



Skogis jubilerar



FAKTA SKOG



Figur 1. De tyska satelliterna TerraSAR-X och TanDEM-X som flyger i formation i omloppsbanan runt jordklotet mäter noggrant markens och vegetationens höjd med så kallad interferometrisk radarteknik. (Bild från Tyska Rymdstyrelsen, DLR.)

Satellitbaserade 3D-data till hjälp för skogliga skattningar

Av Henrik Persson, Maciej Soja, Håkan Olsson och Johan Fransson.

Skogens egenskaper, såsom trädhöjd och täthet, kan skattas genom mätning av kronans höjd från satelliter. För detta krävs även en känd markmodell och kalibrering mot fältmätta provytor.

Tre optiska satellitsensorer som registrerar bilder i olika riktningar (exempelvis bakåt, nedåt, framåt) har utvärderats. Bäst resultat erhöles med den minsta pixelstorleken, vilken gav 10 % fel på provytenivå för trädhöjds-skattning.

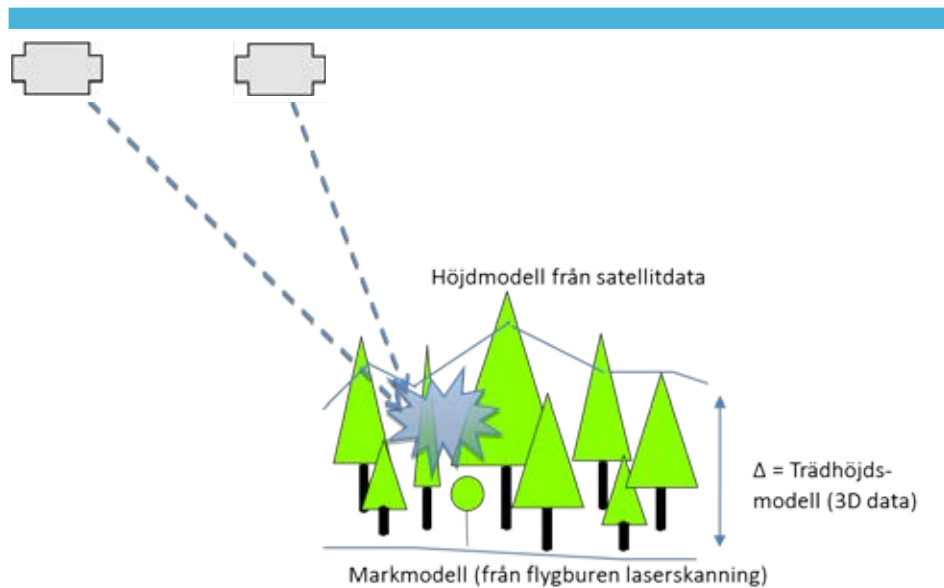
Stereobearbetning av radarbilder från satellit, så kallad radargrammetri, gav bättre skattningar av trädhöjd jämfört med de utvärderade optiska sensorerna.

Interferometriskt processade höjdmodeller från radarbilder gav de bästa resultaten både för trädhöjds- och biomassaskattningar, med ca 4 % respektive 12 % fel på beståndsnivå.

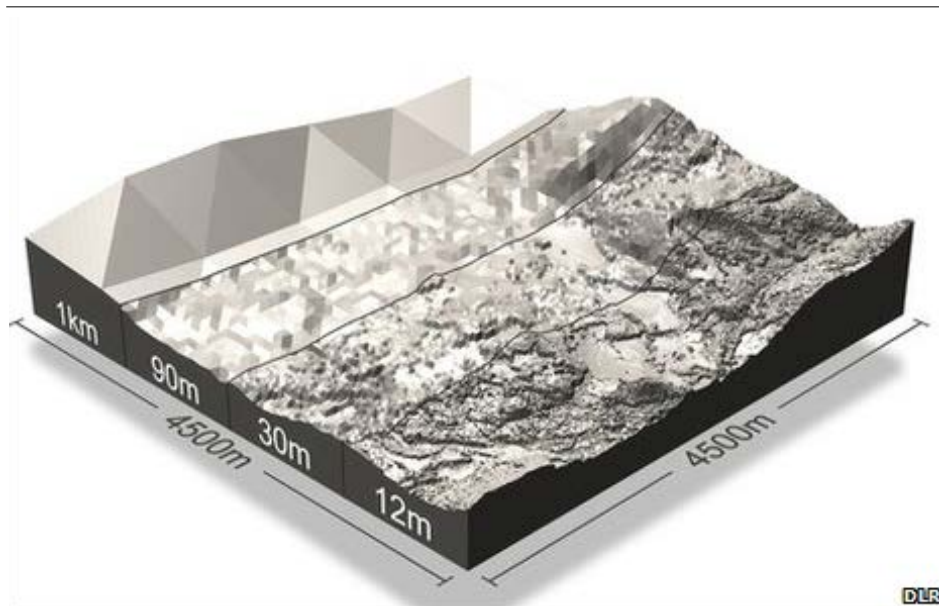
Trädhöjds-skattningar med radar kan upprepas med 11 dagars mellanrum, men dessa data är än så länge endast tillgängliga för forskning. De resultat som redovisas här, och resultat från likartade flygburna tekniker, visar att skogliga skattningar i framtiden kan baseras allt mer på automatiserade mätningar av trädhöjder.

Sedan 1970-talet har satelliter återkommande registrerat färgbilder av jorden. I skogliga sammanhang har dessa bilder använts för översiktliga karteringar (t.ex. SLU Skogskarta, skogskarta.slu.se) och för kartering av förändringar, t.ex. Skogsstyrelsens årliga kartering av slutavverkningar. Denna typ av bilder kan sägas vara tvådimensionella, och informationen om skogens höjd och virkesförråd härrör främst från att stora träd ger mer skuggor och därmed mörkare bilder.

I takt med den tekniska utvecklingen av satellitsensorer, samt Lantmäteriets laser-



Figur 2. Trädhöjden skattas med hjälp av satellitdata och en markmodell.



Figur 3. Upplösningen påverkar kvaliteten av olika satellitbaserade höjdm modeller. © DLR.

skanning för en nationell höjdmmodell, har tillgängligheten av tredimensionella (3D) data ökat drastiskt. Förutom med laserskanning så kan 3D-modeller av krontaket även beräknas från optiska bilder eller radarbilder som registrerats från olika positioner. 3D-modellerna kan sedan, tillsammans med fältmätta referensytor, användas för skogliga skattningar av t.ex. trädhöjd, virkesförråd och biomassa. Detta kan göras med data från såväl flygburna som satellitburna sensorer. I en avhandling från SLU har tre tekniker för att göra skogliga skattningar med 3D-data från satelliter utvärderats (Persson 2014). Då det gäller den mest lovande metoden, interferometrisk radarmätning av skog, har SLU forskare även samarbetat med forskare vid Chalmers Tekniska Högskola där Maciej Soja också nyligen försvarat en avhandling i detta ämne (Soja 2014).

Laserskanning av hela Sverige

Det senaste decenniet har ett genombrott ägt rum för flygburen laserskanning som ger bra data för såväl beräkning av markmodeller som för skogliga skattningar (Holmgren 2004, Lindberg & Holmgren 2014). Lantmäteriet påbörjade 2009 en skanning av hela Sverige som snart är avslutad. Det primära syftet med skanningen är att skapa en nationell höjdmmodell för marken, men dessutom är laserdata tillgängligt och kan användas för skogliga skattningar. Skogsstyrelsen har tillsammans med SLU gjort en skattning av skogliga grunddata med hjälp av data från den nationella laserskanningen. Dessa data utgörs av en digital skogskarta för hela landet med $12,5 \times 12,5 \text{ m}^2$ rasterceller. För varje rastercell har virkesförråd, biomassa, grundtyta,

Använda satellitsensorer

Optiska sensorer

Optiska bilder har ofta upplösningar i storleksordningen 1–10 m, och varje bild täcker ett ca 30–150 km brett område på marken. Samtliga dessa tre sensorer har stereokapacitet tack vare två eller fler sensorer i olika banspårsriktningar monterade på samma satellit.

- ALOS PRISM (japansk), 2,5 m pixelstorlek.
- Terra ASTER (amerikansk), 15 m pixelstorlek.
- SPOT-5 HRS (fransk), 10 m pixelstorlek.

Radarsensorer

Det tyska satellitsystemet TanDEM-X består av de två satelliterna TerraSAR-X (uppskjuten 2007) och TanDEM-X (uppskjuten 2010). Båda satelliterna enskilt går att använda för radargrammetri och båda i kombination krävs för interferometri – InSAR.

- Genom att styra avståndet mellan satelliterna till ett fåtal hundra meter kan den ena satellitens radar skicka ut en signal som reflekteras från jordytan för att tas emot samtidigt av båda satelliternas sensorer i en s.k. bistatisk uppställning.

- Det främsta målet med TanDEM-X är att med interferometrisk radarteknik skapa en ny global höjdmmodell för hela jordklotet med en noggrannhet bättre än 12 m horisontellt och 2 m vertikalt.
- Systemet använder korta våglängder, 3,1 cm, och har ca 1–6 m pixelstorlek.

medeldiameter samt trädens medelhöjd skattats. Som referensdata används provytor från Riksskogstaxeringen precis som för satellitbilsprodukten SLU Skogskarta.

Den nationella laserskanningen är en engångsföreteelse som det i dagsläget inte finns några planer på att upprepa, men den markmodell som skapas från skanningen gör det möjligt att även fortsättningsvis göra skogliga skattningar från satellitbaserade sensorer.

Satellitbaserade 3D-data

De flesta satelliter kommer tillbaka till samma område med två till tre veckors mellanrum. Satelliter kan därmed frekvent samla in data över hela jorden. Med hjälp av optiska bilder tagna från olika riktningar längs satellitbanan kan, om markens höjd är känd, skogens trädhöjd och täthet skattas stereogrammetriskt (Persson 2014, Persson *et al.* 2013).

Om radarbilder används istället för optiska bilder krävs inte dagsljus eller molnfria förhållanden. Beroende på radarsystemets våglängd interagerar radarsignalen med objekt av olika storlek. Signalen från radarsystem med kortare våglängd reflekteras ofta från den övre delen av krontaket medan signalen från radarsystem som har längre våglängder penetrerar djupare i krontaket,

Tabell 1. Översikt av skattningsresultat (RMSE) på beståndsnivå av biomassa ovan mark samt grundtyevägd medelhöjd i Remningstorp.

Teknik	Biomassa	Grundtyevägd medelhöjd
Stereogrammetri	26,2 %	16,1 %
Stereogrammetri + optiska satellitbilder	22,4 %	12,9 %
Radargrammetri	22,9 %	7,7 %
Interferometri	11,8 %	4,1 %

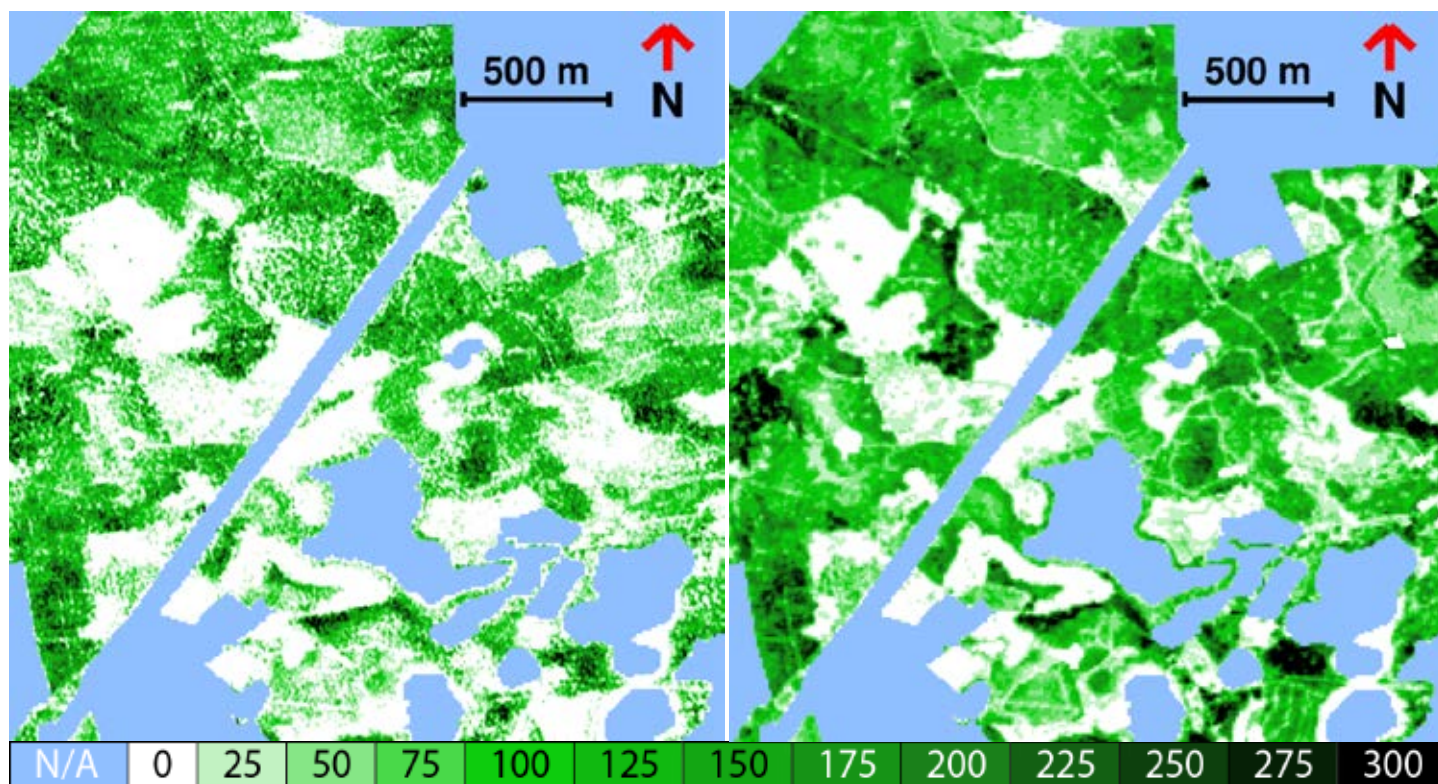
vilket ger större bidrag från trädens stammar. På samma sätt som med optiska bilder, kan även radarintensitetsbilder från olika satellitbanor användas för att skapa höjdmodeller. Denna teknik kallas radargrammetri.

Genom att dra nytta av fasskillnaden mellan radarsignaler som registrerats från två näraliggande satellitbanor kan tredimensionella radarbilder även skapas med hjälp av interferometri. Denna teknik förkortas InSAR och används för att göra mycket noggranna mätningar av t.ex. markytans ändring i höjd eller glaciärens förändringar. Forskning vid bland annat Chalmers och SLU har dessutom visat att InSAR-tekniken även kan användas för

att skatta skogens höjd och täthet (Persson 2014, Soja *et al.* 2015).

Informationsinnehåll

De satellitbaserade datakällor som nämns ovan kan samtliga användas till att göra skogliga skattningar med hjälp av höjd- och täthetsdata från de tre beskrivna metoderna. För InSAR-baserade skattningar så görs dessutom en skillnad på empiriska och semi-empiriska modeller, där de senare även baseras på de fysikaliska mekanismerna för radarvågornas interaktion med trädkronorna. Dessa modeller kräver mindre kalibreringsdata och forskning pågår där kravet på en känd markmodell ska kunna slopas. Erfarenhet från arbete med stora mängder



Figur 4. Biomassakarta (ton/ha) skattad från InSAR TanDEM-X-radardata (t.v.) och från flygburna laserdata (t.h.).

radardata över svenska försöksområden visar redan att bra skogliga skattningar kan göras även med mycket lite kalibreringsdata. Dessutom kan såväl röjningar som gallringar och slutavverkningar ofta urskiljas genom jämförelser av InSAR-data från olika tidpunkter. Skattningar av grundtytevägd medelhöjd har på svenska försöksområden

kunnat göras ungefär lika bra med InSAR-data som med flygburna laserscannerdata (Persson 2014). Höjdm modeller från satelliter har stora likheter med hur de höjdm modeller som fås från stereomatchning av digitala flygbilder kan användas för skogliga skattningar (Bohlin *et al.* 2012). Sammantaget så visar denna utveckling att upprepade auto-

matiska skattningar av trädhöjder kommer att bli en allt viktigare informationskälla för skogsbruket i framtiden. Innan 3D-mätning med satellitteknik kan rekommenderas för operationell användning i skogsbruket, behövs dock en operationellt inriktad försörjning med sådana data, vilken ännu saknas. ■

Tack

Arbetet med att skriva detta nummer av Fakta Skog har finansierats av Rymdstyrelsen, SLU samt EU-projektet Advanced_SAR (<http://www.fgi.fi/advancedsar/>).

Ämnesord

Fjärranalys, satellit, skogliga data, TanDEM-X, stereogrammetri, radargrammetri, interferometri.

Läs mer:

- ▶ **Bohlin, J., Wallerman, J. & Fransson, J. E. S. 2012.** Forest variable estimation using photogrammetric matching of digital aerial images in combination with a high-resolution DEM. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27 (7), pp. 692–699. [Online]. Available at: doi:10.1080/02827581.2012.686625.
- ▶ **Holmgren, J. 2004.** Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (6), pp. 543–553. [Online]. Available at: doi:10.1080/02827580410019472.
- ▶ **Lindberg, E. & Holmgren, J. 2014.** Flygburen laserskanning för skogliga skattningar. *Fakta Skog - Rön från Sveriges lantbruksuniversitet*, 4, p. 4.
- ▶ **Persson, H. 2014.** Estimation of Forest Parameters Using 3D Satellite Data. Doktorsavhandling. Sveriges lantbruksuniversitet, p. 95. [Online]. Available at: doi:10.13140/2.1.4027.2967. ISBN: 978-91-576-8117-1

- ▶ **Persson, H. & Fransson, J. E. S. 2014.** Forest variable estimation using radargrammetric processing of TerraSAR-X images in boreal forests. *Remote Sensing*, 6 (3), pp. 2084–2107. [Online]. Available at: doi:10.3390/rs6032084.
- ▶ **Persson, H., Wallerman, J., Olsson, H. & Fransson, J. E. S. 2013.** Estimating forest biomass and height using optical stereo satellite data and a DTM from laser scanning data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 39 (03), pp. 251–262. [Online]. Available at: doi:10.5589/m13-032.
- ▶ **Skogsstyrelsen, Länsstyrelsen and Geoanalys, M. 2011.** Övervakning av naturvårdshänsyn i skogsbruket. Slutrapport. Linköping, p.68.
- ▶ **SLU, Inst. för skoglig resurshushållning. (n.d.).** SLU Skogskarta. [Online]. Available at: <http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/tjanster-och-produkter/interaktiva-tjanster/slu-skogskarta/>.
- ▶ **Soja, M. J. 2014.** Modelling and Retrieval of Forest Parameters from Synthetic Aperture Radar Data. Doktorsavhandling. Chalmers Tekniska Högskola, p. 78.
- ▶ **Soja, M. J., Persson, H. & Ulander, L. M. H. 2015.** Estimation of forest height and canopy density from a single InSAR correlation coefficient. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12 (3), pp. 646–650. [Online]. Available at: doi:10.1109/LGRS.2014.2354551.
- ▶ **Solberg, S., Astrup, R., Breidenbach, J., Nilsen, B. & Weydahl, D. 2013.** Monitoring spruce volume and biomass with InSAR data from TanDEM-X. *Remote Sensing of Environment*, 139, pp. 60–67. [Online]. Available at: doi:10.1016/j.rse.2013.07.036.

Författare:



Henrik Persson
FD, forskare, institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, 901 83 Umeå
090-786 81 05
henrik.persson@slu.se



Maciej Jerzy Soja
FD, forskare, institutionen för rymd- och geovetenskap, Chalmers Tekniska Högskola, 412 96 Göteborg
031-772 15 80
maciej.soja@chalmers.se



Håkan Olsson
Professor, institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, 901 83 Umeå
090-786 83 76
hakan.olsson@slu.se



Johan Fransson
SkogD, docent, forskare FLK, institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, 901 83 Umeå
090-786 85 31
johan.fransson@slu.se