



Fjärranalysmetoder för datainsamling vid skogsbruksplanläggning i privatskogsbruket - lägesbeskrivning och framtidsvisioner

**Mats Nilsson
Håkan Olsson**

Arbetsrapport 226 2008

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



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR-226-SE

Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	1
SAMMANFATTNING	2
INLEDNING.....	3
FLYGBILDSMETODER AV INTRESSE I NÄRTID.....	3
<i>Anskaffning av flygbilder.....</i>	<i>3</i>
<i>Manuell och automatisk tolkning av flygbilder</i>	<i>5</i>
<i>Digitala fotogrammetriska arbetsstationer.....</i>	<i>6</i>
SATELLITBILDSMETODER AV INTRESSE I NÄRTID	8
<i>Anskaffning av satellitdata</i>	<i>8</i>
<i>Satellitbildskartor över skog.....</i>	<i>9</i>
FLYGBUREN LASERSKANNING	12
<i>Allmänt om tekniken</i>	<i>12</i>
<i>Markhöjdmodell.....</i>	<i>13</i>
<i>Den arealbaserade metoden.....</i>	<i>13</i>
<i>Analys av enskilda träd i laserskannerdata.....</i>	<i>15</i>
<i>Laserskanning från flera tidpunkter för att skatta tillväxt och avgångar, samt kontinuerlig uppdatering.....</i>	<i>16</i>
<i>Hur kan laserskanning bli ekonomiskt försvarbar för privatskogsbruket?.....</i>	<i>16</i>
AUTOMATISERAD BESTÅNDSAVGRÄNSNING	19
FJÄRRANALYSMETODER SOM BERÄKNAS TILLGÄNGLIGA PÅ NÅGRA ÅRS SIKT	21
<i>Automatiserad bearbetning av digitala flygbilder.....</i>	<i>21</i>
<i>Upptäckt av enskilda träd i digitala bilder</i>	<i>21</i>
<i>Trädslagsbestämning i digitala bilder</i>	<i>21</i>
<i>3D-matchning av krontak i digitala bilder</i>	<i>22</i>
<i>Digitala bilder från obemannade flygplan (UAV).....</i>	<i>25</i>
<i>En stark militär marknad för obemannade flygplan.....</i>	<i>25</i>
<i>Två billiga civila system för jord och skogsbruk</i>	<i>26</i>
<i>En framväxande civil UAV marknad, exemplet Japan</i>	<i>26</i>
<i>Luftfartsbestämmelserna, en nyckelfaktor för den civila UAV-marknaden</i>	<i>27</i>
<i>Visionen om dagsaktuella bilder av bestånd och fastigheter</i>	<i>28</i>
<i>Radardata.....</i>	<i>29</i>
KOMPLETTERANDE FÄLTDATAINSAMLING	30
KVALITETSSÄKRING	30
EN VISION FÖR FRAMTIDEN	31
TACK	32

Sammanfattning

Lantmäteriets nya flygfotoprogram med ett omdrev på i genomsnitt 3 år, samt de höga kostnaderna vid beställning av andra fjärranalysregistreringar över enskilda fastigheter gör att flygbilder även fortsättningsvis måste anses som den främsta fjärranalyskällan för skogsbruksplanläggning. Övergången till digital flygfotografering medför en enklare bildhantering och minskade kostnader vid tolkning i digitala fotogrammetriska arbetsstationer jämfört med tidigare generationer av fotogrammetriska instrument. Detta gör att nya arbetssätt där förrättningsmannen själv gör den kartriktiga stereotolkningen bör provas.

Det finns även ett behov att utveckla operationellt användbara bildanalysrutiner för skoglig tolkning av de digitala flygbilder som Lantmäteriet nu producerar, t.ex. rutiner för bestämning av trädslag samt automatisk beståndsavgränsning. Vid utveckling av dessa måste hänsyn tas till att träd avbildas olika i olika delar av flygbilden.

Flygburen laserskanning ger mycket bra skattningar av bl.a. virkesförråd och trädhöjd i barrdominerad skog, men för att metoden ska bli konkurrenskraftig för det svenska privat-skogsbruket, krävs en affärsmodell som gör att laserskanningen och skattningen av skogliga data för närliggande fastigheter kan samordnas, eller alternativt att nya typer av billigare lasersystem utvecklas. En tänkbar startpunkt för införande av laserskanning i för privat-skogsbruket skulle kunna vara att data från den skanning som Lantmäteriet planerar för att ta fram en ny markhöjdsmodell även görs tillgänglig för skogsbruket. Analys av enskilda träd i laserregistreringar kan ge ytterligare information om t.ex. trädslag och storleksfördelning, men enbart analys av enskilda träd ger sannolikt sämre skattningar på beståndsnivå för virkesförråd, medeldiameter, etc. än den hittills använda arealbaserade metoden som bygger på statistisk skattning av skogliga data på provytor utifrån motsvarande punktmoln med laserträffar i krontaket. Laserskanningen utvecklas snabbt och den täta skanning som behövs för att upptäcka de flesta enskilda träden kommer inte att vara något problem att åstadkomma i framtiden. Den naturliga utvecklingen är därför att försöka kombinera den arealbaserade metoden med enskilda-träd-metoden.

Ett flertal nya fjärranalystekniker är under utveckling, bl.a. utvecklas metoder för att mäta krontakets höjd genom matchning av digitala flygbilder som registrerats från många olika tittvinklar. För att denna typ av produkter ska bli fullt användbara för skogsbruket krävs en noggrant bestämd markhöjdsmodell av det slag som Lantmäteriet nu planera att ta fram m.h.a. laserskanning.

Skogliga satellitbildsskattningar som SLU:s ”kNN-Sverige”-databas, liksom den årligen uppdaterade satellitbildsdatabas som Lantmäteriet fått i uppdrag att ansvara för, ger en överblick över skogslandskapet samt data för ajourhållning, virkesanskaffning och jämförelser mellan olika skogsbruksplaner.

Det finns redan idag små elmotordrivna modellflygplan med autopilot (så kallade UAV:er) som kan användas för att på några hundra meters höjd fotografera bestånd eller delar av fastigheter. Dagsfärska fotomosaiker från UAV:er skulle kunna användas för inventering och dialog med markägaren. UAV-systemen förväntas utvecklas snabbt de närmsta åren, bl.a. på grund av lättade luftfartsbestämmelser.

Inledning

LRF-skogsägarna och Skogsägarföreningarna avser att utveckla en gemensam plattform för en ny generation skogsbruksplaner som skall kunna användas operationellt under perioden 2010-2020. Utvecklingsarbetet genomförs via projektet ”Tredje generationens skogsbruksplaner” som leds av SkogForsk. Till grund för arbetet behövs en analys av de framtida databehoven och möjligheten att samla in dessa uppgifter på ett kostnadseffektivt sätt. Som ett led i detta har Skogforsk uppdragit åt SLU att utreda möjligheterna till effektiv datainsamling med hjälp av fjärranalys.

Rapporten beskriver möjligheten att idag och inom en snar framtid använda olika typer av fjärranalysdata vid skogsbruksplanläggning i det svenska privatskogsbruket. De uppgifter som presenteras kommer från olika forskningsstudier, samt från kontaktade personer.

Flygbildsmetoder av intresse i närtid

Anskaffning av flygbilder

Lantmäteriet har infört en ny politik för statligt finansierad flygfotografering som innebär att från och med 2006 fotograferas årligen en yta motsvarande en tredjedel av landet. Årliga planer tas fram i samverkan med större användare av flygbilder och ortofoton. Produktionskedjan är helt digital och fotograferingen sker med två st Z/I DMC digitala flygfotokameror. Dessa registrerar pankromatiska data med hög upplösning, samt blått, grönt, rött och närinfrarött (NIR) ljus med lägre upplösning. Tillsvidare blir standardprodukten vanliga färgbilder i södra Sverige och infraröda (IR) färgbilder i norra Sverige. Normalhöjden är 4800 m vilket ger en upplösning (pixelstorlek i den digitala bilden) på 0,48 m på marken och en yttäckning som motsvara ca 3,6 x 6,6 km. Vissa områden, som exempelvis tätorter, fotograferas från 2500 m. Lantmäteriet har inte längre något flygfotolaboratorium men äldre fotografiska flygbilder från Lantmäteriets arkiv kan beställas som skannade digitala bilder.

Faktaruta 1. Priser för Lantmäteriets flygbilder.

För mer information om flygbilder och priser hänvisas till Lantmäteriets hemsida (<http://www.lantmateriet.se/>).

Flygbilder ¹	S/v	IRF	Färg
- Skannad	300 kr	400 kr	400 kr
- Digital (DMC)	150 kr	200 kr	200 kr
Orienteringsdata	Avgift per bild	Avgift per beställning	
- Skannad	80 kr	500 kr	
- Digital (DMC)	40 kr	500 kr	

Vid större volymer kan offert lämnas

¹⁾ Lägsta avgift 1 500 kr, avgift för leveransmedia tillkommer

Idag finns både svartvita ortofoton med 1,0 m upplösning och ortofoton i naturliga färger eller IR-färg med en upplösning på 0,5 m. Priset på svartvita ortofoton ligger runt 12,5 kr/km² och för färgortofoton (IR eller naturlig färg) är priset ca 50 kr/km². Ortofoton

tillhandahålls genom återförsäljare men mindre områden kan även köpas från SverigeBilden på Lantmäteriets hemsida. Priset är dock betydligt högre för ortofoton som köps via SverigeBilden. Information om vilka flygbilder och ortofoton som finns tillgängliga inom ett visst område går att få via GeoLex på Lantmäteriets hemsida.

För uppdragsfotografering är marknaden numera fri och det finns redan flera aktörer på den svenska marknaden, t.ex. Blom ASA och Scankort A/S som båda också använder digitala flygfotokameror. Priset för uppdragsfotograferade bilder beror på hur stort område som fotograferas, flyghöjd, områdets läge m.m. och det är ofta betydligt högre än priset på bilderna från den statsfinansierade flygfotograferingen som Lantmäteriet utför. Exempelvis kan nämnas att NILS (Nationell Inventering av Landskapet i Sverige) årligen beställer uppdragsfotografering från 4800 m höjd för ca 100 rutor med en storlek på 5*5 km. Rutorna är spridda över hela landet och kostnaden per bild (DMC-bilder) som fotograferas ligger på ca 350-1000 kr, inklusive orienteringsdata. Det finns även ett antal aktörer som utför objektvis fotografering från fastvingeflyg eller helikopter (SkyMovies, L&L Flygbildteknik AB och Kallax-flyg AB). Även dessa använder digitalkameror, i regel mellanformatskameror av Hasselbladstyp. Enligt L&L Flygbildteknik är fotograferingar med deras digitala Hasselbladskamera konkurrenskraftiga för områden upp till ca 100 000 ha.

Lantmäteriets Z/I DMC kameror tar stillbilder, vilket gör att geometrin vid fotograferingstillfället kan återskapas även om det skulle vara problem med det navigeringssystem som mycket exakt bestämmer kamerans position. Kameran anses som en av de bästa på marknaden, en nackdel är dock att det i en stillbildskamera behövs många sensorelement för att registrera en yta med hög upplösning. Färgpixlarna i DMC-bilderna blir därför förhållandevis stora och det går ca 4*4 svartvita pixlar per färgpixel i ett våglängdsband. Vid normala flyghöjder (4800 m) kommer därmed färginformationen från nära 2*2 m stora pixlar. Detta är en begränsning om Z/I DMC bilder t.ex. ska användas för att automatiskt mäta trädkronors färg, för att få information om trädslag eller vitalitet. Det är intressant att notera att utvecklingen av digitala flygfotokameror är fortsatt snabb. En ledande kamera just nu är Leica ADS 40 2nd generation, som har 12 sensorarrayer, var och en med en bredd om 12000 pixlar. Den bygger upp en bild med hjälp av "pushbroom" teknik, d.v.s. sensorarrayerna "krattar av" marken under flygplanet och flyghastigheten ger förflyttningen till nästa linje i den digitala bilden. Pushbroom-sensorer kräver ett väl fungerande navigeringssystem som registrerar flygplanets rörelser i luften, men de har bl.a. fördelen att bilder med högre upplösning kan erhållas. Med ADS 40 2nd generation, kan sanna färgbilder med några dm upplösning erhållas från normala flyghöjder, vilket gör den mer lämplig än Z/I DMC för att mäta trädkronors färg.

Faktaruta 2. Exempel på digitala flygfotokameror

Kamera	Antal pixlar pankromatiskt (=S/V) våglängdsområde	Antal pixlar Blått, grönt och nära IR	Princip
Z/I DMC	7680*13824	2048*3072 per färg	Stillbilder, 4 kamerahuvuden vardera för S/V och färg
Leica ADS 40 2'nd generation	4*12000	2*12000 per färg	Arrayer med CCD sensorer i olika tittvinklar

Manuell och automatisk tolkning av flygbilder

Förhandsavfattning, mätning av beståndshöjd, skattning av virkesvolym, mm i digitala fotogrammetriska arbetsstationer, i stort enligt "LMV-metoden" är även fortsättningsvis ett intressant alternativ för datainsamling. Metoden bör kunna effektiviseras i och med introduktionen av digital fotogrammetri.

Jämförelser mellan tolkning i digitala och analoga flygbilder visar att variabler som virkesförråd, medelhöjd och trädslagsblandning kan uppskattas i digitala bilder (Z/I DMC-bilder) med ungefär samma precision som vid tolkning av analoga bilder (faktaruta 3). Flygbilder som tagits med en digitalkamera har dessutom en bättre färgdynamik än analoga bilder och färgåtergivningen kan justeras för att exempelvis förbättra tolkningsmöjligheterna i områden som är beskuggade. Orienteringen av flygbilder i de tidigare analoga stereoinstrumenten var tidskrävande och ställde stora krav på operatören. I en Wild B8 tar det t.ex. 30-40 minuter att orientera en stereomodell. För digitala flygbilder är det möjligt att köpa orienteringsdata, vilket gör det enkelt att orientera stereomodellerna i en digital fotogrammetrisk arbetsstation. Motsvarande arbete tar då endast några minuter. Detta tillsammans med en betydligt enklare instrumenthantering ökar förutsättningen för att planläggarna själva ska kunna göra stereotolkningsarbetet, t.ex. under vintersäsong. För närvarande pågår examensarbeten vid SLU som undersöker möjligheten att beskriva ungskogar och identifiera gallringsbehov genom tolkning av flygbilder i digitala stereoinstrument. Det kan också nämnas att SCA testat möjligheten att använda tekniken för att uppdatera sina ungskogsbestånd och för att identifiera gallringsbehov.

Faktaruta 3. Resultat på beståndsnivå från tolkningsförsök i flygbilder

Kamera	Medelfel	Volym	Trädhöjd	Grundyta	Diameter	Ålder	Tallandel
Wild RC30 ¹	24 %						
Z/I DMC ¹	25 %	7 %					
Wild RC10 ²	15 %	8 %	14%	16 %	20%	15%	

¹⁾ Magnusson, M. 2006. Evaluation of Remote Sensing Techniques for Estimation of Forest Variables at Stand Level. Doctoral Thesis No. 2006:85, SLU Faculty of Forest Sciences.

²⁾ Ståhl, G. 1992. En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning , Rapport 24.

Bibliografi, beståndsvi flygbildstolkning

Eid, T 1996. Kontroll av skogsbruksplandata fra "Understøttet fototakst" . Norsk Institutt for Skogforskning, og Institutt for Skogfag, Norges Lantbrukshøgskole, Ås, Norway, Report 8

Ericson, O. 1984. Beståndsinventering med flygbild. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Spånga, Sverige, , Rapport 8.

Magnusson, M., och Fransson. J.E.S. 2005. Evaluation of aerial photo-interpretation for estimation of forest stem volume at stand level. In: Proceedings of ForestSAT Scientific Workshop on Operational Tools in Forestry Using Remote Sensing Techniques, Borås, Sweden, May 31 – June 3, 2005.

Magnusson, M., Fransson, J.E.S. och Olsson, H. 2007. Aerial photo-interpretation using Z/I DMC images for estimation of forest variables. Scandinavian Journal of Forest Research, 22: 254-266.

Ståhl, G. 1992. En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning , Rapport 24.

Digitala fotogrammetriska arbetsstationer

Det finns idag ett relativt stort antal tillverkare av digitala fotogrammetriska arbetsstationer, exempelvis ESPA, DAT/EM, Leica, och GeoSystem. Dessutom finns tillverkare som tillhandahåller enklare system som främst är avsedda för enklare tolkningsarbete. Ett exempel på detta är PurView som ersatt DiAP-Viewer som tidigare var ett standardprogram inom det Kanadensiska skogsbruket. PurView är inte en fotogrammetrisk arbetsstation utan en tillvalsmodul till ArcGIS som kan användas för mätning och tolkning i 3D. Priset för de avancerade systemen (programvarorna) ligger normalt mellan 40 000 – 170 000 kr beroende på vilken funktionalitet som önskas. Dessutom tillkommer kostnaden för hårdvara och för vissa system även en årlig licensavgift. De enklare systemen har en begränsad funktionalitet vilket också återspeglas i priset.

Faktaruta 4. Ungefärliga priser för några olika system för digital fotogrammetri¹.

Notera att de stora prisintervallerna beror vilken funktionalitet som ingår i de olika programpaketen.

System	Pris programpaket	Årlig avgift	Tillverkare
GeoSystem	37 000 kr	7 000 kr	GeoSystem
PurView	10 000 - 42 000 kr	-	I.S.M. International Systemap Corp
ESPA	59 000 - 169 000 kr	-	ESPA Systems
Erdas Imagine Prof.	77 000 kr	-	Leica Geosystems AB
Leica Photogr. Suite	115 000 kr	-	Leica Geosystems AB
Summit	95 000 - 127 000 kr	17 000 kr	DAT/EM
SocetSet	117 000 kr	13 000 kr	BAE Systems

¹⁾ Önehlm, K. 2008. Uppskattning av gallringsbehov i ungsogor med hjälp av tolkning i digitala flygbilder. Pågående examensarbete vid SLU.

Man kan dela upp hårdvaran som krävs för stereobetraktande i: (i) dator, (ii) grafikkort, (iii) betraktningssystem samt (iv) ”navigeringsutrustning” t.ex. 3D-mus eller vanlig mus. Datorn är i regel en Windows PC med en relativt kraftfull processor. Grafikkortet måste passa till det tolknings- och betraktningssystem som valts, normalt räcker det med en bättre standarddator (3GHz processor med 2 GB RAM-minne). Det finns olika typer av betraktningssystem. De vanligaste systemen använder antingen aktiva stereoglasögon som via ”blinkningar” ger stereoseende eller polariserande glasögon som kombineras med ett polarisationsfilter framför skärmen. Priset på betraktningssystemen varierar från drygt 10 000 kr för system som baseras på en CRT-skärm med aktiva eller polariserande glasögon till ca 40 000 för de modernaste systemen med två LCD-skärmar (platta skärmar) och polariserande glasögon (Planar SD2020). Navigeringssystemen kan vara allt från en vanlig mus till avancerade 3D-möss som kostar närmare 10 000 kr. Vissa system har också möjligheten att betrakta bilderna m.h.a. ett stereoskop som placeras framför bildskärmen på ungefär samma sätt som i ett vanligt spegelstereoskop.

Faktaruta 5. Ungefärliga priser för några hårdvaror till digitala fotogrammetriska arbetsstationer¹.

Hårdvara	Pris
Dator	
- 3GHz processor, 2 GB RAM-minne, 160 GB HD	10 000 kr
Grafikkort	
- Nvidia Quadro FX 3500	9 000 kr
Navigeringsutrustning (3D-möss)	
- Stealth 3D Mouse	9 300 kr
- 3Dconnexion SpaceExplorer	3 000 kr
Betraktningssystem	
- NuVision 17SX Stereoscopic Monitor Kit (CRT-skärm) ²	11 200 kr
- NuVision 21SX Stereoscopic Monitor Kit (CRT-skärm) ²	14 000 kr
- Planar SD1710 (17" LCD-skärm) ³	26 000 kr
- Planar SD2020 (20" LCD-skärm) ³	39 000 kr

¹⁾ Önehlm, K. 2008. Uppskattning av gallringsbehov i ungskogar med hjälp av tolkning i digitala flygbilder. *Pågående examensarbete vid SLU.*

²⁾ Exklusive CRT-skärm

³⁾ Inklusive LCD-skärmar

Förutom kostnaden för inköp av program- och hårdvara krävs utbildning för att kunna hantera arbetsstationerna. De flesta leverantörer erbjuder därför utbildningspaket på 2-5 dagar.

Satellitbildsmetoder av intresse i närtid

Anskaffning av satellitdata

Skogsstyrelsen införskaffar årligen en omgång geometriskt korrigerade satellitbilder över Sverige. På senare år har detta dataset levererats av METRIA och främst utgjorts av SPOT 5 bilder med 10 m pixlar. Från och med 2007 har Lantmäteriet i uppdrag från regeringen att ta fram, lagra och tillhandahålla årliga nationella dataset med bilder från SPOT eller liknande sensorer, d.v.s. bilder med en pixelstorlek på 10-30 m. Den nationella satellitbildsdata-basen håller för närvarande på att byggas upp med bilddata från 1970-talet (EPOK 1 - Landsat MSS), 1980-talet (EPOK 2 - Landsat TM), 2000 (Landsat TM/ETM+), 2005 (SPOT 4/5 och Landsat TM) och 2007 (SPOT 5, Landsat TM och IRS P6) och den kommer att lanseras under 2008 under namnet SACCESS. Både originalbilder och rikstäckande mosaiker kommer att finnas fritt tillgängliga över Internet.

Mönstret av träd framträder först när pixelstorleken är mindre än ca 2*2 m, bilder med större pixlar (t.ex. bilder från SPOT, Landsat, den kommande Rapid Eye och motsvarande typer av satelliter) har ett begränsat informationsinnehåll och brukar inte anses utgöra tillräckligt underlag för skoglig planering. De ger dock en överblick över beståndsfigurena och är användbara för ajourhållning och speciella ändamål som t.ex. indikationer på lövröjningsbehov eller för att skapa överblick över stora områden, även utanför den aktuella fastigheten.

Kring år 2012 eller snart därefter planeras ett antal nya satellitsensorer (t.ex. Landsat 8, GMES Sentinel 2 och SPOT 6) att skickas upp i omloppsbanan runt jorden. Detta tillsammans med Lantmäteriets satellitbildsdata kommer att avsevärt öka tillgången på användbara satellitbilder för skogsbruket. USA har t.ex. deklarerat att data från Landsat 8, liksom det existerande arkivet med Landsat data, kommer att bli gratis tillgängligt över internet. Genom ett ökat flöde av satellitdata ökar möjligheten att följa utvecklingen i skogen och därmed också möjligheten att ajourhålla skogskartor och tillhörande registerdata. Denna typ av satellitbilder med mellan 2 och 30 m stora pixlar kommer sannolikt inte att innehålla väsentligt mer skoglig information än dagens Landsat- och SPOT-bilder, även om antalet våglängdsband ökar. Olika typer av optiska satellitbilder med denna pixelstorlek ger i stort sett samma information om skogen. Den viktigaste skillnaden mellan dessa olika satelliters bilder är om det mellaninfraröda våglängdsbandet finns med eller ej (d.v.s. ett våglängdsband kring ca 2000 nm, vilket är längre än det nära infraröda ljuset och som visat sig vara värdefullt för att kartera virkesförråd). En annan viktig egenskap är hur stora områden som satellitbilderna täcker. Satellitbilder från SPOT täcker relativt små områden (60x60 km) medan bilder från t.ex. Landsat täcker betydligt större områden (185*185 km).

En annan klass av satellitbilder kommer från de mycket högupplösande satellitsystemen som t.ex. IKONOS och Quickbird, som levererar bilder med 1m, respektive 0,6 m pixlar i det svartvita bandet. Scenstorleken är i regel kring 20*20 km. Denna typ av satellitbilder ska närmast jämföras med ortofoton. Eftersom de säljs på kommersiella grunder, samtidigt som vi har en statligt subventionerad produktion av flygbildsbaserade ortofoton, så är det svårt att se någon större marknad för den typen av bilder i Sverige.

Faktaruta 6. Exempel på satellitdata

Satellit/sensor	Uppskjutnings- år	Pixelstorlek (m) pan	Land färg	Kommentar	
”Vanliga jordresurssatelliter”					
Landsat 7 ETM+	1999	15	30	USA	Ur funktion
”Landsat 8”	ca 2012			USA	Beslutad, gratis data
SPOT 5	2002	5	10	Frankrike	
SPOT 6	ca 2012	5	10	Frankrike	Planerad
Rapid Eye	2008		6,5	Tyskland	Saknar mellan-IR
GMES Sentinel2	2012		10-20	Europa	
Satelliter med mycket högupplösande sensorer (samtliga saknar mellan-IR)					
Ikonos 2	1999	1	4	USA	
Quick Bird 2	2001	0,6	2,5	USA	
Plejaderna	2009	0,7	2,5	Frankrike	Sverige delägare

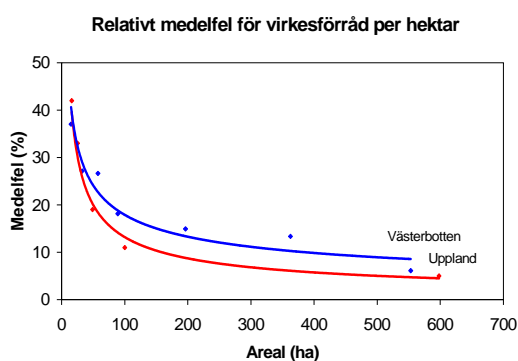
Satellitbildskartor över skog

För att bl.a. möta Skogsstyrelsens, Naturvårdsverkets, flera länsstyrelser, samt SLU:s behov av skogliga data har satellitbildsskattningar av totalt virkesförråd, virkesförråd per trädslag, ålder och trädhöjd tagits fram av SLU för större delen av Sveriges skogsmark. Produkten är en databas med lika många rasterskikt som antalet uppskattade variabler. För varje rastercell (25*25 m) i ett skikt finns ett uppskattat kontinuerligt värde för den aktuella

variabeln som beskriver tillståndet år 2000. Av praktiska skäl har skattningarna begränsats till de områden som är skog, skogklädd sankmark eller fjällskog enligt Lantmäteriets vägkarta i skala 1:100 000. Den metod som använts för att skatta de aktuella variablerna är den s.k. "kNN"-metoden ("k Nearest Neighbor"-metoden), vilken sedan början av 1990-talet har använts för liknande ändamål inom den finska riksskogstaxeringen. Det är främst Landsat 7 ETM+ bilder från Image 2000 som används för att med stöd av Riksskogstaxeringens provtytor tilldela skogliga data till satellitbildens rasterceller (pixlar). Produkten heter kNN-Sverige 2000 och den finns numera fritt tillgänglig som rikstäckande rasterskikt med ett skikt per variabel (ålder, medelhöjd, samt virkesförråd för tall, gran, contorta, björk, bok, ek, och övrigt löv).

Faktaruta 7. kNN-Sverige

Skattade variabler för varje 25 * 25 m pixel på skogsmark: ålder, medelhöjd, samt virkesförråd för tall, gran, contorta, björk, bok, ek, och övrigt löv.



Uppskattningarna av variablerna i kNN-Sverige är osäkra på pixelnivå men säkerheten ökar avsevärt när medeltal beräknas för lite större områden.^{1,2}

¹⁾ Fazakas, Z., Nilsson, M. and Olsson, H. 1999. Regional forest biomass estimation by use of satellite data and ancillary data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98-99: 417-425.

²⁾ Reese, H., Nilsson, M., Granqvist Pahlén, T., Hagner, O., Joyce, S., Tingelöf, U., Egberth, M., and Olsson, H. 2003. Countrywide estimates of forest variables using satellite data and field data from the National Forest Inventory. *Ambio* 32, pp. 542-548.

kNN-Sverige är tillsammans med GSD Marktäckedata de enda rumsligt heltäckande beskrivningarna av Sveriges skogsmark, utöver de allmänna kartornas skogsmask. GSD Marktäckedata är den Svenska versionen av Corine Landcover och den täcker hela landet.

Faktaruta 8. Skogsklasser i GSD Marktäckedata med år 2000 som basår.

	Höjd	Separata klasser om:			
		myr	berg i dagen	lav	> 15 m
Hygge	< 2 m				
Ungskog	2-5 m				
Lövskog	> 5 m	Ja	Ja		
Blandskog	> 5 m	Ja	Ja		
Barrskog	> 5 m	Ja	Ja	Ja	Ja

Skogsklassningen i GSD Marktäckedata har tagits fram av SLU genom en klassificering av Landsat ETM+ bilderna från Image2000. Vid klassningen har fältdata från Riksskogstaxeringen använts som fältpreferens. Definitionen av skog, myr och berg kommer från Lantmäteriets allmänna kartor och överensstämmer därför inte helt med de definitioner som normalt används vid skogsbruksplanläggning.

Databaser som *k*NN-Sverige och GSD Marktäckedata bör kunna ge en landskapskontext runt fastigheten som skall planläggas. *k*NN-Sverige kan också vara ett substitut för skogliga data när inga andra data finns. En ny rikstäckande *k*NN-databas tas för närvarande fram med hjälp av SPOT-bilder från år 2005 och 2006, och den beräknas bli klar hösten 2008. För att öka användandet av både de gamla och de nya *k*NN-produkten är planen att tillhandahålla dem kostnadsfritt via Internet. Detta är redan möjligt för *k*NN-Sverige 2000, men innan den nya versionen kan läggas ut på nätet krävs ett nytt tillstånd från Lantmäteriet.

De avverkningar som Skogsstyrelsen årligen karterar m.h.a. satellitbilder från olika år kan användas för att ajourhålla bestandsgränserna i de områden som avverkats inom ett planlagt område. De karterade avverkningarna kan redan idag kostnadsfritt hämtas från "Skogens Källa" på Skogsstyrelsens hemsida (<http://www.svo.se/>).

Bibliografi, satellitbildskattningar

Reese, H., Nilsson, M., Granquist Pahlen, T., Hagner, O., Joyce, S., Tingelöf, U., Egberth, M., and Olsson, H. 2003. Countrywide estimates of forest variables using satellite data and field data from the National Forest Inventory. *Ambio*, 32, 542-548. (Beskrivning av den svenska *k*NN 2000 produkten).

Tomppo, E., Olsson, H., Ståhl, G., Nilsson, M., Hagner, O., and Katila, M. 2008. Combining national forest inventory fields plots and remote sensing data for forest databases. *Remote Sensing of Environment*. 112:1982-1999. tryckning. (Beskriver hur *k*NN data framställts och använts i Sverige och Finland).

Flygburen laserskanning

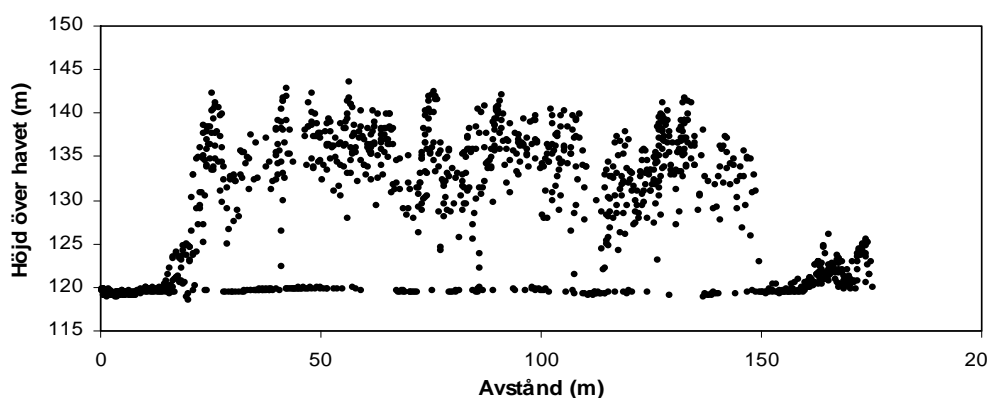
Allmänt om tekniken

Flygburen laserskanning bygger på att laserstrålar sänds ut från ett skannade instrument, som mäter tiden tills en laserstråle som träffat marken eller vegetationen reflekteras tillbaka till mottagaren. Med hjälp av mycket precis navigeringsteknik (GPS i kombination med tröghetsnavigering) så kan positionen för den punkt på marken eller i vegetationen som laserstrålen reflekteras från bestämmas med dm-noggrannhet. Ofta kan instrumenten registrera två eller flera returpulser för varje utsänd laserpuls, t.ex. en retur från krontaket och en från marken. Resultatet blir ett ”punktmoln” med de x-, y- och z-positioner i krontaket och på marken, från vilka laserstrålarna har reflekterats.

Tekniken har utvecklats mycket snabbt, de första civila systemen kom 1993 (varav det svenskutvecklade TopEye-systemet var ett) och kunde då sända ut 2000 laserpulser per sekund. Idag finns det system som sänder ut 200 000 laserpulser per sekund. Den tekniska utvecklingen förväntas att även i fortsättningen bli mycket snabb, med ytterligare ökad pulstäthet, bl.a. genom att flera sensorer (så kallade focal plane arrayer) kommer att kunna mäta olika delar av en reflekterad laserpuls samtidigt. Till teknikens fördelar hör också att den inte är beroende av solhöjd och att skanning är möjlig dygnet runt om vädret är klart.

SLU har forskat kring flygburen laserskanning av skog sedan 1991 men kostnaderna har tills för några år sedan ansetts vara för höga för att den ska kunna rekommenderas för skogsbrukskartläggning. Kostnaderna för laserskanning är idag starkt sjunkande, med priser på omkring 10 kr/ha vid gles skanning av stora områden. Till det sjunkade priset har bidragit att det numera finns ett flertal konkurrerande operatörer, bland annat Blom ASA, Scankort A/S, samt på den skogliga sidan även Foran Remote Sensing.

Faktaruta 9. Profil av laserträffar på marken och i krontaket i en 5 m bred transekt på Remningstorp, ca 2,5 pulser /m², (från Mattias Magnusson, SLU).



Markhöjdsmodell

Det första steget vid bearbetning av laserskannerdata för skogliga ändamål är att beräkna en markhöjdsmodell från de laserträffar som är lägst i punktmolnet. I regel kan detta göras med en höjdnoggrannhet som är bättre än 2 dm. I skogsterräng är det dock viktigt att skannervinkeln ej är för stor, normalt begränsas den därför till ca +/- 15 grader. Laserskanning är en av de få metoder som samtidigt kan mäta både mark och krontak. En av fördelarna med detta är att eventuella systematiska fel vid höjdmätningen inte påverkar mätningen av trädhöjd. Det ska dock observeras att en ny nationell laserskannad markhöjdsmodell sannolikt kommer att etableras och att denna i så fall också kan bli användbar vid mätning av trädhöjder. Bl.a. kan användningen av en sådan komma att något minska kraven på en snäv skannervinkel. En väl bestämd markmodeller är dessutom en förutsättning för skogsbrukets framtida användningen av en rad andra nya fjärranalysmetoder som främst kan bestämma krontakets höjd, bl.a. matchning av optiska bilder från flera tittvinklar, eller beräkning av krontaket från radarbilder som registrerats från olika vinklar. Laserskanning för att skapa noggrannare nationella höjdsmodeller har gjorts i flera länder, och har nyligen beslutats i Finland.

Den arealbaserade metoden

År 2002 introducerade det norska företaget Prevista A/S en kommersiell metod baserad på regressions samband mellan percentiler i punktmolnet av lasermätta höjder i trädskronorna och klavade, väl koordinatsatta, provytor. Metod har utvecklats av Professor Erik Næsset i Norge. För barrdominerade (högst ca 30 % löv) Skandinaviska skogar har den visat sig ge mycket bra skattningar av virkesförråd, grundyta, beståndshöjd och medeldiameter (t.ex. 10-15 % medelfel för skattning virkesförråd på beståndsnivå).

Det första storskaliga testet av laserskanning i Sverige gjordes av Skogsstyrelsen och SLU år 2003, där beståndsvisa virkesförråd skattades för ett ca 5000 ha stort område i Dalarna. År 2005 gjorde Prevista A/S det första kommersiella projektet åt Sveaskog och en utvärdering år 2006 visade på goda resultat (faktaruta 10). Sedan dess har metoden provats av fler svenska skogsföretag på sammanlagt ca 60 000 ha och flera utvärderingar pågår för närvarande. I Norge har Prevista hittills gjort laserskattningar på ca 350 000 ha.

Skattningsresultaten har visat sig vara ganska okänsliga för en mängd systemparametrar som t.ex. laserstrålens bredd, eller flyghöjden. Skattningarna försämrar inte heller drastiskt då laserdatats täthet kraftigt reduceras, t.ex. ned till mindre än 0,1 laserskott/m² (faktaruta 11). Det väsentliga är att man har "många laserskott per provyta", därmed spelar även provytornas storlek en roll för hur glesa laserdata som kan accepteras. Ett alternativt sätt som på försök provats i Sverige är att istället för cirkelprovytor använda hela cirkelyteinventerade (IPAK) bestånd som enhet vid regressions skattningarna och då har ännu glesare laserdata (< 0,01 laserskott/m²), gett bra skattningsresultat förutsatt att markhöjdsmodellen skapats från tätare data. I operationella sammanhang har Prevista AS provat skanningstätheter på 0,25 punkter/m², vilket används i en förenklad produkt där försäljningsargumentet är lägre pris än en konventionell plan (normalt har laserskanning av skog hittills motiverats med argumentet att planens kvalitet förbättras jämfört med när konventionella fältmetoder används). En mycket viktig faktor är dock att fältytornas position är mycket bra bestämd, så att laserskotten stämmer överens med provytans trädgrupp. Var i trädkronan som laserstrålen reflekteras beror på en mängd faktorer som t.ex. vid vilken energinivå som sensorn registrerar en returpuls, flyghöjd och atmosfär den

aktuella dagen, samt trädens blad eller Barryta (som förändras under vegetationssäsongen). Dessa variabla faktorer är inget problem så länge de regressionsfunktioner som skall användas för att skatta de aktuella variablerna (diameter, höjd, etc.) utifrån laserdatat tas fram med hjälp av fältdata från det skannade området. Dessa fältdata behöver inte heller vara registrerade samtidigt som laserdatat. Däremot, så har vi, enligt vår åsikt, ännu inte tillräcklig kunskap för att "flytta" provvytor från skanningar som har gjorts på andra områden, i synnerhet inte om flyghöjd, datum, eller andra parametrar som kan påverka punktmolnets läge i kronan skiljer sig mellan de två skanningstillfällena. Detta kan förvisso fungera ibland, men vi vet inte vilka randvillkoren för detta är. Med andra ord, så bör vi tillsvidare planera för att det ska finnas ett tillräckligt antal (>100) väl inmätta provvytor inom det område som ska skannas vid ett givet tillfälle. Provytorerna behöver dock inte ligga på den egna fastigheten.

Faktaruta 10. Exempel på validering av skattningsresultat för den arealbaserade metoden.

1) Skattning av 5000 ha skogsmark i Ovanmyra, Dalarna, gjord av Skogsstyrelsen och SLU, med 1,2 laserpulser/m², regression med hjälp av 122 fältmätta cirkelprovytor, följt av utvärdering mot 29 avdelningar med ca 10 cirkelprovytor per avdelning, laserskattningsarnas fel på avdelningsnivå då felet i fältinventeringen kompenseras:

	<u>Slumpmässigt fel</u>
Virkesförråd:	11%
Grundyta:	10%
Grundytevägd medeldiam:	8%
Grundytevägd medelhöjd:	4%

2) Skattning av 4700 ha produktiv skogsmark på Sveaskogs marker nära Särna, gjord av Prevista AS, med 1,0 laserpulser/m², regression med hjälp av 112 fältmätta cirkelprovytor. Utvärdering mot 10 avdelningar med ca 15 provvytor per avdelning är gjord av OL Skogsinventering. Nedan redovisas laserskattningsarnas fel på avdelningsnivå då felet i fältinventeringen kompenseras.

	<u>Systematiskt fel</u> <u>Slumpmässigt fel</u>	
Virkesförråd:	-1 %	14 %
Stam/ha:	-11%	12 %
Grundyta:	-2%	12 %
Grundytevägd medeldiam:	0 %	7 %
Grundytevägd medelhöjd:	0 %	3 %

Inga av de systematiska felen var signifikanta, siffrorna är avrundade till hela %.

1) Från Holmgren, J och Jonsson, T. Large scale airborne laser scanning of forest resources in Sweden, Publicerad i proceedings från Natscan konferensen 2004 (se bibliografi).

2) Från "Validering av laserdata och flygbildstolade data från Storådalen", utförd av Ola Lindgren, OL Skogsinventering AB, 2006-07-31.

Analys av enskilda träd i laserskannerdata

Då laserskanningen görs tätt, så framträder även de flesta enskilda träden i laserdatat. Vanligen så brukar skanningstätheter på minst 5-10 punkter/m² rekommenderas för en sådan analys. En nyligen gjord undersökning vid Finlands Geodetiska Institut (FGI) (faktaruta 12) visade dock att högst 5 % av träden missades när skanningstätheten minskades från 8 till 2 pulser/m². Att trädtoppar framträder även vid ca 2 pulser/m² framgår även av figuren i faktaruta 9.

Faktaruta 11. Den arealbaserade metodens beroende av skanningstäthet

1) Studie i Våler, Norge, regression mot provytor om 200, respektive 239 m². Utvärderingen har gjorts för två områden bestående av 39 bestånd (omr. A) respektive 38 bestånd (omr. B).

Punkter/m ² :	1,2		0,25		0,13		0,06	
	Bias	std	Bias	std	Bias	std	Bias	std
Virkesförråd m ³ /ha omr A	2,8	30,1	3,0	29,7	3,1	37,3	-6,0	39,1
Virkesförråd m ³ /ha omr B	8,9	27,8	7,2	26,5	12,4	28,2	2,3	38,2

2) Studie på Remningstorp, regression mot hela bestånd (med 10 cirkelprovytor i varje), Genomsnittlig beståndsstorlek 2,9 ha.

Punkter/m ² :	0,3	0,004
	<u>RMSE</u>	<u>RMSE</u>
Virkesförråd m ³ /ha	ca 13 %	ca 20 %

1) Från Gobakken och Naeset I: Proceedings från Silviscan 2007.

2) Från Magnusson, m.fl. 2007. Effects on estimation accuracy of forest variables using different pulse density of laser scanner data. Forest Science 53:619-626.

Johan Holmgren vid SLU validerade i sin avhandling 2003 en metod för att upptäcka och mäta enskilda träd i laserskannerdata som utvecklats vid FOI. I genomsnitt för 12 olika bestånd så fann han att mer än 70 % av träden, representerande mer än 90 % av virkesförrådet, kunde hittas automatiskt. FOI:s metod, som nu vidareutvecklas och marknadsförs kommersiellt av Foran Remote Sensing AB, tillhörde för övrigt de absolut bästa i den världsvida jämförelse av metoder som FGI i Finland gjort på ett och samma dataset.

Med enskilda-träd-metoder kan höjd, position, och kron diameter för de träd som upptäcks i laserdata, mätas med en noggrannhet om ca 0,6 m. Den kanske största vinsten med detta sätt att analysera data är att information om trädslag kan fås från kronformen. För detta är det önskvärt med en skanning som är mycket tätare än 2 pulser/m². En stor fördel är också att mönstret av upptäckta träd kan användas för att passa in fjärranalysdata mot provytor med koordinatsatta träd, eller för att passa in fjärranalysdata från flera olika tidpunkter mot varandra. Analyser av enskilda träd bör också ge god information om storleksfördelningen för de härskande och medhärskande träden, dock, upptäcks inte alla träd. I Holmgrens undersökning upptäcktes 41 % - 96 % av träden, beroende på de undersökta beståndens skogstyp. Dessutom finns det risk för att träd som står nära varandra identifieras som ett träd. Om målet är att skattningarna skall vara väntevärdesriktiga så måste någon typ av

kompensation för dessa effekter göras. Utvecklingsarbete kring detta pågår bl.a. vid SLU, samt i ett gemensamt projekt mellan forskare i Norge, Finland, Sverige och Tyskland. En metod som kombinerar det bästa hos den arealbaserade metoden och enskilda-träd-metoden är sannolikt att föredra på sikt. Det är dock intressant att notera att finländska forskare för närvarande rekommenderar den arealbaserade metoden¹. Det är också värt att notera att enskilda-träd-baserad analys av laserskannerdata är föremål för patent, vars innebörd för marknaden dock inte är helt klar ännu.

Faktaruta 12. Analys av enskilda träd i laserskannerdata

1) Andel upptäckta träd med 10 olika algoritmer för samma testområde i Finland: ca 42 – 92 %
Försämring av andel upptäckta träd när scanningstätheten minskar från 8 till 2 pulser/m²: 0-5 %
Felet i skattning av trädhöjd för olika algoritmer: 0,5-4,5 m RMSE

2) Andel upptäckta träd > 5cm med FOI:s algoritmer,
för 12 olika bestånd på Remningstorp: 41 % - 96 %, beroende på typ av skog.
Genomsnittligt fel för skattning av trädhöjd och kron diameter: 0,6 m RMSE

1) Från internationell algoritmjämförelse gjord av Finlands Geodetiska Institut

2) Från: Persson, Holmgren, Söderman, 2002. Detection and measuring individual trees using an airborne laser scanner. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68:925-932.

Laserskanning från flera tidpunkter för att skatta tillväxt och avgångar, samt kontinuerlig uppdatering

Med tätskannande flygburen laserskanning kan de flesta enskilda trädens position, höjd och kronform mätas. Om ett skogsområde laserskannas vid flera tidpunkter, t.ex. vart 5:e eller 10:e år, skulle även information om tillväxt och avgångar kunna erhållas, åtminstone på beståndsnivå. Studier kring detta har gjorts i bl.a. Finland. Man kan dock inte förutsätta att laserskanningar som gjorts vid vitt skilda tidpunkter har samma mättekniska egenskaper, varför fältdata sannolikt behövs för att kalibrera förändringsskattningarna.

Hur kan laserskanning bli ekonomiskt försvarbar för privatskogsbruket?

Laserskanning med arealmetoden ger mycket bra medelvärden för bestånd eller rasterrutor och måste anses vara en framtidsteknik för det svenska företagsskogsbruket, samt även för privatskogsbruket i Finland och Norge, där skogsbruksplaneringen av olika skäl är mera samordnad mellan närliggande privata fastigheter än i Sverige. För det svenska privatskogsbruket, där skogsbruksplaneringen i regel sker fastighetsvis, så gäller det först och främst att en modell som gör skanningen ekonomisk kan etableras. Hos de större flygfoto-firmorna är startkostnaden för ett skanningsuppdrag ca 50 000 kr. Ska sedan en enskild mindre fastighet skannas med flera stråk, så kommer det att bli mycket onödig flygning i ändarna av varje stråk när planet ska vända och styra in mot nästa stråk. Prevista AS strävar därför numera mot att beställa skanning av så stora områden som 100 000 ha åt gången. Man har då med en täthet om 0,25 pulser /m², samt upphandling på den för närvarande mycket konkurrensutsatta marknaden för skanningstjänster, i vissa fall fått ned kostnaden för laserdata till under 10 kr/ha. Tät skanning om ca 10 pulser /m² kan erhållas för ca 20-30 kr/ha.

¹ Maltamo, M m.fl. Experiences and possibilities of ALS based forest inventory in Finland. I proceedings från Silvilaser 2007, <http://www.isprs.org/publications/archives.html>.

Några tänkbara modeller för att möjliggöra skanning även av privata fastigheter i Sverige skulle kunna vara:

- 1) Samordning antingen genom att ett företag skannar på spekulation och sedan säljer laserskannerdata till flera olika kunder (detta har t.ex. gjorts för hela Danmark), eller genom att de skogliga intressenterna samordnar sig i ett gemensamt bolag.
- 2) En årlig skanning av enbart fastigheter som är aktuella för planläggning i en grupp aktörers regi. Skanningen skulle kunna planläggas på liknande sätt som den objektvisa fotograferingen av hyggen med mellanformatskamera som många skogsbolag beställer. Flygning fram och tillbaka i stråk skulle i stor utsträckning kunna undvikas genom att flyga högt och genom att transportsträckan mellan fastigheterna används för att rikta in planet så att fastigheten täcks från en gynnsam riktning. Som framgår av faktaruta 13, kan stråkbredder på upp till ca 1800 m åstadkommas med den bästa utrustningen, vilket torde kunna täcka in den smalaste dimensionen av flertalet privata fastigheter. Det är även tänkbart att skannervinkeln kan ökas något i synnerhet om information om markhöjden även kan erhållas från Lantmäteriets framtida laserskannade markhöjdmödel. Denna fastighetsvisa modell kommer att bli än mer realistisk när billigare laserskannersystem når marknaden. Ett genombrott för att detta ska ske i närtid kan inte uteslutas.
- 3) Användningen av den nationella skanningen som kommer att göras i Lantmäteriets regi. I detta scenario skulle Riksskogstaxeringens provytor kunna användas som fältreferens för de skogliga skattningarna, vilket också skulle ge en mycket bra nationell skogsdatabas. Ett framtida omdrev skulle dock sannolikt behöva intressentfinansieras, ungefär som punkt 1 ovan.

Bibliografi, laserskanning av skog

Två proceedingsvolymmer med många artiklar om laserskanning av skog är lätt tillgängliga på följande hemsida: <http://www.isprs.org/publications/archives.html>. Dessa är:

[Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment](#), 3-6 October, 2004, Freiburg, Tyskland, I denna rapport kallad NATSCAN konferensen.

Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, 12-14 september, Espoo, Finland. I denna rapport kallad Silvilaser 2007.

Mycket material av intresse finns också i Johan Holmgrens doktorsavhandling från SLU, år 2003: Estimation of forest variables using airborne laser scanning. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 278.

Faktaruta 13. Flygparametrar för den arealbaserade metoden.

Värdena nedan används av Prevista AS vid beställning av laserflygning för att få data för skattningar med den arealbaserade metoden.

- Punkttäthet: minst 0,7 laserskott /m² över hela området
(I projekt där lägre noggrannhet kan accepteras används nu 0,25 pulser/m²).
- Flyghöjd: 1100 m – 2000 m över marken.
- Skannervinkel: +/- 17 grader, data från den sista graden i varje kant används inte.
- Sidoöverlapp: I genomsnitt 20 % och aldrig mindre än 5 %.
- Tvärstripor: I början och slutet av det scannade området.

Blom AS opererar nu laserskannrar som kan skanna från upp till 3500 m höjd, med +/- 15 graders öppningsvinkel, så erhålls följande stråkbredder:

<u>Flyghöjd</u>	<u>Stråkbredd</u>
1100 m	590 m
2000 m	1075 m
3500 m	1880 m

Automatiserad beståndsavgränsning

Genom att använda digitala flygbilder är det möjligt att introducera metoder för automatisk tolkning och mätning. Hittills har kommersiella datorprogram främst utvecklats för segmentering, d.v.s. automatisk indelning i homogena, beståndslika, områden. Det finns idag företag som använder segmenteringsprogram för automatisk beståndsavgränsning vid kommersiell skogsbruksplanläggning. Ett exempel på en programvara som används operationellt för automatisk beståndsavgränsning är eCognition (<http://www.definiens.com/>). Programmet har en mängd olika funktioner och inställningsmöjligheter och ställer därför stora krav på operatören. Även enklare segmenteringsprogram som t.ex. Dianthus Raster - Segmentering (<http://www.dianthus.nu/>) kan användas för automatisk beståndsindelning men även det programmet ställer relativt stora krav på operatören.

Ett examensarbete² vid SLU har utvärderat möjligheten att använda Dianthus Raster – Segmentering för automatisk beståndsindelning utifrån digitala IRF-bilder med 1 m upplösning. Bilderna fotograferades med en analog mätkamera (Wild RC30) från ca 4600 m höjd (skala 1:30 000) och skannades därefter av Lantmäteriet. Dianthus segmenteringsprogram är i grunden lätt att använda men det finns ett antal olika inställningsmöjligheter som gör det svårt att hitta den inställning som ger bäst segmenteringsresultat. Det visade sig dock att standardinställningarna (default-inställningarna) gav bra resultat, d.v.s. de gav bestånd med lägre inombeståndsvariation för trädhöjd och grundyta för tall, gran och löv än både segmenteringar med olika parameterinställningar och beståndsavfattning i flygbilder. Det bör dock noteras att samtliga segmenteringar i detta försök i medeltal gav mindre bestånd än flygbildstolkningen.

I ett annat examensarbete³ har automatisk beståndsavgränsning genom segmentering av satellitbilder och *k*NN-data jämförts med beståndsindelning i flygbilder. Studien genomfördes i Västerbotten och den visar att det inte är någon större skillnad mellan de olika indelningsmetoderna. En tendens var dock att automatisk segmenteringen utifrån variabler som skattats utifrån satellitbilder (*k*NN-data) i medeltal ger något bättre gränser med avseende på grundyta, medeldiameter och medelhöjd än både automatisk segmentering utifrån satellitbildens spektralvärden och manuell beståndsindelning i flygbilder. En tidigare studie vid SLU⁴ har jämfört manuell beståndsindelning i flygbilder, inklusive en efterföljande fältkontroll, med automatisk t-kvotsegmentering av satellitbilder. Resultaten visar att metoderna ger jämförbara resultat vad gäller grundyta och volym, men att flygbildsmetoden är bättre avseende trädslagsblandning och diameter.

Att satellitbilder ger förhållandevis goda resultat kan beror på att skillnaderna i betraktningvinkel liksom skillnaderna i belysningsförhållanden är förhållandevis små inom en satellitbild, där dessutom varje pixel får information från den skuggade och

² Johansson, S. 2007. Utvärdering av digital flygbildstolkning & automatisk beståndsindelning för det praktiska skogsbruket

³ Lövdahl, H. 2005. Automatisk beståndsavgränsning i satellitbilder - En jämförelse av gränser från två segmenteringsmetoder och Grön Plan.

⁴ Hagner, O. 1990. Computer Aided Forest Stand Delineation and Inventory Based on Satellite Remote Sensing. In: R. Sylvander (Editor), SNS/IUFRO workshop. The Usability of Remote Sensing for Forest Inventory and Planning, Umeå, pp. 94-105.

solbelysta delen av fler träd och den mark som är synlig mellan dessa. I en flygbild "lutar" träden ut från bildcentrum och i den ena delen av bilden betraktas träden i motljus och i den andra i medljus. En segmentering som inte tar hänsyn till flygbildens geometri kan vara en för enkel ansats för att erhålla en jämn kvalitet i olika delar av flygbilden och under alla omständigheter så måste utfallet i olika delar av bilden testas innan metoden kan rekommenderas. En alternativ ansats kan vara att bygga segmenteringen från enskilda träd som har identifierats i flygbilden.

Fjärranalysmetoder som beräknas tillgängliga på några års sikt

Automatiserad bearbetning av digitala flygbilder

Upptäckt av enskilda träd i digitala bilder

Det finns ett flertal bildanalysmetoder för att automatiskt identifiera enskilda träd i digitala enkelbilder. Exempel på principer är att försöka hitta trädens kant⁵, eller den ljusa delen i de den solbelysta delen i trädkronans centrum. Vid SLU har vi implementerat en kanadensisk metod som bygger på att mallar med syntetiskt genererade trädkronor vars betraktningvinkel styrs av läget i bilden, korreleras med potentiella träd i bilddata. I regel kan ca 2/3 av träden upptäckas med automatisk analys av enkelbilder (faktaruta 14), andelen upptäckta träd beror dock på skogstypen. För att enskilda trädkronor ska kunna upptäckas så behövs en pixelstorlek om ca 0,5 m eller mindre. Det är därmed även möjligt att upptäcka enskilda träd med såväl Z/I DMC bilder från standardhöjden 4800 m, som med de mest högupplösande satellitbilderna.

Trädslagsbestämning i digitala bilder

För den andel av träden som upptäckts med digital bildanalys kan trädkronornas färg i den digitala bilden användas för att automatiskt bestämma trädslag. En nackdel är att färginformationen i många fjärranalyssensorer kommer från betydligt större pixlar än den pankromatiska information som ger bildens upplösning. I fallet Z/I DMC med 4800 m flyghöjd, så är t.ex. de pankromatiska pixlarna ca 0,5 m, men färgpixlarna i realiteten ca 2*2 m (fast det inte syns i den ihopslagna färdiga bilden). Trots detta så har det visat sig att mer än 85 % av de upptäckta träden kan klassas rätt med avseende på tall/gran/löv med Z/I DMC data från normala flyghöjder. Resultaten härrör från enstaka pilotstudier och behöver verifieras för olika läge i bilden, olika årstider och olika skogstyper.

En trädslagsbestämning av ovanstående typ ger ett punktmönster med attributet trädslag (och eventuellt även kronstorlek), för varje upptäckt träd. Även om inte alla träd upptäckts och en del träd är felklassade, så torde punktmönstret i sig vara stark information som indata till en segmentering av beståndsgränser, detta återstår dock att prova.

⁵ T.ex. algoritmen ITC, utvecklad av Francois Gougeon, Canadian Forest Service

Faktaruta 14. Upptäckt av enskilda träd i digitala bilder¹

Andelen upptäckta träd med tre olika metoder, på Remningstorp. Digitala Hasselbladsbilder med ca 15 cm pixelstorlek registrerade i blått, grönt och rött ljus har använts och endast de centrala delarna av bilderna har analyserats.

I analyserna ingick 5 provtytor från olika skogstyper med totalt 202 träd, varav 164 var möjliga att se i bilderna.

Metod	Andel av alla träd upptäckta	falska träffar
”Template”	67 %	10 %
”Fuzzy”	65 %	14 %
”Brownian”	77 %	4 %

1) Från uppsats av Erikson och Olofsson i Mats Eriksons avhandling vid Centrum för Bildanalys: Segmentation and classification of individual tree crowns. Acta universitatis Agriculturae Suecia, Silvestria 320.

När även färgen mäts för mindre pixlar (med lägre flyghöjder, eller med sensorer av push-broom typ) så kan vi förvänta ett ännu bättre resultat baserat på kronans färg. När pixelstorleken blir ca 1 dm eller bättre framträder dessutom trädens grenmönster, vilket ger ytterligare information för att via bildanalys av trädkronornas mönster särskilja trädslag⁶.

Ännu mer information om trädslag erhålls om digitala bilddata och laserskannerdata sambearbetas. Detta är dock inte trivialt, eftersom hänsyn måst tas till den parallaxförskjutning som trädkronorna på grund av sin höjd får i den digitala bilden.

3D-matchning av krontak i digitala bilder

Genom automatisk matchning av digitala flygbilder där samma objekt registrerats med flera olika tittvinklar kan en 3-D modell av krontaketets höjd beräknas. Denna teknik har bl.a. testats av forskare i Schweiz och Österrike. Resultaten där visar att om bilder med ca 50 cm pixelstorlek från 5 olika tittvinklar längs flygstråket sambearbetas, så kan en höjdmodell skapas som beskriver krontaket med nästan lika god noggrannhet som laserskannerdata.

I Sverige har C3 Technologies (www.c3technologies.com) som är ett dotterföretag till Saab AB, ett system med fyra kameror som kan göra en motsvarande typ av 3D-modeller i realtid. Arealäckningen per tidsenhet uppges att vara ca 10 ggr så stor med detta system som vid laserskanning.

⁶ En av de första att visa detta var Tomas Brandtberg i sin doktorsavhandling, se bibliografin nedan.

Faktaruta 15. Resultat från trädslagsbestämning i digitala bilder och/eller laserdata

1) Andel av träd (256 st 2003 och 170 st 2005) på Remningstorp hittade med mallanpassning i DMC data som klassats rätt med avseende på tall/gran/löv :

- 3000 m flyghöjd, 13 oktober 2003: 89 %
- 4800 m flyghöjd, 25 juni 2005: 88%

2) Andel av 1721 träd i 14 bestånd på Remningstorp hittade med laserskannerdata som klassats rätt med avseende på tall/gran/löv²:

- 1200 m flyghöjd, 13 oktober 2003: 91 %
- 1200 m flyghöjd 13 oktober 2003 + laserdata: 95 %
- 1200 m flyghöjd, 25 juni 2005: 83 %
- 1200 m flyghöjd, 25 juni 2005 + laserdata: 93 %
- enbart kronform från laserdata 87 %

3) Andel av 295 träd nära Helsingfors som klassats rätt med avseende på barr/löv, baserat på skillnaden mellan första och sista laserretur i data efter lövfällning: 90%

4) Andel av träd av ca 20 st per trädslag nära Graz i Österrike som klassats rätt med hjälp av den spektrala informationen i den solbelysta delen av trädkronan i Ultracam digitala bilder med 20-30 cm pixelstorlek:

- April bilder, gran / lärk tall / ung gran: 94%
- Maj bilder, gran / lärk tall / ung gran/ ek/ bok: 92%
- Juli bilder, gran / lärk tall / ung gran/ ek/ bok: 88%
- September bilder, gran / lärk tall / ung gran/ ek/ bok: 87%

1) Från Bohlin m.fl. I: Proceedings från Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14-15th February 2006, Vienna.

2) Från Persson m.fl. I: Proceedings från Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14-15th February 2006, Vienna.

3) Från Liang m.fl. I: Proceedings från Silvilaser 2007.

4) Från Hirschmugl, M., 2008, Assessment of forest parameters from VHR data in Austrian and Scandinavian forests. Manuskript till doktorsavhandling vid Joanneum Research, Graz.

Ett frågetecken är om tekniken också kan användas för att ta fram en detaljerad markhöjdmodell i skog som kan användas tillsammans med krontakets höjd för att uppskatta trädhöjder med tillräcklig precision. Det är troligt att tekniken blir verkligt användbar för automatiserade skattningar av skog först när det finns en lasermätt markhöjdmodell att jämföra krontakets höjd mot.

Faktaruta 16. Matchning av krontak med digitala bilder från flera tittvinklar

Digital kamera: UltracamD

Pixelstorlek: 15 cm (flyghöjd 1800m)

Utvärderingsdata: 356 träd nära Graz i Österrike som höjdmätts i fält.

	<u>Steromatchning</u>	<u>Matchning</u>	<u>Laserdata</u>
	med 2 digitala bilder	med 5 digitala bilder	
Bias:	1,34 m	0,77 m	-0,62 m
Standardavvikelse:	4,52 m	2,39 m	2,00 m

Från: Ofner, M., Hirschmugl, M., Raggam, H., och Schardt, M. 2006. 3D Stereo mapping by means of Ultracam data. I: Proceedings från Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14-15 th February 2006, Vienna.

Satellitdata: Ikonos, Pixelstorlek 1 m, stereopar med bas/höjd förhållande 0,8.

Laserdata: 3 pulser / m²

Utvärderingsdata: 43 fältmätta ytor om 20*20 m i Qubec, Canada

	<u>Steromatchning</u>	<u>Laserdata</u>
	med IKONOS	
Bias:	-2,58 m	-1,84 m
RMSE:	3,10 m	2,77 m

Från: St-Onge, B., Hu, Y., och Véga, C. I: Proceedings från Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14-15 th February 2006, Vienna.

Bibliografi, automatiserad bearbetning av digitala bilder

Proceedings from Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, 14-15th February 2006, Vienna. Som nås från: <http://www.rali.boku.ac.at/3drsforestry.html>, finns ett antal studier med relevans för ovanstående avsnitt. Ett urval av dessa kommer också våren 2008 ut som ett specialnummer av International Journal of Remote Sensing.

Exempel är: Gruen, A., Zhang Li. Automated generation of 3D structure of forest canopy. Artikeln ger skogliga exempel på hur ett programsystem för matchning av digitala bilder från många tittvinklar som utvecklats vid ETH i Zurich använts för att beräkna en 3D modell av vegetationens höjd.

Ett pionjärbete då det gäller automatisk bearbetning av mycket högupplösande digitala bilder är Tomas Brandtbergs doktorsavhandling vid Centrum för Bildanalys, SLU, 1999: Automatic individual tree-based analysis of high spatial resolution remotely sensed data. Acta universitatis Agriculturae Suecia 118.

Digitala bilder från obemannade flygplan (UAV)

En stark militär marknad för obemannade flygplan

Den militära marknaden för obemannade flygfarkoster omsätter mer än 20 miljarder kronor per år och växer årligen med ca 12 %. De mesta av dessa investeringar görs av USA, dock så har det även i Europa utvecklats ca 140 olika obemannade flygplan med en vikt under 150 kg. Främst rör det sig om plan vars flygrutt kan programmeras och som används för spaning men även de vapenbärande systemen ökar. Farkosterna brukar benämnas UAV (Unmanned Aerial Vehicle) och finns i storlekar från passagerarflygplan med en vikt över 12 ton, ned till en insekts storlek med en vikt under 10 g. För att betona att det rör sig om system och inte bara ett plan, så har man även börjat använda beteckningen UAS (Unmanned Aerial System), en namnändring som t.ex. Luftfartstyrelsen i Sverige anammade. En klass av UAV:er som är av särskilt intresse för skogsbruket är små lätta (ett par kg) elmotordrivna plan med autopilot och digital stillbildskamera eller video. I militära sammanhang brukar dessa system ibland gå under beteckningen MAV (Micro Aerial Vehicle). De är då ofta avsedda att bäras av en person i en ryggsäck, kunna startas genom att de kastas upp i luften, samt användas för "over the hill reconnaissance", dvs spaning i ett närområde om några kilometer. Sådana system har ansetts viktiga för de flesta av de arméer som de senaste åren opererat på platser som t.ex. Afghanistan eller Irak, vilket har lett till en snabb utveckling inom området. Exempel på MAV system återfinns i faktaruta 17.

Faktaruta 17. Exempel på militära UAV system av MAV typ, med prestanda som gör dem intressanta för skogsbruket. Samtliga är elmotordrivna med programmerbar autopilot (tillverkarna har ofta flera system i olika storlekar, men endast ett exempel per tillverkare är med nedan)

System	Tillverkare	Vikt	Ving- bredd	Flygtid	Sensor	www-sida
Swift	AeroVironment, USA	2,7 kg	1,14 m	>60 min	2 kameror	www.avinc.com
Aladin ¹	EMT, Tyskland	3,0 kg	1,5 m	30 min	2 kameror m länk	www.emt-penzberg.de
Mosquito	IAI, Israel	0,5 kg	0,34 m	60 min	Video med länk	www.malat-iai.com
Skylark I ²	Elbit Systems, Israel	5,5 kg	2,4 m	120 min	optisk eller IR	www.elbitsystems.com

Från: <http://www.shephard.co.uk/UVonline/UVSpecs.aspx>

¹) Köpt av Norges försvar

²) Skylark I införskaffades 2007 av Sveriges försvar för Nordic Battle Group, och kallas då SUAV02 Falken; en Mikro UAV ska väga max 5 kg, samt typiskt opereras inom 10 km avstånd under max en timma och på ca 250 m flyghöjd, enligt denna definition så tillhör egentligen Skylark I nästa kategori, över 5 kg, som kallas mini UAV, men den tas med här, eftersom den har svenskt intresse.

De militära systemen är dock dyra och inte helt anpassade för civila tillämpningar, de har t.ex. ofta fokus på nedlänkning av realtidsvideo, snarare än t.ex. smidig mosaikning av nedtagna bilder till geokodade ortofoton, vilket behövs i skogsbruket. De militära företagen är heller inte vana att marknadsföra sig på små begynnande civila nischmarknader. Den största inverkan för skogsbruket av den snabba militära utvecklingen på UAV/MAV området kan därför förmodas bli att systemkomponenter utvecklas, samt att ingenjörskunnandet som krävs för att utveckla UAV-system sprids i samhället genom bl.a. avknopningsföretag.

Två billiga civila system för jord och skogsbruk

Redan idag kan alla komponenter som behövs för att bygga små autopilotstyrda och programmerbara UAV-system köpas på den öppna marknaden. Dock kan det vara omständligt att få importtillstånd för små autopilotsystem, särskilt om de är tillverkade i Nordamerika. Detta gäller t.ex. det mest använda autopilotsystemet, det kanadensiska MicroPilot, för vilket slutanvändarna (och inte systemtillverkarna) numera måste godkännas av de kanadensiska myndigheterna.

Två företag som bygger billiga MAV-liknande system för civila tillämpningar inom jord och skogsbruk är CropCam i Kanada samt Smartplanes i Sverige. CropCam har startats av tillverkarna av MicroPilot, i syfte att skapa en massmarknad för små civila UAV-system inom i första hand jordbruket. Ett färdigt programmerbart CropCam-plan med möjlighet att montera en 10 megapixels Pentax kompaktkamera kan köpas för endast 7000 USD och man har hittills exporterat systemet till 18 länder. Bland annat så har det testats för skogliga ändamål i Finland. CropCam torde idag vara marknadsledande då det gäller billiga programmerbara system för civilt professionellt bruk. Systemet är dock ännu inte helt idealt för skogliga ändamål. Det är i största laget för att kunna hanteras lätt och kunna landa i skogsterräng och det kräver en relativt hög flyghöjd för att bilderna ska överlappa. Dessutom finns ännu inte full support för geokodning av bilderna till kartriktiga mosaiker.

Smartplanes är ett avknopningsföretag från SLU:s fjärranalysgrupp i Umeå. Konceptet liknar CropCams. Till skillnad från CropCam, som använder en färdig flygplanskonstruktion från modellflygsmarknaden, har Smartplanes ett egenkonstruerat plan, i form av en mycket lätt ”flygande vinge”. I likhet med CropCam använder även Smartplanes små kompakta digitalkameror från konsument-marknaden. Med en 10 megapixels kamera och höjd och brännvidd som ger 5 cm pixlar så täcker varje bild ett drygt 2 ha stort område.

Smartplanes erbjuder idag flygfototjänster och har sålt prototypsystem till samarbetspartners, bl.a. Skogsstyrelsen. Man arbetar på att utveckla planet till en kommersiell produkt. Man har till nyligen använt autopilotsystemet MicroPilot, men frångår nu detta till förmån för ett annat, delvis egenutvecklat, system för att inte vara beroende av Kanadensiska exporttillstånd. Tillsammans med Finska samarbetspartners har man även utvecklat ett program för att göra orotofotomosaiker av de 100-tals bilder som varje flygning genererar. Denna typ av programvara torde vara en förutsättning för att UAV-systemen ska bli verkligt användbara för skogsbruket. Man arbetar också vidare med en programvara för att kunna beräkna höjden för marken (eller i skogens krontak), genom matchning av flera bilder från olika tittvinklar. Dessa programvaror kommer eventuellt även att kunna användas för bilder från andra UAV-system. Dessutom kommer enklare fotomosaiker att kunna göras på en lap-top direkt i fält.

En framväxande civil UAV marknad, exemplet Japan

Det kan antas att CropCam och Smartplanes exemplifierar början på en snart mycket expansiv civil UAV-marknad. Tills helt nyligen, har det dock endast funnits en vital civil UAV-marknad i världen. Inom det Japanska jordbruket har programmerbara helikoptrar med förbränningsmotor och en vikt upp till 100 kg, använts för besprutning av risfält, och senare när marknaden etablerats även för viss jordbearbetning i risfälten och även för t.ex. spridning av frö i skogsbruket. Ca 10% av risfälten besprutas idag med obemannade helikoptrar och marknaden för dessa omsätter ca 100 milj USD per år. Det ledande

systemet är RMAX från Yamaha, men det finns ytterligare ett antal inhemska konkurrenter.

Framväxten av en civil UAV-marknad i Japan kan vara värd att begrunda som ett exempel, då det gäller att skapa förutsättningar för utvecklingen av skogliga tillämpningar i Sverige. Det fanns redan en omfattande användning av helikoptrar i det Japanska jordbruket och från de organisationer som arbetade med detta föddes tankarna på att en del av arbetet borde kunna automatiseras. Detta ledde till ett statligt finansierat utvecklingsprogram som startade 1980. Det första prototypsystemet var klart 1987 och från början av 1990 talet började en kommersiell marknad att växa fram. Till framgången bidrog att luftfartsbestämmelserna för användning av UAV för den specifika tillämpningen inom det japanska jordbruket fick en smidig lösning. Det nuvarande framgångsrika RMAX-systemet kom 1998. RMAX har även används i forskningssammanhang i hela världen, bl.a. har den använts i WITAS-projektet (<http://www.ida.liu.se/ext/witas/general.html>) vid Linköpings Tekniska Högskola. Många företag i västvärlden har också utvecklat autonoma helikoptrar för en kombinerad militär och civil marknad. Ett svenskt exempel är APID 55 från CybAero i Linköping.

Luftfartsbestämmelserna, en nyckelfaktor för den civila UAV-marknaden

En av orsakerna till att ingen omfattande civil UAV-marknad har uppstått utanför Japan har varit restriktiva luftfartsbestämmelser. I Sverige kräver all yrkesmässig användning av UAV:er tillstånd av luftfartsstyrelsen, (se <http://www.luftfartsstyrelsen.se/> under fliken Luftfartyg och därefter UAS, där framgår även vilka svenska företag som idag har sådant tillstånd). Från att bestämmelserna tills nyligen har tillämpats restriktivt, så håller de nu på att lättas. Än så länge, ges i Sverige specifika tillstånd för varje enskild operatör. Den främsta restriktionen är att systemen än så länge inte får opereras utom synhåll och utan uppsikt. Om väl detta är uppfyllt, så torde det för tillämpningar i svensk skogsmark, långt från bebyggelse, gå att få tillstånd för att använda UAV-system som väger högst 150 kg och flygs på högst 400 m höjd. Ofta kan kring 40 ha omgivande skog täckas från en öppen plats t.ex. ett hygge. I framtiden kan ett förenklat ansökningsförfarande komma att införas för små lätta system som bedöms som ofarliga för flyg och människor, t.ex. sådana som väger under 3 kg.

Faktaruta 18. Exempel på civila UAV-system

Små elmotordrivna fastvingsystem med programmerbar autopilot och kompakt digitalkamera

System	Tillverkare	Vikt	Vingbredd	Flygtid	www-sida	Kommentar
CropCam	CropCam, Kanada	2,7 kg	2,4 m	55 min	www.cropcam.com	färdig produkt
SmartOne	Smartplanes, Sverige	1,0 kg	1,2 m	60 min	www.smartplanes.se	prototyp

Helikoptrar med förbränningsmotor, programmerbar autopilot och flera valbara sensorsystem

System	Tillverkare	Vikt	Flygtid	www-sida	Kommentar
RMAX	Yamaha, Japan	93 kg	90 min	www.yamaha-motor.co.jp/global	mest använda civila systemet >86000 USD
Copter 4	Survey Copter, Frankrike	15+10 kg*	60 min	www.survey-copter.com	
Apid55	CybAero, Sverige	93+50 kg*		www.cybaero.se	än så länge högt pris

*) Nyttolast

Visionen om dagsaktuella bilder av bestånd och fastigheter

UAV-tekniken medger i princip att en skogstjänsteman vid besök på en fastighet har med sig ett plan som väger något kg, och enkelt ryms i bilen. Han anger vilket område som ska fotograferas genom att t.ex. att på sin PC avgränsa området mot bakgrund av ett digitalt ortofoto, varefter informationen förs över till planets autopilot. Från en öppen plats kastas planet upp i luften och utför sedan automatiskt flygfotouppdraget, efter 15 minuter och efter att ha fotograferat 40 ha, så landar planet i närheten av utgångspunkten (kraschlandning i buskar går bra bara planet inte riskerar fastna i trädkronorna). Bilderna tankas över från planets kamera till den bärbara datorn och sätts direkt i fält ihop till en tillfällig ortofotomosaik. Denna dagsfärska bild kan användas vid skogsbruksplanläggning och avverkningsplanering. Kanske än viktigare användningsområden är inventering av stormfällda träd, insektsskador, och röjningsbehov. En fotografering av detta slag som görs med några års mellanrum skulle också vara ett utmärkt underlag för diskussioner med markägaren.

Den teknik som behövs för ovanstående vision finns redan. Det som behövs är att prototyperna ska få förutsättningar att mogna till färdiga produkter. För att detta ska ske på ett sätt så att skogligt anpassade produkter utvecklas, kan en aktiv medverkan från skogsbruket komma att behövas.

I en förlängning, kan ytterligare sensorer ge ännu mera information. Ett exempel är avståndsmätande lasersystem, som skulle kunna ge information om beståndens höjd och täthet. Redan idag så finns profilerande lasersystem som är så små att de bör kunna bäras av handkastade UAV:er tillsammans med en digitalkamera.

Bibliografi, digitala bilder från obemannade flygplan

Tidskriften Unmanned Vehicles, The Shepard Press Ltd, handlar till största delen om UAV system, främst militära. Även på tidskriftens hemsida: www.uvonline.com finns mycket information, i synnerhet så finns tekniska data för ett stort antal UAV system på: <http://www.shephard.co.uk/UVonline/UVSpecs.aspx>.

Den mest omfattande hemsidan för UAV system är: www.uvs-info.com, lösenord erhålls efter förfrågan, även på denna sida finns omfattande listningar av olika UAV system, med illustrativa foton, se: http://www.uvs-info.com/Yearbook2007/164_REF_All-UAS.pdf och http://www.uvs-info.com/Yearbook2007/189_REF_Civil-UAS.pdf

Radardata

Det finns ett flertal radarfjärranalystekniker som är av potentiellt intresse för skogsbruket. Grånivån i bilder registrerade med ett radarsystem ombord på satelliter eller flygplan speglar bl.a. virkesförrådet i respektive pixel. Denna effekt är för många vanliga radarsystem (C och L band) marginell, men mycket mer påtaglig ju längre radarvågor som instrumentet sänder ut. Det yttersta exemplet på detta är det svenska CARABAS-II systemet, som är en prototyp till en ny typ av radarsystem utvecklat av FOI. De genomsnittliga grånivåerna i CARABAS bilder korrelerar mycket väl mot höga virkesförråd. Om CARABAS bilderna kombineras med satellitdata kan ännu bättre virkesförrådsskattningar erhållas (faktaruta 19). I princip kan detta göras för hela landsdelar till en begränsad kostnad. Eftersom stormfällningar blir ljusare i radarbilder och endast kan förväxlas med ett ökat virkesförråd och inte med t.ex. gallring eller kalavverkning, så skulle en regelbunden kartering med radarbilder också vara en bra bakre referens vid stormfällningar. Försök har dock visat att felkällorna är många vid stormskadekartering i bilder från endast en tidpunkt.

En annan radarteknik av intresse är interferometri, som innebär att radarsensorer som opereras från parallella banspår kan användas för att bygga upp en höjdmodell av mark eller krontak. Bl.a. har försäkringsbolag betalat en höjdmodell för hela Storbritannien som gjorts med flygburen interferometrisk radar. Dessa data har även provats för skoglig kartering av trädhöjd. Resultaten var användbara, men sämre än laserskannerdata. Det planeras även ett par radarsatelliter som TerraSAR-X, som kommer att kunna ge interferometriska data, användbarheten av denna typ av data för skogsbruk återstår att utvärdera, men kan potentiellt bli stor om det finns en laserskannad markhöjdsmodell att jämföra krontaksmätningarna mot.

Faktaruta 19. Jämförelse av beståndsvisa skattningar av virkesförråd för ca 70 bestånd på Remningstorp

	RMSE för virkesförråd på beståndsnivå
Laserskannerdata	12 %
CARABAS II radardata + SPOT satellitdata	16 %
CARABAS II radardata	19 %
Flygbildstolkning i fotogrammetrisk instrument	18 – 24 %
Satellitbildsdata från Landsat eller SPOT	23 – 31 %

Från flera studier av J. Fransson och M. Magnusson, SLU, publicerade i M. Magnussons avhandling (Magnusson, M. 2006. Evaluation of Remote Sensing Techniques for Estimation of Forest Variables at Stand Level. Doctoral Thesis No. 2006:85, SLU Faculty of Forest Sciences).

Kompletterande fältdatainsamling

Vissa fältdata måste samlas in via traditionell fältinventering. Exempelvis krävs fältdata från koordinatsatta provytor för att ta fram de regressionsmodeller som används för att med hjälp av laserskannerdata skatta variabler som virkesförråd och trädhöjd. För att koppla ihop laserdata och fältuppgifter är det viktigt att provytorna koordinatsätts i fält med en mycket noggrann GPS. Skall uppgifter om enskilda träd tas fram utifrån laserdata behöver även träden på provytan koordinatsättas.

Ett sätt att minska kostnaden för fältdatainsamling är att använda uppgifter från äldre provytor inom det avbildade området. Väl inmätta provytor bör kunna framskrivnas och återanvändas under åtminstone 5-10 år. För att ytorna skall gå att återanvända är det dock viktigt att de inte påverkas av någon avverkning eller skada som förändrar trädskiktets utseende. För större fastigheter kan det vara intressant att genomföra en objektiv fastighetstaxering (t.ex. enligt indelningspaketets metod) dels för att få en bra totalskattning av virkestillgångarna på fastigheten och dels för att få ett bra fältmaterial för kalibreringen av laserdata. Det bör också vara av intresse för skogsägarföreningar att etablera gemensamma databaser med provytor som används av många fastigheter.

Vid tolkning i digital fotogrammetriska arbetsstationer är det viktigt att operatören har lokalkännedom. Normalt görs därför ett fältbesök innan tolkningen påbörjas. Ett alternativ är att lägesbestämda fältdata finns tillgängliga så att tolkaren kan "kalibrera" sig till de förhållanden som råder i området. Det är även viktigt att tolkaren får återkoppling av sina bedömningar via jämförelser med fältdata.

Både laserskanning och digital fotogrammetri kan användas för att skatta olika beståndsvariabler, men det finns ändå variabler (t.ex. bonitet, ålder) som inte kan skattas med hjälp av dessa metoder. En skogsbruksplan innehåller dessutom åtgärdsförslag som kräver en bedömning i fält. De gröna skogsbruksplanerna inbegriper dessutom en målklassning av varje bestånd utifrån markägarens intressen, beståndets förutsättningar, fastighetens karaktär och det omgivande landskapet, vilket också kräver att bestånden besöks i fält.

Kvalitetssäkring

Kvalitetssäkringen av skogsbruksplaner har hittills främst handlat om att kontinuerligt utbildna planläggare samt att genomföra olika kalibreringsövningar för att få en så god samstämmighet som möjligt i de bedömningar som görs i fält. Mer formella kontroller i form av stickprovsinventeringar är mindre vanliga. Genom att använda automatiska fjärranalysmetoder som kalibreras med objektiva fältdata fås enhetliga och objektiva skattningar över stora områden vilket avsevärt underlättar kvalitetssäkringen.

Genom att använda objektiva stickprovsmetoder är det möjligt att göra noggranna kvalitetskontroller. Ett problem är dock att sådana metoder ofta är alltför kostsamma för en mindre markägare. Exempelvis kostar en traditionell beståndsvis stickprovsinventering som indelningspaketet i storleksordningen 2000-3000 kr per bestånd (kostnadsbedömningen baseras på att 20-50 bestånd inventeras). Enligt Skogsstatistisk årsbok är skogsmarksarealen för en fastighet i Sverige i medeltal runt 25 ha, vilket betyder att det inte är rimligt att genomföra en sådan stickprovsinventering för varje enskild fastighet. Ett alternativ är istället att genomföra kontrollinventeringen för ett större område som består av flera fastigheter, vilket kräver samordning.

En vision för framtiden

I en framtida vision så är position, trädslag och höjd känd för de härskande och medhärskande träden och en skattning finns för övriga träd inom rutor om t.ex. 20*20 m. Detta har åstadkommit genom analys av data från laserskanning (>5 pulser/m²) och digitalkamera med dm upplösning. Med stöd av denna information har en indelning i bestånd och behandlingsenheter (avdelningar) gjorts på halvautomatisk väg, denna indelning kan också enkelt ändras, varvid värden för de nya bestånden beräknas automatiskt.

Databasen lagras i en central server och respektive fastighetsägare kan enkelt nå uppgifterna för sin fastighet över Internet. Uppgifter om nutida och prognostiserade tillstånd presenteras i tabeller, kartor med valfri upplösning. Normalt presenteras uppgifterna för avdelningar, men det är även möjligt att redovisa uppgifter för rasterrutor eller enskilda träd. Dessutom är det möjligt att göra 3D-visualiseringar av nutida och framskrivna skogstillstånd.

Skattningarna i databasen skrivs årligen fram och justeras i förhållande till respektive informationskällas värde så snart som nya sensordata finns tillgängliga. Då tidigare skattningar jämförs med nya sensordata (bl.a. genom korrelation på trädnivå) fås också information om områden med olika typer av förändringar (avgångar), vilka då flaggas för fältkontroll. Nya sensordata ger också uppgifter om beståndens höjdtillväxt.

För att träna skattningarna så behövs fältmätta provytor med koordinatsatta och diametermätta träd. De självverksamma skogsägarna gör själva en hel del av dessa inventeringar med hjälp av utrustning som kan lånas från skogsägarföreningen (dataklave, handdator med GPS, samt en ställning med 3 st. ultraljudsavståndsmätare för positionsbestämningen av träden på ytan). Handdatorn föreslår hur många ytor som ska inventeras och var de skall läggas ut. De insamlade provytorna med koordinatsatta träd lagras i en gemensam databas som används av alla skogsägare inom några mils avstånd. Därför får markägaren också ersättning för sitt inventeringsarbete från skogsägarföreningen. Markägaren eller planeraren gör också en snabb subjektiv beskrivning av varje bestånd för att ange ungefärlig trädslagsfördelning, ståndortsindex, mm. Ytterligare information för att träna fjärranalyskattningarna erhålls från skördarna, som numera koordinatsätter varje avverkat träd med meterprecision och skickar data till den gemensamma databasen för jämförelse mellan skattningar och utfall av virke, samt givetvis för ajourhållning av det avverkade beståndet. Om bra data behövs för t.ex. slutavverkningsbestånd eller för planläggning av mindre fastigheter, så använder skogstjänstemannen en UAV med autopilot, som 10 minuter efter landning levererar ett ortofoto och en 3D-modell av krontaket.

Visionen ovan bygger på teknik som i princip är tillgänglig idag, men om den skulle förverkligas i operationell drift skulle det givetvis krävas några års utvecklingsarbete till färdiga produkter. Flygbildskameror med dm-upplösning och laserskannrar som gör många mätningar per m² finns redan och kommer att bli ännu vanligare om några år. Förutom det tekniska utvecklingsarbetet och frågan om investeringen i förbättrad information om skogen lönar sig, så är det främst organisatoriska frågor som behöver lösas, dels samhällets politik på landskapsinformationsområdet, dels samordningen mellan olika fastighetsägare.

Tack

De beskrivningar och framtidsvisioner angående nyttjandet av olika typer av fjärranalysdata vid skogsbruksplanläggning i privatskogsbruket som presenteras i rapporten baseras på resultat från olika forskningsstudier och kontakter med ett flertal personer. Vi vill därför passa på och tacka Björn Nilsson, inst. för skoglig resurshushållning, SLU, för givande diskussioner och synpunkter, framför allt, på de delar som berör flygbilder och digital fotogrammetri. Vi vill också tacka Agneta Engberg och Kristina Kallur-Jäderkvist, Lantmäteriet, för information om Lantmäteriets digitala bildprodukter. Dessutom vill vi tacka Laurids Rolighed Larsen, Scankort A/S, Ulf Noren, L&L Flygbildteknik, Ola Lindgren, OL Skogsinventering, Thomas Brethvad, Prevista AS och Tord Aasland, Blom Geomatics AS för stimulerande diskussioner rörande flygbilder, laserskanning och fältinventering. För UAV-avsnittet har företrädare för Luftfartsstyrelsen, CropCam, Smartplanes och CybAero bidragit med information. Till sist vill vi tacka övriga personer som vi haft diskussioner med under arbetets gång.