



**Kandidatarbeten
i skogsvetenskap**
Fakulteten för skogsvetenskap

2012:20

Identifiering av konfliktbestånd med hjälp av laserskanning

Identification of conflict stands by means of laser scanning

Gustav Karlefors och Johan Viklund



Sveriges
lantbruksuniversitet

Jägmästarprogrammet
Kandidatarbete 15hp, (Ex0592)
2012-04-23
Umeå

Identifiering av konfliktbestånd med hjälp av laserskanning

Identification of conflict stands by means of laser scanning

Gustav Karlefors & Johan Viklund

Handledare:
Dan Bergström

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
901 83 UMEÅ
<http://www.seksko.slu.se>
Telefon: 090-786 8385
Fax: 090-786 8163

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet	Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Författare	Gustav Karlefors & Johan Viklund
Titel, Sv	Identifiering av konfliktbestånd med hjälp av laserskanning
Titel, Eng	Identification of conflict stands by means of laser scanning
Nyckelord	Lidar, Fusion, Skogsbränsle, NNH, Area-metoden
Handledare	Dan Bergström, Institutionen för skoglig resurshushållning
Examinator	Tommy Mörling, Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Kurstitel	Kandidatarbete i skogsvetenskap
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2012

Förord

Den här studien är ett Kandidatarbete på C-nivå, omfattande 15hp, och är en del i Jägmästarprogrammet vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Vi vill tacka vår handledare Dan Bergström som har varit till stor hjälp i utformningen av arbetet genom sin kunskap och sitt stora engagemang. Vi vill även tacka Jonas Bolin som har förmedlat kontakter och kunskap i ämnet laserskanning.

Sammanfattning

Intresset för skörd av skogsbränsle i så kallade konfliktbestånd har ökat under de senaste åren som en konsekvens av det ökade behovet av biobränsle. Konfliktbestånd är ungskogar som inte har röjts och har därför många träd ha^{-1} med en stor höjd- och diameterspridning. Det gör att traditionella fältmätningar i konfliktbestånd är svåra och väldigt tidskrävande. Därför är skogsbruket i behov av nya effektivare inventeringsmetoder. I den här studien användes Lidar-data från Lantmäteriets nya nationella höjdmodell (NNH) i kombination med provytor från Riksskogstaxeringen år 2009 för att skapa funktioner för höjd, volym, diameter och stamantal. Dessa användes sedan för att skapa raster som motsvarade de skattade variablerna. Genom att använda kriterier för höjd, volym och diameter låg dessa raster till grund för identifieringen av konfliktbestånd. I studien användes 112 provytor för att skatta grundytavägd medelhöjd (Hgv). Vid skattningen för volym, brösthöjdsdiameter (Dbh) och stamantal användes efter stratifiering baserad på Hgv (<12 m) 33 provytor. Resultaten visar att funktionen för Hgv hade en korrigerad förklaringsgrad (R^2 -adj) på 92 % och en standardavvikelse (SD) på 1,4 m. Volym och Dbh hade en R^2 -adj på 88,2 % respektive 75,6% samt en SD på $11,5 \text{ m}^3 \text{ sk ha}^{-1}$ och 15,3 mm. Studien visade även att det är svårt att skatta stamantal, funktionen hade en R^2 -adj på 10,7 % och en SD på 7352 stammar ha^{-1} . Den höga noggrannheten i skattningarna indikerar att konfliktbestånd kan identifieras med hjälp av laserskanning.

Nyckelord: Lidar, Fusion, Skogsbränsle, NNH, Area-metoden

Abstract

The interest in harvesting wood fuel in conflict stands has grown in recent years as a consequence of the increased demand for biofuel. Conflict stands are young forests that have not been cleaned and have a large number of stems ha^{-1} with a great height and diameter distribution. This means that traditional field measurements in conflict stands are difficult and very time consuming. Therefore, the forestry sector is in need of new, more efficient inventory methods. In this study, the Lidar data from Lantmäteriet's (the Swedish mapping, cadastral and land registration authorities) new national height model was used in combination with plots from the Swedish national forest inventory from 2009 to create functions for; height, volume, diameter and number of stems. The functions were used to create rasters corresponding to the estimated variables. The basis for the identification of the conflict stands in the rasters was the criteria for: height, volume and diameter. In the study 112 plots was used to estimate the basal area weighted mean height. In the estimation of diameter in breast height, volume and stem numbers 33 sample plots were used after the stratification based on the average height (<12 m). The results show that the function for basal area weighted mean height had an adjusted determination degree (R^2 -adj) of 92,0 % and a standard deviation (SD) of 1.4 m. Volume and diameter had an R^2 -adj of 88.2 % and 75,6 %, SD of $11.5 \text{ m}^3 \text{sk ha}^{-1}$ and 15,3 mm. The high accuracy of the estimates indicates that conflict stands can be identified by means of laser scanning. The study also shows that it is difficult to estimate the stem numbers ha^{-1} , the function had an R^2 -adj of 10.7 % and a SD of 7352 stems ha^{-1} .

Keywords: Lidar, Fusion, Wood fuels, NNH, Area method

Inledning

Sveriges energikonsumtion ökar ständigt. Den senaste statistiken visar att energikonsumtionen år 2010 uppgick till 400,8 terra wattimmar (TWh), vilket motsvarar en ökning med 6,7 % sedan 2009 (Andersson, 2011). Samtidigt har ökade miljökrav med anledning av EU:s nya miljömål bidragit till ett större behov av förnybar energi. År 2009 antogs EU:s miljömål inför år 2020, vilket innebär att minst 20 % av EU:s totala energibehov ska täckas av förnybar energi det året. För att uppnå detta har varje land tilldelats ett eget mål utifrån dess nationella förutsättningar och Sveriges mål är satt till 49 % förnybar energi (Anon, 2012a).

Idag är bioenergi vår största energikälla. År 2010 uppgick bioenergin till 32 % av Sveriges energianvändning och 90 % av bioenergin kommer från skogssektorn och utgörs framför allt av sekundära skogsbränslen såsom restprodukter från såg- och massavedsindustrin (Anon, 2012b). Det kan dock inte förväntas en ökning av dessa restprodukter inom de närmsta 10-20 åren som kan möta det ständigt ökande energibehovet i Sverige. Behovet av primära skogsbränslen, det vill säga bränsle direkt från skogen, kommer därför att öka ytterligare (Bergström et al., 2010). Effekten av detta har de senaste åren bidragit till ett ökat intresse för att identifiera och skörda skogsbränsle från så kallade konfliktbestånd.

Norra Skogsägarna definierar ett konfliktbestånd som ”[...] ett bestånd som har uppnått gallringsmognad, men där det inte har förekommit någon röjningsåtgärd under beståndets ungdomsfas.” (Björnberg, 2007). Dessa bestånd har därför många träd per hektar med en stor höjd- och diameterspridning. Detta medför att det råder en ”konflikt” om hur bestånd av den här typen ska skötas; sen röjning eller tidig gallring? (Björnberg, 2007).

Sedan röjningsplikten togs bort 1992 har ett röjningsberg vuxit fram. I dagsläget finns det 2,8 miljoner hektar (ha) ungskog som har en höjd under 12 meter med en biomassa högre än 30 ton torrsbstans (TS) ha⁻¹, dessa bestånd skulle kunna ge en årlig skörd på 2,5 miljoner ton TS skogsbränsle (Nordfjell et al., 2008). Idag utnyttjas dock inte ungskogen fullt ut. Denna resurs bedöms kunna ge 64 TWh, men energimängden som årligen tas ut i form av klenträdd i röjning och gallring är endast 1 TWh. Orsaken är att det med konventionella metoder är svårt att få lönsamhet med klenträdsuttag (Skogforsk, 2009). Dock har Bergström et al. (2010) visat att skogsbränsle kan ge tre gånger högre bruttointäkt än massaved i klena förstagallringar (<9 cm brösthöjdsdiameter (Dbh)). Det är därför viktigt att beslut om åtgärd grundas på kvalitativ beståndsdata. Effektivare och med detta lönsammare metoder för inventering av dessa bestånd skulle därmed kunna bidra till ökade uttag av skogsbränsle (Bergström, 2012 pers. komm). Det finns därför ett behov av att på ett rationellt sätt kunna identifiera konfliktbestånd.

Fjärranalys har länge använts inom skogsbruket för att skatta skogliga variabler. Redan på 1950-talet användes analoga flygbilder för bland annat nyindelning, operativ planering och uppföljning (Bergström & Walter, 1999). Sedan dess har nya tekniker och metoder utvecklats för att skatta skogliga variabler. I dagsläget används olika typer av sensorer (digitala kameror, laserskannrar och bildalstrande radar) för att inhämta fjärranalysdata. Dessa kan bäras av flygplan, satelliter och obemannade system (UAS). Oavsett metod för inhämtning kombineras i de flesta fall fjärranalysdata med fältmätt data för att skatta de för användaren intressanta variablerna (Anon, 2012c).

Laserskanning, vilket är en typ av fjärranalys, har i flera studier framgångsrikt skattat skogliga variabler (Holmgren, 2004; Næsset & Bjercknes, 2001) och bör därför kunna användas för att identifiera konfliktbestånd. Laserskanning är tämligen nytt och dess starka sida är att beskriva vertikalt fördelade egenskaper (Wulder et al., 2012). Studier visar att skattningar av höjd, volym och grundyta med laserdata är minst lika bra som subjektivt mätt fältdata (Holmgren, 2004). Laserskanning benämns också Lidar vilket är en förkortning för Light detection and ranging. I denna studie kommer båda begreppen att användas. Tidigare har Lidar-data inte funnits tillgängligt i stor skala, men idag finns data för stora delar av landet sedan Lantmäteriet påbörjade skapandet av en ny nationell höjdmodell (NNH) år 2009. Efter ett slutbetänkande från Klimat- och sårbarhetsutredningen fick Lantmäteriet detta i uppdrag av Regeringen (SOU 2007:60). Syftet med utredningen var att ta fram olika klimatscenarion för att Sverige ska vara bättre rustat inför kommande klimatförändringar (Anon, 2007).

Ambitionen med den rikstäckande laserskanningen är att skapa en markmodell som håller en noggrannhet i höjddled på 0,5 m för en ruta på 2x2 m (Lantmäteriet, 2009). Varje träff får en unik koordinat i X-, Y- och Z-led och därutöver en klassificeringskod utifrån vad som träffas. Klassificeringen sker automatiskt och det finns tre typer; 01=Oklassificerade, 02=Mark, 09=Vatten (Lantmäteriet, 2010). De oklassificerade träffarna är i de flesta fall träffar i träd- och vegetationsskiktet vilket ger en god möjlighet att skatta skogliga variabler. Intresset för laserskanning i kommersiellt skogsbruk har under de senaste åren ökat och tilltron till den nya tekniken är stor. (Næsset et al., 2004)

I regel finns det två typer av tillvägagångssätt för att skatta skogliga data med hjälp av laserskanning: Single tree-metoden och Area-metoden. För att nyttja Single tree-metoden krävs det hög täthet på Lidar (10 laserpulser m^{-2}), detta för att kunna skatta enskilda trädskrontaksdiameter, höjd och volym (Hyypä et al., 2001). Ingångsvariablerna från Lidar används därefter för framtagning av regressionsfunktioner. Vid tillgång till glesare data är det mindre lämpligt att använda Single tree-metoden (Holmgren, 2004). Ett bättre alternativ kan då vara att använda Area-metoden. Eftersom Lantmäteriets skanningstäthet är glesare, <10 pulser m^{-2} , används i denna studie Area-metoden.

Syfte

Syftet med studien var att undersöka möjligheten att identifiera konfliktbestånd med hjälp av Lidar från Lantmäteriets nationella laserskanning.

Material och metod

Definition av konfliktbestånd

Det finns många olika definitioner av konfliktbestånd och många har vaga gränser. Enligt Norra skogsägarna (2007) är ett konfliktbestånd 5-11 m högt, har 4000-11000 stammar ha⁻¹ och medelstammen vid uttag är mellan 0,015-0,04 m³sk. Det stämmer väl överens med Skogforsks definition. Där definieras konfliktbestånd som "[...] 5-10 m höga, har en diameter i brösthöjd (dbh) klenare än 10 cm och cirka 4 500–10 000 stammar ha⁻¹" (Skogforsk, 2009).

Det förekommer även kriterier rörande stående volym per ha för konfliktbestånd. Enligt Nordfjell et al. (2008) bör bestånd lämpliga för skörd av skogsbränsle innehålla minst 60 m³sk ha⁻¹ vilket motsvarar ca 30 ton TS. I studien har en kombination av ovan nämnda kriterier använts för att definiera konfliktbestånd (Tabell 1).

Tabell 1. Studiens definition på konfliktbestånd
Table 1. The study's definition of conflict stands

Volym ha ⁻¹ (m ³ sk)	>60
Stamantal ha ⁻¹	4 000-11 000
Grundtyevägd medelhöjd(m)	5-11
Diameter i brösthöjd (mm)	<100

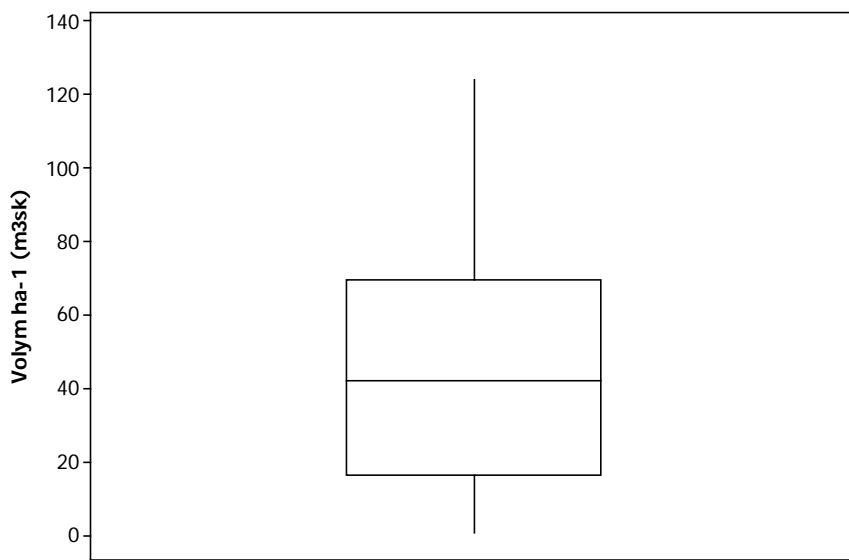
Studieområde

Det studerade området var lokaliserat i Norrbotten i en cirkel med 110 km radie runt Piteå (SWEREF99 TM: 7258499, 799956) och omfattar ca 38000 km².

Fältdatan i studien har inhämtats av Riksskogstaxeringen år 2009. Där användes en provyteradie på 7 m och provytorna var spridda över Norr- och Västerbotten. Variabler från provytorna som användes i studien var grundtyevägd medelhöjd (Hgv), volym ha⁻¹, Dbh samt stamantal ha⁻¹. Varje provyta hade centrumkoordinat vilket underlättar tolkningen av den spatiala fördelningen på ytorna. Utifrån detta gjordes ett urval baserat på avstånd till en potentiell mottagare av biomassa från konfliktbestånd i regionen. Smurfit Kappa kraftliner i Piteå valdes. Någon avgränsning avseende trädslag användes inte då konfliktbestånd ofta har en heterogen trädslagsfördelning. Inom studieområdet återfanns totalt 112 provytor.

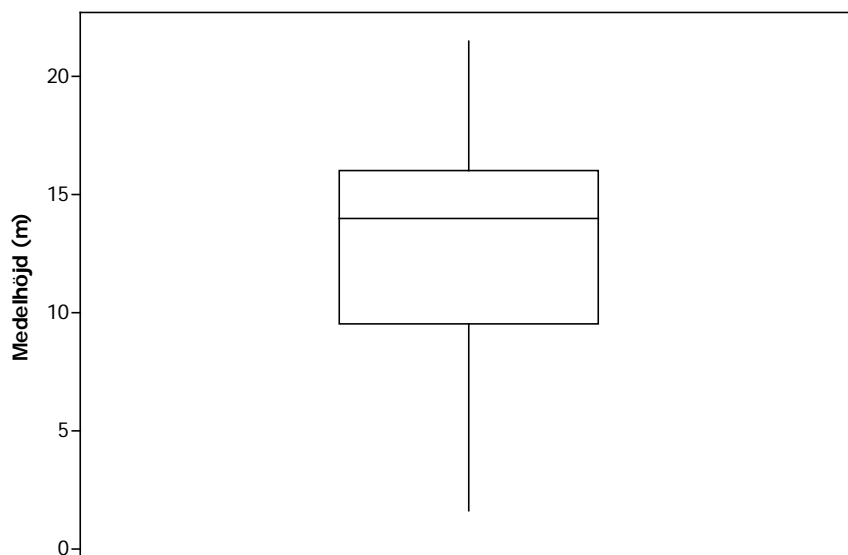
Fältdata

I figur 1-4 visas spridningen i data för volym (m^3sk), Hgv (m), Dbh (mm) och stamantal som har använts i studien. Den horisontella linjen i centrum av lådan visar provytornas medianvärde. Lådans nedre och övre kant representerar den undre och övre kvartilen. Stjärntecken visar extremvärden vilka benämns uteliggare. Det vertikala strecket går från minimi till maximivärde bortsett från de värden som är uteliggare. Antalet provytor som datat baseras på betecknas med n i figurtexten.



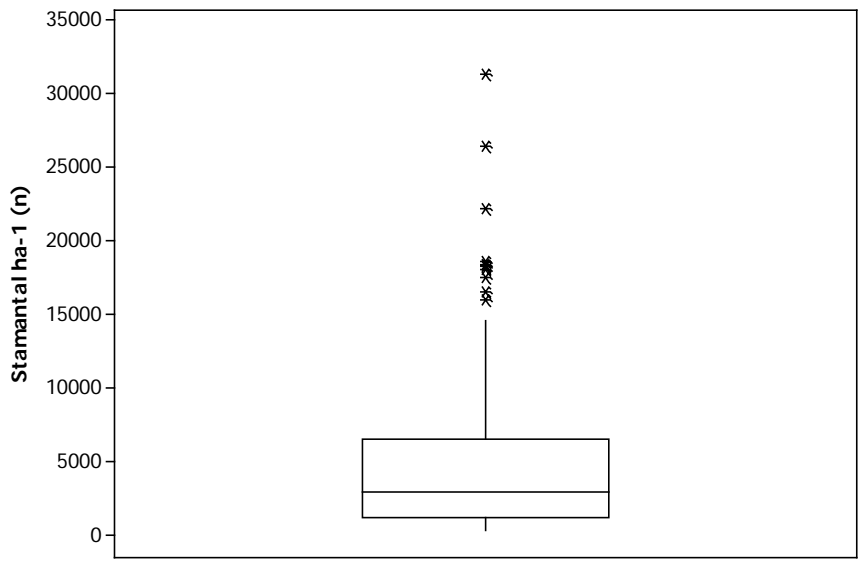
Figur 1. Lådagram över volym ($\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}$) för provytorna $n=33$.

Figure 1. Box plot that shows the volume ($\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}$) for the field samples $n=33$.



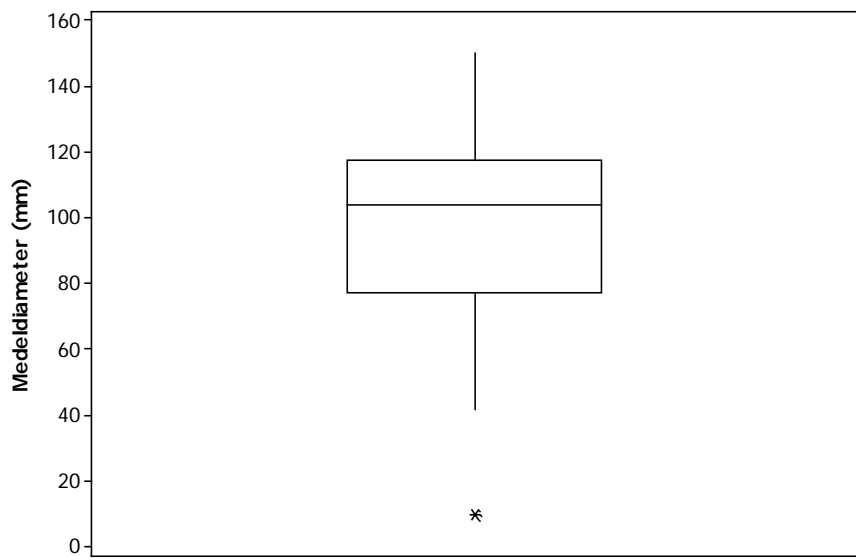
Figur 2. Lådagram över grundtevägd medelhöjd (m) för provytorna $n=112$.

Figure 2. Box plot that shows basal area weighted height (m) for the field samples $n=112$.



Figur 3. Lådagram över antalet stammar ha^{-1} för provytorna $n=33$.

Figure 3. Box plot over number of stems ha^{-1} for the field samples $n=33$.



Figur 4. Lådagram över medeldiameter i bröst höjd (mm) för provytorna $n=33$.

Figure 4. Box plot over mean diameter in breast height (mm) for the field samples $n=33$.

Lidar-data

I studien användes Lidar-data från Lantmäteriets NNH. Träffar högre än 3 m över marknivån med klassificering 01 (oklassificerade) räknas i den här studien som vegetationsträffar.

Tabell 2. Information om Lidar-data som har använts i studien

Table 2. Information about Lidar data used in the study

Datum för skanning:	2009
Träfftäthet:	0,5–1 träffar m ⁻²
Flyghöjd:	2300 m
Skanningsvinkel:	± 20°
Stråkövertäckning:	20%
Träffyta på mark:	0,5–1 m
Referenssystem:	Plan: SWEREF 99 TM, Höjd: RH2000
Klassificering av träffar:	01=Oklassificerade, 02=Mark, 09=Vatten
Filtyp:	.las
Rutstorlek:	2,5x2,5 km

Programvara

I det inledande arbetet användes ESRI:s programpaket ArcGis 10 för att bearbeta Lidar-data. Vidare gjordes en jämförande analys med programmet Fusion (3,01) som är framtaget av United States Department of Agriculture. Alla uträkningar av regressionsfunktioner gjordes i Minitab 16. För att beräkna skanningsvinkeln användes Lastools (120309). För att filtrera bort provytor som inte var inmätta 2009 användes Microsoft Excel 2010.

Databearbetning i ArcMap och Lastools

Inledningsvis identifierades Lidar-filerna för respektive fältinmätt provyta, genom att skapa ett punktlager baserat på provytornas centrumkoordinater. Därefter tillverkades ett polygonlager av samtliga Lidar-data i Norr- och Västerbotten vilket visade områden som skannats. Genom att använda verktyget Intersect skapades ett nytt punktlager som innehöll information om provytan och den sammankopplade Lidar-filen.

Sedan omvandlades utvald Lidar-data till två raster; medelhöjd och vegetationskvot. Upplösningen på rastret beror på vilken träfftäthet som finns i Lidar-datan. För att undvika celler utan träffar användes en cellstorlek baserad på den genomsnittliga träfftätheten multiplicerat med fyra (ESRI, 2011). Om en cell inte får några träffar så får den ett nollvärde och rastret tappar därför viktig information.

För att extrahera provytornas medelvärden för vegetationskvot och höjd från rastren användes Zonal statistics. Medelvärdet beräknades på en yta med samma position och storlek som det fältmätta datat. På så vis kunde en medelhöjd och en vegetationskvot framtaget från Lidar-datan kopplas till varje fältprovnya. Förutom dessa mått beräknades även skanningsvinkeln med Lastools.

Databearbetning med Fusion

United States Department of Agriculture erbjuder ett programpaket (Fusion 3,01) med stora möjligheter att ta fram väsentliga variabler för skogliga tillämpningar utifrån Lidar. Eftersom urvalet, identifieringen av provpunkter, och överlappande Lidar-filer redan var gjorda bearbetades dessa filer med Fusion. Först skapades en markmodell utifrån markträffarna som användes för att normalisera träffarna. Genom detta skattades trädhöjden utifrån marknivån istället för höjd över havet. Då Riksskogstaxeringen har GPS-bestämt centrumunkten på fältprovytorna användes dessa koordinater för att göra urklipp motsvarande provytans storlek från Lidar-datan. Från dessa urklipp extraherades sedan relevant information för kommande regressionsanalyser.

Extraherade variabler från Lidar-data

Tabell 3. Definitioner av data extraherat från Lidar
Table 3. Definitions of data extracted from Lidar

Medelhöjd (m)	Aritmetisk medelhöjd över marknivån för de högsta träffarna inom provytan	Beräknades med Arcmap
Vegetationskvot	Antal oklassificerade träffar / totalt antal träffar	Beräknades med Arcmap
Densitet (%)	(Total antal träffar över 3m / totalt antal förstaträffar) x 100	Beräknades med Fusion
Percentiler (m)	Höjden över markytan som en viss procentandel av träffarna befinner sig under	Beräknades med Fusion i intervallet 10-90 % med 10 % mellanrum samt för 95- och 99 %
Skanningsvinkel (grader)	Vinkel mellan lodlinjen från flygplanet och en tänkt linje som går från provytan till flygplanet	Beräknades med Lastools

Framtagning av funktioner

Enkel och multipel linjär regression användes för att med Lidar skapa funktioner för skattning av volym ha^{-1} , stamantal ha^{-1} , Dbh och Hgv. De ingående variablernas betydelse för den slutliga skattningen och dess signifikans kunde påvisas med hjälp av p-värdet (Samuels et al., 2003). I studien användes en övre gräns för p-värdet på 0,05. För att generera dessa funktioner användes provytorna från Riksskogstaxeringen och de till provytorna kopplade variablerna från Lidar-datan (Tabell 3).

Genom att göra regressioner med de förklarande variablerna i Tabell 3 enskilt eller tillsammans framkom det att variabler extraherade med Arcmap och Lastools icke var signifikanta. Funktioner skapade med detta dataset hade låg korrigerad förklaringsgrad (R^2 -adj) ($<0,5$) och höga p-värden ($>0,05$). Bedömningen blev därför att noggrannheten i dessa funktioner var för låg för att kunna uppfylla syftet med studien. Av den anledningen undersöktes om annan programvara kunde ge ett bättre resultat.

Programpaketet Fusion visade sig kunna extrahera fler variabler ur Lidar-datan än de övriga programmen som användes i denna studie. Många av de förklarande variablerna korrelerade dock med varandra, vilket bryter mot regressionens grundläggande antagande (Chatterjee & Hadi, 2006). Därför avlägsnades förklarande variabler från funktionerna. Genom en manuell sökning efter förklarande variabler med högt R^2 -adj och lågt p-värde skapades nya funktioner för volym ha^{-1} , Hgv, Dbh och stamtantal ha^{-1} .

Totalt användes 112 referensytor från Riksskogstaxeringen för att producera funktioner för Hgv samt 33 ytor för att skatta Dbh, volym ha^{-1} och stamtantal ha^{-1} . För att bedöma funktionernas riktighet användes flera statistiska mått (Tabell 4) och grafer. Förklaringsgraden (R^2) visar hur stor andel av den totala variationen i det fältmätta värdet som kan beskrivas av de förklarande variablerna. Skillnaden mellan R^2 -adj och R^2 är att R^2 -adj korrigerats med hänsyn till antalet förklarande variabler och urvalets storlek. Därför användes R^2 -adj för att jämföra modeller med olika antal förklarande variabler. Med varians inflationsfaktor (VIF) går det att undersöka om det råder ett linjärt samband mellan de förklarande variablerna. Ett VIF-värde större än 10 indikerar att det råder korrelationsproblem. Om funktionen endast har en förklarande variabel är VIF-värdet ointressant eftersom det inte finns någon annan variabel att korrelera med. Därför saknas VIF-värde (N/A) för dessa funktioner. Residualstandardavvikelsen (SD) är ett mått på hur mycket residualerna från funktionen avviker från medelvärdet. En hög SD indikerar en osäker funktion (Chatterjee & Hadi, 2006).

Tabell 4. Definitioner av mått som användes i studien för att undersöka skattningarna
Table 4. Definitions of measurements used in this study to examine the estimates

Korrigerad förklaringsgrad	R²adj	$1 - \frac{SSE/(n - p - 1)}{SST/(n - 1)}$
Förklaringsgrad	R²	$1 - \frac{SSE}{SST}$
Residualkvadratsumma	SSE	$\sum (y_i - \hat{y})^2$
Totalkvadratsumma	SST	$\sum (y_i - \bar{y})^2$
Residualstandardavvikelse	SD	$\sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum (e_i - \bar{e})^2}$
Residual	e	$y_i - \hat{y}$
Varians inflationsfaktor	VIF	$\frac{1}{1 - R_j^2}$

Identifiering av konfliktbestånd

För att göra en analys av ett område och tillämpa de framtagna funktionerna i syfte att identifiera intressanta bestånd skapades ett raster som bygger på statistik från Lidar-datan. Cellvärdena i rastret räknades om utifrån de framtagna funktionerna för att motsvara de skattade värdena för höjd, volym och Dbh. En säkerhetsmarginal på +/-10 % applicerades på urvalskriterierna (Tabell 5), detta för att undvika att rasterceller som bör klassas som konfliktbestånd föll bort i urvalet på grund av funktionernas varians. Kriteriet för stamantal ha⁻¹ uteslöts som urvalskriterium på grund av den osäkra skattningen. Rasterceller som inte motsvarade de uppsatta kriterierna inklusive felmarginal för konfliktbestånd (Tabell 5) exkluderades och av kvarvarande celler skapades polygoner. Dessa polygoner visar den spatiala fördelningen av identifierade konfliktbestånd. För att undvika stor splittring och onödigt hög upplösning aggregerades polygoner inom 50m från varandra samtidigt som polygoner <1ha uteslöts. Sist jämnades kanterna på polygonerna ut för att uppnå en jämnare form vilket kan underlätta tolkningen av polygonen.

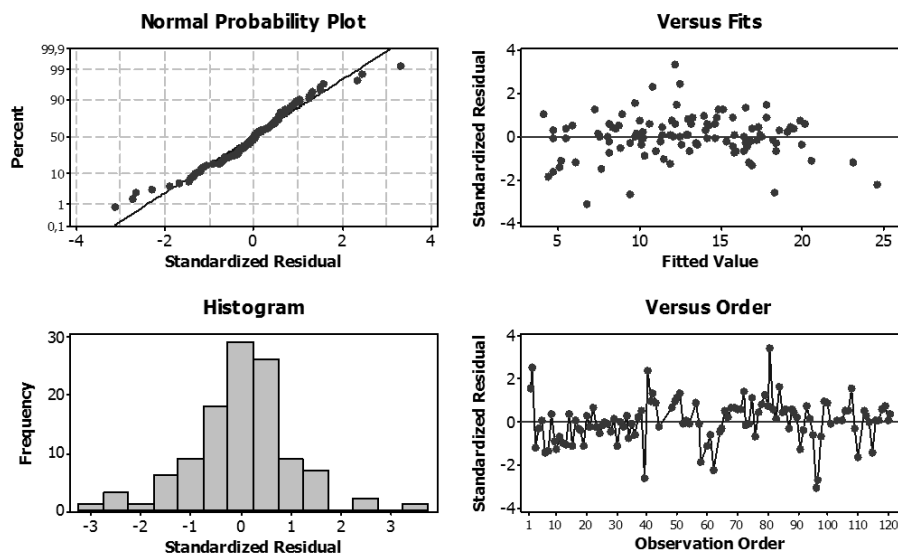
Tabell 5. Urvalskriterier för identifiering av konfliktbestånd
Table 5. Selection criteria for the identification of conflict stands

Attribut	Intervall
Grundytvägd medelhöjd	5-11m
Volym	>60m ³ sk
Diameter i brösthöjd	<100mm

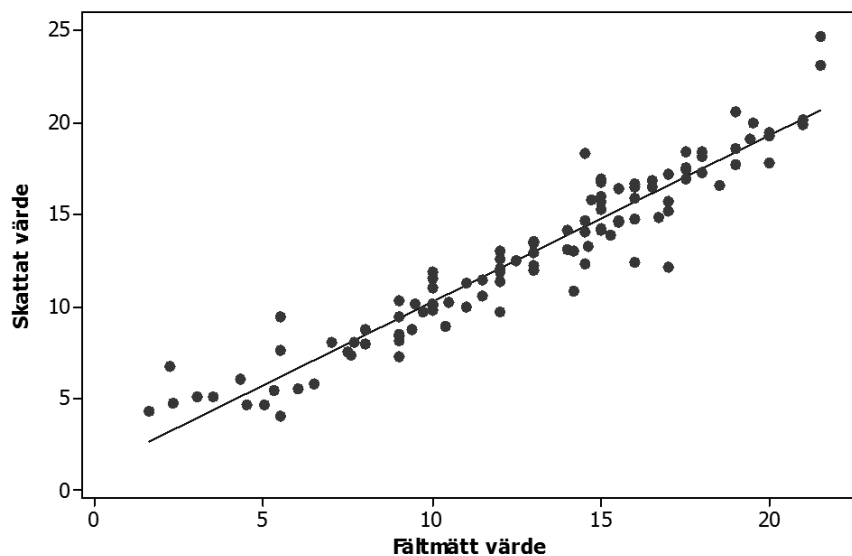
Resultat

Skattning av grundtevägd medelhöjd

Studiens resultat visar att skattningen av Hgv har en hög förklaringsgrad. Figur 6 visar residualernas fördelning i förhållande till observationsnummer och skattat värde samt plot och histogram över normalfördelningen. Den skattade funktionen för Hgv uppfyller de grundläggande antagandena för regressionen; residualerna är normalfördelade samt oberoende av skattat värde och ordning, vilket framgår av Figur 5. Ett linjärt samband mellan skattade och fältmätta värden förekommer (Figur 6).



Figur 5. Residual- och fördelningsplot för grundtevägd medelhöjden.
Figure 5. Residual and distribution plot of basal area weighted mean height.



Figur 6. (Grundtevägd medelhöjd i m), jämförelse mellan skattade värden och fältmätta värden.
Figure 6. (Basal area weighted mean height in m), comparing the estimated values and field measured values.

Funktion

Percentil 95 hade ett p-värde $<0,000$ och den slutliga funktionen fick ett p-värde på $<0,000$.

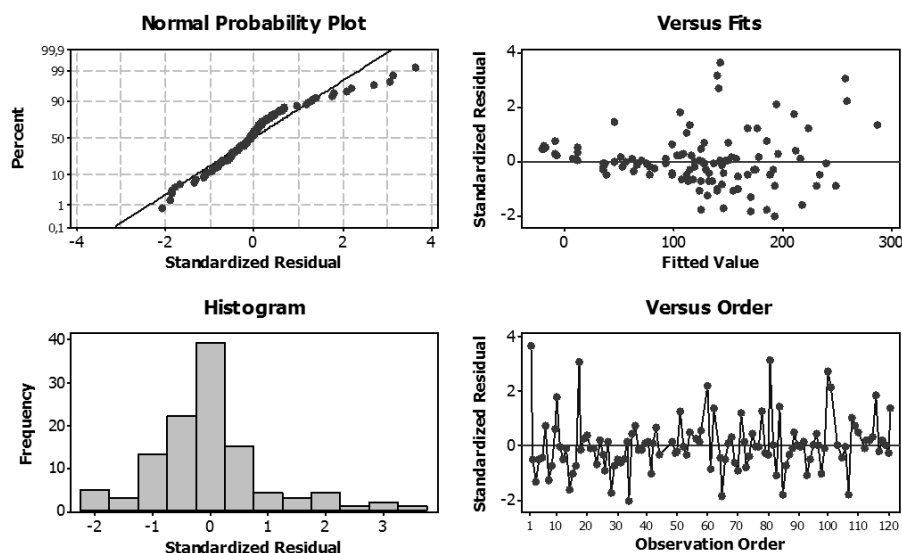
Tabell 6. Skattad funktion för grundtevägd medelhöjd samt förklarande statistik

Table 6. Estimated basal area weighted mean height function and explanatory statistics

Formel	R^2_{adj}	R^2	SD	VIF
Grundtevägd medelhöjd = $-0,069 + 1,05 \cdot \text{Percentil } 95$	92,0%	92,0%	1,4	N/A

Skattning av volym

Funktionen för skattning av volymen visade heteroskedasitet vilket innebär att residualerna är beroende av de förklarande variablerna (Figur 7).



Figur 7. Residual- och fördelningsplot för volym ha^{-1} ($n=112$).

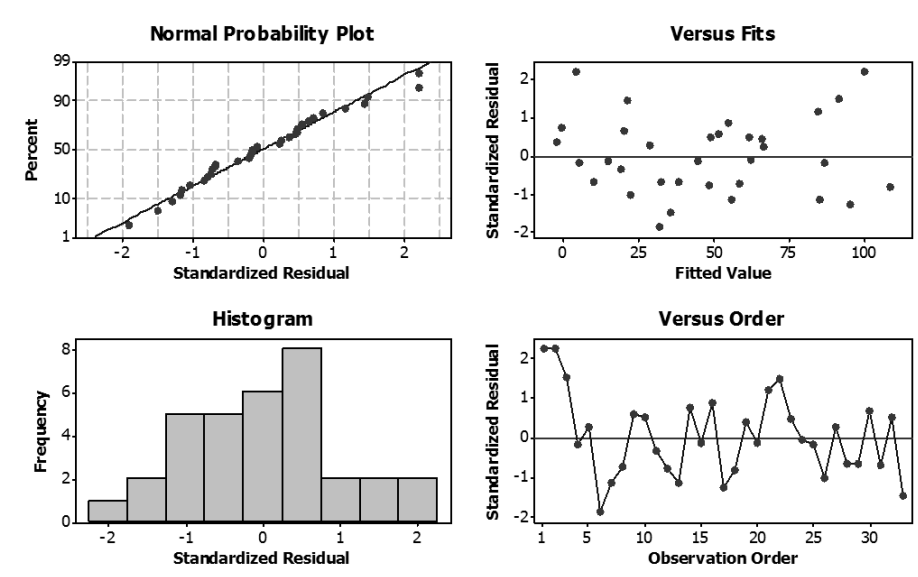
Figure 7. Residual and distribution plot of volume ha^{-1} ($n=112$).

Olika typer av transformationer av responsvariabler och förklarande variabler testades för att avlägsna heteroskedasiteten, men residualerna visade fortfarande en viss korrelation med de förklarande variablerna. Därför undersöktes om skattningen av volym ha^{-1} blir mer korrekt om endast provtytor med en Hgv på <12 m nyttjas i regressionen.

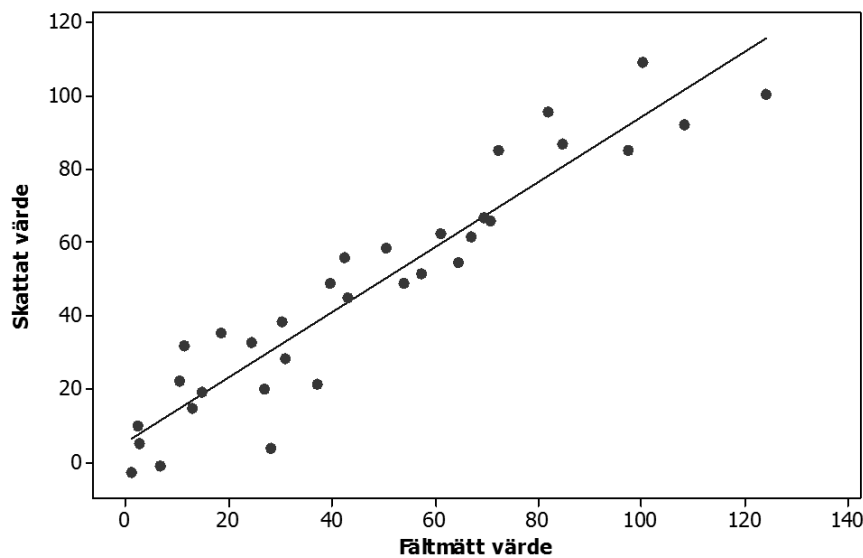
Efter stratifiering uppvisade skattningen inte längre heteroskedasitet och uppfyllde därmed regressionens grundläggande antagande om konstant varians (Chatterjee & Hadi, 2006). Eftersom funktionen endast kan skatta volym ha^{-1} i bestånd som är <12 m höga måste ett tvåstegsurval ske, vilket innebär att ett urval baserat på höjden måste göras innan volym ha^{-1} -skattningen i de utvalda bestånden kan genomföras.

Den nya skattningen av volym $\text{m}^3 \text{sk ha}^{-1}$ fick efter stratifiering ett högre R^2_{adj} och en lägre SD, det låga VIF-värdet indikerar att ingen korrelation förekommer mellan de förklarande variablerna (Tabell 7). I Figur 8 framgår att residualerna uppfyller kraven på

normalfördelning samt är oberoende av skattat värde och ordning. Det finns ett tydligt linjärt samband mellan skattade- och fältmätta värden enligt Figur 9.



Figur 8. Residual- och fördelningsplot för volym ha^{-1} ($n=33$).
Figure 8. Residual and distribution plot for volume ha^{-1} ($n=33$).



Figur 9. (Volym ha^{-1} i m^3sk), jämförelse mellan skattat värde och fältmätt värde.
Figure 9. (Volume ha^{-1} m^3sk), comparing the estimated value and the measured field value.

Funktion

I volymfunktionen användes två förklarande variabler, percentil 50 samt densitet. Båda variablerna var signifikanta med p-värden på <0,000.

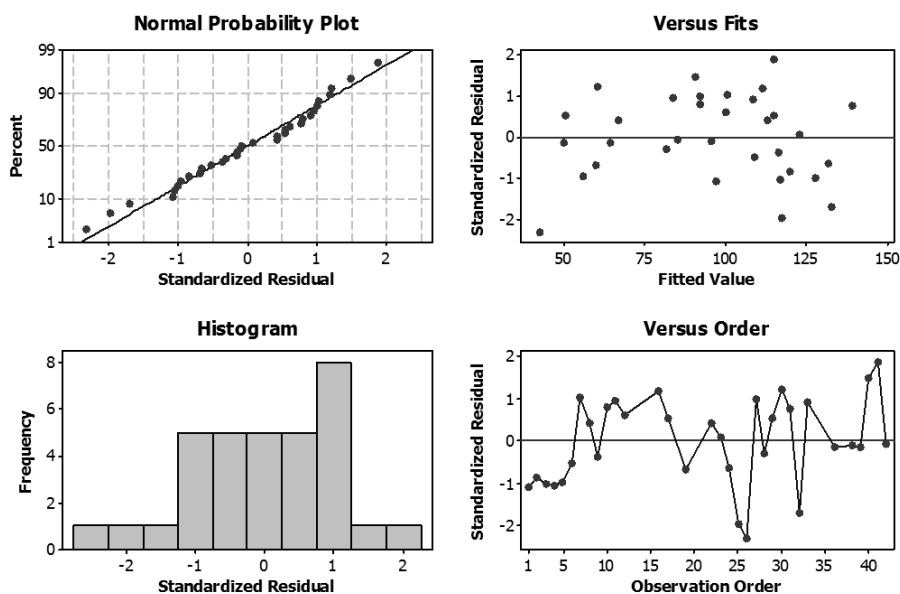
Tabell 7. Skattad funktion för volym samt förklarande statistik

Table 7. Estimated volume function and explanatory statistics

Formel	R ² adj	R ²	SD	VIF
Volym ha ⁻¹ = -53 + 14,2 ·Percentil 50 +0,522 ·Densitet	88,2 %	88,9 %	11,5	2,6

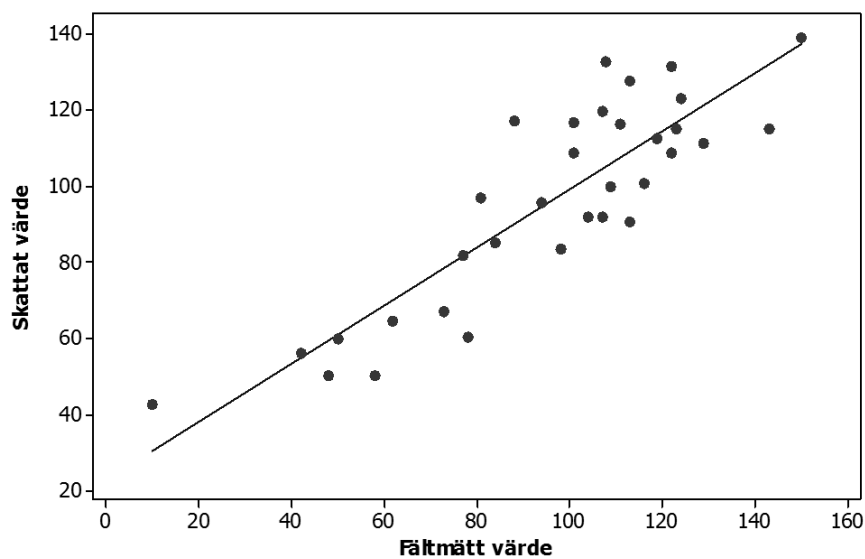
Skattning av diameter i brösthöjd

Diameterskattningen har en relativt hög R²-adj och en låg SD (Tabell 8). Figur 10 visar att residualerna uppfyller kraven på normalfördelning samt att de är oberoende av skattat värde och ordning. I Figur 11 visas ett linjärt samband mellan skattad och fältmätt volym och det går att urskilja en ökad spridning för grövre diametrar.



Figur 10. Residual- och fördelningsplot för diameter i brösthöjd.

Figure 10. Residual and distribution plot for breast height diameter.



Figur 11. (Diameter i bröst höjd i mm), jämförelse mellan skattat värde och fältnätt värde.
Figure 11. (Diameter in breast height in mm), comparing the estimated value and the measured field value.

Funktion

I diameterfunktionen användes Percentil 95 som den enda förklarande variabeln. Både Percentil 95 och regressionen som helhet hade ett p-värde <0,000.

Tabell 8. Skattad funktion för bröst höjdsdiameter samt förklarande statistik
Table 8. Estimated function for breast height diameter and explanatory statistics

Formel	R ² adj	R ²	SD	VIF
Brösthöjdsdiameter = - 9,1 + 13,0 · Percentil 95	75,6 %	76,3 %	15,3	N/A

Skattning av stamantal

Funktionen för stamantal ha⁻¹ har en låg R²-adj och en hög SD, VIF-värdet indikerar att det inte föreligger någon korrelation mellan de förklarande variablerna (Tabell 9). Residualerna är inte normalfördelade och uppvisar ett konkavt samband mot skattat värde, enligt Figur 12. Detta bryter mot regressionens grundläggande antaganden om residualerna (Chatterjee & Hadi, 2006). Det finns inget tydligt linjärt samband mellan skattat och fältnätt värde dock kan ett visst icke linjärt samband utläsas i Figur 13.

Funktion

I funktionen för stamantal ha^{-1} användes Percentil 95 (p-värde=0,09) och Densitet (p-värde=0,027) som förklarande variabler.

Tabell 9. Skattad funktion för stamantal ha^{-1} samt förklarande statistik
Table 9. Estimated stem number ha^{-1} function and explanatory statistics

Formel	R^2_{adj}	R^2	SD	VIF
Stamantal $ha^{-1} = 13613 + 145 \cdot \text{Densitet} - 1582 \cdot \text{Percentil 95}$	10,7 %	16,5 %	7532	1,5

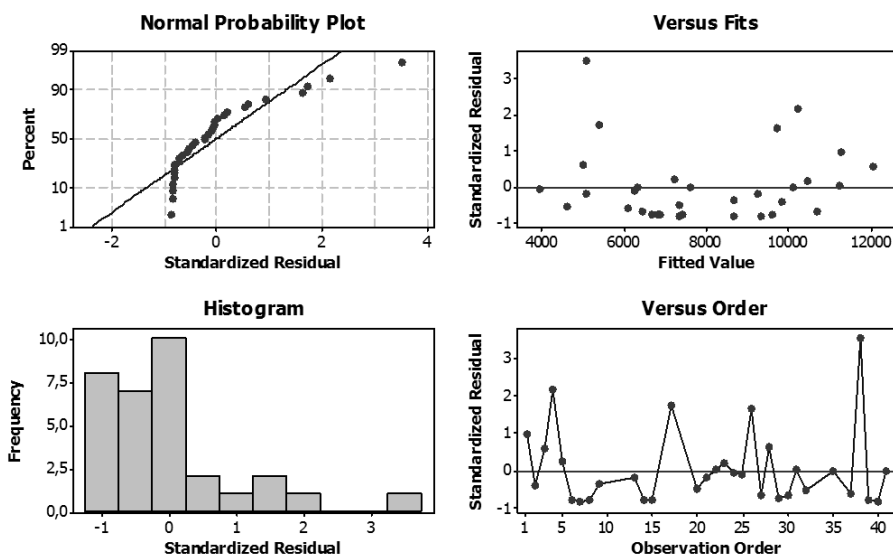


Figure 12. Residual- och fördelningsplot för stamantal ha^{-1} .
Figure 12. Residual and distribution plot for stem number ha^{-1} .

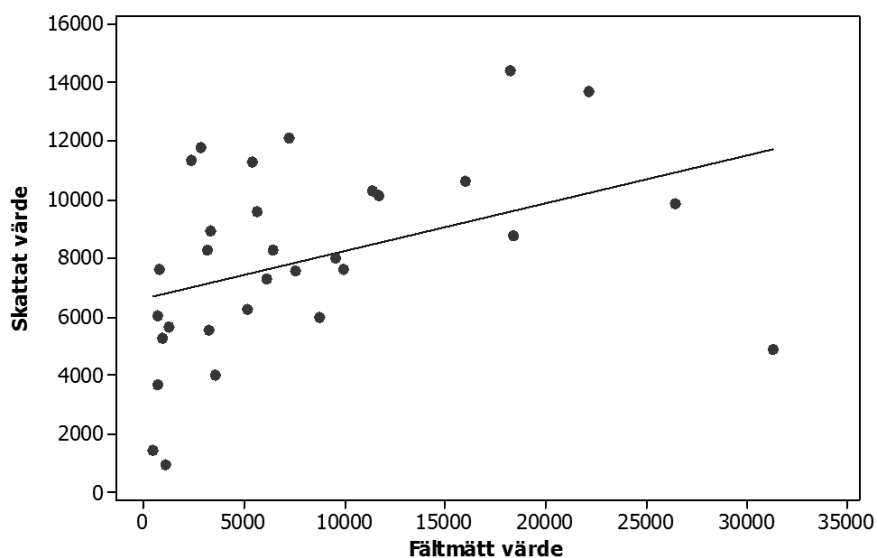


Figure 13. (Stamantal ha^{-1}), jämförelse mellan skattat värde och fältmätt värde.
Figure 13. (Stem number ha^{-1}), comparing the estimated value and the measured field value.

Beståndsurval

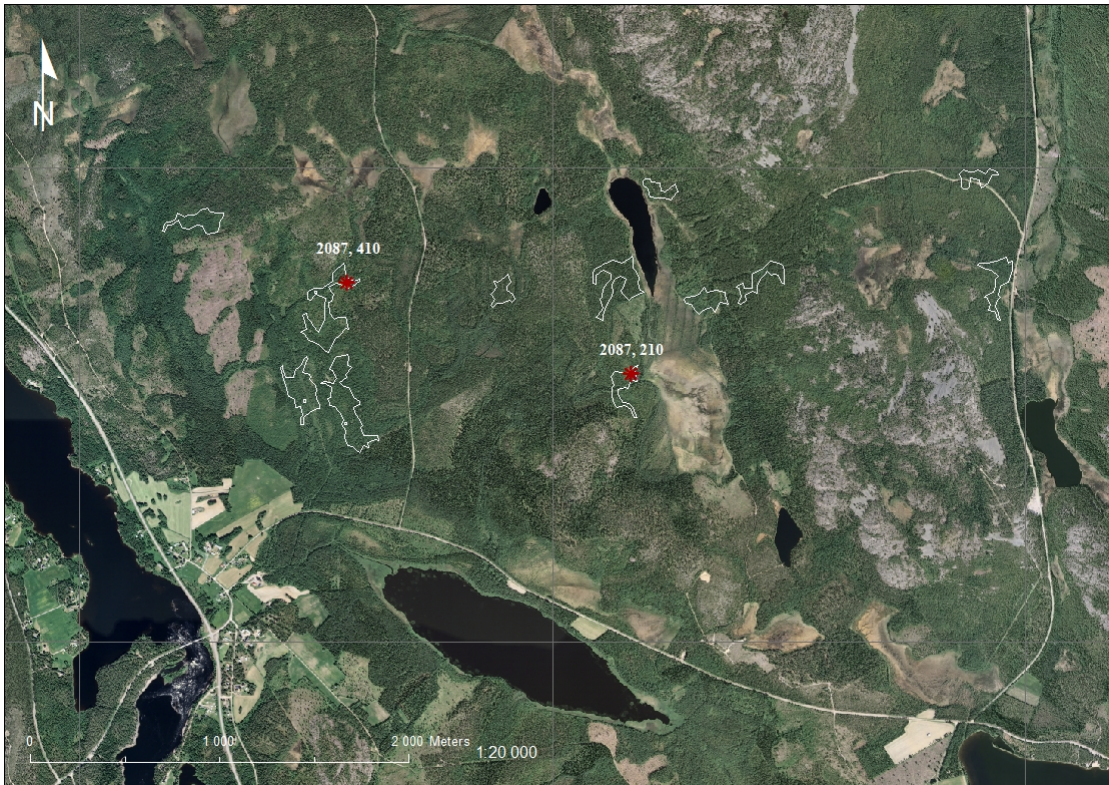
För att validera modellen undersöktes om fältmätta provvytor föll inom ramarna för identifierade konfliktbestånd. Fyra provvytor (Tabell 10) som inte användes i regressionsfunktionerna men uppfyllde studiens kriterier för konfliktbestånd (Tabell 5) valdes som referensvytor. Bild 1 och 2 visar polygoner (vitmarkerade områden) som genererats av modellen och referensvytor (röda punkter). Tre av fyra kontrollpunkter föll inom polygonerna vilka indikerar konfliktbestånd. Jämförelsen (Tabell 10 & 11) visar att huvuddelen av de skattade värdena inte avviker mer än 15 % från det fältmätta värdet. Det finns dock en skattning som avviker från denna trend, Dbh för provvyta 2063,405 hade en faktisk avvikelse på 45,9 mm vilket motsvarar en överskattning med +56,6 %.

Tabell 10. Fältmätta provvytor från Riksskogstaxeringen i jämförelse med skattade värden från Lidar-datan
Table 10. Field inventory plots from the Swedish national forest inventory in comparison with the estimated values from the Lidar data

Provytenummer	Fältmätta värden			Skattade värden		
	Hgv (m)	Dbh (mm)	Volym ha ⁻¹ (m ³ sk)	Hgv (m)	Dbh (mm)	Volym ha ⁻¹ (m ³ sk)
2087, 210	9,0	77,0	67,5	7,9	70,0	58,3
2087, 410	10,0	88,0	75,1	9,8	89,4	70,2
2063, 305	9,0	81,0	84,1	8,3	92,6	80,6
2063, 405	10,0	81,0	129,1	10,7	126,9	120,3

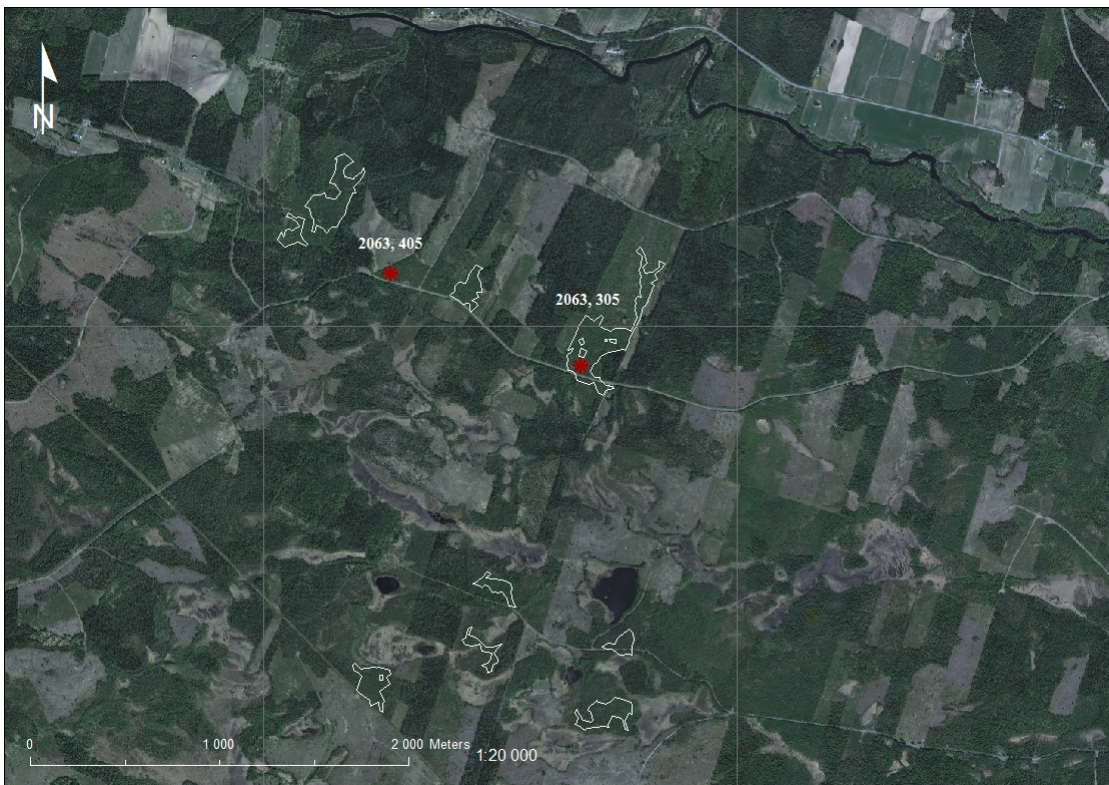
Tabell 11. Fältmätta provvytor från Riksskogstaxeringen i jämförelse med skattade värden från Lidar-datan, anges i faktiska värden och avvikelse i procent (%)
Table 11. Field inventory plots from the Swedish national forest inventory in comparison with the estimated values from the Lidar data presented in actual deviation and deviation in percent (%)

Provytenummer	Faktisk avvikelse			Avvikelse (%)		
	Hgv (m)	Dbh (mm)	Volym ha ⁻¹ (m ³ sk)	Hgv (m)	Dbh (mm)	Volym ha ⁻¹ (m ³ sk)
2087, 210	-1,1	-7,0	-13,7	-12,2%	-9,1%	-13,6%
2087, 410	-0,2	+1,4	-4,9	-2,0%	+1,6%	-6,5%
2063, 305	-0,7	+11,6	-3,5	-7,8%	+14,3%	-4,2%
2063, 405	+0,7	+45,9	-8,8	+7,0%	+56,6%	-6,8%



Figur 14. Polygoner (vita konturer) som visar identifierade konfliktbestånd samt fältmätta provytor (röda punkter).

Figure 14. Polygons (white contours) showing the identified conflict stands and field measured plots (red dots).



Figur 15. Polygoner (vita konturer) som visar identifierade konfliktbestånd samt fältmätta provytor (röda punkter).

Figure 15. Polygons (white contours) showing the identified conflict stands and field measured plots (red dots).

Diskussion

Denna studie har undersökt möjligheten att identifiera konfliktbestånd med hjälp av Lidar-data från Lantmäteriets nationella laserskanning. Resultatet visar att Hgv och volym kan skattas väl inom giltiga intervall. Vi hyser tilltro till modellen och att den framgångsrikt kan identifiera konfliktbestånd. De fyra referensytorna som användes för att testa modellen styrker detta. Det krävs dock fler tester samt validering i fält för att kunna dra slutgiltiga slutsatser om modellens tillförlitlighet.

Ett viktigt kriterium för konfliktbestånd är att de ska vara stamtäta. En bra funktion för stamantal ha^{-1} har dock inte kunnat skapas inom ramen för den här studien. Detta problem återfinns i andra liknande studier, exempelvis i Næsset & Bjerknæs (2001) studie där skattningen av stamantal i unga bestånd med hjälp av Lidar-data endast kunde förklara 42,1 % av variationen i deras data. Därför har volym ha^{-1} tillsammans med Dbh ersatt kriteriet för stamantal ha^{-1} i denna studie.

I skattningen av Dbh så används endast percentil 95 som förklarande variabel detta kan i vissa fall resultera i överskattningar av Dbh vilket även testet i punkt (2063, 405) visar. För att kompensera detta så skulle ytterligare förklarande variabler kunna införas. I andra studier så har det visat sig att kron diameter och höjd båda är signifikanta för skattningar av Dbh (Næsset et al., 2004).

I studien användes 112 provytor från Riksskogstaxeringens inventering år 2009. För att få ett större underlag kunde provytor från 2008 års inventering även ha använts i studien. Det faktum att provytorna i studieområdet tillväxt under en säsong (2008-2009) vid tidpunkten för skanningen medför en risk för underskattning av de skattade variablerna. Om värdena från 2008 däremot justerats skulle provytorna kunna inkluderas i studien och därmed bidra till ett större underlag och ökade valideringsmöjligheter. Resultatet i modellen hade då blivit mer tillförlitligt. Detta gäller för skattningarna av volym ha^{-1} , stamantal ha^{-1} och Dbh eftersom stratifieringen reducerade urvalet. Med hänsyn till arbetets begränsande omfattning har provytorna från 2008 inte använts i studien.

Lidar-datans starkaste sida är att beskriva vertikalt fördelade egenskaper. Då konfliktbestånd ofta har en stark spridning i höjd är det därför sannolikt att ett spridningsmått kan användas i modellen. Frågan om spridningsmättet kan användas framgångsrikt ger den här studien däremot inget svar på. Risken med alltför många urvalskriterier är att få rasterceller uppfyller kraven i det binära urvalet.

I studien har fältdata från Riksskogstaxeringens tillfälliga provytor använts, vilka har en radie på 7 m som motsvarar en area på $154 m^2$. Då rastercellerna motsvarar provytornas storlek ökar risken för fragmentering i urvalet och detta leder till att få bestånd uppfyller kraven på $>1 ha$ vilket i sin tur resulterar i att många potentiella bestånd faller bort. För att kompensera detta så har en säkerhetsmarginal på +/- 10 % använts för urvalskriterierna. Vår uppfattning är att säkerhetsmarginalen gör att modellen blir robustare även om risken för att bestånd som inte fullt ut uppfyller studiens krav identifieras som konfliktbestånd.

Flera liknande studier har visat att Lidar kan skatta höjd och volym ha^{-1} med hög noggrannhet (Næsset et al., 2004; Holmgren, 2004; Sjödin, 2010). Dessa har inte behandlat konfliktbestånd men arbetsgången är liknande i flera avseenden och därför kan resultaten jämföras med denna studies resultat. I rådande studie erhöles skattningar av Hgv och volym ha^{-1} ett R^2 på 92 % respektive 88,9 %. Resultaten för Hgv ligger i linje med Holmgrens (2004) studie som visade en R^2 på 91,0 %. Även skattningen av volym ha^{-1} uppvisar liknande resultat med andra studier

(Sjödén, 2010). I rådande studie användes stratifiering av provytorna för att skapa bättre skattningar av volym ha^{-1} , Dgh och stammar ha^{-1} . Detta tillvägagångssätt styrks av Næsset et al., (2004), som i studien tar upp stratifiering som en metod för att skapa bättre skattningar i definierade bestånd.

Lidar-data blir snabbt inaktuell för att skatta skogliga variabler, speciellt i den typ av bestånd som undersöks i studien eftersom dessa är relativt unga och snabbt förändras. De data som urvalet i studien baserats på är tre år gammal vilket medför att en stor del av bestånden troligtvis har förändrats och kan i dagsläget inte räknas som konfliktbestånd enligt kriterierna. Därför är ett ajourhållande av Lidar-data nödvändigt. Någon ny laserskanning av Sverige i Lantmäteriets regi är dock inte planerad för tillfället.

Om nya skanningar genomförs, vilket är ett måste för att Lidar även i framtiden ska kunna användas för skogliga ändamål, kan modellen från denna studie troligtvis inte appliceras på den nya Lidar-datan. Detta gäller dock under förutsättning att skanningens tillvägagångssätt väsentligen förändras, vilket är sannolikt om skanningen anpassas för skogliga tillämpningar istället för att skapa en markmodell.

Ett problem med Lidar är att stora datamängder måste processas. Detta gör att analys av större områden ($>10 \times 10 \text{ km}$) är tidskrävande med dagens konventionella persondatorer. Med en automatisering av databehandlingen och kraftfullare datorer skulle hela studieområdet kunna undersökas och ett stort totalt antal ha konfliktbestånd skattas.

Modellen i studien är skapad för att med hjälp av trädattribut identifiera konfliktbestånd. Den kan därför inte beskriva dessa bestånd med avseende på skadefrekvens, drivningsförhållanden, miljö- och kulturhänsyn etc. Således måste beslut om åtgärd tas i fält då många viktiga faktorer inte förklaras av modellen.

Slutsatser

- Lidar kan skatta grundytbevåg medelhöjd med hög noggrannhet.
- Stratifiering ökade noggrannheten i skattningen för volym ha^{-1} och diameter i brösthöjd
- Det är svårt att skatta stammar ha^{-1} med hjälp av Lidar data, regressionsfunktionen uppvisade låg förklaringsgrad och hög standardavvikelse.
- Beslut om åtgärd bör tas i fält därför att Lidar enbart beskriver trädattribut och inte övriga biotiska och abiotiska faktorer.
- Det finns goda möjligheter att identifiera konfliktbestånd med hjälp av Lidar men ytterligare validering i fält krävs.

Referenser

- Andersson, M. (2012). Årliga energibalanser 2009-2010. Örebro: Statistiska centralbyrån. (*Energiförsörjningen. Kvartal och år, EN20*).
- Anon. (2007). Sverige måste anpassas till ett nytt klimat. Pressmedelände. [Online] Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/sb/d/9434/a/89363> [2012-03-29] Miljödepartementet.
- Anon. (2012a). *Europa 2020 målen*. [Online] Tillgänglig: http://ec.europa.eu/europe2020/reaching-the-goals/targets/index_sv.htm [2012-03-13].
- Anon. (2012b). *Vad är bioenergi?* [Online] Tillgänglig: <http://www.regeringen.se/sb/d/9097/a/81762> [2012-03-19] Landsbygdsdepartementet.
- Anon. (2012c). Skoglig fjärranalys. [Online] Tillgänglig: <http://www.slu.se/sv/fakulteter/s/omfakulteten/institutioner/srh/avdelningar/skoglig-fjarranalys/> [2012-03-21] Institutionen för skoglig resurshushållning.
- ESRI. (2011). Lidar Analysis in ArcGIS® 10 for Forestry Applications. *An Esri white paper*, Januari 2011.
- Bergström, D., Ulvcrona, T., Nordfjell, T., Egnell, G. & Lundmark, T. (2010). Skörd av skogsbränsle i förstagallringar. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet Institutionen för skoglig resurshushållning. (*Skoglig resurshushållning, Arbetsrapport 281*).
- Bergström, J. & Walter, F. (1999) Fjärranalys för skoglig planering. Uppsala: Skogforsk. *Resultat*, (8).
- Björnberg, C. (2007) Ökad produktion av biobränsleråvara – minskat oljeberoende. Slutrapport 2006-2007. Norra Skogsägarna, Umeå Energi, Skellefteå Kraft, EU, Länsstyrelsen i Västerbottens län, Lantbrukarnas Riksförbund och Energimyndigheten.
- Chatterjee, S. & Hadi, A. (2006). Regression analysis by example. Fourth Edition. The standard regression assumptions. 86-88. Hoboken: Wiley.
- Hyypä, J., Kelle, O., Lehtikoinen, M. & Inkinen, M. (2001). A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners. *Remote Sensing* (39), 969-975.
- Holmgren, J. (2004). Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(6), 543-553.
- Klimat och sårbarhetsutredningen. (2007). Sverige inför klimatförändringarna – Hot och möjligheter. Miljödepartementet. (Statens offentliga utredningar 2007:60)
- Lantmäteriet. (2009). *Ny nationell höjdmödel – Presentation*. [Online] Tillgänglig: http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=18115 [2012-03-15]
- Lantmäteriet. (2010). Produktbeskrivning: Lidar. (Dokumentversion, 1.2)
- Næsset, E. & Bjercknes, K-O. (2001). Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment* (78), 328-340.

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* (19), 482-499.

Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningsson, M. & Wästerlund, I. (2008). Unutilized biomass resources in Swedish young dense forests. Jönköping: *Proceedings of World Bioenergy 2008*. 323-325.

Samuels, M. & Witmer, J. 2003. *Statistics for the Life Sciences. Third edition*. New Jersey: Prentice Hall

Sjödin, M. (2010). Skattningar i gallringsskog med hjälp av flygburen laserskanning. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Examensarbete. (Arbetsrapport 304)

Skogforsk (2009). Klenträäd. [Online] Tillgänglig:
<http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Klentrad/> [2012-03-15]

Wulder, M., White, J., Nelson, F., Næsset, E., Ørka, H., Coops, N., Hilker, T., Bater, C. & Gobakken, T. (2012) Lidar sampling for large-area forest characterization: A review. *Remote Sensing of Environment* (121), 196–209

Personlig kommunikation

Bergström, D; Forskarassistent vid institutionen för Skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet Umeå. Personligt samtal 2012-04-10.