



Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 937-2017

Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata – resultat från tre fallstudier

Evaluation of yield forecasts produced by forest
laser estimations and harvester data
– results from three case studies

Jon Söderberg, Erik Willén, Johan J. Möller,
John Arlinger och Nazmul Bhuiyan

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 937-2017

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metod-beskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

Titel:

Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata
– resultat från tre fallstudier.

Evaluation of yield forecasts produced by forest laser estimations and harvester data
– results from three case studies.

Bildtext:

Skördare i färd med slutavverkning på vintertrakt.
Foto: Sven Tegelman, Skogforsk.

Ämnesord:

Utbytesprognos, skördardata, imputering, fjärranalys.
Yield forecast, harvester data, imputation, remote sensing.

Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2017

ISSN 1404-305X



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se



Jon Söderberg, Jägmästare. Arbetar med digitaliserings- och planeringsfrågor, med fokus på fjärranalys, utbytesprognoser och användning av skördardata.



Erik Willén, är jägmästare med mer än 18 års erfarenhet av skoglig fjärranalys. På Skogforsk är Eriks expertområden geodata och fjärranalys för skoglig planering.



Johan J Möller, jägmästare 1993. Anställd på Skogforsk sedan 1996. Arbetar med frågor kring aptering, simulering av virkesutfall, virkesvärde, kvalitetssäkring av skördarens mätning och användning av skördardata. Johan är även ordförande i StanForD-gruppen.



John Arlinger, SkogL. Anställdes 1996 vid Skogforsk. Han arbetar sedan år 2000 främst med frågor kring StanForD, simulering av virkesutfall och utveckling av mjukvaror kopplade till StanForD och skogsmaskiner. Arlinger är sekreterare för StanForD-gruppen.



Nazmul Bhuiyan, civ.ing. teknisk fysik. Anställdes 2010 vid Skogforsk och arbetar främst med utveckling av mjukvaror och algoritmer kopplade till StanForD och skogsmaskiner.

Abstract

Yield forecasts predict what products will be bucked in future harvesting operations. This is important information for forest companies when planning logging activities, because inaccurate forecasts make it difficult to cover the forest industry's requirements for timber and pulpwood.

There is a strong link between forest parameters and product outcomes, so a detailed description of the stand is necessary for accurate yield forecasts. The project aims to increase the precision in yield forecasts by utilising felling instructions, forest remote sensing estimates, and harvest data from local stands.

A method for estimating the yield using local harvester data as reference was evaluated in three case studies. The results show that the total yield volume was estimated with a root mean square error (RMSE) of 21.2 to 39.7 m³sub/ha (7-28%), for total timber volume the RMSE was 13.5 to 23.3 m³sub/ha (9-28%), and for total pulpwood volume the RMSE was 14.0 to 26.1 m³sub/ha (32-40%). For species-specific products, the relative RMSE increased and exhibited bias because of incorrect species distribution estimates.

The method shows good results compared to traditional yield forecasts. This is probably due to accurate description of the local tree shapes, stem defect volume, and the influence of local bucking patterns, which are generally lacking in other methods.

The conclusion is that the imputation of local harvester data should reduce the bias and variation in product yield forecasts. In addition to improved yield forecasts, the method should also reduce the yield calculation cost compared with today's traditional methods.

Förord

Denna rapport sammanfattar resultat från projektet Utbytesberäkningar med stöd av skogliga laserskattningar som löpte under åren 2014–2016 och finansierades av Skogforsk särskilda satsning för ökad produktivitet och skonsamhet. Rapporten fokuserar på att demonstrera och utvärdera en metod för att göra prognoser av utbyten över planerade föryngringsavverkningar. Metoden bygger på en standardiserad hantering av skördardata och beskrivs mer ingående i en separat metodrapport (Möller m.fl., 2017).

Projektet tackar sina samarbetspartners; Bergvik Skog, BillerudKorsnäs, SCA Skog och Södra för tillgång till indata.

Uppsala i september 2017

Jon Söderberg, Erik Willén, Johan J. Möller,

Johan Arlinger och Nazmul Bhuiyan.

Ordlista

Nedan beskrivs begrepp som används i dokumentet.

Beräkningsyta	En beräkningsyta skapas från skördarens avverkningsdata. Ytorna som är 0,5–2,0 hektar stora bildas av områden med liknande övre höjd. Skogforsk verktyg hprYield beräknar hur ytorna ska skapas och räknar sedan ut en mängd nyckeltal för varje yta (Möller m.fl., 2015a).
Forestand	Standard för data om skog och brukande av skog, är en standard för skoglig information som möjliggör att system som hanterar digital information om stående skog ska kunna kommunicera med varandra med automatik och utan förlust av information.
hpr-fil	Produktionsfil från skördare genererad enligt StanForD 2010. Hpr står för h arvester p roduction och är en nyare motsvarighet till det äldre pri-formatet enligt StanForD Classic.
hprYield	En beräkningsmodul som analyserar skördardata och delar in avverkad areal i beräkningsytor. Resultat returneras i ett XML-meddelande hprYieldResults och i ett meddelande enligt standarden Forestand.
Imputering	Med imputering menas att man överför provytedata, i detta fall avverkade objekt med skördare, från avverkning med liknade skogliga egenskaper som de objekt man vill göra prognoser för.
Traktdel	Minsta enhet (avdelning) som ska avverkas för vilken en utbytesprognos ska göras. En trakt består av en eller flera traktdelar, för olika företag så kan andra begrepp användas som <i>objekt</i> , <i>drivning</i> eller <i>avverkningsuppdrag</i> .
Produkt	Begrepp inom StanForD 2010 som är synonymt med sortiment
Prognosobjekt	Trakt där en utbytesprognos ska göras. I normala fall en planerad avverkning. Ett prognosobjekt kan bestå av en eller flera prognosytor.
Prognosyta	Del av eller helt prognosobjekt, för vilken matchning görs av beräkningsytor och utbyte skattas. Fler prognosytor per prognosobjekt görs då ett objekt har stor variation i skogliga egenskaper t.ex. trädslagsfördelning (en grandel och en talldel), höjd eller liknande.
StanForD 2010	StanForD står för S tandard for F orest machine D ata and communication och är en standard för datakommunikation till/från/mellan skogsmaskiner. StanForD 2010 är en nydaning av den äldre standarden StanForD Classic som har funnits sedan slutet på 1980-talet (Arlinger m.fl., 2012).
Skördardatabas	Databas där skördardata bearbetad med hprYield lagras. Data från beräkningsytor lagrade i databasen används för att imputera data till nya objekt som ska avverkas.

Innehåll

Förord	1
Ordlista	2
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	6
Problemformulering.....	9
Syfte och mål.....	10
Avgränsningar	10
Material och Metod.....	10
Studieområden	10
Imputeringstekniken.....	11
Segmentering.....	11
Fallstudie 1	12
Prognoser	13
Fallstudie 2.....	13
Bruttourval	15
Prognoser med hprYield	15
Prognoser med hprSgd.....	15
Prognoser på Segment.....	15
Fallstudie 3.....	16
Prognoser med hprYield	16
Utvärdering.....	17
Ekvationer	17
Resultat	18
Fallstudie 1	18
Imputering på traktdelar.....	18
Fallstudie 2.....	21
Imputering på traktdelar.....	22
Imputering på segment.....	24
Fallstudie 3.....	27
Imputering på traktdelar.....	27
Diskussion	29
Resultat.....	29
Felkällor.....	30
Arealutvärdering.....	30
Tillförlitlighet på utbytesprognoser	31
Segmentering.....	31

Implementeringsstatus	31
Utvecklingsmöjligheter	31
Hpr-filer.....	31
Bruttourval	32
Gallringsprognoser.....	32
Slutsatser	32
Referenser.....	33
Bilaga 1 Samband mellan laserskattningar och skördardata.....	35
Bilaga 2 Presentation av arbete för Sveaskog.....	43

Sammanfattning

Genom utbytesprognoser förutspås vilka produkter som kommer att apteras vid framtida avverkningar. Detta är viktig information för verksamhetsplanering hos skogsbolag och deras industrikunder. Dåliga prognoser gör det svårt att täcka industrins råvarubehov.

Det finns ett starkt samband mellan skogliga parametrar och produktutfall. Därför behövs en bra beskrivning av skogen för att kunna göra bra utbytesprognoser. Projektet syftar till att öka precisionen i utbytesprognoser genom att utnyttja traktdirektiv, skogliga fjärranalyskattningar och skördardata från närliggande objekt.

En metod för att skatta utbyte med lokala skördardata som referens utvärderades i tre olika fallstudier. Resultaten visar att den totala utbytesvolymen skattades med ett medelfel på 21,2–39,7 m³fub/ha (7–28 procent), total timmervolym 13,5–23,3 m³fub/ha (9–28 procent) och för total massavedsvolym blev medelfelet 14,0–26,1 m³fub/ha (32–40 procent). För trädslagsspecifika produkter blev medelfelen relativt sett större och uppvisade systematiska avvikelser på grund av felaktiga uppskattningar av trädslagsfördelningar.

Resultatet på volymkattningar och sortimentsutfall visar på mycket bra precision i jämförelse med traditionella utbytesberäkningar. Troligtvis på grund av bra lokalbeskrivning av form, stamfelsved och inverkan av lokala apteringar som till stor del saknas i andra metoder.

Slutsatsen är att med imputering av lokala skördardata bör systematiska fel och spridning av produktutfall för enskilda objekt kunna minskas. Samtidigt med förbättrade prognoser så bör även kostnaderna kunna sänkas jämfört med dagens traditionella utbytesberäkningsmetoder.

Bakgrund

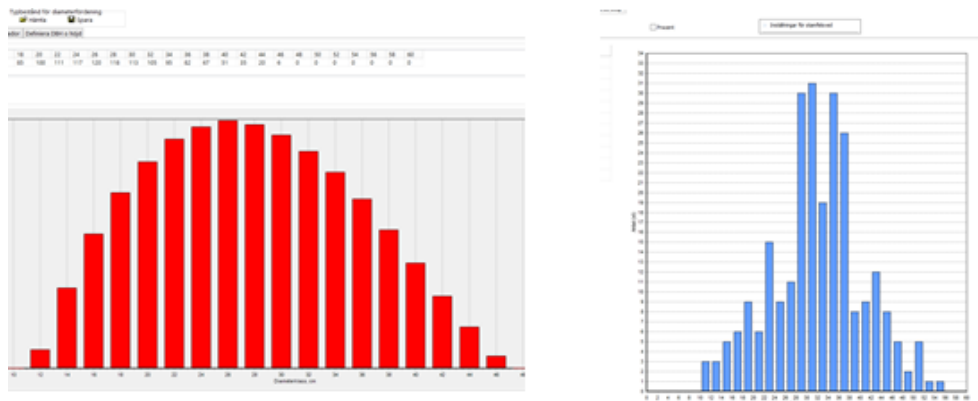
Utbytesberäkningar används för att beskriva utfallet i form av skogens produkter, exempelvis olika sorter av timmer och massaved. Genom att utföra utbytesberäkningar på den stående skogen kan utbytesprognoser göras för att skatta kommande utbyten. Utbytesprognoser ska användas för att prioritera avverkningar som täcker industrins behov av råvara och i takt med att behoven blir mer detaljerade är det viktigt att prognoserna för kommande utbyten blir bättre än i dag (Möller m.fl., 2015b).

För att göra bra utbytesberäkningar är trädslagsvisa diameterfördelningar en viktig parameter. Finns medeldiameter och stamantal per trädslag kan en diameterfördelning beräknas, vilket idag används i beräkningskärnor av alla stora skogsföretag. Beräkningar utgår då från en bestämd diameterspridning kring ett medelvärde, ofta normalfördelad. Andra utbytesprognoser bygger på funktioner baserat på medelstammens storlek. För mindre skogsföretag är det vanligt att erfarenhetstal används, den skogliga fältpersonalen gör en bedömning av utbytet under fältarbetet. Detta kräver naturligtvis en stor erfarenhet från medarbetare, vilket kan vara en utmaning. Generellt sett sker i dag sällan återkoppling mellan utbytesprognoser och verkliga utfall, vilket är viktigt för förbättrade prognoser (Möller m.fl., 2015b).

I ett avslutat EU-projekt (Flexwood) användes detaljerade laserskattningar (rutnät på 1–5 meter) för att beskriva skogen som indata till utbytesprognoser (Barth m.fl., 2014). Laserskattningarna kompletterades med optiska data (en flygburen multispektral sensor) för att kartera trädslagsblandningen och tillsammans med fältdata kunde sedan skattningarna användas till utbytesprognoser. Det gav ett gott resultat och användningen av fjärranalys gav en högre överensstämmelse med skördardata än fältinventeringar. En av fördelarna med fjärranalysskattningar är möjligheten att bättre fånga den skogliga variationen än fältmätta provytor genom att fjärranalys täcker hela avverkningen. Fjärranalysskattningarna kan även användas till att höja kvaliteten på uppgifterna i beståndsregister vilka kan användas som indata i utbytesberäkningarna.

Efter Lantmäteriets nationella laserskanning som gjordes för att producera en detaljerad markmodell har skogliga skattningar över Sverige tagits fram med stöd av fältmätta provytor och laserpunktmolnet. Alla stora skogsbolag har tagit fram egna skattningar, men även Skogsstyrelsen har en nationell produkt (Skogliga Grunddata) för fri användning. De nya fjärranalysskattningarna kan användas för att fånga den skogliga variationen i bland annat virkesvolym och trädhöjd inom bestånd, vilket tillsammans med trädslag förklarar den största delen av det kommande utbytet efter avverkning.

Används skogliga skattningar som baseras på den nationella laserskanningen blir det svårare att ta fram bra diameterfördelningar. Figur 1 visar en beräknad diameterfördelning framtagen med ett beståndsmedelvärde som grund och när det jämförs med den skördarmätta diameterfördelningen kan det konstateras att det är svårt att beskriva den verkliga diameterfördelningen. En försvårande faktor är trädslagsfördelningen, framförallt inväxten av gran. Mer om detta i (Bilaga 1).



Figur 1.
Till vänster, diameterfördelning beräknad från beståndsmedelvärde ifrån laserskattning och till höger den faktiska diameterfördelningen vid förnyringsåtgärd utifrån skördarens mätning.

I takt med att skördare registrerar sin position med GPS och att insamlade data lagras enligt en standard (StanForD, 2010) har intresset ökat bland skogsföretag att samla på sig skördardata för vidare analyser. I pågående samarbeten mellan Skogforsk och flera skogsföretag byggs databaser upp för att hantera och analysera skördardata, så kallade skördardatabaser. Detta ger en bättre kännedom om den regionala variationen, inklusive andel stamfölsved och trädens formtal vilka påverkar utbytet. Skördardatabaserna möjliggör också för en strukturerad uppföljning av olika skördarförare på exempelvis andelen manuella kap som ger avvikelser från det planerade utfallet från avverkningar. Uppbyggnaden av skördardatabaser öppnar även för en tydligare koppling till beståndsregister via den nyligen spridda tekniken kring gallringsuppföljning med skördardata som beskriver den kvarvarande skogen efter gallring (Möller m.fl., 2015a). Därutöver kan potentialen för skördardata att användas som referensdata för olika fjärranalyskattningar exploateras. Den kräver dock en fungerande koordinatregistrering (via GPS) under avverkning.

Erfarenheter och tester visar på goda möjligheter att utifrån avverkningsdata från skördare prognostisera kommande avverkningar. Dessa uppgifter från avverkade bestånd har tidigare varit svåra för skogsbruket att använda då skördardata tidigare endast samlades in i aggregerad form. I dag med användning av pri- eller hpr-filer vid insändning av data så samlas data på stocknivå. Dessutom samlas koordinater in på alla träd, vilket innebär att en geografisk koppling kan göras mot t.ex. beståndsregister, traktdelar eller skogliga skattningar från fjärranalys. Segmenteringen av beståndet i s.k. beräkningsytor bedöms vara en nyckel vid användning av skördardata i kombination med fjärranalysdata (laser eller liknande) då variationer kan beskrivas med mycket högre precision. Detta illustreras i Figur 2 där skördardataresultatet presenteras i traktdelar mellan 0,5 – 1,0 hektar baserade på trädens övre höjd (ÖH). I objektet hade träden vid slutavverkning en variation på ÖH från 18 till 32 meter och en variation i volym mellan beräkningsytor på 161–443 m³fub/ha. Medelvärdet för objektet var 267 m³fub/ha och ÖH 25 meter. Tidigare har endast medelvärden för objekt som det nedan varit tillgängliga från skördardata (Möller m.fl., 2017).

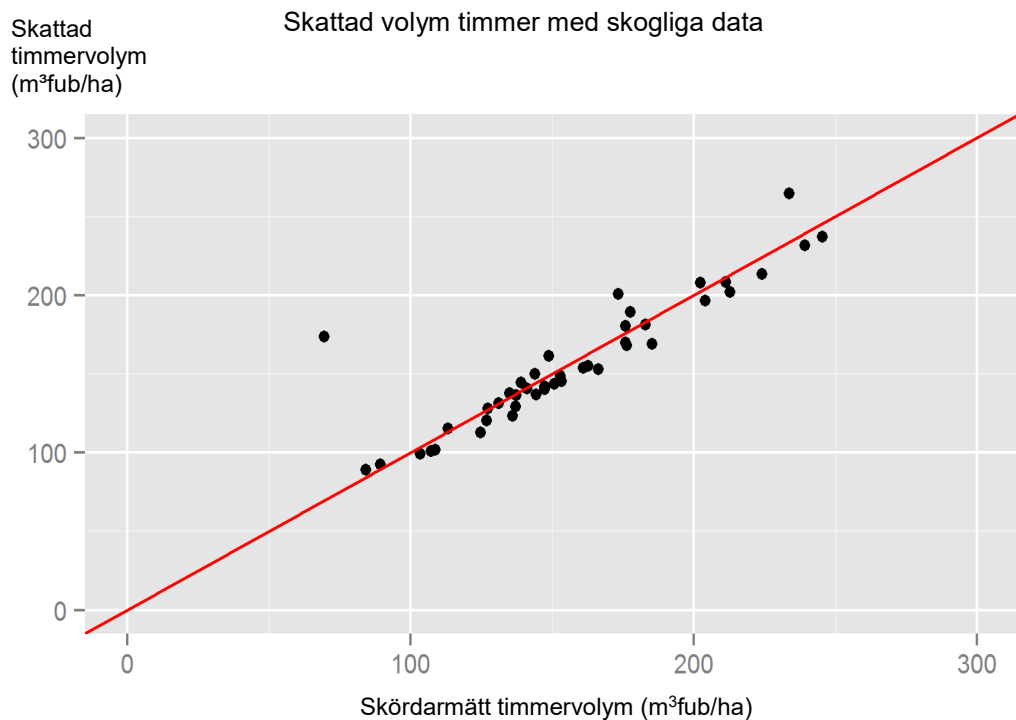


Figur 2.

Slutavverkningsobjekt segmenterat med hjälp av Skogforsks program hprGallring i beräkningsytor mellan 0,5 – 1,0 ha. I figuren illustreras volymsutfall per ha som varierar mellan 161–443 m³fub/ha.

För att skogsföretagen ska kunna dra nytta av dessa data så är det viktigt att tillgängliggöra skördardata i företagens planeringssystem. Skogforsk utvecklar en viktig komponent i systemet där avverkningsobjekt segmenteras i olika traktdelar med liknande egenskaper och där nyckeltal för dessa traktdelar (beräkningsytor) beräknas med hjälp av hprYield (Bhuiyan m.fl., opubl.).

I ett examensarbete vid SLU (Söderberg, 2015) utvärderades möjligheten att från laserpunktmoln prediktera beståndsegenskaper med skördardata som referens, vilket visade sig fungera väl. Under sommaren 2015 genomfördes en studie i samarbete mellan SLU, Sveaskog och Skogforsk för att visa hur skördardata skulle kunna användas för att prediktera virkesutbyten med skogliga parametrar (exempelvis beräknat ur laserdata eller manuella mätningar) som indata och även detta gav lovande resultat (Bilaga 2). Figur 3 kommer från studien och visar resultat av skattningar av timmervolym när den korrekta skogliga beskrivningen (skogliga parametrar uppmätta med skördare i samband med avverkning) används för att skatta timmervolymer baserade på skördardata från objekt med liknande skogliga data (ÖH, grundnya trädslagsfördelning).



Figur 3.
Skattad timmervolym per trakt med kombinationen laser-skördardata utvärderat mot avverkningsdata.

Förutsättningarna för att använda skördardata för denna typ av analyser är återigen att GPS:en är aktiv på skördaren under avverkningen och dessutom måste den skogliga beskrivningen av den planerade avverkningen vara av god kvalitet och yttäckande, vilket är möjligt med nyttjande av nationella laser-skattningar.

PROBLEMFORMULERING

Dagens utbytesprognoser utförs i beräkningskärnor som bygger på bestånds-medelvärden som sannolikt inte fångar den skogliga variationen i avverkningsbestånd. Det medför att prognoserna blir sämre och fungerar mindre bra för att styra virkesflöden från skogen till efterfrågade sortiment vid industrin (Möller m.fl., 2015b). Utmaningen ligger i att använda fjärranalysskattningar för att få kvalitetssäkrade beståndsdata och att bättre fånga den skogliga variationen i planerade avverkningar. För organisationer som enbart nyttjar erfarenhetstal är problemet att finna en lämplig metod som minskar variationen mellan fältpersonalen.

SYFTE OCH MÅL

Projektet syftade till att öka precisionen i utbytesberäkningar genom att utnyttja skogliga fjärranalyskattningar och skördardata från närliggande objekt.

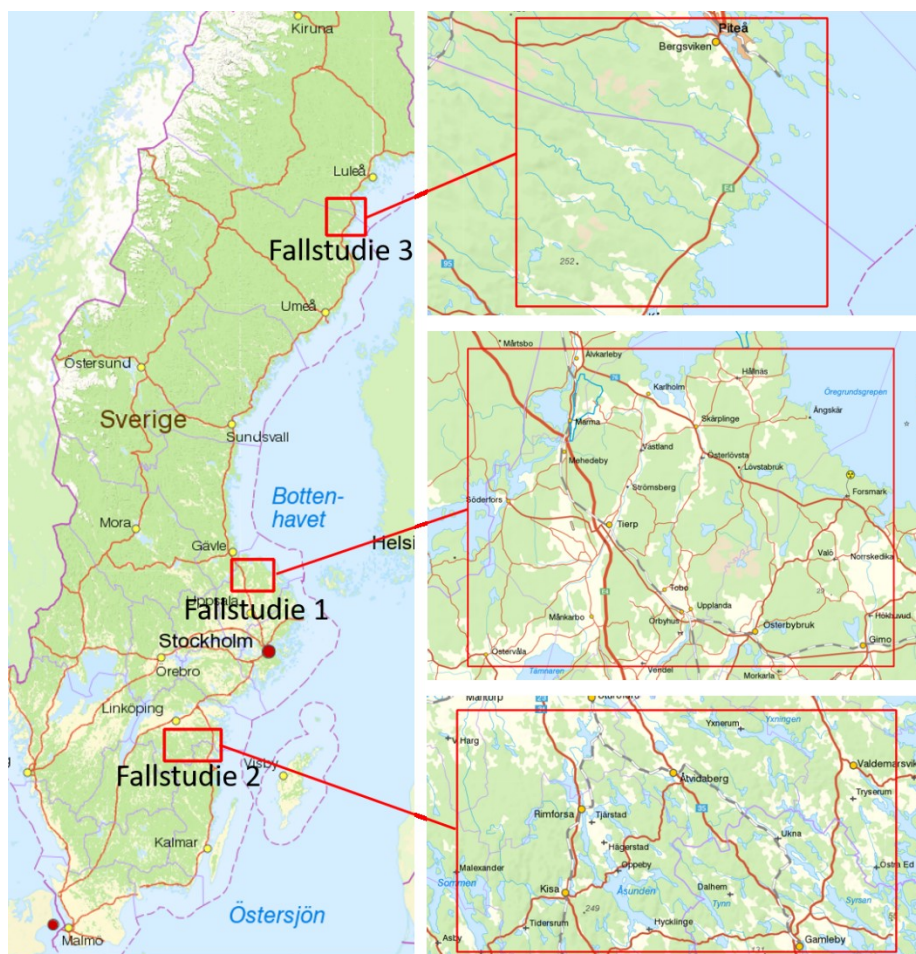
Projektets mål var att ta fram och utvärdera en eller flera metoder för utbytesprognoser som baseras på skogliga parametrar från laserskanning i kombination med befintlig information från beståndsregister och skördarmätning i tidigare avverkningar. Prognoserna över utbytet skulle jämföras med utbytet från skördardata vid avverkning av objekten, vilket betraktas som facit i studien. En jämförelse med företagens utbytesberäkningar skulle också inkluderas i studien.

AVGRÄNSNINGAR

I studien ingår endast planerade slutavverkningar. Denna rapport fokuserar på demonstrationer, fallstudierna, medan en mer teknisk metodrapport (Möller m.fl., 2017) beskriver skördardatabaser och tillvägagångssättet mer detaljerat.

Material och Metod

STUDIEOMRÅDEN



Figur 4.
Studieområden för Fallstudie 1 i norra Uppland, Fallstudie 2 södra Östergötland och för Fallstudie 3 norra Västerbotten. Lantmäteriet 2014/00878.

Fallstudie 1 som genomfördes under hösten 2015 fokuserades på Uppland. Under 2016 valdes två separata områden ut för att utvärdera tillförlitligheten för operationella utbytesprognoser som utvecklats i *Fallstudie 1*. För *Fallstudie 2* valdes ett område i södra Östergötland, centrerat runt Åtvidaberg. *Fallstudie 3* förlades till norrlandskusten, i ett område mellan Piteå och Skellefteå (Figur 4).

IMPUTERINGSTEKNIKEN

Med imputering kan statistiska samband användas för att skatta exempelvis utbyten i form av sortiment. I detta fall användes beskrivningen av den stående skogen för att hitta tidigare avverkningar med samma eller liknande skogliga beskrivning som bärare för att skatta utbytet. Som exempel, en tallskog med en medeldiameter på 24 centimeter och som är 22 meter hög vid avverkning förutsätts få samma utbyte som en tallskog med liknande skoglig beskrivning som avverkades i närområdet inom de senaste två åren.

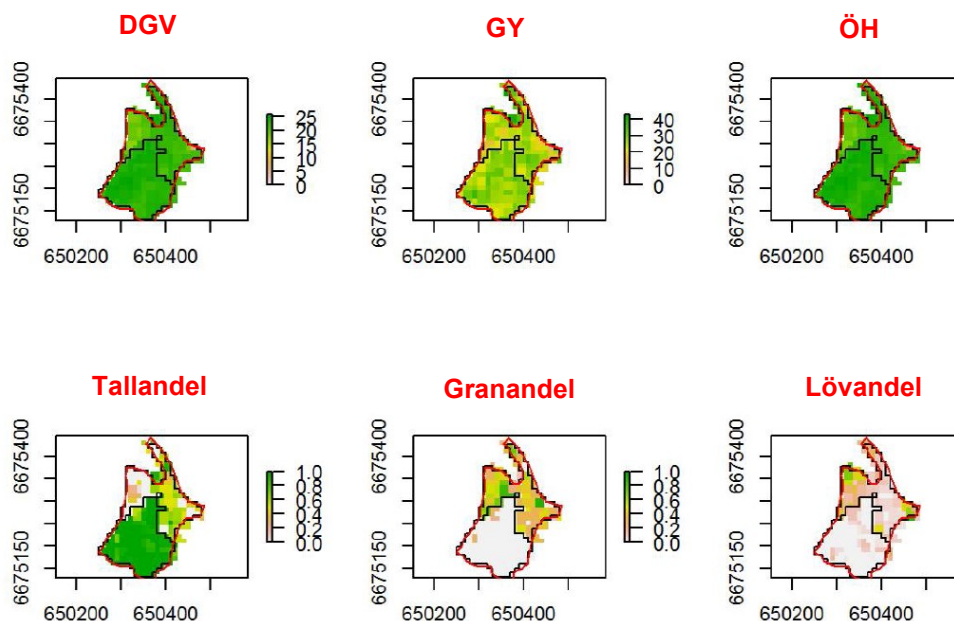
För att skatta utbytet från bestånden som var planerade för avverkning användes kodbiblioteket "yaImpute" (Crookston & Finley, 2007) för programpaketet "R" (Anon, 2016), som är fritt tillgängligt. "yaImpute" utför imputering på multivariata data, dvs. flera variabler kan skattas med en och samma funktion.

Som imputeringsmetod valdes kMSN (Most Similar Neighbor), där ett antal (k) av de mest liknande referensytorna (grannar) väljs ut för varje yta som skall skattas och medelvärdena av dessa "grannar" överförs till prognosytan (Moeur & Stage, 1995). Imputering kräver dock en omfattande referens-databas, eftersom metoden inte kan extrapolera skattningsvärden, utan endast väljer värden ur det tillgängliga referensmaterialet. Om referensdatabasen inte beskriver hela variationen tillräckligt väl, syns det ofta i skattningarna genom att låga värden överskattas och höga värden underskattas.

De variabler som skattades var volymer för; normaltimmer, klintimmer, massaved, energived samt övrig ved för vart och ett av trädslagen tall, gran, contortatall, björk och övrigt löv. Då trädslagsfördelningarna ifrån indata endast beskrev tall, gran, contortatall och löv, redovisas björk och övriga löv-sortiment gemensamt under löv.

Segmentering

De planerade avverkningarnas avgränsning användes för att fånga variationen i laserskattningarna genom att segmentera inom beståndsgränserna med avseende på medeldiameter, övre höjd, grundyta och trädslagsblandning. Figur 5 visar ett exempel på hur en planerad avverkning kan delas in i mindre delar (s.k. prognosytor) baserat på laserskattningar. De olika färgerna indikerar hur skogen varierar och det kan noteras en något högre medeldiameter och övre höjd i den södra delen (nedre delen) och där domineras skogen helt av tall medan det i de norra delarna är mer blandskog. Genom att dela in avverkningstrakterna i prognosytor kan utbytesprognoserna göras för dem separat och sedan summeras för hela beståndet. Samma information som fångas från laserskattningarna kan även identifieras i form av trakttdelar under avverkningsplaneringen.



Figur 5.
Laserskattningar fördelat över olika traktdelar (svarta linjer) i en trakt (röd linje).

FALLSTUDIE 1

Bergvik Skog har integrerat laserskattningar i sina beståndsregister. De har även trädslagskarteringar, baserade på laserdata och satellitdata, i samma rutnät som laserskattningarna. Skattningarna kan därför användas för att beskriva samma variation vars medelvärde är fångat i beståndsregistret. Laserskattningarna över Bergviks skogar har utförts av COWI med Bergviks egna inventeringsytor som fältreferens.

Under 2015 samlades 21 stycken traktdirektiv in över planerade föryngringsavverkningar från skogar i Uppland med tillhörande digitala traktkartor. Dessa blev prognosobjekten för *Fallstudie 1*. Över samma trakter insamlades även laserskattningar och trädslagskarteringar. Data som beskrev den stående skogen sammanställdes i en databas och innehöll summeringen från laserskattningarna per traktdel över de planerade avverkningarna samt trädslagskartering.

Skördardata erhöles från Skogsbrukets datacentral (SDC) efter medgivande från BillerudKorsnäs. Samtliga avverkade objekt under hela 2014 och fram till september 2015 från tre utvalda skördare i Uppland beställdes från SDC. Skördarfilerna bearbetades med hprAnalys (Möller m.fl., 2011), ett verktyg för att hantera skördardata, och resultaten samlades i en databas för att användas som referensdata för skattningar. Referensdatabasen för *Fallstudie 1* bestod av lokala skördardata, uppdelat i beräkningsytor med en beskrivning av den stående skogen (innan avverkning) och utfallet från den avverkade skogen i form av produkterna: timmer, massaved, energi/brännved samt oklassat. Drygt 600 beräkningsytor fanns i referensdatabasen.

Under slutet av november 2015 insamlades skördardata från de, under hösten, genomförda föryngringsavverkningar från utvalda skördare för utvärdering av

skattningarna. Skördardata samlades i en databas för utvärdering, där utfallet sammanställdes per avverkningstrakt enligt traktdirektiven (Tabell 1).

Tabell 1.

Prognosobjekt i Uppland där utbytesprognoser utvärderades i *Fallstudie 1*.

Traktnamn	Traktnummer	Traktdelar	Area (ha)	TGL
Skorpstugan	128759	4	4,2	451
Knyppplan	129092	2	8,7	811
Stenmo	129174	4	23,7	721
Nybol	129192	1	18,3	721
Hagmossen	129213	1	10,4	451
Strömsberg	129332	4	14,6	631
Gropen	129344	3	5,4	181
Hönshusvägen	129389	1	1,7	X00

Prognoser

Metodvalet i *Fallstudie 1* baserades på det exjobb (Söderberg, 2015) och de fortsatta studier (Bilaga 2) som genomfördes tillsammans med SLU under åren 2014–2015. Ur referensdatabasen valde imputeringen ut ett antal (k) beräkningsytor som mest liknar prognosytan med avseende på dominerande trädslag, grundyta per hektar, grundtyevägd medelhöjd, grundtyevägd medeldiameter samt volymsandel tall, gran och löv. I denna fallstudie gjordes 20 olika prognoser för alla trakter med medelvärden från 1–20 beräkningsytor (k).

FALLSTUDIE 2

I *Fallstudie 2* användes Skogsstyrelsens Skogliga Grunddata som källa för att beskriva skogen som planerats för avverkning. Södra bistod med traktdirektiv från 20 planerade slutavverkningar (prognosobjekt) som innehöll sammanlagt 34 traktdelar (prognosytor). Där fanns bland annat trädslagsblandning beskriven men också nödvändiga digitala georefererade kartor över trakterna.

En linjeinventering genomfördes i 15 av de planerade trakterna, för att bestämma trädslagsfördelning på mindre enheter, segment, inom traktdelarna. Ett antal parallella linjer med cirka 10 meters mellanrum lades ut i segmenten, trädslag och brösthöjdsdiameter registrerades för alla träd inom en meter från linjen. Skogliga variabler sammanställdes från Skogliga grunddata för varje segment, tillsammans med inventeringsdata (Tabell 2).

Tabell 2.

Beskrivning av 55 inventerade segment från 15 trakter, där volym, grundyta, hgv och dgv sammanställts från skogliga grunddata medan dgv total, dgv tall, dgv gran och dgv löv kommer från fältinventering

Variabel	Enhet	Min	Medel	Max	SD
Volym	m ³ sk ha ⁻¹	158,6	311,1	455,0	64,7
Grundyta	m ² ha ⁻¹	19,8	30,4	39,0	4,1
Hgv	Meter	16,3	22,9	27,4	2,4
Dgv	Centimeter	20,9	30,6	36,4	2,8
Dgv total	Centimeter	22,2	34,1	41,5	4,0
Dgv tall	Centimeter	0,0	34,8	44,8	9,6
Dgv gran	Centimeter	22,3	33,8	42,6	4,0
Dgv löv	Centimeter	0,0	27,0	45,7	10,0

Skogforsks skördardatabas (Möller m.fl., 2017) blev operationell under våren 2016 och har använts som referensdatabas för utbytesprognoserna i *Fallstudie 2*. Vid tidpunkten för prognoserna i *Fallstudie 2* fanns över 22 000 beräkningsytor från stora delar av landet i skördardatabasen.

För att kunna utvärdera prognoserna begärdes skördardata ut från SDC, med tillstånd från Södra, för alla planerade trakter som avverkats under våren och sommaren 2016. Skördardata som användes för utvärdering av prognoserna samlades under hösten 2016 i en databas (Tabell 3).

Tabell 3.

Beskrivning av avverkade prognosobjekt som utvärderades i Åtvidabergsområdet under *Fallstudie 2*.

Traktnamn	Traktnummer	Traktdelar	Area (ha)	TGL
Dånhult	1	1	7,9	091
Råvantorp	2	1	3,9	181
Mulestad	3	4	10,8	280
Yxsmedhult	4	1	4,9	361
Kättestorp	5	2	2,8	460
Fjälla	6	3	8,6	370
Yxnerum	7	1	3,3	190
Gärdala	8	1	3,1	370
Ekhult	9	1	2,9	370
Brokind	10	3	10,5	190
Valla	11	1	2	280
Mörketorp	12	1	1,6	0X0
Russtorp	13	1	1,9	190

För varje trakt del sammanställdes skogliga parametrar (grundyta per hektar, grundtevägd medelhöjd och grundtevägd medeldiameter) med hjälp av Skogsstyrelsens Skogliga Grunddata. Denna skogliga beskrivning tillsammans med trädslagsfördelning från trakt direktiven användes som bäraradata för att koppla prognosytor till beräkningsytor i skördardatabasen och skatta utbytet. I *Fallstudie 2* gjordes prognoser för alla prognosytor med medelvärden från 1, 3, 5, 10 och 20 beräkningsytor (k).

Bruttourval

Skogforsks skördardatabas har successivt fyllts på med skördardata från stora delar av landet. För att ta fram ett lokalt referensmaterial, gjordes ett s.k. bruttourval, som valde ut de 1 000 beräkningsytor i skördardatabasen som låg geografiskt närmast prognosobjektet. I urvalet sorterades även beräkningsytor från gallringsåtgärder bort.

Prognoser med hprYield

I denna variant var prognosytorna synonyma med trakt delarna från trakt direktiven. Ur de 1 000 beräkningsytorna som tagits fram i bruttourvalet valde imputeringen ut ett antal (k) beräkningsytor som mest liknar prognosytan med avseende på tallandel, granandel, contortaandel, lövandel, grundyta per hektar, grundtevägd medelhöjd och grundtevägd medeldiameter. Genom medelvärdesbildning av utbytesvolymen från de utvalda beräkningsytorna skattades prognosytans utbytesvolym.

Prognoser med hprSgd

Då Skogliga Grunddata inte ajourhålls och området runt Åtvidaberg till stor del laserskannades redan under åren 2010–2011 gav de skogliga parametrarna inte en aktuell beskrivning av trakterna vid avverknings tidpunkten. Det var därför naturligt att vänta sig en underskattning i utbytesprognoser gjorda med Skogliga Grunddata. Därför utvecklade Skogforsk en variant på hprYield prognoser, kallad hprSgd. Prognoser med hprSgd utfördes enligt beskrivningen under avsnittet om hprYield ovan, med undantaget att beräkningsytornas skogliga beskrivning (grundyta, hgv och dgv) ersattes med Skogliga Grunddata. Genom att beräkna skogliga parametrar från skogliga grunddata även för beräkningsytorna och använda dessa i imputeringen kan kopplingen mellan prognosyta och beräkningsytor bli bättre, då båda beskriver skogen vid ungefär samma tidpunkt.

Prognoser på Segment

I *Fallstudie 2*, gjordes ytterligare utbytesprognoser där trakt delarna delades in i mindre enheter (segment) beroende på spatiala skillnader i skogliga parametrar (Skogliga Grunddata). Segmenten blev då prognosytor där utbytet skattades. Segmenteringen utfördes med ArcGIS verktyget "*segment mean shift*". Segmenten var tvungna att vara minst en halv hektar, sammanhängande områden. För att bestämma trädslagsfördelningen inom varje segment genomfördes en linjetaxering. Eftersom trädhöjden inte mättes beräknades trädslagsfördelningen på inventerad grundyta i stället för volym. Förutom den nya definitionen av en prognosyta, genomfördes prognoserna i enlighet med beskrivningen under avsnittet för hprYield-prognoser.

FALLSTUDIE 3

SCA tillhandahöll en fotogrammetriskattning baserad på digitala flygbilder från sommaren 2014. Skattningen utfördes av företaget Blom (i dag del av Terratec) med fältytor från SCA:s företagstaxering som markreferens. Även Skogliga Grunddata från området, som mestadels laserskannats under 2010 och 2011, inhämtades från Skogsstyrelsen. Traktinformation med utbytesberäkning, avverkningsplanering och georefererad avverkningskarta erhöles från SCA för varje prognosobjekt. För varje drivningsenhet (traktdel) levererade SCA även en trädslagsfördelning från taxeringsuppgifter.

Skogforsks skördardatabas, användes även för *Fallstudie 3* som referensdatabas för utbytesprognoserna. Men trots den stora mängden skördardata, med cirka 50 miljoner stockar, var Norrlandskusten svagt representerad i referensmaterialet. Skördardata för utvärdering av prognoserna levererades av SCA i mitten av oktober 2016. Sammanlagt 5 avverkade trakter av initialt 16 prognosobjekt utvärderades i studien (Tabell 4).

Tabell 4.
Avverkade prognosobjekt som utvärderades i *Fallstudie 3*.

Traktnamn	Traktnummer	Traktdelar	Area (ha)	TGL
Sörbäcksmýran	12749	1	6,4	910
Åforsliden	12781	1	2,7	811
Finnträsk	12802	1	8,6	X00
Yxtjärn	13888	1	0,4	X00
Jävrebodarna	13889	1	1,0	730

I likhet med *Fallstudie 2* användes skogliga parametrar (grundyta, grundytavägd medelhöjd och grundytavägd medeldiameter) som grund för skattningarna, dessa sammanställdes med hjälp av Skogliga Grunddata för varje traktdel. Tillsammans med trädslagsfördelning från traktdirektiven utgjorde detta prognosytornas beskrivning. I *Fallstudie 3* gjordes även en utbytesprognos för traktdelar baserad på bärardata från SCA:s flygbildsskattning i stället för Skogliga Grunddata.

Prognoser med hprYield

Även i *Fallstudie 3* användes ett bruttourval, beskrivet under *Fallstudie 2*, den regionala kopplingen blev dock sämre, då många beräkningsytor i urvalet kom från Norrlands inland. De beräkningsytor som mest liknade prognosytan med avseende på volymsandelar av tall, gran, contortatall och löv, samt grundyta, grundytavägd medelhöjd och grundytavägd medeldiameter identifierades i imputeringen. Endast hprYield-varianten användes, men fem olika skattningar gjordes baserade på 1, 3, 5, 10 och 20 utvalda beräkningsytor. Genom medelvärdesbildning av produktvolymerna från de utvalda beräkningsytorna skattades prognosytornas utbytesvolym.

UTVÄRDERING

Utbytesprognosen görs för det planerade objektets areal och med hjälp av objektets skogliga beskrivning, men den planerade området överensstämmer inte alltid med det område som faktiskt avverkas. Därför jämfördes avverkningsytan, framtagen i hprAnalys (Möller m.fl., 2011) med hjälp av GPS-positioner för alla avverkade träd, med den planerade ytan. Endast de delar av de avverkade ytorna som överlappade med planlagda ytor räknades med i utvärderingsarealen och enbart träd med koordinater som föll innanför den gemensamma ytan valdes ut. Således har träd som avverkats utanför den gemensamma ytan uteslutits från analyserna, t.ex. avlägg och basväg fram till trakten. Stockvolymerna summerades i produktkategorier och räknades om till volymer per hektar baserat på den gemensamma ytans areal.

Ekvationer

För varje variant på skattningsmetoden som testades sammanställdes alla sortimentsvolymerna per avverkningstrakt. För att jämföra olika varianter på skattningar användes absoluta och relativa medelfel (Ekvation 1 och 2). Med hjälp av ekvation 3 och 4 kunde systematiska avvikelser i prognoser identifieras och kvantifieras. Genom att beräkna standardavvikelse (Ekvation 5) erhöles mått på den genomsnittliga avvikelsen.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad [1]$$

$$RMSE\% = 100 * \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad [2]$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{n} \quad [3]$$

$$Bias\% = 100 * \frac{Bias}{\bar{y}} \quad [4]$$

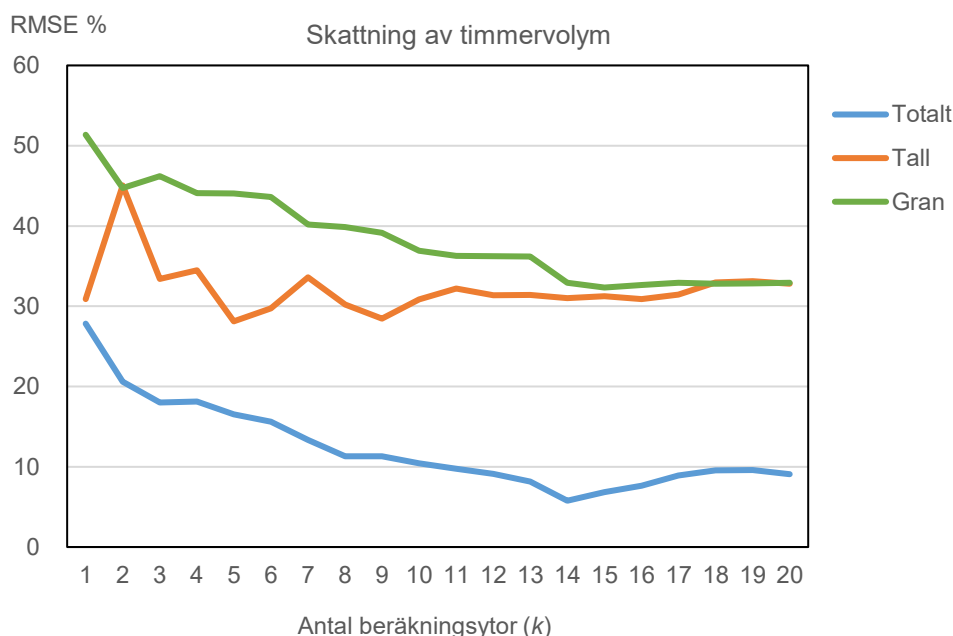
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad [5]$$

Där n är antalet utvärderingsbestånd, x_i är det skattade värdet för bestånd i , y_i är det observerade värdet för bestånd i , $\bar{x}$ är medelvärdet av de skattade värdena och $\bar{y}$ är medelvärdet av de observerade värdena.

Resultat

FALLSTUDIE 1

Utbytesprognoserna gjordes på traktdelnivå och totalt bestod utvärderingsmaterialet av 20 traktdelar fördelade på åtta prognosobjekt. Vid skattningar av traktdelar krävdes i *Fallstudie 1*, 10–15 beräkningsytor (k) för medelvärdesbildning innan medelfelet (RMSE) stabiliserade sig (Figur 6).



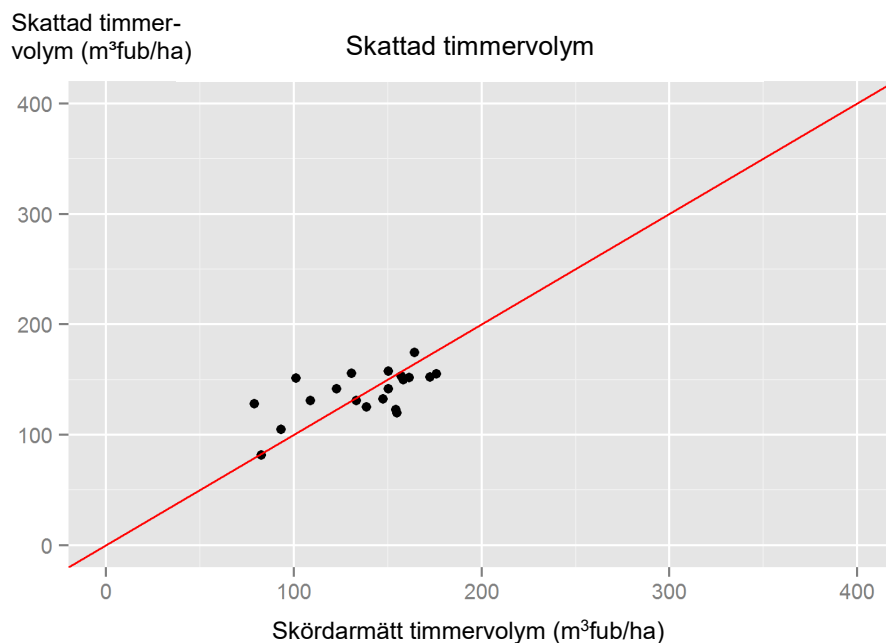
Figur 6.

Variation av medelfel (%) för skattning av timmervolym i förhållande till antalet medelvärdesbildande beräkningsytor (k) i *Fallstudie 1*. Prognoser för timmervolym från 20 traktdelar baserade på laserdata och trädslagsblandning från traktdirektiv.

Imputering på traktdelar

I studien gjordes 20 olika utbytesprognoser, med olika antal (k) medelvärdesbildande beräkningsytor. Här presenteras resultaten som baseras på imputering av medelvärden från 14 beräkningsytor från skördardatabasen. Utbytet skattades för varje traktadel, totalt och även trädslagsvis för tall, gran och löv.

I Figur 7 visas sambandet mellan imputerad total timmervolym per hektar och den inmätta timmervolymen per hektar från skördardata.



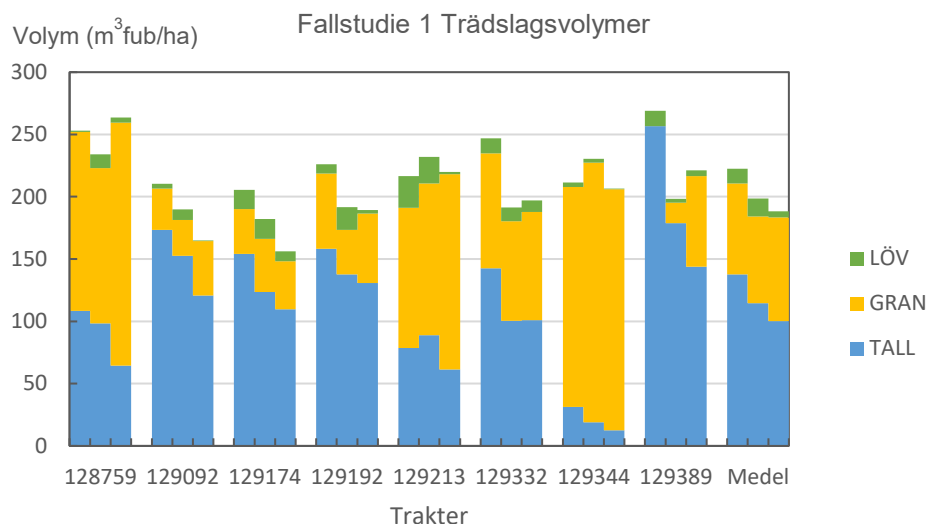
Figur 7.
Samband mellan imputerad timmervolym och utfall vid avverkning, redovisad som total volym per hektar för varje prognosyta (n=20).

Utfallet av imputeringen sammanställdes sedan på traktnivå. Prognoserna i *Fallstudie 1* gav medelfel runt 14 procent för volym, med undantag för lövvolym (42 procent) (Tabell 5). Prognoserna för timmer resulterade i medelfel på 9–12 procent, medan variationen i massavedsprognoserna var stor, med medelfel mellan 35–43 procent och dessutom behäftade med systematiska överskattningar.

Tabell 5.
Medelfel i m³fub/ha (RMSE) och relativt medelfel (RMSE %) samt absoluta och relativa systematiska avvikelser (Bias resp. Bias %) för prognoser på de åtta prognosobjekten i *Fallstudie 1*.

Prognos	Sortiment	RMSE	RMSE %	Bias	Bias %
hprYield	Volym	26,5	13	4,2	2
hprYield	Volym tall	13,5	15	2,4	3
hprYield	Volym gran	15,0	14	1,1	1
hprYield	Volym löv	1,6	42	0,7	18
hprYield	Timmer	13,5	9	0,1	0
hprYield	Talltimmer	8,5	12	0,9	1
hprYield	Grantimmer	6,2	9	-0,9	-1
hprYield	Massaved	16,4	37	8,4	19
hprYield	Tallmassa	6,6	35	1,5	8
hprYield	Granmassa	11,2	43	6,9	27

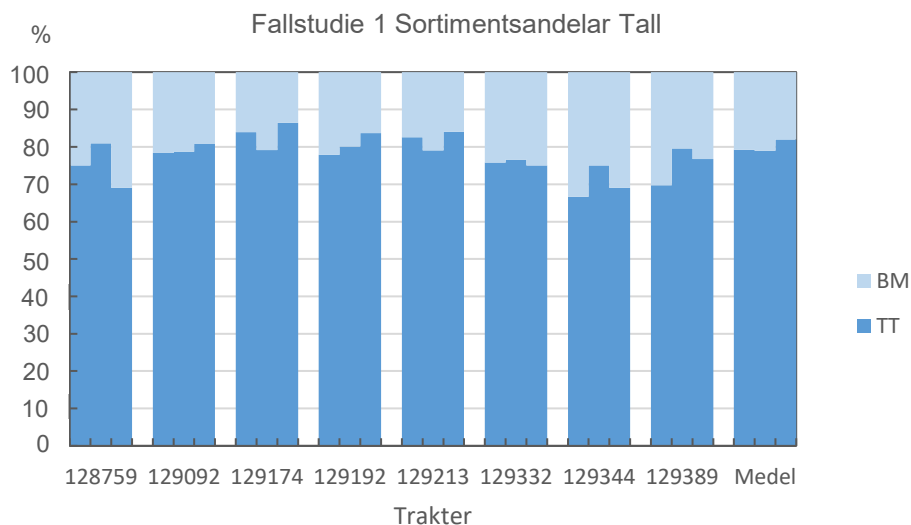
Resultaten av imputeringen för prognosobjekten jämfördes med BillerudKorsnäs planerade utfall och de faktiskt inmätta volymerna från avverkningen, i (Figur 8) ses fördelningen av avverkningsvolymerna fördelade på trädslag.



Figur 8.

Från vänster till höger visar de tredelade staplarna; planerat utfall, imputerat utfall och faktiskt utfall av trädslagsvolymer per hektar mätt med skördare. Längst till höger visas arealvägda medelvärden.

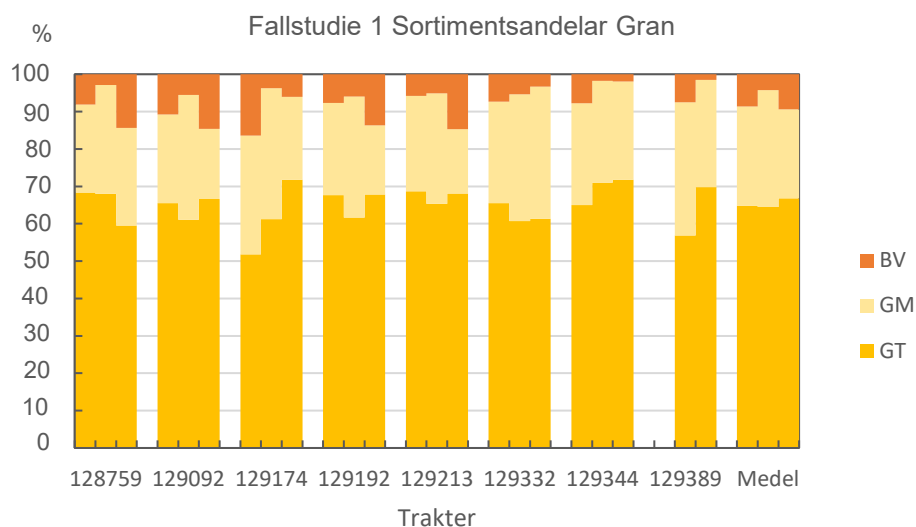
För att enklare se relationerna presenteras sortimentsandelar separat för tall (Figur 9) och gran (Figur 10). Räknat i andelar av volym tall blir det planerade och imputerade timmerandelarna exakt lika, dock ger båda metoderna något lägre andel talltimmer jämfört med det faktiska utfallet (Figur 9).



Figur 9.

Andel timmer (TT) och massaved (BM) av tallvolymen för respektive prognosobjekt, samt medelvärde till höger. Utfall enligt plan (vänster), imputerat utfall (mitten) och faktiskt utfall (höger) i de tredelade staplarna.

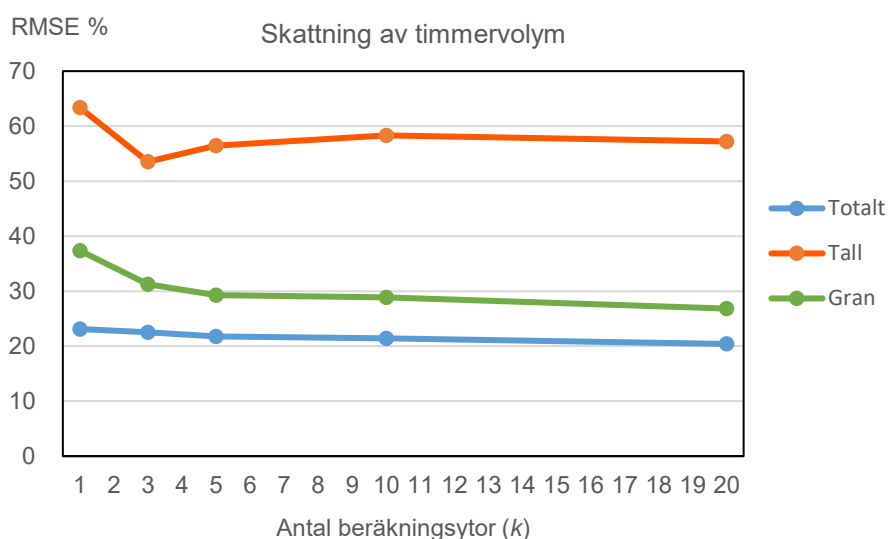
När det gäller andelar av volym gran visas återigen att andelen timmer underskattas något både enligt plan och genom imputering, medan brännvedsandel skattades bättre enligt plan (Figur 10). Imputeringsmetoden över-skattar här granmassaveden med 7 m³fub/ha eller 27 procent.



Figur 10.
Andel timmer (GT), massaved (GM) och brännved (BV) av granvolymen för respektive prognosobjekt, samt medelvärde till höger. Utfall enligt plan (vänster), imputerat utfall (mitten) och faktiskt utfall (höger). Observera att för objekt 129389 är utfallet enligt plan noll.

FALLSTUDIE 2

Här presenteras resultat från prognoser baserade på imputering av medelvärden från fem beräkningsytor. I Figur 11 visas hur medelfelet för imputerad timmervolym planar ut vid $k=5$. Att använda fler medelvärdesbildande beräkningsytor förbättrar inte prognosen nämnvärt.



Figur 11.
Variation av medelfel (%) i förhållande till antalet medelvärdesbildande beräkningsytor (k) för hprYield-varianten i Fallstudie 2. Imputering med Skogliga Grunddata och trädslagsblandning från traktdirektiv ($n=21$).

Imputering på traktdelar

Skogliga Grunddata bygger på Lantmäteriets nationella laserskanning som började 2009 och avslutades 2016. Skattningen av det skogliga tillståndet har inte räknats fram och är därför en ögonblicksbild av skogen det år som den laserskannades. Genom att använda Skogliga Grunddata för att beskriva prognosytan, blir matchningen med beräkningsytor som nyligen avverkats haltande, så mycket som sex tillväxtsånger kan tillskrivas prognosytan fram till avverkning. Detta är en förklaring till den systematiska underskattning som utbytesprognoserna uppvisar när hprYield beskrivningen av beräkningsytorna används för skattning (Tabell 6). Genom att beräkna skogliga parametrar för beräkningsytorna med Skogliga Grunddata (hprSgd) och använda dessa i stället för hprYields skogliga parametrar, kan tillväxtproblematiken undvikas då beräkningsytorna ”skrivs ner” till en mer jämförbar tidpunkt (Tabell 7).

Tabell 6.

Prognoser med hprYield-varianten för *Fallstudie 2* baserat på 13 prognosobjekt. Medelfel i m³fub/ha (RMSE) och procent (RMSE %) samt systematiska avvikelser, Bias (m³fub/ha) och Bias %.

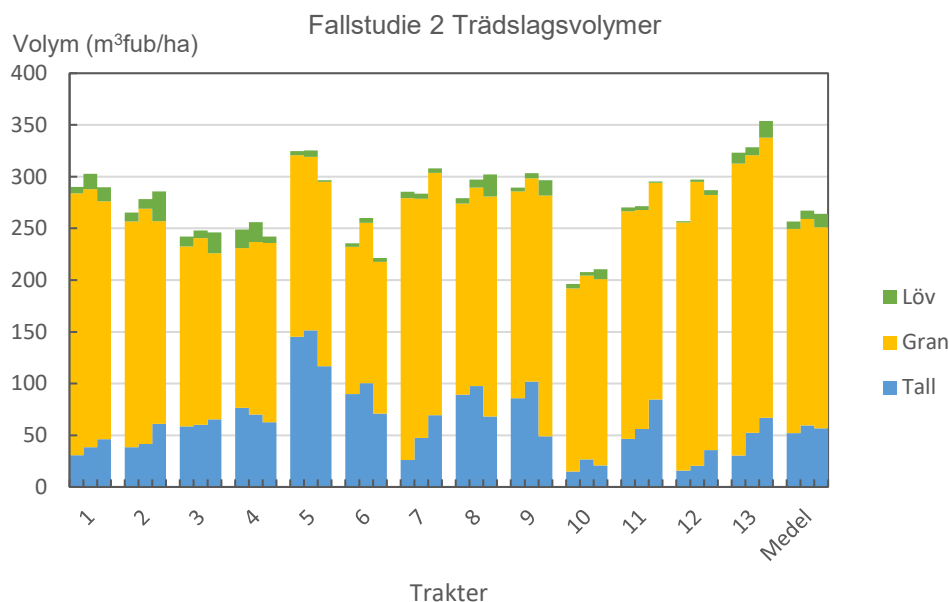
Prognos	Sortiment	RMSE	RMSE %	Bias	Bias %
hprYield	Volym	21,2	7	-11,4	-4
hprYield	Tallvolym	26,6	42	-5,9	-9
hprYield	Granvolym	16,5	8	0,6	0
hprYield	Lövvolym	11,4	87	-6,1	-46
hprYield	Timmer	30,2	15	-3,1	-2
hprYield	Talltimmer	22,1	44	-3,7	-7
hprYield	Grantimmer	28,8	19	2,5	2
hprYield	Massaved	26,1	36	-5,3	-7
hprYield	Tallmassa	6,8	56	-1,7	-14
hprYield	Granmassa	20,3	39	-0,6	-1

Tabell 7.

Utvärdering av hprSgd-variantens prognoser i *Fallstudie 2* (n=13) i form av RMSE (m³fub/ha), RMSE % och systematiska avvikelser i m³fub/ha (Bias) och i procent (Bias %).

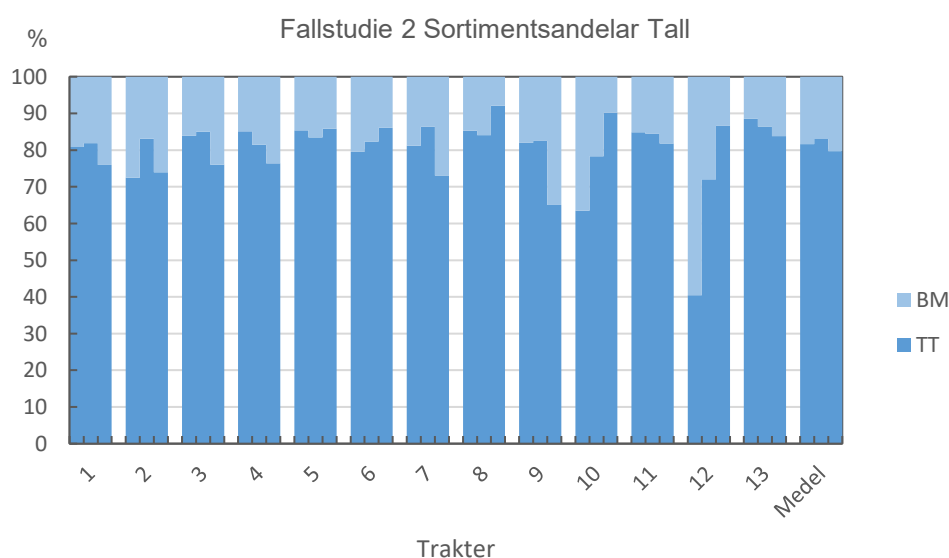
Prognos	Sortiment	RMSE	RMSE %	Bias	Bias %
hprSgd	Volym	24,3	9	1,6	1
hprSgd	Tallvolym	24,9	39	2,5	4
hprSgd	Granvolym	22,3	11	3,5	2
hprSgd	Lövvolym	10,8	82	-4,4	-33
hprSgd	Timmer	21,1	10	11,7	6
hprSgd	Talltimmer	19,9	39	4,6	9
hprSgd	Grantimmer	21,5	14	8,6	6
hprSgd	Massaved	23,4	32	-7,4	-10
hprSgd	Tallmassa	7,1	59	-1,7	-14
hprSgd	Granmassa	17,6	33	-3,9	-7

Utfallet av hprYield och hprSgd prognoserna sammanställdes per trakt. Där resultaten jämfördes med de faktiskt inmätta volymerna registrerade av skördaren. Fördelningen av avverkningsvolymerna uppdelade på trädslag för respektive prognos ses i Figur 12. Tyvärr fanns ingen planerad utbytesberäkning tillgänglig för jämförelse.



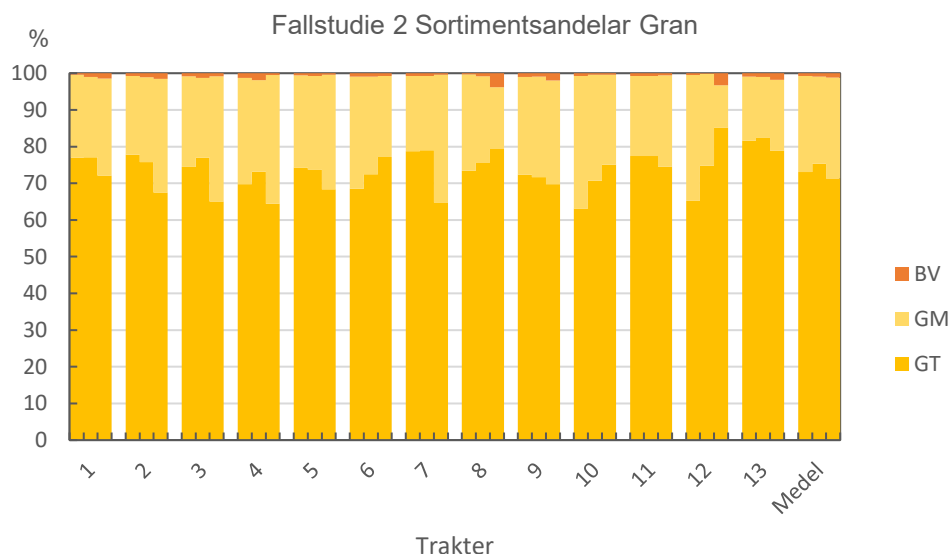
Figur 12. Sammanställning av prognosobjektens volymer per trädslag, längst till höger ses arealvägda medelvärden. I staplarna ses från vänster; hprYield-varianten, hprSgd-varianten och trädslagsvolymerna från avverkning (skördardata).

Andelar av timmer respektive massaved för tall redovisas i Figur 13. Båda varianterna överskattade den relativa timmerandelen något.



Figur 13. Relativ fördelning av talltimmer (TT) och barmassaved (BM) över 13 prognosobjekt i Åtvidaberg. Från vänster; prognos med hprYield-varianten, prognos från hprSgd-varianten och till höger; faktisk utbytesfördelning från skördardata.

I Figur 14 ses den relativa fördelningen för gransortimenten, även här överskattas timmerandelen lite grann med båda varianterna.



Figur 14.
Relativ fördelning av utbyte av grantimmer (GT), granmassaved (GM) och brännved (BV) från 13 prognosobjekt, samt arealviktat medelvärde. De tredelade staplarna visar från vänster; hprYield prognos, hprSgd prognos och utfall vid avverkning.

Tabell 7 visar att prognoser med Skogliga Grunddata som beskrivning av beräkningsytorna (hprSgd) ger en något större spridning i skattningen av totala utbytesvolymen men betydligt mindre systematiska fel än hprYield-prognoser (Tabell 6). Medan för skattningar av timmer och massaved ger hprSgd mindre medelfel och större systematiska fel än hprYield prognoser (Tabell 6 och 7).

Imputering på segment

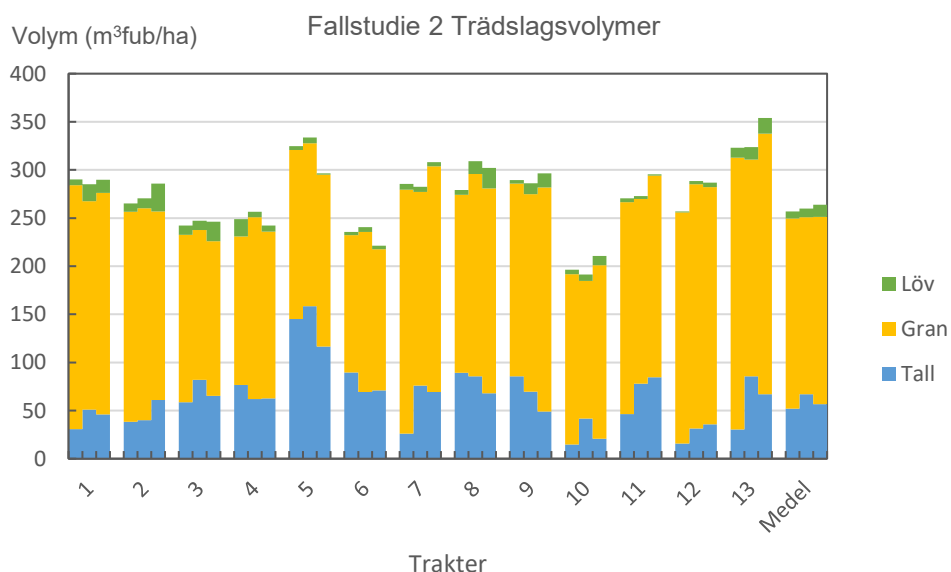
Sammanlagt 42 segment (prognosytor) från 13 av trakterna som inventerats användes för att skatta utbyte. I Tabell 8 visas medelfel (RMSE) och systematiskt fel (bias) för olika produkter från prognoser på segmentnivå.

Tabell 8.

Avvikelse i segmentprognoser, aggregerade till prognosobjekt (n=13), jämfört med skördarmätt utfall, redovisat som absolut medelfel i m³fub/ha (RMSE), relativt medelfel (RMSE %), absolut systematiskt fel i m³fub/ha (Bias) och relativt systematiskt fel (Bias %).

Prognos	Sortiment	RMSE	RMSE %	Bias	Bias %
hprYield	Volym	22,3	8	-4,9	-2
hprYield	Tall volym	19,1	30	12,8	20
hprYield	Gran volym	26,6	13	-15,1	-7
hprYield	Löv volym	7,5	57	-2,6	-20
hprYield	Timmer	23,3	12	6,1	3
hprYield	Talltimmer	17,2	34	12,5	25
hprYield	Grantimmer	20,6	14	-5,2	-4
hprYield	Massaved	23,4	32	-8,3	-11
hprYield	Tallmassa	5,3	43	0,7	5
hprYield	Granmassa	17,7	34	-7,9	-15

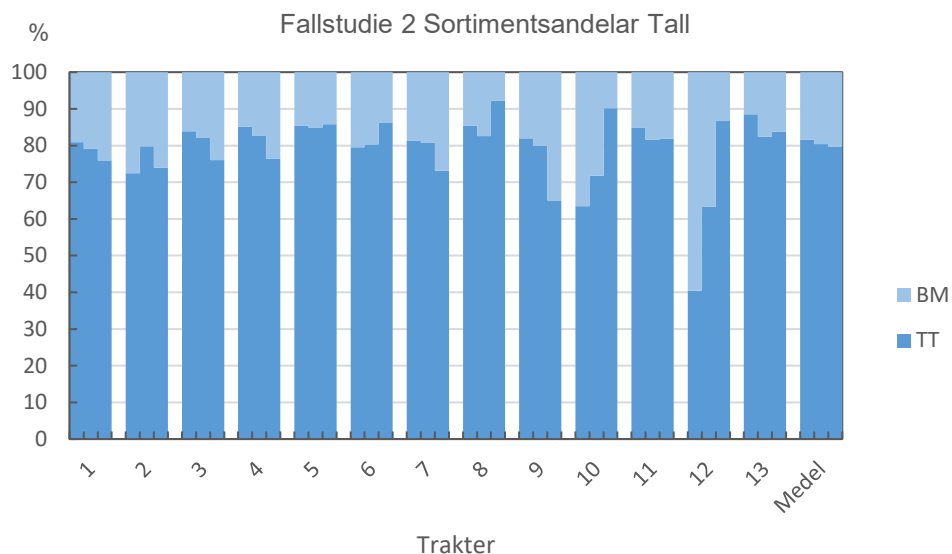
Fördelningen av avverkade volymer mellan olika trädslag för segmenteringsvarianten visas i (Figur 15). HprYield prognosen för trakttdelar inkluderas som jämförelse, tillsammans med det faktiska utfallet. Inventeringen lyckades inte fånga trädslagsfördelningen på ett bra sätt. Tallandelen överskattas ordentligt (20 procent) medan gran och löv underskattas (Tabell 8).



Figur 15.

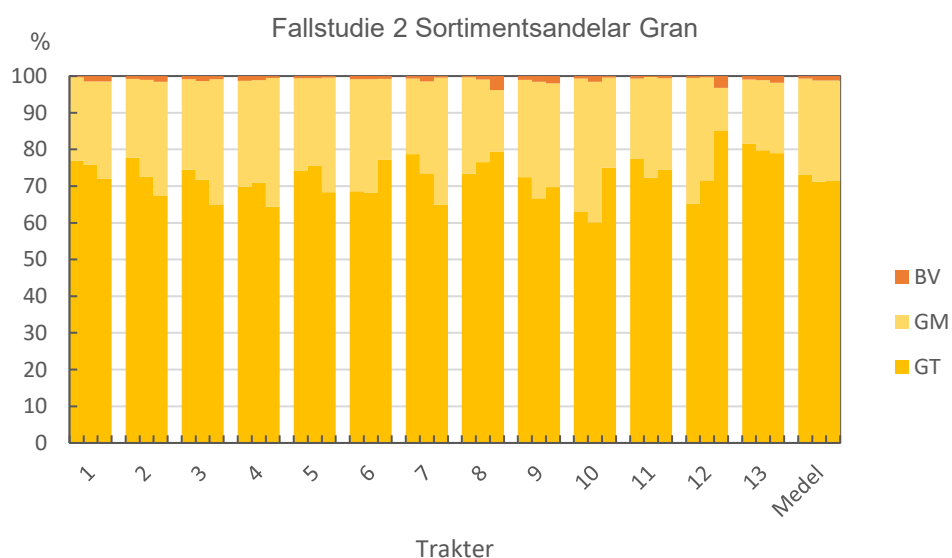
Jämförelse av prognoser på trakttdelnivå och segmentnivå, aggregerade till prognosobjekt, samt arealviktat medelvärde. Från vänster; skattning av trädslagsvolymerna på trakttdelnivå med hprYield-varianten, skattning av trädslagsvolymerna på segmentnivå med skogliga grunddata och inventerad trädslagsblandning och längst till höger utfall från avverkning.

Fördelningen mellan timmer och massaved visas separat för tall och gran i (Figur 16) respektive (Figur 17). Prognoserna för tallsortiment blir marginellt bättre för segmenteringsvarianten och variationen minskar men är fortfarande stor, 34 procent för talltimmer och 43 procent för massaved (jfr. Tabell 6 och 8).



Figur 16.
Relativ sortimentsfördelning för talltimmer (TT) och barmassaved (BM). Varje stapel visar, från vänster; skattning på traktdelnivå med skogliga grunddata och trädslagsblandning från traktdirektiv, skattning på segmentnivå med skogliga grunddata och inventerad trädslagsblandning, och längst till höger utfall vid föryngringsåtgärd.

Även för gransortimenten blev prognosen något bättre med segmentering än hprYield-varianten (Figur 17) och med lägre medelfel. Grantimmer skattades med ett medelfel på 19 procent för hprYield-varianten och 14 procent med segmentering, för granmassaved var siffrorna 39 respektive 34 procent (Tabell 6 och 8).



Figur 17.
Relativ sortimentsfördelning för grantimmer (GT), granmassa (GM) och brännved (BV) i de 13 prognosobjekten, samt arealviktat medelvärde (Medel). De tredelade staplarna visar från vänster; prognos på traktdelnivå, skattning på segmentnivå, och till höger utfall från skördardata.

FALLSTUDIE 3

Prognoser för utbytet gjordes med endast hprYield-varianten, men med två olika beskrivningar av prognosytorna:

- Prognoser för trakter med hjälp av grundyta, hgv och dgk från **Skogliga Grunddata** och trädslagsblandning från taxering.
- Prognoser för trakter med hjälp av grundyta, hgv och dgk från **fotogrammetriskattning** och trädslagsblandning från taxering.

Imputering på trakttdelar

I utvärderingen av utbytesprognoser i *Fallstudie 3* fanns endast en trakttdel per avverkningsstrakt i utvärderingsmaterialet. Totalt blev det bara fem prognosytor att utvärdera, vilket inte ger tillräckligt underlag för att dra några definitiva slutsatser (Tabell 9 och 10). Observera att ingen granmassaved togs ut, utan all massaved redovisas som barrmassaved eller lövved.

Tabell 9.

Prognoser med skogliga grunddata som beskrivning av prognosytorna utvärderades med medelfel i form av RMSE (m³fub/ha), relativ RMSE (%) samt systematiska avvikelser (Bias) i absoluta (m³fub/ha) och relativa tal (%).

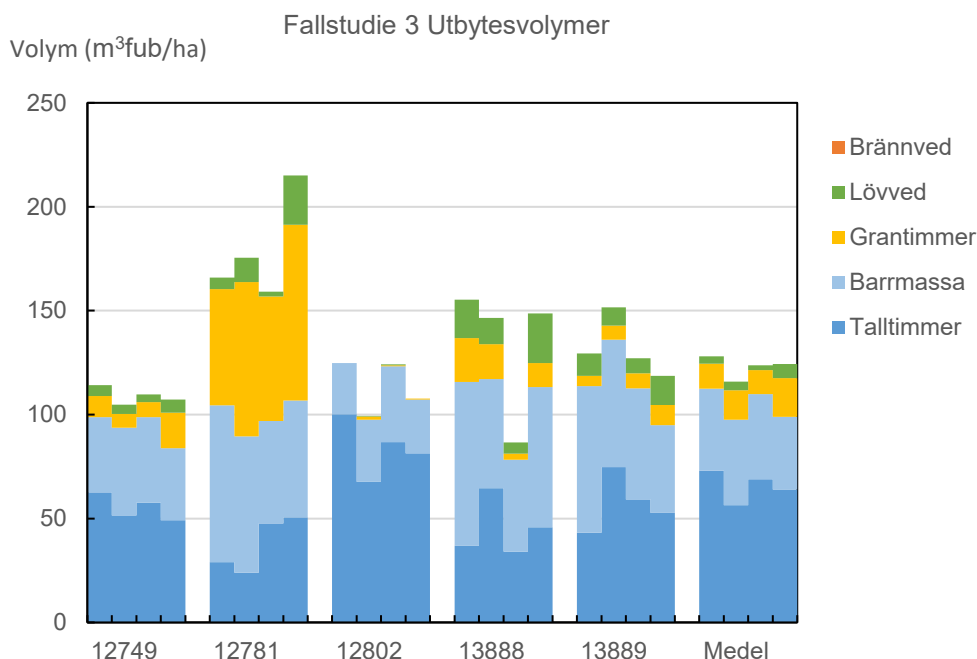
Prognos	Sortiment	RMSE	RMSE %	Bias	Bias %
hprYield	Volym	24,5	17	-5,0	-3
hprYield	Tallvolym	25,0	31	6,1	8
hprYield	Granvolym	9,7	20	-4,9	-10
hprYield	Lövvolym	8,0	56	-6,2	-43
hprYield	Timmer	22,5	28	-2,8	-3
hprYield	Tall timmer	18,7	33	0,7	1
hprYield	Grantimmer	7,2	29	-3,5	-14
hprYield	Barrmassa	14,0	23	-1,2	-2

Tabell 10.

Utvärdering av prognoser med prognosytorna beskrivna med fotogrammetriskattade parametrar. RMSE och Bias redovisas i m³fub/ha medan RMSE och Bias i procent.

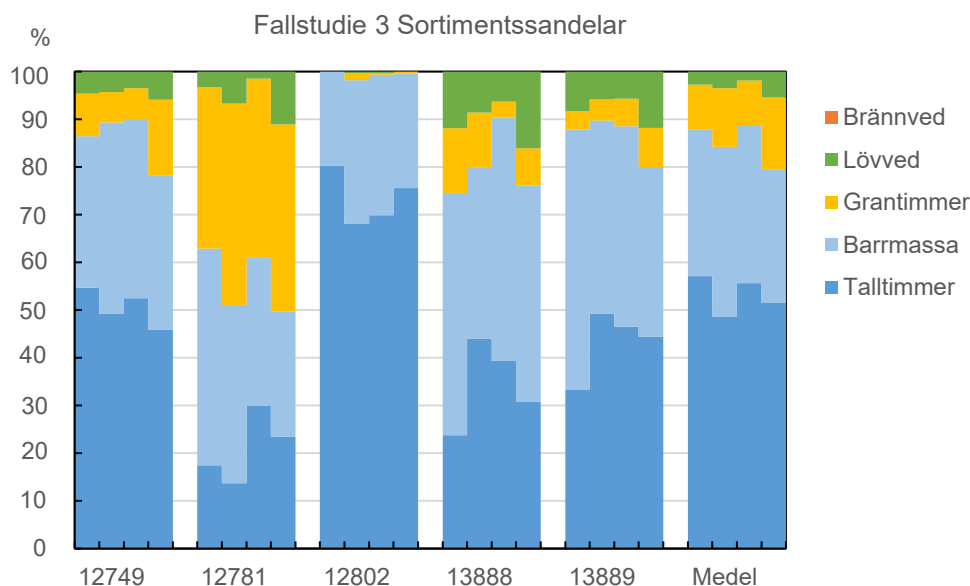
Prognos	Sortiment	RMSE	RMSE %	Bias	Bias %
hprYield	Volym	39,7	28	-18,8	-13
hprYield	Tall volym	13,8	17	7,7	10
hprYield	Gran volym	22,9	46	-16,5	-33
hprYield	Lövvolym	13,4	95	-10,0	-70
hprYield	Timmer	15,7	19	-8,0	-10
hprYield	Tall timmer	7,7	14	1,2	2
hprYield	Grantimmer	12,5	51	-9,2	-37
hprYield	Barrmassa	23,6	40	-10,2	-17

Utvärderingen av fotogrammetridata blev skev, då en trakt underskattats ordentligt på grund av dåliga indata (13888). Trakt 13888 fick dock liten inverkan på det arealvägda medelvärdet då trakten är mycket liten, 0,38 hektar (Figur 18). Detta fick däremot stor inverkan på värdena i (Tabell 10).



Figur 18.
Utbytesvolym per hektar fördelat på sortimentsgrupper för fem trakter söder om Piteå och längst till höger arealviktade medelvärden för alla trakter. De fyrdelade staplarna visar, från vänster; planerat utbyte, utbytesprognos baserad på Skogliga Grunddata, utbytesprognos på fotogrammetriskattnig och längst till höger utfall beräknat från skördardata.

I Figur 19 visas den relativa fördelningen mellan talltimmer, grantimmer, barrmassaved och lövvved sett till total volym.



Figur 19.
Relativa utbytesandelar i procent av total utbytesvolym. De fyrdelade staplarna visar, från vänster; utbytesandelar från plan, utbytesandelar från prognos på Skogliga Grunddata, utbytesandelar från prognos baserad på fotogrammetriskattnig och längst till höger relativa sortimentsandelar i utfall vid avverkning.

Då så få trakter har kunnat användas för att utvärdera prognoserna, är det svårt att dra slutsatser från resultaten. Särskilt osäker var utbytesprognoserna baserade på fotogrammetridata, då en trakt var mycket dåligt beskriven. Fler trakter behöver utvärderas för att verifiera resultaten presenterade här.

Diskussion

RESULTAT

I *Fallstudie 1* användes en begränsad mängd skördardata som referensmaterial. Trots detta var resultaten bra, skattningen av uttagsvolym hade ett medelfel på 13 procent (Figur 8), detta ligger i nivå med fel som är uppmätt på skattning av grundyta med laserdata (Næsset, 2007). Att nå samma fel vid volymsskattning får bedömas som bra då volymfunktioner som används vid laserskanning normalt har ett fel på 5–6 procent (Brandel, 1990). Skattningen av timmervolymer blev också mycket bra, medelfelen låg på 9 procent, 12 procent och 9 procent för total timmervolym, talltimmer respektive grantimmer. Då skattningen av timmer är svårare än total volym då träden ska delas i mindre delar och stamfelsesved som t.ex. rötandelar varierar mellan bestånd så måste resultatet på fel mellan 9–12 procent anses som mycket bra för timmerutfallet. För massaved blev det större variation i prognoserna med medelfel mellan 35–43 procent (Tabell 5), detta handlar dock endast om 2–10 m³fub/ha. Exempelvis var lövmassafelet 43 procent eller 1,9 m³fub/ha, detta blev dock ett stort relativt fel. Resultaten för uttagsvolym och timmervolym var utan större systematiska fel, men massavedsvolymerna överskattades och då framför allt granmassaveden (27 procent, 7 m³fub/ha).

För *Fallstudie 2* redovisades resultat från tre olika varianter, hprYield, hprSgd och segmentering. En stor skillnad från *Fallstudie 1* var den ökade tillgången på referensdata, vilket gjorde att antalet medelvärdesgrundande beräkningsytor i prognoserna kunde minskas till 5 (Figur 11). Prognoser för total uttagsvolym blev mycket bra för alla tre varianterna och de låga medelfelen (7–9 procent) ger lägre spridning än de flesta volymläsningsmetoder, laserskattad volym ger exempelvis medelfel på 11–14 procent (Næsset, 2007). Resultatet tyder på att lokala skördardata som används vid imputering kan kompensera för vissa indata med sämre kvalitet. Den systematiska underskattningen av utbytesvolym för hprYield-varianten i *Fallstudie 2* var väntad, då beskrivningen av prognosytorna var inaktuell. Detta kunde korrigeras genom att använda hprSgd-varianten, men det är naturligtvis att föredra att göra prognoser på ajourhållna skogliga beskrivningar. Den totala timmervolymen skattades också bra i *Fallstudie 2*, 10–15 procent i medelfel. För den totala volymen massaved blev resultaten jämförbara med *Fallstudie 1*, med relativa medelfel mellan 32 och 36 procent (23–26 m³fub/ha). En genomgående trend i *Fallstudie 2* var att tallen var svårskattad, med medelfel för de tre varianterna mellan 30–42 procent för volym, 34–44 procent för timmer och 43–59 procent för massaved. Medan för gran var siffrorna 8–13 procent för volym, 14–19 procent för timmer och 33–39 procent för massaved.

Noterbart för både *Fallstudie 1* och *2* är att i princip alla objekt är blandskog, med huvudsak en blandning mellan gran och tall. Vad gäller utfallet på sortimentnivå blir det betydligt svårare att skatta då trädslaget är avgörande för vilket sortiment det blir. Formen och andel stamfelsesved varierar också mellan granar och tallar, vilket starkt påverkar timmerutfallet. Mer trädslagsrena objekt kan man normalt förvänta sig bättre skattning av sortimentsutfallen. Bedömningen är att studierna är gjorda i relativt svåra objekt för att prognostisera sortimentsutfall.

Resultaten från *Fallstudie 3* representerar ett för litet material för att dra några slutsatser om prognosmetoden eller indatakällorna. Olyckligtvis flyttades flera maskiner till stormdrabbade områden och avverkningen i studieområdet prioriterades om, vilket ledde till att färre prognosobjekt i studien avverkades än som var planerat. Några trakter avverkades också av en äldre maskin som bara kunde leverera prd-filer, vilket är äldre format för skördardata som inte registrerar stockinformation eller stamkoordinater. Sådana prd-filer går inte att utvärdera med denna metod.

En stor fördel med utbytesprognoser imputerade på skördardata jämfört med Ollas utbytesberäkningar (Ollas, 1980), är att skördardata automatiskt ger lokala formkvoter och fångar lokal variation i andel stamfelsved. Problemet med att beräkna en diameterfördelning från ett beståndsmedelvärde kan undvikas (Bilaga 1) genom att ersätta den med en beskrivning av tidigare avverkade stammar i närområdet (Bilaga 2, s. 56), eller genom att skapa en stambank direkt från beräkningsytornas stockdata, som kan användas för apteringssimulering. En stor fördel med skördardata är också att förutom lokal variation av stamfelsved så fångas även sista toppdiameterkap och sista kap för timmer, vilket i många fall beror av trädens storlek och ålder. Dessa parametrar har tidigare varit väldigt svåra att beskriva. En ytterligare styrka är att företagen kan använda skördardata som samlas in regelbundet och struktureras i databaser för användning både för uppföljning och prognoser.

Sammantaget visar fallstudierna goda resultat. Modellen är robust, flera olika indatakällor har utvärderats med liknande resultat. Indatakvalitén är naturligtvis viktig för att skapa bra prognoser, framförallt trädslagsblandningen behöver vara bra beskriven för att undvika stora systematiska fel i prognoserna. Prognoser för enskilda trakter blir sällan exakt rätt, men som de arealviktade medelvärdena visar, kan prognoser sammanställda över större områden beskriva utfallet väl. Vår slutsats är att med imputering av lokala skördardata bör systematiska fel och spridning av produktutfall för enskilda objekt kunna minskas. Samtidigt med förbättrade prognoser så bör även kostnaderna kunna minskas jämfört med dagens traditionella utbytesberäkningsmetoder.

FELKÄLLOR

Arealutvärdering

En stor källa till avvikelser mellan förväntat och faktiskt utfall vid en föryngringsåtgärd är skillnader mellan planerad och verklig avverkningsyta. Om till exempel en föryngringsåtgärd avbryts för att trakten är för blöt är det sannolikt att de blöta partierna innehåller mer gran, så har utöver minskad volym även trädslagfördelningen på utbytet förändrats.

Tillförlitlighet på utbytesprognoser

För att få pålitliga prognoser av sortimentsutfall fördelat på olika trädslag, krävs en bra trädslagsfördelning i indata. Fel i trädslagsfördelningen påverkar prognoserna och ger systematiska fel i skattningen av trädslagsspecifika volymer och sortiment. Träffsäkerheten på utbytesvolymen är främst beroende av kvalitén på den skogliga beskrivningen. En aktuell beskrivning av skogen är bästa försäkringen mot systematiska fel i volymsskattningen. Om äldre fjärranalysskattningar används för att beskriva prognosobjektet kan det vara på sin plats att kontrollera uppgifterna i fält.

SEGMENTERING

Segmentering ger mindre variation runt beståndsmedelvärden, vilket öppnar för att använda färre antal (k) beräkningsytor för medelvärdesbildning av utbyten. Tyvärr lyckades inte den genomförda linjeinventeringen i *Fallstudie 2* fånga trädslagsblandningen i segmenten tillräckligt bra. Tallandelen överskattades med 20 procent, gran och löv underskattades med 7 respektive 20 procent (Tabell 8). Trots detta var medelfelen för utbytesprognoserna jämförbara med hprYield och hprSgd varianterna och något bättre på fördelning mellan timmer och massaved.

Problemet med, och kostnaden för att identifiera segment och inhämta trädslagsblandning kan dock inte motiveras med resultaten från dessa fallstudier, utbytesprognoser på traktdelar var ungefär lika bra och kräver ingen extra arbetsinsats.

IMPLEMENTERINGSSTATUS

Fördelen med att nyttja den föreslagna metoden är de exakta mätningar som kommer från skördardata ändå samlas in av flertalet skogsföretag. Dessutom finns goda möjligheter att implementera metoden i operativ användning så snart skogsföretagen byggt upp hanteringen av skördardata i databaser. SCA, Sveaskog och Södra har i samarbete med Skogforsk utvecklat en modul, hprYield, för att bearbeta skördardata som underlag för utbytesberäkningar (Möller m.fl., 2017).

Sveaskog har redan byggt upp en skördardatabas och även implementerat funktionalitet för utbytesprognoser. De utvärderar nu prognoser från ett urval av trakter. Södra och SCA är i färd med att bygga upp skördardatabaser, men har inte kommit så långt att utbytesprognoser kan testas.

UTVECKLINGSMÖJLIGHETER

Hpr-filer

Fler och fler maskiner använder nu StanForD 2010 (Arlinger m.fl., 2012) och därmed hpr-formatet för skördardata. Fördelen med hpr-filer är att mer metadata registreras, vilket ökar möjligheter till filtrering/urval av referensmaterial för förbättring av utbytesprognoser och andra analyser i framtiden. Hpr-formatet använder även standardiserade trädslagsskoder, vilket öppnar möjligheten att använda fler trädslag i utbytesprognoserna.

Bruttourval

En svaghet med imputeringstekniken är att prognoserna är begränsade till den variation som finns beskriven i skördardatabasen. Sällsynta bestånd är svårskattade med medelvärdesbildning från många beräkningsytor, en utveckling av bruttourvalsfunktionen kan vara en lösning. Genom att inkludera en automatisk analys av bruttourvalets variation och en jämförelse med prognosytans beskrivning kan systemet varna för tveksamma prognoser eller till och med anpassa vissa imputeringsparametrar.

Gallringsprognoser

Hitills har bara utbytesprognoser på slutavverkningar utvärderats, ett givet spår för utveckling är att testa och utvärdera utbytesprognoser för gallringsåtgärder och t.ex. skärm- och fröträdsställningar. Skogforsk har utvecklat en metod för att skatta tillståndet på en trakt efter gallring (Möller m.fl., 2015a), baserat på gallringsuttaget. Genom att slå ihop tillståndet efter åtgärd med uttaget får man en prognos på tillståndet innan gallring. Med en beräkning av tillståndet innan gallring för beräkningsytorna i referensmaterialet kan imputeringen koppla ihop skördardata från gallring med den skogliga beskrivningen av prognosytan och skapa gallringsprognoser.

SLUTSATSER

- Den utvärderade metoden skattar utbyten i form av sortiment direkt, vilket förenklar arbetet med att ta fram utbytesprognoser.
- Den utvärderade metodens produktionskedja bygger på tillgängliga verktyg med god potential att byggas in i företagsspecifika system. Kostnaderna för utbytesprognoser bör kunna minskas jämfört med dagens traditionella utbytesberäkningsmetoder.
- Fallstudierna visar främst hur stark kopplingen mellan skogliga variabler som grundyta, hgv och dgv är med utbytet vid slutavverkning. Men även hur viktig trädslagsfördelningen är för bra utbytesprognoser.
- Resultatet på volymskattningarna visar på mycket bra precision i jämförelse med traditionella utbytesberäkningar (lika bra eller bättre än flertalet av dagens metoder). Troligtvis p.g.a. av lokala beskrivningar av stamformen som jämfört med volymfunktioner bör förbättra skattningarna.
- Resultat av sortimentsutfall visar på bra resultat jämfört med traditionella metoder. Troligtvis p.g.a. av bra lokalbeskrivning av form, stamförsvid och inverkan av lokala apteringar som till stor del saknas i andra metoder.

Referenser

- Anon. 2016. R Core Team. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J. J. 2012. StanForD 2010: Modern kommunikation med skogsmaskiner. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 784–2012).
- Barth, A., Möller, J.J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R. & Söderman, U. 2014. A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. *Annals of Forest Science*. Vol. 71, Number 5.
- Bhuiyan, N., Möller, J.J. & Arlinger, J. hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserat på skördardata. Uppsala: Skogforsk. (Opublicerad).
- Brandel, Göran 1990. Volymfunktioner för enskilda träd: tall, gran och björk. Diss. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Crookston, N.L. & Finley, A.O. 2007. yaImpute: An R Package for k-NN Imputation. *Journal of Statistical Software*. 23(10):1–16.
- Moeur, M. & Stage, A. R. 1995. Most Similar Neighbor: An Improved Sampling Inference Procedure for Natural Resource Planning. *Forest Science*, 41(2), pp 337–359.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register- och planeringssystem. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 756-2011).
- Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015a. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 862-2015).
- Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015b. Förbättrade utbytesprognoser – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 880-2015).
- Möller, J.J., Söderberg, J., Arlinger, J., Eriksson, I., Bhuyian, N. & Willén, E. 2017. Modell- och systembeskrivning för ”Skapande av stambanker och imputerade utbytesprognos baserat på skogs- och skördardata”. Uppsala: Skogforsk. (Arbetsrapport 954-2017, Opublicerad).
- Næsset, E. 2007. Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(5), pp 433–442.
- Ollas, R. 1980. Nya utbytesfunktioner för träd och bestånd. *Ekonomi* nr 5. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Söderberg, J. 2015. A method for using harvester data in airborne laser prediction of forest variables in mature coniferous stands. Umeå: Swedish Agricultural University: Dept. of Forest Resource Management.

Samband mellan laserskattningar och skördardata

För att jämföra statistik över samma yta gjordes vektorfiler i det Skogforsk-utvecklade verktyget hprAnalys från skördardata över avverkade bestånd. Detta för att säkerställa att statistikberäkningarna görs över ett gemensamt område.

För ett urval av bestånden beräknades diameterfördelningen från beståndsdata med det av Skogforsk utvecklade verktyget Timan och jämfördes mot verkliga utfall efter avverkning.

Över den avverkade ytan insamlades statistik från de beräkningsytor som summerar olika laserskattningar och även den skogliga beskrivningen från traktdirektiven samlades i en gemensam databas som summeringen från skördardata. Positioneringen registrerad i skördardata användes för att säkerställa att utvärderad areal motsvarade den som jämfördes med laserskattningarna. De avverkade ytornas area och trädslagsblandning sammanfattas i Tabell 11. De representerar vanligt förekommande avverkningsobjekt i regionen.

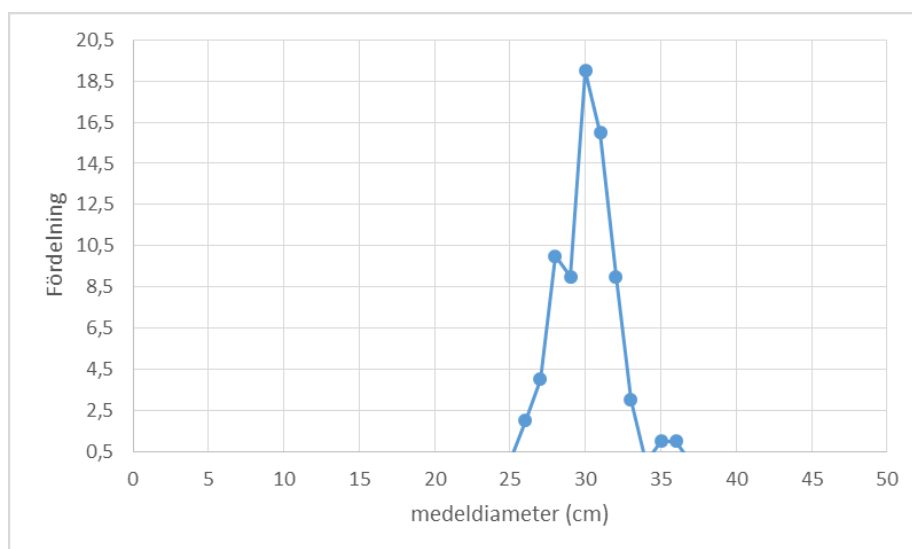
Tabell 11.
Avverkningsobjekt under fas 1.

Traktnamn	Area (ha)	TGL
Brännbäcken	7	721
Fällsund	2,8	910
Hermansbo	19,5	820
Kallnäs	4,4	820
Långmossen	10,3	820
Långmossen 2	9,4	820
Präsmossen	5,2	640
Österröningen	21,7	631
Vattenstasjövägen	7,1	640
Finnböle	11,4	352

Resultaten analyserade med avseende på trädslagsblandning, virkesvolym, stamantal, medeldiameter och medelhöjd. Indikationer på hur dessa data kan användas för utbytesprognoser baseras på hur väl laserskattningarna beskriver den stående skogen.

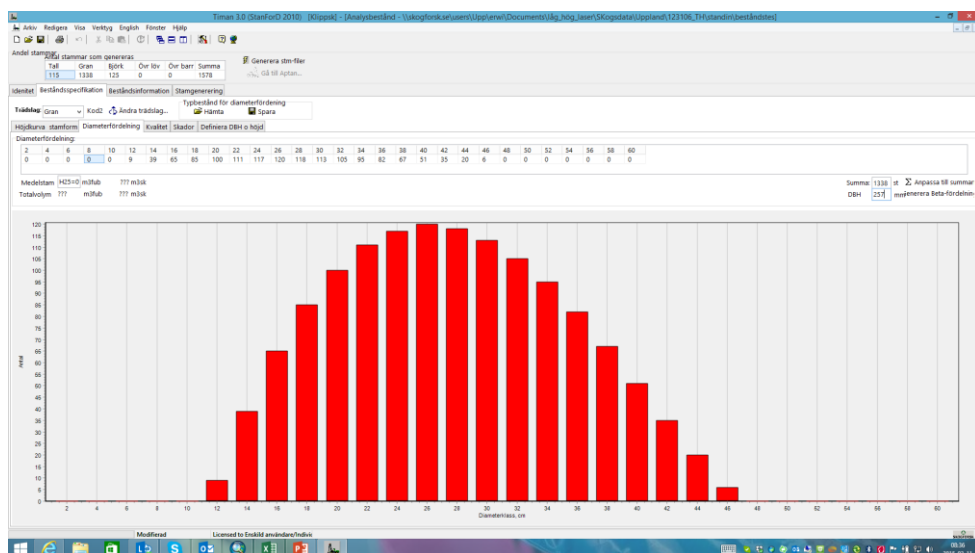
Figur 20–22 baseras på samma bestånd och illustrerar ett exempel, en principredovisning. Beståndet är ett barrdominerat avverkningsobjekt i Uppland. Genom att enbart basera en diameterfördelning på laserskattningens medelvärden för respektive ruta (15×15 meter) noteras i (Figur 20) en spetsig fördelning som avviker kraftigt från utfallet i skördardata (Figur 22). Det beror av att medelvärdena i laserskattningarna är grundtyevägda, vilket ger goda medelvärden över bestånd, men inte lämpar sig för att återspegla fördelningen direkt.

Diameterfördelningen baserat på enbart beräkningsytorna från laserskattningarna ger inte något bra underlag för utbytesprognoser.

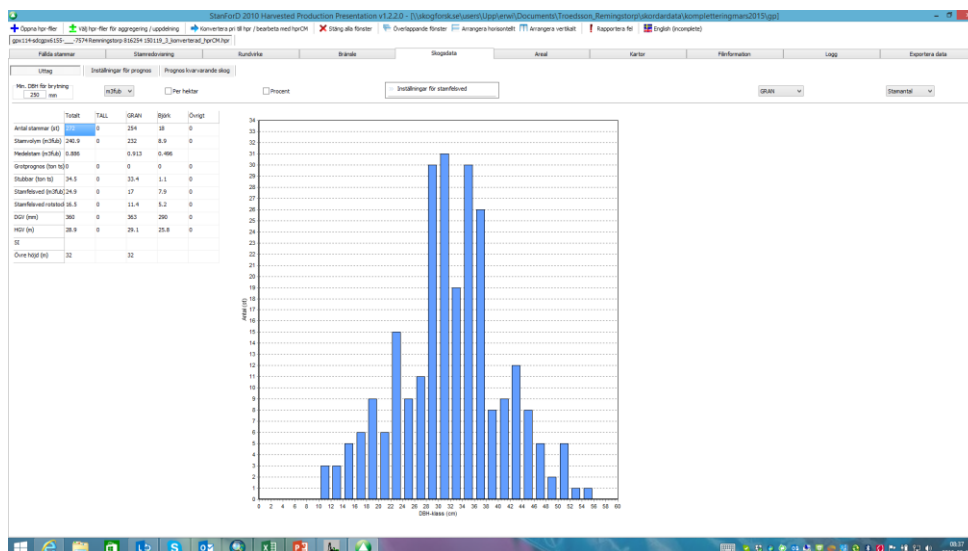


Figur 20.
Diameterfördelning baserat på laserskattningarnas beräkningsytor direkt.

När enbart beståndsmedelvärden används för att skatta utfall jämfördes en skattad diameterfördelning med verkligt utfall från skördardata, se exempel över samma bestånd i (Figur 21 och 22). Beståndsmedelvärdena är baserade från laserskattningar och det är medeldiameter och stamantal totalt som används som indata.



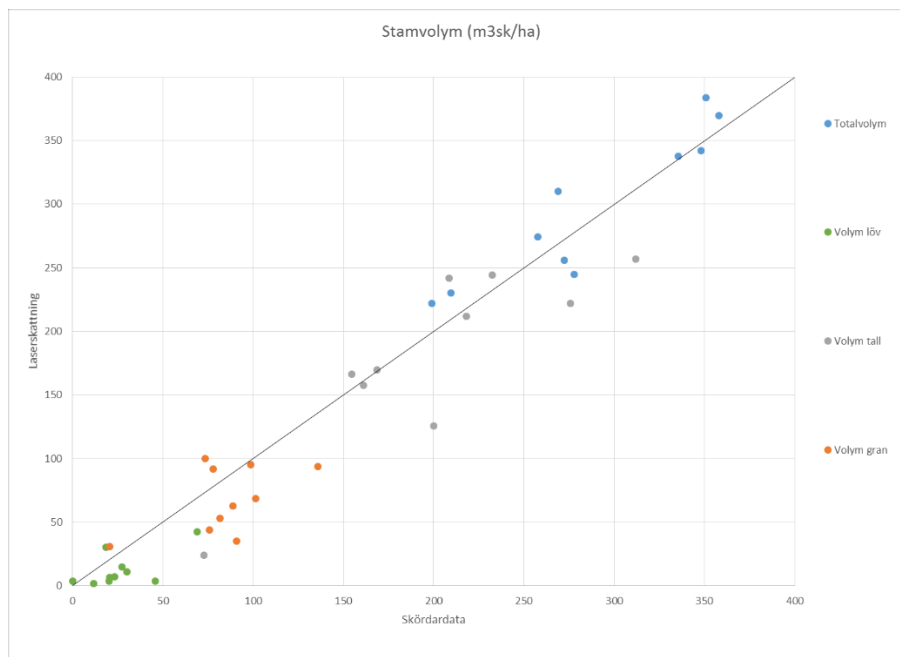
Figur 21.
Skattad diameterfördelning från verktyget Stand-In i Timan.



Figur 22.
Diameterfördelning från skördardata.

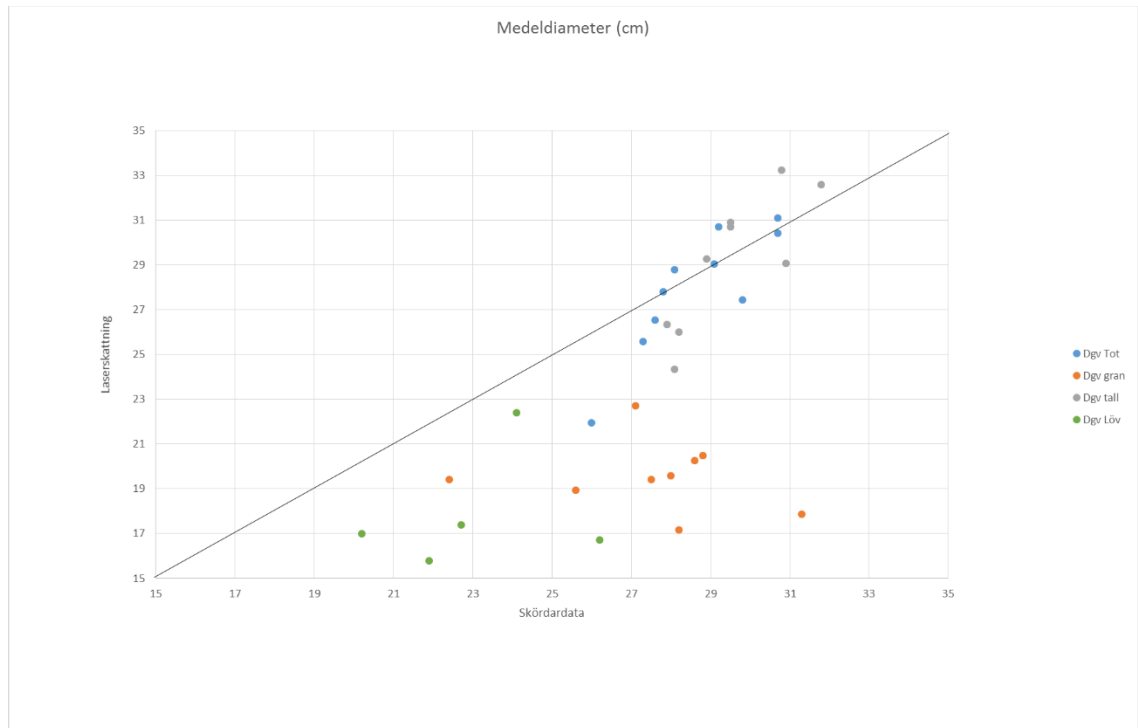
Figurerna 20 och 21 illustrerar svårigheterna med att använda beståndsmedelvärden för att skatta utbyten. När diameterfördelningen varierar så kraftigt blir inte utbytesberäkningarna bra och detta är inte ovanligt. Erfarenheterna bekräftas även från skogsföretag.

När laserskattningarna över flera hela bestånd (10 st) och jämfördes med skördardata för virkesvolym (Figur 23), noteras en relativt god överensstämmelse mellan laserskattningarna och skördardata. Figur 23 är indelad efter totalvolym, tallvolym, granvolym och lövvolym. Medelfel är inte redovisat då antalet bestånd är lågt.

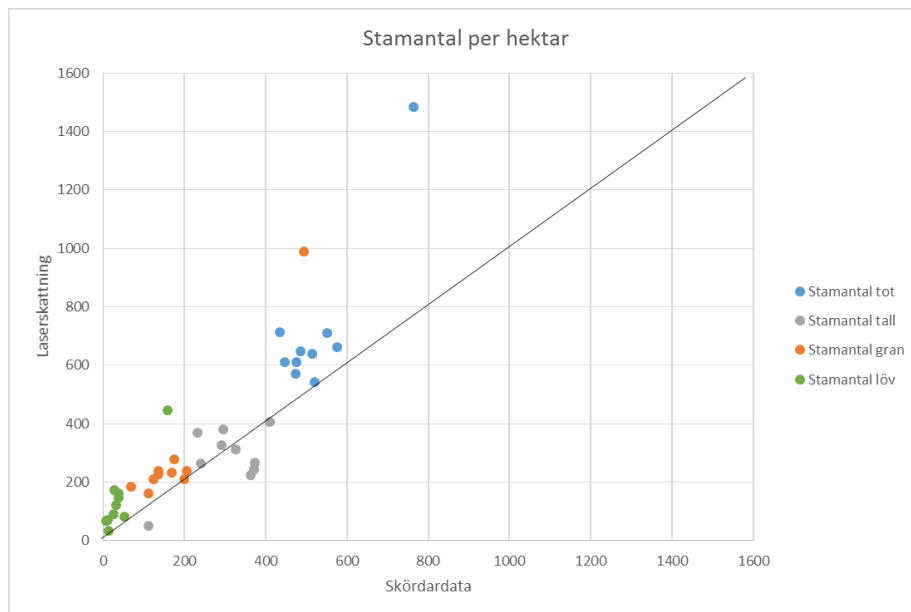


Figur 23.
Stamvolym från skördardata och laserskattning.

När medeldiameter utvärderas över samma bestånd sammanfattas det dominerade trädslaget (tall) samt den totala medeldiametern bra, men övriga trädslag får klart sämre samband, vilket kan bero av svårigheten att bryta ner laserskattningen trädslagsvis för medeldiameter (Figur 24). Detta blir en utmaning i utbytesprognoser där den trädslagsvisa medeldiametern är central. Samtidigt skattas det dominerande trädslaget bra, vilket ger högst bidrag till utbytet.



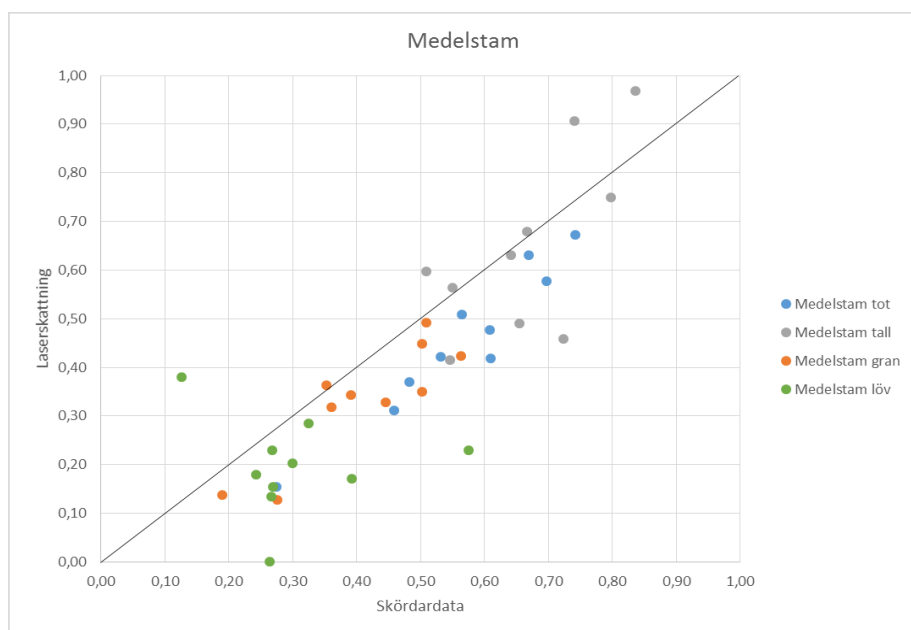
Figur 24.
Medeldiameter från skördardata och laserskattning



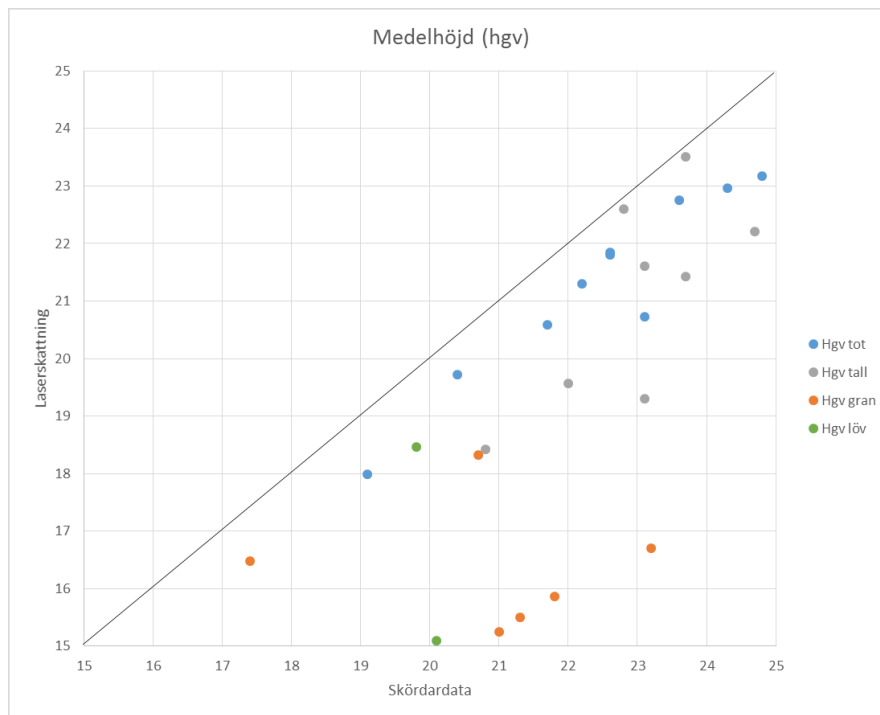
Figur 25.
Stamantal från skördardata och laserskattning.

Stamantal per hektar (Figur 25), överskattas systematiskt i laserskattningarna för samtliga träslag, samtidigt är stamantalet svår att skatta varför resultaten trots allt får betecknas som relativt gott.

Stamantalet får även konsekvenser när medelstammen beräknas från laserskattningar (Figur 26). När uppgifter om stamantal från laserskattningar används och kvalitetssäkras i fält finns risk att överskattningen medför lägre medelstammar baserat på laserskattningar. Mindre systematiska skillnader för stamantalet kan vara svåra att kvalitetssäkra i fält.

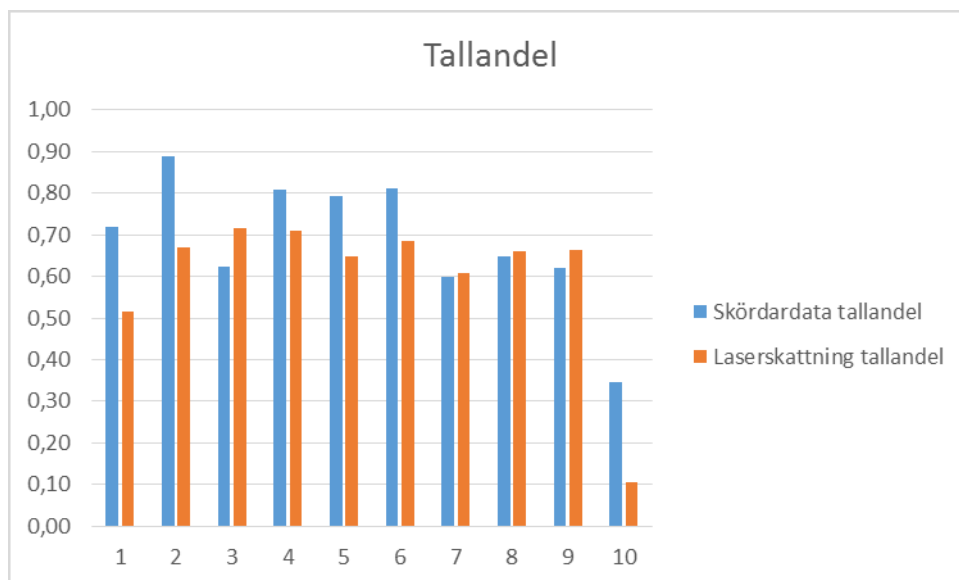


Figur 26.
Medelstam från laserskattningar och skördardata.



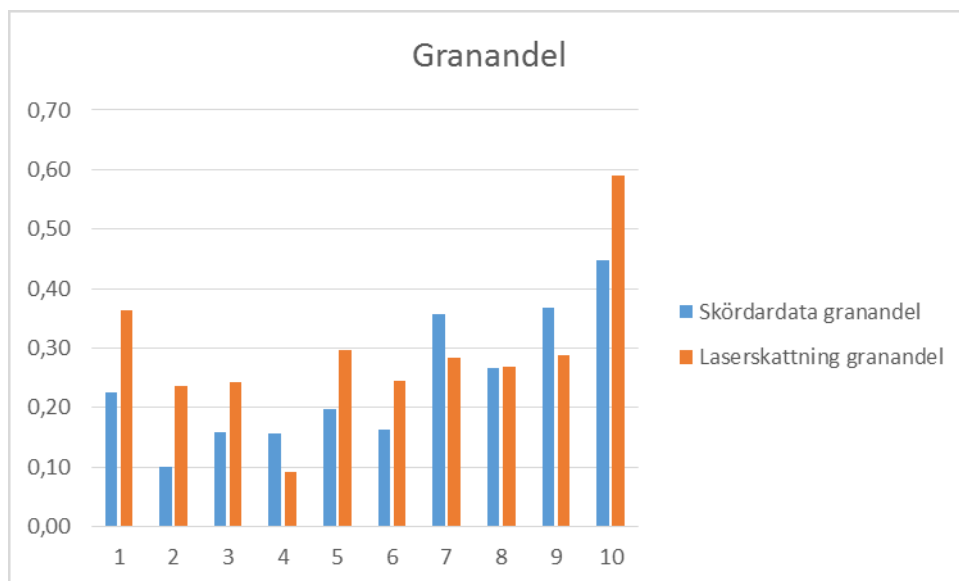
Figur 27.
Medelhöjd från skördardata och laserskattning.

Medelhöjden underskattas i laserskattningen (Figur 27), vilket har noterats även inom nationella laserskattningar (Skogliga Grunddata). Lasermätningar mäter trädhöjden direkt, men funktionerna under medelvärdesbildningen har orsakat visa fel. Samtidigt sker höjdtilldelningen i skördardata genom en funktion från sista kap vilken också är en felkälla i sammanhanget. Medelhöjden för icke-dominerande trädslag i (barr-)blandskogar är svåruppskattat.



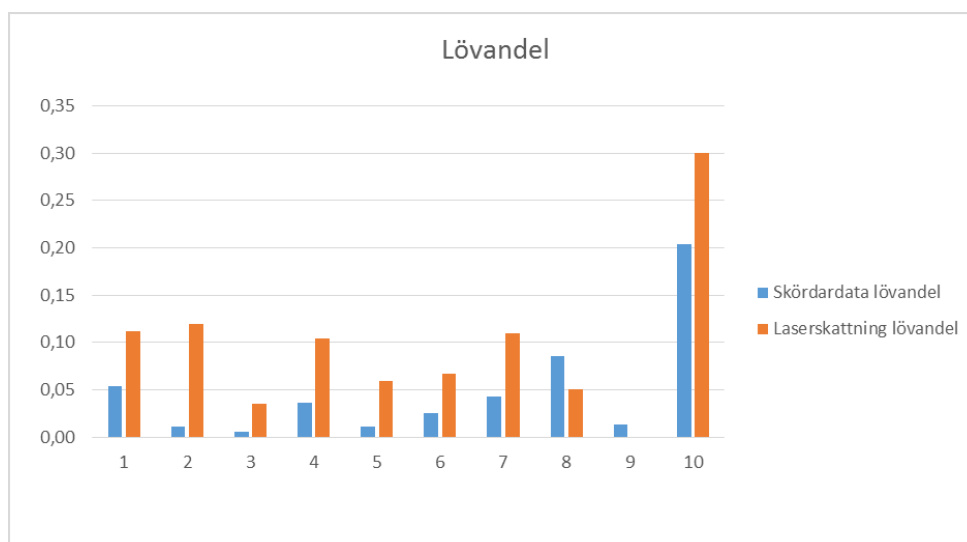
Figur 28.
Tallandel från skördare och laserskattning.

Trädslagsblandningen skattas väl. I Figur 28 noteras tallandelen vilken skattas med en medelavvikelse på mindre än 10 procentenheter, vilket är bra och tallen är det dominerade trädslaget.



Figur 29.
Granandel från skördare och laserskattning.

Även granandelen skattas mycket väl även om den inte dominerar annat än i enstaka bestånd. Det är ett mycket gott resultat med tanke på svårigheten att i bilder kartera andelar i (barr-)blandskogar (Figur 29).



Figur 30.
Lövandel från skördare och laserskattning.

Även lövandelen karteras också väl. Laserskattningen innehåller oftast mer löv än som avverkats, men detta kan stämma med verkligheten då löv i regel sparas mer vid avverkning (Figur 30).

Slutsatser

- Användandet av enbart laserskattningar (medelvärden) för att återge en diameterspridning ger inte en rättvisande bild av den verkliga diameterspridningen i bestånden.
- Nyttjande av beståndsmedelvärden från laserskattningar som sedan fördelas ut med en funktion kan återspegla spridningen väl, men ger oftast inte samma spridning som blir det verkliga utfallet. Diameter-spridningen är sällan tydligt normalfördelad i verkligheten.
- Laserskattningar, kombinerat med satellitdata för trädslag, stämmer väl för framförallt trädslagsblandning och stamvolym.
- Stamantalet överskattas systematiskt i laserskattningarna, men är trots detta förvånansvärt bra skattat. Det påverkar medelstammen som trots allt ger en god skattning, vilket påverkar utbytesprognoser påtagligt.
- Medeldiameter och medelhöjd underskattas något i laserskattningar över totalen och det dominerande trädslaget, med större fel för övriga trädslag. Framförallt granen som får en lägre höjd i barrblandskogarna.
- Laserskattningar ger en bra beskrivning över skogen, men uppgifterna måste kvalitetssäkras för att ge goda utbytesprognoser. Denna kvalitets-säkring skulle kunna motsvaras av avstämningen av beståndsupp-gifterna under drivningsplaneringen.

Presentation av arbete för Sveaskog

I denna bilaga återfinns redovisningen av det arbete som Jon Söderberg utförde på uppdrag av Sveaskog i samarbete med SLU och Skogforsk under sommaren 2015. Den visar hur skogliga data kan användas för att prediktera virkesutfall med skördardata som referens. Slutsatserna var att skogliga bärardata generellt ger bättre skattningar än laser metriker från punktmoln. Skattningar med skogliga data baserades på det ”sanna” tillståndet då det noggrant inmätt av skördaren och visar på den inneboende kraften hos skogliga data som bärardata.


SVEASKOG

”Utveckling av metoder för storskalig prediktering av virkesutfall i slutavverkning baserad på idag tillgängliga data från fjärranalys och skördardata”



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences
Institutionen för skoglig resurshushållning

Jon Söderberg



Bakgrund

- Lantmäteriet har mellan åren 2010 och 2015 genomfört en flygburen laserskanning av hela landet, exklusive fjällen, främst för att producera en ny markmodell.
- Dessa laserdata innehåller även information om skogen i form av noggranna mätningar av trädskiktets tredimensionella struktur.

Bakgrund

- Ett nyligen avslutat examensarbete vid institutionen för Skoglig resurshushållning på SLU (Söderberg, 2015) har visat att dessa laserdata kan användas tillsammans med data från apteringsdatorn i slutavverkningsskördare för att effektivt och noggrant heltäckande kartera skog i termer av virkesförråd, medelhöjd och medeldiameter.

Bakgrund

- Examensarbetet genomfördes i samarbete med Sveaskog (Hedemora) och SkogForsk (Uppsala).
- Denna metod är sannolikt användbar för att kartera även diameterfördelningar och sortimentsutfall, vilket skulle kunna vara en mycket värdefull informationskälla för en kraftigt effektiviserad styrning av virkesflöden från egen skog och som stöd för externa virkesinköp.

Bakgrund

- Aktuella nationellt heltäckande laserdata kommer sannolikt inte att finnas tillgängligt i den närmaste framtiden eftersom Lantmäteriet inte har några planer på att upprepa laserskanningen.
- Lantmäteriets nya markmodell har däremot gjort det möjligt att använda en stor mängd andra, delvis nya, fjärranalysmetoder för att heltäckande kartera skogliga variabler.

Bakgrund

- Det är därför högst troligt att den laserbaserade karteringen av landets skog, i termer av rasterkartor över medelhöjd, virkesförråd, medeldiameter och grundyta, som finns idag kommer att löpande uppdateras med andra datakällor i framtiden och fortsatt finnas fritt tillgängliga.

Bakgrund

- Examensarbetets metod kan antagligen baseras på dessa skattningar istället för de lasermätningar som användes, men sannolikt med något försämrad noggrannhet.
- I en förlängning bedömer vi det som sannolikt att det ska gå att prediktera sortimentsutfall baserat på ovan beskrivna information (som är tillgänglig för skogsföretag) vilket kommer leda till kraftigt förbättrade möjligheter till förbättrade virkesflöden från skog till industri.

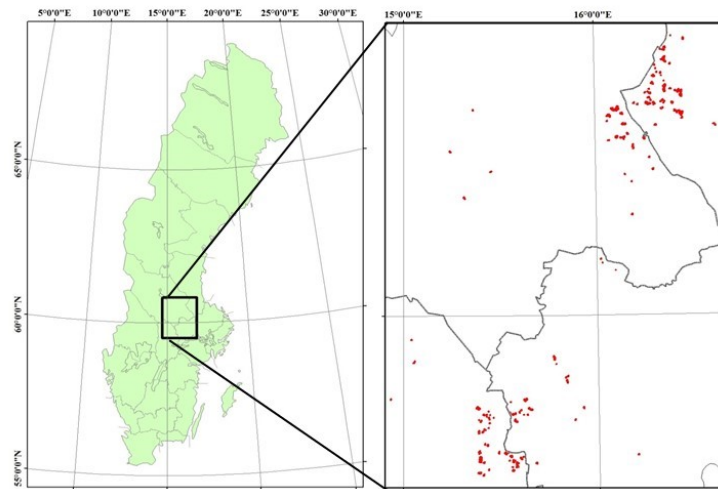
Syfte & Mål

- Uppdraget syftar till att visa hur laserskanningsdata och skogliga variabler i kombination med data från skördarmätningar av slutavverkningar kan användas för att prediktera virkesutfall i termer av, höjdfördelningar, diameterfördelningar och sortimentsutfall.
- Målet är att visa sambanden mellan nationellt insamlade laserdata, skogliga skattningar och ståndortsfaktorer tillsammans med skördardata.

Genomförande

1. Utvärdering av DGV, HGV, diameterfördelning, höjdfördelning och sortimentsutfall (volym av timmer, massaved respektive stamfelsved) skattad med imputering av stamlistor. Predikterat från befintlig modell med laser metriker som bärardata.
2. Utveckling av en ny modell som använder det sanna skogstillståndet (beräknat från skördardata) som bärardata, samt imputering baserad på denna och utvärdering av utfallet på samma sätt som i moment 1.

Studieområde



Skördardata

- Endast skördardata från slutavverkade barrskogsbestånd har använts i denna studie.
- Skördardata innehåller det exakta sortimentsutfallet, generellt beskrivet som timmer, massaved, skogsenergi samt stamfelsved (definieras som massaved med en diameter över 15 cm). Till stamfelsved hör även produkter med röta eller fel som krökar m.fl. andra defekter.

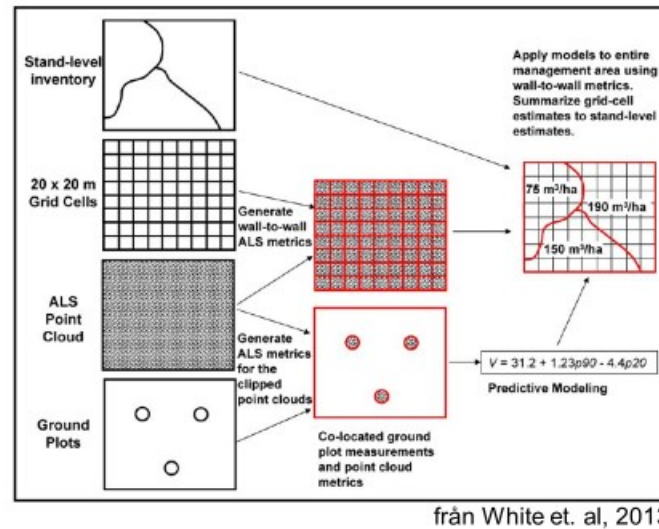
Laserdata

- Det tre dimensionella laserpunktmoln som Lantmäteriet samlat in under den nationella höjdkarteringen (2009-2015) användes i denna studie.
- Materialet bearbetades av SLU Umeå, avvikelser korrigerades och punktmolnet normaliserades, dvs. punkthöjder anpassades till höjd över marken.
- Genom statistisk bearbetning extraherades olika höjd- och densitetsmått (s.k. metriker) från punktmolnet.

Area Metoden

- Laser metriker relaterade till skogliga egenskaper beräknas på rastercellnivå från laserskanningsdata.
- Genom att kombinera laser metriker och fält- eller skördardata kan modeller konstrueras och användas för att skatta skogliga variabler på rastercellnivå.
- Dessa skattningar aggregeras ofta till större enheter, såsom skogsbestånd.

Area Metoden



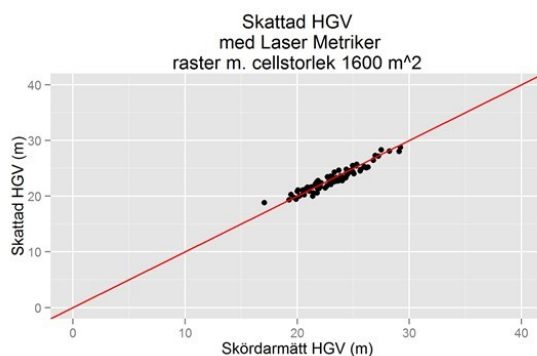
Skattningar

- k-MSN metoden användes för prediktering, detta är en icke-parametrisk metod som kan prediktera många variabler samtidigt (Moeur & Stage, 1995).
- En okänd cell skattas som ett viktat medelvärde av värden hos de k mest lika referenscellerna. I denna studie användes $k = 1$, vilket innebär att den mest lika referenscellen imputerades med en vikt av 1.
- En nackdel är att metoden inte kan extrapolera utanför variationen av referensdata, vilket leder till över- och underskattningar av värden utanför spännvidden av referensdata.

Skattningar

- För prediktering av DGV och HGV, användes 88 bestånd till referensdata och 80 bestånd till utvärdering. Övriga variabler predikterades med referensdata av 56 bestånd och 43 bestånd utvärderingdata.
- Skattningar för varje skoglig variabel gjordes med tre olika storlekar på raster (100, 400 & 1600 m² stora celler).
- För moment 1 användes ett antal höjd- och densitetsmetriker som prediktorvariabler. I moment 2 baserades skattningarna på prediktorvariablerna HGV, DGV och volym/ha. De bästa resultaten för varje skattad variabel redovisas här.

Resultat - HGV

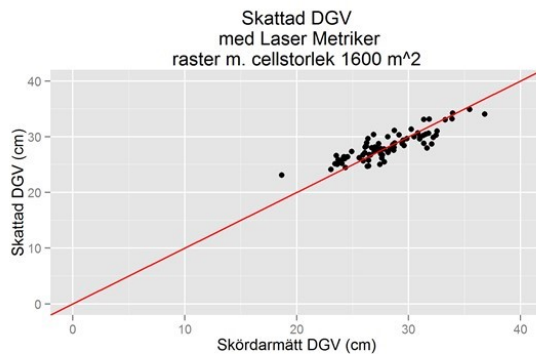


Medelfel: 2,9% (0,68 m)

Bias: -0,5% (-0,1 m)

R: 0,99

Resultat - DGV



Medelfel: 5,9% (1,7 cm)

Bias: 0,8% (0,2 cm)

R: 0,97

Resultat – HGV & DGV

- Som jämförelse, visar en sammanställning av resultat från vetenskapliga studier i Skandinavien (Næsset, 2007) som tidigare skattat skogliga variabler med area metoden (laserdata & fältdata) på medelfel för HGV skattningar på runt 3-6% och mellan 9-13% för DGV.

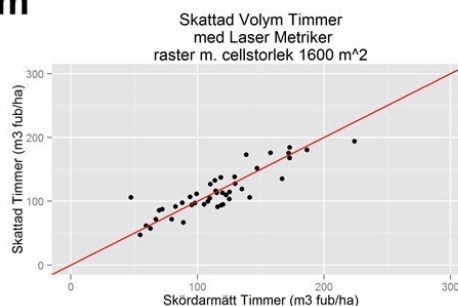
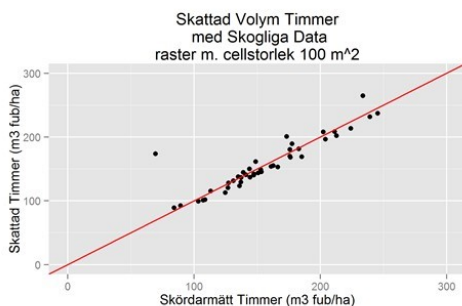
Resultat – Timmervolym

Moment 1: Laser data

Medelfel: 15,7% ($18,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

Bias: -1,0% ($-1,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

R: 0,98



Moment 2: Skogliga data

Medelfel: 11,9% ($18,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

Bias: 0,3% ($0,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

R: 0,95

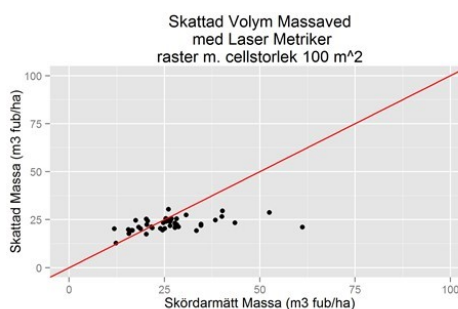
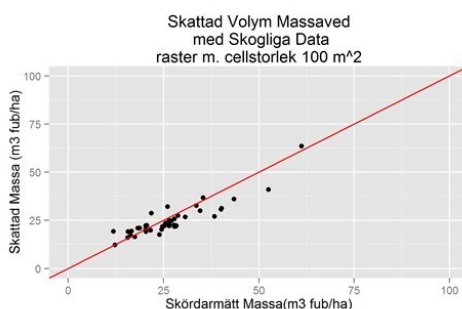
Resultat – Massaved

Moment 1: Laser data

Medelfel: 36,4% ($9,8 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

Bias: -15,7% ($-4,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

R: 0,69



Moment 2: Skogliga data

Medelfel: 17,9% ($4,8 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

Bias: -7,4% ($-2,0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

R: 0,98

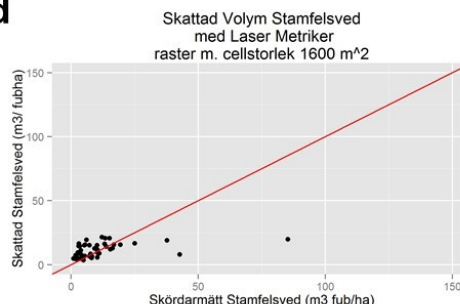
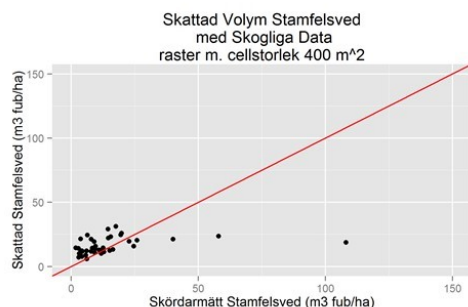
Resultat – Stamfelsved

Moment 1: Laser data

Medelfel: 114% ($13,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

Bias: 1,1% ($0,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

R: 0,68



Moment 2: Skogliga data

Medelfel: 117% ($16,7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

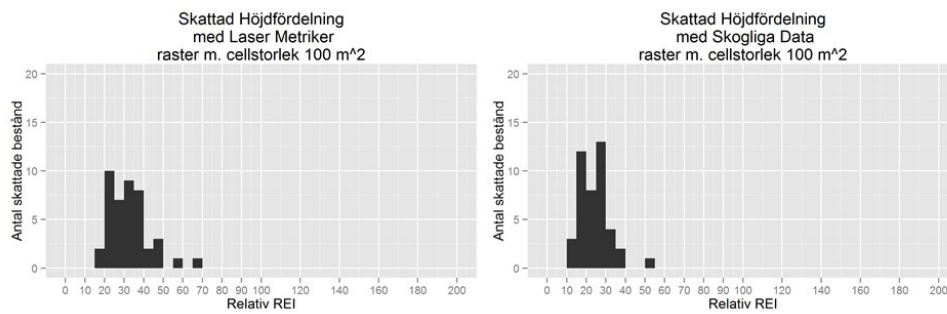
Bias: 10,5% ($1,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$)

R: 0,81

Reynolds Error Index

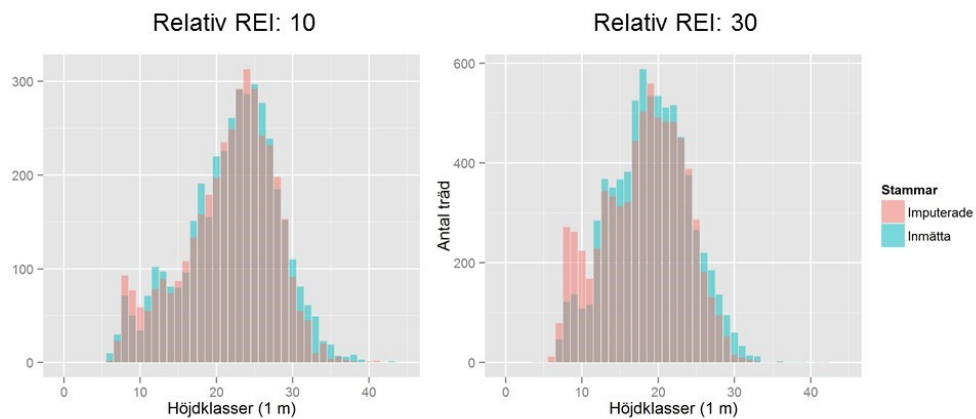
- Fördelningsskattningarna utvärderades med hjälp av Reynolds Error Index (REI). Diameter klassades i 2 cm intervall och höjdklasser om 1 m användes.
- REI beräknas genom att för varje bestånd summera den absoluta differensen i varje enskild höjd- och diameterklass, d.v.s. skillnaden mellan det sanna antalet träd och antalet imputerade träd från skattningen.
- Relativ REI beräknades genom att dela REI med summan av sanna träd i alla klasser, vilket ger ett tal mellan 0 och 200, där 0 innebär perfekt överensstämmelse mellan den sanna och den skattade fördelningen och 200 innebär att inget överlapp finns mellan sann och skattad fördelning.

Resultat – Höjdfördelning

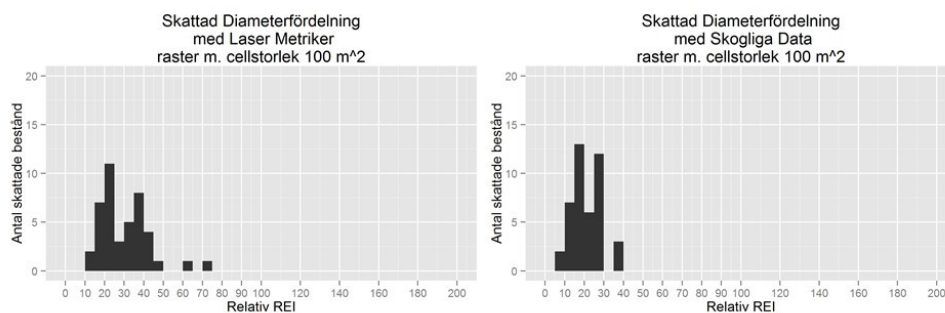


- Histogrammen visar spridningen av skattningsfelen (relativ REI) för de 43 utvärderingsbestånden.

Höjdfördelningar - Exempel

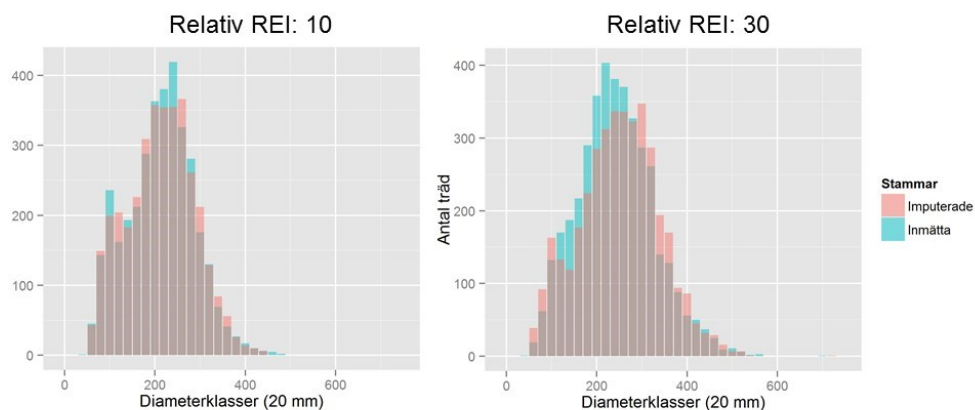


Resultat – Diameterfördelning



- Histogrammen visar spridningen av skattningsfelen (relativ REI) för de 43 bestånd som utvärderades.

Diameterfördelningar - Exempel



Slutsatser

- Studien visar att skogliga bärardata generellt ger bättre skattningar än laser metriker.
- Skattningar med skogliga data baserades på det "sanna" tillståndet då det noggrant inmätt av skördaren och visar på den inneboende kraften hos skogliga data som bärardata.

Referenser

- Moeur, M. & Stage, A. R. (1995). Most Similar Neighbor: An Improved Sampling Inference Procedure for Natural Resource Planning. *Forest Science*, 41(2), pp 337–359.
- Næsset, E. (2007). Airborne laser scanning as a method in operational forest inventory: Status of accuracy assessments accomplished in Scandinavia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(5), pp 433–442.
- Söderberg, J. (2015). A method for using harvester data in airborne laser prediction of forest variables in mature coniferous stands. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- White, J., Wulder, M.A., Varhola, A., Vastaranta, M., Coops, C., Cook, B.D., Pitt, D. & Woods, M. (2013) A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using an area-based approach. *For. Chron.* 2013, 89, 722–723.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2016

År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshalterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materials. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning- Stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient.. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmömarp, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.
- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.

Nr	906	Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning. – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
Nr	907	Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
Nr	908	Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd. – Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
Nr	909	Brunberg, T. & Lundström, H. 2016. Tidsåtgång och bränsleåtgång vid användning av sortimentsgripen 2014-Evaluation of assortment grapple 2014 in terms of processing time and fuel consumption. 19 s.
Nr	910	von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
Nr	911	Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström, H. 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
Nr	912	Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Manner J. 2016. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in heavy-timber final felling. 38 s.
Nr	913	Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
Nr	914	Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potentialer till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.
Nr	915	Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie. – Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.
Nr	916	Manner, J., Björheden, R., Jonsson, R., Jönsson, P. & Lundström, H. 2016. Prestation och drivningskostnad för drivarprototypen Komatsu X19 jämfört med ett konventionellt tvåmaskinsystem. – Productivity and logging costs of the harwarder prototype Komatsu X19 and a conventional CTL system. 27 s.
Nr	917	Bergqvist, M., Björheden, R. & Eliasson, L. 2016. Kompakteringseffekter på skogsbilvägar. – Effect of compaction on forest roads. 24 s.
Nr	918	Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, B., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Cutting capacity of saw chains – a comparative study. – Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. Ss. 38.
Nr	919	Asmoarp, V., Bergqvist, M., Frisk, M., Flisberg, Patrik & Rönnqvist Mikael. VägRust på SCA. En analys av vägupprustningsbehov på SCA Skog AB:s tre sydliga förvaltningar. – Decreased cost of logistics with RoadOpt. An analysis of road upgrading needs on three southern holdings at SCA Skog AB. 35 s.

- | | | |
|----|-----|--|
| Nr | 920 | Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R. & Eliasson, L. 2017. Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden – Validation of the Surfacing Thickness Program (STP) in Swedish conditions. 40 s. |
| Nr | 921 | Eriksson, B. & Sääf, M. 2017. Branschanalys-Ekonomiska prestationer i entreprenadskogsbruket. – Sector analysis: economic performance in contractor forestry. 31 s. |
| Nr | 922 | Söderberg, J., Willén, E. & Bohlin, J. 2017. Gallringspunkter från fjärranalys. – Identification of thinning needs using remote sensing. 14 s. |
| Nr | 923 | Mohtashami, S. & Willén, E. 2017. Kartering av fornminnen i skogen med fjärranalys. – Identifying cultural heritage sites in forest with remote sensing. 32 s. |
| Nr | 924 | Mörk, A., Englund, M. & Brunberg, T. 2017. Utvärdering av sortimentsgripen i simulator. – Evaluation of assortment grapple tested in a simulator. 17 s. |
| Nr | 925 | McCarthy, R., Johansson, F. & Bergkvist, I. 2017. Högläggning med tre- och fyra-uddigt rivhjul. – Mounding with three- and four-pointed mattock wheels 15 s. |
| Nr | 926 | Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Willhelmsson, L. 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. |
| Nr | 927 | Asmoarp, V. Davidsson, A., Flisberg, P. & Palmér Carl Henrik. 2017. Skogsbrukets möjlighet att utnyttja föreslagna BK4-vägar för 74-tonsfordon. – Evaluation of forestry sector potential to operate 74-tonne vehicles on the proposed BK4 roads. 28 s. |
| Nr | 928 | Friberg, G., Berlin M., Johannesson, T. & Eliasson, L. 2017. Luttningsindex – beslutsstöd vid markberedning. – Slope index – decision support tool for scarification. |
| Nr | 929 | Arlinger, J., Möller, J.J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – skördardata. – Standardisering av skördar-databaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring. |
| Nr | 930 | Flisberg, P., Frisk, M., Mikael, Rönnqvist, M. & Willén, E. 2017. Turordningsplanering – Sequencing in operational planning. 28 s. |
| Nr | 931 | Eliasson, L. & von Hofsten, H. 2017. Prestation och bränsleförbrukning för en stor mobil flishugg. – Albach 2000 Diamant. – Productivity and fuel consumption of a large mobile wood chipper – Albach 2000 Diamant. 16 s. |
| Nr | 932 | Englund, M., Mörk, A., Andersson, H. & Manner, J. 2017. Delautomatiserad skotarkran. – Utveckling och utvärdering i simulator. – Semi-automated forwarder crane. – Development and evaluation in a simulator. 28 s. |
| Nr | 933 | Jonsson, R., Mohtashami, S., Eliasson, L., Jönsson, P. och Ring, E. 2017. Risning av stickvägar i slutavverkning – Effekter på spårbildning, skotarens bränsleåtgång, körhastighet, helkroppsvibrationer och skördarprestation. – The effect of slash reinforcement of strip roads on rutting, forwarder's fuel consumption, driving speed, whole body vibrations and harvester performance. 21 s. |
| Nr | 934 | Bjurholm, A., Jansson, G., Thierfelder, T. & Nordström, M. 2017. Utvärdering av metoder för mätning av rundved i trave -en statistisk och ekonomisk analys. – Evaluation of methods for measuring roundwood in stacks – a statistical and economical analysis 67 s. |

- Nr 935 Enström, J., Asmoarp, V., Bergkvist, M. & Davidsson, A. 2017. Förstudie för projektet Pilotimplementering av 74 ton. - Preliminary study for the Pilot Implementation of 74-tonne Vehicles project, commissioned by the Swedish Transport Administration. 50 s.
- Nr 936 Eliasson, L. & von Hosten, H. 2017. Acceleratorhastighetens effekt på Prestation, bränsleförbrukning och fliskvalitet för en större trumhugg – Bruks 1006. – Effect of accelerator speed on productivity, fuel consumption and chip quality for a large drum chipper – Bruks 1006. 12 s.
- Nr 937 Söderberg, Jo., Willén, E., Möller, J.J., Arlinger, J. och Bhuiyan, N. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata – resultat från tre fallstudier. – Evaluation of yield forecasts produced by forest laser estimations and harvester data – results from three case studies. 61 s.
- Nr 938 Högborg, K.-A. 2017. Effekter av förökningsmetod på plantors tidiga utveckling – somatisk embryogenes på gran och sticklingförökning av tall. – Effects of propagation method on early development of plants – somatic embryogenesis for spruce and cutting propagation for pine. 15 s.
- Nr 939 von Hofsten, H. 2017. Transportekonomi vid massavedstransport med olika antal travar på 74 tons virkesbil -Teoretisk analys. – Transport economics in pulp wood transport. – A theoretical analysis of number of stacks on 74-tonne trucks. 12 s.
- Nr 940 Nordström, M. & Hannrup, B.- 2017. Förbättrad diamettermätning i skördare – En pilotstudie med åtta Ponsse slutavverkningsskördare. – Improved diameter measurement in harvesters: A pilot study using eight Ponsse harvesters for final felling. 54 s.
- Nr 941 Brunberg, T., Johansson, F. och Löfroth C. 2017. Dieselförbrukningen hos skogslastbilar under 2016. – Diesel consumption in forest trucks, 2016. 9 s.
- Nr 942 Eriksson, B., Alenius, H., Ahlström, A. & Sääf, M. 2017. Sammanslagna tjänster i skogsbruket – Vertikal integration i skogsbruket. Vertical integration in forestry services. 24 s.
- Nr 943 Mörk, A., Sääf, M. & Jönsson, P. 2017. Förslag till riktlinjer för bättre trakttdirektiv.
- Nr 944 Siljebo W., J Möller, J.J. , Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2017. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – hprCM version 1.0 – Harvested Production Calculation Module baserad på StanForD 2010 version 3.2. 65 s.
- Nr 945 Willén, E., Friberg, G., Flisbeg, P., Andersson, G., Rönnqvist, M. & Westlund, K. 2017. Bestway – beslutsstöd för förslag till huvudbasvägar för skotare – Metodrapport. Bestway – decision support tool for proposing main base roads for forwarders. – Method report. 36 s.
- Nr 946 Westerfeldt, Per. 2017. Hänsynsstyrning i gallring.
- Nr 947 Söderberg, J. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata. – Resultat från tre fallstudier. – Evaluation of yield forecasts produced by forest laser estimations and harvester data – results from three case studies.
- Nr 948 Utvärdering av lönsamheten av olika skötselprogram med gallringsmallen och planeringsinstrumentet INGVAR.
- Nr 949 Sikström U., Gålnander ,H., Hjelm, K., Hajek, J., Friberg , G. & Sundblad L.-G. 2017. Beståndsanläggningskedjan – The regeneration chain.
- Nr 950 von Hofsten, H. & Johansson, F. 2017. HCT-kalkyl – En interaktiv kalkylmodell för att jämföra lastbilsstorlekar. – HCT-kalkyl – An interactive cost calculation model for comparing trucks of different sizes. 22 s.
- Nr 951 Mullin, T. & Persson, T. 2017. Assembling optimum breeding populations for the Swedish Scots pine breeding program. - Sammansättning av optimala förädlingspopulationer inom det svenska förädlingsprogrammet för tall. s. 16.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

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

FORSKNING OCH UTVECKLING

Sex forskningsprogram och processer:

- Driftsystem
- Förädling
- Skogsskötsel
- Värdekedjor
- Digitalisering
- Skogliga samhällsnyttor

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

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

Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 937-2017



www.skogforsk.se