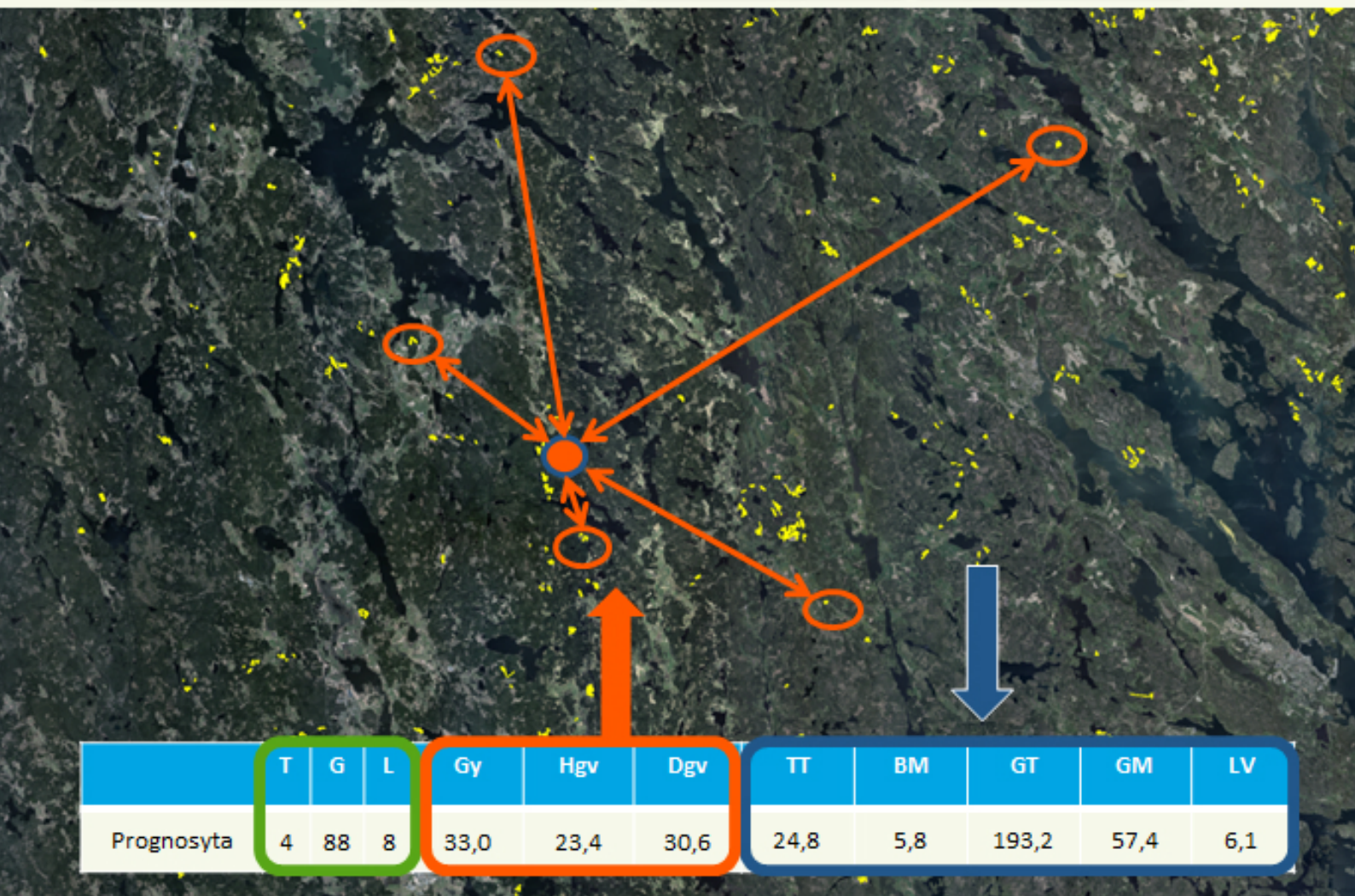


Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata

– MODELL- OCH SYSTEMBESKRIVNING FÖR SKAPANDE AV STAMBANKER OCH IMPUTERAT UTBYTE

Forecasting of log product yield based on forest and harvester data – A description of models and system for creating stem-files and imputation of product yield



Summary

Together with Södra, Sveaskog and SCA, Skogforsk has developed and tested a model for a forecasting system that can predict the volumes of different logs and assortments in a harvest. With more reliable forecasts, companies can steer their harvesting resources to the stands that best match their delivery plans. Sawmills can also plan their production better when they know the dimensions that are to be delivered. Large volumes are involved, so companies can save a lot of money through better planning and smaller stocks.

For many years, good tools have been available for calculating yield using bucking simulation. However, these tools require detailed data about the forest: reliable data on tree species mixture, height, diameter distribution, stem shape and expected timber quality. Naturally, stands can be surveyed accurately in the field before each felling, but this is often very expensive.

In this project, we have chosen to use historical harvester data to describe sites ahead of felling. This introduces the concept of imputation to the forestry sector, and involves describing a forest stand using data from other, similar stands in the vicinity. The model is based on the notion that forests with the same height, basal area and species distribution will have quite similar properties. Stand characteristics within a certain geographical area do not vary a great deal, and management practices are usually similar.

Forests that are felled today are measured and recorded, producing a great deal of standardized information. For every log that is produced, tree species, assortment, quality, dimensions and GPS coordinates of the harvester are recorded. In this way, every felled tree can be reconstructed by adding the logs together, and using this to estimate the total height and stem shape of the tree. A database is built from the harvester information, and companies enter data from all fellings.

The new system for yield forecasts is based on ordinary forest data before felling, such as basal area, height, and breast height diameter. In the future, companies will probably use laser data to measure tree height and basal area for planned fellings. When information has been gathered about the forest that is to be felled, the imputation is carried out. In this process, the system searches for historical harvester data with the same basal area, height and species mixture as that of the planned felling site. The stand in question is then allocated the same properties as the selected stands that have already been felled. The selected harvester data contains assortment and log yields, and a description of the characteristics of the felled forests. This data is then used for the new forecast through a mean value calculation.

A second alternative is to use data of the selected stands to build a stem bank and use bucking optimization for the new forecast.

A first system based on the components developed by Skogforsk, [hprYield](#), [ForestPrognosis](#) and [hprImputation](#), is now being tested in practice by Sveaskog (summer 2017), and is expected to be brought into operation during late autumn 2017. Södra has also started testing the system in autumn 2017. In addition, Skogforsk is conducting tests in its own test database environment, [hprDemo](#).



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

Redaktör: Cajsa Lithell, RedCap Design
©Skogforsk 2017 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport har utarbetats inom ramen för projektet ”Beräkningsmodul för skapande av stambanker och direkt utbytesprognos baserat på skogs- och skördardata på objektsnivå”

Projektet har föregåtts av en serie projekt där metodik och programvara för utbytesberäkning baserade på skördardata har utvecklats successivt. Projektets syfte var att ta det sista steget mot ett system/en modell för att automatiskt kunna göra utbytesberäkningar baserat på standarddata som beskriver den stående skogen i kombination med skördardata.

Projektet har finansierats av SCA Skog AB, Sveaskog Förvaltning AB, Södra Skogsägarna ek. för. och Skogforsk. En viktig komponent i systemet är modulen hprYield som analyserar skördardata. HprYield har även delfinansierats av Bergvik Skog AB, BillerudKorsnäs Skog AB, Holmen Skog AB, Skogssällskapet Förvaltning AB och Stora Enso Skog AB.

Projektet har varit organiserat med styr- och arbetsgrupp. I styrgruppen har följande personer ingått: Henrik Sakari (SCA Skog AB), Christer Ranvald (Sveaskog Förvaltning AB) och Örjan Vorrei (Södra Skogsägarna ek. för.).

Arbetet i projektet har varit uppbyggt kring arbetsgruppen vilken haft följande sammansättning:

SCA Skog AB	Magnus Tjärnskog och Lars Jonsson
Sveaskog Förvaltnings AB	Christer Ranvald och Bo Persson (konsult)
Södra Skogsägarna ek.för.	Patrik Anderchen och Anders P. Gustafsson
Skogforsk	John Arlinger, Nazmul Bhuiyan, Jon Söderberg, Ingemar Eriksson (Forbis AB, konsult) och Johan J. Möller

Ett stort tack till samtliga som bidragit till projektets genomförande!

Uppsala december 2017

Johan J. Möller (Projektledare)

Innehåll

Summary.....	2
Förord.....	3
Sammanfattning.....	5
Begrepp.....	6
Bakgrund.....	8
Allmän beskrivning av utbytesprognoser.....	8
Indata till utbytesberäkning.....	8
Skogliga inventeringsdata.....	8
Skördardata.....	9
Skördardatabas.....	10
Stambanker för apteringssimulering.....	10
Stambanksgenerering med modulen ForestPrognosis.....	12
Imputering.....	13
Systemskiss och beskrivning av ett prototypsystem för utbytesprognoser baserade på skördardata.....	14
Systemskiss och arbetsflöde.....	15
Prototypsystemet hprDemo.....	16
Skördardatabas.....	16
Skoglig beskrivning av prognosytor.....	16
Imputering.....	17
Avverkningsformer.....	17
Generering av stambank.....	18
Apteringssimulering.....	19
Inledande utvärdering av metodiken för utbytesprognoser.....	19
Material och metoder.....	19
Studie 1: Imputering.....	19
Studie 2: Stambank och simulering av stockdiametrar.....	20
Resultat Studie 1: Imputering.....	21
Resultat Studie 2: Stambank och simulering av stockdiametrar.....	22
Slutsatser.....	24
Referenser.....	25
Bilaga 1. Data för hopkoppling av prognosytor och beräkningsytor som används vid imputering och data som genereras vid imputerat utbyte baserat på beräkningsytor.....	27
Bilaga 2. Data för stambanksgenerering.....	30
Bilaga 3. Tänkbara fortsatta studier och utvecklingsspår.....	31

Sammanfattning

Tillsammans med Södra, Sveaskog och SCA har Skogforsk utvecklat och testat en modell för ett prognosystem som kan förutsäga hur mycket av olika stockar och sortiment som faller ut i en avverkning. Med säkrare prognoser kan företagen styra avverkningsresurserna till de bestånd som passar bäst in i leveransplanerna. Sågverken kan också planera produktionen bättre när de vet vilka dimensioner som är på väg in. Eftersom det handlar om stora volymer, kan företagen spara mycket pengar genom bättre planering och genom att ha mindre lager.

Det finns sedan länge bra hjälpmedel för att göra utbytesberäkningar med hjälp av apteringssimulering. Detta kräver dock bra data om skogen: säkra uppgifter om trädslagsblandning, höjd, diameterfördelning, stamform och förväntad timmerkvalitet. Naturligtvis kan man göra mer noggranna inventeringar i fält före varje avverkning, men det blir ofta väldigt kostsamt. I detta projekt har vi istället valt att använda historiska skördardata för att beskriva kommande avverkningstrakter. Detta har gjorts genom imputering, d.v.s. att beskriva ett skogsbestånd med hjälp av data från andra, liknande bestånd i närheten. Modellen bygger på att skog med samma höjd, grundyta och trädslagsfördelning troligen har likartade egenskaper. Skogen skiljer sig ofta inte så mycket åt och detsamma gäller ofta skogsskötseln så länge man håller sig inom ett visst geografiskt område.

För de skogar som avverkas i dag mäts och registreras standardmässigt mycket information. För varje stock som produceras registreras trädslag, sortiment, kvalitet, dimensioner och skördarens GPS-koordinater. Varje avverkat träd kan på så sätt rekonstrueras genom att lägga ihop stockarna och utifrån detta kan trädets totalhöjd och stamform skattas. Med skördarinformationen byggs sedan en databas där företagen samlar data från alla avverkningar.

Det nya systemet för utbytesprognoser baseras på vanliga skogliga data före avverkning, som grundyta, höjd och brösthöjdsdiameter. Troligtvis kommer företagen i framtiden använda laserdata för att mäta trädhöjd och grundyta för planerade avverkningar. Vid imputeringen söker systemet efter historiska skördardata med samma grundyta, höjd och trädslagsblandning som för den tänkta avverkningstrakten. Det aktuella beståndet tilldelas därefter samma egenskaper som de utvalda, redan avverkade, objekten. I de utvalda skördardata finns sortiments- och stockutfall samt en beskrivning av hur de tidigare avverkade skogarna såg ut. Dessa data används sedan för den nya prognosen genom en medelvärdesberäkning.

Ett andra alternativ är att utnyttja data för de valda objekten och bygga en stambank. I detta alternativ görs en prognos genom en apteringssimulering.

Ett första system baserat på de av Skogforsk framtagna komponenterna hprYield, ForestPrognosis och hprImputation testas nu i praktiken av Sveaskog (sommaren 2017) och beräknas driftsättas under senhösten 2017. Även Södra har kommit igång med tester under hösten 2017. Vidare kör Skogforsk tester i en egen testdatabasmiljö som kallas hprDemo.

Hur snabbt systemet sedan kan implementeras hos andra skogsorganisationer beror på hur snabbt företagen kan integrera prognoserna i sina IT-system. Här är erfarenheten att det kan ta lång tid eftersom stora komplexa system ska anpassas. Allt talar dock för att liknande system kommer introduceras även av andra företag då systemet bygger på befintliga standarddata och på så vis är förhållandevis billigt att implementera och sedan ha i drift.

Begrepp

Nedan beskrivs begrepp som används i dokumentet.

Beräkningsyta – En beräkningsyta skapas från skördarens avverkningsdata. Ytor som är 0,5–2 ha stora bildas av områden med liknande övre höjd. Skogforsks verktyg hprYield beräknar hur ytor ska skapas och räknar sedan ut en mängd nyckeltal för varje yta (Möller m.fl. 2016A).

Forestand – (standard för data om skog och brukande av skog). En informationsstandard för skoglig information om bestånd, ståndort, åtgärder och hänsyn. Används t.ex. för överföring av beståndsregisterinformation mellan olika system (Arlinger m.fl. 2017).

ForestPrognosis – Modul (Win32/64 dll) för generering av stambank baserat på information från hprYield (Arlinger m.fl. 2017b).

hprCM – Beräkningsmodul (.Net dll) framtagen för att skatta skogsbränslekvantiteter, men som också bland annat beräknar trädhöjder (Siljebo m.fl. 2017).

hprDemo – Skogforsks demonstrationssystem för utbytesprognoser baserat på imputering. hprDemo är kopplat till Skogforsks skördardatabas med rådata från maskiner, beräknade data från hprCM och hprYield samt skogliga grunddata. Skogliga registerdata kan importeras och används för test av imputering och apteringssimulering.

hpr-fil – Produktionsfil från skördare genererad enligt StanForD 2010. Hpr står för harvested production och är en nyare motsvarighet till det äldre pri-formatet enligt StanForD Classic. I filen lagras information om varje enskild stock och träd.

hprImputation – En instruktion (R-script) för att skapa datamodeller och anropa imputeringsfunktioner i statistikpaketet R (2016).

hprYield – En beräkningsmodul (Win32/64 dll) som analyserar skördardata och delar in avverkad areal i beräkningsytor. Beräkningsresultatet returneras i två olika typer av xml-meddelanden, det ena enligt ett särskilt xml-schema och det andra enligt Forestand (Bhuiyan m.fl. 2017).

Imputering – Med imputering menas att man överför provytedata, i detta fall avverkade objekt med skördare, från avverkning med liknande skogliga egenskaper till de objekt man vill göra prognoser för.

Imputerat utbyte – En sammanställning av de valda beräkningsytornas produkt-/sortimentsutfall, d.v.s. utan att göra någon apteringssimulering.

Objekt – Minsta enhet (avdelning) som ska avverkas för vilken en utbytesprognos ska göras. För olika företag så kan andra begrepp användas som ståndort, trakt, drivning eller avverkningsuppdrag.

Objektsbank – Register eller databas med objekt som planeras att avverkas och därför ska prognostiseras. Andra synonyma begrepp är traktbank eller drivningsplan.

Produkt – Begrepp inom StanForD 2010 som är synonymt med sortiment.

Prognosobjekt – Planerat avverkningsobjekt för vilken en utbytesberäkning skall göras. Kan bestå av en eller flera prognosytor. Kallas olika hos olika företag t.ex. trakt, drivning eller avverkningsuppdrag.

Prognosyta – Homogen (avseende skogens egenskaper) yta för vilken utbyte ska skattas med hjälp av imputering (och ev. apteringssimulering). Ett prognosobjekt kan bestå av en till flera prognosytor.

R-script – Det programmeringsspråk som används i hprImputation.

Stambank – Modellering av stammar som används vid apteringssimulering. Stambanken kan genereras utifrån nyckeltal som t.ex. DBH, höjd, form, toppdiametrar och registrerade skador. Stambanken kan genereras med hjälp av verktyget ForestPrognosis och lagras enligt hpr-formatet.

StanForD 2010 – StanForD står för Standard for Forest machine Data 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).

Skogliga data – Med skogliga data menas i detta dokument parametrar som beskriver den stående skogen. Exempelvis Dgv, Hgv, grundyta/ha och trädslagsblandning.

Skogforsks skördardatabas – Innehåller rådata från maskiner (hpr), beräknade data från hprCM och hprYield samt skogliga grunddata.

Stamfelsved – Ved i timmerdimensioner som inte kommer apteras som timmer p.g.a. av skador som röta eller krökar (Möller m. fl. 2015).

Utbytesberäkning eller utbytesprognos – Med utbytesberäkningar menar vi beräkning av vilka stockar och sortiment per trädslag som man kan förvänta sig vid avverkning av en specifik skog. En sammanställning av dessa stockar blir en utbytesprognos.

Utbytessimulering – Ett sätt att beräkna virkesutbyte från avverkning genom att genomföra en teoretisk aptering av en stambank mot en apteringsinstruktion (jämför med imputerat utbyte som endast sammanställer data från imputerade beräkningsytor).

Bakgrund

Utbytesprognoser är centrala för verksamhetsplanering inom ett skogsföretag. För att kunna åstadkomma dessa måste det finnas en beskrivning av skogen som utgångspunkt för beräkningarna. Ju bättre information det finns om t.ex. trädslag, diameter, höjd, form, ålder, koordinater för växtplatsen och fördelning av stamfelsesved, desto bättre klarar ett sådant planeringssystem av att göra utbytesberäkningar. Är informationen tillförlitlig, kan de förväntade stockarna tilldelas dimensioner (längd, diameter), volym, egenskaper (t. ex. kviststorlek, röta, etc.) samt en produktklass (sortiment). Genom bättre kunskap kan flödesstyrningen bli bättre och industrin kan få det virke som de beställt/förväntat sig. Därmed kan problem som t.ex. försämrat sågutbyte och merkostnader för missade order eller ökade lager av produkter som inte förväntats/önskats undvikas (Möller m. fl. 2015a).

Dessvärre håller prognoserna som avverkningsföretagen förfogar över sällan tillräckligt bra kvalitet. Det är ganska vanligt med betydande avvikelser mellan det prognostiserade virkesflödet och det verkliga utfallet (Ågren m.fl. 2017). Dessa avvikelser beror inte bara på bristande information om själva träden, utan också på att de ofta statistiska prognoserna inte inkluderar information om en rad föränderliga omständigheter, t.ex. väder, skador (storm, insekter), tjallossning, prisförändringar, ändrat utbud från skogsägare eller tillgång till maskinresurser.

Med god information om skogen finns betydligt bättre förutsättningar att räkna om och planera efter nya förutsättningar.

Målen med denna rapport är att ge en system- och modellbeskrivning av utbytesprognoser baserade på imputering med skördardata. Först ges en allmän beskrivning av utbytesprognoser och sedan beskrivs systemet baserat på imputering. Rapporten ger även exempel på några resultat och ytterligare resultat finns i separata redovisningsrapporter.

Allmän beskrivning av utbytesprognoser

INDATA TILL UTBYTESBERÄKNING

Skogliga inventeringsdata

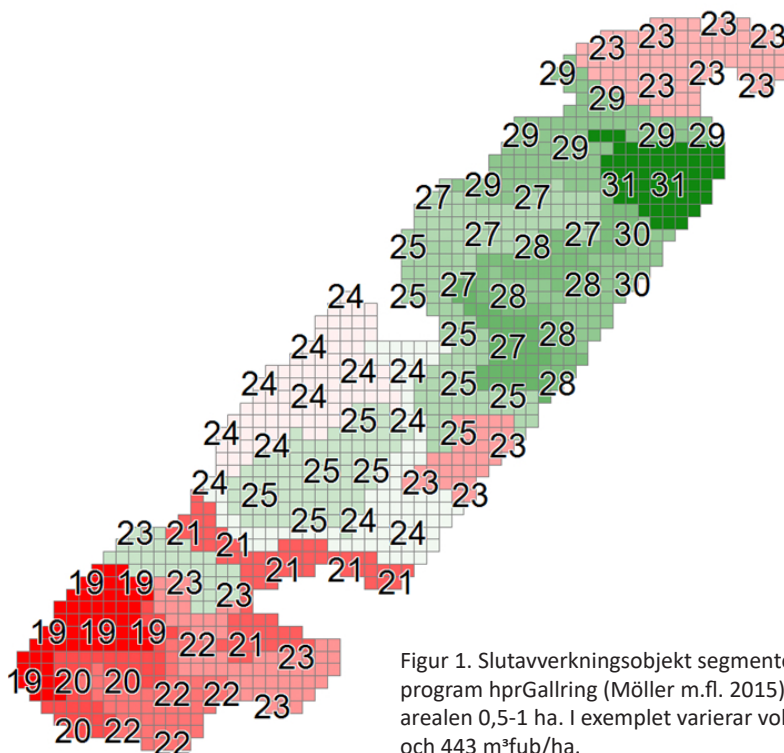
Utvecklad användning av ny inventeringsteknik som t.ex. laserskanning och annan modern mätteknik ger förutsättningar att effektivisera och förbättra avverkningsplaneringen och ge bättre beståndsbeskrivningar. Med nya laser- och flygfotobaserade metoder kan fel, främst i skogens höjduitveckling, reduceras betydligt (Barth m.fl. 2013). De exakta höjdmätningarna öppnar i sin tur nya möjligheter att nå träffsäkrare beskrivningar av beståndets kronslutenhet, ojämnheter och olikåldrighet samt, beroende på mätmetodernas upplösning, även stamantal och diameterfördelning. Markmodeller baserade på laserskannade data ger dessutom nya möjligheter att identifiera partier med bärighetsproblem (Sonesson m.fl. 2008).

Skördardata

Utgångspunkten för arbetet i det här projektet har varit studier som indikerar goda möjligheter att utifrån avverkningsdata från skördare prognostisera kommande avverkningar (Söderberg 2015). Tidigare har det dock varit svårt att tillämpa eftersom tillgången till data har begränsats av att skördardata endast samlats in i aggregerad form (prd-filer). I och med införandet av pri- och hpr-filer (Arlinger m.fl. 2012) vid insändning av skördardata, samlas data istället på trädnivå och dessutom med trädvisa koordinater. Den nya upplösningen och den geografiska kopplingen ger helt nya möjligheter till geostatistiska tillämpningar. Nu kan man betydligt enklare koppla ihop geografiska objekt som t.ex. beståndsregister, objektindelningar eller olika rasterbaserade skogliga fjärranalyskattningar. Det går också att segmentera den avverkade skogen efter den variation som beskrivs via stamdata och position. Därmed skapas mer homogena enheter som är bättre lämpade som beräkningsunderlag än de ofta variationsrika objekt som avverkas. Denna möjlighet har kommit att bli en nyckel vid användning av skördardata i kombination med fjärranalysdata (Möller m.fl. 2015a).

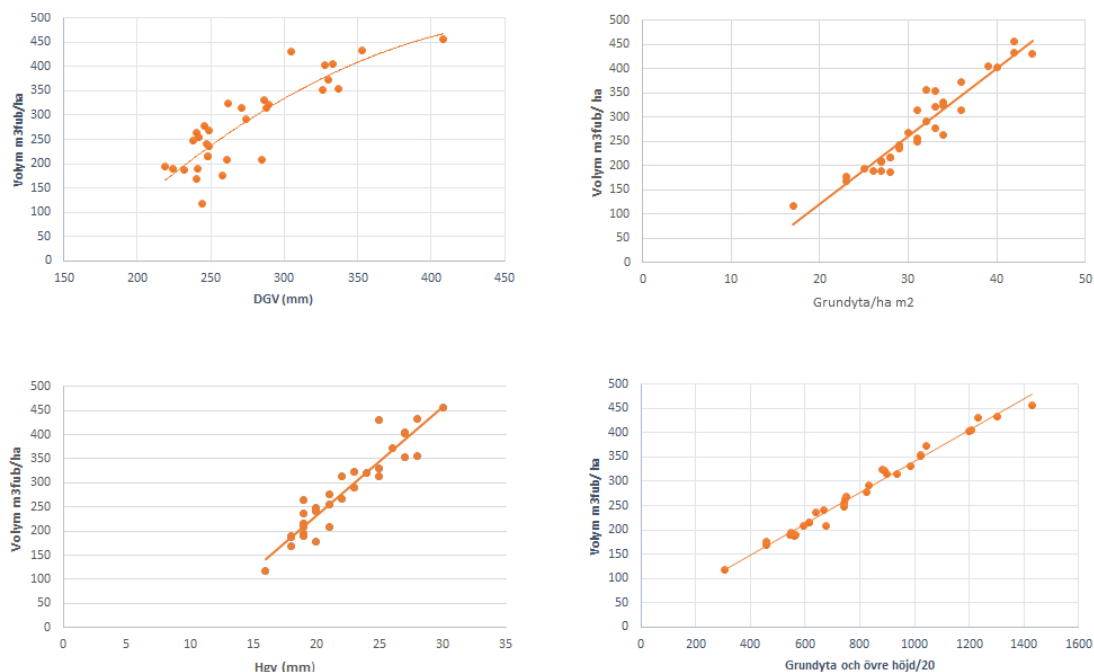
För att skördardata ska kunna användas i systemet bör maskinens mätsystem för längd och diameter vara väl kalibrerat.

Figur 1 illustrerar ett exempel där skördardata presenteras i beräkningsytor om 0,5-1 ha baserade på övre höjd (ÖH). I objektet hade träden vid slutavverkning en ÖH mellan 18 och 32 meter och volymen per beräkningsyta var 161-443 m³fub/ha. Medelvärdet för objektet var 267 m³fub/ha och ÖH 25 m. Tidigare har endast medelvärden för hela objektet kunnat beräknas från skördardata.



Figur 1. Slutavverkningsobjekt segmenterat med Skogforsks program hprGallring (Möller m.fl. 2015) i beräkningsytor med arealen 0,5-1 ha. I exemplet varierar volymutfallet mellan 161 och 443 m³fub/ha.

Skogforskstudier visar på tydliga samband mellan sortimentsutfall och skogliga variabler som ÖH och medelstam (Söderberg m.fl. 2017). Det gäller även då de skogliga parametrarna har mätts med skördare (Söderberg, 2015, figur 2). Andra studier där skördardata använts för prognoser med goda resultat är modellerna för gallringsuppföljning (Hannrup m.fl. 2011, 2015) och skogsbränsleprognoser (Hannrup m.fl. 2009).



Figur 2. Analys av 6 slutavverkningsobjekt i nära anslutning till varandra i mellersta Norrland. Bestånden indelades i ca 1 hektar stora ytor. Samband mellan skogliga data, beräknade utifrån skördardata för de avverkade träden, och avverkade gagnvirkesvolymen beräknades (Möller opublicerat). Figuren överst visar samband mellan medeldiameter och avverkad volym respektive samband mellan trädens grunddyta och avverkad volym per hektar. Figuren nederst visar samband mellan övre höjd och avverkad volym per ha respektive samband mellan en funktion av grunddyta och höjd med volym avverkad per hektar. Standardavvikelse för volymsutfall per ha enligt prognostiserad volym med höjd och grunddyta var 3,8 %.

Skördardatabas

De principer som eftersträvas bygger på tillgång till stora mängder data, både från skördare, för den skogliga beskrivningen och för alla de uppgifter som beräknas. I praktiken krävs därför att data hanteras med effektiv databasteknik.

För att kunna utveckla tekniken och hantera data från intressentföretagen har Skogforsk utvecklat en sådan databas. I den fortsatta texten används benämningen skördardatabas för denna typ av databas.

STAMBANKER FÖR APTERINGSSIMULERING

Stambanker kan genereras på olika nivå beroende på syftet. Det kan handla om stambanker för t.ex. regioner eller för enskilda avverkningar. Oavsett nivå är principen densamma, d.v.s. vid generering av stambank skapas information på stamnivå utifrån beståndsmedelvärden eller andra nyckeltal som finns tillgängliga. De viktigaste nyckeltalen är trädslag, DBH och trädhöjd, då dessa påverkar volyms- och sortimentsutbytet starkt (Möller m.fl. 2007). Dessutom påverkar även andra variabler och det är viktigt att specificera även dem (Möller m.fl. 2007). Exempel på sådana variabler finns listade i tabell 1.

Tabell 1. Variabler och deras påverkan på en utbytesprognos.

Variabel	Påverkan på utbytet
Trädslag	Grunden för vilken produkt som kan göras exempelvis talltimmer, granmassaved etc.
DBH	Beskriver trädens storlek som har stark koppling till stockars diameter som påverkar vilka produkter som kan produceras.
Trädhöjd	Stamvolym, sortimentsutfall och längdutfall påverkas av trädhöjd (hög skog ger normalt högre timmerandel, längre virke).
Formkvot	Stamvolym, sortimentsutfall och längdutfall (bra form ger möjlighet till mer och längre timmer).
Stamfelsesved	Sortimentsutfall (hög stamfelsesvedandel ger lägre timmerandel och högre andel massaved).
Stamfel rotstock gran (röta)	Sortimentsutfall (hög andel stamfel ger mer granmassa, barr- och rötved).
Manuell kapfrekvens timmer	Längdfördelning (mer manuella kap (skador) ger normalt kortare timmer).
Toppdiameter sista kap/sista timmerkap	Volymutfall/sortimentsutfall (grova toppar ger lägre volymutfall). Sista toppkap på timmer påverkar också stockarnas toppdiameter.

Skogforsk har utvecklat en särskild modul, *hprYield*, för att beräkna flera av de skogliga nyckeltal som presenteras i tabell 1 utifrån skördardata (Bhuiyan m.fl. 2017). Bearbetning med *hprYield* sker i följande steg:

1. Modulen läser in *hpr*-filer som körts genom modulen *hprCM* (Siljebo m.fl. 2017) som bl.a. skapar toppar på stammarna. Även filtreringar genomförs för att korrigera orealistiska stamvärden.
2. Modulen delar upp (segmenterar) varje avverkning i beräkningsytor med en storlek på mellan 0,5-2 ha (se figur 2 & 4). Beräkningsytorna skapas utifrån den skogliga höjdvariationen inom ett objekt. Ytorna skapas från delar med liknande höjd.
3. För varje yta beräknas nyckeltal på uttaget per trädslag, DBH-klass och totalt. Exempel på nyckeltal per DBH-klass är trädhöjd, form, stamfelsesved, toppkapsdiameter och produkt-/ sortimentsutfall.
4. Förutom nyckeltal baserade på uttaget så skapas även geometrier för varje beräkningsyta (Arlinger m.fl. 2017). För gallring så görs även en prognos för beståndsegenskaper, både före och efter gallringsuttaget.
5. Resultatet förmedlas i *xml*-format. Geometrier och beståndsbeskrivning kan även genereras separat enligt *Forestand*.

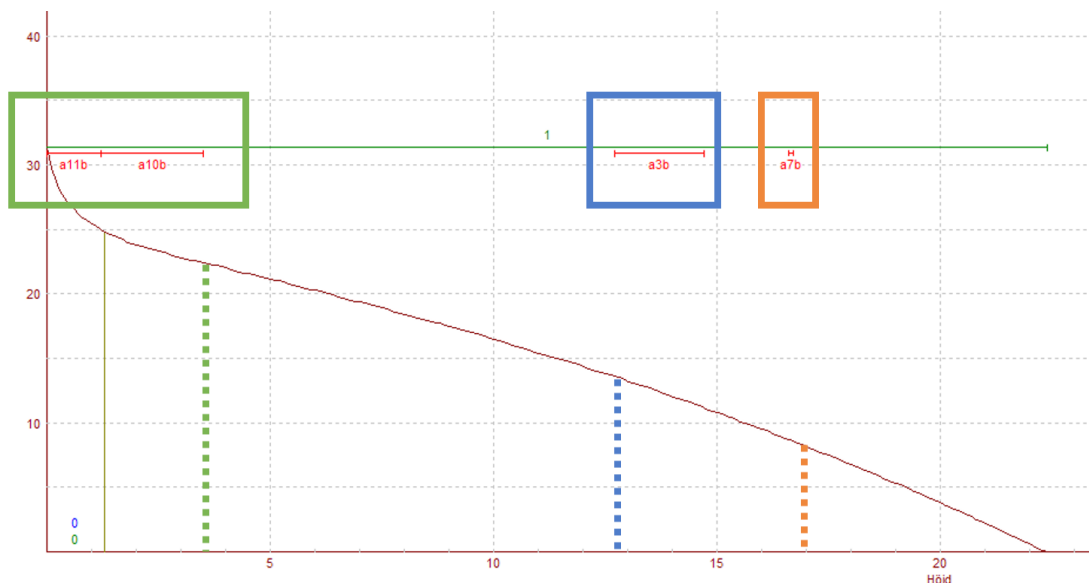
Tabell 2. Exempel på data genererade med hprYield för en beräkningsyta. I tabellen visas data för granar.

DBH-klass	Antal	Höjd	Formkvot	Minsttoppdia	Medel minsttopp	Toppdiameter timmer	Stamfel rot	Stamfel topp	Stamfel andra	Manuella kap rot	Manuella kap topp	Manuella kap övrig	Sågtimmerstockar
(mm)	(st)	(cm)	(kvot)	(mm)	(mm)	(mm)	(st)	(st)	(st)	(st)	(st)	(st)	(st)
240	39	2243.0	0,63	70	110	145	3		2	24	12	43	111
260	36	2140.0	0,61	65	113	143	5		5	25	13	36	91
280	31	2319.0	0,62	66	113	151	5	1	3	19	14	39	92
300	23	2486.0	0,62	83	118	162	1		4	17	9	31	83
320	25	2573.0	0,61	63	124	161	2	1	5	16	11	33	90
340	21	2729.0	0,61	82	120	176	2		1	11	10	42	87
360	10	2755.0	0,62	60	113	177	1		2	8	4	17	39
380	5	2722.0	0,61	74	117	181	1			1	4	7	17
400	4	3109.0	0,58	131	142	180				2	2	6	16
420	5	2883.0	0,65	109	143	195				2	3	6	20
440	3	2865.0	0,51	124	132	193				3	1	7	11

Stambanksgenerering med modulen ForestPrognosis

Stamgenereringsmodulen *ForestPrognosis* genererar en stambank i form av en hpr-fil enligt StanForD2010 (Arlinger m.fl. 2017). Indata till *ForestPrognosis* är de nyckeltal som beräknas i hprYield enligt tabell 2. I tabellen visas data för granar. Tabellen visar följande nyckeltal per DBH-klass: antal träd, medelhöjd, formkvot, minsta toppdiameter, antal stockar med stamfelsved och antal stockar med manuella kap. Sist redovisas antal timmerstockar. Hpr-filen som genereras innehåller information om stammarnas trädslag, höjd, diameter var 10:e cm, skador och kvaliteter. Hpr-filen kan sedan användas i apteringssimuleringsprogram för att göra prognoser baserade på olika prislistor. I figur 3 illustreras en stam skapad med *ForestPrognosis*. För stammen finns både ett manuellt kap och stamfelsved. I exemplet framgår också att sista toppdiametern är ca 75 mm.

Egenskaper som tilldelas per DBH-klass är t.ex. trädhöjd, stamform, medeltoppkap, stamfelsesfrekvens och manuella kap för rotstock, mellanstockar och toppstockar, diameter sista timmerkap och toppbrottsfrekvens. Kvalitet tilldelas stammarna enligt en default-inställning.



Figur 3. Exempel på stamprofil skapad med *ForestPrognosis*. Stammen i exemplet är 22,5 meter hög och har en DBH på 250 mm. Stammen har stamfvelved (röta) i roten (grön markering), sista timmerkap vid ca 140 mm (blå markering), sista kap vid ca 75 mm (orange markering) och att hela stammen håller kvalitet 1 förutom för de ovan specificerade defekterna.

IMPUTERING

Inledningsvis beskrevs att det finns tydliga samband mellan en bra beståndsbeskrivning och det förväntade utfallet. Därmed kan man sluta sig till att bestånd som liknar varandra avseende beståndsbeskrivning också liknar varandra vad gäller utfallet från avverkning.

Det är också känt att det finns regionala skillnader för utbytespåverkande och svärmätta faktorer som t.ex. stamform, skötselhistorik och rötfrekvens. Vill man hitta skogar med liknande utfall ska man troligtvis, förutom att leta efter likande beståndsegenskaper och växtplats, också leta så nära som möjligt.

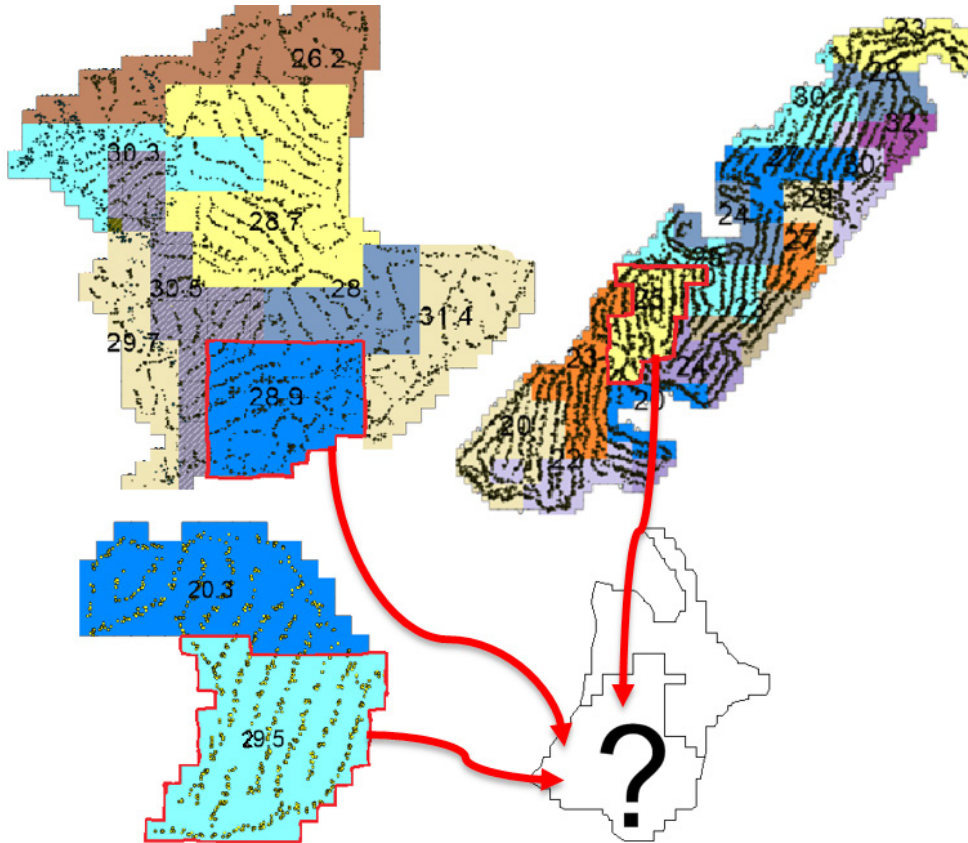
För att kunna generera stambanker behövs en rad nyckeltal som inte kan hämtas direkt ur registerdata för planerade objekt. Dessa nyckeltal finns däremot av utmärkt kvalitet på redan avverkade objekt, förutsatt att data har samlats in och processats enligt ovan.

Ur detta resonemang kommer den hypotes som har varit vägledande i projektet, nämligen att det bör finnas förutsättningar för utbytesberäkning genom att överföra nyckeltal från avverkade objekt till planerade objekt genom att leta efter närmaste liknande granne/grannar.

Denna typ av informationsöverföring är välbeprövad teknik i geostatistiska sammanhang (och även många skogliga). Vi har valt att använda termen "imputering" för tekniken att söka ett antal närbelägna avverkade beräkningsytor med liknande skoglig beskrivning och extrahera nyckeltal ur dessa. Nyckeltalen används sedan för generering av stambank eller för att sammanställa det verkliga utfallet från dessa ytor.

Metoden för imputering som användes kallas kMSN (Most Similar Neighbour), där ett antal (k) av de mest liknande referensytorna (grannarna) väljs ut för varje yta som skall skattas. Medelvärdena av dessa "grannar" överförs till prognosytan (Moeur & Stage, 1995). Imputering kräver dock en omfattande referensdatabas. Detta eftersom metoden inte kan extrapolera skattningar utan endast väljer ut liknande referensytor och medelvärdesbildar skattningsvariabler ur det tillgängliga referensmaterialet.

Ett första test av tekniken har gjorts av Söderberg (2015) vilket gav underlag för fortsatt utveckling och praktiska test. Utvecklingen har drivits vidare av Skogforsk, främst med medel inom ramarna för styrelsens riktade satsningar för produktivitet och skonsamhet i avverkning (Söderberg m.fl. 2017).



Figur 4. Vid imputering väljs ett antal beräkningsytor ut som liknar en viss prognosyta.

Systemskiss och beskrivning av ett prototypsystem för utbytesprognoser baserade på skördardata

Projektets huvudsyfte har varit att utveckla metodiken och modellerna som behövs för imputering med skördardata. Avsikten har också varit att ta fram en systemskiss för hur ett tänkt system kan fungera där de olika modulerna och skördardatabasen ingår. I nedanstående avsnitt beskrivs ett sådant system.

Skogforsk har även tagit fram ett prototypsystem, hprDemo, som följer systemskissens specifikationer.

SYSTEMSKISS OCH ARBETSFLÖDE

Figur 5 nedan visar systemets tänkta flöde. Figuren visar hur mätdata som beskriver skogen för ett objekt, tillsammans med data från skördarna, binds samman till ett imputerat utbyte eller en stambank för simulering av utbyte.



Figur 5. Schematisk bild över ett system där skördardata används för att göra utbytesprognoser för skogliga objekt (prognosyta) där skogen är beskriven med skogliga parametrar som medelhöjd, medeldiameter, grundyta och trädslag. Utifrån den skogliga beskrivningen görs en imputering där skördardata (beräkningsytor) kopieras in till de objekt som ska avverkas. Därefter görs en sortimentsprognos eller stambank.

Nedan beskrivs de olika stegen:

- 1) **Beställning av prognos (orange fält):** En beställning görs för ett prognosobjekt som kan bestå av en eller flera prognosytor genom att data som beskriver skogen, t.ex. laserdata, klavdata eller annan registerdata, skickas in i systemet. Matchning vid imputering görs per prognosyta.
- 2) **Bruttourval av beräkningsytor (blått fält):** I nästa steg görs ett bruttourval ur alla beräkningsytor i utbytesdatabasen. Till exempel väljs de 1000 geografiskt närmaste beräkningsytorna ut ur databasen. Ytorna kan uppfylla vissa villkor, t.ex. att de har samma avverkningsform som prognosobjektet; gallring eller föryngringsavverkning och samma dominerande trädslag. Beräkningsytor med data genereras av Skogforsk modul hprYield.
- 3) **Val av beräkningsytor (grönt fält):** Ett imputeringskript väljer ut de beräkningsytor som bäst matchar de skogliga data för prognosytan. I en första variant sker imputeringen baserat på grundyta/ha, trädslagsfördelning, Hgv och Dgv. Imputering görs av Skogforsk modul hprImputation.
- 4) **Imputerat utbyte och skapande av stambank (gult fält):** Utifrån de utvalda beräkningsytorna summeras de olika produkterna och en utbytesprognos görs (imputerat utbyte). Dessutom kan en stambank skapas baserad på de valda beräkningsytorna. I systemet bör det gå att generera en stambank för enskilda objekt eller göra en stambank för ett område (gruppurval). Stambanker och utbyte skapas med Skogforsk modul ForestPrognosis.

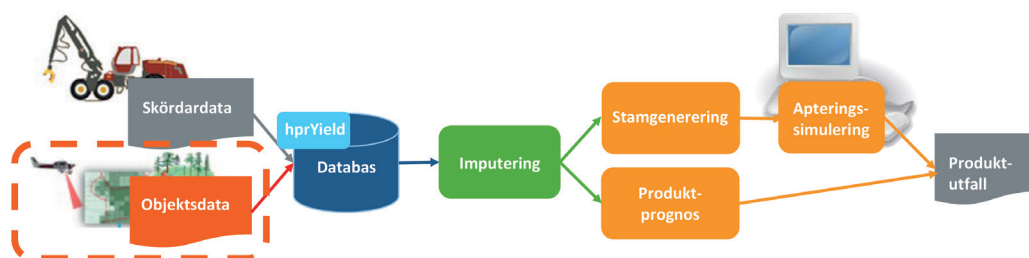
PROTOTYPSYSTEMET HPRDEMO

Skördardatabas

Skogforsks skördardatabas innehåller i skrivande stund data från 13 000 avverkningsobjekt. Från dessa har ca 80 000 beräkningsytor kunnat genereras med hprYield (Bhuiyan m.fl. 2017).

Web-verktyget hprDemo är kopplad direkt mot databasen och kan således hämta ut de data som behövs för t.ex. imputering eller simulering av ett prognosobjekt.

Skoglig beskrivning av prognosytor



Figur 6. Schematisk bild över ett system där skördardata används för att göra utbytesprognoser för skogliga prognosytor (objekt, trakt, avverkningsuppdrag) där skogen är beskriven med skogliga parametrar som medelhöjd, medeldiameter, grundyta och trädslag. Parametrarna tas fram i hprYield i samband med att skördardata läses in i databasen.

Den nuvarande versionen av imputeringsmodell (figur 6) behöver följande indata: avverkningsform, koordinater, Dgv, Hgv, grundyta och trädslagsblandning. I hprDemo kan dessa baseras på någon av följande alternativa datakällor;

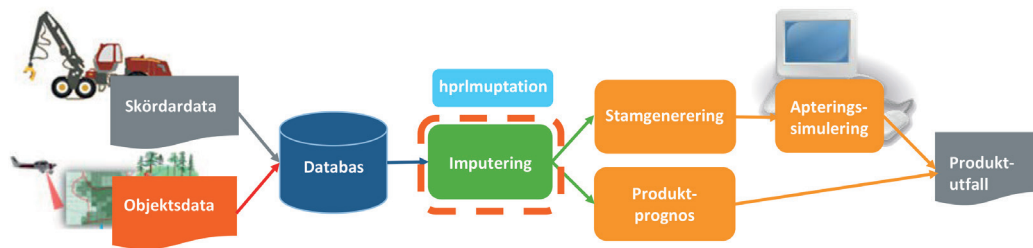
1. Manuell inmatning av samtliga nyckeltal
2. Import av data från beståndsregister (Forestand)
3. Skogliga grunddata baserad på nationell laserskanning kompletterade med manuell inmatning av trädslagsblandning
4. Beståndsbeskrivning från hprYield

Det sistnämnda alternativet, beståndsbeskrivning från hprYield, används när man vill använda ett redan avverkat bestånd som prognosyta. Det har visat sig mycket användbart i utvärderings- och utvecklingssyfte.



Figur 7. Exempel på importerad prognosyta i hprDemo. Den blåa polygonen (området) är den från beståndsregister importerade ytan. Den gula är den figur som räknats ut i hprYield baserat på avverkade data.

Imputering



Figur 8. Imputeringssteget i systemet är grönmarkerat i figuren ovan och visar var modulen *hprImputation* kommer in i systemet. Här görs en sökning efter skördardata i databasen som liknar de objektsdata som är beskrivna för aktuellt objekt som prognosen avser.

Vid imputering skickas prognosytans skogliga uppgifter till imputeringsmodellen tillsammans med information om hur många beräkningsytor modellen ska leverera. Rent tekniskt är modellen implementerad som ett skript i statistiksystemet R, och det finns alltså ett integrationssteg mellan hprDemo och R (Anon 2016).

Det första som görs i hprImputation (R-skriptet) är att fråga databasen efter ett bruttourval, d.v.s. ett grovt urval av ytor som modellen kan göra ett förfinat urval ifrån. I nuvarande version av hprDemo väljs:

- de 1000 närmaste ytorna som har samma eller liknande avverkningsform ut. Även varianter med ytterligare filtreringsparametrar (altitud, klenntimmeruttag och trädslagsfördelning) utvärderas (Söderberg m.fl. 2017).

Från bruttourvalet väljer sedan modellen ut de mest likartade ytorna och returnerar identiteterna för dessa till hprDemo. I en första variant sker imputeringen baserat på:

- 1) Hgv
- 2) Grundyta/ha
- 3) Dgv
- 4) Trädslagsfördelning

Avslutningsvis vägs data från beräkningsytorna (inklusive utfall) samman och presenteras för användaren (imputerat utbyte).

AVVERKNINGSFORMER

I slutavverkning sker uttag av merparten av alla träd och uttaget blir därmed en ganska bra beskrivning av hur beståndet såg ut före avverkning. I gallring finns inte detta enkla samband och imputeringsmodellen måste därför få tillgång till någon annan typ av skattning av beräkningsytornas tillstånd före avverkning.

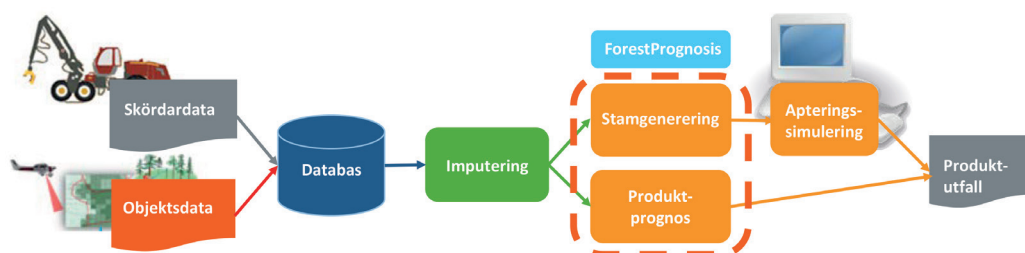
Skördardatabasen har två sådana skattningar som kan användas i hprDemo. Huvudalternativet är att utnyttja funktionen i hprYield för att göra en prognos över hur objektet ser ut efter gallring. I hprYield summeras gallringsuttaget med prognos efter gallring för att beskriva bestånd före gallring (Möller m.fl. 2015). Ett annat alternativ är att imputeringen sker baserat på skogliga grunddata för respektive beräkningsyta kombinerat med trädslagblandningen från avverkningen. Detta är dock i många fall en osäker metod för gallring då tillväxten är svår att skatta. I båda fallen byts information om uttaget på beräkningsytorna ut mot en skattning av beståndet före avverkning i bruttourvalet till imputeringsmodellen.

Tabell 3. Några av uppgifterna som räknas ut i hprDemo för ett imputerat objekt där skördarens data har använts som prognosyta. Notera avvikelsen mellan normaltimmer och klentimmer. I nuvarande version vet inte imputeringsmodellen om klentimmer har tagits ut. Försök har visat att det går att förbättra detta redan i bruttourvalet. Felet har dock mindre betydelse för stambanksgenerering och apterings-simulering. ImpYield visar resultatet vid imputering med modellen och Skördare visar utfallet vid avverkning av aktuellt objekt.

Bestämningstyp	ImpYield	Skördare
Bestånd (%)		
Volym m ³ sk/ha	184.5	183.6
Grundyta m ² /ha	18.0	18.4
Dgv cm	28.2	27.9
Hgv m	21.9	22.3
Medelstam m ³ fub	0.39	0.47
Stammar/ha	400	332
Stamfelsved m ³ fub/ha	8.5	9.6
Normaltimmer m ³ fub/ha	120.4	92.5
Klentimmer m ³ fub/ha	6.4	37.1
Massasved m ³ fub/ha	29.8	26.0

I hprDemo så har även avverkningsformen ”lämnande av fröträd” byggts in. Vid val av denna avverkningsform får man ange antal fröträd som ska lämnas. Systemet minskar då grundytan för tall genom att subtrahera grundytan för det valda antalet fröträd. Grundytan för fröträden beräknas med tallarnas Dgv, ökat med 10 procent i diameter. Denna uträkning görs före imputering.

Generering av stambank



Figur 9. Bilden ovan beskriver var modulen *ForestPrognosis* kommer in i systemet (röd streckad ring). Med modulen skapas primärt en stambank som kan användas för apterings-simulering. Modulen kan även utifrån valda beräkningsytor sammanställa ett imputerat utbyte.

Stamgenereringsfunktionen i *ForestPrognosis* (Arlinger & Möller, 2017) ger en stambank med samma antal stammar per DBH-klass och trädslag som de valda beräkningsytorna. Trädens egenskaper baseras på beräkningsytornas nyckeltal per DBH-klass.

I hprDemo kan en stambank genereras på objektsnivå, antingen baserat på beräkningsytor från ett avverkat objekt eller baserat på data från imputerade beräkningsytor. I båda fallen hämtar hprDemo beräkningsytedata ur databasen och skickar dessa i xml-format till beräkningsmodulen *ForestPrognosis*. Genererade stammar motsvarande en hektar returneras i hpr-format.

Apteringssimulering

För att kunna anropa apteringssimuleringsprogrammet Aptan (Anon 2012) och göra en utbytesprognos på en stambank behövs en apteringsinstruktion. I hprDemo kan en apteringsinstruktion extraheras från hpr-data för ett avverkat objekt (oin, pin och spi-filer), och användas i anropet. Alternativt ska en extern/ ny instruktion enligt StanForD2010 (Arlinger 2012) kunna användas.

När stambanken har returnerats från Forestprognosis, skapar hprDemo alltså en apteringsinstruktion och anropar Aptan. Om simuleringen går bra returneras stam- och stockdata, återigen i hpr-formatet. HprDemo lagrar data med intakta kopplingar till apteringsinstruktionens definition och sammanställer sedan resultatet.

Anrop av ForestPrognosis och Aptan i hprDemo sker i ett flöde. Prognosytan kan vara antingen skördarens data på objektet eller imputerade ytor. En förutsättning är att ytan är avverkad, och att det har skett med en maskin som levererar data enligt StanForD 2010 eller en pri-fil som har konverterats till StanForD 2010-format.

Inledande utvärdering av metodiken för utbytesprognoser

Organiseringen och lagringen av data i en databas, som genomförts i det här projektet, har gett nya förutsättningar att genomföra utvecklingsarbete. Det har t.ex. blivit mycket lättare att genomföra kvantitativa analyser. Därför kunde en jämförelse mellan apteringssimulering och verkligt utfall genomföras med relativt begränsad tidsåtgång. Detta arbete har inte samma noggranna försöksupplägg som har gällt för imputeringsstudierna, men resultaten är ändå intressanta som underlag för fortsatta studier.

MATERIAL OCH METODER

Studie 1: Imputering

För att utvärdera precisionen för skördardatabaserade utbytesprognoser med den nya imputeringsmetoden, analyserades resultaten från 2000 prognoser på redan avverkade beräkningsytor ur Skogforsks skördardatabas för förnygringsavverkning respektive gallringsåtgärder (Söderberg m.fl. 2017).

Försöket avsåg att kvantitativt jämföra skördarens utfall med imputerat uttag baserat på 5 beräkningsytor. Imputeringen skedde med skogliga nyckeltal baserat på avverkningen (grundyta, Hgv, Dgv och trädslagsfördelning) Följande data användes i studie 1:

1. Skördarens uttag för aktuell beräkningsyta (faktiskt utfall).
2. Uttag på imputerade ytor (5), imputering gjord baserat på nyckeltal beräknade med hprYield för aktuell beräkningsytas skördardata.

Jämförelse mellan de två volymerna gjordes med totalvolym per hektar men även av sortimentsfördelningen per trädslag.

Studie 2: Stambank och simulering av stockdiametrar

Försöket avsåg att kvantitativt jämföra simulering med verkligt utfall för att identifiera kalibreringsbehov av modulen Forestprognosis. Dessutom jämfördes att åstadkomma stambanken utifrån imputerade beräkningsytor alternativt från objektets beräkningsytor. Totalt jämfördes alltså fyra olika metoder att beräkna utbyte för en enskild beräkningsyta:

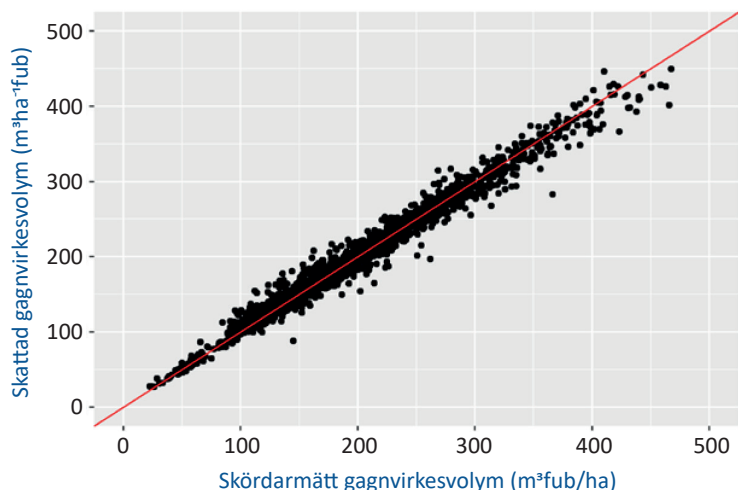
1. Skördarens uttag för aktuell beräkningsyta (faktiskt utfall).
2. Simulerat utfall på stambank byggd med hprYield-data beräknad på träddata för den aktuella beräkningsytan (skördarens hpr-fil).
3. Uttag på imputerade ytor (5 stycken), imputering gjord baserat på nyckeltal beräknade med hprYield för aktuell beräkningsytas skördardata.
4. Simulerat utfall på stambank byggd med nyckeltal från de imputerade ytorna (se punkt 3 ovan).

Studien omfattade totalt 90 objekt fördelat på 30 objekt om vardera tre områden i norra, södra, respektive mellersta Sverige. För att apteringssimulering skulle kunna göras, behövde apteringsinstruktionen extraheras ur hpr-data. Därför krävdes att maskinen levererade hpr-filer, vilket begränsade tillgången till objekt. Urvalet skedde subjektivt utan kontroll av representativitet (t.ex. avseende fördelning på olika maskiner eller företag, vilket ska beaktas vid tolkning av resultatet).

RESULTAT

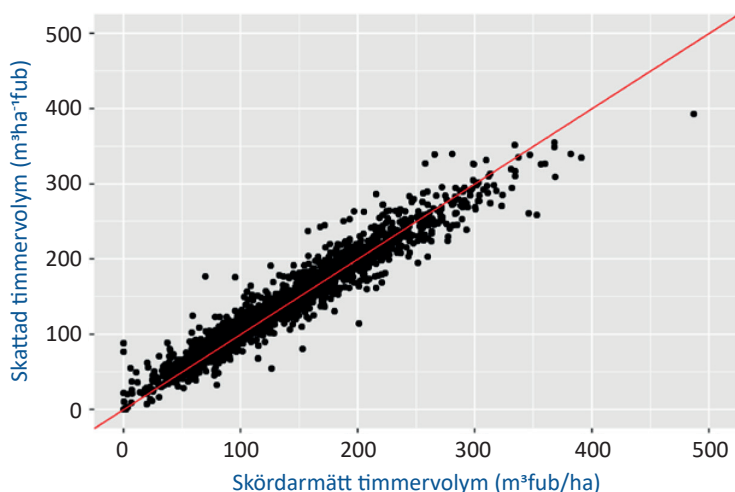
STUDIE 1: IMPUTERING

Sambandet mellan den skogliga beskrivningen och imputerad prognos för gagnvirkesvolym i föryngringsavverkningar var starkt (figur 10).



Figur 10. Imputerad utbytesprognos (skattad), baserad på medelvärdet från fem beräkningsytor, för total gagnvirkesvolym i jämförelse med skördarmätt (inmätt) avverkad gagnvirkesvolym för 2000 föryngringsavverkningar spritt över hela Sverige. Imputering baserad på trädslagsfördelning, grundyta, Hgv och Dgv från avverkade stammar (skördarmätta).

Standardavvikelsen för gagnvirkesprognoserna låg på 12,3 m³fub/ha eller 6,4 procent medan den systematiska avvikelsen blev i det närmaste obefintlig, 0,1 m³fub/ha resp. 0,1 procent (figur 10). För prognostiserat timmerutfall låg standardavvikelsen på 17,1 m³fub/ha vilket motsvarar 12,7 procent av timmervolymen, medan den systematiska avvikelsen blev 1,6 m³fub/ha eller 1,2 procent baserat på timrets volym (figur 11).

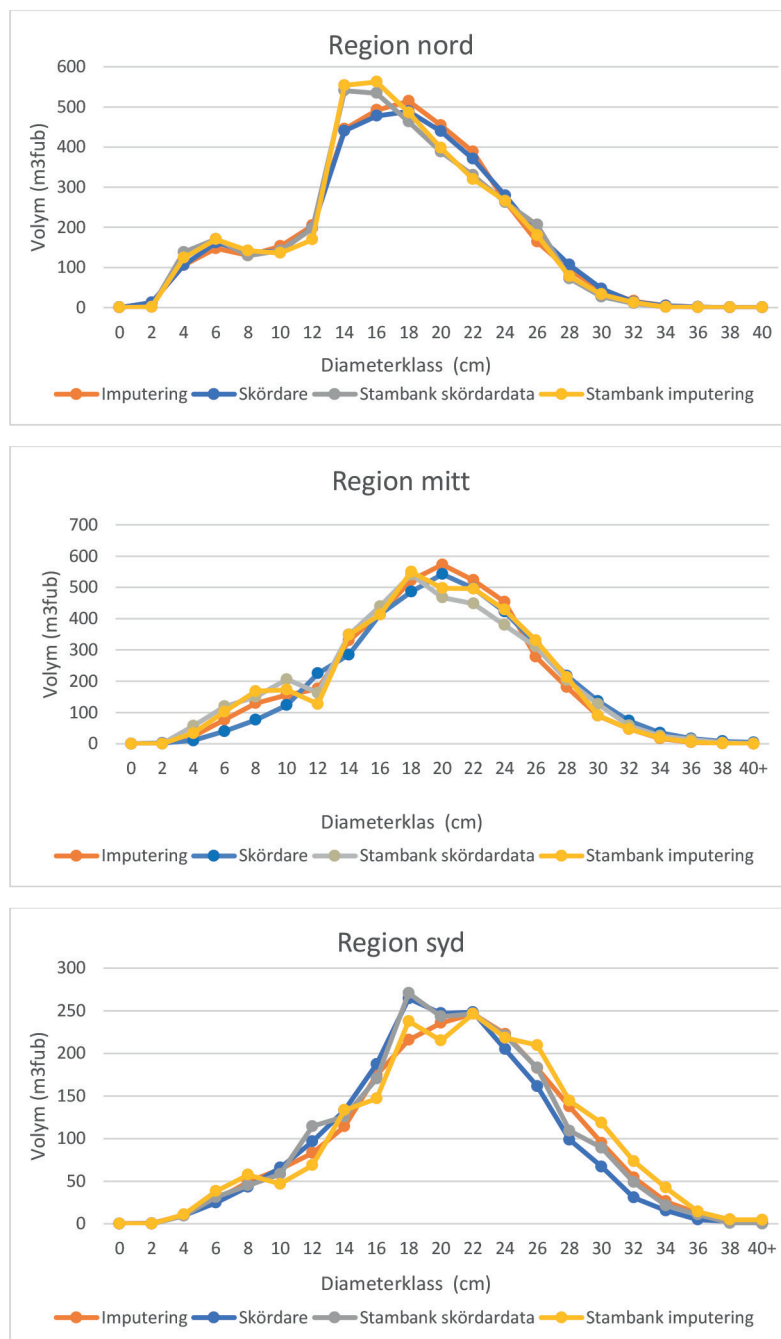


Figur 11. Skattad timmervolym i jämförelse med skördarmätt timmervolym (inmätt) för föryngringsavverkningar (n=2000), prognosticerad genom medelvärdesbildning från fem beräkningsytor utvalda med imputeringsmetoden. Data från hela Sverige. Imputering baserad på trädslagsfördelning, grundyta, Hgv och Dgv från avverkade stammar (skördarmätta).

För ytterligare resultat se Söderberg m.fl. 2017. Resultaten i figurerna ovan visar vilka utbyten man kan förvänta sig om indata som grundyta och höjd är korrekta.

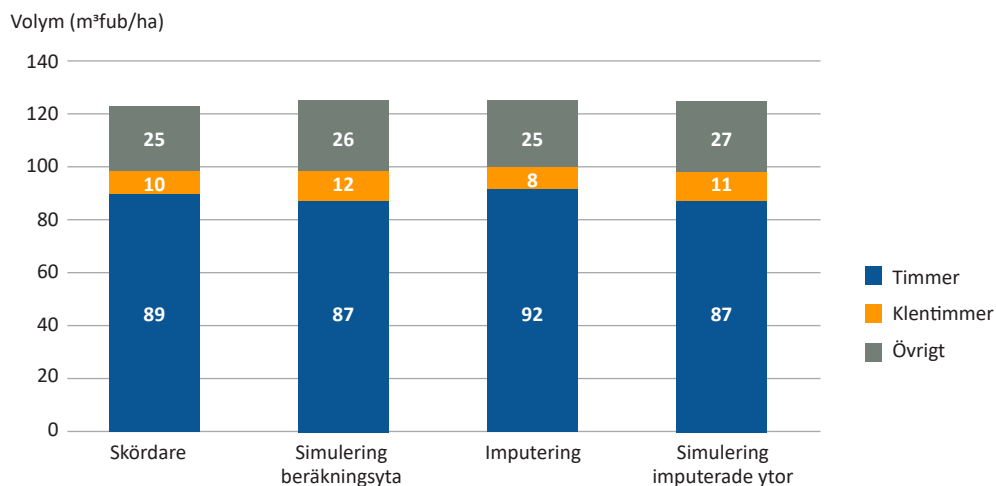
STUDIE 2: STAMBANK OCH SIMULERING AV STOCKDIAMETRAR

I figur 12 framgår volymsfördelning per stockdiameterklass för de olika studieområdena. Generellt är det en god överensstämmelse mellan de olika metoderna och man kan tydligt särskilja kurvorna mellan de tre områdena. En tendens finns till en liten "spetsigare" kurva för simuleringen, vilket beror på att beräkningen är lite "för bra" på att hitta bästa längden för klentimmer. Diagrammen visar endast tall, men resultaten är likvärdiga för gran.



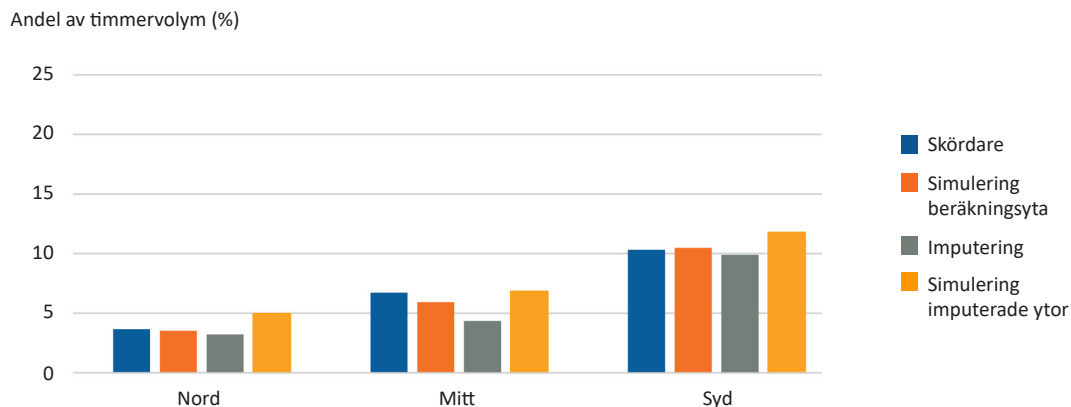
Figur 12. Volymsfördelning av tall (alla sortiment) per stockdiameterklass (där 1 motsvarar 20-39 mm, 2 motsvarar 40-59 mm osv., d.v.s. DBH/20) för norra testområdet (Väster- och Norrbotten, överst), mellersta testområdet (Bergslagen, i mitten) och södra testområdet (Småland, nederst). Blå linje = skördares utfall för kontrollerad beräkningsyta, grå linje = simulering på stambank baserat på aktuell beräkningsyta (samma data som skördaren avverkat), orange linje = imputering baserat på aktuell beräkningsytas nyckeltal, gul linje = simulering på stambank baserat på data från imputerade ytor.

Figur 13 nedan visar volymer per hektar fördelat på timmer, klentimmer och massaved (inkl. övriga sortiment) för område norr. Man ser även i denna analys att simuleringen ger mer klentimmer än vad verkligt utfall ger. Möjligen kan man även se en högre totalvolym. Det finns flera tänkbara orsaker till det, men det skulle kunna bero på ett bättre utnyttjande av toppen. Data visar att simuleringen ofta ger lägre toppdiametrar, både vid sista kap och vid sista timmerkap. Effekten är tydligare i det södra området.



Figur 13. Volym per hektar fördelat på sortiment för område nord. I figuren redovisas skördarens utfall från avverkning samt simulering av utfall baserat på tre olika sätt att återskapa skogen.

Andelen stamfelsesved, d.v.s. massaved i timmerdimensioner, har stor betydelse för skattningar av utfallet på sortimentsnivå och brukar vara ett av de svåraste nyckeltalen att beräkna. Figur 14 nedan visar att det finns avvikelser mellan simulering och facit. För tall verkar simuleringen fungera relativt väl. För gran tas lite för låg stamfelsesvedsandel ut i simuleringen och bör därför troligen kalibreras. I figuren nedan är simuleringen av gul stapel gjord på data från skördardata (blå stapel) och simulering av orange stapel gjord på data från imputering (grå stapel). Dessa par bör därför ge liknande resultat. Figuren visar på variation mellan områden men också på att dessa variationer fångas genom att imputera data i närområdet. Skillnad mellan grå och orange stapel kan kanske bero på t.ex. massavedslängd (stamfelsesved) vid simulering.



Figur 14. Andel stamfelsesved tall för de fyra metoderna och de tre områdena. Stamfelsesved beräknas som volymsandelen av stockar grövre än 14 cm i topp (under bark) som inte är klassade som timmer.

SLUTSATSER

Projektgruppens bedömning är att resultaten från imputerings- och simuleringsstudierna är bra. Det finns en stor potential att förenkla och förbättra utbytesprognoserna jämfört med hur det fungerar idag på de flesta företag. Som alltid är det dock ett steg mellan teori och praktik. Det är svårt att vara säker på att de studier som gjorts representerar de verkliga förutsättningarna på ett rättvisande sätt.

Genomförda tester, i anslutning till projektet, av imputering på avverkningsobjekt visar på prognoser utan nämnvärda systematiska fel och standardavvikelse på volymfel under 10 procent. Det är väldigt bra resultat för utbytesberäkningar (Söderberg m.fl. 2016, 2017). Vi ser dock att det i många fall förekommer arealfel och att avverkningar avbryts eller utökas. Detta kan ge stora skillnader mellan prognos och utfall. Skördardata med koordinater registrerade gör dock att dessa fel snabbt kan identifieras.

Testsystemet har även använts specifikt för Sveaskogs utvärderingsarbete, med data importerade från Sveaskogs beståndsregister. Det finns inte heller någonting i det arbetet som föranleder några avgörande tveksamheter avseende tillförlitligheten (personligt meddelande från Christer Ranvald, Sveaskog).

Följande slutsatser kan dras:

- 1) Ny modell och nytt system för utbytesprognoser baserad på imputering och skördardata är nu testad och etablerad.
- 2) Modellen kan förväntas ge skattningar utan systematiska fel och bättre precision än dagens befintliga modeller.
- 3) Ett kvalitetssäkringssystem behöver etableras för att fel som finns i kedjan t.ex. arealbestämning, trädslagsfördelning och grundytämätning ska kunna följas upp kontinuerligt och förbättras.
- 4) Systemet med en skördardatabas skapar nya möjligheter för andra tillämpningar som uppdatering av skogliga registerdata, kalibrering av laserdata och uppföljningssystem av tillredning.
- 5) Med det aktuella systemet etablerat finns även förutsättningar att gå vidare och koppla egenskaper från röntgenramar och egenskapsmodeller för att kunna beskriva skogsråvarans variation på ett bättre sätt.

Några möjliga utvecklingsspår och studier beskrivs i bilaga 3.

Referenser

- Anon. 2016. R Core Team. R: 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. – StanForD 2010. – Modern communication with forest machines. Arbetsrapport 784, Skogforsk. 16 s.
- Arlinger, J., Eriksson, I., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2017. Forestand - skördardata Standardisering av uttag och prognoser på kvarvarande skog efter gallring baserade på skördardata för effektivare åiterrapportering till skogliga register. Arbetsrapport 929, Skogforsk. 22 s.
- Arlinger, J. & Möller J.J. 2018. ForestPrognosis – beräkningsmodul för generering av typbestånd och direkt produktprognos. Manuskript under publicering 2018.
- 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. Arbetsrapport 908, Skogforsk. 22 s.
- Bhuiyan, N., Möller J.J., Arlinger, J. 2018. hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserat på skördardata. Arbetsrapport XX, Skogforsk. XX s. Manuskript under publicering 2018.
- Crookston, Nicholas L.; Finley, Andrew O. 2007. yaImpute: An R Package for k-NN Imputation. *Journal of Statistical Software*. 23(10): 1–16.
- Möller, J. J. & Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera. Arbetsrapport 641, Skogforsk. 14 s.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. Arbetsrapport 642, Skogforsk. 24 s.
- 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. Arbetsrapport 756, Skogforsk. 56 s.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup B. 2015 (A). Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 862, Skogforsk. 38 s.
- Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J., 2015 (B). Förbättrade utbytesprognoser – en förstudie av gemensamma utvecklingsbehov hos SCA, Sveaskog och Södra Skogsägarna. Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. Arbetsrapport 880, Skogforsk. 14 s.
- Möller, J.J., Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera. Arbetsrapport nr 641 2007. Skogforsk. 14 s.
- Möller, J.J., Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera VMR 1–07. Arbetsrapport nr 645, Skogforsk. 20 s.

- Siljebo, W., Möller, J.J., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2017. hprCM - modul för beräkning av trädegenskaper och skogsbränslekvaniteter baserat på skördardata hprCM - module for using harvester data to calculate tree properties and forest fuel quantities. Arbetsrapport 944, Skogforsk. 66 s.
- 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.
- Söderberg, J., Willén, E., Möller, J.J., Arlinger, J., Bhuiyan, N. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata - Resultat från tre fallstudier. Arbetsrapport 937, Skogforsk. 58 s.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17:4.
- Ågren, K., Arlinger, J., Hannrup, B., Möller, J., J., Nordström, M., Wilhelmsson, L. 2017. Potentialen i att göra rätt från början - En förstudie om utvecklingsbehov i gränssnittet skog-såg. Arbetsrapport 952, Skogforsk. 18 s.

Bilaga 1. Data för hopkoppling av prognosytor och beräkningsytor som används vid imputering och data som genereras vid imputerat utbyte baserat på beräkningsytor

Tabell 1. Exempel på data för en prognosyta där en utbytesprognos ska göras. I version 1 av Skogforsks test-system används endast variablerna markerade med fet text.

Nivå	Parameter	Enhet	Prioritering	Kommentar
Per objekt	Objektsindentitet		1	
	Koordinat X	m	1	
	Koordinat Y	m	1	
	Temperatursumma	grader	1	
	ÖH	m	2	
	Dominerande trädslag	trsl	1	
	Areal	ha	1	Även en polygon är av intresse för en eventuell utvärdering jämfört med avverkat område enligt skördaren.
	Avverkningstyp	typ	1	
	Avverkningsdatum	ååmmdd	1	
Per trädslag				Trädslag enligt speciegroup instruction enligt StanForD enligt hprYield inställning.
	Grundyta	m²/ha	1	Trädslagsfördelning som alternativ till grundyta per trädslag.
	Dgv	mm	1	
	Hgv	dm	1	
	Stamantal/medelstam	st/m ² sk	2	

Tabell 2. Exempel på egenskaper för urval av beräkningsytor för att skicka till utbytesdatabasen. I version 1 av Skogforsk testsystem så används endast de med fet text markerade variablerna.

Parameter	Enhet	Urval	Prioritet	Kommentar
Koordinat X:Y	m	Avstånd	1	Exempel välj de 1000 närmaste beräkningsytorna.
Avverkningstyp	typ	Avverkningstyp	1	Välj ut en avverkningstyp ex gallring, slutavverkning, skärm-avveckling.
Temperatursumma	grader	Inom +/- x grader	2	
Avverkningsperiod	datum	160101-161231	2	Datumintervall.
Dominerande trädslag	trsl	Trädslag	2	Välj t.ex. bara grandominerade ytor.
Hgv	m	Höjder	2	Exempelvis välj objekt inom +/- 2 meter.
...				

Tabell 3. Data som beskriver utvalda beräkningsytor som ska skickas från utbytesdatabasen till 1) imputering för hopkoppling med objektsdata och 2) för att återsända identiteter för utvalda beräkningsytor till skördardatabasen. De parametrar i fet stil används i version 1 av Skogforsk testsystem.

Parameter	Parameter	Enhet	Prioritering	Kommentar
På beräkningsyta	Identitet		1	
	Koordinat X	m	1	
	Koordinat Y	m	1	
	ÖH	m	2	
	Dominerande trädslag	trsl	2	
	Areal	ha	1	
	Temperatursumma	grader	2	
	Avverkningstyp	typ	1	
Per trädslag	Grundyta före avverkning	m²	1	
	Dgv	mm	1	
	Hgv	m	1	
	Grundyta före gallring	m²	1	
	Stamantal/medelstam	st/m ³ sk	2	
	Volym	m ³ sk	2	
			

Tabell 4. Data som ska skickas för valda beräkningsytor till utbytesdatabas och vidare till modul för skapande av stambank eller direkta produktprognoser. I princip alla data i hprYieldResults hämtas i Skördardatabasen för aktuella ytor och skickas vidare till ForestPrognosis.

Källa	Parameter	Enhet	Kommentar
HprYieldResults	BeräkningsytelD	Kod	
HprYieldResults	MachineKey	Kod	
HprYieldResults	ObjectKey	Kod	
HprYieldResults	CalcAreaKey	Kod	
Forestand Prognosobjekt	ID prognosobjekt	Kod	ID per prognosobjekt eller del av prognosobjekt.
Forestand Prognosobjekt	Areal	ha	
Forestand Prognosobjekt	Avverkningstyp		
Forestand Prognosobjekt	Koordinat		
Forestand Prognosobjekt	Polygon		

Tabell 5. Exempel på data som genereras med ForestPrognosis vid direkta utbytesprognoser baserade på beräkningsytedata.

Upplösning	Parameter	Enhet	Kommentar
Objekt	Identiteter		
	PrognosAreal	h	
Per trädslag	Trädslag	namn, kod	
	Antalträd	st	
	Volym	m ³ fub, m ³ fpb	
	Medel DBH	mm	
	Medel höjd	cm	
Per produktklass	Produkt/sortimentnamn	Namn, kod	
	Antal stockar	st	Medel av data för utvalda beräkningsytor och produktklass.
	Volym	m ³ fub, m ³ fpb/ha	Medel av data för utvalda beräkningsytor och produktklass.
	Antal stock	styck/ha	Medel av data för utvalda beräkningsytor och produktklass.
	Andel av total volym	%	Beräkna spridningen mellan värdena för de valda beräkningsytorna per ha.
	Antal beräkningsytor	st	
	Spridning av andel mellan ytor	%	
	Medellängd	cm	
	Min toppdiameter	mm	
	Medel mintoppdiameter	mm	

Bilaga 2. Data för stambanksgenerering

STAMGENERERINGSFUNKTION – FÖR SKAPANDE AV STAMBANKER

I tabell 1 specificeras de data som behövs vid stamgenerering baserade på beräkningsytedata. För de utvalda beräkningsytorna görs medelvärdesberäkningar per ha vid skapande av stambank.

Tabell 1. Data som används vid stamgenerering baserade på beräkningsytedata.

Parameter	Enhet	Upplösning	Prioritet	Källa	Kommentar	Spridning
Beräkningsyteareal Per trädslag kompletta stammar	ha	Per beräkningsyta	1	HprYieldResults	För att beräkna nyckeltal per ha	
DBH	antal	Per DBH klass per/ha	1	HprYieldResults	Medel av antal för utvalda beräkningsytor.	
Kompetta stammar	antal	Per DBH klass per/ha	1	HprYieldResults	Medel av antal för utvalda beräkningsytor.	
Stammar utan topp	antal	Per DBH klass per/ha	1	HprYieldResults	Medel av antal för utvalda beräkningsytor.	
Höjd	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Viktat medel med antal stammar per DBH klass.	1 m
Formkvot	m	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Viktat medel med antal av data per DBH klass.	0,02 enheter
Stamfelsesved rot	kvot	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Andel av stammarna med stamfel på rotstocken.	
Stamfelsesved topp	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Andel av stammarna med stamfel på rotstocken.	
Stamfelsesved övrig	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Andel av stammarna med stamfel på rotstocken.	
Manuella kap rot	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Andel av stammarna med stamfel på rotstocken.	
Manuella kap topp	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Andel av stammarna med stamfel på rotstocken.	
Manuella kap övrig timmer	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Andel av stammarna med stamfel på rotstocken.	
Toppdiameter sista kap	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Viktat medel med antal av data per DBH klass	$\text{Stdav} = (\text{Medel-min topp} (50)) / 2$
Toppdiameter sista timmerkap	antal	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Viktat medel med antal av data per DBH klass.	$\text{Stdav} = (\text{Medel-min topp} (140)) / 2$
Stammar utan topp						
Toppdiameter sista kap, medel	mm	Per DBH-klass	1	HprYieldResults	Viktat medel med antal av data per DBH klass.	$\text{Stdav} = (\text{Medel-min topp topplös} (200)) / 2$

Bilaga 3. Tänkbara fortsatta studier och utvecklingsspår

KVALITETSSÄKRING

Idag är tillgången på tillräckligt precis indata en tydlig begränsning för att förbättra utbytesprognoserna (Möller m fl. 2015). Med en utbytesdatabas finns dock möjligheter att kontinuerligt få feedback på gjorda utbytesprognoser och planering. För att lyckas är det viktigt att ta fram några nyckeltal som man kan följa och återföra till de som är ansvariga för planeringen. Nedan följer en tabell med exempel på nyckeltal att följa. Nyckeltalen här bör utvecklas och diskuteras. Viktigt är att resultaten kontinuerligt återförs till planerare, inköpare, avverkningsledare och logistikplanerare.

Nyckeltalen är indelad i tre olika nivåer enligt följande:

- 1) Objektsnivå – dessa nyckeltal indikerar hur väl planeringen är utförd exv. planerad areal jämfört med avverkning och val av avverkningstyp. Skillnaden kan bero på olika saker som naturvårdsavsättning, ändrade planer på grund av väder och vind men också på grund av svåra terrängförhållanden.
- 2) Skogliga data – indata som beskriver beståndet före avverkning. Detta jämförs med av skördaren avverkade träd. Till exempel DBH, Hgv, trädslagsfördelning.
- 3) Utbytesberäkningar – utvärdering av hur produktprognosen fungerat. Om skillnader kvarstår kan apteringsinstruktioner analyseras genom att analysera t.ex. toppdiameter för timmer respektive sista kap.

Tabell 1. Nedan listas parametrar som är lämpliga att bygga in i ett kvalitetssäkringssystem. Parametrarna är uppdelade på Objektsdata, skogliga data och utbytesberäkningar.

Nivå	Parameter	Enhet	Beskrivning	Kommentar
Objekt	Areal	% total areal % överlappande areal	Planerad areal (polygon jämförs med avverkad enligt skördardata).	Exempel planerad areal 10 ha, avverkad 9 ha ger 90 %. 8,5 ha ligger inom planerad polygon vilket ger 85 % överlapp.
	Avverkningstyp	Överens	Definierad avverkningstyp jämförs med av hprYield beräknad.	Viktigt att de överensstämmer för att prognosen ska bli rätt.
Skogliga data	Trädslagsfördelningsgrad	% trädslagsfördelning	Hur stor andel av trädslagsfördelningen stämmer?	Exempel plan 100 % gran och utfall 80 % gran och 20 tall. Detta ger 80 % korrekt trädslag (20 % annat trädslag, alltid under 100 %). Måttet har använts vid gallringsuppföljningsutvärdering.
	Grundyta	% grundyta per ha	Avverkad grundyteandel per ha jämfört med plan.	Exempel plan säger grundyta 40 m ² /ha. Utfall ger 32. Detta ger utfall 80 % (32/40).
	Höjd	% av Hgv	Procent av Hgv per trädslag.	Exempel plan säger hgv 200, utfall skördare ger 230 dm. Detta ger utfall 115 % (230/200).
	DBH	% av Dgv	Procent av Dgv per trädslag.	Exempel plan säger Dgv 300 för tall och utfall ger 350. Detta ger utfall 117 % (350/300).
	Stamfelsandel	% av prognos	Procent av prognostiserad andel.	Prognos ca 10 % stamfelsved av timmerdimensioner, utfall 17 %. Detta ger utfall 170 % (17/10).
Utbytesberäkning	Sortimentsfördelning	% av planerat sortimentsutfall som faller ut korrekt vid avverkning		Måttet finns inte och bör utvecklas. Exempelvis totalt mått eller timmerandel. Kanske liknande trädslagsfördelning.
	Medeltoppdiameter timmer	mm eller % av prognos		Skillnader beror ofta på olika apteringsinstruktioner, t.ex. kubb har använts i den ena analysen men inte i den andra.
	Medeltoppdiameter sista kap	mm eller % av prognos		Visar hur bra stambanken är konstruerad jämfört med vad som är möjligt vid aptering eller inställning av apteringsinstruktion.

VIRKESEGENSKAPER

Många sågverk mäter och sorterar idag alla stockar med röntgenutrustning efter mätbara egenskaper som kärnvedsinnehåll, kvisttyp och grenvarvsavstånd (Ågren m.fl. 2017). Detta innebär att man har data för att identifiera skillnader mellan olika stocktyper och mellan olika objekt. Genom att systematisera denna typ av kunskap skapas möjligheter att styra olika delar av träd och/eller olika bestånd till olika produkter, olika sågverk och därigenom också öka värdet. Kunskapen om hur egenskaper varierar inom träd och mellan träd är också beskrivna med hjälp av statistiska modeller (Wilhelmsson m.fl. 2002).

Eftersom alla stockarna går att koppla till avverkade objekt utifrån virkesordernummer är vi i ett läge där det är möjligt att koppla inmätta data till avverkade objekt. Denna information om virkets egenskaper mätta med röntgen kan sedan kopplas till nya objekt genom imputering. Det går också att använda egenskapsmodeller direkt på de träd som är prognostiserade att avverkas. För att göra detta krävs, utöver skördardata, information om trädens ålder.

FÖRBÄTTRAD IMPUTERING UTIFRÅN UTFÖRD AVVERKNING

Vid avverkning varierar idag vilka produkter som görs och hur de tillreds utifrån olika industriens önskemål. För detta ändamål bör imputeringsmodellen eller filtreringen i databasen anpassas för att t.ex. kunna välja objekt baserat på hur de är avverkade. Exempel på olika avverkningar kan vara att de avverkas med eller utan klintimmer eller att mindiameter på timmer varierar.

FÖRBÄTTRAD IMPUTERING MED NYA DATASKIKT

Idag imputeras främst på skogliga parametrar och koordinater. Samtidigt finns många nya dataskikt tillgängliga som kan användas och kopplas till beräkningsytor och objekt som ska avverkas. Exempel på sådana skikt är lutningskartor, vattenkartor och nederbördskartor.

HANTERING AV AVVIKANDE TRÄDSLAG

Ibland saknas data i databasen för olika typer av ovanliga avverkningar. Exempelvis kan det vara objekt med ovanliga trädslag som contorta, lärk eller ek. Det kan också vara objekt som har olika egenskaper som t. ex. att de är extremt grova eller höga. För att kunna göra prognoser även när data saknas i databasen bör imputeringen eller databasfiltreringen utvecklas. Exempelvis skulle man kanske kunna gå från att imputera beräkningsytedata till att imputera enskilda träd om inte tillräckligt många beräkningsytor matchar ett önskemål. Exempelvis om man vill avverka ett objekt med 100 procent asp, om inte det finns i databasen så kanske man kan imputera enskilda aspar som finns i databasen och basera sin prognos på dem som matchar höjd/dgv för skogliga data.

VIDAREUTVECKLING AV SKÖRDARDBASEN

Inledningsvis var tanken att databasens huvuduppgift var att hantera utdata från modulen hprYield (d.v.s. beräkningsytor och nyckeltal). Ganska snart insåg vi dock potentialen att databaslägga även indata från hpr-filer (inklusive konverterade pri-filer). Det har bl.a. gett följande fördelar som bör vidareutvecklas och därigenom kan användas även för andra tillämnningar:

- Möjlighet att (snabbt) göra beräkningar som inte finns med i aktuell version av hprYield eller som kräver tillgång till data som inte finns i data från ett isolerat objekt.
- Flexiblare aggregeringsmöjligheter.
- Möjlighet att extrahera och nyttja annan information, t.ex. spi, pin och oin för apteringssimulering.

