

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr.804–2013

## Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata

Effective estimate of biomass volume on roadsides  
and in young forests using laser data

Maria Iwarsson-Wide, Kenneth Olofsson, Jörgen Wallerman, Martin Sjödin,  
Per-Ove Torstensson, Tord Aasland, Andreas Barth och Marcus Larsson



SKOGFORSK

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 804–2013

I Arbetsrapporter redovisar Skogforsk resultat och slutsatser från aktuella projekt. Här hittar du bakgrundsmaterial, preliminära resultat, slutsatser och färdiga analyser från vår forskning.

## Titel:

Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata.  
Effective estimate of biomass volume on roadsides and in young forests using laser data.

## Bildtext:

Laserdata som stöd för inventering längs vägkanter.

## Ämnesord:

Volymuppskattning, laserdata, Lantmäteriets nationella laser-skanning, NNH-data, Areametoden, Biobränsleuttag i eftersatt ungskog och vägkanter.  
Volume estimation, laser data, Lantmäteriet national laser scanning, NNH data, area method, biofuel harvest, neglected young forest, roadsides.

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2013

ISSN 1404-305X



**SKOGFORSK**

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



**Maria Iwarsson-Wide**, jägmästare med kandidatexamen i biologi. Anställd inom skogsbränsleprogrammet på Skogforsk sedan 2007. Arbetar huvudsakligen med teknik- och metoder för uttag av skogsbränsle från klena bestånd, avverkning i gallring- och teknik för vägning.

## Medförfattare

**Kenneth Olofsson**, civilingenjör och teknologie doktor. Anställd vid SLU sedan 2001. Arbetar huvudsakligen med forskning om nya fjärranalysmetoder för inventering av skog, där bland annat bildanalys av laserdata och flygbilder ingår.

**Jörgen Wallerman**, SkogD. Anställd vid SLU. Forskare inom fjärranalysmetoder för inventering av skog, samt bildanalys av laserdata och flygbilder.

**Martin Sjödin**, jägmästare med inriktning på fjärranalys. Anställd på Blom sedan 2011 med ansvar för att initiera och driva nya affärer gentemot den svenska skogsindustrin, och de skogliga fjärranalysprojekten som Blom genomför i Sverige.

**Per-Ove Torstensson**, jägmästare. Anställd av Skogsstyrelsen södra Dalarna 2010–2012 för att utveckla skogsbränslesidan. Arbetar sedan 2012 på Mellanskog södra Dalarna som produktionsledare.

**Tord Aasland**, SkogD. Business Area Director Forestry, Blom ASA, Norge.

**Andreas Barth**, SkogD. Anställd på Skogforsk sedan 2007. Forskare inom inventering och planering i skogsbruket.

**Marcus Larsson**, jägmästare. Anställd hos Skogsstyrelsen sedan 2001 och arbetar som Uppdragsansvarig i regional stab sedan 2006.

## Abstract

The aim of the project was to develop a method to support planning of biofuel harvest in neglected young forest, particularly a) young forest in edge zones along roads, and b) young forest stands, based on criteria from the Skogforsk calculation tool. The method used laser-scanning data in combination with reference sample plots with GPS coordinates, and where data was entered in the field.

The analyses were carried out using the area method, based on multiple linear regression. A large number of metrics were calculated using laser data for each sample plot. The key measurements were height percentiles and density. In order to evaluate how well laser data can be used as a reliable base for profitability calculations of biofuel harvest, the regression models were adapted for five fundamental forest-related variables: basal area weighted mean height (H<sub>gv</sub>), basal area weighted mean diameter (D<sub>gv</sub>), arithmetic mean diameter (D<sub>a</sub>), total biomass (B) and total number of stems (S). As an alternative to first estimating forest variables using laser data and then using these estimates to calculate profitability, the method estimated profitability directly using laser data.

The method shows clear potential for improving the efficiency of biofuel harvest in young forest, by physically identifying profitable areas and by delivering high levels of spatial accuracy. The method could probably be further improved by combining new national elevation model (NNH) data with another data source containing information about the species mix.

# Innehåll

Sammanfattning.....	2
Bakgrund .....	4
Mål och syfte.....	5
Introduktion.....	5
Täta ungskogsbestånd .....	5
Kantzoner längs vägar.....	7
Material och metoder.....	8
Utsökning av lämpliga inventeringsbestånd.....	8
Utsökning av lämpliga ungskogsbestånd .....	8
Utsökning av lämpliga inventeringsförband vid väg.....	9
Inventering.....	9
Täta ungskogsbestånd .....	10
Kantzoner längs vägar .....	11
Tillståndsskattningar för provytedata .....	11
Laserdata och Analysmetod .....	12
Förbättring och utökning av områdesindelningen.....	14
Urklipp av laserdata vid vägkant.....	16
Resultat .....	17
Täta ungskogsbestånd .....	17
Skattningar av skogliga variabler.....	17
Direkt skattning av lönsamhet för biobränsleuttag.....	22
Områdesindelning för ungskog.....	25
Kantzoner längs vägar.....	27
Skattning av skogliga variabler .....	27
Områdesindelning vid vägkanter .....	28
Prediktering av utbyte för vägkanter med lasermetriker .....	29
Diskussion .....	29
Täta ungskogsbestånd .....	29
Kantzoner längs vägar.....	30
Referenser.....	31
Bilaga 1 Provytepositioner för vägkanter.....	33
Bilaga 2 Inventeringsinstruktion .....	35

## Sammanfattning

Klen skog är en stor potentiell skogsenergiälla. De senaste årens ökade efterfrågan och pris på biobränslen har lett till ett ökat intresse för att ta ut skogsbränsle vid gallring i täta, klena bestånd och längs väg- och åkerkanter. Ett kalkylverktyg för volymuppskattning och för beräkning av volymutfall och ekonomi vid uttag av skogsbränsle i klena bestånd har tagits fram i ett annat ESS-projekt. Ett problem är dock att noggrannheten i användarnas indata befaras vara av varierade kvalitet då det är förenat med stora kostnader att inventera ungskogar och vägkanter.

En möjlighet att lösa detta problem kan vara att använda data från Lantmäteriets nationella laserskanning (NNH) i kombination med koordinatsatta fältinmätta referensprovytor. Med hjälp av en ny karteringsmetod som utvecklas med det färdigställda kalkylverktyget som grund bör det vara möjligt att kartera stora områden och i dessa identifiera potentiellt lönsamma avverkningsområden. Målet med projektet har varit att utveckla en metod baserad på laserskanningsdata som effektivt stöder planeringen av biobränsleuttag i eftersatt ungskog, speciellt för a) ungskog i kantzoner längs vägar och b) bestånd av ungskog, med utgångspunkt i kriterierna från kalkylverktyget från Skogforsk.

Athanassiadis m.fl. (2011) gör beräkningen att potentiellt uttag i klena gallringar där medelhöjden i beståndet är lägre än 14 meter ligger totalt på ca 9,4 TWh årligen. Vegetationen i vägkanterna är i dag en relativt outnyttjad resurs för skogsbränsle. Sverige finns i dag ungefär 213 000 km skogsbilvägar, d.v.s. vägar utan statligt bidrag och potentialen här bedöms vara ca 2 TWh per år.

Biomassavolymer varierar dock stort. Ett av de stora problemen är att uppskatta uttagsvolymerna samt att nettot vid skogsbränsleuttag kommer att skilja mycket.

Utsökning av objekt för studien skedde i ett område öster om Leksand. Aktuella beståndsdata om röjningsskogar hämtades från en pågående omarrondering. Markägarna är privata enskilda markägare. Försöket med kantzoner längs vägar gjordes i samma område. Vägklasser motsvarande skogsbilväg valdes ut för inventeringen.

Totalt lottades 250 provytor ut med lika fördelning i röjda och oröjda bestånd. I varje bestånd lottades positioner för 4–5 nominella provytor ut med en ytradie om 10 meter. Inventeringen koordinerades och genomfördes av Skogsstyrelsen under sommaren 2011. Tillståndsbeskrivningen på inventerade objekt baseras på registrerade träd på provytan. För inklavade träd där endast brösthöjdsdiameter var registrerade beräknades trädhöjd med höjdkurvor upprättade på provträd med data om trädhöjd och brösthöjdsdiameter. Volymen på provytorna beräknades med volymfunktioner.

I projektet användes laserdata från den ordinarie produktionen av NNH inklusive Lantmäteriets markmodell från NNH. Analyserna genomfördes med area-metoden (Næsset, 2002; Næsset et al., 2004) baserad på multipel linjär regression. Ett stort antal metriker beräknades i laserdata för varje provyta. De mest centrala måtten är höjdpercentiler och täthetsmått. Dessa metriker beräknades även som rasterdata med  $10 \times 10$  m cellstorlek, heltäckande för analysområdet. Baserat på data från provytorna beräknas därefter med regressionsanalys en modell för varje skoglig variabel med lasermetriker som oberoende variabler.

För att utvärdera hur väl laserdata kan användas för att beräkna ett tillförlitligt underlag för lönsamhetskalkyler av biobränsleuttag anpassades regressionsmodeller för fem grundläggande skogliga variabler: grundtyevägd medelhöjd ( $Hg$ ), grundtyevägd medeldiameter ( $Dg$ ), aritmetisk medeldiameter ( $Da$ ), total biomassa ( $B$ ) och totalt stamantal ( $S$ ). De skogliga variablerna visade klart samband med flertalet av metriker, främst de högre percentilmåtten och höjdspridningen. Även tätheten av vegetationen visade direkta samband. Som ett alternativ till att först uppskatta skogliga variabler med hjälp av laserdata och sedan beräkna lönsamheten baserat på dessa skattningar, användes en direkt skattning av lönsamheten med hjälp av laserdata. Den beräknade lönsamheten mätt i netto (kr/ha) vid bilväg för uttag av träddelar, modellerades med hjälp av de lasermetriker som beräknats. De anpassade värdena (d.v.s. modellens predikterade värden) visar ett klart samband med de uppmätta. Modellen predikterar där om lönsamheten är positiv eller negativ korrekt i 76 % av fallen. Av de observerade lönsamma ytorna så hittas 72 % och 68 % av de predikterat lönsamma ytorna är observerat lönsamma.

Områdesindelningen av ungskogen till olika polygoner medförde att metriker från laserdata blev mer homogena och representerade området bättre än överlappande beståndsindelning.

Metoden visar klar potential att kunna effektivisera biobränsleuttag i ungskog, dels genom att faktiskt identifiera lönsamma områden och därmed kunna undvika olönsamma uttag, och dels genom att leverera hög rumsrigg noggrannhet. Genom att kartera så små enheter som provytor bör det vara möjligt att styra uttaget inte bara till lönsamma bestånd utan även till lönsamma delar inom bestånd.

Indelningen av området i polygoner har en koppling till variationer i lönsamheten för biobränsleuttag (NTD) men behöver sannolikt kalibreras till precis rätt gränsvärden för att kunna avgränsa lönsamma från olönsamma områden. Fältdata bör relativt enkelt kunna utnyttjas till det, antingen direkt i en styrd klassningsmetod eller genom att beräkna en rasterskattning av NTD som även den används för att styra den automatiska indelningen.

Korsvalideringen av väggkantsmaterialet gav ett RMSE på 18–32 % där diameter var lättast att prediktera och stammar/ha var svårast. Estimeringen av biomassa hade en RMSE på 27 %. Så bioenergi vid väggkanter går att estimeras med hjälp av laserdata med tätheten 0,5 punkter/m<sup>2</sup> även om spridningen är något hög. För estimering av utbyte kunde 64 % korrekt predikteras till lönsam eller icke lönsam yta. Ett högre tröskelvärde skulle kunna ge en högre sannolikhet för att bara träffa på lönsamma ytor.

Metodiken kan sannolikt förbättras ytterligare genom att kombinera NNH-data med en ytterligare datakälla som innehåller information om trädslagsblandningen. Andelen löv är här av särskilt intresse eftersom den till stor del påverkar lönsamheten i biobränsleuttaget. Det finns många tänkbara datakällor som levererar heltäckande data nationellt till en låg kostnad.

Flygbilder kan, tack vare markmodellen från NNH, i dag även användas till att beräkna höjddata för vegetationen på liknande vis som laserskannerdata, genom automatisk stereomatchning av flygbilder. Dessa data har använts till att uppskatta skogliga variabler och visat noggrannheter nästan i nivå med laserskannerdata.

## Bakgrund

Klen skog är en stor potentiell skogsenergi-källa. De senaste årens ökade efterfrågan och pris på biobränslen har lett till ett ökat intresse för att ta ut skogsbränsle vid gallring i klena bestånd och längs väg- och åkerkanter. I Sverige finns ca 1 miljon hektar ungskog i mer eller mindre akut behov av röjning. Av dessa är ungefär hälften lämpliga för uttag av skogsbränsle, d.v.s. skogar med en medelhöjd mellan 5 och 10 meter, klenare än 10 cm i brösthöjd och med 4 500–10 000 stammar per hektar. P.g.a. eftersläpande åtgärder motsvarar den nuvarande volymen ett bränsletillskott på minst 50 TWh. Uthålligt kan det röra sig om 4–6 TWh per år.

Vegetationen i vägkanterna är i dag en relativt outnyttjad resurs för skogsbränsle. I studier som genomfört har stamantalet varierat mellan 4 500 och 20 000 stammar per hektar motsvarande ett biomassauttag på 40 till 110 ton torrsbstans. Lönsamheten har varit relativt god med ett avverkningsnetto på runt 10 000 kr per km väg. Om 5 % av de 213 000 km skogsbilvägar som finns i Sverige, d.v.s. ca 1 000 km, antas lämpliga att årligen skördas på sina väggkants-träd skulle detta innebära ett energitillskott på ca 2 TWh. Tillgången varierar dock stort från vägsträckor helt utan småträd och buskar, till sådana som har flera 10 000-tals stammar per hektar. Även dimensionerna på väggkants-träden varierar stort. Detta gäller troligen generellt för hela Sveriges vägnät, vilket kommer att innebära stora svårigheter att uppskatta uttagsvolymen och att nettot vid skogsbränsleuttag kommer att skilja mycket. Problemet är att de ”lönsamma” vägsträckorna ligger insprängda i de mer klenlyftna sträckorna, och det inte finns någon bra metod att bedöma och lokalisera dessa lönsamma vägsträckor.

Ett kalkylverktyg för volymuppskattning och för beräkning av volymutfall och ekonomi vid uttag av skogsbränsle i klena bestånd har tagits fram i ett annat ESS-projekt. Ett problem är dock att noggrannheten i användarnas indata befaras vara av varierade kvalitet då det är förenat med stora kostnader att inventera dessa skogar. En möjlighet att lösa detta problem kan vara att använda data från Lantmäteriets nationella laserskanning (NNH) i kombination med koordinatsatta fältinmätta referensprovtytor. Med hjälp av en ny karteringsmetod som utvecklas med det färdigställda kalkylverktyget som grund bör det vara möjligt att kartera stora områden och i dessa identifiera potentiellt lönsamma avverkningsområden. Data från flygburen laserskanning har förmågan att mäta skogens höjd såväl som täthet och är väl känt att leverera mycket nog-



granna skattningar för medelålders och äldre skog, men det är däremot fortfarande mindre utrett vilka resultat som kan förväntas för ungskog. Genom att anpassa befintliga laserbaserade inventerings- och analysmetoder till kartering av ungskogar lönsamma för skörd av biobränsle kan antagligen Lantmäteriets nya heltäckande laserskanning användas till att kraftigt effektivisera planeringen av detta.

## Mål och syfte

Målet med projektet har varit att utveckla en metod baserad på laserskanningsdata som effektivt stöder planeringen av biobränsleuttag i eftersatt ungskog, speciellt för a) ungskog i kantzoner längs vägar och b) bestånd av ungskog, med utgångspunkt i kriterier från kalkylverket från Skogforsk. Metoden har utvärderats på ett försöksområde med laserdata från Lantmäteriet och fältdata som inventeras under fältsäsongen 2011.

## Introduktion

### TÄTA UNGSKOGBESTÅND

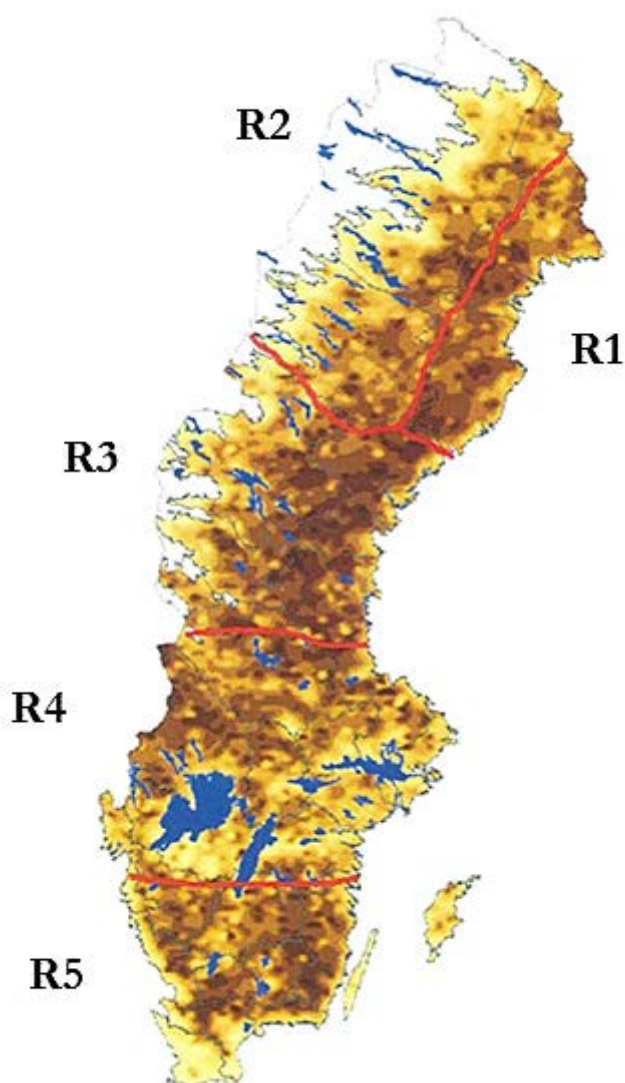
Röjning är ett första viktigt steg mot en väl växande och värdefull skog. I och med den nya Skogsvårdslagen från 1994 togs röjningsplikten bort. Detta har lett till att röjningen minskat markant, vilket i förlängningen, om ingen röjning sker i beståndet, kan komma att leda till sämre virkeskvaliteter och vitalitet i svenska skogar. I dag uppskattas det årliga röjningsbehovet till ca 275 000 hektar. Endast ca 200 000 hektar av dessa beräknas bli röjda. I dagsläget har vi därför ca 1 000 000 hektar i mer eller mindre akut behov av utglesning i form av röjning eller gallring. Aktiv och anpassad skötsel av unga bestånd ökar och styr tillväxten till de s.k. framtidsstammarna, minskar skaderisken i beståndet samt skapar förutsättningar för lägre avverkningskostnader i framtida gallringar.



Figur 1.  
Klen skog i akut behov av utglesning för att kunna utvecklas till en växtlig produktionsskog. Av en miljon hektar ungskog i behov av röjning eller förstagallring bedöms ungefär hälften vara lämplig för uttag av skogsbränsle.

Tabell 1.  
 Potentiellt uttag i klena gallringar där medelhöjden i beståndet är lägre än 14 meter, och där den möjliga uttagsvolymen motsvarar minst 30 ton TS per hektar, Athanassiadis m.fl. (2011).

Region	TWh
R1	0,5
R2	0,8
R3	2,1
R4	3,3
R5	2,8
<b>Totalt</b>	<b>9,4 TWh</b>



Figur 2.  
 Karta över de 5 regionerna enligt Tabell 1 ovan.

Athanassiadis m.fl. (2011) gör beräkningen att potentiellt uttag i klena gallringar där medelhöjden i beståndet är lägre än 14 meter, och där den möjliga uttags-



volymer är minst 30 ton TS per hektar, ligger totalt på ca 9,4 TWh årligen. Tabell 1 visar hur dessa volymer fördelar sig över landet, med det största potentiella uttaget i Mellansverige. Här är även behovet av skogsbränslen som störst.

På grund av uteblivna röjningar i stora arealer av ungskog under de senaste 15 åren motsvarar den nuvarande volymer ett bränsletillskott på minst 50 TWh. Uthålligt, och med tekniska och ekonomiska restriktioner bedöms ca 5–7 TWh per år möjliga för uttag från klena bestånd. Dessa eftersatta röjningsbestånd växer allteftersom in i gallringsbara dimensioner, det troligaste scenariot är att skogsbränsleuttag kommer att utföras i dessa bestånd.

## KANTZONER LÄNGS VÄGAR

I Sverige finns i dag ungefär 213 000 km skogsbilvägar, d.v.s. vägar utan statligt bidrag. Om man antar att fem procent av denna väglängd årligen är lämplig att skörda för ett eventuellt biomassauttag och att medelvikten blir 40 ton torrsubbstans per km (10 m skördebredd), motsvarar det 426 000 ton TS per år. Med ett energivärde på 4,7 MWh per ton levererad biomassa blir det totala energitillskottet ca 2 TWh.

Att röja ner småträd och buskar efter vägkanterna är en åtgärd som av tradition räknats till vägunderhållet och därmed enbart varit en kostnad. Om buskar och småträd i vägrenen tillåts växa fritt kommer, förutom försämrade sikt, fukt att bindas i vägkroppen och skada vägen. Röjning sker vanligtvis med s.k. släntklippning, vilket kostar ca 2 500 kr per km. Kostnaden för släntklippning beror mycket på den hastighet som maskinen kan hålla som i sin tur beror av antalet och grovleken på de träd som ska klippas ned. Om träden inte är grövre än 4 cm i rotskåret kan släntklippen hålla en hastighet av ca 3 km/h och kostnaden blir ca 1 000 kr per km. Om rotskåret på många av träden däremot är ca 10 cm går det inte att köra fortare än ca 1 km/h och släntklippningen kostar då ca 3 500 kr per km. Är många av träden ännu grövre ökar kostnaden avsevärt.

Denna kostnad kan ställas mot det netto som ett tillvaratagande av vegetationen ger. Vegetationen i vägkanterna är i dag en relativt outnyttjad resurs för skogsbränsle, mycket beroende på att lönsamheten varit dålig. Med stigande priser och ökande efterfrågan på skogsbränsle blir det dock alltmer intressant att tillvarata denna resurs och att utveckla effektiva metoder och tekniker. Studier tyder på relativt god lönsamhet vid uttag av skogsbränsle längs vägkanter. För väghållaren kan det således vara en god affär att ta tillvara skogsbränslet i stället för att bara röja ner det.

Biomassavolymer varierar dock stort, från vägsträckor helt utan småträd och buskar till sådana som har flera 10 000-tals stammar per hektar. Även dimensionerna på vägkantsträden varierar. För lönsamheten är det av stor vikt att endast avverka de vägkanter som håller tillräckliga volymer.

Ett av de stora problemen är att uppskatta uttagsvolymerna och att nettot vid skogsbränsleuttag kommer att skilja mycket. En möjlighet att lösa detta kan vara att använda laserdata och utveckla en karteringsmetod som gör det möjligt att kartera stora områden i syfte att identifiera potentiellt lönsamma avverkningsområden, både längs vägar och i unga täta bestånd. Data från flygburen laserskanning har förmågan att mäta skogens höjd såväl som täthet och kan ge mycket noggranna skattningar för medelålders och äldre skog, men det är däremot fortfarande mindre utrett vilka resultat som kan förväntas för ungskog.

Typiska prestationer i dag vid tillvaratagandet (avverkning och skotning) ligger kring på 2,5 – 4,0 ton torrsubstans per  $G_0$ -timme. Lönsamheten kan vara relativt god med avverkningsnetton runt 10 000 kr per km väg, om dimensionerna är från ca 5–6 centimeter i diameter i brösthöjd. Om en stor andel av stammarna är 3 centimeter eller mindre i brösthöjdsdiameter, bör man överväga att kombinera avverkningen med en släntklippning. Det vore önskvärt en breddavverkande maskin som klarar av att avverka och tillvarata både grövre stammar och mycket klint sly i en och samma operation.

## **Material och metoder**

### **UTSÖKNING AV LÄMPLIGA INVENTERINGSBESTÅND**

Utsökning av objekt skedde i ett område öster om Leksand. Aktuella beståndsdata om röjningsskogar hämtades från en pågående omarrondering. Markägarna är privata enskilda markägare. Någon koppling mellan markägare och bestånd som ingått i försöket finns ej. Området omfattade totalt 29 930 ha och 23 947 bestånd. Av antalet ungskogar som fanns i underlaget var oskötta potentiella energibestånd 2 151 bestånd (2 509 ha) och skötta 3 692 bestånd (4 500 ha) som användes som referens.

Försöket med kantzoner längs vägar gjordes i samma område. Vägklasser motsvarande skogsbilväg valdes. Total väglängd var 2 138 km.

### **Utsökning av lämpliga ungskogsbestånd**

Ungskogarna kunde från det nyligen upprättade beståndsregistret delas in i skötta och oskötta bestånd för att säkerställa att underlag fanns både i potentiella energiskogsbestånd och som referensbestånd för jämförande analys.

Totalt inventerades 87 stycken bestånd varav 50 stycken (250 provytor) var öröjda medan 27 stycken (130 provytor) var röjda. Ålder på bestånden varierade mellan 15 år och 35 år.

## Utsökning av lämpliga inventeringsförband vid väg

För att lokalisera lämpliga vägar användes Lantmäteriets väglinjer från GSD (Geografiska Sverige Data). Större vägar exkluderades och de detaljtyper som bedömdes lämpliga att använda framgår i Tabell 2.

Tabell 2.  
Använda väglinjer för buffertzonen.

Detaljtyp	Beskrivning
ÖVÄGTRAM	Traktorväg
VÄGBN.M	Bilväg/Gata
VÄGBS.M	Sämre bilväg
SAMF	Samfälliga vägar

Individual Tree Crown-polygoner (d.v.s. polygoner från automatisk segmentering med målet att avgränsa varje träd eller tätt växande trädgrupp) som skapats utifrån laserdata användes för allokeringen av provytor i vägkantzoner för studien och för att göra ett varierat utlägg. För att få en bra utvärdering måste alla möjliga typer av skogskanter vara med i undersökningen, både de som innehåller mycket biomassa och de som har litet.

Målbilden med polygonerna var att de skulle innefatta relativt homogena zoner av skog som var belägen längs lämpliga vägar. Homogeniteten bedömdes utifrån laserdatas spridning i höjd över mark. Varje polygon tilldelades därefter en grundläggande höjdvariabel samt en täthetsvariabel. Polygonerna skapades inom en buffertzonen på 15 m räknat från väglinjens mitt och hade en medelareal på ca 800 m<sup>2</sup>. Inom polygonerna från respektive urvalsgrupp kunde provytepositioner slumpas ut enligt Bilaga 1 och 2.

### Buffertzonen bredd bestämdes med tanke på i huvudsak två faktorer:

- 1) Att väglinjens positionering kan avvika ett flertal meter från verklig väg.
- 2) Att ett möjligt område för skörd normalt är ca 10 m från skördarens position med avseende på normal kranlängd. (2)

## INVENTERING

Utlottningen av provytor i såväl ungskogar som vägkanter sköttes av SLU. Inventeringen koordinerades och genomfördes av Skogsstyrelsen under sommaren 2011. Arbetet med röjskogsytorna genomfördes i par och manuellt protokoll fördes på samtliga ytor. De manuella protokollen renskrevs dagligen i Excel. Granskning gjordes i efterhand på rummet mellan manuella protokoll och klavdata för att säkerställa att alla data verkligen var korrekta från provytorna.

Inventeringen i kantzonerna utfördes av enbart en person och som använde dataklave. Här fördes inga manuella protokoll, däremot fördes protokoll om ytorna.

## Täta ungskogsbestånd

Totalt lottades 250 provytor ut med lika fördelning i röjda och oröjda bestånd. I varje bestånd lottades positioner för 4–5 nominella provytor ut med en ytradie om 10 meter. Navigering till provytorna gjordes med Garmin 12 GPS tills GPS:n visade att det var 20 m kvar till provytans mittpunkt. Därefter navigerades sista biten med måttband och kompass för att etablera ett ytcentrum. För exakt positionering av provytecentrum användes precisions GPS, Topcon GRS-1. SWEPOS:s tjänst nätverk DGNSS användes för direktpositionering via mobiltelefonnätet. När kontakt saknas med nätet skedde efterberäkning. Topcon GPS GRS-1 har utvärderats mot en fast referenspunkt och då levererat mät noggrannhet understigande 0,5 m avvikelse.



Figur 3.  
Provytecentrum markerades med gul snitsel.

Haglöfs dataklave Digitech Professional användes. Totalklavning samt manuell registrering utfördes av stammar under 4 cm. Ytradie 10 m mättes med Transponder T3. Samtliga träd i provytan höjdmättes. Höjdmätning av skog upp till 8 m gjordes med 6 m teleskopspö. För högre träd användes Suunto höjdmätare. För underväxt med stammar under 4 cm gjordes en bedömning av höjd gruppvis. Alla ytor fotograferades med minst 2 foton.

Provytecentrum markerades med orange färg. Trädslag registrerades som tall, gran och löv. Contorta registrerades som tall. Klavning av träd har skett med klavens skänkel vänd mot provytecentrum.





Figur 4.  
Inventering av provytor.

### Kantzoner längs vägar

Provytor lades ut för att mäta volym i utlottade kantzonsegment. Tre provytor (bälten) lades inom varje segment med utgångspunkt från centrum. Ytstorlek var  $2 \times 6$  m och lades vinkelrätt från väggkant in i kantzonen och 6 m ut. För att få rektangulära ytor på detta vis användes 6 m teleskopspön som avgränsare. Positionering skedde genom att positionera med precisions GPS GRS-1 i centrum av varje kortända på provytan. En bäring togs ut mellan de två punkterna med hjälp av en syftkompass som kontroll till efterarbetet av positioneringen.

Fältdatat bestod av två delar, dels träd med brösthöjdsdiameter större än 4 cm som klavades och dels träd mindre än 4 cm som enbart stamräknades.

En utvärdering gjordes av SLU över noggrannheten i positionsbestämningen. Medelvärde av inmätningarna av längden på ytorna mättes in till 5,9 m, standardavvikelsen var dock 1,85 m.

### TILLSTÅNDSKATTNINGAR FÖR PROVYTEDATA

Tillståndsbeskrivningen på inventerade objekt baseras på registrerade träd på provytan. För inklavade träd där endast brösthöjdsdiameter var registrerade beräknades trädhöjd med höjdkurvor upprättade på provträd med data om trädhöjd och brösthöjdsdiameter. Trädslagsvisa höjdkurvor beräknades för tall, gran och löv med en blandad regressionsmodell med fixa och stokastiska effekter (mixed model) med följande generella funktionsuttryck:

$\ln(h-1,3) = b_0 + b_1 \times dbh + b_2 \times \ln(dbh) + \epsilon_b + \epsilon_t$ . Där  $b_1$  är koefficienter för de fixa effekterna och  $\epsilon_b$  och  $\epsilon_t$  variansen mellan bestånd ( $\epsilon_b$ ) och mellan träd inom bestånd ( $\epsilon_t$ ). Vid tillämpningen kalibrerades skattningarna inom bestånd med stöd av provträden i aktuellt bestånd. För små träd inom provytan där endast höjden registrerades beräknades brösthöjdsdiametern med höjddiametersamband (Elfving, 1982). Sambanden kalibrerades mot provträden inom objekten.



Volymen på provytorna beräknades med volymfunktioner (Näslund, 1947; Andersson, 1954) och biomassan, för total biomassa och olika trädfraktioner med funktioner framtagna av Ulvcrona (2011) för träd med en brösthöjdsdiameter <10 cm och av Marklund (1988) för träd >10 cm i brösthöjd.

**Följande beståndskaraktärer (variabler) beräknades för varje provyta:**

- $H_a$  = Aritmetisk medelhöjd [m]
- $H_{gv}$  = Grundytevägd medelhöjd [m]
- $D_a$  = Aritmetisk medeldiameter [cm]
- $D_{gv}$  = Grundytevägd medeldiameter [cm]
- $V$  = Total volym [ $m^3$  sk/ha]
- $S$  = Antal stammar/ha
- $G$  = Grundyta [ $m^2$ /ha]
- $B$  = Total biomassa över mark [ton ts/ha]
- $B_{STBK}$  = Biomassa stam inkl. bark [ton ts/ha]
- $B_{GRBR}$  = Biomassa grenar och barr [ton ts/ha]
- $B_{D5cm}$  = Total biomassa för stammar med dbh > 5 cm [ton ts/ha]

**LASERDATA OCH ANALYSMETOD**

I projektet användes laserdata från den ordinarie produktionen av NNH inklusive Lantmäteriets markmodell från NNH. För analyserna av ungskogsbestånd användes skanningsblocken 09D019 och 09D020 (Tabell 3), för kantzonerna användes enbart blocket 09D020. Lasermätningarna (punktmolnet) normerades med avseende på markens höjd över havet, för att få punktmolnsdata där höjden för varje punkt motsvarar dess höjd över marken. Markytans höjd över havet extraherades från markmodellen (raster) som Lantmäteriet producerat inom NNH. Enbart punkter med höjdvärden mellan -1 m och 35 m över marken användes i beräkningarna, övriga antogs vara felaktiga mätningar och ignorerades.

Tabell 3.  
Laserdata från NNH.

Skanningsblock	Datum	System
09D019	2010-06-27 till 28	Leica ALS60
09D020	2010-06-26 till 27	Leica ALS60

Analyserna genomfördes med areametoden (Næsset, 2002; Næsset et al., 2004) baserad på multipel linjär regression. Det finns många alternativ till regression för att beräkna skattningar med areametoden, men regression valdes i detta projekt eftersom mängden data antagligen är för begränsad för t.ex. ickeparametrisk inferens med KMSN-metoden (se t.ex. Packalen & Maltamo, 2007) eller liknande.

Ett stort antal metriker (Tabell 4) beräknades från laserpunktmolnet för varje provyta, metriker som beskriver bland annat höjdfördelningen av punkterna inom respektive provyta. De mest centrala måtten är höjdpercentiler och täthetsmått. Höjdpercentiler beskriver höjdfördelningen för vegetationen, i avstånd över marknivån. Vid till exempel höjdpercentil 90 ( $P_{90}$ ) ligger 90 % av laserträffarna lägre än den höjden över marken.

Tabell 4.  
Exempel på beräknade metriker från laserpunktmolnets höjdfördelning.

Namn	Beskrivning
$p_{10}$ , $p_{20}$ , ..., $p_{95}$ , $p_{100}$	Punktmolnets höjdpercentiler, den 10:e, 20:e, ..., 95:e, och 100:e, endast returerna >1 m.
vegkvot	Täthet: antalet laserreturer i vegetationen * / totala antalet returerna.
vegkvot <sub>4-7</sub>	Täthet: antalet laserreturer i vegetationen * inom intervallet 4–7 m ovan mark/totala antalet returerna.
vegkvot <sub>7+</sub>	Täthet: antalet laserreturer i vegetationen * inom intervallet över 7 m ovan mark/totala antalet returerna.
stddev	Standardavvikelse, endast returerna >1 m.
skew	Fördelningens skevheten ( <i>skewness</i> ).
kurt	Fördelningens form jämfört med en normalfördelning ( <i>kurtosis</i> ).
IQ	Kvartilavstånd – avståndet mellan övre och undre kvartil.
medel	Medelvärde.
median	Median.
mode	Typvärde (det vanligaste höjdvärdet).
CV	Variationskoefficient.

\* Eftersom Lantmäteriet har laserskannat för att bygga en markmodell har de bara klassat marken och lämnat övrigt data som oklassat. När vi använder data tex vid vissa beräkningar av vegetationskvot antar vi att oklassat då är vegetation eftersom vi inte använder data från tätorter.

Täthetsmättet vegetationskvot är förhållandet mellan de träffar som når vegetationen (klassat i Lantmäteriets laserdata) jämfört med alla träffar inkluderat de som når marken. En hög vegetationskvot indikerar tät vegetation medan en låg vegetationskvot tyder på att vegetationen är gles eftersom många laserträffar når marken.

En kvot mellan höjdpercentiler är ett mått på hur flerskiktad en skog är, t.ex.  $(p_{90} - p_{40}) / p_{90}$ . Det vill säga om det är en stor skillnad i höjd mellan percentil 50 och percentil 90 så är det en stor spridning i höjd för vegetationen. Centralt för metrikerna är information om vilka lasermätningar som antagligen reflekterats från vegetationen respektive marken. För att avgöra det användes här den automatiska klassning (se t.ex. Axelsson, 2000) av vilka lasermätningar som reflekterats från marken som Lantmäteriet har gjort och levererar med punktmolnet. Alla mätningar som inte tillhör markklassen ansågs här vara mätningar av vegetationen. Till grund för beräkningarna av höjdpercentiler användes enbart mätningar med större höjd över marken än 1,0 m, för att undvika undervegetation, buskskikt, block m.m. (Næsset, 2002).

Dessa metriker beräknades även som rasterdata med  $10 \times 10$  m cellstorlek, heltäckande för analysområdet. Baserat på data från provytorna beräknas därefter med regressionanalys en modell för varje skoglig variabel med lasermetriker som oberoende variabler. Regressionsmodellerna utvecklades manuellt

baserat på studier av korrelation, residualdiagram och test av interaktionseffekter. Test för eventuell överanpassning genomfördes också, med hjälp av  $q$ -värdet, där  $q > 1.07$  indikerar överanpassning av modellen. (Fransson et al., 2000). Modellerna utvärderades med korsvalidering, ytvis, genom att beräkna noggrannheten som Root Mean Square Error (RMSE).

### **Två basmodeller utnyttjades dels en linjär och dels en multiplikativ modell:**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2}, \dots, X_p^{\beta_p} \varepsilon \quad (2)$$

Båda modellerna anpassades med multipel linjär regression, men (Ekvation 2) via logaritmisk transformation av ingående variabler (Næsset, 2002). Korrigerings av logaritmisk bias genomfördes genom att beräkna korrektionsfaktorer,  $c$ , från förhållandet mellan det observerade medelvärdet och medelvärdet av tillbakatransformerade modellanpassade variabelvärden. Detta är en robust metod som presenteras bland annat i Holm (1977) och Smith (1982).

### **Förbättring och utökning av områdesindelningen**

Under arbetet med provyteinsamlingen i vägkanterna identifierades en del förbättringspotential i den framtagna områdesindelningen. Det var bland annat önskvärt att avlägsna områden där vegetationen var lägre än 2 m och undvika att polygonerna överlappar själva vägområdet. Anledningen till förbättringarna var att skapa större homogenitet inom polygonerna så att de beräknade metriker från laserdata skulle bli mer rättvisande. För att möjliggöra undersökning av effekterna av en smalare bufferzon för områdesindelningen vid väg har den slutliga versionen även framställts med 10 m zon från väglinje.

Utöver förbättringarna skapades även polygoner liknande ”mikrobestånd” för den ungskog som omfattades av studien. Områdesindelningen för ungskogarna optimerades för att på bästa sätt dela in den vegetation som är mellan 2 och 15 m i så homogena polygoner som möjligt. Under processens gång skapades emellertid även polygoner i andra höjdklasser. För att på ett enkelt sätt möjliggöra urval tilldelades en klassificering i attributdata enligt Tabell 5.

Klassificeringen gjordes utifrån höjd och täthet på vegetationen eftersom dessa variabler bedömdes ha stor betydelse för lämpligheten till bibränsleskörd. Metrikerna från laserdata som användes för klassindelningen baserades på ett  $1 \times 1$  m rutnät där varje ruta tilldelats maximal höjd över mark från laserdata. Därefter beräknades motsvarande percentil 90 samt en kvot mellan percentil 60 och percentil 90 utifrån de rutor som var belägna inom polygonen. Respektive polygons värde för percentil 90 utgjorde definition på vegetationens höjd samt kvoten mellan percentil 60 och percentil 90 definierade vegetationens täthet.

Tabell 5.  
Klassificering av polygoner i ungskog.

Klass	Definition	Beskrivning
"Ungskog_säker"	Vegetation 2–15 m Täthet 0,65 – 1	Ungskog som sannolikt är lämplig för bibränsleuttag.
"Ungskog_kanske"	Vegetation 2–15 m Täthet 0,55 – 0,65	Ungskog som möjligen är lämplig för bibränsleuttag.
"Skog_mix"	Vegetation 2–15 m Täthet 0 – 0,55	Ungskog som knappast är lämplig för bibränsleuttag.
"Skog_gammal"	Vegetation >15 m Täthet 0–1	Skog som är högre än ändamålsenlig höjd.
"Skog_barmark"	Vegetation < 2 m Täthet 0–1	Skog som är lägre än ändamålsenlig höjd.

Utbredningen av polygonerna i ungskog begränsades till den tillämpade buffertzonen som använts för vägkantpolygonerna för att undvika överlappande data. Därutöver tillämpades också den tillgängliga "skogsmasken". Det vill säga områden med angivna skogsmarksområden enligt Lantmäteriets GSD-Fastighetskarta.

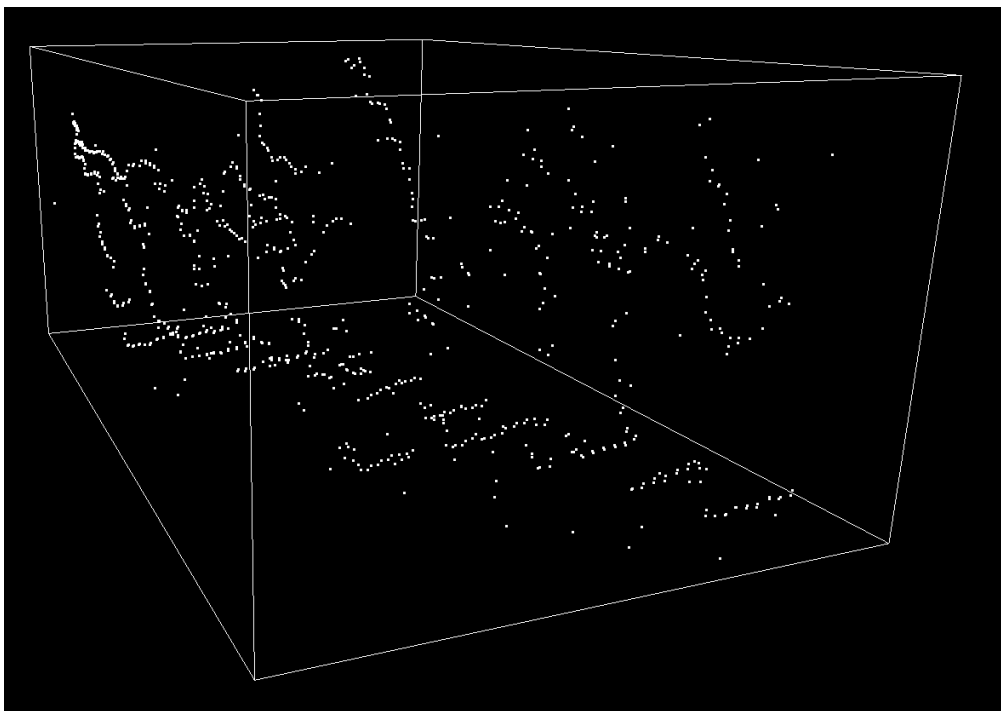
Tabell 6.  
Använda områden för "skogsmask".

Detaljtyp	Beskrivning
Skogbarr	Barrskog
Skoglöv	Lövskog
Sanknob	Sankmark

I ett sista steg jämnades gränserna mellan ungskogspolygonerna ut för att ge ett bättre visuellt intryck. De outjämnade gränserna ansågs dock vara bättre lämpad för beräkningsunderlag vid tillämpning av grunddata i form av raster.

## Urklipp av laserdata vid vägkant

För att kunna bygga modeller för prediktering av bioenergi behövs urklipp av laserdata som ligger invid de fältinventeringar som är gjorda. Eftersom vägkanter är långsträckta bedömdes rektangel vara den lämpligaste geometrin. De GPS-punkter som var inmätta vid provytorna fick utgöra basen för var urklippet skulle ligga men eftersom GPS-mätningar ej är exakta krävdes en justering för att få perfekta rektanglar. Medelvärden för de uppmätta GPS-punkterna i varje provyta fick avgöra var centrum av urklippet skulle ligga. För att få den riktning som rektangeln skulle ha, kurvanpassades en linje som gick genom centrum av urklippet. Den riktning som gav lägst RMSE fick bli klipprektangelns huvudriktning. Tvärsöver klipprektangeln sattes längden till 6 m och längsefter till 20 m.



Figur 5.  
Urklipp laserdata vid vägkant. Medelhöjd 3,85 m. Medelhöjd träd >40 mm = 8,33.



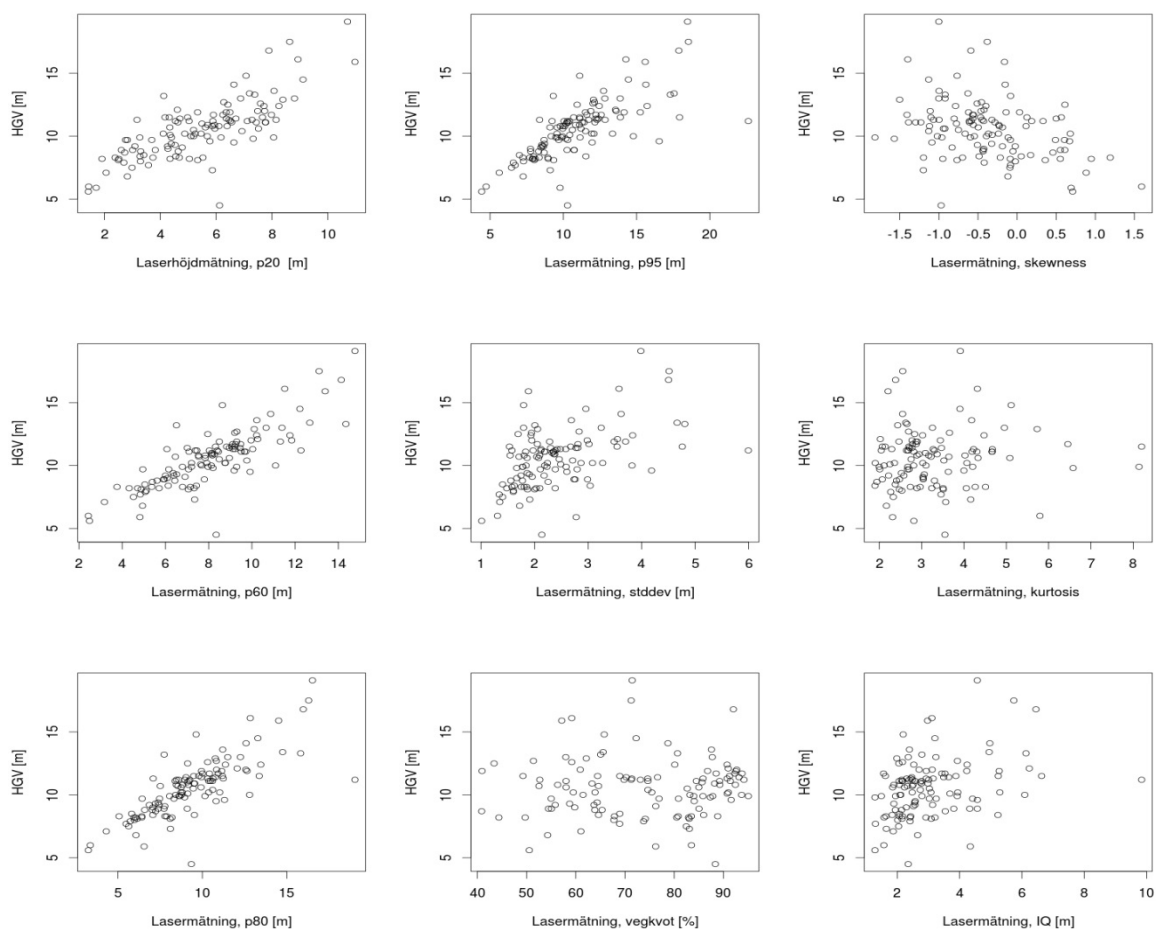
# Resultat

## TÄTA UNGSKOGSBESTÅND

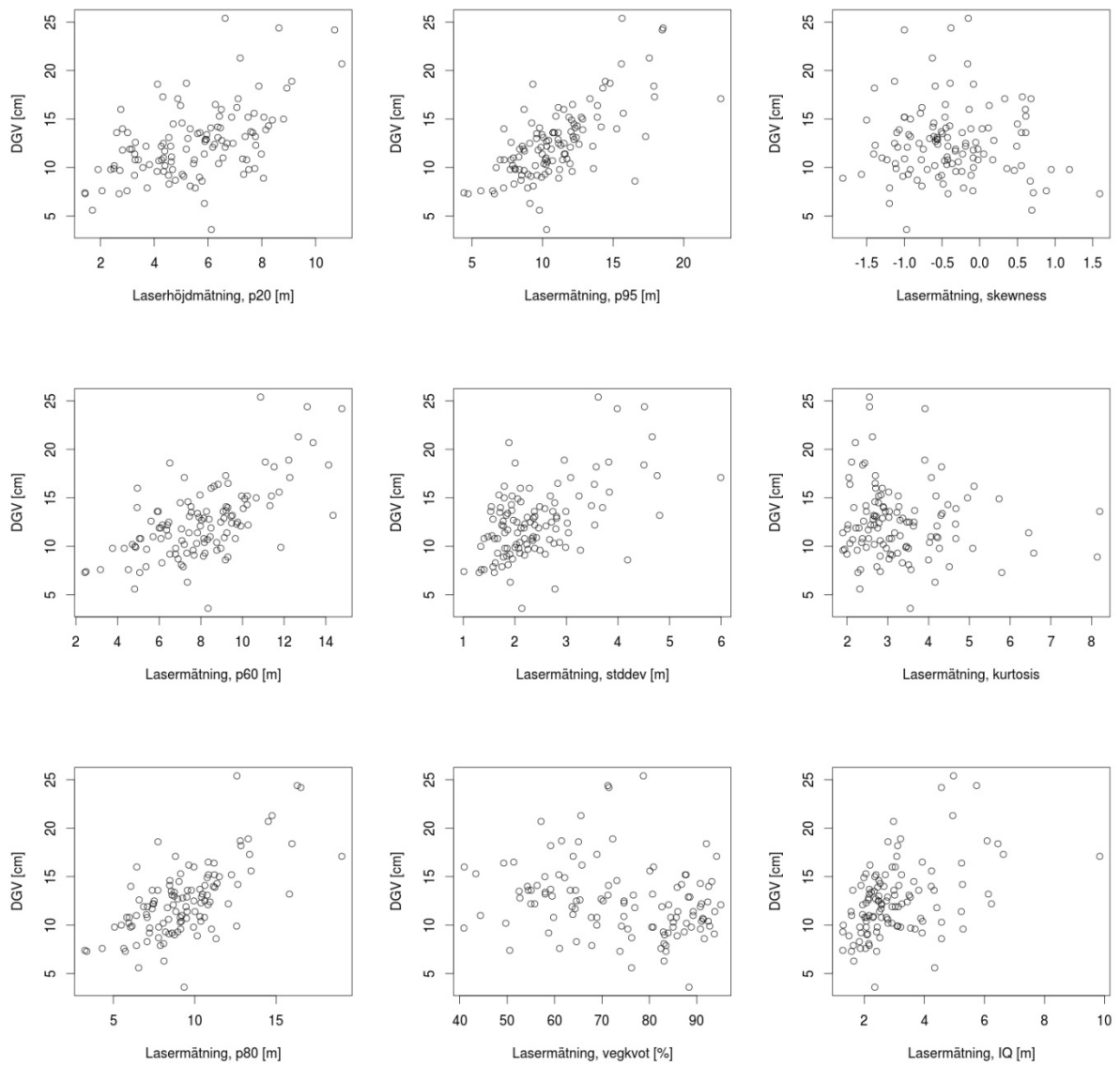
### Skattningar av skogliga variabler

För att utvärdera hur väl laserdata kan användas för att beräkna ett tillförlitligt underlag för lönsamhetskalkyler av biobränsleuttag anpassades regressionsmodeller för fem grundläggande skogliga variabler: grundtevägd medelhöjd ( $Hgv$ ), grundtevägd medeldiameter ( $Dgv$ ), aritmetisk medeldiameter ( $Da$ ), total biomassa ( $B$ ) och totalt stamantal ( $S$ ). Multiplikativa modeller (Ekv.2) användes där oberoende variabler valdes med hänsyn taget till att kunna utnyttja även data från vägkantytorna, där mängden laserreturer kan vara begränsade och möjligen begränsa stabiliteten i en del av de beräknade metrikerna. Till exempel användes inte *skew* och *kurt* i någon modell. Alla ingående modellparametrar är signifikanta med p-värden lägre än 0,05.

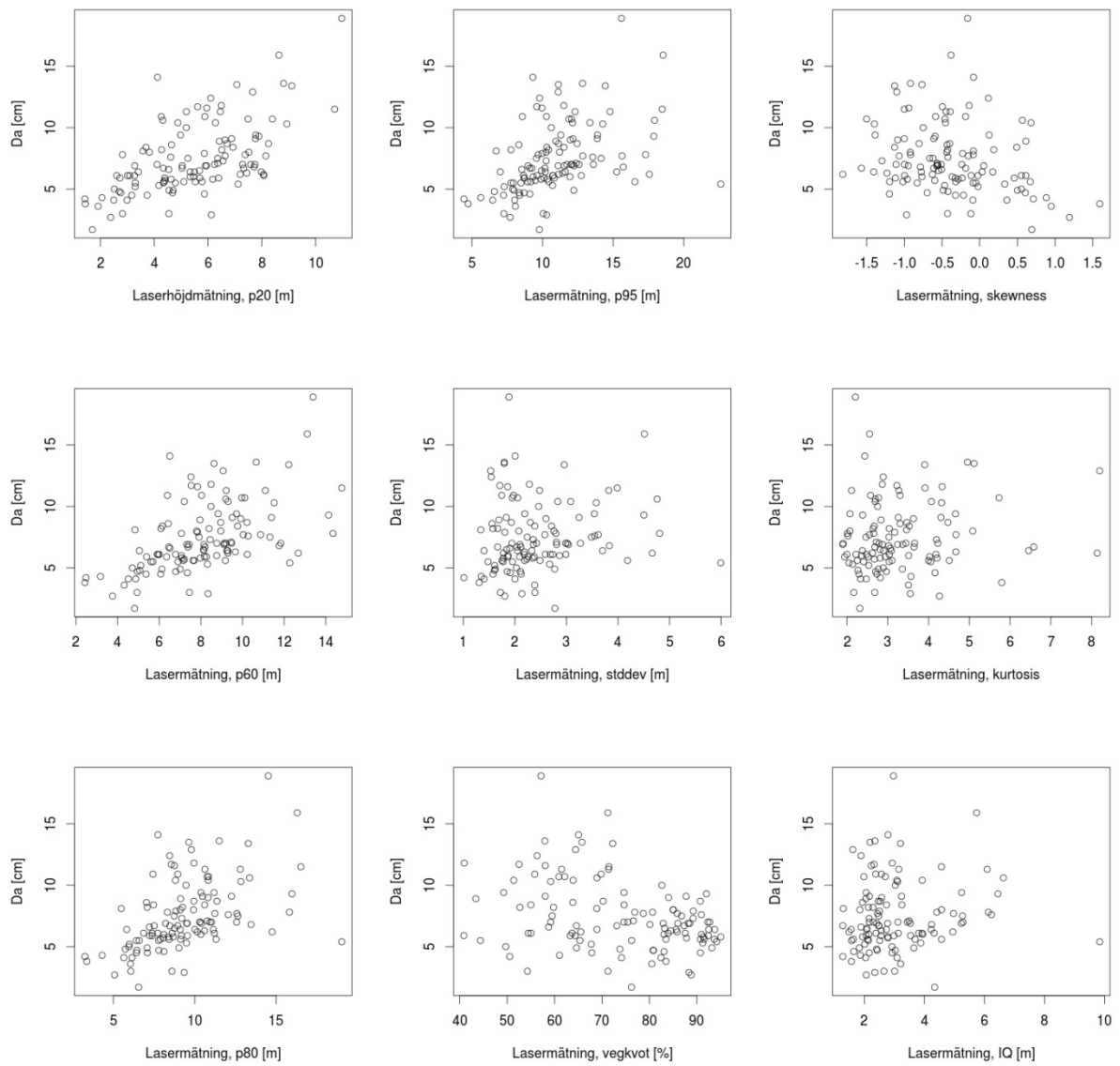
De skogliga variablerna visade klart samband med flertalet av metrikerna (se Figurerna 6–10), främst de högre percentilmåtten ( $p60$ ,  $p80$  och  $p90$ ) och höjdspridningen (*stddev* och *IQR*), med undantag för  $S$ . Även tätheten av vegetationen (*vegkvot*) visade direkta samband med framför allt  $B$  (Figur 9) och  $S$  (Figur 10).



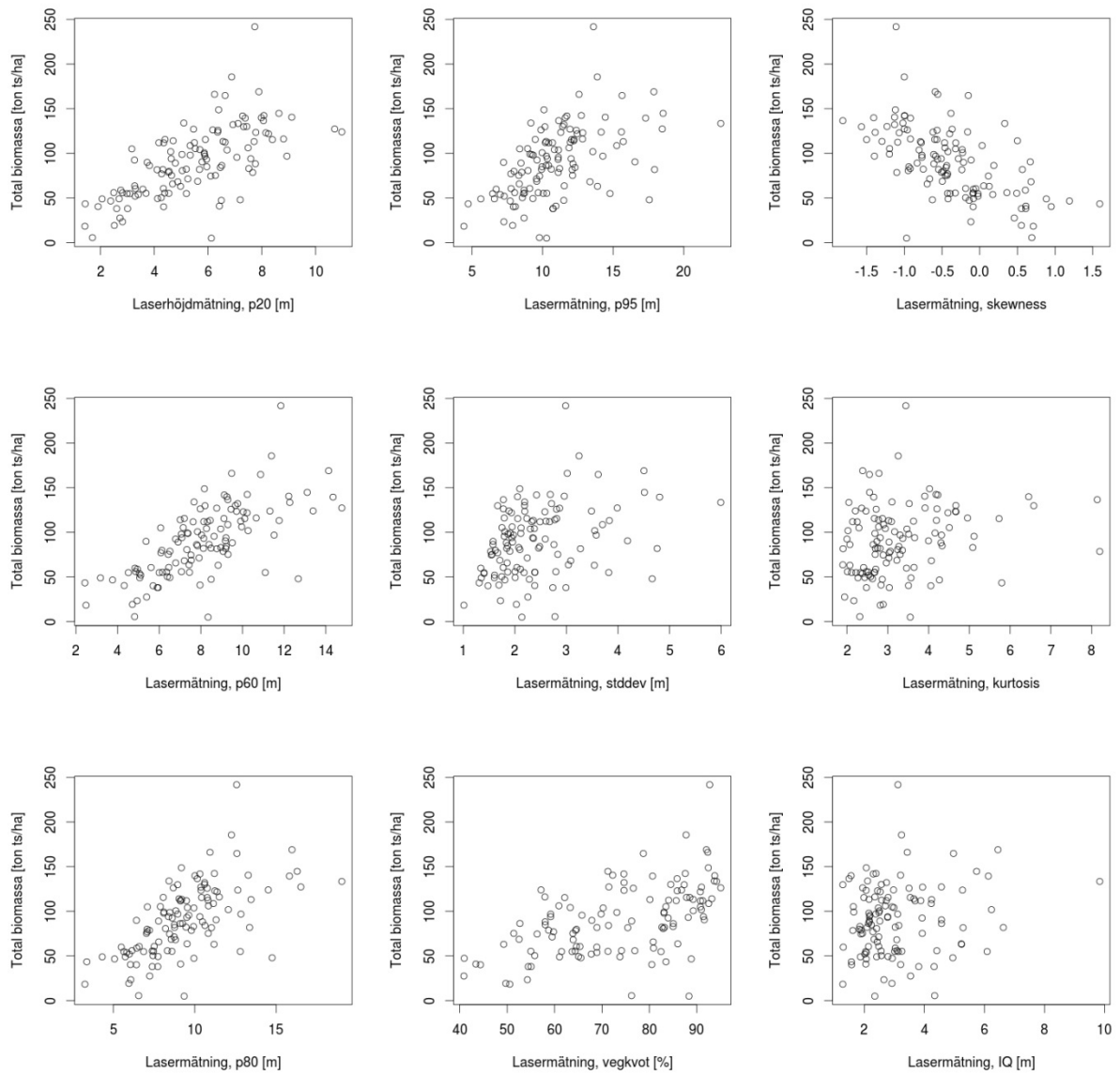
Figur 6.  
Lasermetriker för grundtevägd medelhöjd uppmätt på provytor i ungskog.



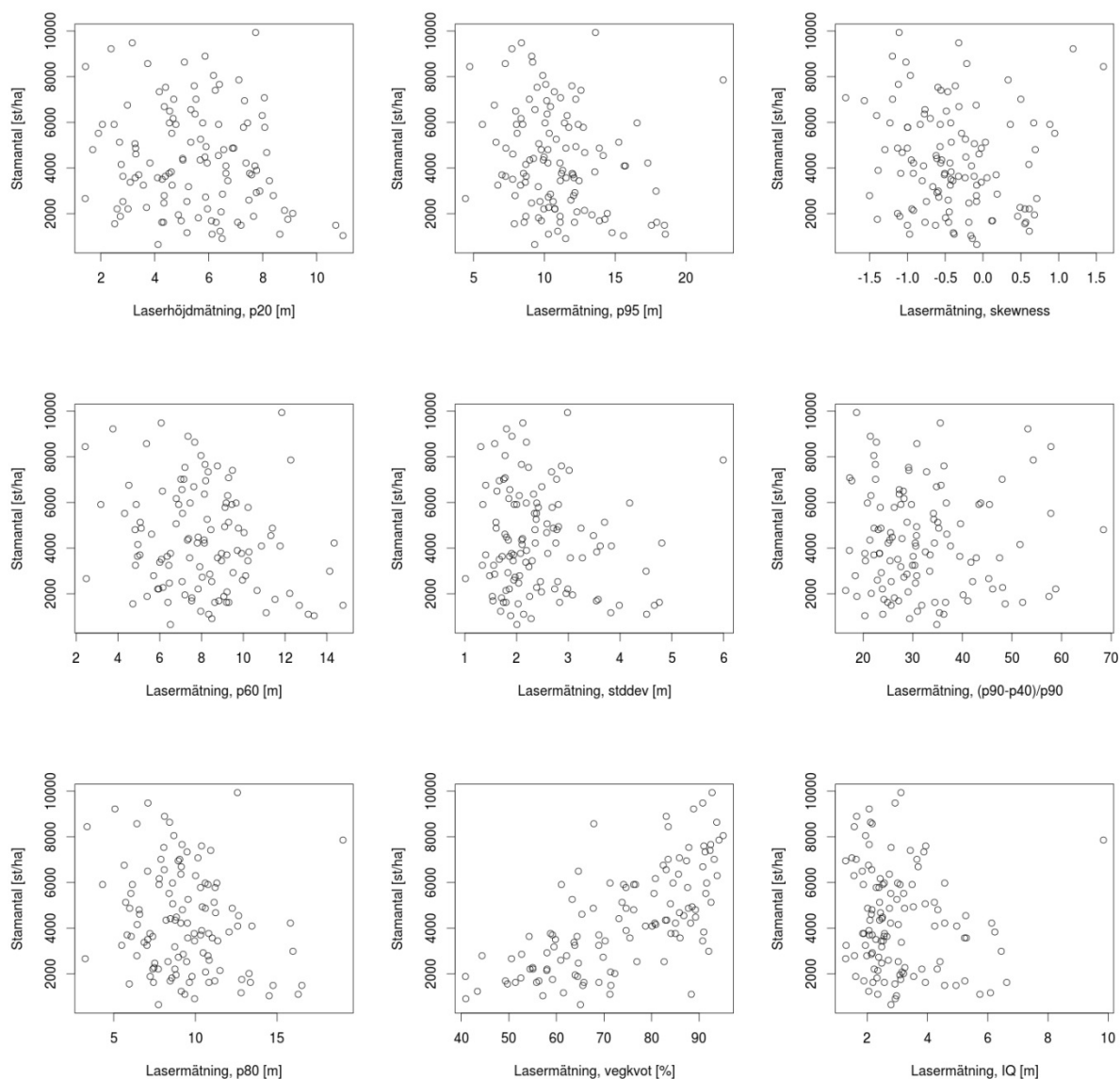
Figur 7.  
Lasermetriker för grundtyevägd medeldiameter uppmätt på provytor i ungskog.



Figur 8.  
Lasermetriker för aritmetisk medeldiameter uppmätt på provtyor i ungskog.



Figur 9.  
Lasermetriker för total biomassa uppmätt på provtyr i ungskog.



Figur 10.  
Lasermetriker för stamantal per hektar uppmätt på provytor i ungskog.

Vid utvecklingen av modellerna användes den bäst presterande höjpercentilen som första variabel i modelleringen, vilken därefter utökades genom att lägga till ytterligare metriker via studier av residualer och modelldiagnostik. Inga interaktionseffekter mellan metriker visade signifikans eller förbättrad modellanpassning. Täthetsmått och mått på kronlängd visade sig oftast tillföra information givet denna första modell, och de slutliga modellerna är ofta kombinationer av höga percentiler och dessa (Tabell 7). Bäst resultat visar skattningarna av  $H_{gy}$ , följt av  $B$  och de två medeldiametrarna (Tabell 8), och sämst resultat visar  $S$ . Detta motsvarar väl tidigare erfarenheter från laserbaserad kartering av etablerad skog. Den aritmetiska medeldiametern var väsentligt svårare att skatta än den grundtyevägda medeldiametern, vilket är rimligt i dessa mycket stamrika ungskogar, men kanske problematiskt eftersom den aritmetiska medeldiametern är en viktig ingångsvariabel i Flis-Av-Flis.



Tabell 7.  
Anpassade modeller.

Variabel	Modell	R2Adj	q	c
ln(Hgv)	$1,384 + 0,637 \ln(p80)^{***} - 0,103 \ln(\text{vegkvot})^*$	0,73	1,023	1,007
ln(Dgv)	$2,34961 + 0,75480 \ln(p80)^{***} - 0,48492 \ln(\text{vegkvot})^{***} + 0,16501 \ln((p90 - p40) / p90)^{**}$	0,57	1,046	1,017
ln(Da)	$2,2635 + 1,3048 \ln(p80)^{***} - 0,6362 \ln(\text{vegkvot})^{***} - 0,5452 \ln(\text{stddev})^{***}$	0,59	1,047	1,028
ln(B)	$0,7775 + 0,6875 \ln(p60)^{***} + 0,9906 \ln(\text{vegkvot})^{***} - 0,5914 \ln((p90 - p40) / p90)^{***}$	0,72	1,059	1,021
ln(S)	$0,5800 - 0,8109 \ln(p80)^{***} + 2,2009 \ln(\text{vegkvot})^{***}$	0,65	1,0249	1,0495

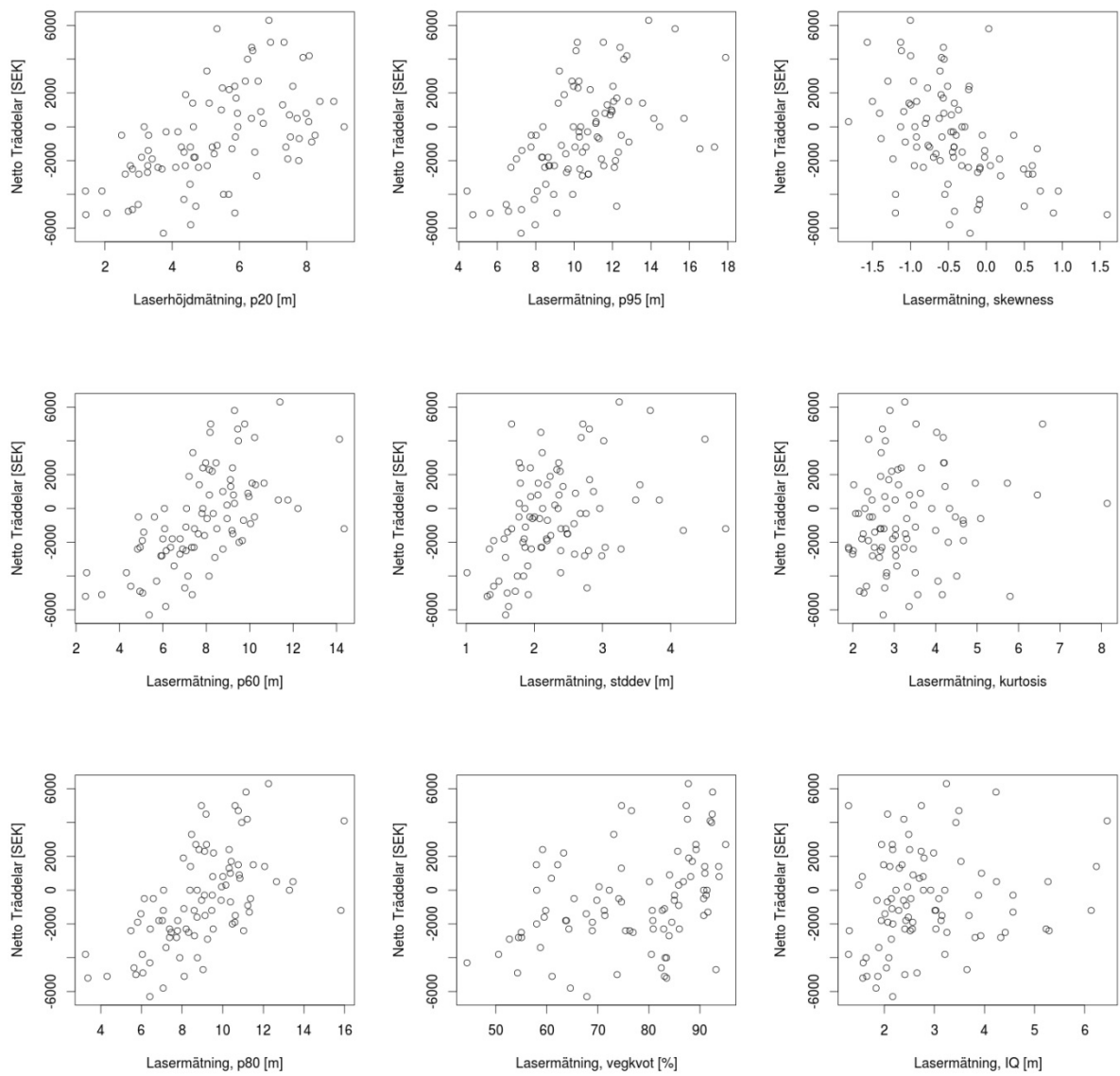
Signifikanssymboler: \*\*\* p < 0,001, \*\* p < 0,01, \* p < 0,05, · p < 0,1

Tabell 8.  
RMSE för ytvisa korsvaliderade skattningar av de olika variablerna från laserdata. Värden för RMSE är i procent av fältmätt medelvärde för respektive variabel.

Variabel	RMSE
Grundtyevägd medelhöjd (Hgv)	11,6 %
Grundtyevägd medeldiameter (Dgv)	19,0 %
Aritmetisk medeldiameter (Da)	24,6 %
Total biomassa (B)	21,7 %
Totalt stamantal (S)	32,0 %

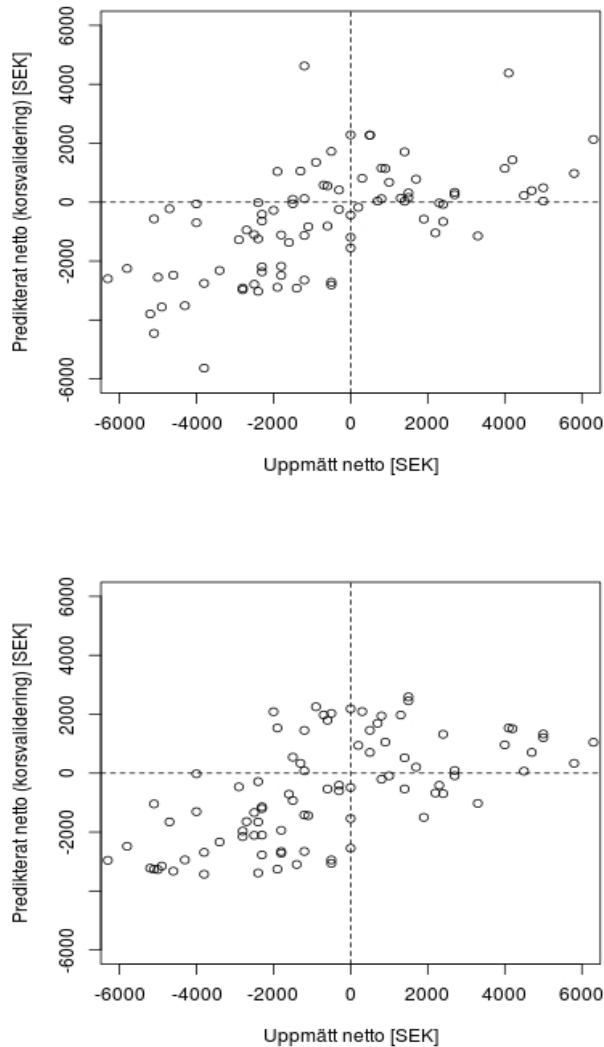
## Direkt skattning av lönsamhet för biobränsleuttag

Som ett rimligen stabilare och bättre alternativ till att först uppskatta skogliga variabler med hjälp av laserdata och sedan beräkna lönsamheten baserat på dessa skattningar, användes en direkt skattning av lönsamheten med hjälp av laserdata. Den beräknade lönsamheten mätt i netto (kr/ha) vid bilväg för uttag av träddelar, *NTD*, modellerades med hjälp av de lasermetriker som beräknats (Figur 11). En observation med extremt högt positivt *NTD* uteslöts helt ur analyserna. Samma metodik för modellutveckling användes som ovan, baserat på modellen i Ekvation 1.



Figur 11.  
 Lasermetriker för netto för uttag av träddelar beräknat för provtytor i ungskog.

De anpassade värdena (d.v.s. modellens predikterade värden) visar ett klart samband med de uppmätta. Modellen predikterar där om lönsamheten är positiv eller negativ korrekt i 76 % av fallen. Av de observerade lönsamma ytorna så hittas 72 % och 68 % av de predikterat lönsamma ytorna är observerat lönsamma. Korsvalidering av modellen visar dessutom bara en liten ökning av spridningen (Figur 12), och ett RMSE på 2 262 SEK.



Figur 12.

Jämförelse mellan skattade (korsvalidering) och beräknade netto för uttag av träddelar för provytor i ungskog, modell med p60 och vegkvot (över), modell med relation mellan vegkvot7 och vegkvot 4–7 (under).

En första ansats att beräkna en lasermetrik som beskriver just NTD så bra som möjligt genomfördes. Det torde vara rimligt att anta att unga skogar med kraftigt röjningsbehov har ett annat förhållande mellan tätheterna i den övre respektive undre delen av vegetationshöjden. Två täthetsmått beräknades därför ur laserdata, dels andelen av vegetationsreturerna mellan 4 och 7 meter (*vegkvot<sub>4-7</sub>*), dels andelen av vegetationsreturerna över 7 meter (*vegkvot<sub>7</sub>*). Relationen mellan dessa visade likartad förklaringsförmåga som den utvalda kombinationen av redan tidigare beräknade lasermetriker (Tabell 9).

Tabell 9.  
Anpassade modeller för NTD.

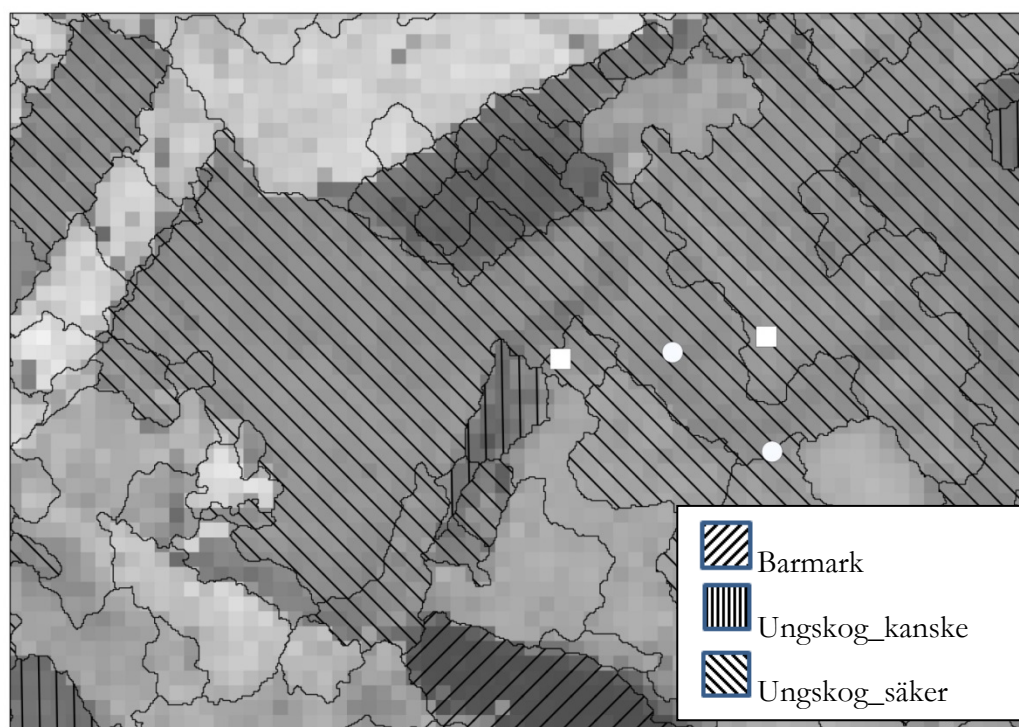
Modell	R2Adj	q	RMSE
$-9518 + 674 p60^{***} + 47.2 \text{ vegkvot}^*$	0,39	1,035	2 262 SEK
$-3444 + 6694 (\text{vegkvot}_7 / (\text{vegkvot}_{4.7+1}))^{***}$	0,38	1,022	2 253 SEK

Baserat på de rasterberäknade lasermetrikererna beräknades slutligen NTD som ett raster över det studerade området.

### Områdesindelning för ungskog

Områdesindelningen av ungskogen till olika polygoner medförde att metrikerna från laserdata blev mer homogena och representerade området bättre än överlappande beståndsindelning.

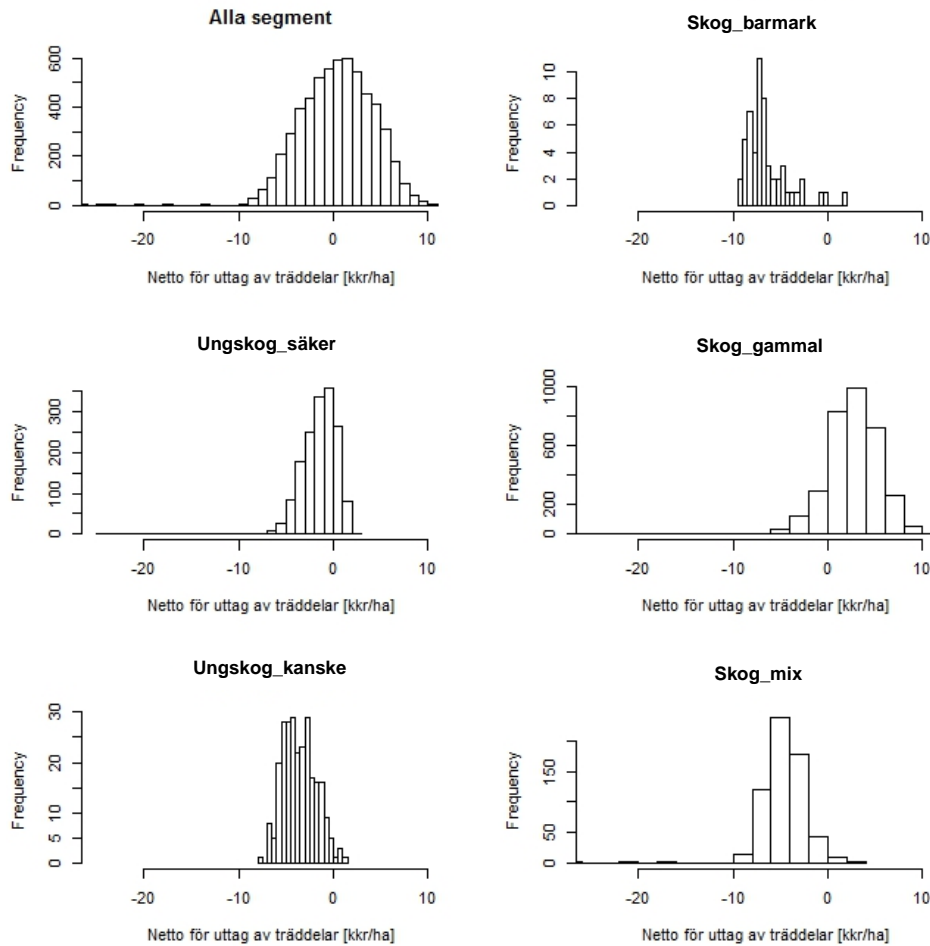
Polygonerna hade en medelareal på ca 3 750 m<sup>2</sup>, vilket förbättrade möjligheterna till att välja lämpliga områden för skörd av biobränsle även inom givna bestånd.



Figur 13.  
Polygoner över skogsmarken, rasterskattning av netto för träbränsleuttag (NTD), samt positioner för fyra provytor i en liten del av det studerade området. □ Provyta med positivt NTD, ○ provyta med negativt NTD.

En direkt jämförelse mellan polygonernas tilldelade klass och provytorna inventerade inom det indelade området som är indelat i polygoner visar att den stora majoriteten av ytorna faller inom klassen "ungskog\_säker", en yta (NTD = -5 200 kr/ha) faller inom "ungskog\_kanske" och tio (NTD mellan -1 300 och 5 800 kr/ha) inom "skog\_gammal". Denna jämförelse är antagligen inte riktigt rättvisande eftersom variationen i skogstillstånd inom en polygon mycket väl kan inrymma både lönsam och inte lönsam skog baserad på så små

areor som provyteinventeringen motsvarade. En mer rättvisande jämförelse är sannolikt från summerade rasterskattningar av NTD inom respektive polygon. Detta visade små skillnader mellan klasserna ”ungskog\_kanske” och ”ungskog\_säker”, men med en betydligt större andel positiva NTD-värden inom den senare klassen (Figur 14).



Figur 14. Histogram för polygonmedelvärdet av rasterskattade nettointäkter för uttag av träddelar (NTD), totalt och per klass.

## KANTZONER LÄNGS VÄGAR

### Skattning av skogliga variabler

Modeller för estimering av skogliga parametrar med hjälp av laserdata togs fram med multipel linjär regression (se Ekvation 1).

#### Modellerna ser ut som följande:

$$\begin{aligned} \ln(Ha) &= k_0 + c_{00} \times \ln(p80) + c_{01} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) \\ \ln(Hgv) &= k_1 + c_{10} \times \ln(p80) + c_{11} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) \\ \ln(Da) &= k_2 + c_{20} \times \ln(p80) + c_{21} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{22} \times \ln(\text{stddev}) \\ \ln(Dgv) &= k_3 + c_{30} \times \ln(p80) + c_{31} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{32} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(V) &= k_4 + c_{40} \times \ln(p60) + c_{41} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{42} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(S) &= k_5 + c_{50} \times \ln(p60) + c_{51} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{52} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(G) &= k_6 + c_{60} \times \ln(p60) + c_{61} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{62} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(B) &= k_7 + c_{70} \times \ln(p60) + c_{71} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{72} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(B_{STBK}) &= k_8 + c_{80} \times \ln(p60) + c_{81} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{82} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(B_{GRBR}) &= k_9 + c_{90} \times \ln(p60) + c_{91} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{92} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \\ \ln(B_{D5cm}) &= k_{10} + c_{100} \times \ln(p60) + c_{101} \times \ln(100 \times \text{vegkvol}) + c_{102} \times \ln(100 \times (p90-p40)/p90) \end{aligned}$$

För att avgöra hur god prediktionsförmåga de framtagna modellerna har gjordes en korsvalidering av dessa. Den metod som användes var att ta bort en observation i taget och bygga en modell på kvarvarande rader. Prediktion mot den utplockade observationen ger då en residual. Genom att upprepa detta för alla observationer i detta dataset går det att beräkna RMSE för modellerna som ett mått på hur god prediktionsförmåga modellerna har. En modell för alla observationer togs även fram och RMSE mellan modell och observationer togs fram som ett mått på hur bra modellen beskriver data.

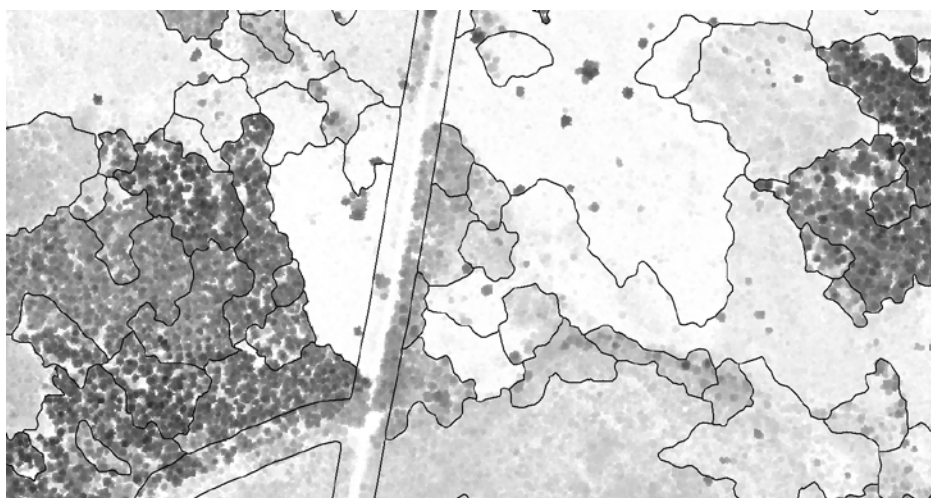
Tabell 10

Korsvalidering av modeller för estimering av skogliga variabler med hjälp av laserdata, samt variationen inom en modell.

Variabel	RMSE Korsvalidering [%]	RMSE Modellprediktion [%]
Aritmetrisk medelhöjd ( <i>Ha</i> )	21	19
Grundtevägd medelhöjd ( <i>Hgv</i> )	23	19
Aritmetrisk medeldiameter ( <i>Da</i> )	18	16
Grundtevägd medeldiameter ( <i>Dgv</i> )	23	19
Total volym ( <i>V</i> )	28	25
Totalt stamantal ( <i>S</i> )	32	25
Total grundyta ( <i>G</i> )	24	21
Total biomassa ( <i>B</i> )	27	24
Biomassa stam inkl bark ( <i>B<sub>STBK</sub></i> )	26	23
Biomassa grenar och barr ( <i>B<sub>GRBR</sub></i> )	24	21
Total biomassa för stammar med dbh >5 cm ( <i>B<sub>D5cm</sub></i> )	27	24

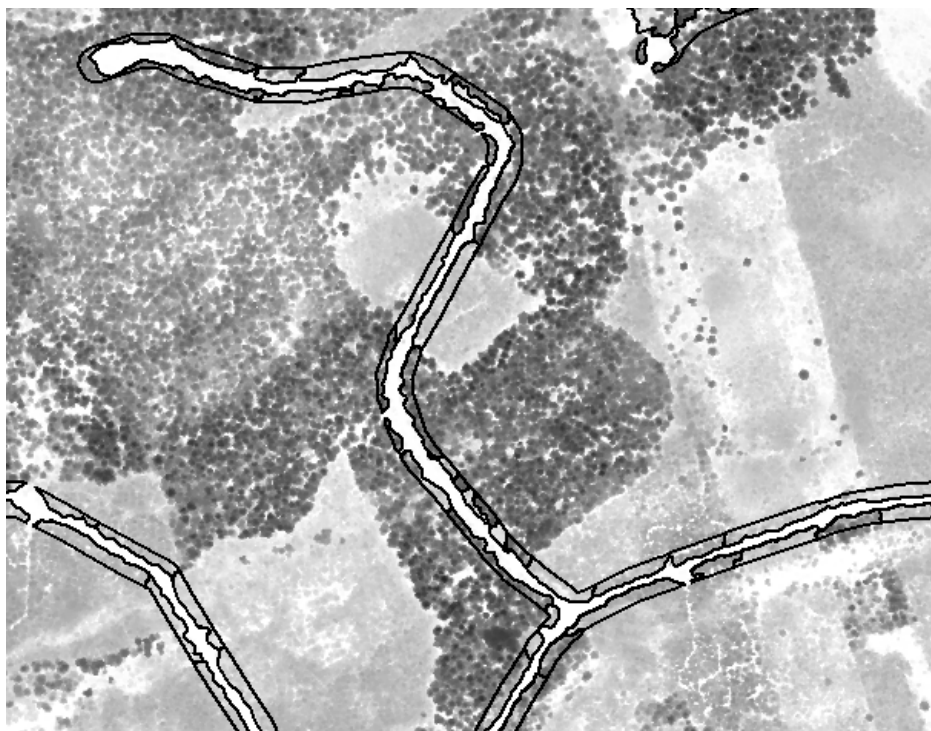
## Områdesindelning vid vägkanter

Den förbättrade områdesindelningen har en hög följsamhet mot den höjdstruktur för vegetationen som syns i laserdata (Figur 15).



Figur 15.  
Polygoner över skogsmarken utanför vägens buffertzona.

Det kala vägområdet som inte innehåller vegetation har helt exkluderats från områdesindelningen. Versionen med 15 m buffertzona hade en medelareal på ca 670 m<sup>2</sup> respektive 640 m<sup>2</sup> för versionen med 10 m buffertzona (Figur 16).



Figur 16.  
Exempel på den förbättrade områdesindelningen vid väg med 15 m buffertzona.



## Prediktering av utbyte för vägkanter med lasermetriker

Med antagandet om att väggkantsytor med en medelstamvikt på <2,5 kg/stam alltid är olönsamma och att om ytorna har medelstamvikter i intervallet 2,5 – 7 kg/stam måste biomassan ligga på minst 60 ton TS/ha för att vara lönsam och om medelstamvikten är > 7 kg/stam så måste biomassan ligga på minst 40 ton TS/ha för att vara lönsam gjordes en studie om hur väl lasermodeller kan prediktera om en yta är intressant för uttag.

### Lasermodellen bygger på en linjär logaritmisk modell för estimering av biomassa [ton TS/ha] samt medelstamvikt [kg TS/stam]:

$$\ln(\text{medelstamvikt}) = c_0 + c_1 \times \ln(p_{60}) + c_2 \times \ln(\text{vegkvot} \times 100) + c_3 \times \ln(100(p_{90}-p_{40})/p_{90})$$

$$\ln(\text{biomassa}) = k_0 + k_1 \times \ln(p_{60}) + k_2 \times \ln(\text{vegkvot} \times 100) + k_3 \times \ln(100(p_{90}-p_{40})/p_{90}).$$

Modellerna fick först prediktera medelstamvikten för ytan för att tilldela rätt viktclass för att sedan se om den utvalda viktclassen låg högre än tröskelvärdet på biomassa. Om modellen lyckades med både att designera rätt viktclass och inom viktclassen att prediktera ytan på korrekt sida om lönsamhetströskelvärdet, räknades ytan som korrekt predikterad. Utvärderingen bygger på korsvalidering där den yta som utvärderas ej ingår i modellen.

För 31 ytor blev 20 stycken, d.v.s. ca 64 %, korrekt predikterade, vilket är något lågt. En metod för att kompensera för detta kan vara att sätta tröskelvärdena konservativt och lämna osäkra ytor utan åtgärd. Det vill säga att de ytor som väljs ut har en väldigt hög sannolikhet för att vara lönsamma men man kanske missar några ytor som också skulle vara lönsamma.

## Diskussion

### TÄTA UNGSKOGSBESTÅND

Metoden visade klar potential att kunna effektivisera biobränsleuttag i ungskog, dels genom att faktiskt identifiera lönsamma områden och därmed kunna undvika olönsamma uttag, och dels genom att leverera hög rumsrigg noggrannhet. Genom att kartera så små enheter som provytor bör det vara möjligt att styra uttaget inte bara till lönsamma bestånd utan även till lönsamma delar inom bestånd. Om maskinkostnaderna är mycket höga bör det gå att använda metoden till att styra avverkningen till områden som säkert är lönsamma, d.v.s. välja bort även potentiellt lönsamma områden för att minimera risken för olönsamma avverkningar. Detta sker då till kostnaden av uteblivna intäkter från marginellt lönsamma områden.

Skattningarna av skogliga variabler visade relativt god noggrannhet, men sannolikt är det bättre att utnyttja data genom att först beräkna nettointäkten för träddeklar (NTD) för varje referensyta och modellera/prediktera denna direkt. Det var inte möjligt att verifiera detta eftersom data för trädslagsblandningen är en viktig komponent i beräkningsunderlaget, vilket inte kan erhållas från glest skannade laserdata. Genom att komplettera NNH-data med flygbilder eller satellitbilder kan man tillföra information om trädslagsblandningen. Här visade sig att skattning av NTD direkt från laserdata presterade väl.

Indelningen av området i polygoner (Figurerna 13 till 16) har en koppling till variationer i lönsamheten för biobränsleuttag (NTD) men behöver sannolikt kalibreras till precis rätt gränsvärden för att kunna avgränsa lönsamma från olönsamma områden. Fältdata bör relativt enkelt kunna utnyttjas till det, antingen direkt i en styrd klassningsmetod eller genom att beräkna en raster-skattning av NTD som även den används för att styra den automatiska indelningen.

## KANTZONER LÄNGS VÄGAR

Korsvalideringen gav ett RMSE på 18–32 % där diameter var lättast att prediktera och stammar/ha var svårast. Estimeringen av biomassa hade en RMSE på 27 %. Så bioenergi vid vägkanter går att estimeras med hjälp av laserdata med tätheten ,5 punkter/m<sup>2</sup> även om spridningen är något hög.

För estimering av utbyte kunde 64 % korrekt predikteras till lönsam eller icke lönsam yta. Ett högre tröskelvärde skulle kunna ge en högre sannolikhet för att bara träffa på lönsamma ytor.

Vad som är intressant att undersöka är om en högre punkttäthet ger en bättre noggrannhet i predikteringarna. Vad som också är intressant är att undersöka om extra information från flygbilder kan ge bättre estimeringar. Med antagandet om att färginformationen i bildmaterialet kan ge en skattning av trädslagsblandningar och därigenom en möjlighet att bygga separata modeller för varje trädslag.

Metodiken kan sannolikt förbättras ytterligare genom att kombinera NNH-data med en ytterligare datakälla som innehåller information om trädslagsblandningen. Andelen löv är här av särskilt intresse eftersom den till stor del påverkar lönsamheten i biobränsleuttaget. Det finns många tänkbara datakällor som levererar heltäckande data nationellt till en låg kostnad, såsom satellitbilder från SPOT (helt kostnadsfritt via SACCESS), den alldeles nyss driftsatta Landsat-8 som sannolikt kommer att producera bilddata inom kort, och flygbilder från Lantmäteriets ordinarie produktion. Flygbilder kan, tack vare markmodellen från NNH, i dag även användas till att beräkna höjddata för vegetationen på liknande vis som laserskannerdata, genom automatisk stereomatchning av flygbilder. Dessa data har använts till att uppskatta skogliga variabler och visat noggrannheter nästan i nivå med laserskannerdata (Bohlin, Wallerman & Fransson, 2010 och 2012).

Pågående examensarbete vid SLU visar lovande resultat för kartering av röjningsbehov med flygburen laserskanning såväl som med höjddata från stereomatchade flygbilder. Inom den studien användes flygbilder från olika säsonger (lövad respektive avlövad säsong) för att kartera lövandel. Metoden utnyttjar det faktum att lövträd utan löv inte syns tillräckligt bra i flygbilder för stereomatchning. Höjdskillnaden mellan dessa bilder visade sig beskriva lövinslaget relativt väl.

En fortsatt utveckling av projektets metoder skulle kunna inriktas mot att komplettera NNH-data med lättillgängliga ytterligare fjärranalysdata, som multispektrala flygbilder och satellitbilder och mäta förbättringen i skattningsnoggrannhet för denna kombination.

### Dessa ytterligare data bör kunna:

- Tillhandahålla trädslagsinformation som förbättrar skattningsnoggrannheten.
- Skärpa segmenteringen till att ytterligare bättre avgränsa lämpliga områden för biomassuttag bland annat genom att kalibrera klassificeringen med provytedata.
- Tillhandahålla tillräckligt mycket information för segmentering av ungskogarna till enskilda trädgrupper/homogena mikrobestånd vilka dels kan förväntas tillföra information till skattningsmodellerna om strukturen (t.ex. medelhöjd, trädslagsblandning, eventuella överståndare) för omgivande skog, och dels fungera som mer naturliga skattningsenheter än rasterceller.
- Utgöra en bas för tillämpning av metodiken även efter att NNH-data blivit inaktuellt (främst höjddata från stereomatchning av flygbilder).

Eftersom fjärranalysdata sannolikt är den nu tillgängliga bästa datakällan för storskalig automatisk kartering av lönsamheten för biobränsleuttag i konfliktskogar kan det finnas ytterligare förbättringspotential i att anpassa beräkningsmodellerna i Flis-Av-Flis till att bättre utnyttja framförallt kombinationen av noggranna höjd- och täthetsmått för skogen, dvs den information som laser-skanning är känd för att producera.

## Referenser

- Andersson, S-O. 1954. Funktioner och tabeller för kubering av små träd. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut, 44(12).
- Athanassiadis, D., Lundström, A. & Nordfjell, T. 2011. A regional-scale gis-based evaluation of the potential and supply costs of forest biomass in Sweden. Proceedings, FORMEC 2011.  
[http://formec.boku.ac.at/images/proceedings/2011/formec2011\\_paper\\_athanassiadis\\_etal.pdf](http://formec.boku.ac.at/images/proceedings/2011/formec2011_paper_athanassiadis_etal.pdf)
- Axelsson, P. 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33, 110–117.
- Bohlin, J., Wallerman, J., & Fransson, J. E. S. 2010. Estimating forest stand variables using 3D data from the Z/I DMC system. In Proceedings of ForestSat 2010. Lugo, Spain.
- Bohlin, J., Wallerman, J. & Fransson, J. E. S. 2012. Forest variable estimation using photogrammetric matching of digital aerial images in combination with a high-resolution DEM. Scandinavian Journal of Forest Research, iFirst article, 1–8.
- Elfving, B. 1982. Hugins ungskogsinventering 1976–79. SLU, projekt HUGIN, Rapport 27.
- Fransson, J. E. S., Walter, F., & Ulander, L. 2000. Estimation of forest parameters using carabas-ii vhf sar data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38(2), 720–727.
- Holm, S. 1977. Transformationer av en eller flera beroende variabler i regressionsanalys (HUGIN, report No. 7). Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, Faculty of ForestSciences (in Swedish).

- Iwarsson Wide, M. 2009. Skogsbränsleuttag i vägkanter. Arbetsrapport nr 695. 2009. Skogforsk.
- Marklund, L. G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, institutionen för skogstaxering. Rapport 45.
- Naesset, E. 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 88–99.
- Naesset, E., Gobakken, T., Holmgren, J., Hyyppä, H., Hyyppä, J., Maltamo, M., et al. 2004. Laser scanning of forest resources: The Nordic experience. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19(6), 482–499.
- Näslund, M. 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut, 36(3).
- Packalen, P. & Maltamo, M. 2007. The k-MSN method for the prediction of species-specific stand attributes using airborne laser scanning and aerial photographs. *Remote Sensing of Environment*, 109(3), 328–341.
- Smith, R. J. 1993. Logarithmic Transformation Bias in Allometry. *American Journal of Physical Anthropology*, 1993, 215–228.
- Ulvcróna, K. A. 2011. Biomass functions for young and dense Scots pine dominated mixed forest in northern Sweden. *In*. Effects of Silvicultural Treatment in Young Scots pine-dominated Stands on the Potential for Early Biofuel Harvests. Doctoral Thesis No. 2011–79, Faculty of Forest Sciences.

## Provytepositioner för vägkanter

Tabell 1.  
Utslumpade provytepositioner längs vägkanter.

polyID	X	Y
4804	503961,38	6704989,4776
10824	508831,79	6707348,14389
17332	517946,58	6709479,71175
21798	508097,56	6711799,86034
24515	517477,99	6711074,63496
26195	522050,82	6711622,09543
26232	521647,84	6711967,23718
26588	522823,25	6710573,19615
30703	518857,71	6713419,26136
32829	503087,56	6715606,03456
37267	504298,80	6718746,03562
40509	519956,98	6718268,58103
52854	507209,04	6726061,12656
68897	507321,29	6733287,37022
69303	509297,23	6734068,95269
73060	522547,27	6732682,72412
76920	520032,17	6736190,95201
78361	502022,45	6739305,81554
80252	516416,44	6738030,53174
82723	504378,62	6740089,55062
84389	515733,26	6741565,73263
85100	522325,56	6742040,64127
85650	501512,06	6743070,61945
85684	501005,72	6743375,8889
87570	509648,55	6742774,57817
89888	503296,69	6746585,26604
90287	503243,52	6745702,44611
90848	506414,00	6746668,15062
91416	510303,42	6745658,23486
91824	516111,05	6746874,91676
93088	506695,66	6748201,53



### Inventeringsinstruktion

Inventeringsinstruktion projekt "Effektiv volymsuppskattning med laserdata"

#### Beståndsinventeringen

Inventeringen genomförs med cirkelprovytor med 7 meters radie och en inre delyta med 3,5 m radie.

I varje avdelning är preliminära positioner för 4–5 ytor bestämda i förväg. Använd GPS för att navigera till varje yta, med tillägget att kompassgång används de sista 20 meterna för att undvika omedvetna subjektiva allokeringar. Detta genomförs genom att navigera med GPS:n tills den visar att det är ca 20 meter kvar, stanna upp och ta ut kompassriktningen till positionen och därefter mäta ut 20 meter i den riktningen med måttbandet och där etablera verkligt ytcentrum. Om detta centrum kommer så nära en beståndskant att den skär densamma eller helt klart påverkas av omgivande skog så flyttas ytan helt in i ungskogsbeståndet genom att i första hand gå tillbaka längs den utmätta riktningen 10 meter. Funkar inte det provas att gå framåt i stället. Om även det inte går så hoppa över ytan.

På varje yta klavas och artbestäms alla träd med dbh  $\geq 40$  mm inom 7 meters radie. Inom 3,5 m radie bestäms dessutom art och höjd för alla träd, inklusive träd med dbh  $< 40$  mm.

#### Kantininventeringen

Inventeringen genomförs med provytor med formen av 2 meter breda bälten orienterade vinkelrätt mot vägen, med början i vägkant (där vägbanan slutar) och slut 6 meter från vägmitt. Preliminära positioner för bälten är bestämda i förväg. Använd GPS för att navigera till respektive bältes start tills 20 meter återstår, mät därefter med måttband de sista 20 meterna och etablera startpunkten för bältet där. Bältena indelas i 1,5 m långa delar (del A-D, där del A är närmast väg) där alla träd registreras och delbältestillhörighet noteras. Träd med dbh  $\geq 40$  mm artbestäms, klavas och höjdmäts, övriga artbestäms och höjdmäts.

Ytan positionsbestäms genom att mäta in skärningen mellan vägkanten och mittpunkten för bältets start, med dGPS.

#### Övrigt

Höjdmätningen för småträd genomförs lämpligen genom att bedöma grupper av småträd, t.ex. att det finns tio tallar ca 4 m höga, fem tallar 4,5 m höga etc. Det är inte nödvändigt att mäta varje träd separat. Höjdbestämmningen av klavträd måste däremot registreras för varje träd, men kan förstås genomföras genom att mäta ett träd och med stöd av den mätningen bedöma höjden på näraliggande träd med liknande höjd.

Trädslag bestäms som tall, gran, björk eller övrigt löv.



Det är mycket viktigt att positionen för ytorna mäts in noga med dGPS eller liknande. Om mottagningen misslyckas i ytcentra är ett alternativ, att flytta GPS-mottagaren ett par meter för att få bättre mottagningsförhållanden och att noga mäta in riktning och avstånd till ytcentrum, där riktningen anges *från* mottagaren *till* centrum. Avståndet mäts med måttband.

Varje yta fotograferas från två håll och bildernas filnamn noteras i fältprotokollet.

#### **Utrustning:**

- GPS, för navigering och noggrann bestämning av ytcentras position. Stativ för denna och avståndsmätarens transponder.
- Höjdmätare.
- Höjdmätningsstång.
- Lämplig fältdatasamlare?
- Måttband.
- Avståndsmätare ultraljud.
- Klave.

#### **Fältprotokoll:**

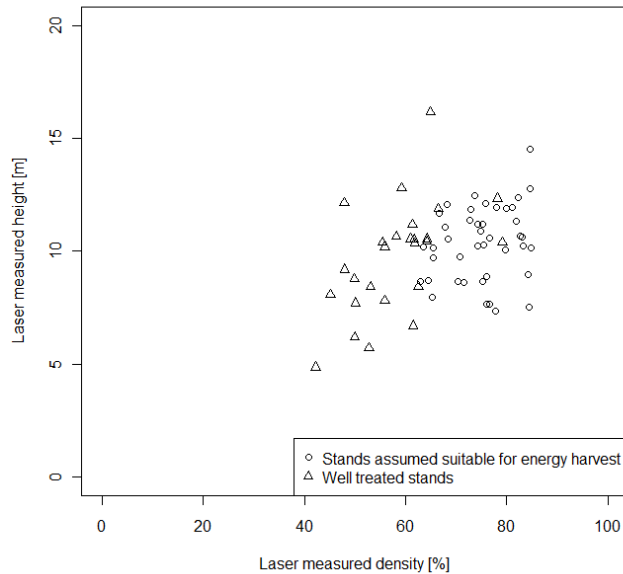
Ett fältprotokoll upprättas för varje yta och skall innehålla uppgifter om:

- Ytans nummer.
- Identitet i dGPS-filen?
- Datum och tid för inventeringen.
- Diametrar och art för klavade träd, kompletterade med höjd om trädet står inom den inre ytan eller för alla klavträd vid väggkantsinventeringen.
- Höjd och art för höjdmätta träd.
- För väggkantsinventeringen skall för varje träd noteras vilket delbälte (A till D) det står i.
- Filnamn för bilder över ytan.
- Noteringar, inklusive en mycket kort subjektiv beskrivning av skogen på ytan, eventuell förekomst av mycket tät undervegetation/buskskikt, eventuell förekomst av stora stenar, block, skräp m.m.

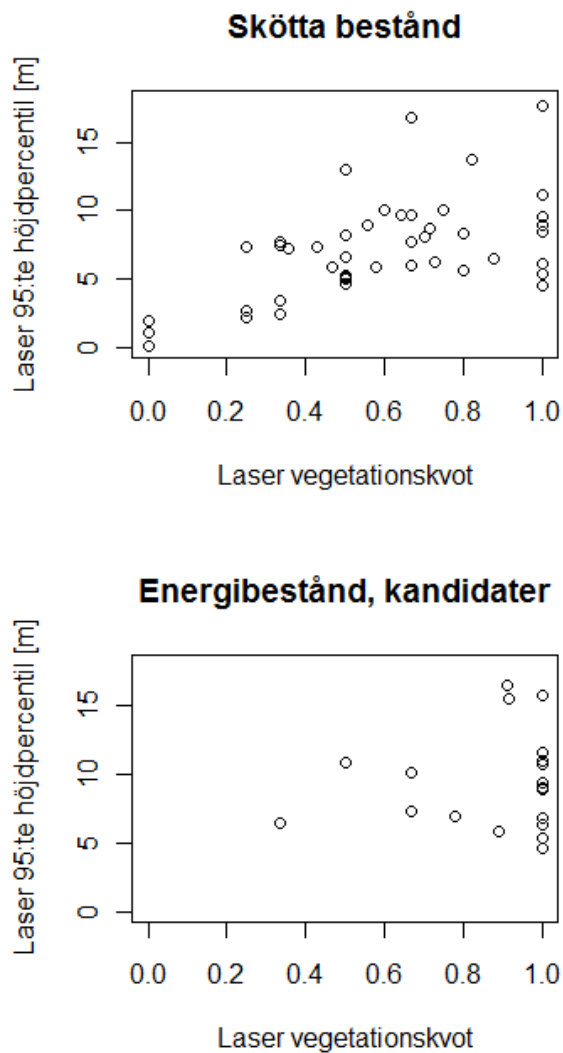
#### **Utvalda avdelningar för inventering**

Avdelningar har valts slumpmässigt men hårt styrts dels för att säkert få data för konfliktbestånd, dels för att få data med en bra spridning i laservariablerna för att så gott det går säkerställa möjligheterna att beräkna en bra regressionsmodell. I en första koll på data så ser det helt klart lovande ut, medelvärdena för de två mest grundläggande laservariablerna (höjd och täthet (d.v.s. vegetationskvot)) ser ut att kunna diskriminera väl mellan de olika beståndsurvalen från registret.

Aderton kandidatavdelningar lottades ut från hela materialet så att en stratifiering av lasermåtten i 9 strata (variationsvidderna i de båda laservariablerna delades i tre lika stora intervall respektive) resulterade i maximalt två avdelningar per stratum. Detta innebar att fem energibestånd och elva skötta bestånd valdes ut som inventeringskandidater. I dessa utlottades ca fem ytor per bestånd, och laserdata för dessa nominella provytor visas i nästa figur nedan. Helt klart är det en hel del variation inom urvalen för provytevärden, och egenkaperna för de skötta bestånden överlappar en hel del med energibestånden (det finns antagligen YTOR lämpliga för energiuttag även i den skötta skogen, vilket låter fullt rimligt).



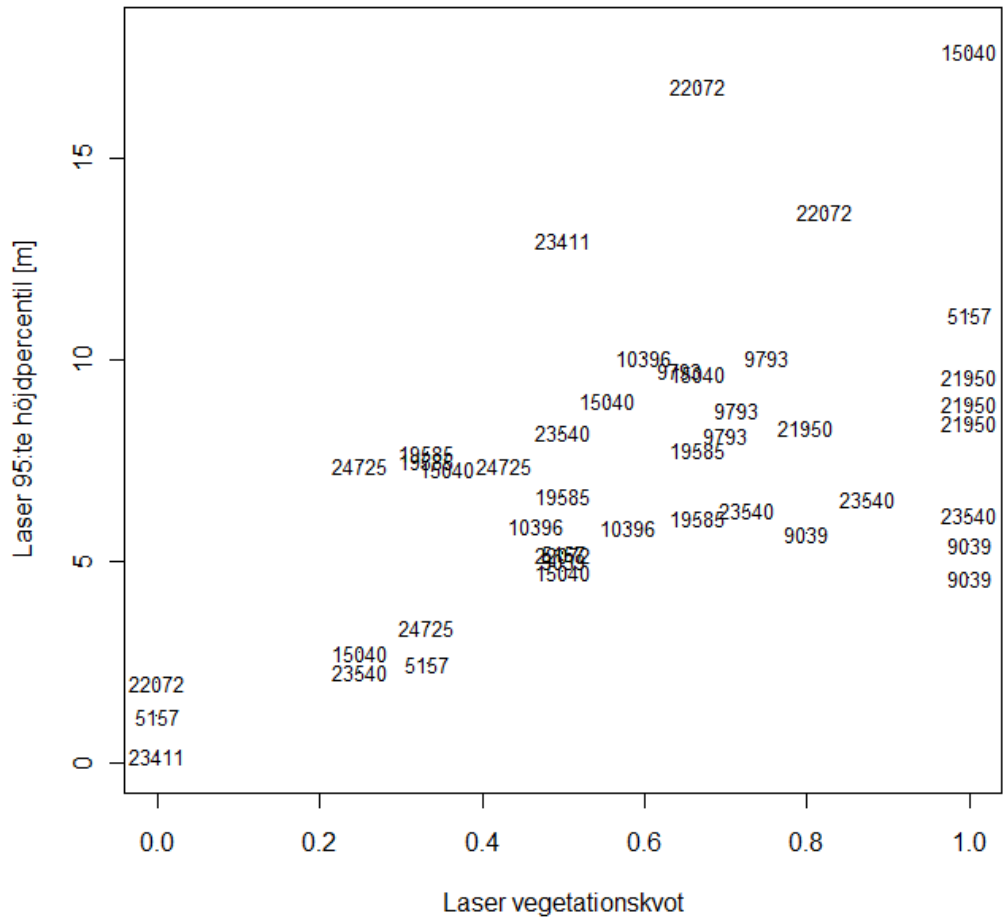
Figur 1.  
Avdelningar utsökta som kandidater för biomassaskörd har högre täthet i laserdata jämfört med väl skötta ungskogsavdelningar, även givet vegetationshöjden.



Figur 2.  
Relationen mellan lasermätt vegetationshöjd (95:e percentilen) och vegetationskvot.

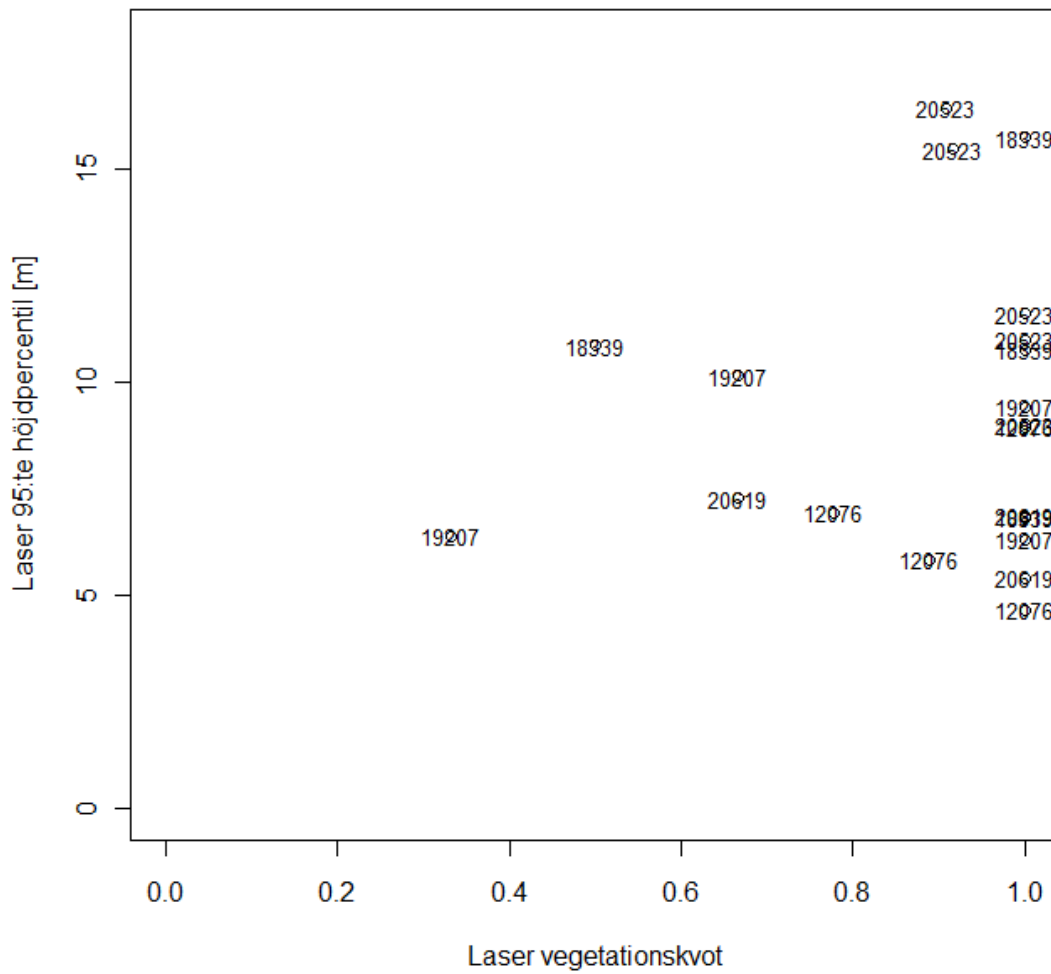
Vid en mer noga kontroll av samma figurer men med beståndsnummer ("BEST\_") utskrivet för varje yta (nedan) så syns det att variationen inom en och samma bestånd är klart olika för olika bestånd. Det är med avsikt utvalt mer ytor än vad budgeten antagligen klarar av, men det är för att det ska finnas kandidater att ersätta oväntat bortfall med. Målet med inventeringen är att få ett material som innehåller spridningen i båda lasermåtten och dessutom garanterat innehåller tillräckligt täta bestånd att de räknas som konfliktbestånd. Under inventeringen måste säkerligen prioriteringen för ytorna omvärderas löpande (och subjektivt) för att så bra som möjligt nå målet.

### Skötta bestånd



Figur 3.  
Relationen mellan lasermätt vegetationshöjd (95:e percentilen) och vegetationskvot i skötta bestånd.

## Energibestånd, kandidater



Figur 4.  
Relationen mellan lasermätt vegetationshöjd (95:e percentilen) och vegetationskvot i utvalda potentiella energibestånd.

## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2012

2012

- Nr 758 Ljöfroth, C. & Svenson, G. 2012. ETT – Modulsystem för skogstransporter – En trave Till (ETT) och Större Travar (ST). 151 s. ETT – Modular system for timber transport One More Stack (ETT) and Bigger Stacks (ST). p. 156.
- Nr 759 von Hofsten, H., Johannesson, T. & Aneryd, E. 2012. Effekter på stubbskördens produktivitet beroende på klippningsgraden. Impact of stump splitting on harvest productivity 22 s.
- Nr 760 Jönsson, P. & Englund, M. 2012. Air-Hawk-luftkudde. Ergonomiskt hjälpmedel för skogs- och jordbruksmaskiner. 22 s.
- Nr 761 Rosvall, O. & Lindgren, D. 2012. Inbreeding depression in seedling seed orchards. – Inavelsdepression i fröplantsplantager. 14 s.
- Nr 762 Hannrup, B. & Lundgren, C. 2012. Utvärdering av Skogforsks nya barkfunktioner för tall och gran – En uppföljande studie. – Evaluation of Skogforsk's new bark equations for Scots pine and Norway spruce. 26 s. 26 s.
- Nr 763 Englund, M. 2012. LED-ljus i aggregatet – En pilotstudie. – LED lighting on the harvester head. – A pilot study. 6 s. 5 s.
- Nr 764 Bhuiyan, N., Arlinger J. & Mölller, J.J. 2012. Kartunderlag för effektivare grotskotning genom export av shapefiler. – Map support for forwarding of logging residues through export of shape files. 22 s.
- Nr 765 Brunberg, T. & Lundström, H. 2012. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1170E hos Holmen Skog vintern 2012. – Study of multiple tree handling in clear cutting with John Deere 1170E together with Holmen Skog in the winter of 2012. 7 s.
- Nr 766 Löfgren, B., Englund, M., Jönsson, P., Wästerlund, I. & Arvidsson, J. 2012. Spår djup och marktryck för skotare med och utan band samt styrbar boggi. 15 s. – Rut depth and ground pressure for forwarder with and without tracks. 18 s.
- Nr 767 Eriksson, B. 2012. Utveckling i outsourcad skogsvård. – Improving productivity and quality in out sourced silviculture 14 s.
- Nr 768 Fogdestam, N., Granlund, P. & Eliasson, L. 2012. Grovkrossning och sällning av stubbar på terminal. – Coarse grinding of stumps and sieving of the produced hog fuel. 9 s.
- Nr 769 Hannerz, M. 2012. Vem besöker Kunskap Direkt och vad tycker de? – Who visits Knowledge Direct (Kunskap Direkt) and what do they think of it? 38 s.
- Nr 770 Barth, A., Sonesson, J., Thor, M., Larsson, H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K. & Forsman, M. Beståndsmätning med mobila sensorer i skogsbruket. – Forest measurements with mobile sensors in forestry. 32 s.
- Nr 771 Skutin, S.-G. 2012. Lönsamhet för CTI på virkesfordon. Profitability for CTI on roundwood haulage vehicles. – Cost-benefit analysis of using CTI on roundwood haulage vehicles 25 s.
- Nr 772 Sonesson, J., Mohtashami, S., Bergkvist, I., Söderman, U., Barth, A., Jönsson, P., Mörk, A., Jonmeister, T. & Thor, M. 2012. Beslutsstöd och metod för att minimera markpåverkan vid drivning. – Slutrapport från projekt ID 0910/143-10. – Decision support and methods to minimise ground impact in logging – Final report of project ID 0910/143-10. 22 s.

- Nr 773 Barth, A., Sonesson, J., Larsson H., Engström, P., Rydell, J., Holmgren, J., Olofsson, K., Forsman, M. & Thor, M. 2012. Beståndsmätning med olika mobila sensorer i skogsbruket. – Use of mobile sensors in forestry to measure stand properties. 32 s.
- Nr 774 Brunberg, T. 2012. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1270E hos SCA Skog hösten 2012 – Study of multiple tree handling in clear cutting with John Deere 1270E together with SCA Skog in the autumn of 2012. 10 s.
- Nr 775 Eliasson, L., Granlund, P., von Hofsten, H. & Björheden, R. 2012. Studie av en lastbils monterad kross-CBI 5800 – Study of a truck-mounted CBI 5800 grinder. 16 s.
- Nr 776 Eliasson, L., Granlund, P., Johannesson, T., von Hofsten, H. & Lundström, H. 2012. Flisstorlekenes effekt på en stor skivhuggs bränsleförbrukning och prestation – Effect of target chip size on performance, fuel consumption and chip quality for a large disc chipper. 12 s.
- Nr 777 Eliasson, L., Granlund, P., Lundström, H. 2012. Effekter på bränsleförbrukning, prestation och fliskvalitet av klenträd vs bränsleved som råvara vid flisning med en stor skivhugg. – Effects of raw material on performance, fuel consumption and chip quality for a large disc chipper. 12 s.
- Nr 778 Friberg, G. & Jönsson, P. 2012. Kontroll av noggrannheten av GPS-positionering hos skördare. – Measuring precision of GPS positioning on a harvester. 9 s.
- Nr 779 Bergkvist, I. & Lundström, H. 2012. Systemet ”Besten med virkeskurir” i praktisk drift – Erfarenheter och Utvecklingsmöjligheter – Slutrapport från utvecklingsprojekt i samarbete med Södra skog och Gremo.– The ‘Besten with forwarders’ unmanned logging system in practical operation – experiences and development potential. Final report from development project in collaboration with Södra skog and Gremo 25 s.
- Nr 780 Nordström, M. 2012. Validering av funktioner för beräkning av kvantitet skogsbränsle vid stubbskörd – en pilotstudie. – Validation of functions for calculating the quantity of forest fuel in stump harvest – a pilot study. 33.
- Nr 781 Fridh, L. 2012. Utvärdering portabla fukthaltsmätare – Evaluation of portable moisture meters. 28 s.
- Nr 782 Johannesson, T., Fogdestam, N., Eliasson, L. & Granlund, P. 2012. Effekter av olika inställningar av den eftersträvade flislängden på prestation och bränsleförbrukning för en Bruks 605 trumhugg. – Effects of chip-length settings on productivity and fuel consumption of a Bruks 605 drum chipper.
- Nr 783 Hofsten von, H. & Johannesson, T. 2012. Skörd av brutna eller frästa stubbar – en jämförande tidsstudie. – Harvesting split or ground stumps – a comparative time study. 18 s.
- Nr 784 Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner. – StanForD 2010. – Modern communication with forest machines. 16 s.
- Nr 785 Arlinger, J., Nordström, M., Arlinger, J. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern communication with forest machines StanForD 2010. – Modern kommunikation med skogsmaskiner. p. 16.



**2013**

- Nr 786 Grönlund, Ö. & Eliasson, L. 2013. Knivslitage vid flisning av grot. Effects of knife wear on performance and fuel consumption for a small drum chipper. 11 s.
- Nr 787 Sonesson, J. & von Hofsten, H. 2013. Effektivare fältarbete med nya datakällor för skogsbruksplanering. – Greater efficiency in field work using new data sources for forestry planning. Final report to Stiftelsen Skogsällskapet, Project no. 0910-66/143-10 LOMOL. 19 s..
- Nr 788 Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller, J.J. 2013. Kvalitetssäkring av beräkningsresultat från hprCM och konvertering av pri- till hpr-filer. – Quality assurance of calculation results from hprCM and conversion of prifiles to hpr files. 24 s.
- Nr 789 Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare 2012. – Fuel consumption in forest machines 2012. 12 s.
- Nr 790 Eliasson, L. & Lundström, H. 2013. Skotning av hyggstorkad grot. – Skotare med Hultdins biokassett. – Forwarding of dried logging residue: study of Hultdins Biokassett 10 s.
- Nr 791 Andersson, G. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. – Forestry transports in 2010. 91 s.
- Nr 792 Nordström, M. & Möller, J.J. 2013. Kalibrering av skördarens mätsystem. – En kartläggning av nuläge och utvecklingsbehov. A review of current status and development needs. 15 s.
- Nr 793 Lombardini, C., Granlund, P. & Eliasson, L. 2013. Bruks 806 STC. 0150 – Prestation och bränsleförbrukning. – Performance and fuel consumption of the Bruks 806 STC chipper. 9 s.
- Nr 794 Fridh, L. 2013. Kvalitetssäkrad partsmätning av bränsleved vid terminal. – Quality-assured measurement of energy wood at terminals.
- Nr 795 Hofsten von, H. & Brantholm, M.-Å. 2013. Kostnader och produktivitet i stubbskörd – En fallstudie. 9 s.
- Nr 796 Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. 2013. Underlag för prestationshöjning vid flerträdshantering i gallring. – Productivity increase after multi-tree handling during thinning. 6 s.
- Nr 797 Jacobson, S. & Filipsson, J. 2013. Spatial distribution of logging residues after final felling. – Comparison between forest fuel adapted final felling and conventional final felling methods. Trädresternas rumsliga fördelning efter slutavverkning – Jämförelse mellan bränsleanpassad och konventionell avverkningsmetod. 19 s.
- Nr 798 Möller, J. J., Arlinger, J. & Nordström, M. 2013. Test av StanForD 2010 implementation i skördare.
- Nr 799 Björheden, R. 2013. Är det lönsamt att täcka grotten? Effekten av täckpappens bredd på skogsbränslets kvalitet. – Does it pay to cover forest residue piles? Effect of tarpaulin width on the quality of forest chips. 16 s.
- Nr 800 Almqvist, C. 2013. Metoder för tidig blomning hos tall och gran. – Slutrapport av projekt 40:4 finansierat av Föreningen skogsträdsförädling. – Early strobili induction in Scots pine and Norway spruce. – Final report of Project no. 40:4, funded by the Swedish Tree Breeding Association. 26 s.

- Nr 801 Brunberg, T. & Mohtashami, S. 2013. Datoriserad beräkning av terrängtransportavståndet. – Computerised calculation of terrain transport distance. 8 s.
- Nr 802 Johan Sonesson, Lars Eliasson, Staffan Jacobson, Lars Wilhelmsson & John Arlinger. Analy ses of forest management systems for increased harvest of small trees for energy purposes in Sweden. Svensk text in!
- Nr 803 Edlund, J., Jonsson, R. & Asmoarp, V. 2013. Fokusveckor 2013 – Bränsleuppföljning för två fordon inom ETTdemo-projektet, ST-kran och ST-grupp.
- Nr 804 Iwarsson-Wide, M., Olofsson, K., Wallerman, J., Sjödin, M., Torstensson, P. O., Aasland, T., Barth, A. & Larsson, M. 2013. Effektiv volymuppskattning av biomassa i vägkanter och ungskogar med laserdata. – Effective estimate of biomass volume on roadsides and in young forests using laser data 40 s.
- Nr 805 Iwarsson-Wide, M., L., Bäfver, Renström, C. & SwedPower, P. 2013. Fraktionsfördelning som kvalitetsparameter för skogsbränsle – Kraft- och värmeverkens perspektiv. 38 s.



## SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

### FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

### UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

### KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Från Skogforsk nr. 804–2013



[www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)