

Skogliga fjärranalysskattningar

UTVÄRDERING AV FOTOGRAMMETRIMETODER SAMT LASER- OCH SKÖRDARDATA I GALLRINGSSKOGAR

Forest assessment based on remote sensing – Evaluation of photogrammetry methods and laser and harvester data in forest thinning



Skoglig skattning från SLU. Illustration: Per Thorneus, Pictoform

Summary

Automated assessment based on airborne laser scanning data has revolutionised forest inventories. A lot of data is now available, based on both remote sensing and ground-based collection. This includes:

- Time series of airborne laser scanning data
- Canopy height models from digital photogrammetry
- Optical satellite images
- Satellite-borne interferometric radar
- Field-measured sample plots
- Ground-based and mobile laser scanning
- Data from harvesters

A cheap and recurring source of data is photogrammetry. This report focuses on how photogrammetric assessments can be used, both separately and together with other data sources such as older laser data and harvester data, to update the status of the standing forest.

Our results show that, in many cases, photogrammetric assessments offer a good supplement during the periods between laser scanings. A new laser scanning gives better assessments, particularly in forests due for thinning. At stand level, assessment of the basal area using photogrammetry may be close to that using laser data, but the variation at plot level was great, making it difficult to use 'thinning points' to indicate the need for thinning in a stand.

The results also show the importance of identifying thinnings when updating inventories. This is simpler for forest companies that can update their registers on the basis of measures compiled from harvester data, but much more difficult for a public agency that wants to update forest assessments.



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Magnus Thor, forskningschef, har granskat och godkänt publikationen för publicering den 7 december 2020.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2020 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport beskriver forskningserfarenheter kring nyttjande av skogliga skattningar baserade på fotogrammetri i kombination med andra datakällor från olika tidpunkter. Arbetet har i huvudsak genomförts inom ramen för ett FORMAS-finansierat forskningsprojekt, Dataassimilering för ett hållbart skogsbruk, som startade i slutet av 2015 och avslutas 2020. Forskningsprojektet leddes av SLU och genomfördes i samarbete med Skogforsk med en referensgrupp från svenska skogsföretag.

Flera skogsföretag har dessutom bidragit med indata till studierna och då främst Bergvik Skog AB, BillerudKorsnäs AB och Holmen Skog AB. Stort tack för era bidrag.

Uppsala i december 2020

Erik Willén och Jon Söderberg, Skogforsk

Nils Lindgren, Håkan Olsson och Jonas Bohlin, SLU

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Inledning.....	6
Bakgrund.....	6
Syfte och mål.....	7
Material och metoder	8
Studieområde.....	8
Indata	9
Fjärranalys	9
Tränings- och valideringsdata	9
Skördardata.....	10
Fotogrammetriskattningar	10
Skattning 2015	10
Skattning 2017	10
Kombinationsskattningar.....	11
Resultat	12
Fotogrammetriskattningar	12
Fotogrammetriskattning 2015.....	12
Fotogrammetriskattning 2015 och 2017	13
Kombinationsskattning	19
Diskussion och slutsatser	20
Skogliga fjärranalysskattningar.....	20
Skördardata.....	21
Metoder för sammanvägning av data.....	21
Referenser.....	22

Sammanfattning

Automatiserade skattningar baserade på flygburna laserskannerdata har revolutionerat skogsinventeringen. Det finns numera mycket data tillgängliga – baserade på både fjärranalys och markburen insamling. Dessa inkluderar:

- Tidsserier av flygburna laserskannerdata
- Krontaksmodeller från digital fotogrammetri
- Optiska satellitbilder
- Satellitburen interferometrisk radar
- Fältmätta provytor
- Markburen och mobil laserskanning
- Data från skördare

En billig och ofta återkommande datakälla är data baserade på fotogrammetri. Denna rapport fokuserar på hur fotogrammetriskattningar kan nyttjas separat och tillsammans med andra datakällor, som till exempel äldre laserdata och skördardata, för att uppdatera beskrivningen av den stående skogen.

Våra resultat för fotogrammetriskattningarna visar att de i många fall är ett bra komplement under tiden mellan olika laserskanningar. En ny laserskanning ger bättre skattningar, speciellt i gallringsskogar. På beståndsnivå kan grundytan i fotogrammetriskattningar komma i närheten av skattningarna med laserdata, men variationen på provytenivå var stor vilket försvårar användningen av ”gallringspunkter” som visar gallringsbehov inom ett bestånd.

Resultaten visar också på vikten att identifiera gallringar under ajourhållningen. Detta är enklare för skogsföretag som kan uppdatera sina register med utförda åtgärder från skördardata, men betydligt svårare för en myndighet som vill ajourhålla skogliga skattningar.

Inledning

BAKGRUND

Övergången till en biobaserad ekonomi kommer att innebära ökade förväntningar på en effektiv skogsproduktion. Samtidigt ökar också kraven på att skogsbruket ska bedrivas med hänsyn även till andra värden i naturen, såsom biologisk mångfald, minskade CO₂-utsläpp, rekreation och estetiska värden. Förutsättningarna för att planera brukandet av skogsresursen och möjligheterna att även beakta andra värden än virkesproduktion ökar ju bättre data om skogen bruket, berörda myndigheter och forskare får tillgång till. Då bra data om skogen finns tillgängliga kan de långsiktiga konsekvenserna av olika handlingsalternativ också studeras i skogliga planeringssystem som till exempel Heureka-systemet. Det finns ett långsiktigt behov att utveckla ett nytt paradigm som kan vidmakthålla skogliga databaser som är aktuella, rumsligt högupplösta, innehållsrika och kostnadseffektiva. En metod för detta är så kallad dataassimilering. I en datormodell beskrivs skogstillståndet för rasterrutor eller små bestånd. Skogstillväxten över tiden framskrivs med tillväxtfunktioner. Nya skattningar av skogstillståndet erhålls från fjärranalysdata där fältmätningar används som referens. Varje ny skattning från fjärranalys används för att justera den skogliga modellen i proportion till skattningens informationsinnehåll.

Automatiserade skattningar baserade på flygburna laserskannerdata har revolutionerat skogsinventeringen. De större skogsföretagen har beställt laserdatabaserade skattningar för sina innehav och Skogsstyrelsen har tillsammans med SLU tagit fram en landstäckande rasterdatabas med skogliga data genom sambearbetning av Lantmäteriets nationella laserskanning och riksskogstaxeringens fältytor. En första skattning blev i huvudsak klar 2015 och 2018 inleddes en ny nationell laserskanning med finansiering från stat och näringsliv.

Samtidigt går det att ta fram nya krontaksmodeller med digital fotogrammetri från den löpande ortofotoproduktionen som Lantmäteriet ansvarar för, vilka kan ge uppdaterade trädhöjder med 2–4 års intervall för stora delar av landet.

Även data från skördarnas apteringsdatorer kan användas för att via samband med korrelerade data karaktärisera den kvarstående skogen. Alla dessa data tas tillvara för att uppdatera en skoglig modell. Det finns numera mycket data tillgängliga – baserade på både fjärranalys och markburen insamling. Dessa inkluderar:

- Tidsserier av flygburna laserskannerdata
- Krontaksmodeller från digital fotogrammetri
- Optiska satellitbilder
- Satellitburen interferometrisk radar
- Fältmätta provtytor
- Markburen och mobil laserskanning
- Data från skördare

En billig och ofta återkommande datakälla är data baserade på fotogrammetri. Denna rapport fokuserar på hur fotogrammetriskattningar kan nyttjas separat och tillsammans med andra datakällor som äldre laserdata och skördardata för att uppdatera beskrivningen av den stående skogen.

I en studie av Skogforsk utvärderades möjligheten att ta fram så kallade gallringspunkter från fotogrammetriskattningar (Söderberg m.fl. 2017). Gallringspunkterna ska ge en bild av beståndstäthet och därmed gallringsbehov på rasternivå snarare än beståndsnivå. Målet med projektet var att utvärdera gallringspunkter producerade av flygbildsskattningar från 2015 mot gallringspunkter producerade via ajourhållna laserskattningar samt fältmätningar. I fält inventerades 75 punkter och jämfördes med fjärranalyskattningar. Resultaten visade att trädhöjd och medeldiameter skattades väl, medan skogens täthet inte fångades tillräckligt bra ur flygbilder. Grundytan underskattades med 17 procent mot 7 procent i framräknade laserskattningar. Praktiska utvärderingar av BillerudKorsnäs indikerade att beräknade, framskrivna laserskattningar fortfarande var användbara medan nya fotogrammetriskattningar inte bedömdes tillföra något värde.

Under 2017 jämförde COWI (på uppdrag av Bergvik Skog AB) alternativa skattningsmetoder över ett område i Värmland (Sängstuvall 2018). Där fanns laserskattningar från 2010–2011 samt 2016. Sedan användes en fotogrammetriskattning med bilder från 2015. Gamla framräknade och nya markreferensytor fanns också tillgängliga. Skattningarna utvärderades mot en oberoende kontrolltaxering för volym, grundyta, grundytavägd medeldiameter och höjd samt stamantal. Resultaten visade att en ny laserskanning gav lägsta medelfelet samt att det var möjligt att använda gamla framräknade markreferensytor utan betydande ökning av medelfel. Fotogrammetriskattningar gav ett ökat medelfel och då speciellt för grundyta, som är en viktig variabel för att hitta gallringsbehov. Det är möjligt att skriva fram äldre skattningar, men samtidigt sker gallring och slutavverkning över betydande arealer årligen, vilket pekar mot ett behov av återkommande nya skogliga skattningar.

De första studierna med att utveckla och utvärdera en dataassimilering har visat att de senaste mätningarna bidrar mest till en aktuell beskrivning av skogen (Nyström, m.fl. 2015), men att det finns exempel där nuläget beskrivs bättre när även flera äldre mätningar inkluderas (Lindgren, m.fl. 2017). Forskningsområdet dataassimilering för skogstillämpningar är nytt och fler resultat är därför att vänta.

SYFTE OCH MÅL

Projektet syftade till att utveckla metoder för och demonstrera hur fotogrammetriskattningar tillsammans med andra datakällor kan användas för beskrivning av den stående skogen.

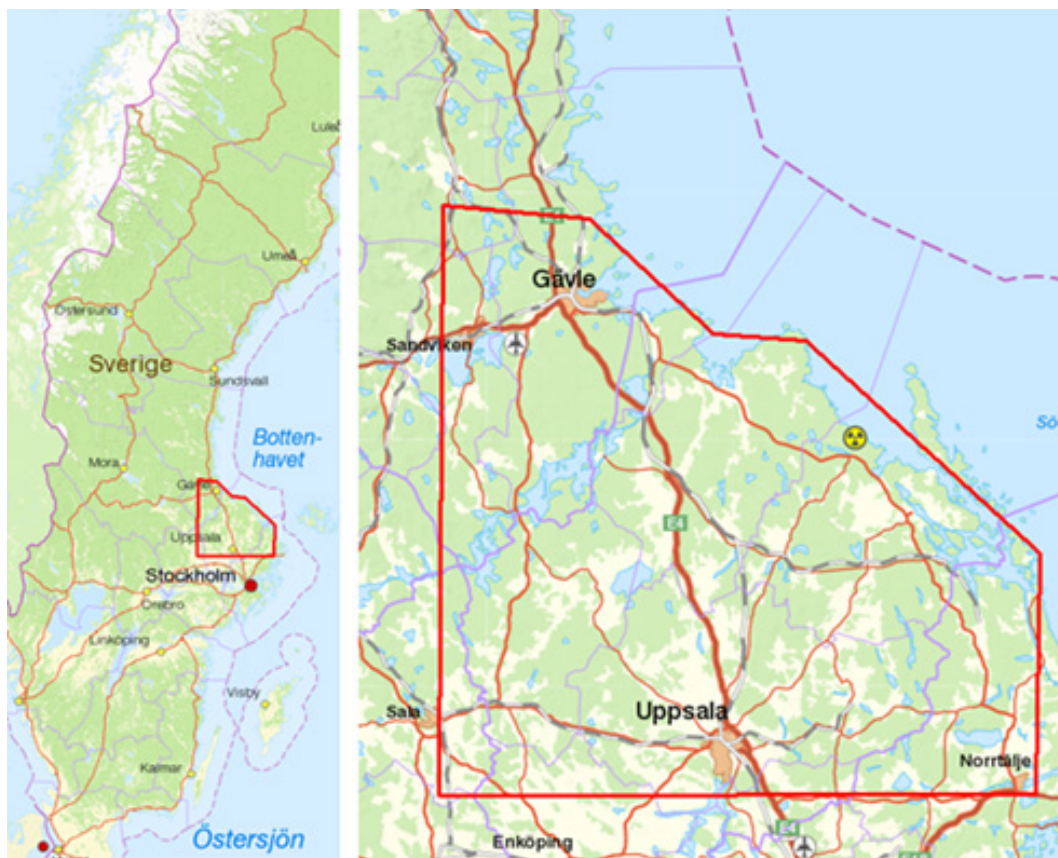
Målen för projektet var att:

- Utvärdera olika fotogrammetriskattningar med oberoende fältdata.
- Demonstrera hur skördardata kan användas i ajourhållning av skogliga skattningar.
- Ajourhålla skogliga skattningar med fotogrammetriskattningar och andra data genom kombinationsskattningar.

Material och metoder

STUDIEOMRÅDE

Studieområdet begränsades av ett område som Lantmäteriet flög under omdrevsfotograferingen 2015 med tyngdpunkt över Uppland (Figur 1). I området har skogsföretagen Bergvik Skog AB och Holmen Skog AB skogsinnehav där fältdatansamling kunde ske för utvärdering av de skogliga skattningarna.



Figur 1. Karta över studieområdet, avgränsat med röd linje. © Lantmäteriet.

INDATA

Fjärranalys

Studieområdet laserskannades på uppdrag av Lantmäteriet under 2010-2011 för den nya nationella höjdmodellen. Laserskanningen genomfördes på 1700 till 2300 meters flyghöjd med en punkttäthet på 0,5-1 per kvadratmeter, 20 procent överlapp i sidled samt en maximal skanningsvinkel på 20°.

Från laserdata producerade Skogsstyrelsen, via SLU, skogliga skattningar (Skogliga grunddata) vilka publicerades för fri åtkomst via Skogsstyrelsens digitala kanaler. Skogliga skattningar gjordes för virkesvolym, grundyta, grundytvägd medelhöjd och diameter samt biomassa.

Området flygfotograferades sommaren 2015 på en flyghöjd av 3700 m över marken med ett stereoöverlapp på 60 procent inom flygstråket och 30 procent mellan stråk. Detta medför en pixelupplösning på ca 25 cm på marken. Flygfotograferingen utfördes av Lantmäteriet som en del av deras ordinarie omdrevsfotografering och bilderna levererades med orienteringsdata.

Under 2017 genomförde Lantmäteriet flygningarna före lövsprickningen som en del av deras ordinarie omdrevsfotografering.

Tränings- och valideringsdata

I den svenska riksskogstaxeringen mäts ca 9500 provytor per år runt om i landet, av dessa är runt 60 procent permanenta ytor som återinventeras vart 5 år. De permanenta ytorna har en radie av 10 m medan resterande är tillfälliga ytor som har en radie på 7 m. På ytorna mäts trädens brösthöjdsdiameter och ståndortsindex uppskattas från markvegetationen (Hägglund & Lundmark 1977) dessutom mäts höjden på ett antal provträd. Provytor inom studieområdet användes som markreferens för fotogrammetriskattningarna 2015 samt validering av kombinationsskattningarna.

Då flera skogsföretag identifierat just kartering av gallringsbehov som en stor nytta med återkommande skogliga skattningar fokuserades insamlingen av valideringsdata mot gallringsskogar.

Under sommaren 2016 genomförde Skogforsk en studie om skattade gallringsbehov i Uppland (Söderberg, m.fl. 2017). I samband med denna inventerades ett stort antal provytor. Av dessa kunde 58 provytor även användas för utvärdering av fotogrammetriskattningar. För de inventerade ytorna klavades alla träd inom en tio meters radie in, trädslag och brösthöjdsdiameter registrerades och höjden på två övrehöjdsträd mättes. Dessa data användes för att validera skogliga skattningar på provytenivå.

Bestånd i Uppland, som identifierats som gallrade med hjälp av skördardata från BillerudKorsnäs, sammanställdes och ett urval av bestånden gjordes genom lottning. Sexton bestånd inventerades under augusti-september 2016. I varje bestånd lades det ut 7-9 provytor, med ett jämt förband. Ytornas radie var 8 m (201 m²). Provytorna totalklavades och brösthöjdsdiameter och trädslag registrerades för varje träd. Två övrehöjdsträd på varje yta åldersbestämde och trädhöjden mättes. Dessa data användes som valideringsdata på beståndsnivå.

Holmen bidrog med taxerade bestånd inom studieområdet, cirka 25 bestånd valdes genom lottning ut i främst ungskogar. Bestånden var 4-25 hektar stora. I varje bestånd lades det ut 7-9 ytor med en radie på 8 m. Varje yta totalklavades och för 1-2 slumpade provträd per yta mättes höjd och ålder. Inventeringen skedde sommaren 2016 och användes för att utvärdera fotogrammetriskattningen från 2015.

Skördardata

Skördardata registreras enligt den globala de facto-standarden StanForD 2010 vilket möjliggör att detaljerad information av den avverade skogen också kan användas som markreferens för fjärranalys (Willén m.fl. 2018). Kvalitetssäkring av skördarmätningen sker med regelbunden kalibrering av skördarens mätsystem.

Skogforsk har under några år byggt upp en skördardatabas för forskningsändamål (Möller m.fl. 2017). Holmen och BillerudKorsnäs tillhandahöll skördardata från utförda gallringar i studieområdet. Dessa lästes in och bearbetades, geometrier för åtgärder beräknades från skördarens GPS-koordinater och träden rekonstruerades från stock-information. Delytor, så kallade beräkningsytor, på 0,5-3 ha och i genomsnitt 0,8 ha indelade utifrån övrehöjdsvariation inom åtgärdsgeometrin skapades. Ett utdrag ur databasen gav inom studieområdet geometrier och uttagsvolym, i skogskubikmeter, för 3050 beräkningsytor från gallringsåtgärder. Dessa användes som en indikator för utförd gallring i kombinationsskattningen.

FOTOGRAMMETRISKATTNINGAR

Skattning 2015

Fotogrammetrisk bearbetning av Lantmäteriets bilder från 2015 gjordes med programvaran *SURE*¹ och punktmoln med maximal punkttäthet skapades (i princip varje pixel fick ett höjdvärde). Dessa punktmoln räknades om från höjd över havet till höjd över marken med hjälp av den nationella höjdmodellen skapad från laserskanning.

233 provytor från Riksskogstaxeringen inom studieområdet användes för att skapa regressionsmodeller som beskrev sambandet mellan inventerade skogliga variablerna och metriker (olika mått som exempelvis höjdpercentiler och vegetationskvot) beräknade ur punktmolnen. Dessa regressionsmodeller användes tillsammans med det heltäckande punktmolnet från fotograferingen för att skatta de skogliga variablerna grundyta, grundytvägd medelhöjd, grundytvägd medeldiameter och virkesvolym för hela testområdet.

Skattning 2017

Under 2017 gjorde COWI en ny fotogrammetriskattning för Bergviks innehav i Uppland på uppdrag av Bergvik Skog. Flygbilder från Lantmäteriet tagna i maj 2017, innan lövsprickning, användes för skattningarna. Lövbekant behandlades separat, där användes framräknade trädhöjder från register, då bildmatchningen ofta ger dåliga höjder för avlövad träd. Som markreferens användes Bergviks taxeringsytor från 2015, framräknade till 2017. Taxeringsytor där åtgärder utförts efter taxeringen rensades bort.

¹Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery, utvecklat vid universitetet vid Stuttgart.

KOMBINATIONSSKATTNINGAR

Genom att använda skogliga skattningar från olika tidpunkter kan det vara möjligt att få en bättre beskrivning av den stående skogen vid den senare tidpunkten. Inom ramen för projektet har äldre laserskattningar och nya fotogrammetriskattningar jämförts och även kombinerats (Lindgren m.fl. 2020).

Från laserdata och fotogrammetri framställdes 3D-punktmoln. Punktmolnen normaliserades genom att dra ifrån markhöjden från nationella höjdmodellen för höjden på alla punkter. Punkter med en relativ höjd under -2 m respektive över 50 m filtrerades bort. Statistiska mått, kallade metriker, beräknades från punkthöjderna med programvaran FUSION för riksskogstaxeringens provytor, samt för ett rutnät med 12,5*12,5 m rutor för hela studieområdet.

Tre olika regressionsmodeller tränades med 262 riksskogstaxeringsytor för att skatta stående volym; 1) metriker från fotogrammetripunktmoln, 2) metriker från laserpunktmoln samt 3) samtliga metriker från båda punktmolnen. Alla tre modellerna testades också med och utan en extra indikator variabel för utförd gallringsåtgärd (från skördar-data) mellan tidpunkten för laserskanningen och tidpunkten för provyteinventering. Således utvärderades totalt sex modeller genom att skatta volym för varje ruta i studieområdet och sammanväga alla rutor inom utvärderingsbestånden och jämföra med volym beräknad från inventeringsuppgifter.

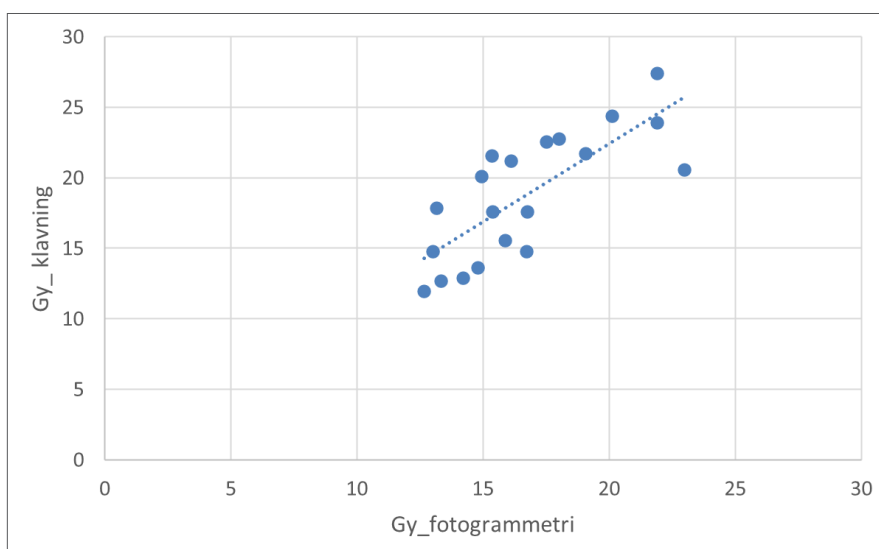
Resultat

FOTOGRAMMETRISKATTNINGAR

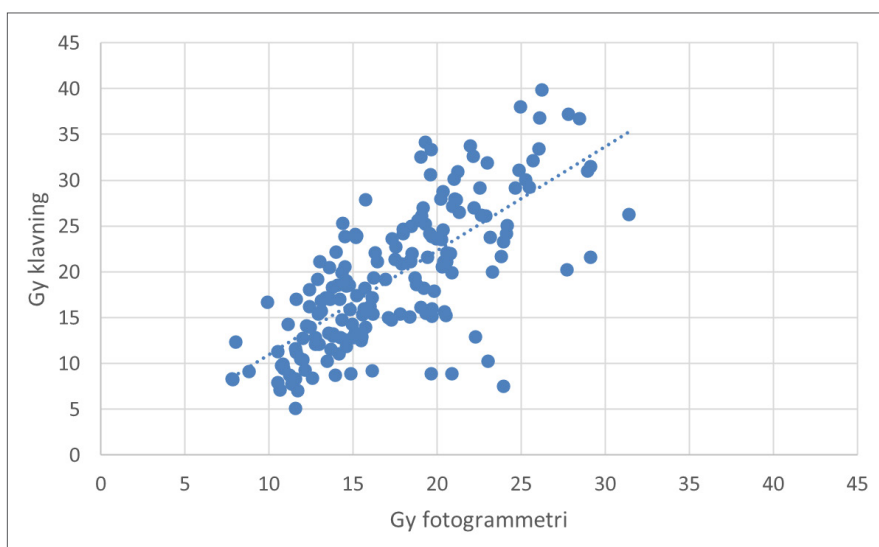
Fotogrammetriskattning 2015

Vid utvärdering mot kontrolltaxerade bestånd från Bergvik Skog AB nåddes medelfel på 7,7-10,5 procent för medelhöjd, 12-17,8 procent för medeldiameter 21,8-22,8 procent för volym och 17,7-21,1 procent för grundyta. Kontrolltaxerade bestånd inkluderar både gallrings- och slutavverkningsobjekt. Resultaten är mer utförligt presenterade i Bohlin m.fl. (2017).

Vid jämförelser mot Holmens klavade ungskogar erhöles ett beståndsvis medelfel på 12 procent (figur 2) medan det för provytor blev 17 %, figur 3. I figur 3 framgår även att det var en del ytor med höga avvikelser, men som jämnas ut på beståndsnivå.



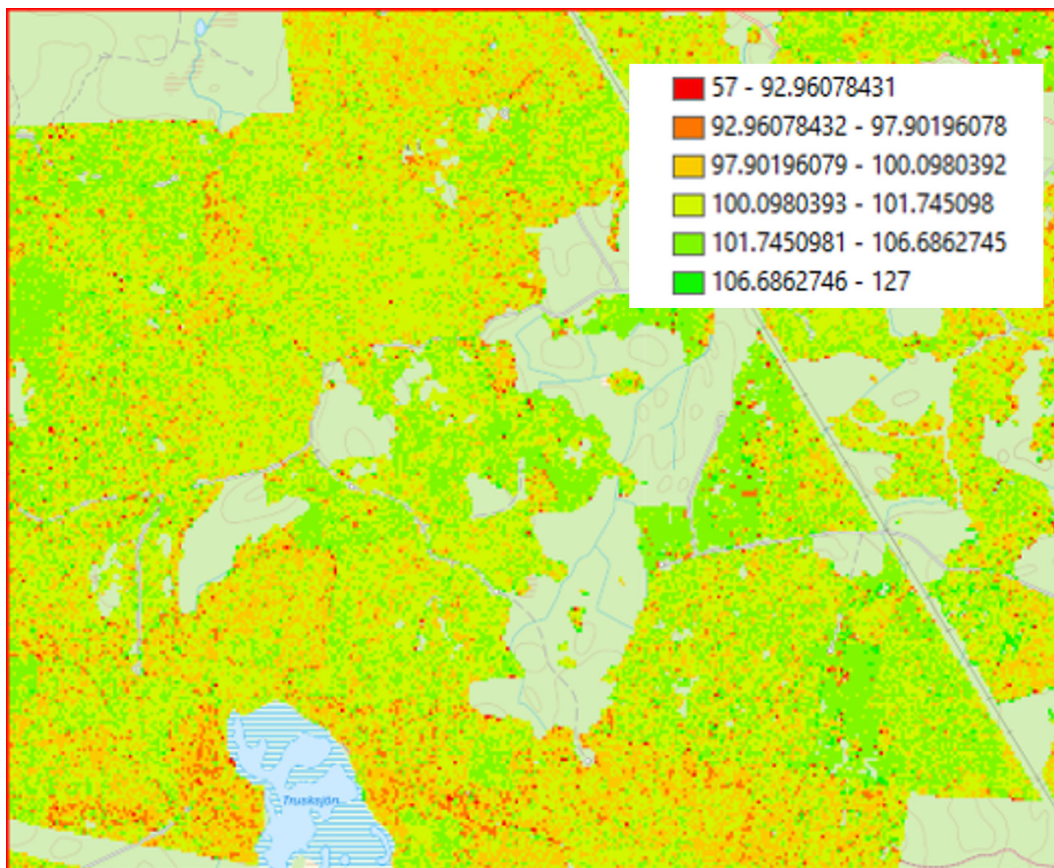
Figur 2. Utvärdering av fotogrammetriskattningar i Holmens ungskogar på beståndsnivå. Utvärderingen avser grundyta (m²).



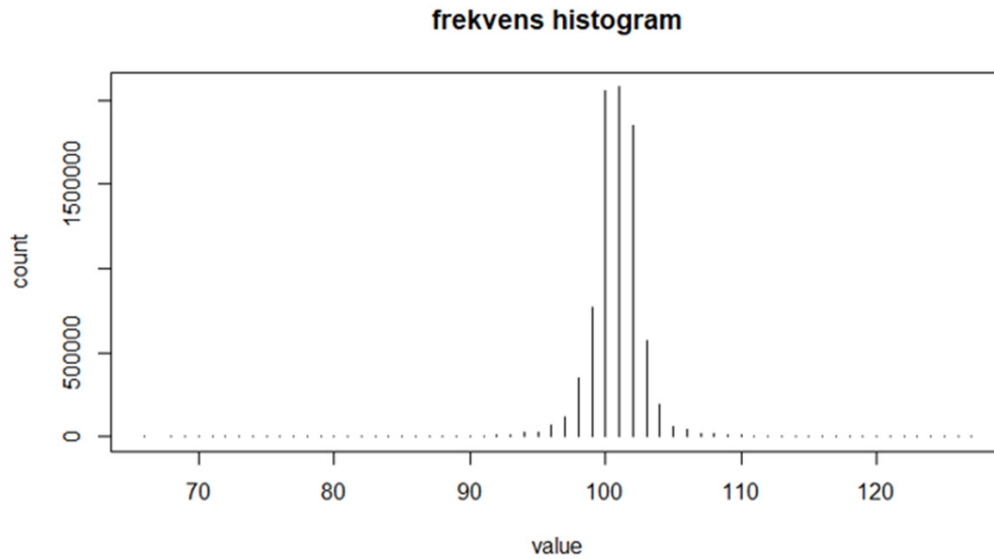
Figur 3. Utvärdering av fotogrammetriskattningar i Holmens ungskogar på provytornivå. Utvärderingen avser grundyta (m²).

FOTOGRAMMETRISKATTNING 2015 OCH 2017

En jämförelse av fotogrammetriskattningarna från 2017 och 2015 gjordes genom att skapa ett differensindex för grundtyevägd medelhöjd. Indexet definierades som 100 plus skattad höjd för 2017 minus skattad höjd för 2015 (figur 4). I figur 5 ses fördelningen över hela den jämförda arealen. Tyngdpunkten ligger tydligt över 100, vilket visar att fotogrammetriskattningen från 2017, som förväntat, har högre trädhöjder.



Figur 4. Ett differensindex som visar skillnaden i grundtyevägd medelhöjd mellan fotogrammetriskattning från 2017 och 2015, där index definieras som 100 plus skattad hg 2017 minus skattad hg 2015. Gröna pixlar har högre höjd medan röda har lägre höjd i 2017 års skattning.



Figur 5. Spridningen i differensindex över hela materialet, mer än 8 miljoner 12,5*12,5 m rutor, visar på en ökning i höjd.

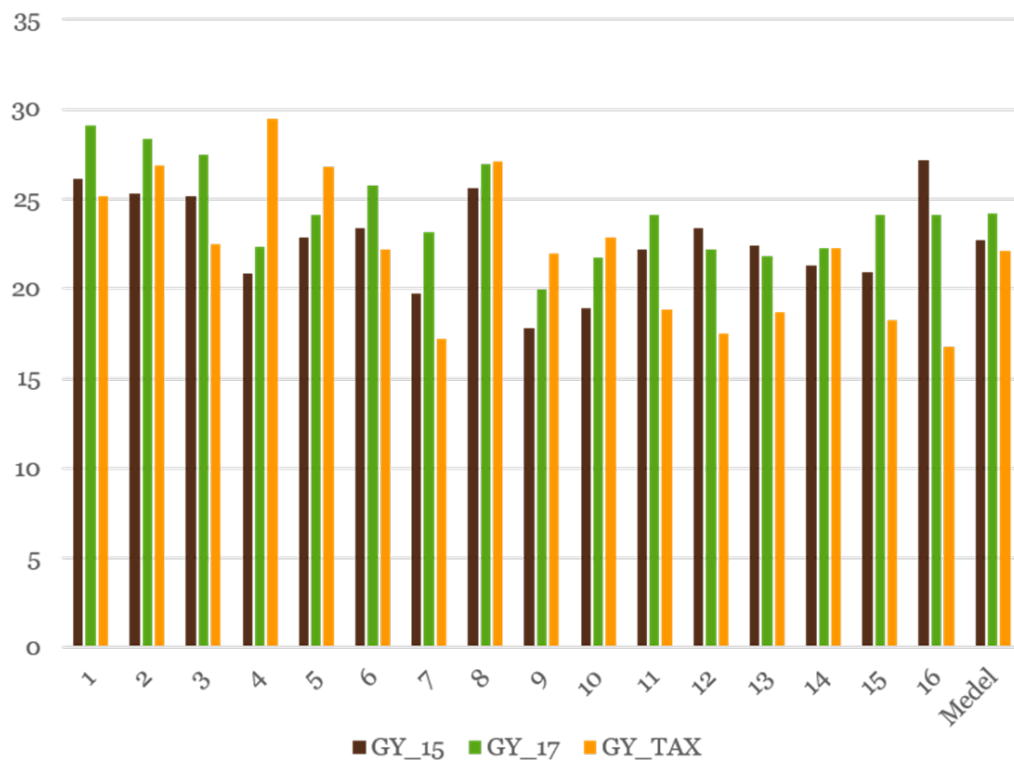
Utvärdering av fotogrammetriskattningarna på beståndsnivå

Fältinsatsen som genomfördes i gallrade bestånd från BillerudKorsnäs fokuserade på att utvärdera grundyta och grundtyvägd diameter, men i resultaten återfinns även volym och grundtyvägd medelhöjd för att jämföra skattningarna sinsemellan.

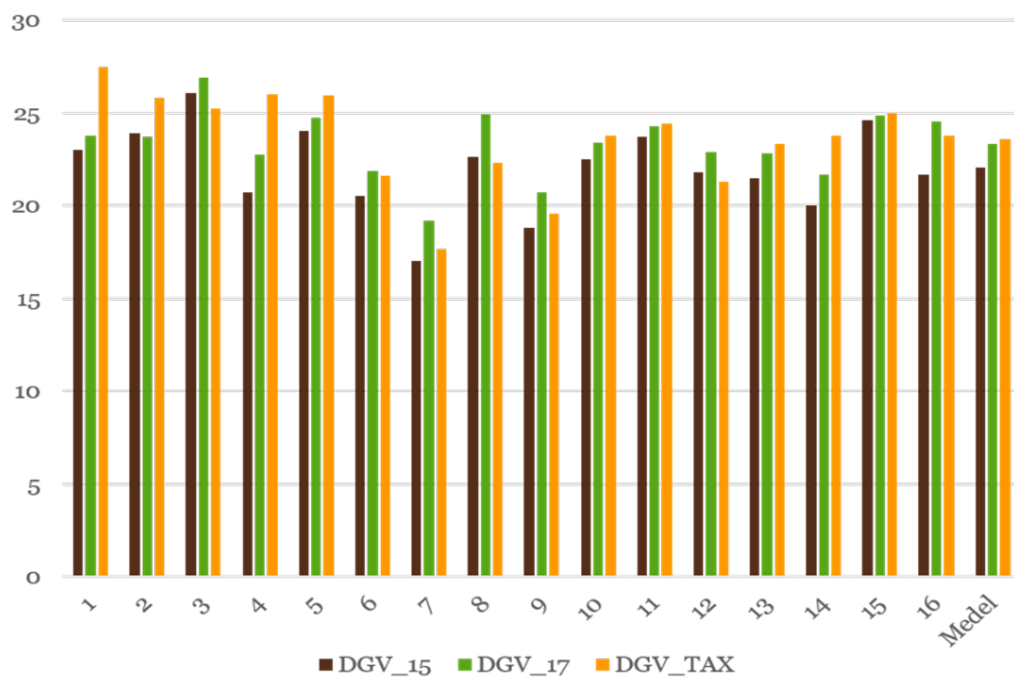
För grundyta ligger skattningen från 2017 1,5 m²/ha över 2015 i medeltal (figur 6), men 2015 ligger i medeltal närmare den taxerade grundytan (hösten 2016).

Skattningen av grundtyvägd medeldiameter för bestånden skattas i medel 1,3 cm högre 2017 jämfört med 2015 (figur 7). Grundtyvägd medelhöjd var i snitt 0,67 m högre för 2017 (figur 8).

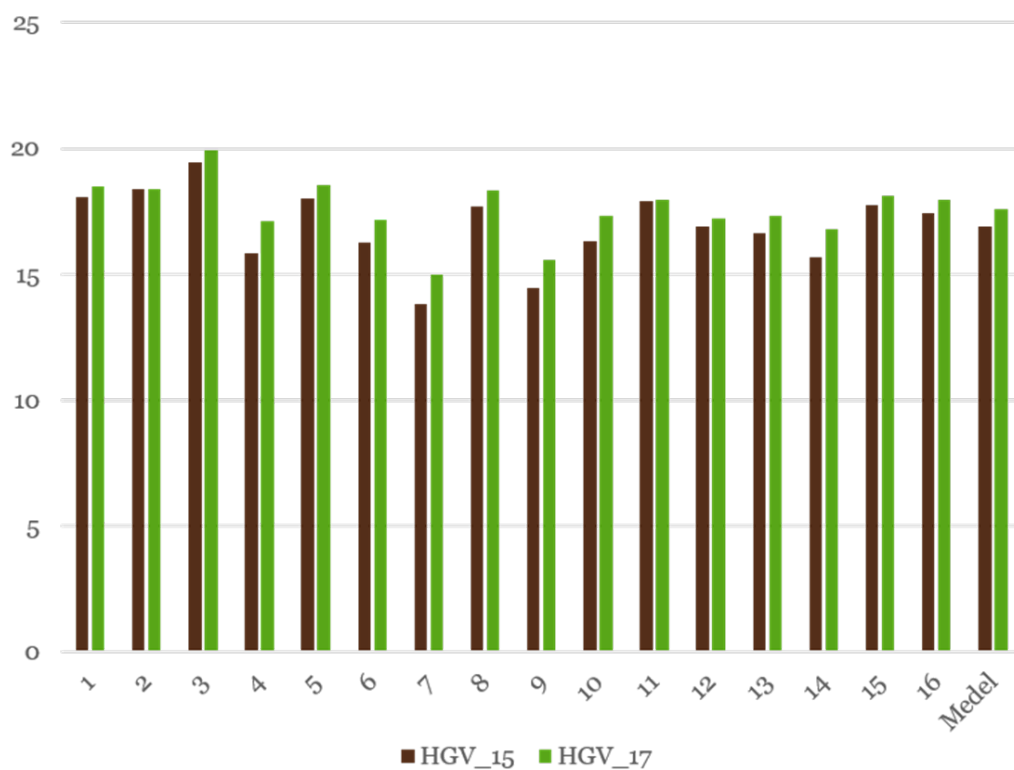
När skattningarna jämfördes på beståndsnivå, visar 2017 högre volym i 15 av 16 fall (figur 9). I medeltal var volymen 33,9 m³sk/ha högre 2017.



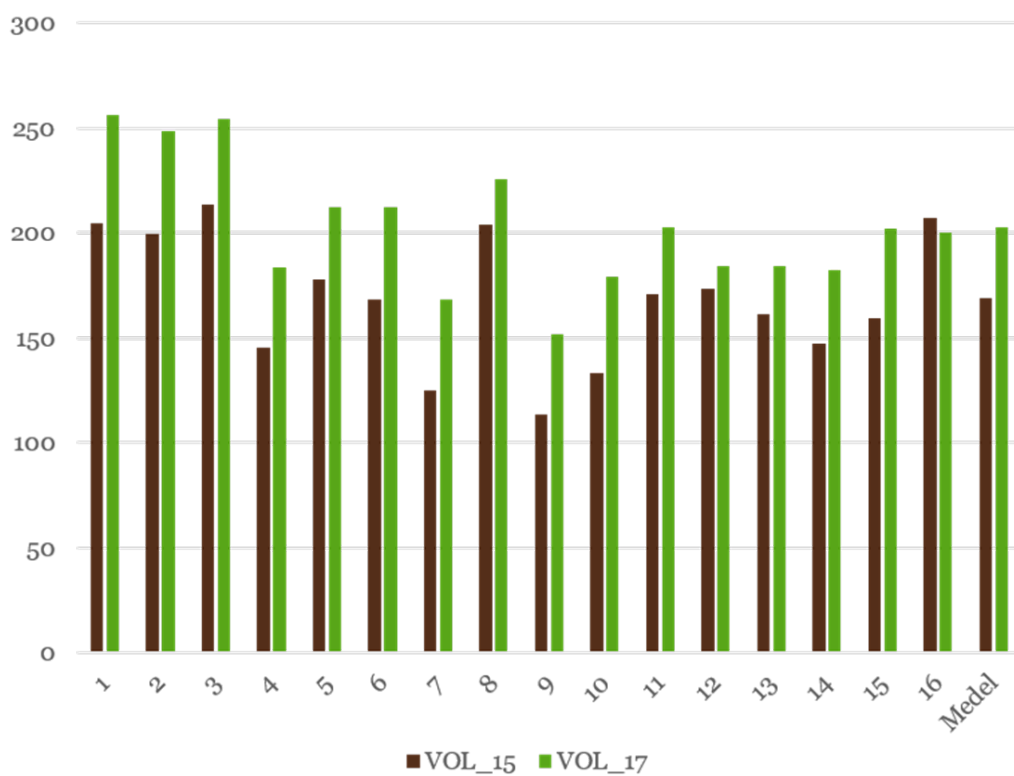
Figur 6. Skattad grunddyta (m2/ha) 2015 resp. 2017, samt taxerad grunddyta i 16 gallrade bestånd.



Figur 7. Skattade och taxerade värden för grundyttevåg medeldiameter för utvärderingsbestånden.

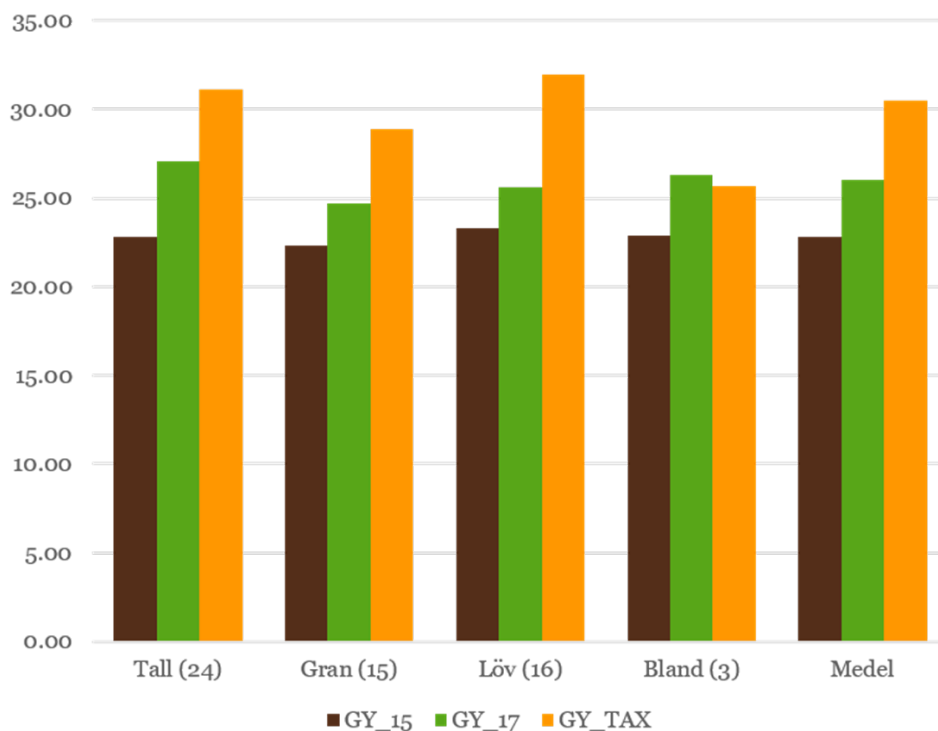


Figur 8. Staplarna visar beståndsvisa medelvärden för skattad grundytbevåg höjd (HG) från 2015 resp. 2017.



Figur 9. Skattning av volym (m³sk/ha) 2015 rep. 2017 i 16 gallrade bestånd, samt medelvärde för samtliga.

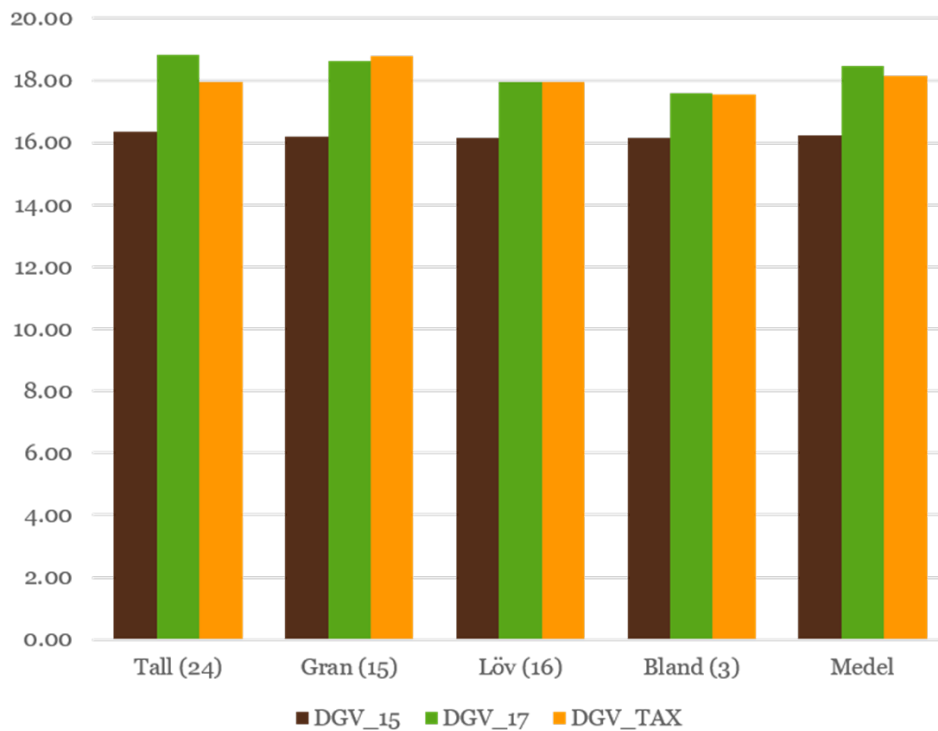
Utvärdering av fotogrammetriskattningarna på provytanivå



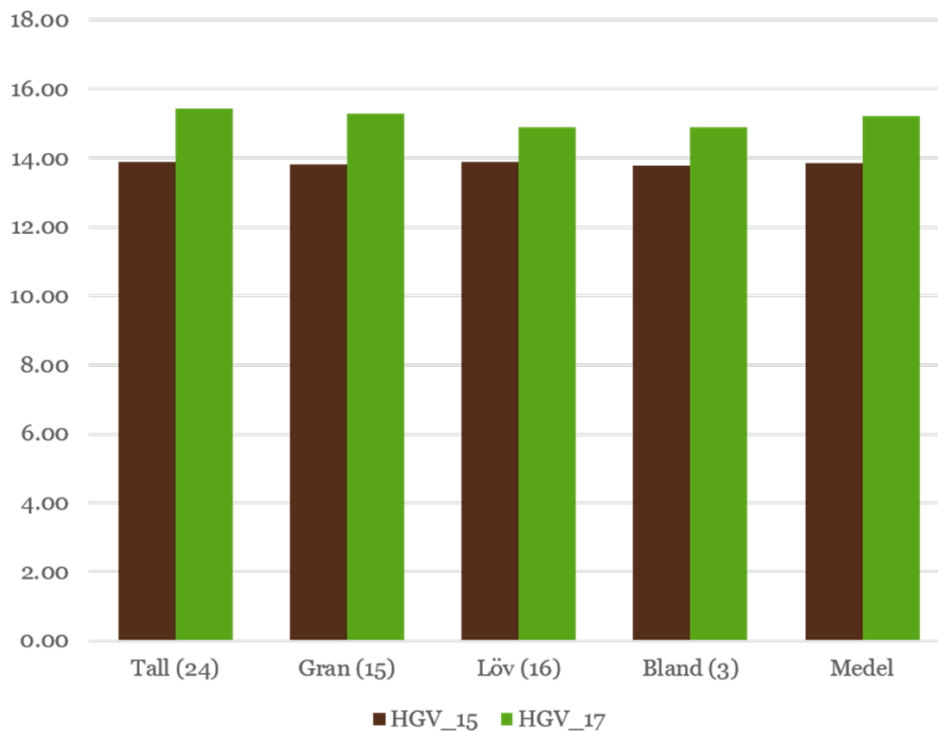
Figur 10. De tredelade staplarna visar från vänster, skattad grundyta 2015, 2017 resp. inventerad, uppdelat på dominerande trädslag samt medelvärde för alla provytor.

För att kunna beskriva skillnader mellan olika trädslag gjordes även en utvärdering på provytanivå. Även här jämförs grundytavägd höjd och volym enbart mellan de två skattningarna. Grundytan ökade i genomsnitt med 3,2 m²/ha från 2015 till 2017, men låg lågt jämfört med inventeringsuppgifter (figur 10). Grundytavägd medeldiameter skattades i medeltal 2,2 cm högre 2017 än 2015 (figur 11), och stämmer väl överens med inventeringsuppgifter.

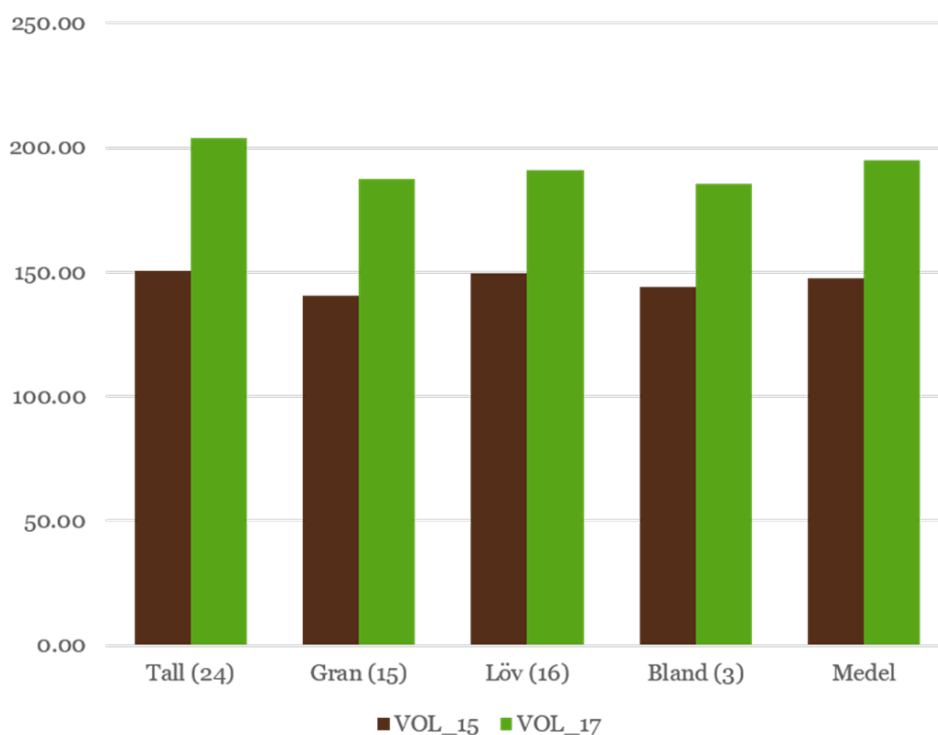
I figur 12 ses en sammanställning av grundytavägd medelhöjd för utvärderingsytorna fördelade efter dominerande trädslag, skillnaden mellan skattningarna för alla ytor blev 1,35 m. Skillnaden i volym mellan fotogrammetriskattningarna var i medeltal 44,1 m³sk/ha, med störst skillnad för talldominerade ytor (figur 13).



Figur 11. Skattade och taxerade värden för grundtyevägd medeldiameter (cm) för de 58 utvärderingsytorna, grupperade på dominerande trädslag.



Figur 12. Staplarna visar beståndsvisa medelvärden för grundtyevägd medelhöjd (hgv); skattad hgv från 2015 resp. 2017 med ytorna uppdelade efter dominerande trädslag och antalet ytor i varje klass inom parentes.



Figur 13. Skattad volym (m3sk) 2015 resp. 2017 fördelade på dominerande trädslag, antal ytor inom parentes, samt medelvärde för alla 58 ytor.

KOMBINATIONSSKATTNING

Kombinationsskattningen (Lindgren m.fl. 2020) visade att nya fotogrammetriskattningar gav något lägre medelfel än att nyttja äldre laserdata tillsammans med nya provytor, men när en indikatorvariabel för gallring inkluderas blir volymsskattningen med äldre laserdata något bättre, tabell 1. Alla volymsskattningar blev bättre genom att inkludera en indikatorvariabel för gallringsåtgärd. Effekten var störst i kombination med de äldre lasermetrikerna. Det systematiska felet blev betydligt lägre när laserdata användes.

Tabell 1. Utvärderingsresultat för skattningar för regressionsmodeller med äldre laserdata respektive aktuella fotogrammetridata, båda tränade med inventeringsdata. Modellerna utvärderades på beståndsnivå (Lindgren m.fl. 2020).

Modeller	Bias (%)	RMSE (%)
Laserdata	-2,9	26,0
Fotogrammetri	-7,7	24,9
Laserdata + Fotogrammetri	-3,6	24,3
Fotogrammetri + Indikator gallring	-6,2	23,8
Laserdata + Indikator gallring	1,5	23,3
Laserdata + Fotogrammetri + Indikator gallring	-1,1	23,0

Diskussion och slutsatser

SKOGLIGA FJÄRRANALYSSKATTNINGAR

I samband med att uppgifterna i den första nationella laserskanningen som resulterade i Skogliga grunddata började bli inaktuella väcktes frågan om hur nya aktuella fjärranalysskattningar kunde produceras. I brist på beslut om en gemensam ny laserskanning fokuserades på möjligheten att nyttja fotogrammetriskattningar som alternativ för datainsamling.

Under 2018 startade en ny nationell laserskanning, ”Laserdata Skog”, som inom 6-8 år kommer ge nya skogliga laserskattningar över landet motsvarande Skogliga grunddata. Delresultat redovisade i denna rapport har bidragit till bedömningen att en ny laserskanning behövs, speciellt för att kunna producera bra bedömningar av gallringsskogen. I synnerhet gäller det för användandet av detaljerade beslutsstöd som ”gallringspunkter” som kan styra gallringar baserat på gallringsbehov i delar av bestånd. Om utförda gallringar är kända kan dock även äldre laserdata tränade med nya provytor ge tillfredställande skattningar.

Våra resultat för fotogrammetriskattningarna visar att de i många fall är ett bra komplement mellan tiden för olika laserskanningar. En ny laserskanning ger bättre skattningar speciellt i gallringsskogar. På beståndsnivå kan grundytan i fotogrammetriskattningar komma i närheten av skattningarna med laserdata, men variationen på provytenivå var stor vilket försvårar användningen av ”gallringspunkter” som visar gallringsbehov inom ett bestånd. Resultaten visar också på vikten att identifiera gallringar under ajourhållningen. Detta är enklare för skogsföretag som kan uppdatera sina register med utförda åtgärder från skördardata, men betydligt svårare för en myndighet vill ajourhålla skogliga skattningar.

Skattningar av medelhöjd blir mycket bra även vid nyttjandet av fotogrammetriska metoder. Det är speciellt användbart för kartering av beståndsgränser baserat på skillnader i trädhöjder och för den tillämpningen finns inte anledning att invänta en laserskanning.

Att jämföra två olika fotogrammetriskattningar med olika metoder/utförare, markreferenser och så kort mellanrum som två år är svårt, i alla fall för att räkna tillväxt. Tydligt är dock att fotogrammetriskattningen från 2017, gjord med framskrivna provytor som markreferens, visar i medeltal högre värden för alla skattade variabler jämfört med 2015 års skattning. Emellertid är skattningen av grundyta, som är något av fotogrammetrins akilleshäl, svagare.

Skattningar från den tidigare laserskanningen ser ut att fungera väl och ge resultat i paritet med en ny fotogrammetriskanning om förändrade områden exkluderas, men i takt med att ingreppen i skogen blir omfattande finns behov av heltäckande nya skattningar.

Svårigheten ligger i att avgöra hur olika skogliga skattningar ska användas tillsammans. Flera olika skattningar av skogstillståndet gör att man riskerar att hamna i en situation där det blir svårt att avgöra vilken skattning som ska användas i de skogliga registren. Det finns ett tydligt behov för skogsföretag att bestämma hur detta ska hanteras, exempelvis genom kombinationskattningar, samt att hantera andra datakällor som skördardata.

För myndigheter utan tillgång till skördardata kan kombinationsskattningar kompletteras med förändringsinformation från satellitdata även om den inte fångar alla genomförda gallringar.

SKÖRDARDATA

Skördardata har under de senaste åren vuxit fram som en intressant datakälla för ajourhållning av skogliga register. I samband med införandet av StanForD 2010 finns möjlighet att få mer information om den avverkade skogen och även för delar av bestånd vilket kan vara speciellt intressant för en mer detaljerad ajourhållning.

Gallringsuppföljning med skördardata är under implementering på bred front inom skogsbruket och den ger en detaljerad bild av uttaget som kan stämmas av mot planerat uttag, men även en beskrivning av den kvarstående skogen (Möller m.fl. 2015). Många skogsföretag håller på att implementera en effektiv hantering av skördardata vilket kommer ge en bra möjlighet både till ajourhållning av gränser för åtgärder, men även en uppdatering av registerdata efter genomförd gallring. En hel del arbete kvarstår dock; allt från att säkerställa att alla skogsmaskiner registrerar sin position löpande i skördardata till att bygga upp databaser med insamlade data. Här finns även personuppgifter med ibland vilket behöver hanteras i enlighet med GDPR.

Användningen av skördardata förutses öka. Datainsamling och databearbetning sker med hög grad av automatik vilket möjliggör effektiv hantering. Nya tillämpningar kopplat till skoglig planering utvecklas, exempelvis virkesegenskapsmodellering eller beslutsstöd för skogsvård baserat på skördardata.

Nya studier visar även på möjligheten att använda skördardata som markreferensdata för fjärranalysskattningar (Willén m.fl. 2018) vilket också indikerar på en ökad användning framöver.

METODER FÖR SAMMANVÄGNING AV DATA

De kombinationsskattningar som testades visade på nyttan med att kombinera olika datakällor och hur de kan komplettera varandra för bättre resultat. Kombinationskattningarna är förhållandevis enkla att implementera och ett bra alternativ för ajourhållning i väntan på ny datainsamling med laser.

Här kommer även de nya möjligheterna med dataassimilering som kräver fortsatt forskning före operativ användning, men som också kan bli ett bra verktyg för att nyttja äldre skogliga skattningar.

Ett tredje alternativ för sammanvägning är kombinationer med äldre fjärranalysskattningar och nya skördardata som kanske kan bidra till ajourhållningen genom att räkna fram bestånd som inte avverkats med närliggande skördardata som referens. Här pågår också forskning som kan bidra till en effektiv ajourhållning av skogliga data.

Referenser

- Bohlin, J., Bohlin, I., Jonzén, J. & Nilsson, M. 2017. Mapping forest attributes using data from stereophotogrammetry of aerial images and field data from the national forest inventory. *Silva Fennica* vol. 51 no. 2 article id 2021.
- Hägglund, B. & Lundmark, J-E. 1977. Site index estimation by means of site properties – Scots pine and Norway spruce in Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 138.
- Lindgren, N., Persson, H. J., Nyström, M., Nyström, K., Grafström, A., Muszta, A., Willén, E. Fransson, J. Ståhl, G. & Olsson, H. 2017. Improved Prediction of Forest Variables Using Data Assimilation of Interferometric Synthetic Aperture Radar Data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 43:4, 374-383.
DOI: 10.1080/07038992.2017.1356220
- Lindgren, N., Wästlund, A., Bohlin, I., Nyström, K., Nilsson, M. & Olsson, H. 2020. Updating of forest stand data by using recent digital photogrammetry in combination with older airborne laser scanning data. Inskickat manuskript till *Scandinavian Journal of Forest Research*.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata - Forecasting of log product yield based on forest and harvester data. Arbetsrapport 961. Skogforsk.
- Nyström, M., Lindgren, N., Wallerman, J., Grafström, A., Muszta, A., Nyström, K., Bohlin, J., Willén, E., Fransson, J., Ehlers, S., Olsson, H. & Ståhl, G. 2015 Data Assimilation in Forest Inventory: First Empirical Results. *Forests* 6(12):4540-4557.
- Söderberg, J., Willén, E. & Bohlin, J. 2017. Gallringspunkter från fjärranalys – Identification of thinning needs using remote sensing. Arbetsrapport 922. Skogforsk.