ett visst tidsintervall för att minimera överlappet mellan bilderna. De enskilda bildernas täckning av markytan beror på flyghöjden, men en typisk storlek var 40×30 meter. Helikoptern flög mestadels på omkring 100 meters höjd över marken, men flyghöjden varierade mellan 80 och 200 meter. Kameran var utrustad med ett 200 millimeters objektiv med en upplösning på 16,7 megapixel, vilket motsvarar en pixelstorlek på ca 8 centimeter vid 100 meters flyghöjd.

En profilerande laser samlade kontinuerligt in data under tiden som helikoptern befann sig inom beståndets gränser. Lasern har en maximal arbetshöjd på 300 meter, vid mätningar på höjder över 300 meter blir den reflekterade laserpulsen för svag. Laserns optik gör att den belyser en yta med ca 30 cm diameter vid 150 meters flyghöjd. De data som lasermätningen gav var avståndet från lasern till det objekt som reflekterade laserpulsen (laseravstånd). Avstndsdata samlades in var 10:e millisekund. Vid en typisk helikopterfart på 40 knop ger det ett avstånd mellan lasermätningarna på ungefär 20 centimeter.

Helikopterns position och höjd registrerades med en GPS var 30:e millisekund. Därför finns det inte unika positioner för varje laseravstånd utan det blir ungefär tre laseravstånd per GPS-position. För varje laseravstånd registrerades också datum och tid uttryckt i år, dag, timma, minut, sekund och millisekund, aktuell helikopterfart i knop, helikopterns flyghöjd över havet och amplituden, dvs. hur många procent av laserstrålens energi som returneras till mottagaren (Tabell 1).

Tabell 1. Exempel på obehandlade laserdata

Datum	Tim.	Min.	Milli- sek.	Laser- avstånd (m)	Amplitud (%)	Objekt id	Y	X	Höjd GPS (m)	Fart (knop)
2007-06-15	19	57	827	88,3	64	17	1735246,803	7109126,208	168	47
2007-06-15	19	57	827	87,0	58	17	1735246,803	7109126,208	168	47
2007-06-15	19	57	827	86,4	54	17	1735246,803	7109126,208	168	47
2007-06-15	19	57	858	86,4	55	17	1735246,857	7109125,462	168	47
2007-06-15	19	57	858	86,1	55	17	1735246,857	7109125,462	168	47
2007-06-15	19	57	858	84,7	58	17	1735246,857	7109125,462	168	47
2007-06-15	19	57	890	85,5	55	17	1735246,889	7109125,236	169	46
2007-06-15	19	57	890	86,1	55	17	1735246,889	7109125,236	169	46
2007-06-15	19	57	890	85,6	62	17	1735246,889	7109125,236	169	46

Datainsamling i fält

För de fältbesökta bestånden gjordes objektiva uppskattningar av variablerna stamantal, trädslagsblandning, grundtyevägd medelhöjd, diameter i brösthöjd och virkesförråd inom provytor med 7 meters radie. Grundtyevägd medelhöjd skattades som den aritmetiska medelhöjden av 3-6 träd per yta som valdes ut med hjälp av relaskop (relaskopfaktor 1) från provytecentrum. Vid relaskoperingen valdes vart 6:e träd ut som provträd, förutom vid låga grundtytor då vart 4:e träd valdes ut. Övre höjd skattades från samma provyte-centrum fast med 10 meters provyteradie. Höjdmätning och åldersbestämning gjordes på de två träden inom ytan med störst diameter i brösthöjd enligt definitionen av övre höjd från Hägglund & Lundmark (1982). Vid mätningarna användes en dataklave, en avståndsmätare och en höjdmätare. Dataklaven var en Haglöf MANTAX DigiTech och höjdmätaren en Haglöf Vertex III med transponder T3. Avståndsmätaren var en Haglöf DME, också den användes tillsammans med en transponder T3.

Bestånden som inventerades var ungskogar som mestadels var talldominerade. I Tabell 2 redovisas medelvärden och spridningsmått för ett urval av de variabler som samlats in i fält.

Tabell 2. Medelvärde, standardavvikelse samt min- och maxvärden för grundtyevägd medelhöjd (h_{gv}), övre höjd (h_{oh}) och stamantal för olika trädslag enligt fältinventeringen av de 19 bestånd som ingår i studien

Variabel	Medel	Standardavvikelse	Min	Max
h_{gv} (dm)	142	11	120	164
h_{oh} (dm)	154	14	127	179
Stamantal (st/ha)				
- tall	940	52	97	1961
- gran	204	225	0	600
- löv	290	407	0	1526
- tot	1434	293	1077	2099

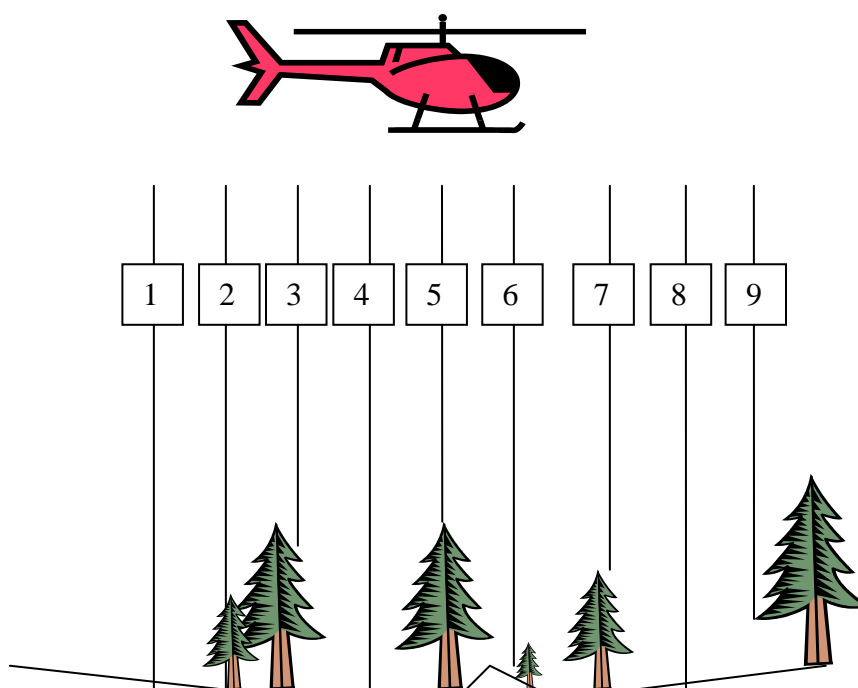
För varje bestånd lades provytorna ut slumpmässigt inom de enskilda flygbilderna. Maximalt inventerades 10 stycken provytor per bestånd och maximalt två provytor per enskild flygbild. Om det var mer än 10 flygbilder inom ett bestånd lottades det ut vilka 10 bilder som skulle representera beståndet med vardera en provyta. Om det var fem bilder eller färre inom beståndet inventerades två provytor per bild.

Provyteutlägget inom en bild utgick ifrån bildens centrum som lokaliserades i fält med hjälp av en handburen GPS. Provyternas lägen bestämdes därefter genom att först ta ett slumpstal mellan -1 och 1 och multiplicera det med bildens halva höjd ($\text{slumptal}(-1,1) \times (\text{bildhöjd}/2)$). På samma sätt togs ett högervänster avstånd fram vinkelrätt mot flygriktningen ($\text{slumptal}(-1,1) \times (\text{bildbredd}/2)$). Med hjälp av syftkompass och måttband uppsöktes därefter provytans centrumpunkt i fält.

I varje bestånd mättes dessutom grundtyevägd medelhöjd och övre höjd på ytterligare två ytor med 10 meters provyteradie vars centrumpunkter låg utmed laserprofilen. Detta gjordes för att kunna ta fram modeller som skattar medelhöjd och övre höjd utifrån laserregistreringarna. Det fanns inget krav på att ytorna skulle ligga inom flygfotografierna utan de slumpades ut längs hela laserprofilen i det aktuella beståndet. Ytorna uppsöktes i fält med hjälp av GPS.

Skattning av grundytevägd medelhöjd och övre höjd

Det lasersystem som använts mäter endast avståndet till ett objekt, t.ex. avståndet till marken eller trädkronorna. För att få fram höjder för de laserpulser som träffat träden krävs att marknivån är känd. Två olika metoder testades för att lokalt uppskatta marknivån. I den första metoden jämfördes varje värde i laserprofilen med de 4 närmsta värdena på båda sidor om det aktuella värdet. I den andra metoden utökades antalet grannar i laserprofilen från 4 till 10. Vid jämförelsen fick det största värdet av dessa laserregistreringar representera marknivån. Därefter beräknades vegetationshöjden genom att subtrahera mittenvärdet i profilen med den framtagna markhöjden. I Figur 1, som illustrerar fallet med fyra grannar, ska mittenvärdet i laserprofilen (dvs. laserpuls nummer 5) subtraheras med värdet för laserpuls nummer 4 som representerar marknivån. Resultatet när detta görs för alla laserpulser utmed profilen blir en profil med uppskattade vegetationshöjder.



Figur 1. Förenklad illustration över lasermätning från helikopter.

Två regressionsmodeller som skattar grundtevägd medelhöjd (h_{gv}) och övre höjd ($h_{öh}$) utifrån de beräknade vegetationshöjderna har tagits fram genom att koppla ihop laserdata med de extra provvytor där enbart grundtevägd medelhöjd och övre höjd mätts in. Eftersom helikopterns hastighet och tiden mellan varje laserangivelse var känd var det möjligt att identifiera de lasermätvärden som hörde till en viss provyta. Längden på den del av en laserprofil som kopplats till en provyta var 30 meter, dvs. 15 meter före och 15 meter efter den GPS-punkt som utgjorde provytans centrumpunkt. Anledningen till att laserprofilen var längre än provytornas diameter var att det subjektivt bedömdes vara för få lasermätvärden vid 20 meters profillängd. Den längre profillängden medförde också en ökad sannolikhet för att någon laserpuls skulle hamna i närheten av en trädtopp.

Vid beräkningen av höjdpercentiler för de laserpulser som träffat trädkronorna har alla höjder under 2 meter tagits bort, dvs. värden som representerar markytan, stenar och undervegetation. Därefter togs 95:e, 90:e, 80:e, 70:e, 60:e och 50:e percentilen (h_p) fram för de kvarvarande höjdvärdena. Detta gjordes separat för höjder som baserats på en marknivå som bestämts utifrån 4 respektive 10 angränsande laserregistreringar.

För både grundtevägd medelhöjd (h_{gv}) och övre höjd ($h_{öh}$) har följande regressionsmodell använts:

$$h = \alpha + \beta h_{p_{xx}} + \varepsilon$$

där

$h_{p_{xx}}$ = höjdpercentil xx (t.ex. $h_{p_{95}}$ =95:e percentilen)

Regressionsmodellerna har tagits fram med statistikprogrammet Minitab. De bästa modellerna valdes ut med hjälp av residualstudier och förklaringsgraden (R^2). Dessa har sen använts för att skatta medelhöjd (h_{gv}) och övre höjd ($h_{öh}$) för samtliga bestånd.

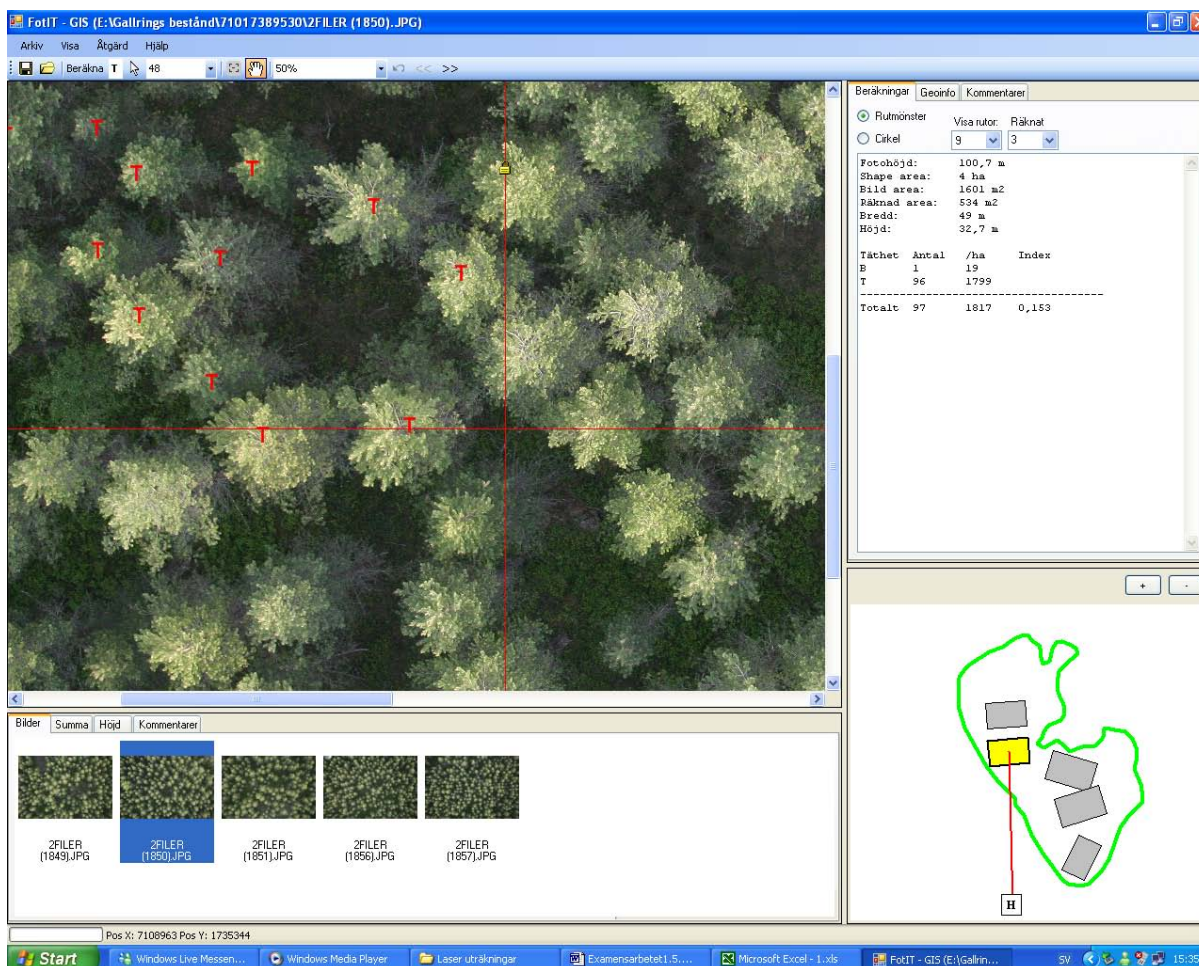
Innan de framtagna regressionsfunktionerna kunde användas var det nödvändigt att identifiera de delar av laserprofilerna som ligger inom flygbilderna, dvs. 15 meter längs höjdprofilen på var sida om respektive bildcentrum. För att göra detta letades den laserpuls i laserprofilen fram som låg närmast den kända centrumkoordinaten, därefter identifierades de värden i laserprofilen som representerade de närmsta 15 meterna på var sida om laserspulsens. Höjdpercentilerna beräknades och användes därefter för att skatta grundtevägd medelhöjd och övre höjd för alla utvalda bilder med hjälp av de framtagna funktionerna. Därefter beräknades beståndsvisa medelvärden utifrån de skattade höjdvärdena.

För att undersöka om de laserskattade och fältmätta höjderna systematiskt skiljde sig åt har differenserna mellan de två jämförts med hjälp av ett parat t-test.

FotIT-GIS är ett GIS-program som är framtaget av Kallax Flyg AB. Programmet har en funktion som grafiskt visar resultatet för laserprofilen med tillhörande höjdskala i meter som kan användas för att subjektivt bedöma höjden i beståndet. Denna metod har inte använts, istället användes regressionsfunktionerna som beskrivits ovan för att på ett objektivt sätt skatta grundtevägd medelhöjd och övre höjd.

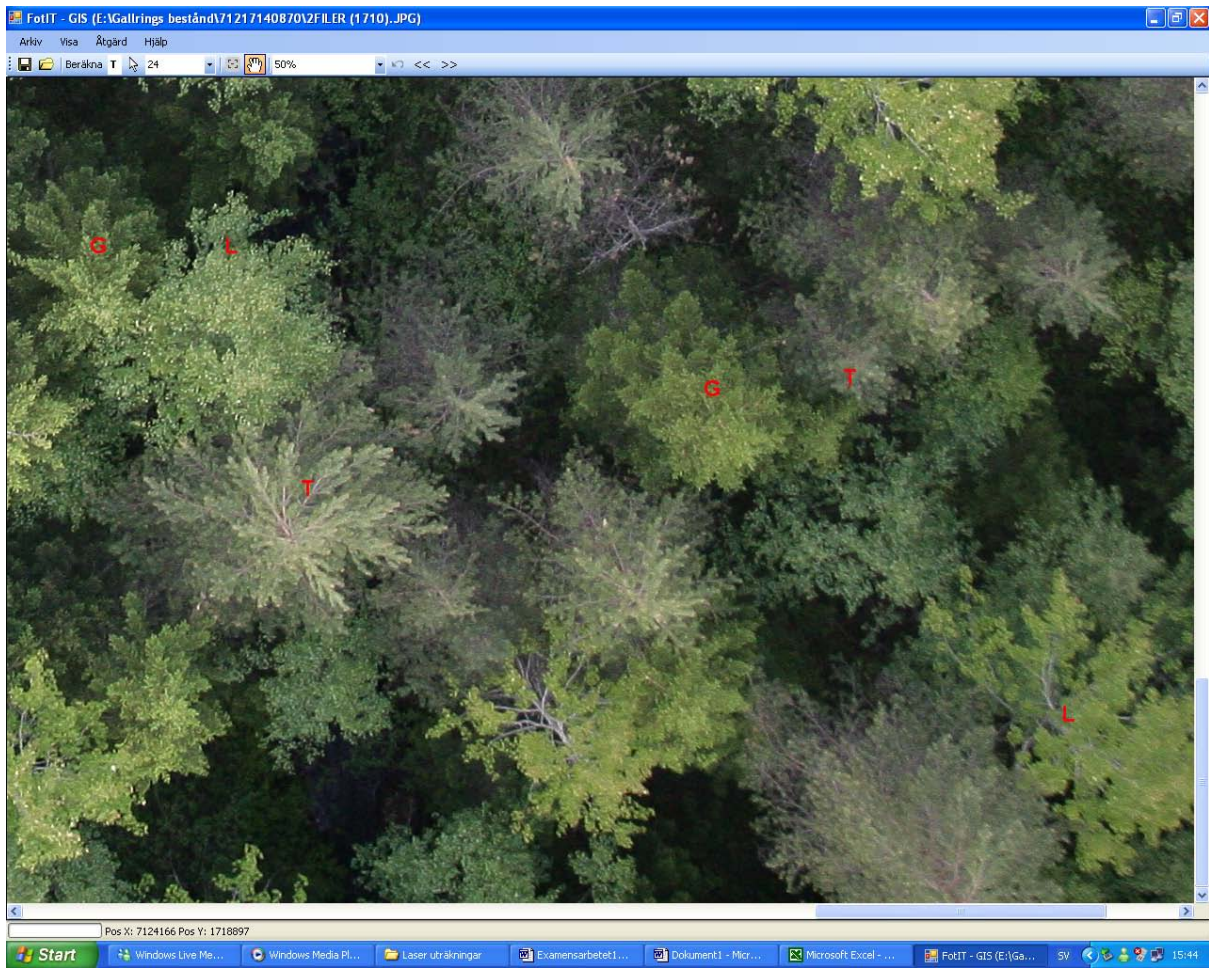
Stamräkning i flygbilder

All flygbildshantering har gjorts i FotIT-GIS. Som framgår av Figur 2 ger FotIT-GIS en översikt som visar det valda beståndets yttergränser samt de enskilda digitala bilderna som finns inom beståndet. I nedre högra hörnet av Figur 2 visas alla bilder inom ett bestånd där den aktuella bilden är markerad med gult. I övre högra hörnet väljer operatören hur många rutor som bilden ska delas in i och för hur många av dessa som stamantalen ska räknas.



Figur 2. Exempel som visar FotIT-GIS användargränssnitt.

Själva stamräkningen sker manuellt i GIS-programmet. Som framgått ovan delar programmet upp flygbilden i ett valt antal kvadrater, därefter räknas manuellt de enskilda träden som befinner sig inom en av de valda rutorna (Figur 3). I detta fall har antalet stammar räknats separat för tall (*Pinus sylvestris*), gran (*Picea abies*) och löv. I bilderna har de träd räknats som bedöms ha gröningspunkten inom den valda rutan. Hänsyn har alltså inte tagits till vilken ruta trädets topp befinner sig i.



Figur 3. Ett exempel på stamräkningen där några av träden markerats med sin trädslagskod (T=tall, G=gran, L=löv).

När alla träd markerats räknar programmet automatiskt ut trädslagvisa stamantal per hektar. FotIT-GIS beräknar även medelvärdet för hela beståndet.

Vid tolkningen delades bilderna upp i 9 mindre rutor, varav 3 stycken valdes ut för stamräkning genom att utgå från det övre vänstra hörnet och med tre slumpstal mellan 1 och 9 bestämdes de rutor som skulle stamräknas. Huruvida de skattade stamantalen skiljer sig från stamantalet från fältinventeringen har undersökts med hjälp av ett parat t-test. Dessutom undersöktes om beståndets trädslagsblandning påverkar möjligheten att korrekt skatta antalet stammar per hektar.

Analyser

Ett parat t-test har använts för att avgöra om de laserskattade trädhöjderna och de tolkade stamantalen skiljer sig från motsvarande värden enligt den objektiva fältinventeringen.

Den genomsnittliga skillnaden (\bar{d}) mellan laserskattade eller flygbildstolkade värden och fältmätta värdena har skattats som:

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^n d_i = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (1)$$

där

- x_i = skattat värde för bestånd i
- y_i = fältmätt värde för bestånd i
- n = antal bestånd

Medelfelet för \bar{d} har skattats enligt formeln nedan.

$$Se(\bar{d}) = \frac{S_d}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

där

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Resultat

Grundytevägd medelhöjd och övre höjd

Vid regressionsanalyserna visade det sig att den 70:e höjdpercentilen (h_{p70}) gav den högsta förklaringsgraden för grundtevägd medelhöjd (h_{gv}).

$$h_{gv} = 63,7 + 7,30 * h_{p70}$$

$$R^2 = 58,3 \%$$

För övre höjd ($h_{\delta h}$) var den 80:e percentilen (h_{p80}) den bästa förklarande variabeln.

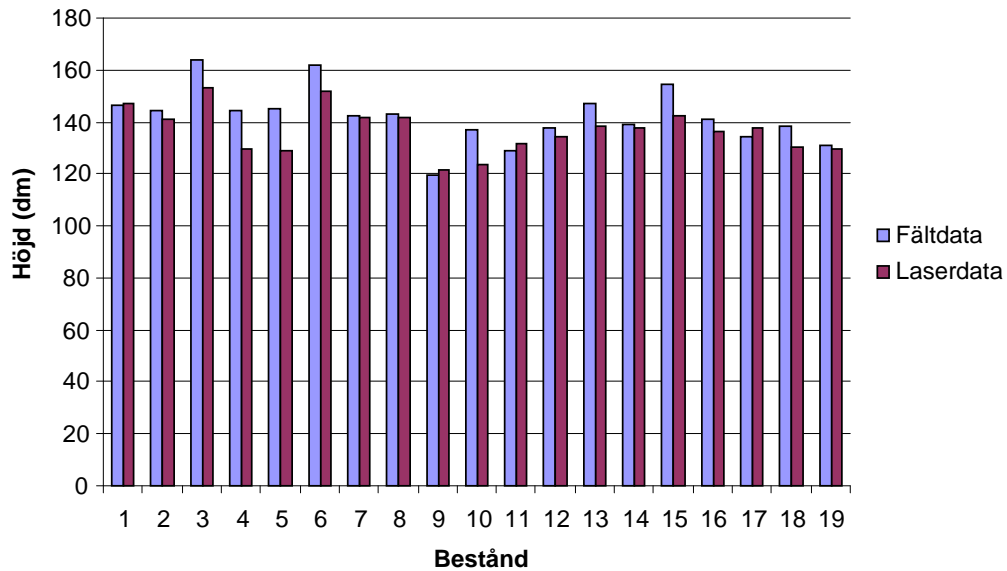
$$h_{\delta h} = 60,9 + 8,32 * h_{p80}$$

$$R^2 = 59,5 \%$$

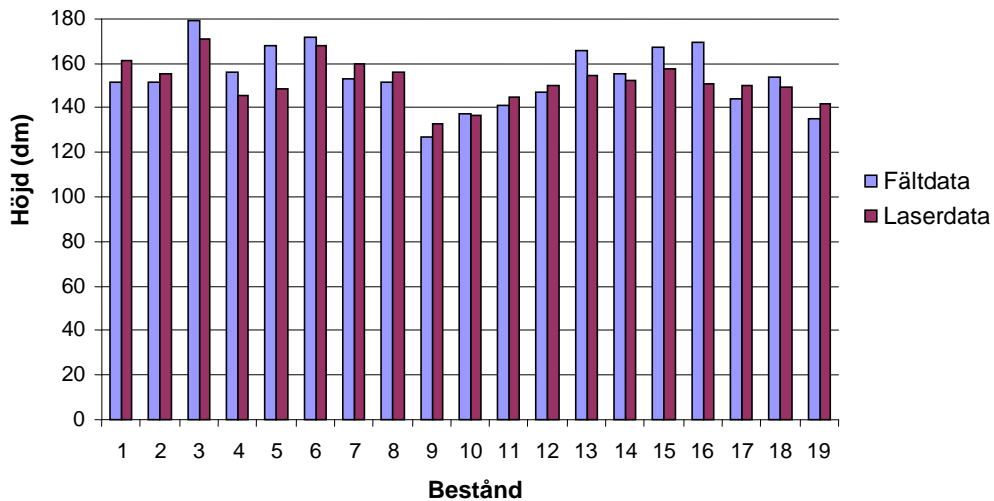
Gemensamt för de två regressionsfunktionerna är att det bästa resultatet erhöles då laserhöjderna uppskattades med hjälp av de 10 närliggande värdena i båda riktningarna utmed laserprofilen.

De höjder som skattats utifrån laserdata har jämförts med de fältmätta höjderna på beståndsnivå (Figur 4 och 5). Som framgår av Tabell 3 är skattningarna av både grundtevägd medelhöjd och övre höjd utifrån laserprofilerna lägre än motsvarande värden enligt fältinventeringen. Störst är skillnaden för grundtevägd medelhöjd (5,3 dm). Det parade t-testet visade att det är en systematisk skillnad mellan laserskattad och fältmätt grundtevägd höjd. För övre höjd är det ingen signifikant skillnad mellan de två metoderna enligt det parade t-testet.

Medelfelet är mindre för differensen mellan skattad och fältmätt grundtevägd medelhöjd jämfört med den för övre höjd. Min- och maxvärdena i Tabell 3 visar den största respektive minsta differensen mellan lasermätt och fältmätt höjd.



Figur 4. Den fältmätta grundyttevägda medelhöjden jämfört med den utifrån laserdata skattade grundyttevägda medelhöjden på beståndsnivå.



Figur 5. Den fältmätta övre höjden jämfört med den utifrån laserdata skattade övre höjden på beståndsnivå.

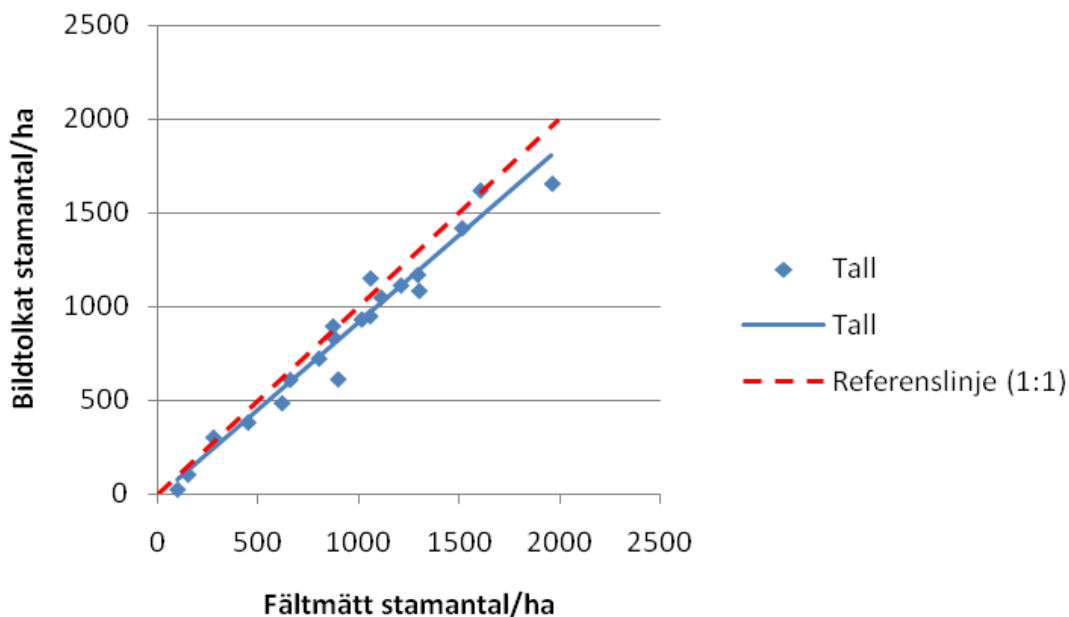
Tabell 3. Systematisk skillnad mellan skattad och fältmätt grundtytevåg medelhöjd (\bar{d}_{gv}) och övre höjd (\bar{d}_{oh}) med tillhörande medelfel ($se(\bar{d})$), standardavvikelse (s_d) samt differensernas min- och maxvärden i decimeter. Inom parantes redovisas värdet i procent av den fältmätta höjden

Variabel	Syst. skillnad (dm)	Medelfel (dm)	Standardavvikelse (dm)	Min (dm)	Max (dm)
\bar{d}_{gv} laser-fält	-5,27 (3,7)*	1,45 (1,0)	6,31 (4,4)	-16,33 (11,5)	3,35 (2,4)
\bar{d}_{oh} laser-fält	-1,9 (1,2) ^{e.s.}	2,02 (1,3)	8,79 (5,7)	-19,37 (12,6)	9,87 (6,4)

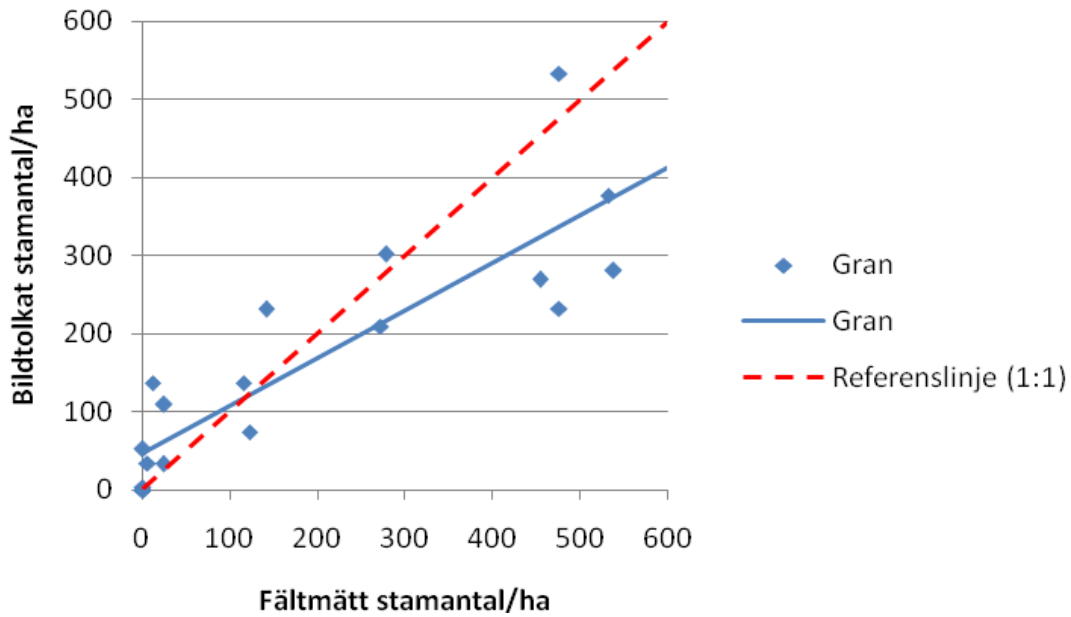
Signifikansnivåer: e.s. = ej signifikant ($p > 0,05$); * = signifikant ($p \leq 0,05$).

Stamantal

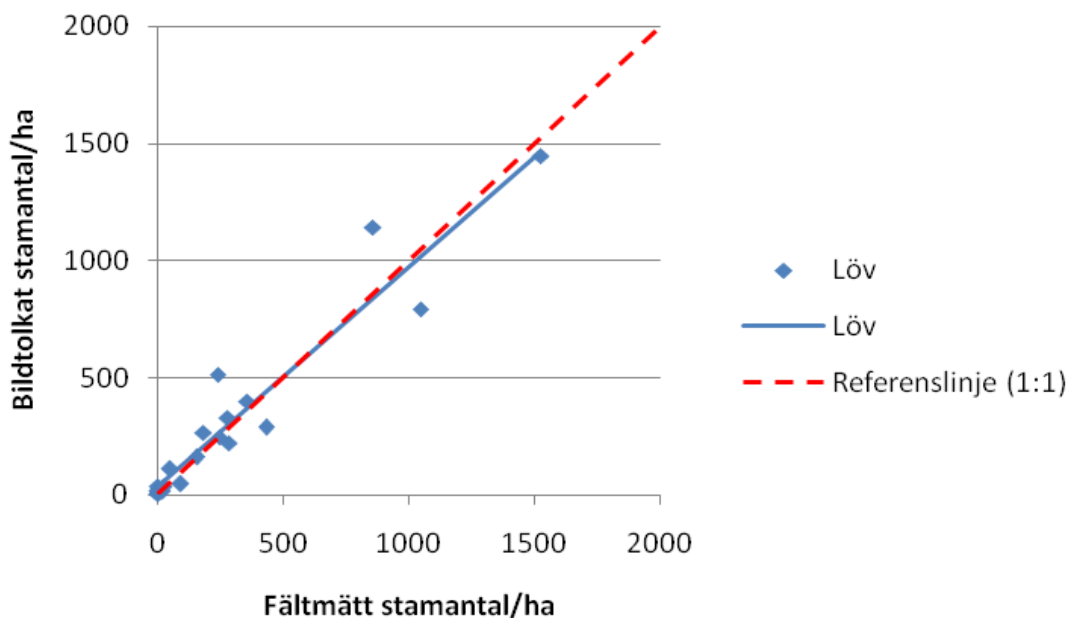
I Figur 6-9 jämförs bildtolkade och fältmätta stamantal. Figur 6 visar att uppskattningen av antalet tallar följer referenslinjen väl, dock ger bildtolkningen ett något lägre stamantal för tall jämfört med fältinventeringen. Som framgår av Figur 7 ökar det systematiska felet för gran med ökat stamantal. Figur 8 visar att skattningen för löv följer referenslinjen väl men spridningen förefaller vara stor. För det totala stamantalet per hektar ökar underskattningen vid ökat stamantal.



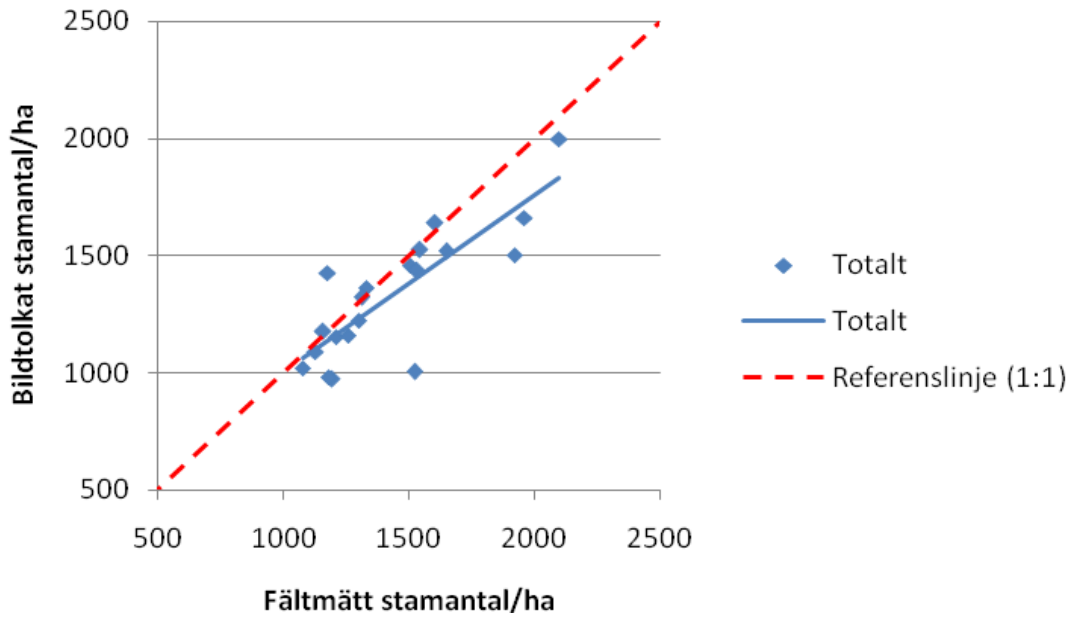
Figur 6. Bildtolkat stamantal per hektar jämfört med fältmätt stamantal per hektar för tall.



Figur 7. Bildtolkat stamantal per hektar jämfört med fältmätt stamantal per hektar för gran.

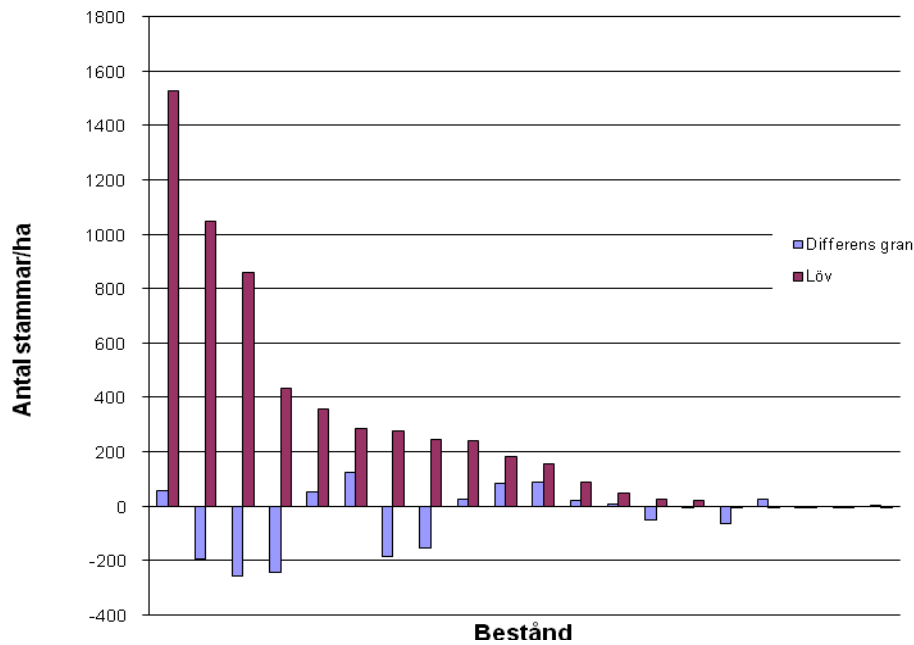


Figur 8. Bildtolkat stamantal per hektar jämfört med fältmätt stamantal per hektar för löv.



Figur 9. Bildtolkat stamantal per hektar jämfört med fältmätt stamantal per hektar för totalt stamantal.

Figur 10 visar en tendens till att underskattningen av antalet granstammar i bilderna ökar med ökat antal lövstammar. Tendensen förekommer inte för något av de andra trädslagen.



Figur 10. Differensen mellan fältmätt och bildtolkat antal granar per hektar i förhållande till totala antalet lövstammar.

I Tabell 4 redovisas differenserna mellan bildtolkade och fältinventerade stamantal uttryckt i stammar per ha och procent av fältinventerat stamantal. Antalet stammar underskattades för alla trädslag utom för löv, där stamantalet överskattades med i medeltal 15 stammar per ha. Det högsta procentuella medelfelet erhöles för gran (\bar{d}_{gran}).

I min- och max kolumnerna redovisas de största under- respektive överskattningar som gjorts i ett enskilt bestånd.

Det parade t-testen visar att det förekommer en systematisk skillnad mellan inventeringsmetoderna för antalet tallstammar per hektar och totalt antal stammar per hektar ($p \leq 0,05$). För antalet gran- och lövstammar var skillnaden inte signifikant.

Tabell 4. Systematisk skillnad mellan bildtolkat och fältmätt stamantal, medelfel ($Se(\bar{d})$), standardavvikelse (s_d), differensernas min- och max-värden samt totalt stamantal enligt fältinventeringen fördelat på trädslag (st/ha). Inom parantes redovisas värdet i procent av det fältmätta stamantalet per hektar.

Variabel	Syst. skillnad (st/ha)	Medelfel (st/ha)	Standardavvikelse (st/ha)	Min (st/ha)	Max (st/ha)	Totalt fältskattat stamantal (st/ha)
\bar{d}_{tall}	-84,6 (-9,0)*	21,9 (2,3)	97,9	-304,6 (-32,4)	94,0 (10)	940
\bar{d}_{gran}	-33,0 (-16,2) ^{e.s.}	25,4 (12,4)	113,4	-257,5 (-126,2)	124,1 (60,8)	204
$\bar{d}_{löv}$	15,4 (5,3) ^{e.s.}	26,5 (9,1)	118,6	-253,0 (-87,3)	285,0 (98,3)	290
\bar{d}_{tot}	-102,1 (-7,1)*	38 (2,7)	170	-520,1 (-36,3)	249,9 (17,4)	1434

Signifikansnivåer: e.s. = ej signifikant ($p > 0,05$); * = signifikant ($p \leq 0,05$).

Diskussion

För skillnaden mellan laserskattade och fältmätta värden var standardavvikelsen 6,3 decimeter för grundtevägd medelhöjd och 8,8 decimeter för övre höjd. Dessa resultat är något bättre än de resultat som Naasset (2002) redovisar för yngre bestånd i sin studie, där standardavvikelsen var 8,7 decimeter för grundtevägd medelhöjd och 13,3 decimeter för övre höjd.

Att skattningen av såväl grundtevägd medelhöjd som övre höjd utifrån laserdata systematiskt är lägre än de fältmätta höjderna är svårt att förklara. Till viss del kan detta bero på att för få provtytor använts för att ta fram höjdfunktionen. Dessutom är det troligt att en laserprofil per bestånd inte räcker för att fånga upp den höjdvariation som finns inom beståndet, framförallt med avseende på de högre träden. En annan faktor som kan ha påverkat skattningsresultaten är längden på de laserprofiler som kopplats till fältytorna. I studien användes 30 meter långa laserprofiler. Längden valdes subjektivt utifrån kriteriet att använda en så lång laserprofil som möjligt för att på bästa sätt matcha fältprovtytans storlek (10 m meters radie). Det är också troligt att höjdskattningarna kan förbättras genom att inkludera fler oberoende variabler i funktionerna, t.ex. fler höjdpercentiler eller mått som beskriver spridningen för laserhöjdvärdena inom respektive provyta.

Eftersom höjdmodellerna tagits fram med hjälp av fältdata från samma bestånd som använts vid utvärderingen vore det intressant att testa modellerna på ett separat stickprov av väl inmätta bestånd.

Eftersom tall är det dominerande trädslaget i de flesta av undersökningens bestånd kan orsaken till de totalt sett goda höjdskattningarna delvis förklaras med att välslutna homogena bestånd med ett apikalt växtsätt och begränsad underväxt är ideala för mätning av trädvariabler med laserteknik (Nelsons et al., 2006). Detta kan innebära att modellen inte skulle fungera lika bra i icke talldominerade bestånd. Eftersom höjdmodellen i huvudsak är baserad på talldominerade bestånd så kanske den också ger sämre resultat i de få avvikande bestånden. Detta skulle kunna undvikas genom att ta fram och använda olika höjdfunktioner för olika trädslag

Vid stamräkningen i flygbilderna räknades de träd vars groningspunkt var inom respektive ruta vilket var svårt att se i de fall där stammen var dold under kronan. Detta var framförallt svårt för lövträd och träd nära bildcentrum. I utkanten av bilderna var det viktigt att vara noggrann med att upptäcka träd där bara en del av stammen var med i bilden. Den systematiska underskattningen av antalet tallstammar med i genomsnitt 9 % av det fältmätta totala stamantalet beror troligen på en kombination av att undertryckta träd döljs under större trädkronor och att mindre träd ofta döljs bakom andra träd i bildens utkant.

Att underskattningen för tall var betydligt mindre än för gran kan bero på tallens växtsätt som gör att det inte är lika vanligt med tallar som döljs av andra träd eller annan vegetation, vilket ofta är fallet för gran. För gran överskattades stamantalet vid låga tätheter och underskattas vid höga. Överskattningen vid låga stamantal är svår att förklara, men kan bero på slumpfel eftersom fältytorna inte sammanfaller med de rutor som stamräknats i bilderna. Dessutom täckte rutorna en större del av beståndet än fältytorna vilket gjorde det troligare att några granar skulle komma med även om stamantalet var väldigt lågt. Underskattningen vid höga stamantal är däremot naturlig eftersom det finns stor risk att missa de mindre granarna som befinner sig under framförallt lövträd. Att hitta granarna i bilderna är också svårt och kräver noggrannhet. Det är sällan hela granar syns utan tolkningsarbetet får inriktas mot att identifiera det karakteristiska taggiga mönster granarna uppvisar, vilket medför att vissa granar missas.

Vid skattningen av stamantalen för lövträd är det väldigt svårt att i bilderna avgöra hur många stammar det är vid marken under ett tätt krontak av löv. Här har nog bildtolkarens "magkänsla" stor betydelse. Tolkningen av antalet lövstammar blir troligen bättre om bildtolkaren besöker ett antal lövbestånd inom det aktuella området innan tolkningen genomförs.

Underskattningen av det totala stamantalet tenderar att öka vid höga stamtätheter. Detta kan åtminstone delvis förklaras av att antalet granstammar ofta är relativt högt i dessa bestånd och att granantalet underskattas vid höga stamtätheter.

Slutsatser

För totalt stamantal per hektar och trädslagsblandning ger det arbetssätt som beskrivs i denna studie en bra skattning oavsett beståndens karaktär. Det finns ingenting som tyder på att de resultat som uppnåtts i studien inte skulle kunna upprepas i andra ungskogar med liknande förutsättningar gällande stamantal och trädslagsblandning. Tidsåtgången för att manuellt räkna stammarna i bilderna har med det beskrivna arbetssättet varit ca 30-40 minuter per bestånd, men det är stora skillnader mellan bestånden beroende på hur många bilder per bestånd som räknas. Vid användning av metoden i praktisk skala är det troligt att antalet stamräknade bilder kan minskas i homogena bestånd.

Höjduppskattningarna från den profilerande lasern har gett relativt bra resultat. Eftersom den funktion som tillämpats på laserdata har tagits fram med hjälp av fältdata från de bestånd som inventerats finns det en osäkerhet över om modellen kan användas med samma resultat i andra ungskogar. Ett sätt att förbättra höjdsfattningarna är att använda olika höjdfunktioner beroende på trädslagsblandning och stamantal.

Det finns stora möjligheter att använda sig av den föreslagna metoden för datainsamling inför en gallringsplanering. Det finns även stora möjligheter att utveckla metoden för att ytterligare förbättra och förenkla planeringsarbetet. Om planeraren tillsammans med låghöjdsfotografierna får se ett ortofoto som täcker hela beståndet kan han/hon genom att jämföra de detaljrika låghöjdsfotografierna med det översiktliga ortofotot bilda sig en god uppfattning om vad skillnaderna i ortofotot betyder i verkligheten, redan innan ett eventuellt fältbesök.

Framtiden

Det pågår forskning och utveckling av metoder för att i flygbilder automatiskt räkna antalet stammar. Tyvärr har det inte funnits möjlighet att testa någon av dessa metoder i det här arbetet eftersom de fortfarande är under utveckling. När någon av metoderna kan användas med godtagbar noggrannhet kommer det öppna upp för stora tidsvinster. Ett scenario skulle då kunna vara att bedömningen av stamantal och trädslagsblandning sker automatiskt i fotografierna varpå stratumsvisa (skogstypsvisa) regressionsmodeller tas fram för att skatta höjder utifrån laserdata. Resultatet blir då en skattning av stamantal, höjd och trädslagsblandning samt en översikt över beståndet där avvikande delar är utmärkta och beskrivna. Denna översikt borde tillsammans med ett ortofoto kunna utgöra ett bra planeringsunderlag för gallring.

Referenser

- Anon. 1985. Grundbok för skogsbrukare, 1:a upplagan, Skogsstyrelsen. Gummessons Tryckeri AB, Falköping. ISBN 91-85748-43-9.
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1982. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem: Del 1 – Definitioner och anvisningar, Del 2 – Diagram och tabeller. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Lillesand, T.M. & Kiefer, R.W. 2004. Remote Sensing and Image Interpretation. Fifth Edition, pp. 725-738. John Wiley & Sons, Inc., New York. ISBN 0-471-57783-9.
- Lundmark, J-E. 1988. Skogsmarkens ekologi. Skogsstyrelsen, Jönköping. ISBN 91-85748-69-2.
- Naesset, E. 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. Remote Sensing of Environment, vol. 80, pp. 88-99.
- Nelson, R., Hyde, P., Johnson, P., Bomono, E., Imhoff, M., Campbell, R., & Wilson, E. 2007 Investigating Radar-Lidar synergy in a North Carolina pine forest. Remote Sensing of Environment, vol. 110, pp. 98–108.
- Nilsson, M. 1994. Estimation of Tree Heights and Stand Volume Using Airborne Lidar Systems, pp. 9. Rapport 57, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogstaxering, Umeå, Sweden. ISSN 0348-0496.
- Philström, K. 1996. Skogsbrukets handbok. Tapio Uusimaa Oy, Porvoo. ISBN 952-9891-23-7.
- Skogsordlistan. 1994. Sveriges Skogsvårdsförbund och Tekniska nomenklaturcentralen (TNC). TNC publikationer 96. Solna. ISBN 91-7196-096-1.
- Söderström, V. 1971. Ekonomisk Skogsproduktion. LTs förlag. Centraltryckeriet AB, Borås. ISBN 91-36-27512-3.
- Söderström, V. 1981. Ekonomisk Skogsproduktion, Del 3. Beståndsvård. LTs förlag. Centraltryckeriet AB, Borås. ISBN 91-36-01486-9.
- Wulder, M.A. & Franklin, S.E. 2003. Remote Sensing of Forest Environments. Concepts and Case Studies, pp 489-509. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. ISBN 1-4020-7405-0.

Muntliga källor

David Rönnblom, Holmen Skog. 2008.

Bilder

Kallax Flyg AB. 2007.