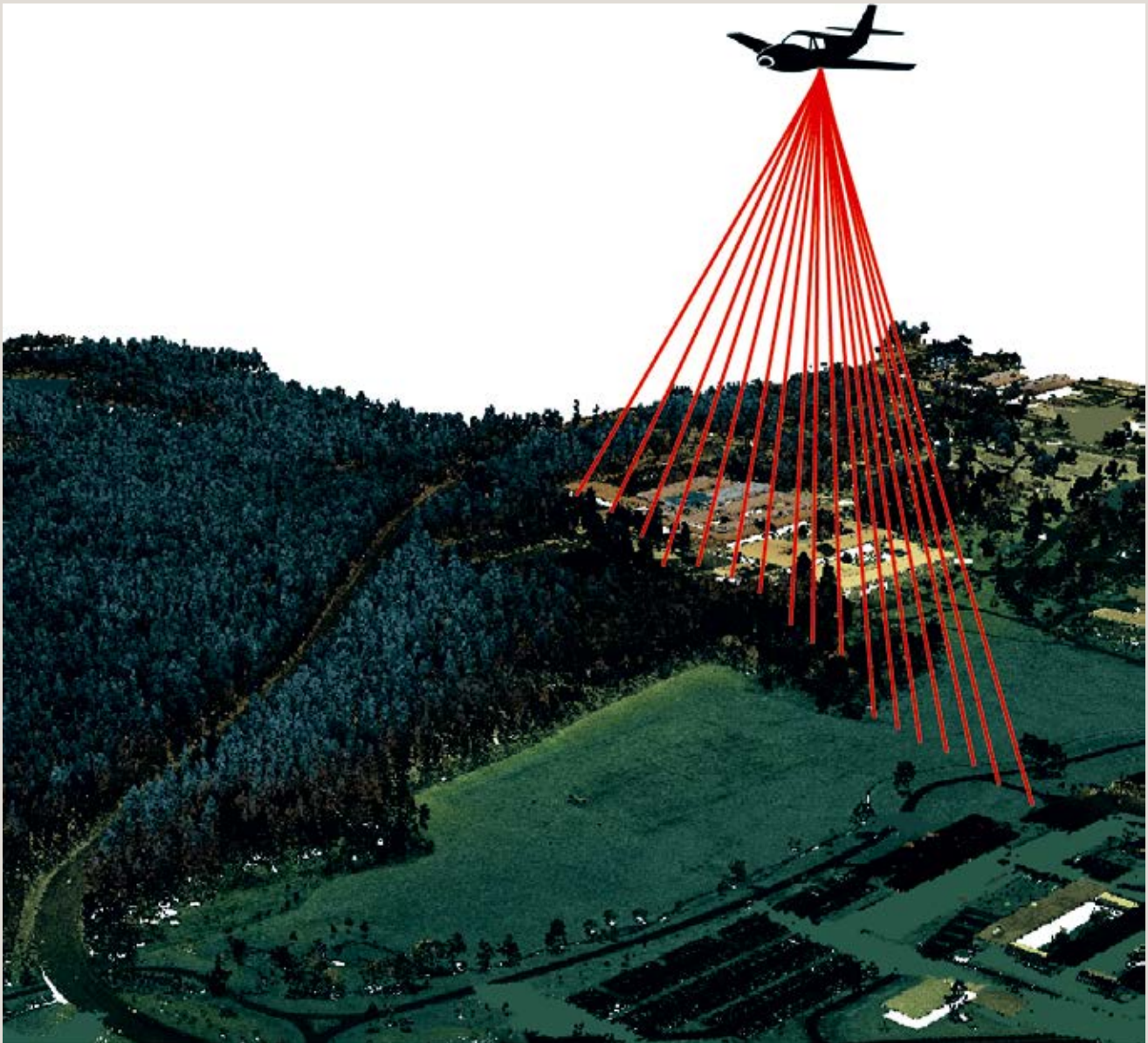


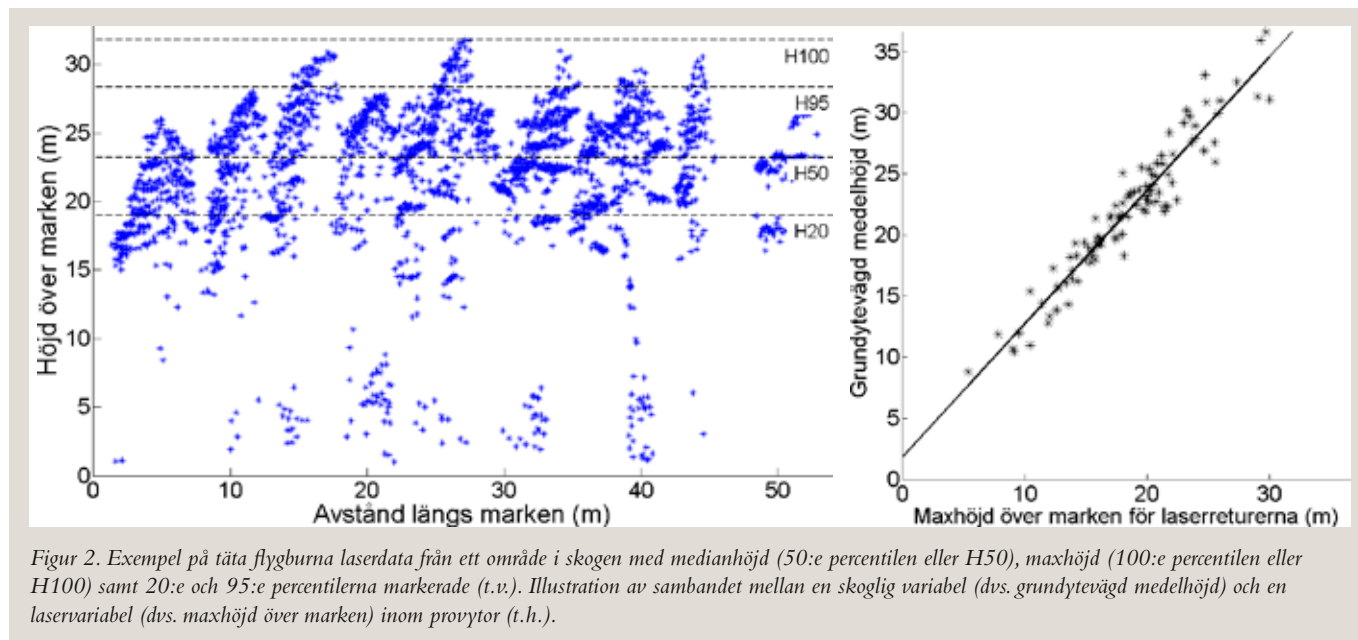
Eva Lindberg ▪ Johan Holmgren



Figur 1. Laserskannern mäter avstånd och riktning för varje laserpuls varpå positionerna för reflektionerna kan bestämmas.

## Flygburen laserskanning för skogliga skattningar

- Flygburen laserskanning har under de senaste 15 åren blivit en datakälla för skogsbruksplanering. Data från flygburen laserskanning är noggranna tredimensionella mätningar av mark och vegetation med laserljus från ett flygplan eller helikopter.
- Flygburna laserdata kan kombineras med referensdata från fältobservationer för att automatiskt ta fram heltäckande skogsskattningar.
- Skogsägare och skogsförvaltare kan använda resultaten för bättre planering av avverkningar och naturvård.
- Om man mäter tillräckligt tätt kan enskilda träd identifieras i laserdata. Detta ger nya möjligheter att effektivt beskriva både diameterfördelningar och trädslag för stora områden.



■ Skogsinventering kan göras på flera olika skalor. I Sverige inventerar Riksskogstaxeringen skog i hela landet och producerar statistik på nationell och regional nivå för myndigheter och forskare. På regional nivå är Skogsstyrelsen och länsstyrelserna intresserade av att hitta områden med höga naturvärden. Markägare behöver kartor på beståndsnivå för att planera skötsel av skogen och välja ut områden för åtgärder.

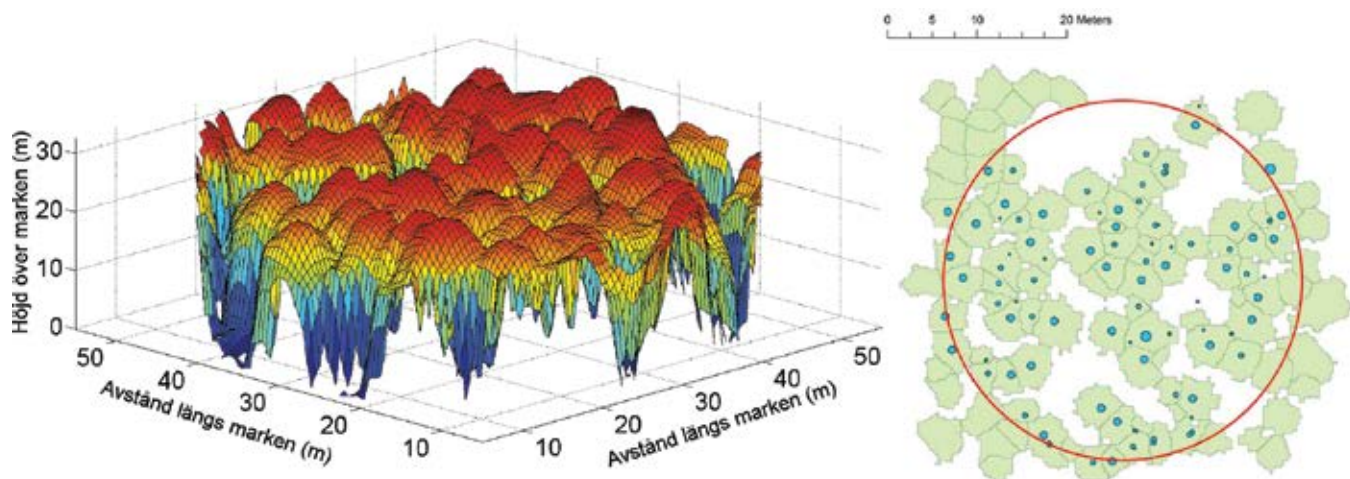
Tolkning av flygfoton kan användas för att dela in skogsmarken i bestånd och bestämma trädslag och virkesförråd, speciellt 3D-tolkning av flygfoton med hjälp av stereofotogrammetri. Flygfototolkning är en fjärranalysteknik, dvs. en teknik för att erhålla information om egenskaper hos jorden och olika objekt på avstånd. Analys av satellitbilder är en annan fjärranalysteknik, som kan kombineras med referensdata från fältobservationer för att

automatiskt ta fram heltäckande skogsskattningar. Lite förenklat kan man säga att fältobservationerna används för att ta reda på vad färgerna hos satellitbilden i samma punkt betyder varpå hela satellitbilden kan tolkas. Detta görs idag på SLU i Umeå med metoden *k* Nearest Neighbours (Egberth *et al.* 2013). Som referensdata används provtytor från Riksskogstaxeringen. Resultatet är skattningar av virkesförråd (trädslagsvisa skattningar samt totalt virkesförråd) i 25×25 m<sup>2</sup> stora rasterceller. De är framförallt till för att användas inom skogsområden större än några hundra hektar (Egberth *et al.* 2013).

En relativt ny fjärranalysteknik är laserskanning, som kan göras både från flyg och med detektorer stående på marken. Data från laserskanning är 3D-koordinatmätningar av ljusreflektioner från marken och andra föremål,

så kallade laserreturer eller punkter. Flygburna laserskannersystem bygger vanligen på den så kallade time-of-flight-principen: Lasern skickar ut en kort puls av ljus och mäter tiden det tar för ljuset att komma tillbaka. Avståndet kan bestämmas genom att ljushastigheten är känd. Positionen för varje reflektion kan beräknas från det uppmätta avståndet och riktningen för den utsända laserpulsens tillsammans med positionen för laserskannern, som mäts med GPS (Figur 1).

De senaste 15 åren har flygburen laserskanning börjat användas för skoglig inventering. Laserskanningen mäter både mark och vegetation och därigenom kan skogens höjd och täthet bestämmas. Skogsskattningarna kan göras med areabaserade metoder eller genom att identifiera enskilda träd i laserdata (Lindberg 2012). Båda metoderna beskrivs i de följande avsnitten.



Figur 3: En ytmodell skapad från flygburna laserdata i en skog (t.v.) samt en segmentering eller avgränsning av trädkronorna i ytmodellen sett uppifrån med fältmätta träd inom en cirkelformad provtyta (t.h.).



## Areabaserade metoder

Areabaserade metoder ger skattningar av skogliga variabler för vissa bestämda ytenheter, t.ex. 10x10 meter stora rasterceller. De skogliga variablerna är i detta fall medelvärden och summor, t.ex. virkesförråd per hektar eller medelstamdiameter. Resultatet kan presenteras som en karta med skattade värden. Metoderna bygger på korrelationen mellan skogliga variabler och variabler som kan beräknas från laserdata i rastercellerna. Den grundtyvägda medelhöjden i skogen är t.ex. korrelerad med maxvärdet av höjden över marken för laserreturerna (Figur 2).

Andra laservariabler kan vara andelen retur över en viss höjd, som säger något om tätheten på skogen, eller percentiler av höjden över marken. En percentil är det värde nedanför vilken en viss procent av mätningarna hamnar. Till exempel är den tjugonde percentilen (H20) det värde som delar laserreturerna så att 20 procent av dem är lägre än H20 och 80 procent är högre än H20.

Skogliga variabler kan skattas inom hela det laserskannade området genom att skapa modeller där fältmätta värden står som beroende av laservariablerna. För att ta fram modellerna behövs referensdata, dvs. skogliga variabler mätta i fält, t.ex. inom provtytor. En vanlig metod är multipel regression, en parametrisk metod som beskriver sambanden med en matematisk modell. Ibland används istället icke-parametriska metoder där sambanden inte behöver följa en matematisk modell. Exempel på icke-parametriska metoder är Random Forests, kNN och  $k$  Most Similar Neighbours.

Areabaserade metoder bygger på starka samband mellan skogliga variabler och laservariabler och fungerar med låg punkttäthet (ca 0,5 punkter/m<sup>2</sup>), men kräver mycket fältdata. Som tumregel behövs minst 30 provtytor för multipel regression om skogen inte är alltför heterogen. För icke-parametriska metoder behövs i storleksordningen minst 100 provtytor. För att täcka in mer varierad skog behövs fler provtytor.

## Laserskanning i hela Sverige

Lantmäteriet har under 2009–2013 skannat hela Sverige utom fjällen med låg punkttäthet (0,5 punkter/m<sup>2</sup>). Resultatet kommer att vara klart under 2015. Det primära syftet är att skapa en ny nationell höjdmodell för marken, men dessutom kommer laserdata att finnas tillgängligt till exempel för skogsbruket.

Skogsstyrelsen har fått ett regeringsuppdrag att tillsammans med SLU förbättra skattningen av skogliga grunddata med hjälp av data från den nationella laserskanningen. Resultatet kommer att bli en rasterkarta för hela landet med 12,5x12,5 m<sup>2</sup> pixlar eller rasterceller. För varje rastercell kommer virkesförråd, biomassa, grundtyta, medelstamdiometer, samt medelhöjd att skattas. Som referensdata används provtytor från Riksskogstaxeringen precis som för kNN-Sverige. Arbetet ska enligt planerna vara färdigt under 2015.

SLU utvecklar även metoder för att kombinera satellitbilder med laserdata. Optiska satellitbilder bidrar i det sammanhanget främst med information om trädslag, medan laserdata ger noggranna skattningar av medelhöjd och virkesförråd. De två datakällorna kompletterar varandra och kombinationen ger bättre resultat än varje datakälla för sig.

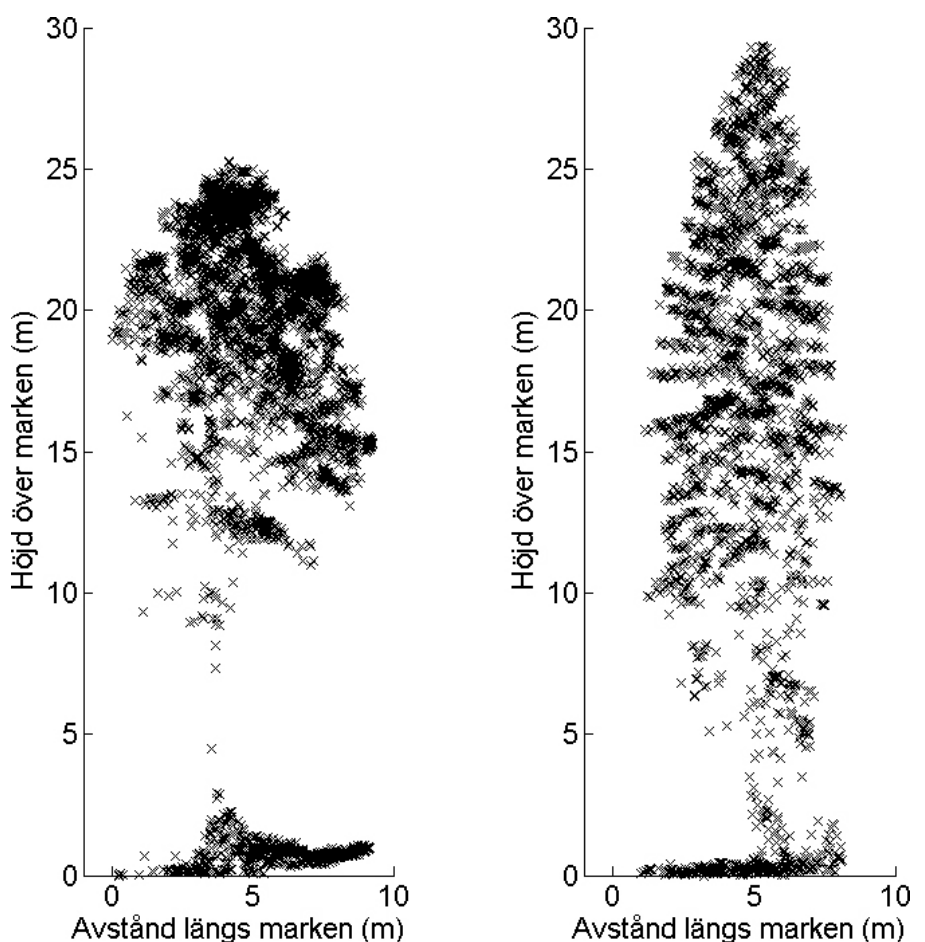
## Enskilda träd-metoder

Med täta laserdata (> 5 punkter/m<sup>2</sup>) kan även enskilda träd urskiljas. Med hjälp av automatiserade metoder liknande bildanalys kan träden ringas in, så kallad segmentering. Detta görs ofta genom att först skapa en ytmodell, sedan identifiera toppar i ytmodellen och avgränsa

området omkring varje topp till en trädkrona, ett så kallat segment (Figur 3). Enskilda träd-metoder utnyttjar mer av 3D-informationen i laserdata och ger mer information än areabaserade metoder, men kräver högre punkttäthet och mer avancerade algoritmer.

Ett vanligt sätt att skapa en ytmodell är att utgå från de högsta laserreturerna i små rasterceller, t.ex. 0,5x0,5 m<sup>2</sup>. Detta ger en ytmodell där trädtopparna syns för en stor del av träden. En nyare metod är att anpassa tredimensionella mallar av trädkronor i form av ellipsoider direkt till laserdata och skapa en ytmodell där "höjden" utgörs av korrelationen, dvs. hur väl mallen passar i varje rastercell. Fördelen med detta är dels att mer information i laserdata utnyttjas eftersom inte bara de högsta laserreturerna används och dels att ytmodellen bygger på kunskap om former och proportioner hos trädkronorna. Denna metod har utvecklats på SLU i Umeå och har gett goda resultat i en internationell jämförelse med andra enskilda träd-metoder (Holmgren & Lindberg 2013).

Ytmodeller beskriver endast det högsta skiktet i skogen. Täta laserdata innehåller även mätningar från träd och buskar under det högsta skiktet och därför har metoder utvecklats för att



Figur 4. Exempel på flygburna laserdata från en tall (t.v.) och en gran (t.h.).

## Flygburen laserskanning för skogliga skattningar

avgränsa trädkronor i tre dimensioner direkt från laserreturerna. Metoderna bygger på att hitta grupper eller kluster av laserreturer. Det är vanligt att utgå från en ytmodell för att få initiala positioner för de högsta träden och en uppskattning av totala antalet träd. Genom att använda modeller av trädkronor även i detta fall kan kunskap om former och proportioner hos trädkronorna utnyttjas. En sådan metod har utvecklats på SLU i Umeå och kommer att utvecklas vidare och även jämföras med andra metoder (Lindberg *et al.* 2013).

Enskilda träd-metoder ger mer information än areabaserade metoder om t.ex. diameterfördelningen, speciellt om fältmätningar för enskilda träd finns. I idealfallet ska varje träd ge upphov till ett segment. I praktiken omfattar dock en del av segmenten flera träd. Det kan vara träd som står tätt intill varandra och vars kronor går in i varandra. Om segmenteringen görs utifrån en ytmodell kan som tidigare nämnts endast träden i det högsta skiktet avgränsas. För att de skogliga skattningarna ska bli korrekta kan man koppla fältmätningar av enskilda träd till segmenten. För varje segment kan noll, ett eller flera träd kopplas. Med hjälp av egenskaper hos segmentet, t.ex. vidden relativt höjden, kan man sedan skatta antalet träd och egenskaper hos träden.

En annan fördel är att trädslagsklassificering kan göras för enskilda träd, vilket är speciellt användbart i blandskogar. Proportionerna hos trädkronorna skiljer

sig åt mellan olika trädslag liksom storlek, form och reflektans hos löven eller barren. Detta medför att olika trädslag ger olika geometriska egenskaper för segmenten som härleds från laserdata och olika intensitet hos det reflekterade laserljuset (Figur 4). Genom att koppla segmenten till fältmätta träd med kända trädslag kan man skaffa information om dessa egenskaper som sedan kan användas för att klassificera trädslagen för segment i områden utan fältmätningar (Holmgren & Persson 2004).

### Tack

Arbetet med att skriva detta nummer av Fakta Skog har finansierats av Karl Erik Önnestjefors stiftelse för vetenskaplig forskning och utveckling. Tack till Mats Nilsson och Håkan Olsson, avdelningen för skoglig fjärranalys, institutionen för skoglig resurshushållning, SLU i Umeå, för hjälp med bakgrundsfakta och granskning.

### Ämnesord

Skogliga data, skattningar, fjärranalys, laserskanning, enskilda träd, trädslag.

### Läs mer

Egberth, M., Nilsson, M. & Axensten, P. kNN-Sverige – Aktuella kartdata över skogsmarken. [online] Available from: <http://skogskarta.slu.se/>. [Accessed December 9, 2013].

Holmgren, J. & Lindberg, E. 2013. Tree crown segmentation based on a geometric tree crown model for prediction of forest variables. *Canadian Journal of Remote Sensing*, S1–S13.

Holmgren, J. & Persson, Å. 2004. Identifying species of individual trees using airborne laser scanner. *Remote Sensing of Environment* 90(4), 415–423.

Lindberg, E. 2012. Estimation of canopy structure and individual trees from laser scanning data. Avhandling, SLU, Umeå. ISBN: 978-91-576-7669-6, ISSN:1652-6880.

Lindberg, E., Holmgren, J., Olofsson, K., Wallerman, J. & Olsson, H. 2013. Estimation of tree lists from airborne laser scanning using tree model clustering and k-MSN imputation. *Remote Sensing* 5, 1932–1955.

## Författare



### EVA LINDBERG

Postdoktor,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83 Umeå  
090-786 85 36  
[Eva.Lindberg@slu.se](mailto:Eva.Lindberg@slu.se)



### JOHAN HOLMGREN

Forskare FLK,  
institutionen för skoglig  
resurshushållning, SLU,  
901 83 Umeå  
090-786 86 02  
[Johan.Holmgren@slu.se](mailto:Johan.Holmgren@slu.se)