



Skattningar i gallringsskog med hjälp av flygburen laserskanning -beräkningar med massslutenhet

*Airborne laser scanning data estimates for forests
that are candidates for thinning cuttings
- calculations of volume density*



Martin Sjödin

**Arbetsrapport 304 2010
Examensarbete 30hp D
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Johan Holmgren**

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-304-SE

Skattningar i gallringsskog med hjälp av flygburen laserskanning -beräkningar med massaslutenhet

*Airborne laser scanning data estimates for forests
that are candidates for thinning cuttings
- calculations of volume density*

Martin Sjödin

Examensarbete i skogshushållning med inriktning mot fjärranalys, 30hp
Jägmästarprogrammet
EX0628

Handledare: Johan Holmgren, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys
Examinator: Håkan Olsson, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning, fjärranalys

Förord

Den här studien är ett examensarbete på D-nivå, omfattande 30 ETCS, och är en del av Jägmästarprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. Studien har genomförts i samarbete med Svenska Cellulosa Aktiebolaget, fortsättningsvis förkortat till SCA. Studiens grundläggande syfte var att undersöka ett sätt att använda Lantmäteriets nationella laserskanning till skogsbruksändamål i Norrland.

Under studiens gång har många personer kontaktats i olika sammanhang. Till alla er som på det minsta sätt har varit i kontakt med mig i samband med examensarbetet vill jag som student rikta stor erkänsla. Varje konversation har varit lärorik för mig och därmed bidragit till den grund som studien vilar på.

Jag nämner särskilt följande personer:

- | | |
|----------------|--|
| Håkan Olsson | Håkan har varit examinator för examensarbetet. Håkan har öppnat möjligheten till studien genom att sammanföra mig med andra och tilldela resurser utifrån sin ledarposition. |
| Johan Holmgren | Johan har varit min handledare i examensarbetet. Johan har varit tillgänglig över förväntan och visat ett stort engagemang, både i själva studien och i att förmedla sin kunskap om laserskanning samt dess tillämpning. Utan Johan hade studien inte uppnått den kvalitet som den nu har. |
| Magnus Larsson | Magnus har varit min kontaktperson på SCA. Magnus öppenhet att från SCA:s sida samarbeta med studien har tillgängliggjort nödvändiga resurser och format inriktningen på praktisk tillämpning. |
| Ola Lindgren | Ola har tillhandahållit utrustning för fältinventering. Stödet som Ola gav i samband med fältinventeringen var enastående bra. Olas erfarenhet av fältarbete och behandling av fältdata har medfört hög kvalitet på hela fältinventeringen. |
| Sören Holm | Sörens kunskap i regressionsanalys och statistik har tillsammans med hans engagemang utgjort en viktig del i studien. |

Sammanfattning

Lantmäteriets produktion av en ny nationell höjdmodell medför att laserdata, som också kan användas för skattningar av skogliga variabler, blir tillgängligt över nästan hela Sveriges landyta. Skogsbruket har behov av att använda en fjärranalysmetod för att bland annat kunna identifiera den skog som ska gallras. I studien kombineras laserdata från Lantmäteriets höjdmodell tillsammans med georefererade provytor i fält för att skatta massaslutenhet och höjd i skog som kan vara aktuell för gallring. Dessa variabler används också för att skatta volym och grundyta. Provytorna i fält utgör referens i bildandet av regressionsfunktioner som används i beräkningar över större områden. I de beräknade områdena dominerar trädslagsfördelningen av tall eller contorta. Beräkningarna utförs i rasterformat där varje rastercell får ett värde som motsvarar skattat värde på grundyta, höjd, massaslutenhet och volym. Rastren kan sedan användas för att identifiera områden som kan vara lämpliga för gallring utifrån skogsägarens kriterier. Resultaten visar på hög noggrannhet i skattningarna. Den relativa standardavvikelsen för skattningarna inom provytorna var 5,2 % för grundytavägd höjd, 5,5 % för skogens höjd samt mellan 15 – 16 % för grundyta, massaslutenhet och volym. Med anledning av den höga noggrannhet som skattningar med hjälp av laserdata kan ge bör denna fjärranalysmetod vara till mycket stor nytta inom skogsbruket.

Nyckelord: Fjärranalys, Gallring, Lantmäteriet, LiDAR, NNH.

Summary

This master's thesis is a remote sensing study of an area-based method used to detect forest in need of thinning by use of laser data and field samples. Only pine-dominated forest has been included in the study and height limits were set to match empirical restrictions. The study area was in the municipality of Älvsbyn (Latitude 65° 40' N, Longitude 21° 00' E), in northern Sweden.

The Swedish authority Lantmäteriet is currently laser scanning most parts of Sweden, providing new opportunities and applications. The primary aim of the national laser scanning is to create a new elevation model, useful in consequence analysis of climate changes. The laser data are, therefore, small footprint with 0.5 – 1 returns m⁻² and classed into ground, water or unknown. However the opportunity in question is that the same laser data may also be useful for measuring forest, as shown in this study. The use of these laser data may be advantageous for forestry since the data are provided to the public at a low cost.

The direction of this study that differs from other laser studies is the use of volume density (in Swedish, "massaslutenhet" ;Skogsord 1983) as a variable to describe the forest. If volume density and height of the forest are known, the basal area and volume can be calculated as well. These connections were founded by Jonsson (1914) and have been used for forest estimation based on aerial photos (Åge 1983). Volume density index may also be a useful variable in deciding whether to thin the forest or not.

Raster images of basal area, height, volume density, and volume were created over the study area using estimations based on regression analysis. The accuracy was high inside the field samples and over fitting could be rejected by cross validation. A model using the raster images were created in the program ArcGIS to enable a user to decide what kind of forest to identify for thinning operations. The output from this model was compared and evaluated with an existing stand registry.

To summarize, this study manifests that low pulse density laser data can be used successfully to find and measure pine-dominated forest in need of thinning operations. The procedure described in this study may also be useful for detecting thinning for other types of forests as well.

Innehållsförteckning

FÖRORD	2
SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
INLEDNING	6
Bakgrund	6
Mål	8
MATERIAL & METODER	9
Studieområde	9
Fältdata	9
Inventeringsmetod	9
Positionsbestämning	9
Utläggning och inventering	10
Databehandling	11
Urval av provytor	12
Datas karaktär	12
Laserdata	15
Ingångsdata i studien	15
Databearbetning	15
Framtagning av funktioner	17
Regressionsanalys	17
Korsvalidering	18
Volym och grundyta	18
Beräkning av möjliga områden för gallring	18
Beräkningar med massaslutenhet	19
RESULTAT	20
Skattningar i provytorna	20
De beräknade områdena jämfört med beståndsregistret	23
DISKUSSION	25
REFERENSER	28

Inledning

Bakgrund

Lantmäteriet har fått uppdrag av Regeringen att skapa en ny nationell höjdmödel, efter ett betänkande av Klimat och sårbarhetsutredningen (2007), för att underlätta konsekvensanalyser av klimatvariationer i Sverige. Höjdmödeln, nedan benämnd NNH, skapas med hjälp av flygburen laserskanning vars huvudsakliga syfte är att identifiera marken, utan hänsyn till vegetationen (Lysell 2010). Dock är det även möjligt att använda laserdata för fjärranalys av skog. Laserdata kan därför ses som en för skogsbruket användbar biprodukt från NNH. I takt med att laserdata tillgängliggörs för allmänheten skapas därmed ett unikt tillfälle för skogsägare att få en bättre bild av sitt skogsinnehav. Detta förutsatt kännedom om samband mellan laserdata och den skog som ska analyseras. Laserdata till NNH består av en stor mängd punkter med attributdata, punkterna är positionerade i plan och höjd. Varje punkts position utgår från en laserstråles reflektion på mark, vegetation eller annat föremål (Anon 2010). Laserdata avbildar på så sätt ett skannat område inklusive vegetation vilken ofta är skog. Sedan mitten av 1990-talet har olika studier genomförts i Norden för att undersöka möjligheten att med hjälp av laserskanning skatta skogliga variabler som exempelvis medelhöjd, grundyta, volym, diameter och grönkrongräns. Standardavvikelseerna för dessa skattningar har ofta varit relativt låga, i klass med objektiv fältinventering, speciellt för olika höjdmått (Næsset m.fl. 2004). Principen för skattningarna är att karaktären på laserdata jämförs med känd skog för att påvisa samband däremellan. Vanligtvis används data från fältinventerade provtytor som referens för skogens egenskaper, men data från skördare har också studerats (Larsson 2009).

Generellt sett finns det två inriktningar på flygburen laserskanning. Vid "single tree – metoden" används i regel laserdata med hög täthet, ungefär 10 laserpulser m^{-2} vilket medför att enskilda träd kan identifieras (Hyypä mfl. 2001). För varje enskilt träd kan variabler som höjd, volym och kron diameter skattas för att sedan summeras på beståndsnivå. Vid tillgång till glesare laserdata blir enskilda träd svåra att identifiera (Holmgren 2004), då kan istället "area – metoden" tillämpas. I den baseras beräkningarna på skogens egenskaper inom hela provtytor som inventeras och georefereras i fält. Utifrån provtytor som vanligen tillhör ett visst stratum används empiriska samband mellan fältdata och laserdata till den önskade skattningen. Sambanden kan därefter appliceras inom en behandlingsenhet (Næsset 2002). En variant på "area – metoden" är att inte använda empiriska samband mellan fältdata och laserdata. I stället kopplas laserdata till ett större antal provtytor i fält och tillsammans med spektralt data från flygbilder väljs de provtytor som mest liknar den aktuella ytan. Metoden som kallas k-MSN möjliggör att även trädslagsspecifika data skattas (Packalén mfl. 2007). För att metoden ska vara användbar

krävs ett stort antal provytor i fält, 400 – 500 stycken inom ett beräkningsområde¹, och att laserdata kompletteras med spektralt data från flygbilder.

Det svenska skogsbruket har utifrån gällande lagstiftning ingen gräns för hur tät en skog får vara eller att den måste avverkas före en viss ålder (SFS 1979:429). Skogsstyrelsen som är förvaltningsmyndighet för frågor om skogsbruket (SFS 2009:1393) ställer därmed inget krav på att röjning, gallring eller någon annan form av avverkning måste utföras. Därför ligger beslut om gallring är lämpligt helt hos skogsägaren.

Gallringsförsök i Sverige har visat att gallring inte är en given åtgärd i all typ av skog. I vissa fall kan ogallrad skog producera högre värde på gagnvirket jämfört med gallrad skog. Dock påpekas att självgallring kan leda till lägre andel gagnvirke i ogallrad skog när tidpunkten för slutavverkning närmar sig. Försöken visar också att virkesuttag kan ske utan att beståndets volymtillväxt minskas nämnvärt (Nilsson mfl. 2010). En av anledningarna till att gallra skog är att skörda en del av träden innan de självgallras (Wallentin, 2007; Agenstam, 2009). Med gallring kan också en del av skogsproduktionen utnyttjas långt före skogens slutavverkningstidpunkt.

Åldersklassfördelningen i SCA:s skogsinnehav är ojämn med en stor andel skog i ålderskategorin 21 – 50 år. För att i framtiden kunna leverera ett jämnt virkesflöde måste skörden av dessa skogar spridas över tiden. Därför behöver en viss andel av skogen gallras så att tiden för slutavverkning kan senareläggas utan att riskera hög självgallring och så att en del av virkesutfallet sker i nutid². Om målet med skogsskötseln är hög volymproduktion ska skogsägarens eventuella gallringsbehov alltid utföras med början i den tätaste skogen. I en tät skog kan virkesuttag ske utan att riskera betydande tillväxtförluster³. Dock ökar risken för vindskador om gallring utförs sent (Persson 1975) vilket innebär att en maximal höjd för förstagallring bör antas.

För att få ett beslutsunderlag till gallring behöver data om skogsinnehavet insamlas. En vanligt förekommande insamlingsmetod har varit den så kallade LMV-metoden (Åge 1983). Med den sker beståndsindelning och preliminär skattning av skogens beskaffenhet med hjälp av flygfoton, skogens höjd mäts med stereoteknik och tillsammans med visuellt bedömd massaslutenhet skattas även grundyta och volym. I ett senare steg besöks bestånden i fält där uppgifterna kontrolleras och justeras subjektivt. Kombinationen av flygbildstolkning och markbesök ger ofta bra resultat men det är starkt beroende av hur väl förrättningsmannen utför arbetet (Ståhl 1992). Data från inventeringen med LMV-metoden har sedan använts för att rangordna bestånd efter skattad grundyta och höjd. Potentiella gallringsobjekt väljs för ytterligare inventering, ibland med hjälp av helikopter. Från luften kontrolleras trädslag, grundyta och stamantal ytterligare en gång. Vid behov kan även landstigning ske för extra kontrollmätningar på marknivå (Johansson 2008).

Eftersom efterfrågat beslutsunderlag gällande gallring syftar till att beskriva skogens täthet och höjd kan laserdata från NNH vara en utmärkt alternativ informationskälla. Detta

¹ Aasland, T. Business Area Director, Forestry. Blom Geomatics AS. Oslo, Norge. Personligt möte. 2010-12-01.

² Larsson, M. Skogshushållningschef, Stab skogsvård. SCA Skog AB. Sundsvall. Telefonsamtal. Augusti 2010.

³ Nilsson, U. Professor, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet. Telefonsamtal. September 2010.

grundat på att laserdata från NNH består av höjdpositionerade punkter som fördelas olika beroende på vegetationens täthet och höjd. En skogs täthet och höjd behöver dock relateras till ett eller flera kända mått för att kunna beskrivas. Ett vanligt mått att beskriva skogens täthet med är grundyta, vilken tillsammans med skogens höjd och ålder är ingångsvariabel i skogsstyrelsens gallringsmallar. Skogsstyrelsens gallringsmallar rekommenderar en viss grundyta i skogen före och efter gallring beroende på dess höjd samt ståndortsindex (Anon 1985). Underlaget till rekommenderad grundyta är dock okänt eftersom det PM som gallringsmallarna refererar till inte har blivit skrivet⁴. För tillämpning med laserskanning uppkommer ytterligare en nackdel eftersom det är svårt att skatta skogens ålder och därmed ståndortsindex med laserdata⁵. Därtill är gallringsmallarna framtagna för att vara ett stöd till subjektiv gallringsinventering (Anon 1985) och därmed inte ett beslutsunderlag vid enbart fjärranalys. Hursomhelst är det tänkbart att avgöra gallring enbart utifrån grundyta tillsammans med höjd, men för att jämföra relativ täthet i skog med olika höjd måste också olika grundyta antas vilket gör saken mer komplex. Ett alternativ är att använda variabeln höjdkvadratsumma, vilken skrivs $\sum H^2$ och är den kvadrerade övre höjden multiplicerad med stamantalet. Dess tillämpning med laserdata har studerats av Halvarsson (2008). Studien visade samband mellan $\sum H^2$ och bedömt gallringsbehov, men tillämpningen kan ifrågasättas. Eftersom variabeln är kvadratsumman av alla enskilda trädhöjder är den logiskt sett beroende av stamantalet. Just stamantalet har visat sig vara en variabel som är svår att skatta med laserdata (Næsset 2002, 2004). Troligen beror det på att från en vertikal vinkel är sällan själva stammen exponerad, istället är det grenarna som syns och de kan täcka en viss yta oberoende av stamantal. En variabel som varken är beroende av stamantal, bonitet eller ålder är massaslutenhet. Massaslutenhet är en kvot som speglar befintlig volym i en skog jämfört med den volym som en fullsluten skog hade hållit vid samma höjd (Jonsson 1914). En fördel med variabeln är att skogens höjd påverkar hur stor volym som ger en viss massaslutenhet. Volymen är i sig beroende av grundytan vilket innebär att en högre skog också behöver ha en högre grundyta för en viss massaslutenhet. Därför kan massaslutenhet vara ett bra mått för att avgöra beslut om gallring när skogens slutenhet eller täthet är i fokus och olika områden ska jämföras. Vid kännedom om skogens massaslutenhet tillsammans med dess höjd kan även variabler som grundyta och volym beräknas. Dessa samband är de som tillämpats i den tidigare nämnda LMV-metoden.

Mål

Målet med studien är att med hjälp av laserdata från Lantmäteriets nationella laserskanning tillämpa "area-metoden" för att skatta höjd och massaslutenhet i gallringsskog. Samt att utifrån dessa variabler beräkna grundyta och volym i samma område.

⁴ Bäcké, J-O. Skoglig handläggare, Enheten för skogspolicy och analys, Skogsstyrelsen. Telefonsamtal. September 2010.

⁵ Heimdal - Iversen, E. Tjänsteman, COWI AS. Kongsberg, Norge. Personligt möte. 2010-12-01.

Material & Metoder

Studieområde

Det geografiska läget för det studerade området är SCA:s skogsinnehav i trakterna öster om Älvsbyn (Latitud 65° 40' N, Longitud 21° 00' E), Norrbotten. Studieområdet omfattar drygt 20 000 ha varav nära 6 000 ha består av skog i åldersintervallet 21 – 50 år, vilken i medeltal har en trädslagsfördelning på 56 % tall (*Pinus sylvestris*), 24 % contorta (*Pinus contorta*), 11 % gran (*Picea abies*) samt 9 % lövträd (Anon). Rådande skogsbruksmetoder har medfört att i stort sett alla bestånd uppkomna efter mitten av 1900-talet är likåldriga och i huvudsak enskiktade (Hagner 2005). Detta gäller också för de skogsområden som denna studie avser. Enbart skog vars grundytta till minst 70 % består av tall eller contorta har inkluderats i studien.

Fältdata

Inventeringsmetod

Inventeringen av referensytor i fält har genomförts enligt Indelningpaketets (Jonsson mfl. 1993) standardinstruktion för fältinventering (Lindgren 2009). På provytor med 8 meters radie registrerades brösthöjdsdiameter och trädslag för alla levande träd grövre än 5 cm i brösthöjd. Även klenare träd inkluderades om de av inventeraren bedömdes vara vitala, fristående och kunna växa till massavedsdimension. Bland de levande träden slumpades provträd ut för vilka även höjd och ålder registrerades, i medeltal 3,8 träd per provyta. För de två grövsta träden inom 10 meter från provytecetrum registrerades höjd för beräkning av skogens övre höjd. Datasamlingen genomfördes med hjälp av Juniper Allegro CE handdator som var kopplad till Haglöf Mantax Digitech dataklave. I handdatoren användes ett standardprogram för Indelningspaketets inventeringsrutin. För mätning av trädhöjd och provyteradie användes Vertex III från Haglöf. Åldern mättes genom att räkna årsringar med hjälp av tillväxtborr. Inom provytan bestämdes också ståndortsboniterat ståndortsindex (Hägglund mfl. 1982).

Positionsbestämning

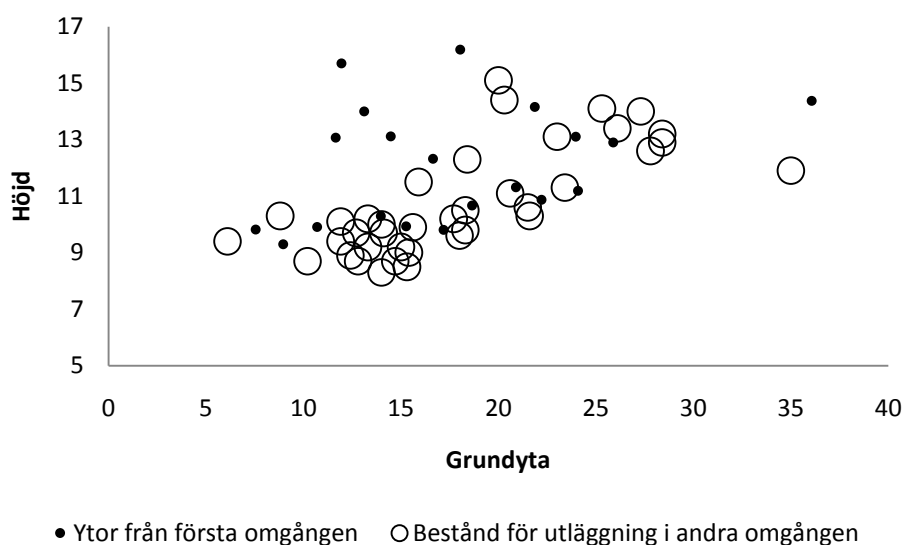
Positionsdata för efterbearbetning av typen L1 1s loggades under minst 20 minuter på varje provyta med Magellan Mobile Mapper CX eller Thales Mobile Mapper Pro. Under denna tid var enheten placerad på ett stativ cirka två meter över marken. Efterbearbetningen gjordes med Mobile Mapper Office v. 3.40 mot Swepos referensstation i Älvsbyn som låg i intervallet 6 – 23 km från provytorna. För att upptäcka eventuella förväxlingar av provytornas identitet har realtidskoordinater för varje provyta registrerats i fält och sedan jämförts med de efterbearbetade positionsberäkningarna.

Utläggning och inventering

Utläggning och inventering av provytorna har genomförts vid två tillfällen med olika stratifieringar och utläggningsmetoder men med samma inventeringsmetod. Sammanlagt har 110 provytor inventerats.

Den första inventeringen genomfördes i början av oktober 2009 oberoende av denna studie och i regi av SCA. Stratum för inventeringen var skog med en registrerad ålder av 21 – 50 år enligt beståndsregistret (Anon). Ett kvadratförband på 1850 meter bestående av klustercentrum lades ut över hela studieområdet. Utifrån varje klustercentrum placerades 4 provytor ut med ett kvadratförband på 150 meter. De provytor som hamnade i bestånd vars registerålder var inom stratumet valdes för inventering, vilket resulterade i 56 provytor fördelade på 21 kluster. Navigering i fält till provytorna gjordes med hjälp av Magellan Mobile Mapper CX eller Thales Mobile Mapper Pro. Vid ankomstlarm i GPS-mottagaren som var inställt på 10 meter från provytecentrum stannade inventeraren i minst 30 sekunder för att få en god positionsbestämning. Därefter mättes det kvarvarande avståndet till provytan med måttband och magnetkompass utifrån GPS-mottagarens position (Lindgren 2009).

Den andra inventeringen genomfördes i mitten av augusti 2010. Stratifieringen till denna omgång utfördes genom utsökning i beståndsregistret (Anon) utifrån olika kriterier till 20 stycken stratum varav det tjugonde tilldelades gallrad skog. För samtliga stratum var kriterierna att registrerad ålder skulle vara 21 – 50 år och att grundtyevägd medelhöjd var 8 – 16 m. Stratum 1 – 19 hade också kriteriet att bestånden skulle vara ungskogstaxerade år 2008 eller senare. De 19 stratum gällande dessa bestånd bestämdes i ett första steg utifrån registrerad grundyta där indelning skedde i 2 m² intervall från en grundyta på 10 m²/ha till grundytan 26 m²/ha. Bestånd med grundyta under 10 m²/ha respektive över 26 m²/ha utgjorde begränsningen för indelningen. Inom intervallen gjordes sedan ytterligare en indelning efter höjd där beståndens medelhöjd utgjorde indelningsgräns, undantaget intervallet grundyta över 26 m²/ha där bestånden ansågs vara för få för ytterligare indelning. För stratum 20 sattes förutom nämnda kriterier också att beståndet skulle vara registrerat i utvecklingsklass 60 vilket innebär utförd gallring enligt beståndsregistret samt att det sammanföll med registret över utförda gallringar (Anon₂). Det senare för att försäkra sig om att inventeringen verkligen planerades till gallrad skog. Stratifieringen till 20 olika stratum gav en god spridning i skogar med olika grundyta och även i höjd för olika grundtyevärden, vilket visas i tabell 1. I medeltal fanns närmare 12 bestånd inom varje stratum varav endast ett fåtal inte hade ståndortsindex angivet med tall eller contorta. Av de 56 provytorna från den första inventeringen kunde 37 av dessa inkluderas efter samma kriterier som bestånden i de olika stratummen med tillägget att det boniterade trädslaget var tall. De stratum där fler än fyra av de befintliga provytorna inkluderades undantogs från denna inventeringsomgång, vilket var tre stycken. Provyteutläggning gjordes genom att bestånden i de kvarvarande 17 stratummen tilldelades ett slumptal för uttagning till område för provyteutläggning. De bestånd i respektive stratum med lägst slumpstal och med angivet ståndortsindex tall eller contorta valdes till område för utläggning av provytorna.



Figur 1. Inventerade provytor från första omgången och bestånd till den andra omgången.
Figure 1. Field samples from the first sample set and selected stands for the second sample set.

I den centrala delen av de utvalda bestånden placerades en punkt ut med hjälp programmet ArcGIS. Punkten utgjorde sedan ett klustercentrum för fyra potentiella provytor vilket sammanlagt medförde totalt 68 potentiella provytor för den andra inventeringsomgången. Provyornas belägenhet sattes till 50 meter från klustercentrum i vardera av de fyra väderstrecken med början åt norr därefter söder, väster och slutligen öster. I fält lokaliserades klustercentrum med hjälp av Magellan Mobile Mapper CX och punkten markerades i terrängen. Utifrån denna punkt utmättes sedan centrum för provytorna med hjälp av magnetkompass. En yta inventerades inte om den hamnade utanför beståndet som utgjorde område för provytorna, eller om det var uppenbart att trädslagsfördelningen inte dominerades av tall eller contorta, eller att provytan saknade träd med brösthöjdsdiameter över 50 millimeter. Om inte minst två ytor kunde inventeras användes klustercentrum som potentiellt provytecentrum för en extra yta. I de fall då det ändå saknades inventeringsbara ytor valdes ett nytt bestånd till att utgöra provyteområde, dock inte om inventeraren kunde finna avsedd skog för ytorna i närområdet i vilken minst två ytor kunde placeras subjektivt. Resultatet av den andra fältinventeringen var att 54 av de 68 potentiella provytorna kunde inventeras.

Databehandling

Fältinventerade data behandlades av OL-Skog i ett rutinprogram för indelningspaketet och följer därmed indelningspaketets generella standard⁶. Under databehandlingen tillväxtjusterades provytorna som inventerades under år 2010 med - 0,9 vegetationsperioder. Från de båda inventeringsomgångarna levererade OL-skog behandlade fältdata i .dbf-format.

⁶ Lindgren, O. Tjänsteman, OL Skogsinventering AB. Östersund. Personligt möte, augusti 2010.

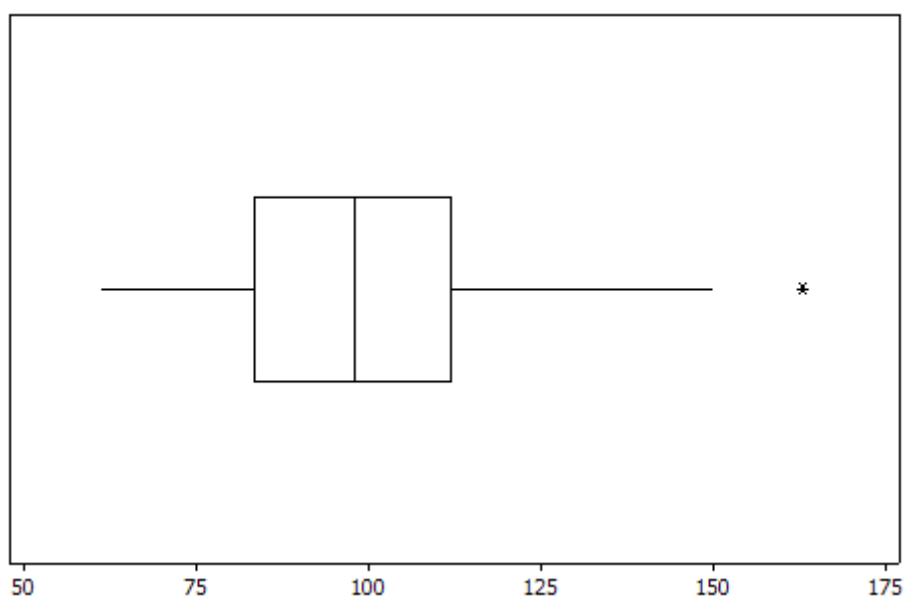
Urval av provytor

Efter genomförd inventering exkluderades en del av de 110 inventerade provytorna från användning i studien. Dessa var de vars grundyta inte utgjordes av minst 70 % tall eller contorta. Trädslagen kunde utgöra denna andel var för sig eller tillsammans. Ytor där gallring utförts exkluderades också. Resultatet var att 85 av de 110 ytorna återstod.

Datas karaktär

De variabler från utvalda provytor som har använts i studien var grundtytvägd medelhöjd, övre höjd, volym samt grundyta. Därtill har massaslutenheten beräknats utifrån provytans grundtytvägda höjd och volym. Provytornas altitud var mellan 28 – 256 meter över havet. Nedan behandlas enbart de utvalda provytorna.

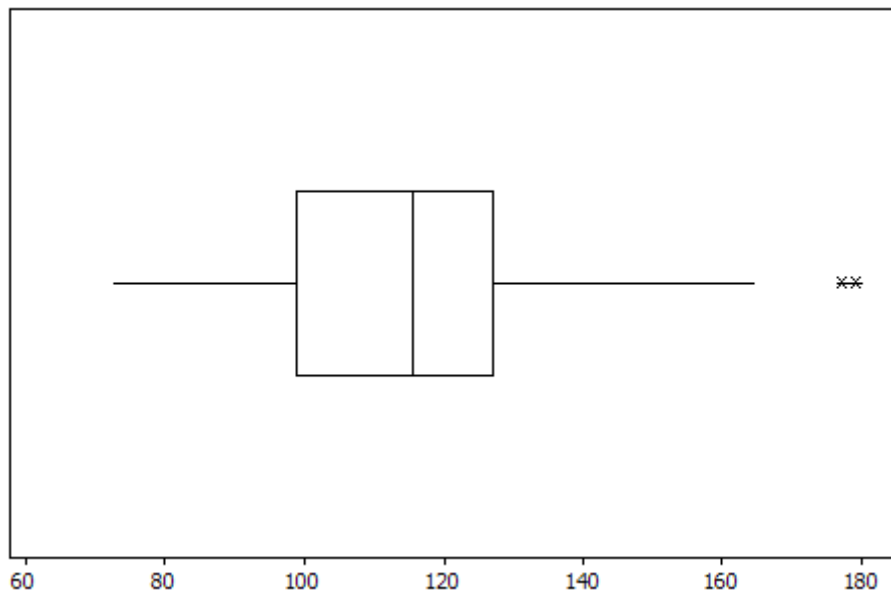
Lådagram visar spridningen i data. Den vertikala linjen i centrum är medianvärde för provytorna och tillsammans med de andra två vertikala linjerna avgränsas kvartilerna i data. De horisontella linjernas yttre gräns på respektive sida är datas minimum och maximum. Eventuellt stjärntecken visar data med stor avvikelse, även kallad uteliggare eller outlier.



Figur 2. Lådagram som visar grundtytvägd höjd i decimeter för provytorna.

Figure 2. Box plot that shows the basal area weighted height in decimeters, for the field samples.

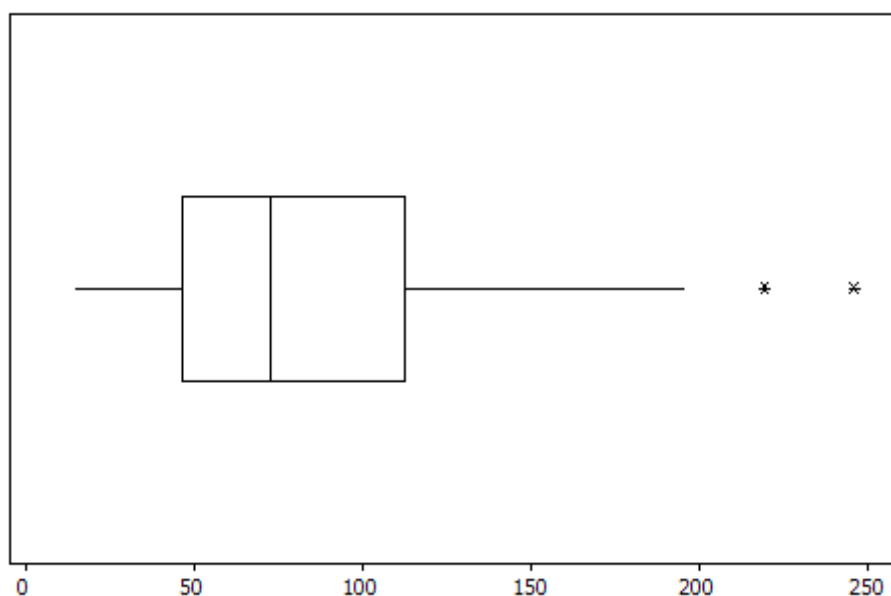
Den grundtyevägda medelhöjden för träden i provytorna hade ett medelvärde på 99 decimeter och en standardavvikelse på 21 decimeter.



Figur 3. Lådagram som som visar övre höjd i decimeter för provytorna.

Figure 3. Box plot that shows the dominant height in decimeters, for the field samples.

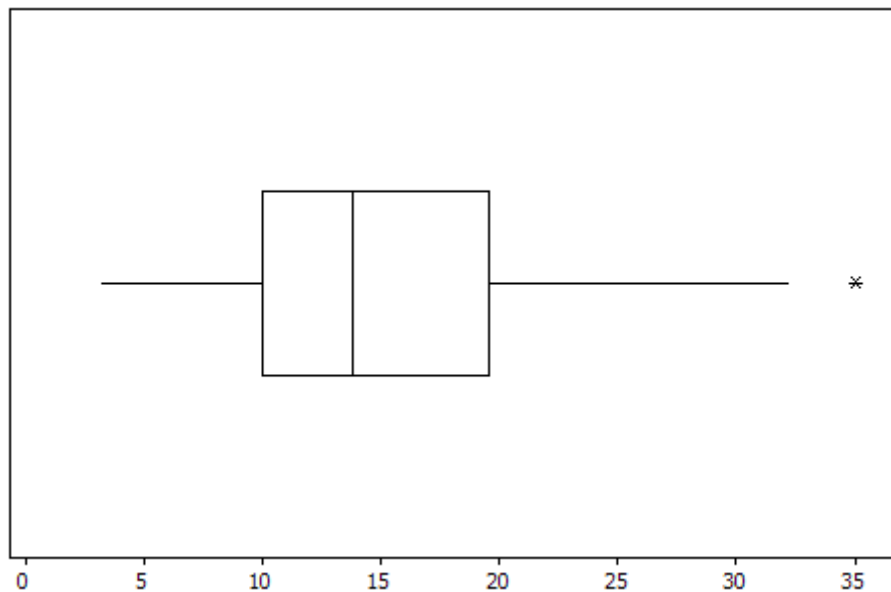
Övre höjd för träden i provytorna hade ett medelvärde på 116 decimeter och en standardavvikelse på 23 decimeter.



Figur 4. Lådagram som visar volym i $m^3_{sk} ha^{-1}$ för provytorna.

Figure 4. Box plot that shows the volume in $m^3_{sk} ha^{-1}$, for the field samples.

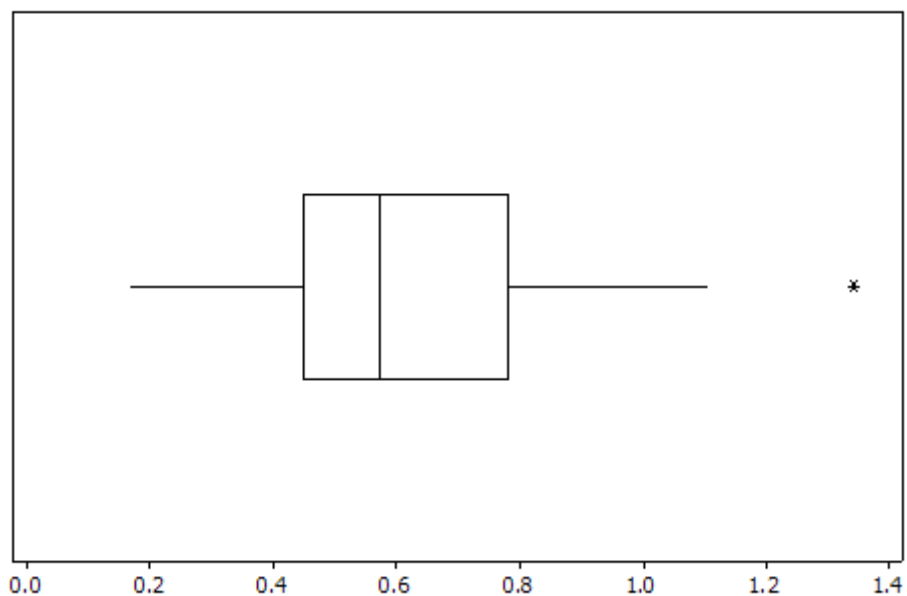
Volymen i provytorna hade ett medelvärde på 84 m³sk ha⁻¹ och en standardavvikelse på 51 m³sk ha⁻¹.



Figur 5. Lådagram som visar grundytan i m² ha⁻¹ för provytorna.

Figure 5. Box plot that shows the basal area in m² ha⁻¹, for the field samples.

Grundytan i provytorna hade ett medelvärde på 15 m² ha⁻¹ och en standardavvikelse på 7 m² ha⁻¹.



Figur 6. Lådagram som visar massslutenheten i provytorna.

Figure 6. Box plot that shows the volume density, for the field samples.

Massslutenheten i provytorna hade ett medelvärde på 0,6 och en standardavvikelse på 0,2.

Laserdata

Ingångsdata i studien

De laserdata som har använts i studien är producerat till den nya nationella höjdmodell som Lantmäteriet skapar. Data täcker ett område på 50 kilometer i nordlig riktning och 25 kilometer i östlig riktning utifrån koordinaterna E 790 000 N 7 280 000 i SWEREF 99 TM.

Tabell 1. Information om laserdata

Table 1. Laser data information

Datum för skanning	21, 22 och 24 Augusti 2009, 10 September 2009
Flyghöjd	2300 meter
Träffyta på mark	0,5 - 1 meter
Höjdnoggrannhet	0,056 meter
Kontrollteantal i höjd	9
Kontrollteantal i plan	6
Klassificering av punkter	01=Oklassificerade, 02=Mark, 09=Vatten
Klassifikationsprogramvara	TerraScan 009. 006
Leveransform	.las-filer
Operatör	Blom
Punkttäthet	0,5 - 1 punkt per kvadratmeter
Referenssystem	Plan: SWEREF 99TM Höjd: RH 2000
Returantal	4
Skanner	Leica ALS 60
Skanningsvinkel	± 20°
Stråkövertäckning	20 %
Övrigt attributdata	Intensitet, Skanningsvinkel

Lantmäteriet utför inte skanningen i egen regi, skanningen upphandlas istället av firmorna Blom, COWI och Finnmap. De tillgängliga laserskannarna är av fabrikat och modell; Leica ALS 50 – II, Leica ALS 60, Leica ALS 60 – II, Optech ALTM Gemini (Anon 2010).

Databearbetning

I databearbetningen har olika program skapade i C# och C++ använts. Programmen har varit tillgängliga inom avdelningen för fjärranalys på institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå.

I det första steget med bearbetningen sorterades las-filerna (Anon 2009) utifrån geografisk position i en kilometer stora kvadrater. Till vare kvadrat skapades en indexfil med koordinater som sedan kunde läsas av andra program för snabb tillgång till data för ett specifikt geografiskt område.

Utifrån provytornas positioner beräknades 51 olika laservariabler inom 8 meters radie så att dessa kunde appliceras till varje provyta.

För det område som sammanföll med SCA:s innehav beräknades sedan samma laservariabler i ett 10 meters raster. Från centrum av varje rasterpixel användes laserdata inom 8 meters radie för att bestämma pixelns värde.

Som markhöjdmodell användes ytan mellan de tre närmsta markklassade laserpunkterna för varje position. I övrigt har alla returerna använts om inte annat är angivet i laservariabelns definition.

Tabell 2. Definition och kommentar till de beräknade laservariablerna

Table 2. Calculated variables from laser data, definitions and comments

Variabel	Definition	Kommentar
Intensitetskvot	Kvot mellan den summerade intensiteten inom ett intervall av relativ höjd och summan av intensitet från alla laserpunkter.	Beräknades för höjderna 10 – 90 % med 10 % intervall.
Intervallkvot	Kvot mellan antalet oklassificerade punkter i ett intervall mellan en relativ höjd till en 10 % högre höjd och det totala antalet.	Beräknades för höjderna 10 – 90 % med 10 % intervall.
Medelhöjd	Medelhöjd över mark för de oklassificerade laserpunkterna.	
Percentiler	Den höjd över mark som en viss procentandel av antalet oklassificerade laserpunkter var belägna under.	Beräknades i intervall om 10 % samt för 95 %.
Proportionskvot	Kvot mellan antalet oklassificerade laserpunkter över en viss relativ höjd över mark och det totala antalet.	Beräknades med höjderna 10 – 60 % med 10 % intervall.
Proportionskvot 1	Proportionskvot med enbart laserpunkter från första returerna.	Beräknades med höjderna 10 – 60 % med 10 % intervall.
Skanningsvinkel	Medeltalet för laserpunkternas registrerade skanningsvinkel i absolut tal.	
Standardavvikelse	Standardavvikelse i höjd mellan laserpunkterna.	
Tröskelkvot	Kvot mellan antalet oklassificerade laserpunkter över en viss höjd och det totala antalet.	Beräknades för höjderna 2, 3 och 5 meter.
Tröskelkvot 1	Tröskelkvot med enbart laserpunkter från första returerna.	Beräknades för höjderna 2, 3 och 5 meter.
Vegetationskvot	Kvot mellan antalet oklassificerade laserpunkter och det totala antalet.	

Framtagning av funktioner

Regressionsanalys

I programmet Minitab 16 användes regressionsanalys för att bilda funktioner som med hjälp av laserdata kunde skatta massaslutenhet, grundtevägd höjd och övre höjd. De data som användes var de utvalda provytorna tillsammans med de beräknade laservariablerna för dessa. Samtliga laservariabler testades mot provytornas fältdata men endast ett fåtal valdes ut för att användas i de slutliga funktionerna. Vid användning av fler laservariabler i funktionerna kunde bättre anpassning till fältdata uppnås. Flertalet laservariabler inkluderades dock inte på grund av risk för överanpassning. Dessutom eftersträvades att inkluderade variabler skulle ha en logisk förklaring till respektive skattad variabel. Regressionsanalysen skedde med manuella metoder där empiriska samband påvisades grafiskt och statistiskt.

De ingående variablernas betydelse för skattningen kunde påvisas utifrån respektive P-värde (Samuels mfl. 2003). Sinus skanningsvinkel i funktionen för massaslutenhet hade ett P-värde som var 0,001, övriga P-värden för inkluderade variabler var 0,000.

Tabell 3. Funktioner framtagna med regressionsanalys

Table 3. Functions from the regression analysis

Skattad variabel	Funktion
Massaslutenhet	$-0,244 + 0,0383 * \text{percentil } 90 + 1,32 * \text{Proportionskvot } 40 - 0,231 * (\text{Sinus} ((\text{Skanningsvinkel} * \Pi) / 180))$
Grundtevägd höjd	$16,3 + 5,23 * \text{percentil } 70 + 4,50 * \text{percentil } 95$
Övre höjd	$21,1 + 4,49 * \text{percentil } 90 + 4,83 * \text{percentil } 100$

I tabell 3 framgår att laservariabler som var beroende av skogens höjd hade stor betydelse för samtliga skattningar. Funktionen för massaslutenhet innehöll därutöver proportionskvot 40 som speglade vegetationens densitet samt sinus absolutbeloppet av skanningsvinkeln. För att beskriva funktionernas anpassning till data från provytorna användes den i regressionsanalysen skattade standardavvikelsen benämnd S, multipla korrelationskoefficienten benämnd R^2 samt residualkvadratsumman benämnd SS_{res} . Dessa visas i tabell 4.

Tabell 4. Beskrivning av funktionernas anpassning till data från provytorna

Table 4. Description of the regression equations adaption to the field samples

Funktion	S	R^2	SS_{res}
Massaslutenhet	0,09597	82,8 %	0,7460
Grundtevägd höjd	5,22654	92,2 %	3415
Övre höjd	6,45315	94,1 %	2240

Korsvalidering

För att bekräfta att ingen överanpassning hade skett i regressionsanalysen korsvaliderades de framtagna funktionerna genom att beräkna kvoten Q. I Minitab kan Q beräknas genom att dividera PRESS-värdet med residualkvadratsumman. En simuleringsstudie av Holm (2008) har visat hur stort medelvärde Q har då överanpassning med säkerhet kan uteslutas. Utifrån detta medelvärde på Q rekommenderas ett maximalt värde för att utesluta överanpassning vilket benämndes G. Värdet på G interpolerades utifrån studiens resultat och jämfördes med värdet på Q för de framtagna regressionsfunktionerna.

Tabell 5. Lägre värde på Q jämfört med G visar att överanpassning kunde uteslutas

Table 5. Smaller value of Q than G rejects over fitting in the regression equation

Testad funktion	PRESS	Q	G
Massaslutenhet	0,8386	1,12	1,20
Grundtevägd höjd	3685	1,08	1,15
Övre höjd	2472	1,10	1,15

Volym och grundyta

Volym och grundyta beräknades utifrån skattningarna av grundtevägd höjd och massaslutenhet. För dessa antogs att skogen enbart bestod av tall eller contorta. Sambanden mellan grundtevägd höjd, massaslutenhet, volym och grundyta redovisas under rubriken – Beräkningar med massaslutenhet.

Beräkning av möjliga områden för gallring

Utifrån rastret med variablerna framtagna i C# och C++ tillämpades funktionerna från regressionsanalysen så att raster med grundtevägd höjd, övre höjd och massaslutenhet kunde beräknas, därmed också volym samt grundyta. Detta gjordes i programmet Erdas Imagine.

De områden i rastren som inte överensstämde med beståndsregistret (Anon) där registrerad grundyta var minst 70 % tall eller contorta, var för sig eller tillsammans, maskerades bort i programvaran ArcGIS. I samma program skapades sedan binära raster utifrån kriterier mot rastren med de skogliga variablerna. Ställda kriterier var ekvivalenta med de som av förrättningsmannen ansågs indikera skog för förstagallring. Därefter multiplicerades de binära rastren med varandra och där samtliga kriterier sammanföll fick den nya rastercellen värdet 1, annars 0 och rastercellen raderades. De kvarvarande rastercellerna med värde 1 omvandlades till polygoner som aggregerades om avståndet mellan dem var kortare än 50 meter och det aggregerade området blev minst 1 hektar. Slutligen användes ett verktyg för att jämna ut de nya polygonernas gränser och inom dessa beräknades medelvärden av rastren som visade de skattade skogliga variablerna, medelvärdena adderades till respektive attributtabell.

Beräkningar med massaslutenhet

Definitionen av massaslutenhet är enligt Jonsson (1914) kvoten mellan skogens befintliga volym i förhållande till volymen i en fullsluten skog med samma grundtevägd höjd. Den fullslutna skogens volym utgår från försöksytor där skogen har ansetts vara fullsluten och beräknas enligt nedan.

$$V_F = T * 6 * H_{gy}^{4/3} + G * 4,2 * H_{gy}^{3/2} + L * 5,7 * H_{gy}^{4/3}$$

V_F = Volym per hektar i fullsluten skog

H_{gy} = Grundtevägd medelhöjd i meter

T = Andel tall

G = Andel gran

L = Andel löv

I studien inkluderades andelen contorta tillsammans tall.

Definitionen av massaslutenhet är följande.

$$M = V_B / V_F$$

M = Massaslutenhet

V_B = Befintlig volym per hektar

Vid känd massaslutenhet, grundtevägd höjd och trädslagsfördelning kan således skogens volym beräknas genom att multiplicera massaslutenheten med den fullslutna skogens volym.

$$V_B = M * V_F$$

Med samma kända variabler har också skogens grundyta beräknats genom att dividera volymen genom grundtevägd höjd multiplicerat med ett formtal. Formtalet bestäms enligt Jonsson utifrån grundtevägd höjd tillsammans med konstanter och absolut formtal för antagen formklass (Jonsson 1911). Inom studien användes formklass 0,65.

$$G = V / (H_{gy} * f)$$

G = Grundyta (m²/ha)

f = Formtal (enligt Jonsson)

Resultat

Skattningar i provytorna

Till provytorna tillämpades formlerna från regressionsanalysen tillsammans med beräkningar med massaslutenhet för att skatta de skogliga variablerna utifrån laserdata. Sedan jämfördes skattningarna med fältdata till respektive provyta. Skattningarnas noggrannhet beskrevs med multipla korrelationskoefficienten, medelfel, medelfelens standardavvikelse, medelfelens relativa standardavvikelse, root mean square error och relativ root mean square error.

Tabell 6. Definition av använda mått för beskrivning av skattningarna

Table 6. Definition of variables used to describe the measurements

Beskrivning	Benämning	Förklaring
Multipel korrelationskoefficient	R ² %	$1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right)$
Avvikelse	E	$y_i - \hat{y}_i$
Medelavvikelse	ME	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)$
Medelfelens standardavvikelse	SD	$\sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}$
Relativ standardavvikelse	SD %	$(SD / \bar{y}) * 100$
Root mean square error	RMSE	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
Relativ root mean square error	RMSE %	$(RMSE / \bar{y}) * 100$

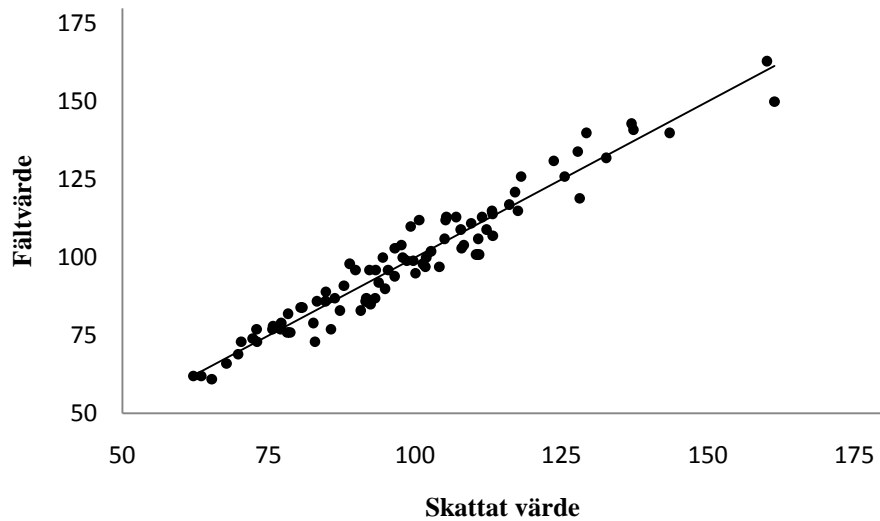
Tabell 7. Beskrivning av skattningarnas noggrannhet i provytorna

Table 7. Description of the measurements adaption to the field samples

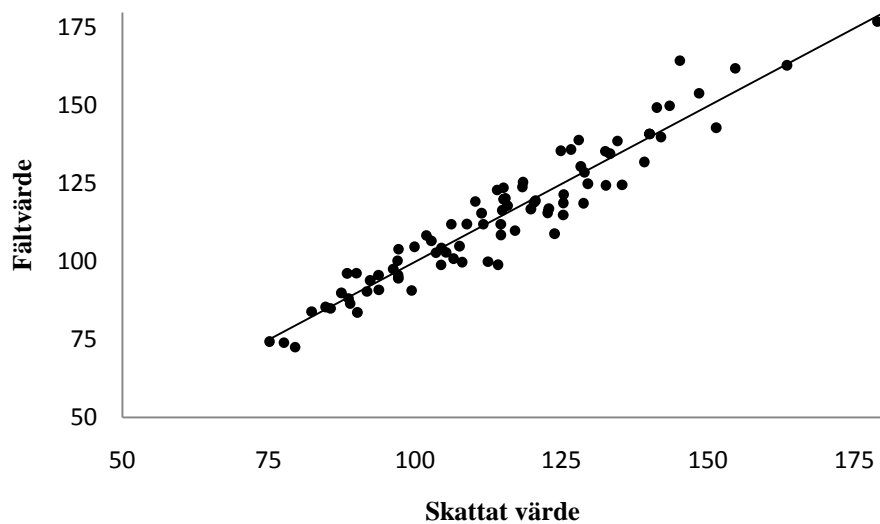
Skattad variabel	R ² %	ME	SD	SD %	RMSE	RMSE %
Grundtevägd höjd (dm)	93,7	0,08	5,16	5,2	5,13	5,2
Övre höjd (dm)	91,5	-0,09	6,34	5,5	6,34	5,5
Massaslutenhet	79,2	0,00	0,09	15,6	0,09	15,5
Grundyta (m ² /ha)	87,9	-0,48	2,23	15,1	2,27	15,4
Volym (m ³ _{sk} /ha)	92,6	0,35	13,4	16,0	13,3	15,9

Värdena i tabell 7 visar att samtliga skattningar är tillförlitliga inom provytorna, särskilt skattningarna av skogens höjd.

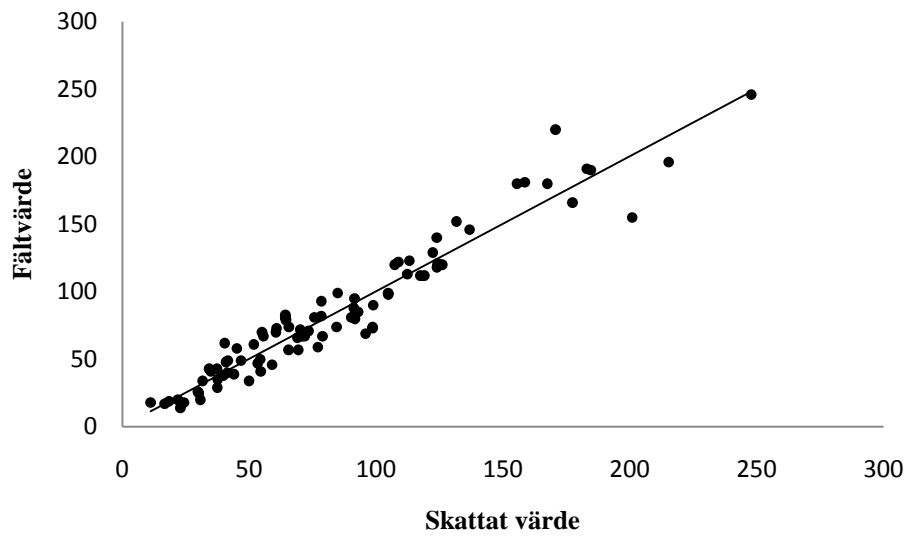
En direkt jämförelse gjordes med skattade värden och motsvarande värden från provytorna i fält. Jämförelsen visualiseras nedan i figurerna 7 – 11 där linjen har förhållandet ett till ett mellan X och Y – axeln. Syftet med jämförelsen var att visuellt kontrollera om skattningarna kunde antas vara fria från systematiska fel.



Figur 7. Grundtyevägd höjd i decimeter, jämförelse mellan fältvärden och skattningar med laser.
Figure 7. Basal area weighted height, field samples versus measurements by laser.

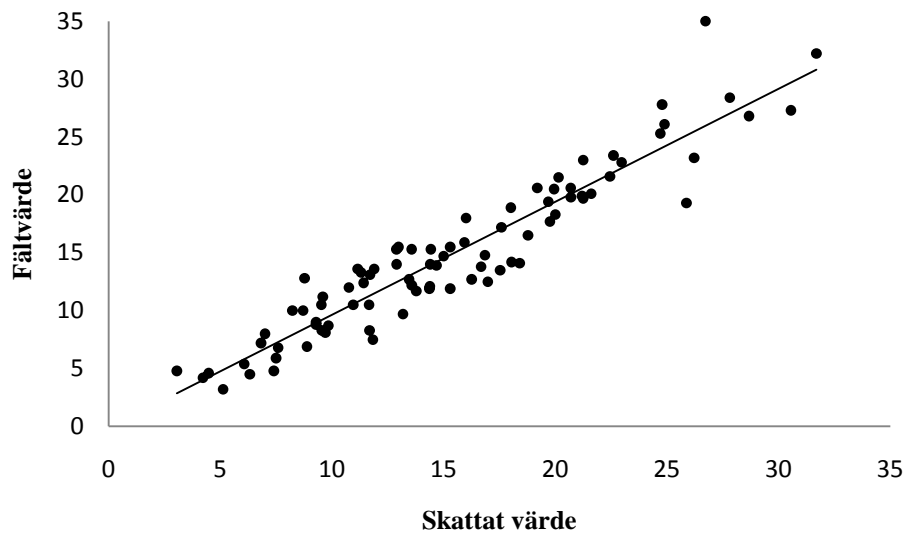


Figur 8. Övre höjd i decimeter, jämförelse mellan fältvärden och skattningar med laser.
Figure 8. Dominant height, field samples versus measurements by laser.



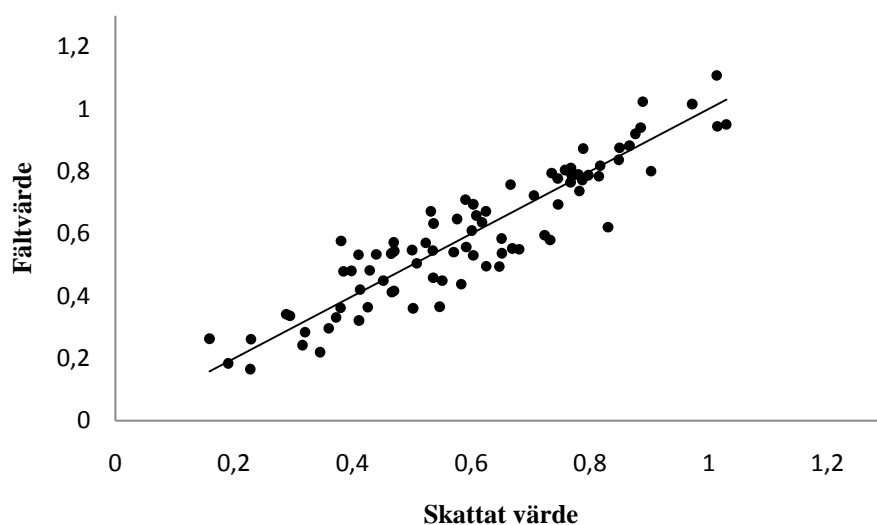
Figur 9. Volym i $m^3_{sk} ha^{-1}$, jämförelse mellan fältvärden och skattningar med laser.

Figure 9. Volume in $m^3_{sk} ha^{-1}$, field samples versus measurements by laser.



Figur 10. Grundyta i $m^2 ha^{-1}$, jämförelse mellan fältvärden och skattningar med laser.

Figure 10. Basal area in $m^2 ha^{-1}$, field samples versus measurements by laser.



Figur 11. Massaslutenhet, jämförelse mellan fältvärden och skattningar med laser.

Figure 11. Volume density, field samples versus measurements by laser.

Det visuella intrycket av figur 6 – 10 visar att samtliga skattningar låg i linje med fältdata och någon trend mot systematiska fel kunde inte påvisas. Med detta som grund har skattningarna antagits vara fria från systematiska fel.

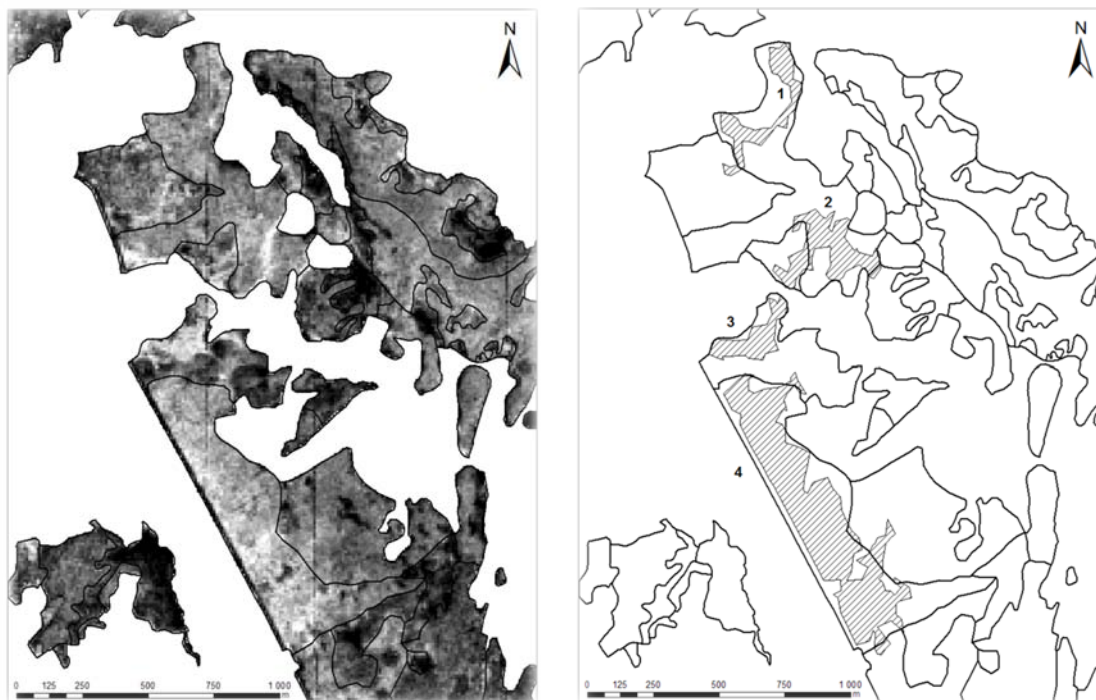
De beräknade områdena jämfört med beståndsregistret

Polygonerna som indikerade lämpliga områden för gallring var skapade efter förrättningsmannens kriterier. Kriterierna som utgjordes av gränsvärden för de skattade variablerna kunde enkelt ändras efter önskemål. I nedan angivna exempel visas områden med gränsvärden för övre höjd i intervallet 10 – 16 meter och massaslutenhet lägst 0,8. Gränsvärdet för massaslutenheten grundas i en rekommenderad lägsta slutenhet efter gallring på 0,7 enligt fältinstruktion för riksinventeringen av skog (Anon₂, 2010). Till detta adderades 0,1 för att motsvara ett volymuttag lägst $\sim 20 \text{ m}^3_{\text{sk}} \text{ ha}^{-1}$, exklusive uttag i stickvägar.

På grund av variationer inom beståndsregistret förkom det ytor med en annan trädslagsblandning i de beräknade områdena än den som skattningarna avsåg. Fel i skattningarna och därmed felaktigt indikerade gallringsområden kunde misstänkas vid en jämförelse med en satellitbild som innehöll IR-band, främst kunde lövdominerad skog urskiljas. Exempelen i figur 12 har på detta sätt kontrollerats så att områden som indikerade gallring hade rätt trädslagsblandning.

I figur 12 visas rastret med den skattade massaslutenheten tillsammans med avdelningar från beståndsregistret och fyra exempel på beräknade områden för gallring. De beräknade områdena för gallring har skapats oberoende av beståndsregistrets avdelningar vilket gjort att variationer inom dessa avspeglas. De fyra exemplen har i tabell 8 jämförts med

motsvarande data från beståndsregistret som uppdaterades i samband med en ungskogstaxering 2008.



Figur 12. Vänster bild, skattad massaslutenhet inom avdelningar i beståndsregistret. Ljusa områden visar hög massaslutenhet. Höger bild, områden lämpliga för gallring enligt angivna kriterier.

Figure 12. Left: Measured volume density inside stands in the stand index. Bright areas indicates high volume density. Right: Areas suitable for thinning due to used criteria.

Tabell 8. Jämförelse mellan beräknade områden för gallring och beståndsregistret

Table 8. Areas suitable for thinning compared to the stand index

Område	Skattningar inom område			Överlappande beståndsregister	
	Areal	Övre höjd	Grundyta ha ⁻¹	Grundyta ha ⁻¹	Övre höjd
1	3,8 ha	12 m	21 m ²	20 m ²	11 m
2	3,7 ha	12 m	23 m ²	20 m ² , 14 m ²	11 m, 8 m
3	2,5 ha	12 m	23 m ²	13 m ²	11 m
4	19,3 ha	13 m	23 m ²	20 m ² , 18 m ²	11 m, 11 m

Område nummer 1 och 2 låg i huvudsak inom en avdelning vars kommentar från beståndsregistret var "Sämre nere mot väg. Gallring inom 5-8 år.". Uppenbarligen visar det beräknade områdena för gallring de delar av beståndet som redan nu kan vara lämpliga att gallra. Kommentaren till den avdelning som överlappade område 3 var "Ojämnt", detta syns också i figur 11 där bilden över massaslutenhet har stor variation. Beståndsregistrets registrerade grundytan var 13 m² ha⁻¹, vilket sällan anses vara lämpligt för gallring. Trots detta har ett område på 2,5 ha kunnat identifieras där grundytan skattas till 23 m² ha⁻¹. Område 4 stämmer bra överens med överlappande avdelning från beståndsregistret men delar med gles skog har exkluderats och en bit av angränsande bestånd har inkluderats.

Diskussion

Den här studien har visat att laserdata avsett för NNH tillsammans med georefererade provytor i fält kan användas för att skatta skogliga variabler inom ytor med en storlek på cirka 200 kvadratmeter, över hela studieområdet. De skogliga variabler som har skattats direkt med laserdata är övre höjd, grundtyevägd höjd och massaslutenhet. Sedan har volym och grundtyta beräknats utifrån skattningarna av massaslutenhet och grundtyevägd höjd. Resultaten blev mycket bra men studien är avgränsad till tall och contortadominerad gallringsskog i Norrbotten, närmare bestämt Älvsbyn. Gallringsskog har i studien definierats till att vara maximalt 16 meter hög och ha en ålder mellan 21 – 50 år.

Antalet använda fältprovytor kunde ha varit fler om den första inventeringen hade stratifieras likadant som den andra inventeringen. Att det inte är så beror på att de första ytorna inventerades i ett annat sammanhang, före planeringen av denna studie. Dock verkar det som att de 85 använda provytorna har varit tillräckligt många för att möjliggöra bra skattningar. Studiens begränsning till att enbart behandla tall och contortadominerad skog inom givet höjdintervall samt åldersintervall har till stor del sin grund i att ett bredare studieområde inte rymts inom tidsramen för examensarbetet. Därutöver är motsvarande skog dominerad av andra trädslag sällsynt i aktuellt geografiskt område.

Användningen av skanningsvinkeln i funktionen för att beräkna massaslutenhet gav ett tydligt förbättrat resultat. I teorin kan variabelns påverkan bero på att trädens grenar täcker större del av marken om den betraktas med en vidare vinkel från flygplanet. Om det är just det som har påverkat i detta fall lämnar den här studien inget svar på. Skanningsvinkeln har dock medfört felaktiga skattningar i smala linjer i överlappens slut mellan de olika skanningsstråken. Detta syns i rasterbilden med massaslutenhet men har knappast någon påverkan på resultatet i stort. Vanligen används inte skanningsvinkeln i skattningar av skogliga variabler med laserdata. Anledningen till det kan vara att skanningsvinkeln normalt är $\pm 15^\circ$ istället för $\pm 20^\circ$, som i den här studien, vilket minskar skillnaderna i laserdata.

Att använda laserdata från NNH är i skrivande stund ett aktuellt ämne eftersom skanning av i stort sett hela Sveriges landyta pågår fram till 2013 (Anon 2010). Det huvudsakliga syftet med NNH är att skapa en markmodell, utan hänsyn till vegetationen. Laserdata för skogsbruksändamål kan därför ses som en biprodukt. Denna biprodukt finns tillgänglig för allmänheten och kan tillsammans med fältdata användas för skattningar av skog. I takt med att laserdata tillgängliggörs skapas därmed ett unikt tillfälle för skogsägare att få en bättre bild av sitt skogsinnehav. Arbetsinsatsen i fält blir betydligt mindre tillsammans med laserskanning än enbart fältinventering för motsvarande resultat. Exempelvis användes endast 85 provytor i denna studie för att med hög precision skatta cirka 6000 hektar skog vilket knappast är möjligt med enbart fältinventering. Därtill bör antalet provytor kunna reduceras betydligt med tanke på att möjlig skattad areal begränsades av SCA:s markinnehav istället för det skannade området.

Studiens inriktning på att skatta skog med massaslutenhet som nyckelvariabel är i sig ingen nyhet. Det har ofta tillämpats i fjärranalys med flygbilder (Åge 1983). Dock har

undertecknad ingen kännedom om kombinationen med laserdata. Principen i flygbildstolkning är att visuellt bedöma massaslutenheten och manuellt mäta trädens höjd på representativa ställen i stereobilder. För kombinationen med laserdata gäller dock att massaslutenheten till stor del skattas utifrån andelen laserreturer i vegetationen och höjden med returernas höjd över marken. En viktig skillnad är också att beräkningarna med laserdata görs datoriserat medan nämnd flygbildstolkning kan medföra fel som beror på tolkaren. I studien är antalet laserreturer $0,5 - 1 \text{ m}^{-2}$ vilket innebär att antalet mätpunkter naturligtvis blir oerhört många fler än i flygbildstolkning. Med denna kontext är resultaten i denna studie inte speciellt förvånande, det vore snarare märkligt om kombinationen med laserskanning inte skulle ge minst lika bra resultat som flygbildstolkning.

Flera studier har visat att laserskanning framgångsrikt kan användas för att skatta skogliga variabler som höjd, volym och grundyta (Næsset mfl. 2004). Förutom beräkningar med massaslutenhet skiljer sig denna studie från dessa i tillgången av laserdata. Detta eftersom laserdata till NNH kommer att finnas över nästan hela Sverige utan att primärt vara ämnat för skogsbruksändamål. Dessutom kunde karaktären på laserdata inte påverkas inför studien. I studien har fokus varit att resultatet ska vara praktiskt tillämpbart för skogsbruksändamål i Sverige.

Eftersom gallring är en åtgärd som kan utföras på olika sätt med hänsyn till målet med skogsbruket är det viktigt att beakta detta i tal om vad som är lämplig skog att gallra. De skogsbrukare som har hög volymproduktion och jämnt virkesflöde i fokus kan därför ha stor nytta av att efter egna önskemål kunna identifiera just den typ av skog som är aktuell för gallring vid en viss tid. En sådan identifiering möjliggörs med hjälp av data som inte har generaliserats inom de bestånd som gällde vid inventeringstillfället. Denna studie visar hur data om skogen kan hanteras helt oberoende av beståndsgränser.

En svårighet i användningen av laserdata är att få information om skogens trädslagsfördelning. I studien har beräkningar utförts med antagandet att all skog består av tall. Om den exakta trädslagsfördelningen hade varit känd skulle det innebära ännu bättre förutsättningar för ett bra resultat. Detta genom att använda trädslagsfördelningen som variabel i regressionsfunktionerna. Hursomhelst har studiens resultat fallit väl ut och även om en viss skattning skulle ha låg precision på provytanivå borde felet gå mot noll på beståndsnivå om systematiska fel kan uteslutas. Tyvärr går det inte att bevisa med tillgängligt data eftersom skogen i studieområdet inte har en slumpmässig variation. För att minska problemet med trädslagsfördelningen och möjliggöra trädslagsspecifika skattningar kan laserdata kombineras med flygbilder (Packalén mfl. 2007). Dock behövs det då ett betydligt större antal provytor.

Teknik som exempelvis flygburen laserskanning medför helt andra möjligheter till datainsamling för skogsbruksändamål jämfört med att enbart använda olika typer av fältinventering. En markant skillnad är att laserskanning i princip mäter alla träd i det inventerade området medan fältinventering oftast begränsas till provytor. I praktiken innebär det att skogen inte behöver indelas i bestånd för att hantera data och att data inte blir beräknat efter beståndets medelvärde. Den heltäckande bild som laserskanningen ger är istället möjlig att använda som källa till att söka skog med en specifik beskaffenhet och

efter aktuellt behov bilda tillfälliga behandlingsenheter som är väl avgränsade. Med ett sådant arbetssätt borde det vara möjligt att väsentligt höja effektiviteten i skogsbruket. Detta genom att exempelvis gallringar alltid sker i den skog där det är mest lönsamt. Utfallsberäkningarna kan förbättras vilket innebär högre precision i transport till industri, vilket i sin tur leder till lägre lagernivå och högre försörjningssäkerhet till industri, ändrat sortimentsbehov kan mötas – ”just in time”. Även om skattningarna av höjd, grundyta etc. blir högst tillförlitliga och behandlingsenheter går att skapa är sannolikt en viss fältkontroll ändå nödvändig. Fältkontrollen kan innebära att skador uppmärksammas och att skogen har en kvalitet som möjliggör en bra skog efter gallring. Vidare kan markens bärighet kontrolleras tillsammans med vägens kvalitet och plats för avlägg med mera i samband med fältkontrollen.

Slutsatser

- Laserskanning kan vara en mycket bra metod för att identifiera gallringsskog.
- Skattningar med hjälp av laserdata ger hög tillförlitlighet.
- Trädslagsfördelningen är svår att hantera.
- En viss fältkontroll är nödvändig.

Referenser

- Anon. Del av SCA:s beståndsregister. *avd_beskriv_alvsbyn.shp*. Elektroniskt document. Shp-fil. Tillgängligt: Stab skogsvård, SCA Skog AB. Sundsvall.
- Anon₂. Del av registrerade utförda gallringar. *utf_gallringar(hf1,7)_alvsbyn.shp* Elektroniskt document. Shp-fil. Tillgängligt: Stab skogsvård, SCA Skog AB. Sundsvall.
- Anon. 1983. *Skogsord*. Skogsvårdsförbundets Engelsk – Svensk ordlista. 1983.
- Anon. 1985. *Gallringsmallar, Norra Sverige*. Skogsstyrelsen 1985.
- Anon. 2009. *Common Lidar Data Exchange Format - .LAS Industry Initiative*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Hemsida. [online] (2009). Tillgänglig: http://www.asprs.org/society/committees/lidar/lidar_format.html
- Anon. 2010. *Produktbeskrivning: Laserdata*. Dokumentversion 1.2. 2010-04-28. Lantmäteriet.
- Anon₂. 2010. *Fältinstruktion 2010 RIS. Riksinventeringen av skog*. Kapitel 6:3. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå.
- Agenstam, E. 2009. *Gallring*. Skogsskötselserien, nr 7. Skogsstyrelsen. 2009-01-16.
- Hagner, S. 2005. *Skog i förändring – Vägen mot ett rationellt och hållbart skogsbruk i Norrland ca 1940 – 1990*. Kapitel 4. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 34. ISBN 91-89379-99-3.
- Halvarsson, J. 2008. *Identifiering av gallringsbehov med hjälp av flygburen laserskanning*. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå. Examensarbete. Arbetsrapport 235 2008. ISSN 1401-1204
- Holm, S. 2008. *Korsvalidering*. Kompendium av Universitetslektor Sören Holm. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå.
- Holmgren, J. 2004. *Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning*. Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 19, No. 6. s. 543 – 553.
- Hyypä, J., Kelle, O., Lehikoinen, M., Inkinen, M. 2001. *A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners*. IEEE Trans. GEOSCI. Remote Sensing 39: 969 – 975.
- Hägglund, B., Lundmark, J-E. 1982. *Handledning i Bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. Del 3, Markvegetationstyper-skogsmarksflora*. Skogsstyrelsen.
- Johansson, H. 2008. *Ajourhållning av ungsogsdata med hjälp av digitala flygbilder*. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå. Examensarbete. Arbetsrapport 240 2008. ISSN 1401-1204.
- Jonson, T. 1911. *Taxatoriska undersökningar öfver skogsträdens form*. Skogsvårdsföreningens tidsskrift, fackafdelningen, 1911, H. 9 – 10. s. 285 – 329.
- Jonson, T. 1914. *Om bonitering av skogsmark*. Skogsvårdsföreningens tidsskrift, tolfte årgången. s. 369 – 392
- Jonsson, B., Jacobsson, J., Kallur, H. 1993. *The Forest Management Planning Package*. Theory and application. Studia Forestalia Suecica 189: 56.
- Klimat och sårbarhetsutredningen. 2007. *Sverige inför klimatförändringarna – Hot och möjligheter*. Miljödepartementet. (Statens offentliga utredningar 2007:60)
- Larsson, H. 2009. *Flygburen laserskanning kopplat till skördarmätning för datainsamling till operativ planering*. Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå. Examensarbete. Arbetsrapport 260 2009. ISSN 1401-1204.

- Lidgren, O. 2009. *Provyteinventering för laserreferens SCA Älvsbyn 2009*. OL Skogsinventering AB.
- Lysell, G. 2010. *Ny nationell höjdmödel. Lantmäteriet. Lasermätning av skog*. Konferens. Högbo Bruk, 3 november 2010.
- Næsset, E. 2002. *Predicting forest stand characteristics with airborne laser scanning using a practical two-stage procedure and field data*. Remote Sensing of Environment. 80: 88 – 99.
- Næsset, E. 2004. *Accuracy of forest inventory using airborne laser scanning: Evaluating the first Nordic full-scale operational project*. Scandinavian Journal of Forest Research, Vol 19, No. 6. s. 554-557.
- Næsset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyypä H., Hyypä J., Maltamo M., Nilsson M., Olsson H., Persson Å., Söderman U. 2004. *Laser Scanning of Forest Resources: The Nordic Experience*. Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 19, No. 6. 2004. s. 433-442.
- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T. and Wallentin, C. 2010. *Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden – Effects of different thinning programs on stand level gross- and net stem volume production*. Studia Forestalia Suecia, No. 219. 2010. ISSN 0039-3150, ISBN 978-91-86197-76-6.
- Packalén, P., Maltamo, M. 2007. *The k-MSN method in the prediction of species specific stand attributes using airborne laser scanning and aerial photographs*. Remote Sensing of Environment 109, s. 328 – 341.
- Persson, P. 1975. *Stormskador på skog: Uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder*. Skogshögskolan. Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser Nr 36.
- Samuels, M., Witmer, J. 2003. *Statistics for the Life Sciences. Third edition*. Pearson Education, Inc. New Jersey. ISBN 0-13-041316-X
- SFS 1979:429. *Skogsvårdslag*. Svensk författningssamling 1979:429. Jordbruksdepartementet.
- SFS 2009:1393. *Förordning med instruktion för Skogsstyrelsen*. Svensk författningssamling 2009:1393. Jordbruksdepartementet.
- Ståhl, G. 1992. *En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för biometri och skogsindelning. Avdelningen för skogsuppskattning och skogsindelning. Rapport 24. Umeå 1992. ISSN 0349-2133
- Wallentin, C. 2007. *Thinning of Norway spruce*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Doctorsavhandling, 2007:29. Sveriges Lantbruksuniversitet. Fakulteten för skogsvetenskap. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap. Alnarp. ISSN 1652-6880, ISBN 978-91-576-7328-2
- Åge, P-J. 1983. *Mätning och tolkning i flygbilder för skogsinventering*. Lantmäteriverket. LMV-rapport 1983:5. ISSN 0280-5731.