

# Utvärdering av utbytesprognoser med skördardata

Evaluation of yield prediction with harvester data



FOTO: ERIK VIKLUND/SKOGFORSK

# Summary

Yield predictions are important for forest companies' operational planning. Calculation of potential yield requires a description of the forest that is to be harvested. Harvester data in the form of production volumes, together with descriptions of the forest on sites that have been harvested, could provide more accurate yield predictions.

The aim of the project was to evaluate a method for predicting yield that is based on forest parameters and yield volumes from harvester measurements in previous harvests. The data used in this study comprised exclusively harvester data. Skogforsk's harvester database was used both as reference data for yield predictions and for randomly selecting forest plots on which to predict yield ('prediction plots').

In the calculations, kMSN (Most Similar Neighbour) was used, which selected a number (k) of calculation plots that best resembled the prediction plots in terms of proportions of pine, spruce, lodgepole pine and deciduous trees, basal area per hectare, basal area-weighted mean height, and basal area-weighted mean diameter. By averaging yield volumes from selected calculation plots, the yield of the prediction plot was estimated. Each time the model was run, the differences between estimated volumes for the prediction plots and the harvester-measured yield were evaluated.

The results showed that the method for yield prediction worked well, with a mean error for merchantable timber of 6 percent in final felling predictions and 10 percent for thinning predictions. Timber and pulpwood volumes were estimated with a mean error of 13 and 24 percent respectively for final felling, and 39 and 20 percent respectively for thinning.

This study was a method test for yield predictions with no errors in the input data. Analysis of the yield predictions showed that the imputation method produces very low systematic errors, particularly for merchantable timber. Consequently, this method for yield prediction could provide a good description of larger wood flows.



# Förord

Denna rapport sammanfattar det arbete som utförts under 2017 inom ramarna för projektet ”Utbytesprognoser”. Projektet finansierades av Skogforsks rammedel. Rapporten fokuserar på att utvärdera metoden för utbytesprognoser som Skogforsk utvecklat under åren 2015 till 2017 (Söderberg m.fl., 2017). Metoden bygger på en standardiserad hantering av skördardata och beskrivs mer ingående i en separat metodrapport (Möller m.fl., 2017).

Uppsala i maj 2018

Jon Söderberg, Johan J. Möller och Erik Willén

# Ordlista

Nedan beskrivs begrepp som används i dokumentet.

**Beräkningsyta** – En beräkningsyta skapas från skördarens avverkningsdata. Ytorna som är 0,5-2 hektar stora bildas av områden med liknande övre höjd. Skogforsks 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) – En informationsstandard för skoglig information om bestånd, ståndort, åtgärder och hänsyn. Används till exempel 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* (Möller m.fl., 2017).

**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 användas 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 (Anon., 2017).

**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 (Möller 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, det vill säga utan att göra någon apteringssimulering.

**Medelfel** – I detta dokument används termen medelfel vid hänvisningar till *root mean square error* (RMSE) som beskrivs i ekvation 1 och 2.

**Objekt** – Minsta enhet (avdelning) som ska avverkas för vilken en utbytesprognos ska göras. Vissa företag använder andra begrepp 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 ska göras. Kan bestå av en eller flera prognosytor. Kallas olika hos olika företag till exempel trakt, drivning eller avverkningsuppdrag.

**Prognosyta** – Homogen (avseende skogens egenskaper) yta för vilken utbyte ska skattas med hjälp av imputering (och eventuellt 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 till exempel 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/hektar och trädslagsblandning.

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

**Stamfelsesved** – Ved i timmerdimensioner som inte kommer att apteras som timmer på grund av skador som röta eller krökar (Möller m.fl., 2015b).

**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).

# Innehåll

Summary.....	2
Förord .....	3
Ordlista .....	4
Sammanfattning .....	7
Bakgrund .....	8
Syfte och mål.....	9
Avgränsningar.....	9
Material och Metod .....	9
Slutavverkning .....	9
Gallring .....	9
Imputeringstekniken .....	10
Bruttourval.....	11
Prognoser .....	11
Utvärdering.....	11
Formler.....	12
Resultat .....	13
Inledning.....	13
Slutavverkning .....	13
Gallring .....	19
Diskussion .....	25
Slutsatser.....	26
Referenser.....	27

# Sammanfattning

Utbytesprognoser är viktiga för verksamhetsplanering inom skogsföretagen. För att kunna beräkna utbyte behövs en beskrivning av skogen som ska avverkas. Skördardata i form av produktutfall, tillsammans med nyckeltal som beskriver skogen från avverkade objekt, ger förutsättningar för att skapa bättre underlag för träffsäkra utbytesprognoser.

Projektets mål var att utvärdera en metod för utbytesprognoser som baseras på skogliga parametrar och utbytesvolym från skördarmätning i tidigare avverkningar.

Materialet för denna studie består uteslutande av skördardata. Skogforsks skördardatabas användes både som referensdata för utbytesprognoser och för att slumpvis välja ut ytor att göra prognoser för, så kallade prognosytor. För skattningarna användes kMSN (Most Similar Neighbor), som valde ut ett antal beräkningsytor som mest liknar prognosytan med avseende på tallandel, granandel, contortaandel, lövandel, grundyta per hektar, grundytavägd medelhöjd och grundytavägd medeldiameter. Genom medelvärdesbildning av utbytesvolym från utvalda beräkningsytor skattades prognosytans utbyte. För varje variant på skattningsmetoden som testades utvärderades skillnader mellan skattade volymer för prognosytorna och skördarmätt utfall.

Resultaten visade att den framtagna metoden för utbytesprognoser fungerade väl, med medelfel för gagnvirkesvolym på 6 och 10 procent för slutavverknings- respektive gallringsprognoser. Timmer- och massavedsvolym skattades med ett medelfel på 13 respektive 24 procent för slutavverkningar och 39 respektive 20 procent för gallringar.

Denna studie var en metodtest för utbytesprognoser utan felaktigheter i indata. En analys av utbytesprognoserna visar att metoden med imputering ger mycket låga systematiska fel, särskilt för gagnvirke. Därmed förväntas denna metod för utbytesprognoser kunna beskriva större virkesflöden på ett bra sätt.

# Bakgrund

Utbytesprognoser är viktiga för verksamhetsplanering inom skogsföretagen. För att kunna beräkna utbyte måste det finnas en beskrivning av den stående skogen som utgångspunkt för uträkningarna. De viktigaste uppgifterna är trädslag, stamdiameter (DBH) och trädhöjd som påverkar volymsutbytet starkt (Möller & Moberg, 2007). Ju bättre information om exempelvis trädslagsfördelning, DBH, höjd, stamform, ålder och fördelning av kvalitetsnedsättande fel, så kallad stamfelsved, desto bättre klarar planeringssystemet av att göra utbytesberäkningar. Med bättre kunskap om skogens tillstånd kan flödesstyrningen bli bättre och industrin få det virke som förväntats. Därmed kan problem som till exempel försämrat sågutbyte och merkostnader för missade order eller ökade lager reduceras (Möller m.fl., 2015b).

Dessvärre håller prognoserna som skogsföretagen förfogar över sällan tillräckligt bra kvalitet och det är vanligt med betydande avvikelser mellan det prognostiserade virkesflödet och det verkliga utfallet (Ågren m.fl., 2017). Dessa avvikelser beror inte enbart på bristande information om själva träden, utan också på att utbytesprognoserna inte uppdateras med information om en rad föränderliga omständigheter, som till exempel väder, tjällossning, prisförändringar, ändrat utbud från skogsägare och tillgång till maskinresurser. Med tillförlitlig information om skogen finns dock betydligt bättre förutsättningar att räkna om och planera efter nya förutsättningar.

I och med införandet av Stanford 2010 (Arlinger m.fl., 2012) som standard för insändning av skördardata, registreras data på stam- och stocknivå och dessutom med enskilda trädkoordinater. Den nya upplösningen och den geografiska kopplingen ger helt nya möjligheter till geostatistiska tillämpningar. Nu kan man betydligt enklare koppla ihop geografiska objekt som till exempel beståndsregister, objektdeklarationer eller olika skogliga fjärranalyskattningar. Det går också att segmentera den avverkade skogen efter den variation som beskrivs via stamdata och trädpositioner. 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., 2015b). För att skördardata ska kunna användas i systemet bör maskinens mätsystem för längd och diameter vara väl kalibrerat.

Användning av avancerad fjärranalysteknik, framförallt flygburen laserskanning, ger i kombination med nyckeltal baserade på analys av detaljerade skördarproduktionsfiler från avverkade objekt, förutsättningar för att effektivisera och förbättra avverkningsplaneringen samt skapa bättre underlag för träffsäkra utbytesprognoser (Söderberg, 2015; Söderberg m.fl., 2017). Andra studier från Skogforsk där skördardata använts för prognoser med goda resultat är modellerna för gallringsuppföljning (Hannrup m.fl., 2011; Hannrup m.fl., 2015; Bhuiyan m.fl., 2016) och skogsbränsleprognoser (Hannrup m.fl., 2009).



## SYFTE OCH MÅL

Projektet syftar till att utvärdera själva metoden för utbytesprognoser som utvecklats vid Skogforsk, så kallad imputering av skördardata (Möller m.fl., 2017; Söderberg m.fl., 2017).

Projektets mål var att utvärdera en eller flera metoder för utbytesprognoser som baseras på sambandet mellan skogliga parametrar och utbytesvolymen från skördarmätning i tidigare avverkningar. Produktvolymen från utbytesprognoserna jämfördes med utbytet från skördardata vid avverkning, vilka fungerar som referens.

## AVGRÄNSNINGAR

Projektet har avgränsats till analyser på befintligt material i Skogforsks skördardatabas under våren 2017. Den skogliga beskrivningen som använts för utbytesprognoserna framräknades från stockinformation i skördarfiler.

## Material och Metod

Materialet för denna studie består uteslutande av skördardata. Skogforsks skördardatabas användes både som referensdata för utbytesprognoser och för att slumpvis välja ut ytor att göra prognoser för, så kallade prognosytor. Skördardatabasen har byggts upp med skördardata från flera stora skogsbolag och innehöll när studien inleddes i februari 2017 närmare 52 000 beräkningsytor och sammanlagt över 80 miljoner skördarmätta stockar.

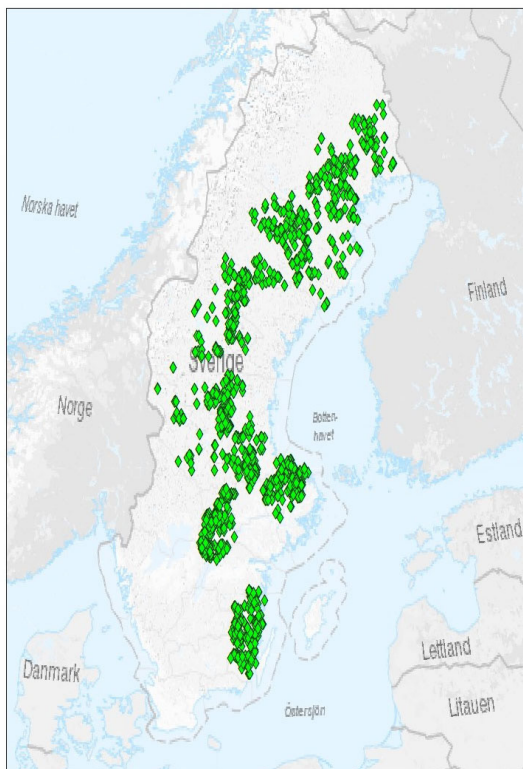
## SLUTAVVERKNING

För utvärderingen av utbytesprognoser för slutavverkningsåtgärder valdes 250 beräkningsytor slumpvis ut från vart och ett av följande åtta län; Dalarna, Gävleborg, Jämtland, Kalmar, Norrbotten, Uppsala, Västerbotten och Örebro (Figur 1). Den skogliga beskrivningen av dessa totalt 2 000 utvalda beräkningsytor användes som prognosytor för att prognosticera utbyte.

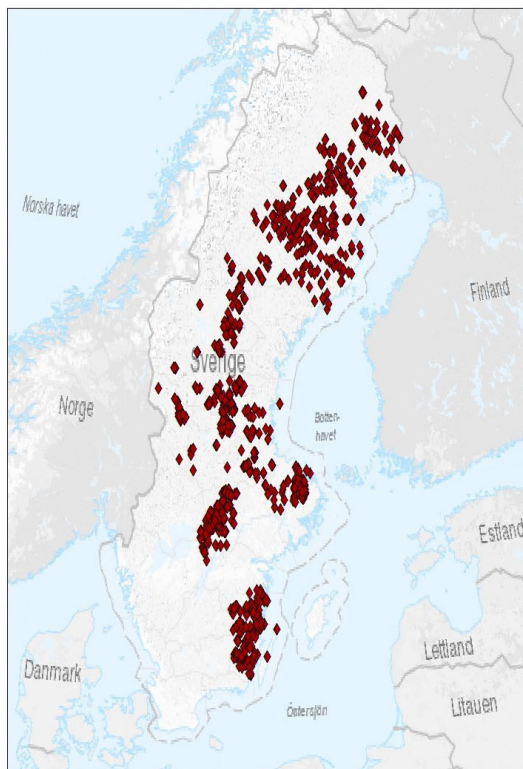
## GALLRING

En bra beskrivning av skogen innan åtgärd är en central del för att kunna göra bra utbytesprognoser. I slutavverkning sker uttag av merparten av alla träd och uttaget blir därmed en ganska bra beskrivning av hur objektet såg ut före avverkning. I gallring finns inte detta enkla samband och för att beskriva kvarvarande träd behövs en skattning av beräkningsytornas tillstånd efter avverkning. Skogforsk har utvecklat en sådan skattningsmodell kallad hprGallring (Möller m.fl., 2015a; Bhuiyan m.fl., 2016). Genom att summera gallringsuttaget med den framtagna prognosen för kvarvarande skog efter gallring kan objektet före gallringsåtgärd beskrivas (Möller m.fl., 2015a).

Utbytesprognoser för gallringsobjekten utvärderades med hjälp av 2 000 prognosytor. Prognosytorna valdes ut slumpvis från samma åtta län som nämnts ovan, uppdelat på 250 ytor per län (Figur 2).



Figur 1. Utbredning av de 2 000 prognosytor som användes för utbytesprognoser i förnygringsavverkning. (©Lantmäteriet)



Figur 2. Geografisk fördelning av de 2000 prognosytor som användes för utbytesprognoser i gallringsåtgärder. (©Lantmäteriet)

## 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 skogliga beskrivning som bärare för att skatta utbytet. Som exempel, en tallskog som har en medeldiameter på 24 cm och är 22 m hög vid avverkning förutsätts få samma utbyte som en tallskog med liknande skoglig beskrivning som avverkades i närområdet inom de senaste åren. För att skatta utbytet för prognosytor användes kodbiblioteket "yaImpute" (Crookston & Finley, 2008) för programpaketet "R" (Anon., 2017) som är fritt tillgängligt. "yaImpute" utför imputering på multivariata data, det vill säga flera variabler kan skattas med en och samma funktion.

Som imputeringsmetod användes kMSN (Most Similar Neighbor), där ett antal ( $k$ ) av de mest liknande referensytorna (grannar) valdes ut för varje yta som skattades. Medelvärdena av dessa "grannar" överfördes till prognosytan (Moeur & Stage, 1995). Imputering kräver dock en omfattande referensdatabas. Detta beror på att metoden inte kan extrapolera skattningsvärden, utan endast väljer värden ur det tillgängliga referensmaterialet. De variabler som skattades var volymer för normaltimmer, klentimmer, massaved, energived, övrigt samt stamfelsved för vart och ett av trädslagen tall, gran, contortatall, björk och övrigt löv. Här redovisas björk och övriga lövsortiment gemensamt under löv, då olika företag har använt olika rutiner för att registrera lövprodukter/stockar.

## Bruttourval

Skogforsks skördardatabas har successivt fyllts på med skördardata från stora delar av landet. För att ta fram ett lokalt referensmaterial gjordes ett så kallat bruttourval, som valde ut de 1 000 beräkningsytor i skördardatabasen som låg geografiskt närmast prognosobjektet. I urvalet för föryngringsavverkning sorterades även beräkningsytor från gallringsåtgärder bort och för prognoser för gallringsåtgärder sorterades alla föryngringsavverkningar bort. Urvalsfunktionen valde också automatiskt bort beräkningsytor som geografiskt överlappade prognosytan.

## KLENTIMMERURVAL

Tidiga tester visade att metoden gav osäkra prognoser för klintimmervolymer (RMSE över 15 m<sup>3</sup>fub/ha eller 80 procent vid slutavverkningar). En bidragande orsak var att den ursprungliga metoden inte tog någon hänsyn till om klintimmer skulle apteras på prognosobjektet. Således blandades referensytor med och utan klintimmeruttag i bruttourvalet och fick likvärdiga chanser att bli utvalda för att skapa prognosen.

För att komma till rätta med problemet utvecklades en modifierad bruttourvalsfunktion med ytterligare urvalsparametrar. De nya parametrarna var dummyvariabler för tallklientimmer, granklientimmer samt intervall för dominerande trädslagsandel och höjd över havet. Beräkningsytor med mindre än 5 m<sup>3</sup>fub/ha klintimmer av tall eller gran i utfallet definierades som utan klintimmer i denna studie. Intervallet för dominerande trädslagsandel sattes till ±50, för höjd över havet sattes intervallet till ±200 meter.

## Prognoser

Ur de upp till 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, grundytvägd medelhöjd och grundytvägd medeldiameter. Genom medelvärdesbildning av utbytesvolymer från de utvalda beräkningsytorna skattades prognosytans utbyte. Prognoser gjordes i fem olika varianter för varje prognosyta med 1, 3, 5, 10 respektive 20 medelvärdesbildande beräkningsytor ( $k$ ).

## DYNAMISKT URVAL

Introduktionen av nya urvalsparametrar för bruttourvalet (klentimmer, dominerande trädslagsandel och höjd över havet) filtrerade i vissa fall bort stora delar av referensdatabasen. För att säkerställa att prognoser kunde genomföras utvecklades funktionalitet för dynamiskt urval, vilket innebar att en kontroll av bruttourvalet genomfördes innan imputeringen anropades och  $k$  justerades ned om inte tillräckligt många, minst  $k+1$ , beräkningsytor valts ut i bruttourvalet.

## UTVÄRDERING

För varje variant på skattningsmetoden som testades utvärderades skillnader mellan skattade volymer för prognosytorna och skördarmätt utfall. Statistik, enligt ekvation 1-6 nedan, beräknades för gagnvirke, timmer, normaltimmer, kubb/klentimmer, massaved, energived, övrigt samt stamfelsved både totalt och enskilt för trädslagen tall, gran, löv och contortatall.

## Formler

För att jämföra precisionen för olika varianter på skattningar användes absoluta och relativa *root mean square error* (RMSE), hädanefter benämnt medelfel (ekvation 1 & 2). Med hjälp av ekvation 3 och 4 kunde systematiska avvikelser i prognoser identifieras och kvantifieras. Genom att beräkna standardavvikelse (ekvation 5 & 6) erhöles mått på den genomsnittliga variationen i skattningarnas avvikelse.

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

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

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

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

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

$$SD\% = 100 * \frac{SD}{\bar{y}} \quad [6]$$

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

# Resultat

## INLEDNING

Här presenteras resultatet från utbytesprognoser baserade på medelvärdesbildning av fem beräkningsytor, med reservation för enstaka prognoser där den dynamiska urvalsfunktionen minskat ner antalet automatiskt. Att använda fem beräkningsytor gav generellt de stabilaste och bästa resultaten av de olika varianter som utvärderades.

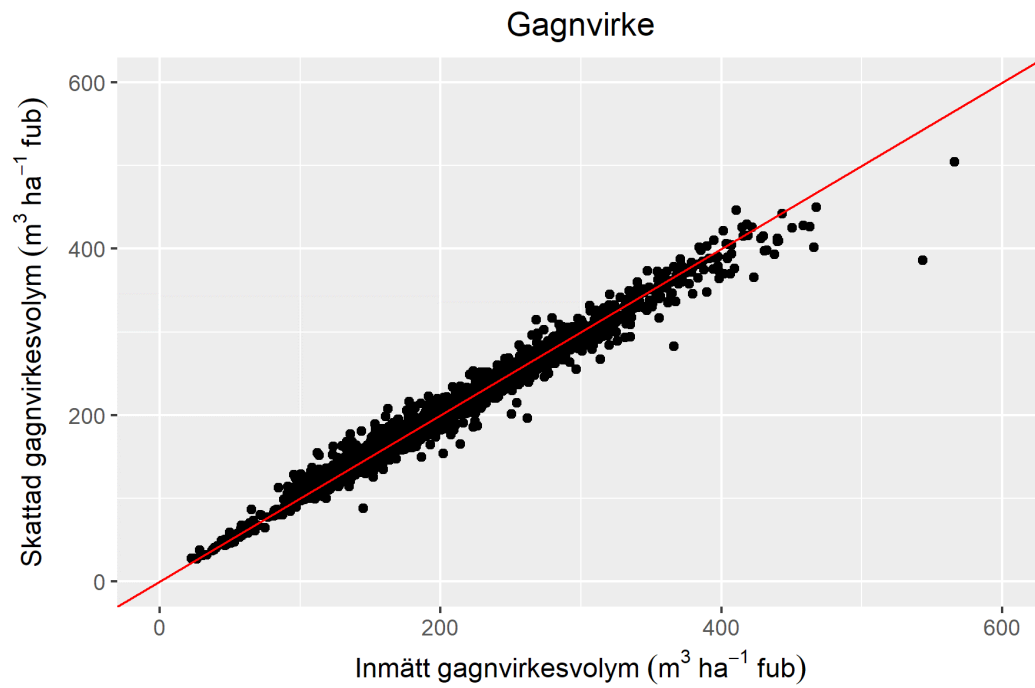
## SLUTAVVERKNING

Utbytesprognoser för 2000 prognosytor som klassificerats som slutavverkningar i Skogsforsks skördardatabas utvärderades mot utfallet för dessa prognosytor i enlighet med ekvation 1-6 (Tabell 1).

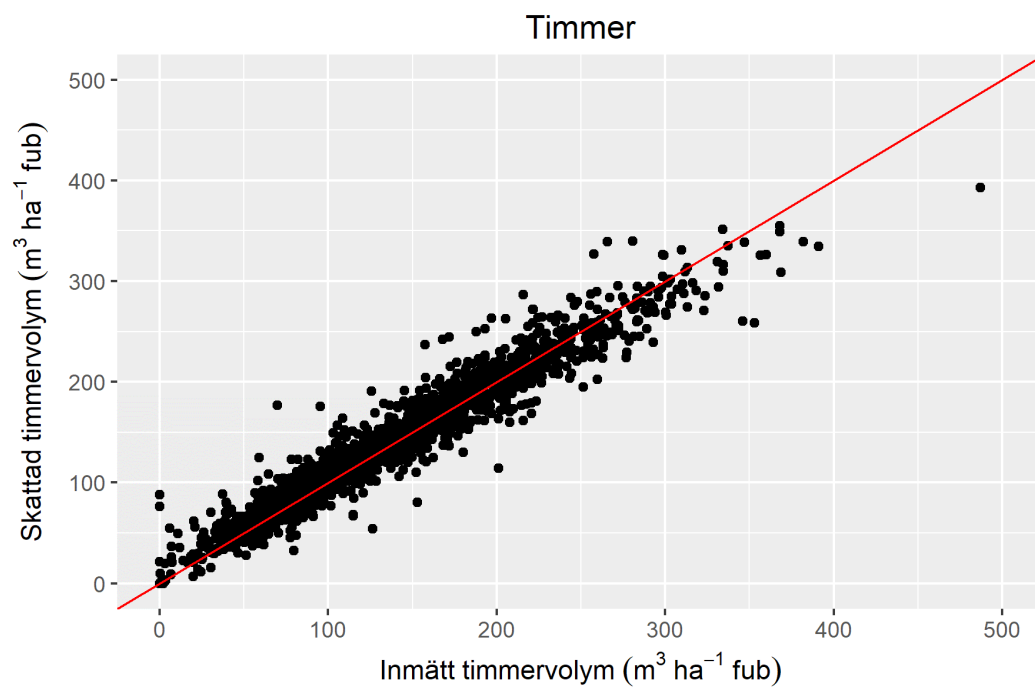
Tabell 1. Statistik för utvärdering av utbytesprognoser i slutavverkning, skillnader mellan utfall och prognoser baserade på medelvärdesbildning av fem beräkningsytor, sammanställt som standardavvikelse (SD), medelfel (RMSE) och systematiska avvikelser (Bias) för olika produktgrupper (n=2000).

Sortiment	SD		RMSE		Bias	
	m <sup>3</sup> fub/ha	%	m <sup>3</sup> fub/ha	%	m <sup>3</sup> fub/ha	%
Gagnvirke	12,3	6,4	12,3	6,4	0,1	0,1
Timmer	17,1	12,7	17,2	12,7	1,6	1,2
Normaltimmer	17,9	15,3	17,9	15,3	1,4	1,2
Kubb/klentimmer	7,9	44,4	7,9	44,4	0,3	1,6
Massaved	12,6	24,1	12,6	24,2	-1,3	-2,5
Massaved inkl. brännved	14,1	24,7	14,2	24,9	-1,5	-2,6

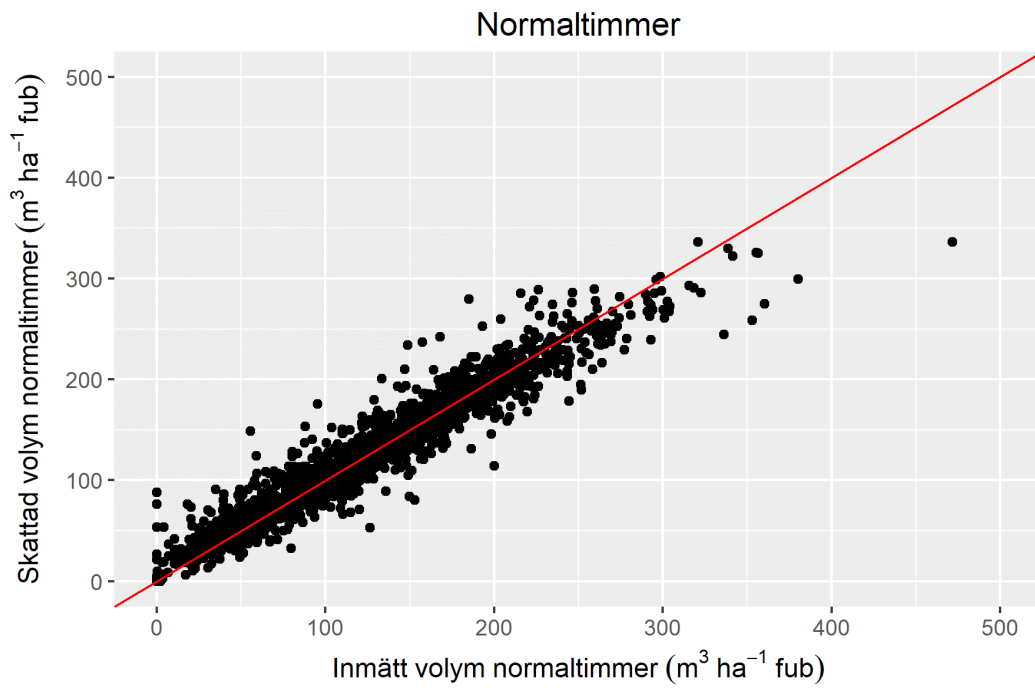
Den skattade totalvolymen i uttaget, gagnvirkesvolymen, gav en standard-avvikelse (SD) på 6,4 procent, vilket motsvarar 12,3 m<sup>3</sup>fub/ha. Medelfelet blev det samma i och med avsaknaden av systematiska avvikelser (Tabell 1). Spridningen i skattningarna av gagnvirkesvolym jämfört med skördarmätning illustreras i Figur 3, där 92 procent av prognoserna träffar inom ±10 procent för gagnvirkesvolym och hela 96 procent av gagnvirkeskattningarna ligger inom intervallet ±15 procent av inmätt volym. Figur 4-8 visar sambanden för skattningar av de övriga sortimenten; total timmervolym (Figur 4), normaltimmervolym (Figur 5), klentimmervolym (Figur 6), massavedsvolym (Figur 7) samt volym massaved inklusive energi- och brännved (Figur 8).



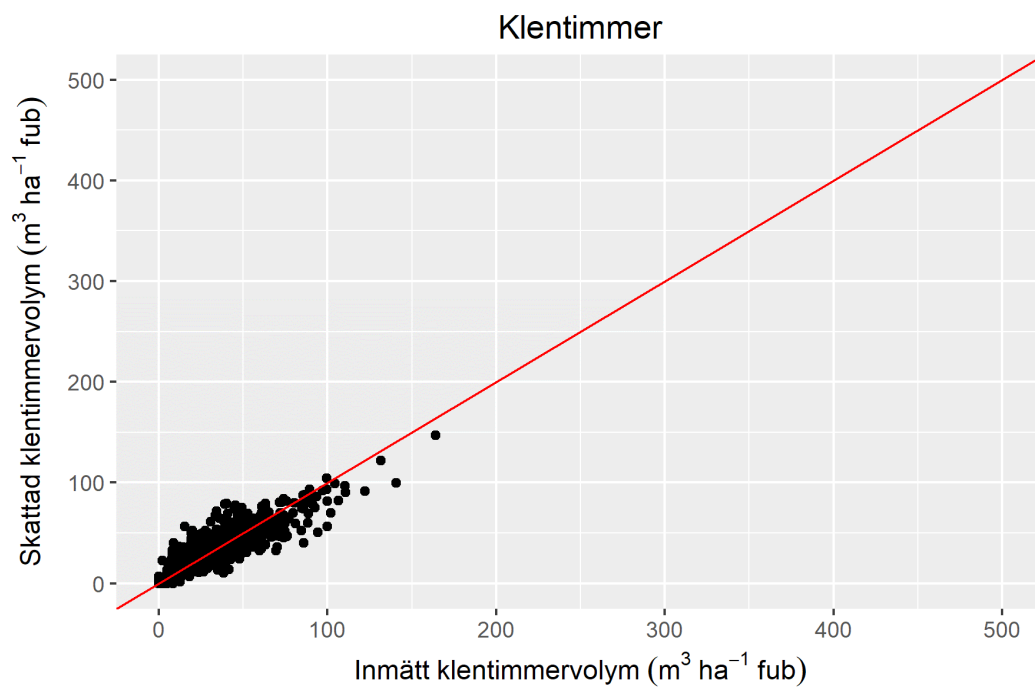
Figur 3. Samband mellan skattad och skördarmätt gagnvirkesvolym för 2000 utbytesprognoser.



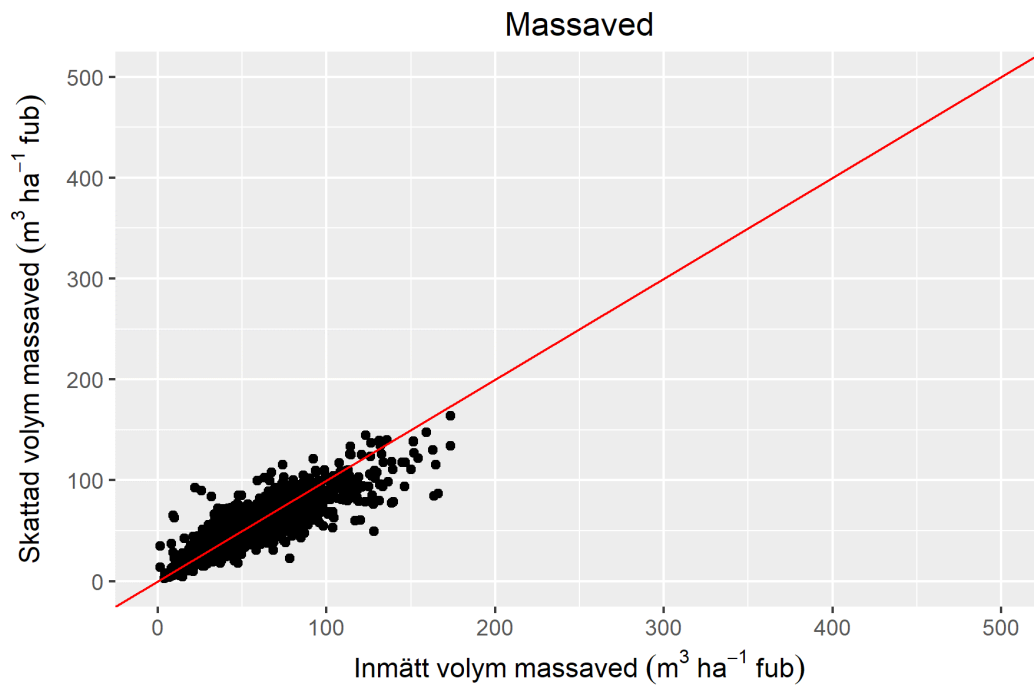
Figur 4. Samband mellan skattad och skördarmätt timmervolym för 2000 slutavverkningar.



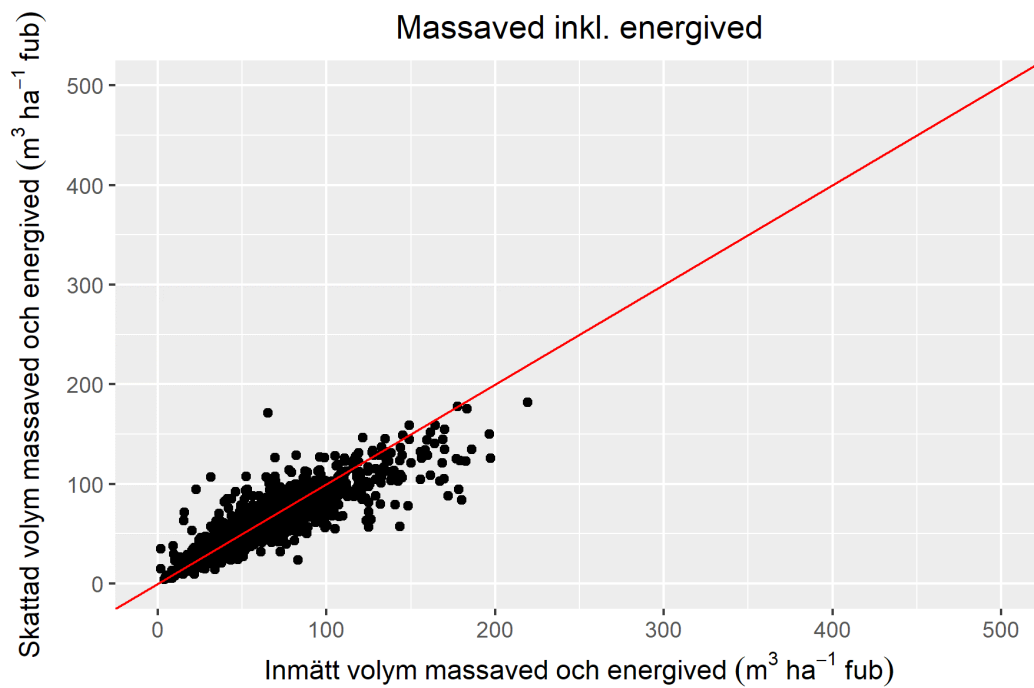
Figur 5. Samband mellan skattad och skördarmätt normaltimmervolym för 2000 slutavverkade prognosytor.



Figur 6. Jämförelse mellan skattad och skördarmätt volym klentimmer för 2000 slutavverkade prognosytor i kubikmeter per hektar.



Figur 7. Samband mellan skattad och skördarmätt massavedsvolym för 2000 slutavverkade prognosytor.



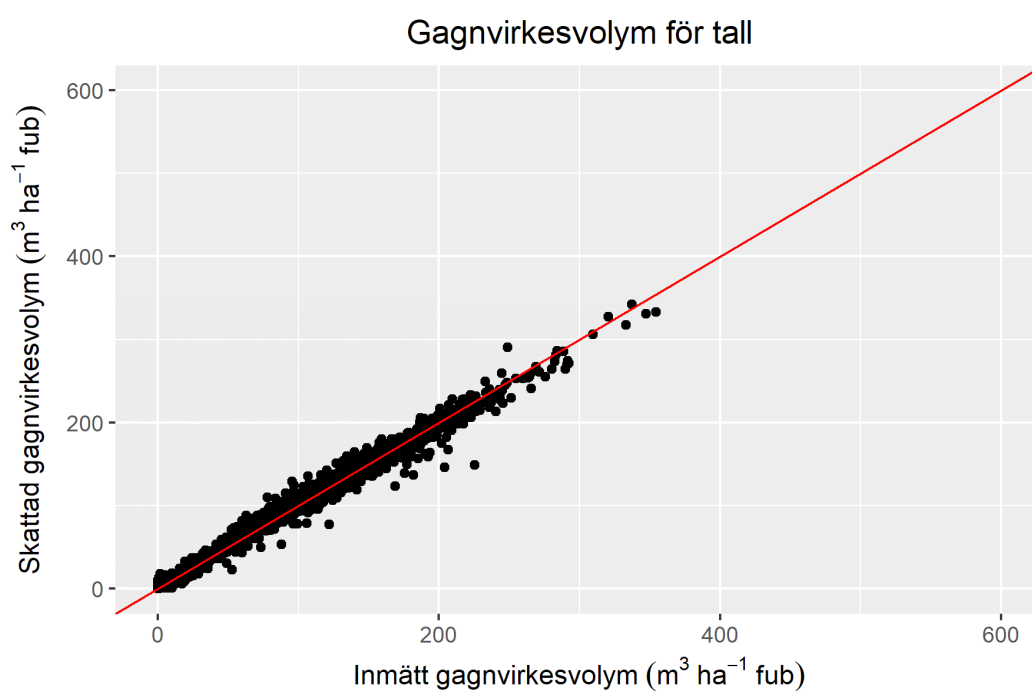
Figur 8. Samband mellan skattad och skördarmätt volym massaved och energi-/brännved för 2000 utbytesprognoser för slutavverkning



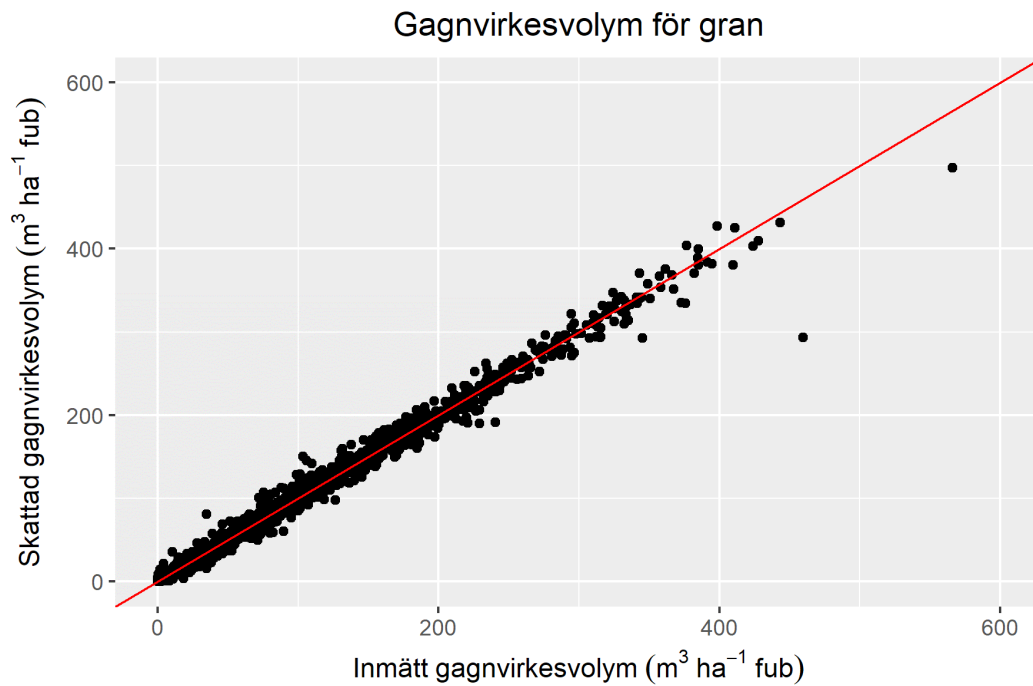
Utvärdering av skattningen av gagnvirkesvolym för separata trädslag redovisas i Tabell 2. Resultaten visar att trädslagsvisa gagnvirkesvolym skattas väl i de flesta fall. Prognoser-  
na ligger inom  $\pm 10 \text{ m}^3\text{fub/ha}$  i 87 procent av fallen för tall (Figur 9), 86 procent för gran (Figur 10) och 90 procent för löv, dock är det generellt små lövolymer (Figur 11).

Tabell 2. Spridning i utbytesprognoser av gagnvirkesvolym för enskilda trädslag mätt i standardavvikelse (SD), medelfel (RMSE) samt systematiska avvikelser (bias) i skattningar för slutavverkningar (n=2000).

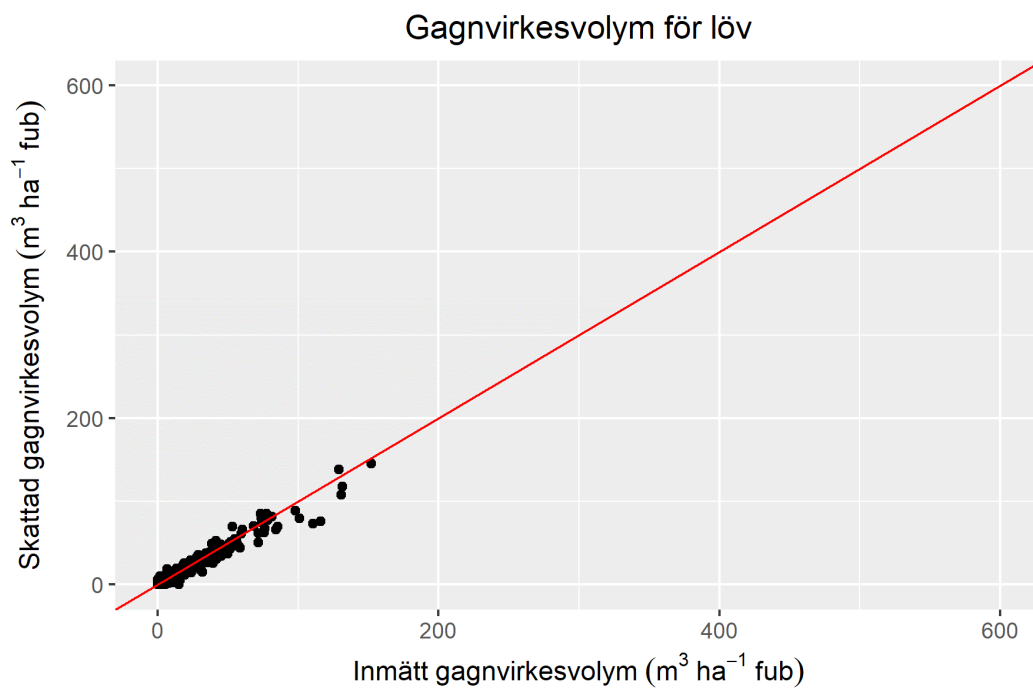
Trädslag	SD		RMSE		Bias	
	$\text{m}^3\text{fub/ha}$	%	$\text{m}^3\text{fub/ha}$	%	$\text{m}^3\text{fub/ha}$	%
Tall	7,9	7,9	7,9	7,9	0,4	0,4
Gran	8,7	10,3	8,7	10,3	0,1	0,2
Löv	2,7	36,1	2,7	36,5	-0,4	-5,1



Figur 9. Gagnvirkesvolym för enbart tall, skattade och skördarmätta volymer, 1944 av 2000 prognosytor innehöll tallvolym.



Figur 10. Samband för prediktering av uttag av granvirke, 1815 av 2000 prognosytor hade en granandel.



Figur 11. Skattad gagnvirkesvolym för lövträd i relation till faktiskt avverkad lövvolum, 1354 av de 2000 prognosytorna hade registrerade uttag av löv.

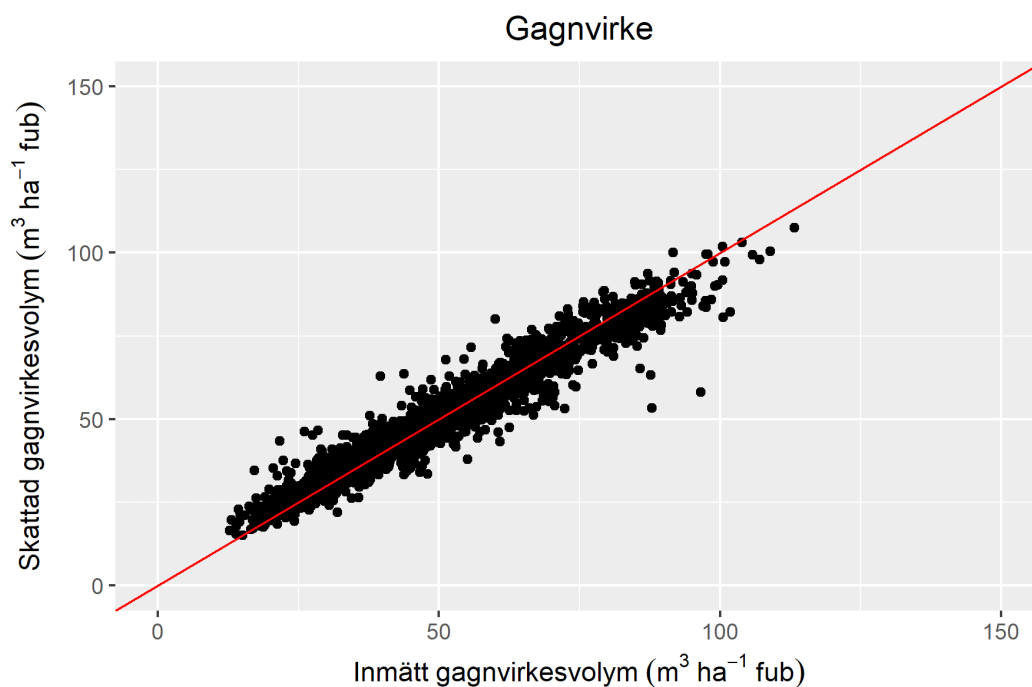
## GALLRING

Skattningar av utbytesvolymer för prognosytor som klassificerats som gallringsåtgärder i Skogforsks skördardatabas utvärderades mot utfallet för dessa 2000 prognosytor med ekvation 1-6 (Tabell 3). För att beskriva ytornas imputeringsvariabler innan gallring, beräknades kvarvarande skog efter åtgärd med *hprGallring* och summerades ihop med uttaget (Bhuiyan m.fl., 2016).

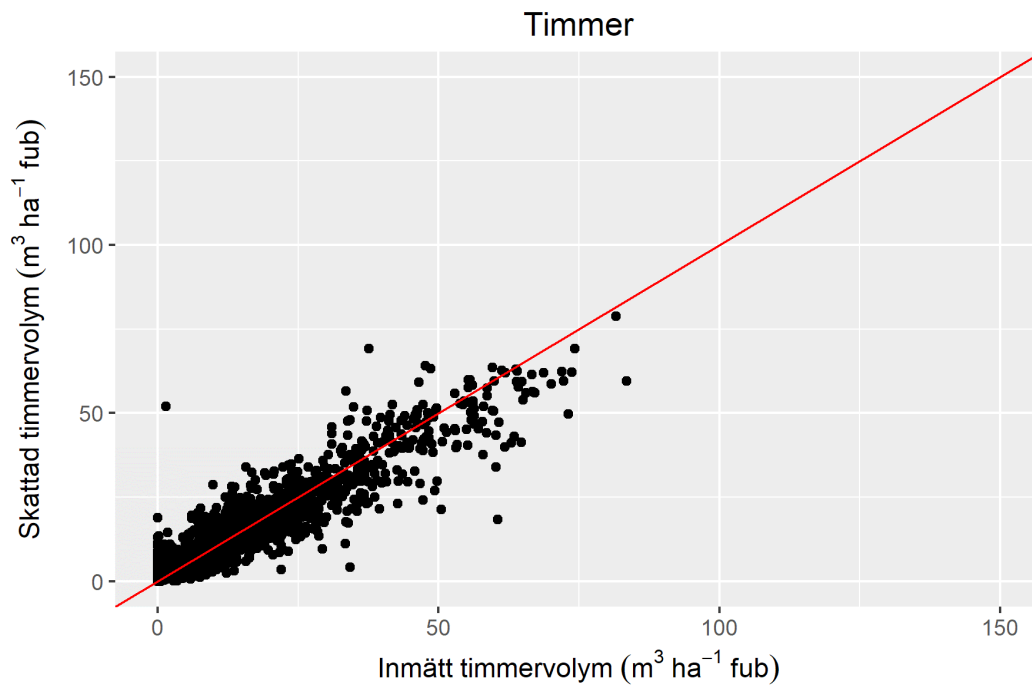
Skattningen av gagnvirkesvolym för gallringar gav en standardavvikelse och ett medelfel på 9,9 procent (5 m<sup>3</sup>fub/ha) och en mycket liten systematisk underskattning på 0,5 procent, eller -0,3 m<sup>3</sup>fub/ha (Tabell 3). En bild av spridningen för skattningarna av gagnvirkesvolym ses i Figur 12, total timmervolym (Figur 13), normaltimmervolym (Figur 14), klentimmervolym (Figur 15), massavedsvolym (Figur 16) samt volym massaved inklusive energi- och brännved (Figur 17).

Tabell 3. Skillnader mellan prognoser och utfall för 2000 prognosytor med gallringsåtgärder utvärderades med standardavvikelse (SD), medelfel (RMSE) och systematiska avvikelser (Bias) för olika produktgrupper.

Sortiment	SD		RMSE		Bias	
	m <sup>3</sup> fub/ha	%	m <sup>3</sup> fub/ha	%	m <sup>3</sup> fub/ha	%
Gagnvirke	5,0	9,9	5,0	9,9	-0,3	-0,5
Timmer	5,3	38,7	5,3	38,8	-0,4	-2,7
Normaltimmer	5,3	55,5	5,3	55,7	-0,3	-3,7
Kubb/klentimmer	3,1	73,2	3,1	73,1	0,0	-0,6
Massaved	7,1	20,4	7,1	20,4	0,1	0,2
Massaved inkl. brännved	6,0	16,2	6,0	16,2	0,1	0,3

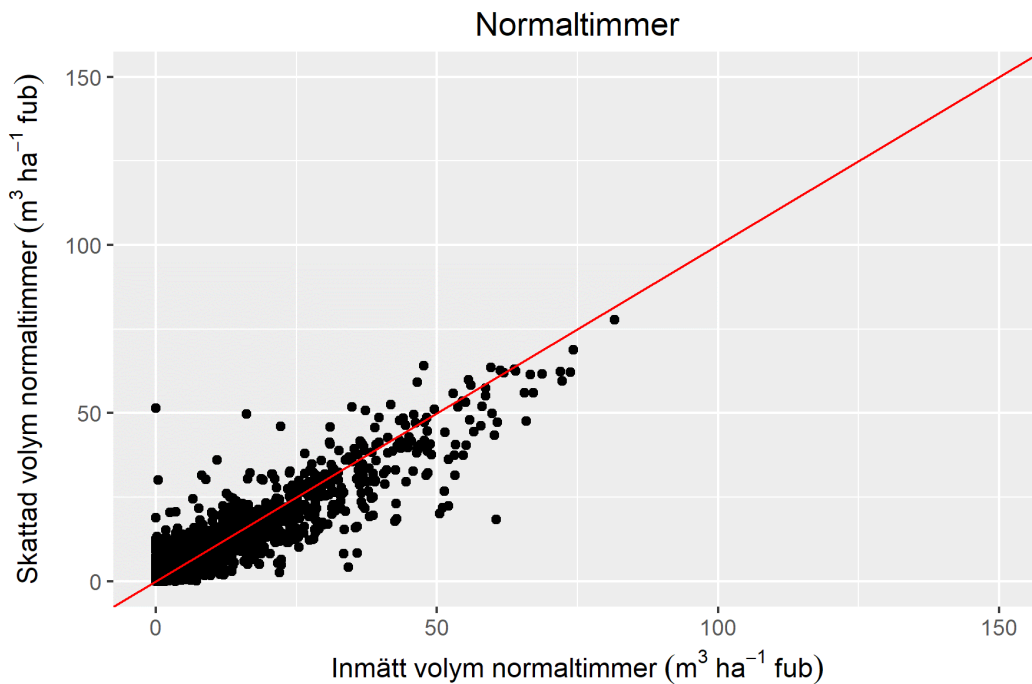


Figur 12. Skattad gagnvirkesvolym i gallringsåtgärd jämfört med inmätt volym från skördaren för 2000 gallrade prognosytor.



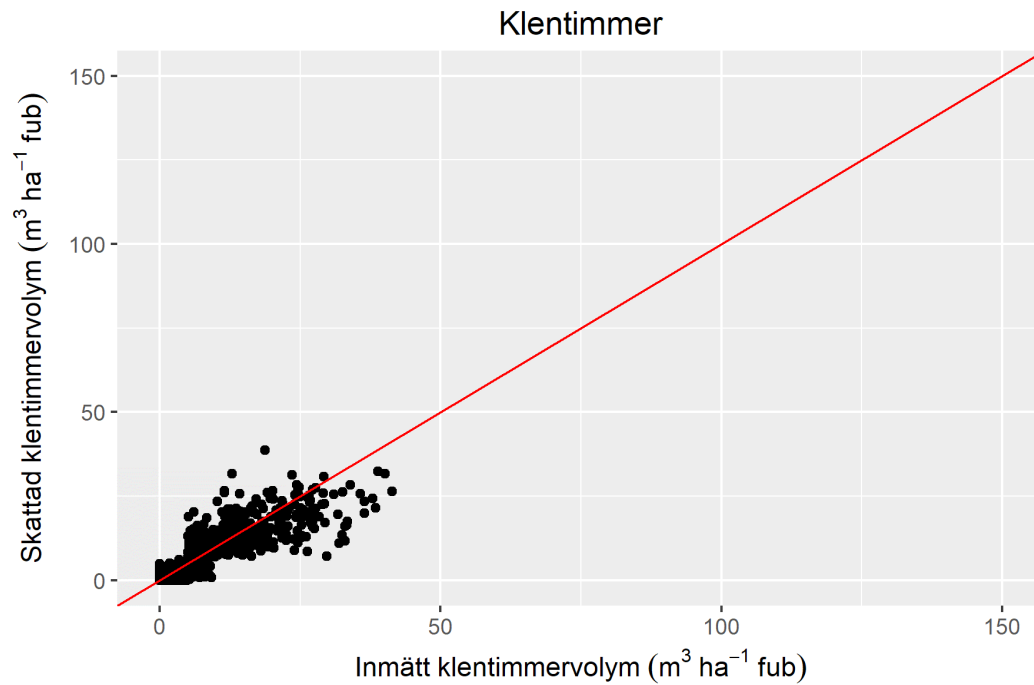
Figur 13. Jämförelse mellan skattad total timmervolym i gallringsåtgärd jämfört med inmätt timmervolym från skördaren från 2000 gallrade prognosytor.

Prognoserna ger stor variation i uttag av timmer i gallringsåtgärder (Figur 14). Bland annat gör en större variation i timmeruttag och diameterfördelning det svårt att skatta timmerutfallet.



Figur 14. Skattad kontra skördarmätt volym normaltimmer på 2000 gallrade prognosytor.

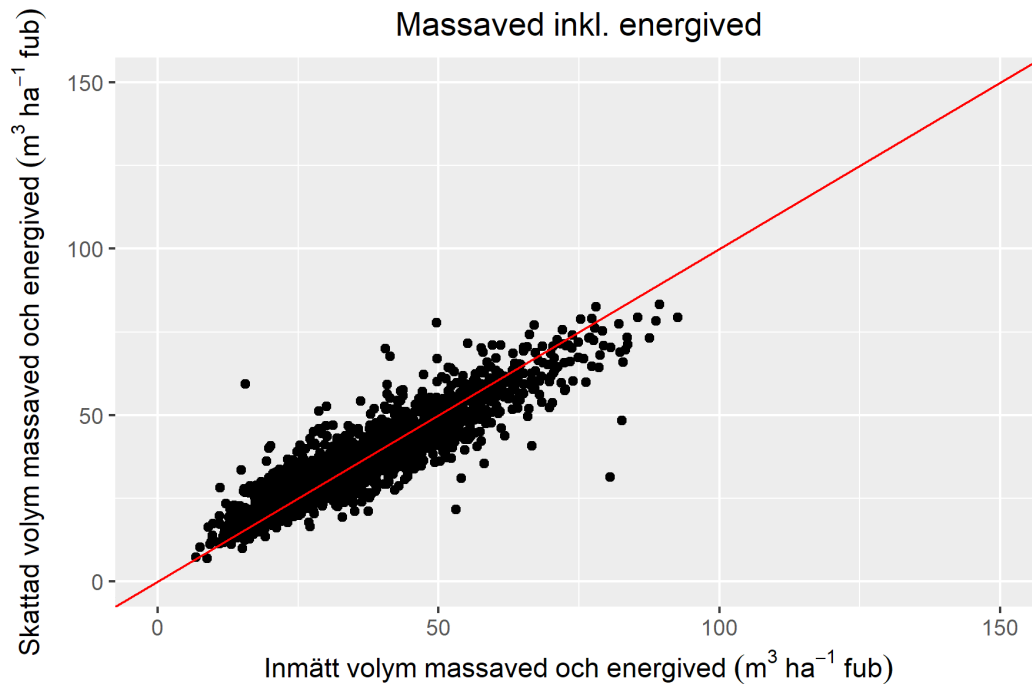
Styrningen av bruttourvalet kan tydligt ses i fördelningen av skattad klintimmervolym (Figur 15). Prognosytor utan klintimmer har begränsats till beräkningsytor med max 5 m<sup>3</sup>fub/ha i uttaget klintimmer. I vissa fall begränsas bruttourvalet för starkt vilket resulterar i att för få beräkningsytor blir tillgängliga. Då krävs dynamiskt urval för att kunna skapa en prognos.



Figur 15. Skattad klintimmervolym i gallringsåtgärd jämfört med inmätt volym klintimmer i skördaren på 2000 gallrade prognosytor.



Figur 16 . Skattad massavedsvolym jämfört med inmätt volym massaved från skördaren för 2000 gallrade prognosytor.

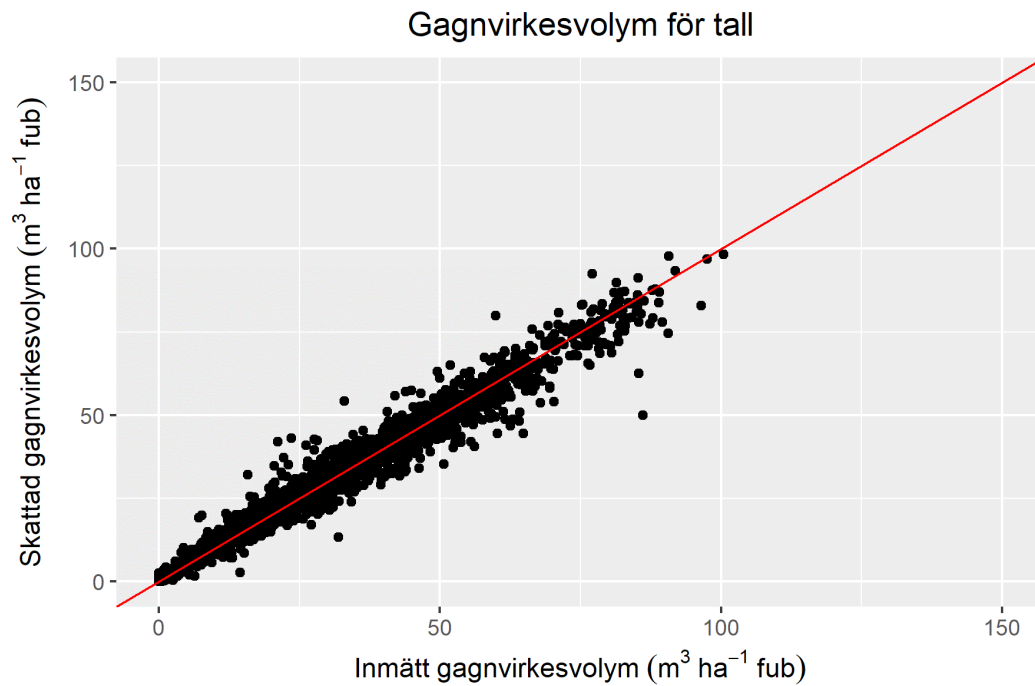


Figur 17. Jämförelse mellan skattad massavedsvolym plus energived och inmätta volymer från skördaren för 2000 gallrade prognosytor.

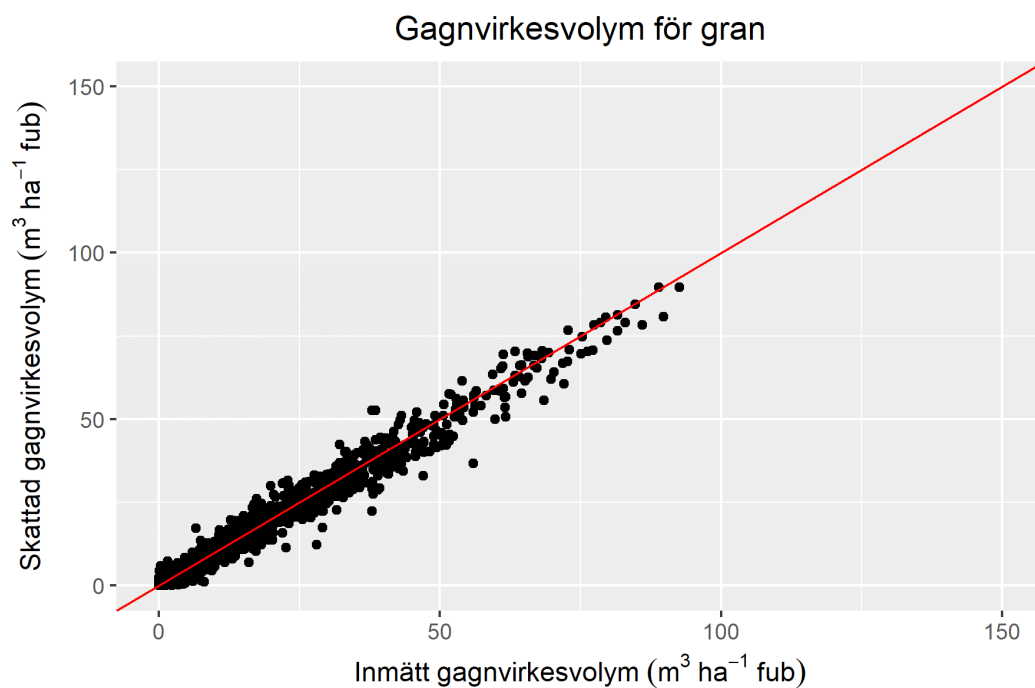
Även i gallringar predikteras gagnvirkesvolymer för enskilda trädslag väl i de flesta fall (Tabell 4). Prognoserna ligger inom  $\pm 5$  m<sup>3</sup>fub/ha i 84 procent av fallen för tall (Figur 18), 93 procent för gran (Figur 19) och 95 procent för löv (Figur 21). Contortatall fanns endast på 23 prognosytor och även referensmaterialet hade få contortaytor, vilket gav sämre prediktioner (Figur 20).

Tabell 4. Absolut och relativ standardavvikelse (SD) och medelfel (RMSE) för gagnvirkesvolym samt systematiska avvikelser (bias) av trädslagen tall, gran och löv i utbytesprognoser för 2000 gallrade prognosytor.

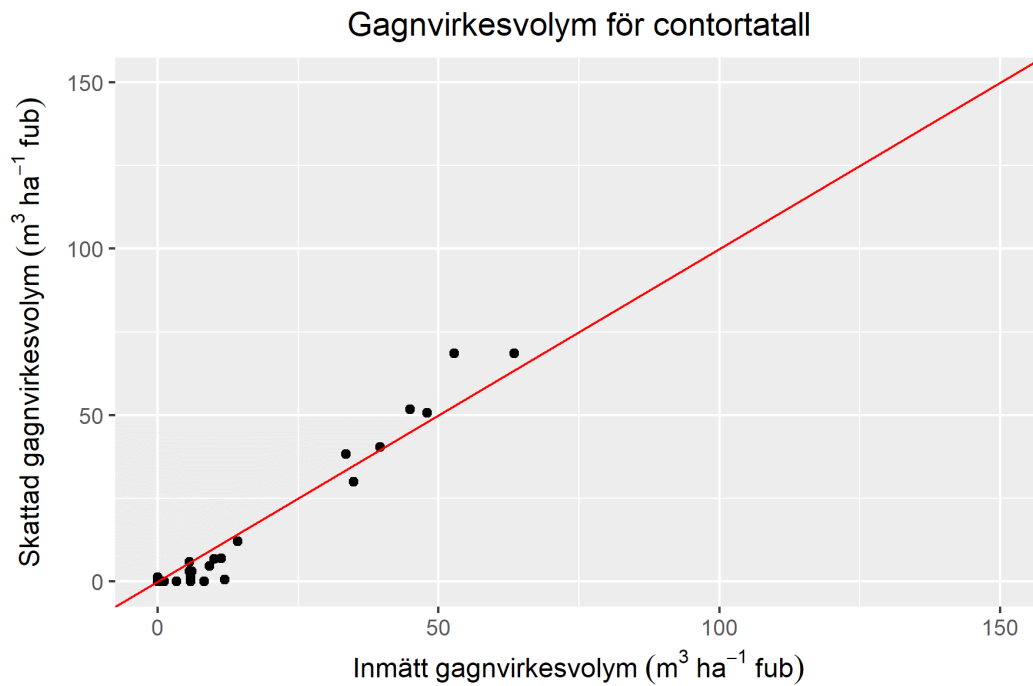
Sortiment	SD		RMSE		Bias	
	m <sup>3</sup> fub/ha	%	m <sup>3</sup> fub/ha	%	m <sup>3</sup> fub/ha	%
Tall	4,1	12,6	4,1	12,6	-0,0	-0,1
Gran	2,6	19,2	2,6	19,3	-0,1	-0,9
Contortatall	0,6	287,4	0,6	287,4	-0,0	-4,7
Löv	1,6	37,6	1,6	37,7	-0,1	-3,0



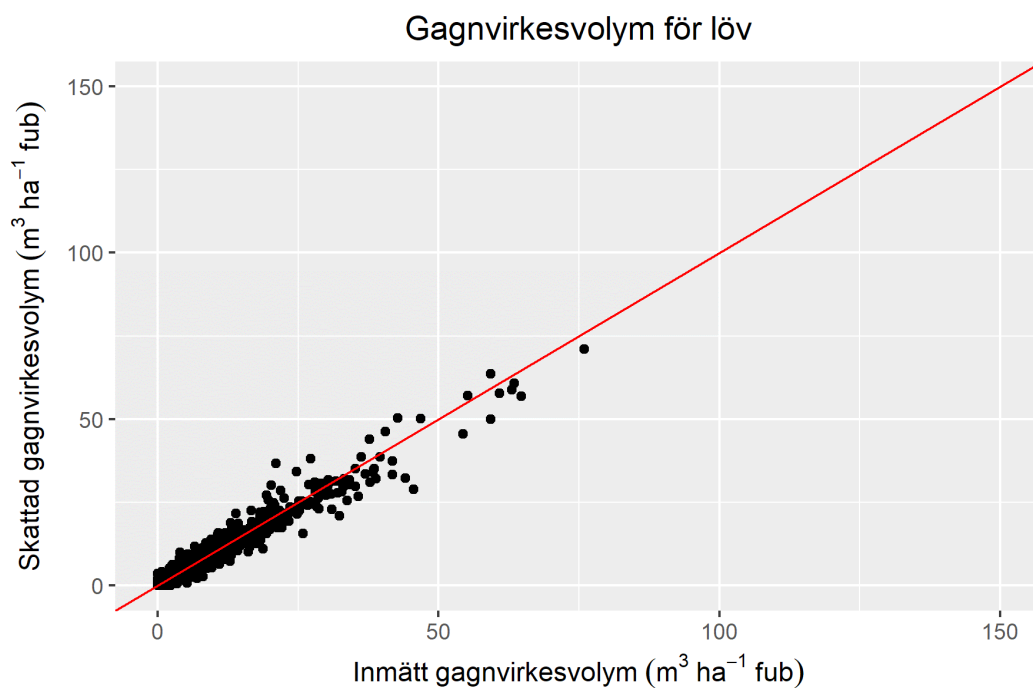
Figur 18. Samband för prediktering av tallvolym i 2000 utbytesprognoser i gallring, 1919 av prognosytorna innehöll volymer av tall.



Figur 19. Samband mellan skattad och skördarmätt gagnvirkesvolym av gran, där 1683 av de 2000 prognosytorna hade avverkat gran.



Figur 20. Skattad volym contortatall, kontra skördarmätt volym för 2000 gallringsprognoser. Endast 23 prognosytor innehöll registrerade volymer för contortatall.



Figur 21. Relation mellan skattad och inmätt volym av lövved från gallringsåtgärder. 1270 av 2000 prognosytor hade avverkat lövvolym.



## Diskussion

Denna studie var en metodtest för utbytesprognoser utan felaktigheter i indata. Resultaten visade att den framtagna metoden för utbytesprognoser fungerade väl för slutavverkningsskog. Metoden gav bra prognoser för gagnvirkesvolym även i gallringar (Figur 12), men detta behöver testas i praktiken. Den skogliga beskrivningen av beräkningsytor från gallring består till stor del av ett skattat/framräknat tillstånd och en större variation för skogliga variabler kan förväntas i verkligheten. Prognoserna är gjorda helt utan information om gallringsstyrka eller grundyteuttag, vilka skulle kunna användas som imputerings- eller bruttourvalsvariabler för att höja precisionen ytterligare.

Gagnvirkesvolymen i uttagen korrelerar bra med en skoglig beskrivning, med medelfel på 6 och 10 procent för slutavverknings- respektive gallringsprognoser. Det fanns heller inga nämnvärda systematiska fel i skattningarna (Tabell 1 och Tabell 3). Timmer- och massavedsvolym skattades med ett medelfel på 13 respektive 24 procent för slutavverknings- och 39 respektive 20 procent för gallringar. Fördelningen mellan timmer och massaved uppvisade en liten systematisk avvikelse i slutavverkningsprognoser på 1,5 m<sup>3</sup>fub/ha (Tabell 1). De tidigare genomförda operativa fallstudierna för slutavverknings- skog gav minst lika bra skattning av timmervolym, 9-15 procent, men en större variation för skattningar av massavedsvolym, 32-39 procent (Söderberg m.fl., 2017). Massavedsvolymen har mindre direkt korrelation med en skoglig beskrivning. En starkt bidragande orsak är variationen av röta och andra kvalitetsnedsättande egenskaper, som gör att stockar med timmerdimensioner klassas som massaved.

Brister i beskrivningen av trädslagsfördelningen är en viktig källa till avvikelser i skattade utbytesvolym för enskilda trädslag i operativa analyser (Söderberg m.fl., 2017). Resultaten från denna studie visar att metoden i sig är fri från systematiska avvikelser när det gäller trädslagsspecifika volymer (Tabell 2 och Tabell 4). Det innebär att en sned fördelning av utbytesvolym mellan olika trädslag i huvudsak beror på fel i indata. Ett sätt att förbättra prognoserna för enskilda trädslag är att skärpa filtreringen på trädslagsfördelning redan i bruttourvalet, men med risk för att avståndet mellan referensytor och prognosytan ökar och att den lokala kopplingen förloras. För att inte få för långt avstånd kan antalet ytor reduceras från 1000 när fler parametrar hanteras i bruttourvalet. Att skapa utbytesprognoser för nya trädslag, som inte registrerats (separat) av skördare tidigare och därmed inte finns i databasen, riskerar att resultera i stora avvikelser mot utfall även när det gäller gagnvirkesvolym. Detta beror på att kopplingen mot skogliga variabler också blir svagare.

Den funktion som togs fram i projektet för att förbättra utbytesprognoser för kubb och klintimmer fungerade väl för sitt ändamål, men resulterade också i ett nytt problem. I vissa fall begränsades antalet tillgängliga referensytor så mycket att en utbytesprognos inte kunde utföras, således var det ett något klumpigt sätt att hantera problematiken. Detta ledde till implementeringen av ett dynamiskt urval, som försökte säkerställa att en utbytesprognos kunde genomföras. Men detta medförde också en minskad precision, då färre beräkningsytor valdes ut för medelvärdesbildning. De två andra nya variablerna, dominerande trädslagsandel och höjd över havet, som lades till för att styra bruttourvalet utvärderades inte då klintimmerurvalet blev så starkt avgränsande i sig. Ett alternativt sätt att angripa problemet med osäkra klintimmerprognoser skulle kunna vara att använda minsta toppdiameter för timmer för att sortera fram representativa beräkningsytor som beskriver timmervolymer och framförallt klintimmervolymer bättre.

Företagsspecifika skördardatabaser med mer homogena apteringsinstruktioner kan antas ge något bättre resultat än prognoser baserade på Skogforsks skördardatabas, som även inom ett mindre område kan innefatta ett flertal industriers upptagningsområde, vilket kan resultera i större spridning i utbytesprognoserna. Skogforsk har utvecklat ett verktyg, *ForestPrognosis*, som kan använda trädinformation från imputerade beräkningsytor för att skapa en stambank och simulera en utbytesberäkning för ett planerat objekt med valfri prislista (Möller m.fl., 2017). Det ger möjlighet att förfina utbytesprognosen för önskade produkter jämfört med imputerat utbyte, men är i gengäld mer resurskrävande.

En tänkt utvecklingsmöjlighet är att försöka bedöma kvaliteten på prognoser i samband med att imputeringen utförs, genom att analysera statistik baserat på brutto- och imputeringsurvalet. En känslighetsanalys kan varna för osäkra prognoser samt även användas för att justera bruttourvalet och ligga till grund för mer proaktiv styrning för det dynamiska urvalet (antalet medelvärdesbildande beräkningsytor,  $k$ ). Genom att spara framräknad statistik från känslighetsanalyser för varje prognos bör felsökning av felaktiga utbytesprognoser kunna underlättas.

## SLUTSATSER

- Studien visar vilken precision som är teoretiskt möjlig att uppnå med en riktig beskrivning av skogen, med enbart skogliga variabler som indata. För att förbättra utbytesprognoserna kan även geodata inkluderas, exempelvis lutningsindex, markfuktighetsindex och temperatursumma.
- Analysen av utbytesprognoserna visar att metoden med imputering ger mycket låga systematiska fel, särskilt för gagnvirke. Metoden kan anses vara väntevärdesriktig. Därmed förväntas denna metod för utbytesprognoser kunna beskriva större virkesflöden på ett bra sätt.
- Metoden skattar volymfördelningen mellan trädslag utan systematiska fel. Dock är det viktigt med en bra beskrivning av trädslagsblandningen från register eller avverkningsplanering. Det är även viktigt att det finns referensytor med liknande trädslagsblandning som den som önskas skattas.
- Resultaten är baserade på prognosytor på ca 1 hektar och ger mycket bra resultat. Troligtvis är en segmentering av objekt i liknande storlek för att göra prognoser ett sätt att automatiskt identifiera variationen inom större objekt på 10-15 hektar. Därigenom bör även utfallet på objektsnivå förbättras.
- Metoden för utbytesprognoser har god potential att implementeras i företagsspecifika system, men kräver en databas med skördardata samt tillgång till verktyget *hprYield*.

# Referenser

- Anon. 2017. R Core Team. A language and environment for statistical computing. [Online]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available: <https://www.Rproject.org/> [Accessed].
- Arlinger, J., Möller, J. J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – Skördardata Standardisering av: Skördardatabaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring – Standardisation of: Harvester data-based descriptions of harvest and remaining forest after thinning. Arbetsrapport 929. Uppsala: Skogforsk.
- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J. J. 2012. StanForD 2010 Modern kommunikation med skogsmaskiner - StanForD 2010 Modern communication with forest machines. Arbetsrapport 784. Uppsala: Skogforsk.
- Bhuiyan, N., Möller, J. J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning - Automatic follow-up of thinning. Arbetsrapport 899. Uppsala: Skogforsk.
- Crookston, N. L. & Finley, A. O. 2008. yaImpute: An R Package for kNN Imputation. *Journal of Statistical Software*, 23.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J. J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem - Evaluation of a system for calculation and feedback of harvester based information to forestry planning systems. Arbetsrapport 757. Uppsala: Skogforsk.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J. J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning - Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. Arbetsrapport 857. Uppsala: Skogforsk.
- Hannrup, B., Möller, J. J., Larsson, W., Malm, J. & Wilhelmsson, L. 2009. Utvärdering av ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverkade kvantiteter skogsbränsle. Arbetsrapport 694. Uppsala: Skogforsk.
- Moeur, M. & Stage, A. R. 1995. Most Similar Neighbor: An Improved Sampling Inference Procedure for Natural Resource Planning. *Forest Science*, 41, 337-359.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata - Forecasting of log product yield based on forest and harvester data Arbetsrapport 961. Uppsala: Skogforsk.
- Möller, J. J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015a. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning - Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning. Arbetsrapport 862. Uppsala: Skogforsk.
- Möller, J. J. & Moberg, L. 2007. Stambank VMF Qbera. Arbetsrapport 641. Uppsala: Skogforsk.
- Möller, J. J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015b. Förbättrade utbytesprognoser - Improved yield forecasts. Arbetsrapport 880. Uppsala: Skogforsk.

- Siljebo, W., Möller, J. J., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2017. hprCM – modul för beräkning av trädegenskaper och skogsbränslekvantiteter baserat på skördardata - hprCM – module for using harvester data to calculate tree properties and forest fuel quantities. Arbetsrapport 944. Uppsala: Skogforsk.
- Söderberg, J. 2015. A method for using harvester data in airborne laser prediction of forest variables in mature coniferous stands. M.Sc., Swedish University of Agricultural Sciences.
- Söderberg, J., Willén, E., Möller, J. J., Arlinger, J. & Bhuiyan, N. 2017. Utvärdering av utbytesprognoser med skogliga laserskattningar och skördardata - Evaluation of yield forecasts produced by forest laser estimations and harvester data. Arbetsrapport 937. Uppsala: Skogforsk.
- Ågren, K., Arlinger, J., Hannrup, B., Möller, J. J., Nordström, M. & Wilhelmsson, L. 2017. Utvecklingsbehov i gränssnittet skog-såg - Scope for improvement in the forest-sawmill interface. Arbetsrapport 952. Uppsala: Skogforsk.