



Utvärdering av *hprGallring* för automatisk gallringsuppföljning i barrskogar

Elias Källmark

Examensarbete • 60 hp

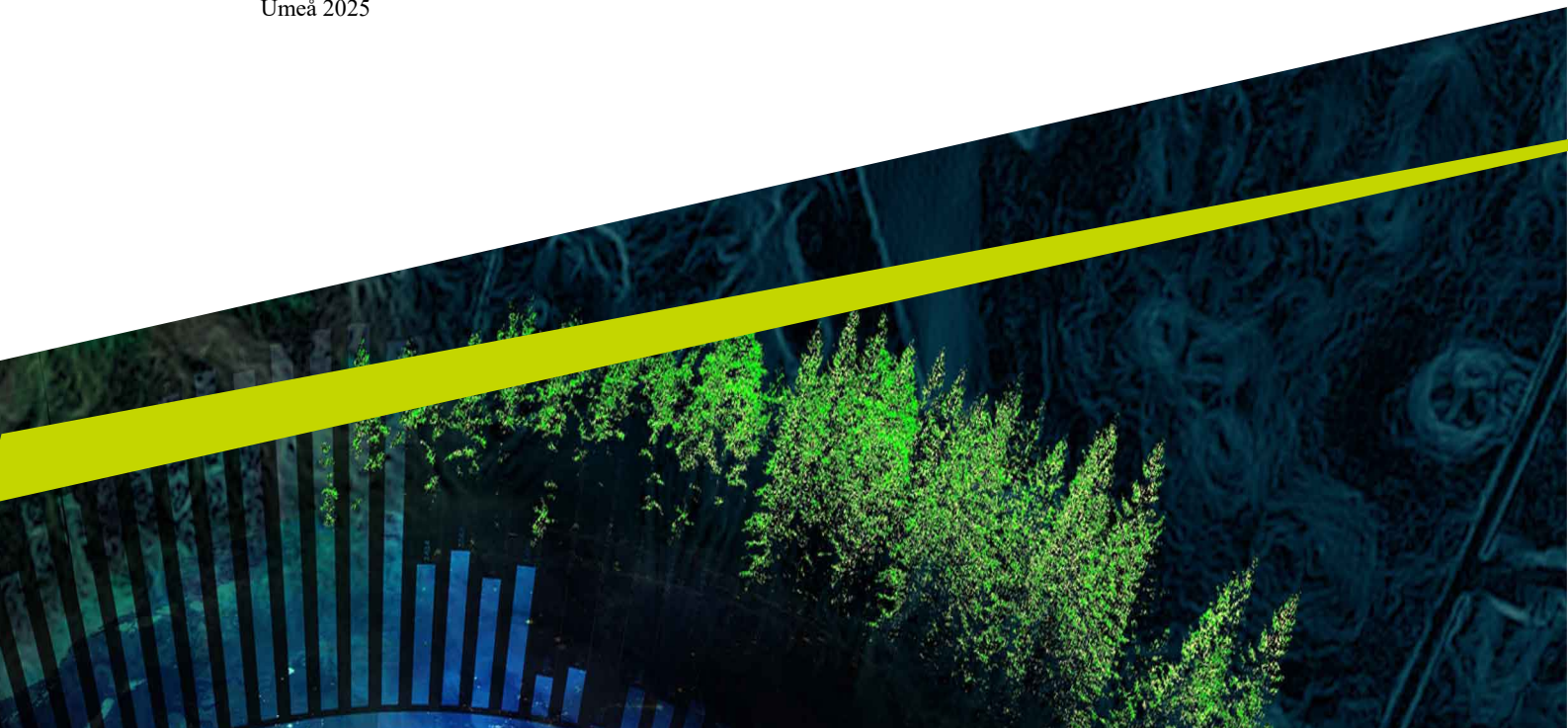
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2025:8

Umeå 2025



Utvärdering av *hprGallring* för automatisk gallringsuppföljning i barrskogar

Evaluation of hprGallring for Automatic Thinning Monitoring in Coniferous Forests

Elias Källmark

Handledare:	Tomas Nordfjell, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Extern handledare:	Olof Falkeström, Norra Skog
Extern handledare:	Liza Edlund, Norra Skog
Examinator:	Ola Lindroos, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning:	60 hp
Nivå och fördjupning:	Avancerad nivå, A2E
Kurstitel:	Masterarbete i skogsvetenskap
Kurskod:	EX0954
Program/utbildning:	Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Utgivningsort:	Umeå
Utgivningsår:	2025
Serietitel:	Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien:	2025:8
Nyckelord:	grundyta, uttagsandel från stickväg, stamantal, skogliga variabler, skördardata, fältinventering, automatisk metod, manuell metod

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

I modernt skogsbruk är det avgörande att gallringsåtgärder kan följas upp på ett tillförlitligt sätt. Denna uppföljning har traditionellt genomförts manuellt, vilket är både tidskrävande och resurskrävande. För att effektivisera arbetet har Skogforsk utvecklat hprGallring, ett digitalt beslutsstödsystem som använder skördardata för att kontinuerligt beskriva beståndets struktur och möjliggöra automatiserad uppföljning.

Syftet med denna studie var att utvärdera tillförlitligheten och den praktiska tillämpningen av hprGallrings automatiska gallringsuppföljningar. För att undersöka om skillnaderna mellan metoderna förhöll sig inom $\pm 10\%$, inventerades tio förstagallrade bestånd manuellt i fält och jämfördes med motsvarande skattningar från hprGallring. De variabler som utvärderades var grundyta, stamantal, uttagsandelen från stickvägar, grundytevägd medeldiameter, volym (total och per hektar), ståndortsindex och trädslagsfördelning.

Statistiskt signifikanta skillnader mellan metoderna identifierades för trädslagsfördelning, uttagsandel från stickvägar samt stickvägsandel. I samtliga fall visade hprGallring genomgående lägre värden jämfört med den manuella metoden. På objektsnivå låg resultaten från de båda metoderna i linje med genomsnittet, men uppvisade något större variation. För sju av de elva undersökta variablerna låg medelskillnaden mellan metoderna inom det fastställda avvikelseintervallet på $\pm 10\%$. Motsvarande gällde för sex av elva variabler på objektsnivå. Resultaten visar att hprGallring är ett användbart verktyg för gallringsuppföljning, och kan ersätta delar av manuella mätningar. Resultaten indikerar att automatiserad uppföljning med hprGallring har potential att öka effektiviteten i skogsbrukets kvalitetskontroller.

Nyckelord: Grundyta, uttagsandel från stickväg, stamantal, skogliga variabler, skördardata, fältinventering, automatisk metod, manuell metod

Abstract

In modern forestry, reliable it is essential that follow-up of thinning operations can be followed up in a reliable manner. Traditionally, this follow-up has been conducted manually, which is both time-consuming and resource intensive. Therefore, Skogforsk has developed the program *hprGallring*, a decision support system that continuously estimates forest structure and the impact of thinning operations based on harvester data and can perform an automatic follow-up on thinning.

The aim of this study was to evaluate the reliability and practical applicability of *hprGallring*'s automatic thinning follow-up. To assess whether the differences between methods fell within $\pm 10\%$, ten first-thinned stands were manually inventoried in the field and compared with corresponding estimates from *hprGallring*. The evaluated variables included basal area, number of stems, extraction proportion from strip roads, basal area-weighted mean diameter, volume (total and per hectare), site index, and tree species distribution.

Statistically significant differences between the methods were found for tree species distribution, proportion of harvest in strip roads, and proportion of strip road. In all cases, *hprGallring*'s estimates were generally underestimated. At stand level, the results largely aligned with the overall average. For seven out of eleven evaluated variables, the systematic deviation was within the acceptable range of $\pm 10\%$. The same applied to six of the eleven variables at the stand level.

Despite certain limitations, the results show that *hprGallring* can already today largely replace manual measurements. The study suggests that automated thinning follow-ups using *hprGallring* has the potential to improve the efficiency of quality control in forestry operations.

Key words: Basal area, strip road removal share, stem density, forestry variables, harvester data, field inventory, automated method, manual method

Innehållsförteckning

Tabellförteckning.....	7
Figurförteckning.....	9
Förkortningar	10
1. Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Automatiska gallringsuppföljningar med hprGallring.....	12
1.3 Tidigare studier av hprGallring	21
1.4 Syftet med studien	22
2. Material och Metoder	24
2.1 Gallringsbestånd och urvalsprocess	24
2.1.1 Studerade skördare	27
2.2 Fältinventering	27
2.2.1 Cirkelprovinventering för beståndsbeskrivning	28
2.2.2 Stickvägsbredd och stickvägsavstånd	30
2.3 Bearbetning och statistik	30
2.3.1 Bearbetning av data	30
2.3.2 Statistisk	31
3. Resultat	34
3.1 Skattningar av det kvarvarande beståndet efter gallring.....	34
3.2 Grundyta efter gallring	36
3.3 Stamantal efter gallring	39
3.4 Uttag i stickväg	39
3.5 Grundytevägd medeldiameter efter gallring	40
3.6 Kvarstående volym efter gallring	41
3.7 Ståndortsindex.....	43
3.8 Stickvägsandel	43
4. Diskussion.....	45
4.1 Grundyta och trädslagsfördelning.....	45
4.2 Stamantal	45
4.3 Andel volym uttaget ur stickvägar.....	46
4.4 Grundytevägd medeldiameter	47
4.5 Volym	47
4.6 Ståndorts Index	48
4.7 Stickvägsandel och stickvägsbredd.....	49

4.8	Styrkor och svagheter med studien	50
4.9	Datasetets tillförlitlighet	51
4.10	Framtida studier och tillämpningar av hprGallring.....	51
4.11	Slutsats	52
Referenser.....		54
Tack 57		
Populärvetenskaplig sammanfattning		58
Bilaga – Detaljerad skattningsdata.....		60

Tabellförteckning

Tabell 1. Urvalet av de studerade objekten med tillhörande objekt ID, areal enligt Norra Skogs traktdirektiv, relativ provyteandel, maskinmodell, maskinlag, skördarinmätt volym, den inmätta volymen från Biometria i m ³ fub samt relativ skillnad mellan skördarinmätt volym och Biometrias.	27
Tabell 2. Beståndsegenskaper för de studerade objekten. Tabellen visar medelvärden för varje variabel enligt den manuella inventeringen respektive hprGallrings skattningar, med tillhörande standardavvikelser för metoden inom parentes. Skillnaden mellan metoderna redovisas som medelavvikelse och relativ avvikelse (%). Även RMSE-värden (Root Mean Square Error) och deras relativa motsvarigheter inkluderas.	35
Tabell 3. Procentuell skillnad (%) mellan manuella mättningsresultat och hprGallrings skattning för varje enskilda objekt på de observerade skogliga variabler. Den manuella metoden agerar som referens. Ett positivt tal indikerar att den manuella metoden har skattat ett högre värde än vad hprGallring gjorde i det enskilda objektet.	36
Tabell 4. Grundyta efter gallring för totalen och respektive trädslag. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Standardavvikelsen är uttryckt som m ² /ha och som en procentuell relativ andel av manuella metodens medelvärde.	38
Tabell 5. Stammar per hektar efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i st/ha mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Standardavvikelsen är uttryckt som st/ha och som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.	39
Tabell 6. Andel uttag från stickvägar efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i % mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Standardavvikelsen är uttryckt som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.	40
Tabell 7. Grundytevägd medeldiameter efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i centimeter (cm) mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Standardavvikelsen är även uttryckt som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.	41

Tabell 8. Volym per hektar efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i m ³ fub/ha mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är även uttryckt som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.....	42
Tabell 9. Total kvarstående volym efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i m ³ fub mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är uttryckt som en andel av manuella metodens medelvärde.....	42
Tabell 10. Ståndortsindex (SIH) efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i meter (m) mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är uttryckt som en andel av manuella metodens medelvärde.....	43
Tabell 11. Stickvägsandelen efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för avvikelsen mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är uttryckt som en andel av manuella metodens medelvärde.....	44
Tabell 12. Gallringsobjektens stickvägsavstånd och stickvägsbredd enligt referensmetoden och stickvägsandelen enligt referensmetoden och hprGallring.	44

Figurförteckning

- Figur 1. Exempel på hur hprGallring har delat upp ett fragmenterat gallringsobjekt i tre separata delområden (heldragna röda linje) samt fyra beräkningsytor i det översta delområdet (olikfärgade områden). De sju gråa områdena är de områden som inte kommer att prognosticeras då de är för små ($< 0,5$ hektar) och ligger för långt bort (> 1 kvadrat) från ett sammanhängande delområde (Möller et al. 2015). 14
- Figur 2. Schematisk bild över hur slumpmekanismen fungerar där A1, A2 och A3 är objektens areal som representeras av rektanglar på en rad. Den slumpmässiga startpunkten för urvalet är r0 vilket är första startpunkten och r1 och r2 är de andra urvalspunkterna. Intervallerna är (0, A1) och (A1, A1+A2) vilket är de kända intervallen som urvalet sker i. 25
- Figur 3. Karta över Västerbottens län, Sverige där cirkeln visar var objekten befann sig inom Umeå och Vindelns kommun. 26
- Figur 4. Ett objekt med ett slumpmässigt urval av 20 provytor som har placerats ut med hjälp av de verktyg som finns i ArcGIS pro. Punkterna inom polygonen (objektsgränsen) är de cirkelprovytor som inventerades. 28
- Figur 5. Ett exempel på ett av objekten där gallringsobjektet är delad, vilket resulterade i 20 provytor i varje område. Här skapades det först 40 provytor för att sedan bli 20 provytor med hjälp av Subset Feature. 29

Förkortningar

Hpr	Harvested production
Dbh	Brösthöjdsdiameter
Dgv	Grundtevägd medeldiameter i brösthöjd
Gy	Grundyta
St/ha	Stammar per hektar
Ha	Hektar; 1 ha = 10 000 m ²
JD	John Deere
CM	Calculation Module
SIH	Ståndortsindex Höjdtvecklingskurva

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Den produktiva skogsarealen täcker 57,7 % av Sveriges landyta. Inom svenskt skogsbruk är gallring den vanligaste avverkningsåtgärden sett till areal och utförs årligen på ca 290 000 hektar. Gallringsskogar står för en betydande del av den totala tillväxten och står för den största andelen (40 %) av den produktiva skogsmarken utanför formellt skyddade områden, vilket gör den till den vanligaste huggningsklassen (Roberge et al. 2024). I genomsnitt står gallring för 22 % (20,9 miljoner m³sk) av den totala avverkade volymen (Skogsstyrelsen 2024).

Gallring innebär att vissa träd avlägsnas för att gynna de kvarstående stammarna med högst framtida värde. Urvalet styrs vanligtvis av trädens tillväxtpotential, form och vitalitet. Exempelvis sparas raka, välformade stammar medan träd med skador, krök eller låg konkurrenskraft tas bort. Det primära syftet med gallring är att styra beståndsutvecklingen mot ett högre ekonomiskt utbyte vid framtida slutavverkning, men även för att förbättra skogens stabilitet, kvalitet och tillväxtförutsättningar över tid. Åtgärden gallring kan utföras en eller fler gånger under en omloppstid. En s.k. förstagallring utförs vanligtvis när träden har uppnått en övre höjd mellan 10 – 15 meter. Denna höjd skiljer sig mellan trädarter där granbestånd normalt gallras första gången när övre höjden är mellan 12 – 15 meter och för tall när övre höjden är mellan 10 – 13 meter. Gallringsstyrkan varierar vanligtvis mellan 20 – 40 % av grundytan (Agestam 2009).

Vid en förstagallring anläggs stickvägar med stickvägsgående maskiner. Stickvägsnätets bredd och placering bör planeras inför en eventuell andragallring. En vanlig stickvägsbredd är omkring 4 meter och avståndet mellan stickvägarna utgår från skördarnas räckvidd och varierar mellan 18 och 32 meter (Agestam 2009; Bergkvist & Staland 2003). Avståndet mellan stickvägar är avgörande för hur stor andel av beståndet som kan gallras selektivt (Frohm & Thor 1995). Upptaget av stickvägar är en nödvändighet och betraktas inte som något positivt, då stickvägar kan betraktas som en lång och smal kal yta som medför en tillväxtförlust i beståndet (Agestam 2009).

Den ökade mekaniseringen av gallringsarbetet under 1980-talet ledde till en ökad förekomst av stamskador, vilket i sin tur skapade ett behov av systematisk

kvalitetskontroll (Freij & Tosterud, 1989; Bylund, 2008). För att säkerställa gallringens kvalitet integrerades uppföljning som en del av arbetsprocessen (Åneklint, 1999). Uppföljningen genomförs huvudsakligen av maskinförare under gallringsarbetets gång, samt av skogsbolagens fältarbetare. Den manuella gallringsuppföljningen syftar till att bedöma utförandet på gallringsarbetet samt att verifiera att uttaget skett enligt de riktlinjer som anges i gallringsmallar och traktdirektiv (Bergkvist & Staland, 2003; Lindström & Olbers, 2009).

Vid uppföljning mäts ett antal nyckelvariabler som beskriver det kvarvarande beståndets struktur och tillstånd efter gallring. Dessa inkluderar grundyta, ett mått på trädens sammanlagda tvärsnittsarea vid brösthöjd (1,3 m) per hektar, vilket är centralt för att bedöma gallringsstyrka och beståndstäthet. Stamantal, som anger hur många träd som står kvar efter åtgärden, samt grundytevägd medeldiameter, ett viktat mått som beskriver diameterstrukturen hos de kvarvarande träden.

Beståndets övre höjd och ålder används för att uppskatta ståndortsindex och därmed produktionspotentialen. Trädslagsfördelning och förekomst av stamskador bedöms som indikatorer på om gallringen har utförts med god kvalitet och med hänsyn till önskat utfall. Stickvägsarealen används för att beskriva hur stor andel av beståndet som används till maskinvägar, vilket påverkar den produktiva skogsmarksytan. Slutligen, mäts hjulspårens djup som en indikator på markpåverkan och för att följa upp skogsbruket ur miljöhänsyn.

Dessa variabler är inte enbart indikatorer på kvaliteten i det utförda arbetet, utan också avgörande för att kvantifiera och modellera beståndsutveckling efter gallring.

1.2 Automatiska gallringsuppföljningar med *hprGallring*

Intresset för att automatisera gallringsuppföljning med hjälp av skördardata växte i mitten av 1990-talet. I en tidig studie av Thor et al. (1996) användes kombinationen av skördardata och GPS-teknik för att utveckla en utrustning där skördarföraren kunde följa uttagets grundyta löpande under gallringsarbetet. Sedan 2011 har Skogforsk utvecklat programvaran *hprGallring* som möjliggör automatisk gallringsuppföljning.

Programvaran *hprGallring* är en applikation med grafiskt gränssnitt som fungerar som ett beslutsstödsystem för maskinföraren. Den tillhandahåller en prognos över beståndets struktur efter gallring, baserat på information från skördardata. Programmet hanterar produktionsfiler enligt StanForD 2010, som är skogsbrukets standard för hantering av data. Tidigare har produktionsdata varit begränsad till att aggregera på objekts- och sortimentsnivå (Möller et al. 2015). Däremot med StanForD 2010 lagras data på stock- och trädnivå. Exempel på data som lagras är geografisk position, trädslag och brösthöjdsdiameter (Arlinger et al. 2013). Datat utformar sig i s.k. *hpr*-filer. Då produktionsfilerna är enligt StanForD 2010 fungerar *hprGallring* på alla vanliga skogsmaskinsfabrikaten (Möller et al.

2015). Programmet läser kontinuerligt in delrapporterade produktionsfiler och analyserar data för de avverkade stammarna uppdelat efter objekt ID.

Arbetsgången för *hprGallring* är uppbyggt av fyra steg (Möller et al. 2015; Möller et al. 2024).

1. Bearbetning och inläsning av data
2. Arealberäkning och indelning i beräkningsytor
3. Beräkning av uttaget
4. Prognos på kvarvarande skog

Steg 1 – Bearbetning och data

I det första steget lagras hpr-filer (produktionsdata) automatiskt i en katalog för gallringsobjektet, där bearbetas hpr-data successivt med hprCM (*Harvested Production Calculation Module*) för att beräkna trädhöjder. Resterande data genereras enligt StanForD 2010. Beräkningsmodulen hprCM används främst för att skatta skogsbränslekvantiteter och vissa bestånds- och virkesegenskaper, inom *hprGallring* används beräkningsmodulen enbart för att beräkna trädhöjder (Siljebo et al. 2017).

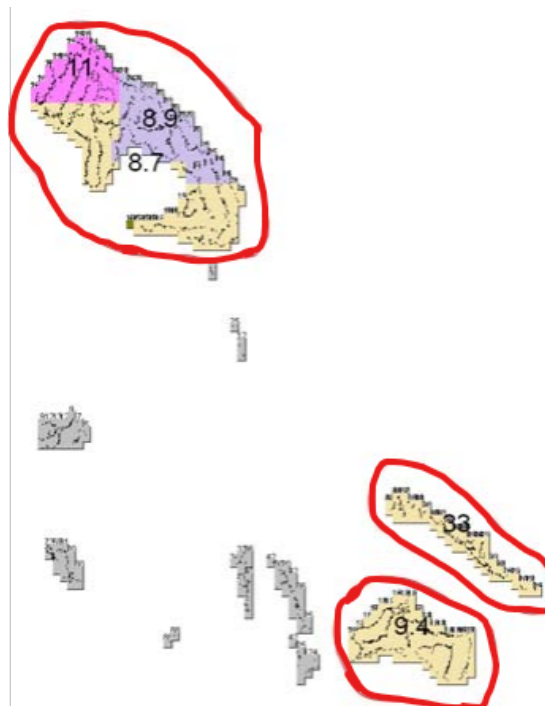
Steg 2 – Beräkning av areal

Eftersom flera av de nyckelvariabler som *hprGallring* skattar är arealbaserade, krävs en beräkning av det behandlade objektets areal. Detta görs genom att ett rutnät med justerbar storlek (standard 13×13 m) läggs över objektet. Objektets gräns registreras manuellt i förväg, och maskinens GPS-positioner vid avverkning av stammar placeras in i rutnätet (Möller et al. 2015; Bhuiyan et al. 2016).

Varje kvadrat i rutnätet bidrar till den totala arealen, men i varierande grad. För att kompensera för osäkerheter i glesa partier och längs kantzoner används en reduceringsregel: kvadrater med färre än sex avverkade angränsande kvadrater (av totalt åtta) viktas ned proportionellt, medan kvadrater med sex eller fler angränsande avverkade kvadrater bidrar med 100 % av sin areal (Bhuiyan et al. 2016). Denna metod minskar risken att överskatta arealen i perifera delar av objektet och förbättrar precisionen i arealbaserade variabler.

Programmet delar därefter in objektet i så kallade delområden och beräkningsytor. Eftersom gallringsobjekt kan bestå av ett större sammanhängande område eller flera utspridda fragment, sker en segmentering baserad på områdenas storlek och geografiska relation. Ett delområde måste omfatta minst 0,5 ha och innehålla minst 100 stammar. Mindre kvadrater kan inkluderas om de ligger högst en kvadrat från närmaste delområde. Beräkningsytor bildas genom att slå samman områden inom ett delområde som är mellan 0,5–2,0 ha stora, innehåller minst 100

stammar och har liknande övre höjd (Figur 2). Beräkningsytor som understiger 0,5 ha utesluts i den slutliga prognostiseringen (Möller et al. 2015; Möller et al. 2024).



Figur 1. Exempel på hur hprGallring har delat upp ett fragmenterat gallringsobjekt i tre separata delområden (heldragna röda linje) samt fyra beräkningsytor i det översta delområdet (olikfärgade områden). De sju gråa områdena är de områden som inte kommer att prognosticeras då de är för små ($< 0,5$ hektar) och ligger för långt bort (> 1 kvadrat) från ett sammanhängande delområde (Möller et al. 2015).

Figure 1. Example on how hprGallring has divided a fragmented thinning object into three separate sub-areas (solid red lines) and four calculation areas within the uppermost sub-area (differently coloured regions). The seven grey areas represent regions that will not be included in the projection, as they are too small (< 0.5 hectares) and located too far away (> 1 grid cell) from a contiguous sub-area (Möller et al. 2015).

Steg 3 – Sammanställning av uttaget

I det tredje steget sammanställs uttagsdata både för varje enskild beräkningsyta och för gallringsobjektet i sin helhet. Sammanställningen sker fortlöpande och omfattar följande variabler, grundyta (m^2/ha), stamantal (totalt och stammar per hektar), volym (total och per hektar), övre höjd (m), grundytavägd diameter (mm), grundytavägd höjd (m), trädslagsfördelning (%) samt areal, både total och per beräkningsyta (ha).

Steg 4 – Prognos på kvarvarande skog

I det sista steget prognostiserar hprGallring det kvarvarande beståndet (Möller et al. 2015). Programmet genererar startvärden och styrinformation, vilket utgör grunden för algoritmens skattning av grundyta, gallringskvot samt gallringsstyrka

efter gallring (Hannrup et al. 2021). I den nuvarande version av *hprGallring* används två huvudingångar för att generera startvärden.

Ena modellen tillämpas i de fall där kranvinkelinformation saknas. För dessa fall mäter skördaren övre höjd och start- och rimlighetsvärden för grundyta efter gallring, vilka ges från ett statistiskt samband mellan övre höjd och grundyta efter gallring. Sambandet baseras på statistik från skogsföretagens uppföljningar. Den andra modellen tillämpas i de fall där kranvinkelinformation finns tillgängligt och en betydande del av träden avverkats i stickväg. Kranvinkelinformationen används för att identifiera stickvägsträden och indirekt skatta grundyta före gallring samt gallringskvot.¹

Vid beräkningen av det kvarvarande beståndet efter gallring använder *hprGallring* tre styrparametrar: gallringskvot, gallringsstyrka samt ett intervall för tillåten grundyta efter åtgärd. Eftersom dessa parametrar delvis motverkar varandra vid justering, har programmet en prioriteringsordning för att säkerställa att gallringsutfallet håller sig inom rimliga gränser (Möller et al 2011; Möller et al. 2021). Gallringskvot och gallringsstyrka prioriteras högst. Algoritmen inleder med att optimera uttaget för att möta den satta gallringskvoten. Därefter justeras uttaget för att matcha den önskade gallringsstyrkan. Slutligen görs en ny justering för gallringskvoten, men med lägre precision, för att inte rubba den nyss optimerade styrkan i för stor utsträckning (Möller et al 2011; Möller et al. 2021).

Om den beräknade grundytan efter gallring hamnar utanför användarens angivna minimi- eller maximivärde, får detta krav väga tyngre än inställningen för gallringsstyrka. I sådana fall gör algoritmen en ny iteration med justerad gallringsstyrka. För att uppnå rimliga värden begränsas gallringsstyrkan i modellen till ett intervall på ett minimum på 12 procent, medan något övre gränsvärde inte tillämpas (Möller et al 2011; Möller et al. 2021).

Vid likformig gallring (gallringskvot = 1) antas ett jämnt uttag i samtliga diameterklasser, vilket innebär att inga justeringar krävs. Vid icke-likformig gallring (gallringskvot $\neq$ 1) beräknas uttagsandelar per diameterklass iterativt. Uttaget sätts i varje diameterklass lika med den totala gallringsstyrkan. Därefter justeras dessa uttagsandelar klassvis genom att förändra lutningen och vid behov förskjuta en linjär uttagskurva. Om kvoten är mindre än ett prioriteras uttag i klenare diameterklasser, medan en kvot större än ett innebär ökat uttag i grövre klasser (Möller et al 2011; Möller et al. 2021).

I den tredje fasen återgår algoritmen till att justera gallringskvoten på nytt, denna gång med mindre precision för att säkerställa att gallringsstyrkan inte påverkas för mycket. Som ett sista steg kontrolleras att grundytan efter gallring ligger inom tillåtet intervall (Möller et al 2011; Möller et al. 2021).

I dag implementerar *hprGallring* gallringsmallar från beslutsstödet INGVAR respektive Bergviks gallringsmall (Hannrup et al. 2021). INGVAR är ett

¹ Hannrup, Björn. Skogforsk, Seniorforskare. Personlig kontakt 2025-05-16.

beslutsstödsystem som hjälper till att avgöra lämplig tidpunkt för avverkningar och där förhållandet mellan övre höjd och grundyta är beslutsgrundande (Jacobson et al. 2008). Bergviks gallringsmall är en mall där sambandet mellan övre höjd och stamantal är beslutsgrundande (Olsson 2014).

En senare utveckling i *hprGallring* är att algoritmerna i högre grad styrs av beståndets grundyta före gallring som är indirekt skattad från grundyteuttaget i stickvägarna (Hannrup et al. 2021).

Grundyta

Programmet skattar grundytan på det kvarvarande beståndet genom att kombinera gallringsmallar och rikstäckande statistik genererat från gallringsuppföljningar från skogsföretag som har validerats empiriskt (Möller et al. 2011; Hannrup et al. 2015). Grundytan erhålls genom att ta skillnaden mellan den skattade grundytan före gallring och grundytan på gallringsuttaget (Ekvation 1a, b, c) (Möller et al. 2011; Hannrup et al. 2021):

$$Gy_i = \frac{\pi}{4} \sum_{j=0}^{N_i} Dbh_j^2 \quad (1a)$$

$$Gy_{före} = \sum_{i=0}^N \frac{Gy_i}{Uttag_i} \quad (1b)$$

$$Gy_{efter} = Gy_{före} - \sum_{i=0}^N Gy_i \quad (1c)$$

där Gy_i är grundytan på de uttagna stammarna i den i -te diameterklassen. Dbh_j är brösthöjdsdiametern för stam j i den i -te diameterklassen. $Gy_{före}$ är grundyta före gallring. $Uttag_i$ är gallringsstyrkan och representerar den skattade gallringsstyrkan för den i -te diameterklassen och beräknas som andelen av grundytan i klassen som avverkats, baserat på skördardata. Värdet är dimensionslöst (andel mellan 0 och 1) och varierar mellan diameterklasser beroende på uttagsmönstret. Gy_{efter} är grundytan på kvarvarande stammar efter utförd gallring.

Genom att kombinera den ovannämnda metod med genereringen av startvärden och styrinformation som vilar på ett samband på den framtagna relationen mellan grundyteuttaget i stickväg och grundyta före gallring får *hprGallring* fram grundytan (Ekvation 2):

$$Gy_{före\ gallring} = \alpha_0 + \alpha_1 oh + \alpha_2 Gy_{stickväg} \quad (2)$$

Där oh är den dominerande höjden för det dominerande trädslaget, $Gy_{stickväg}$ är den avverkade grundytan i stickväg per 500 m stickväg, α_0 är modellens intercept och α_1 och α_2 är regressionskoefficienter (Hannrup et al. 2021).

Gallringsstyrka

Gallringsstyrkan beräknas med relationen mellan grundytan i uttaget och grundytan före gallring, där det baseras på tätheten i stickvägarna. Gallringsstyrkan definieras som den andel av grundytan som har tagits ut från den totala grundytan. Programmet använder sig av ett minimivärde (10 %) på gallringsstyrkans utan ett övre tak (Hannrup et al. 2021).

Gallringskvot, uttagsandelen från stickvägar och grundytavägd medeldiameter i brösthöjd

Gallringskvoten definieras som kvoten mellan grundytavägda medeldiameter i uttaget och grundytavägda medeldiameter i beståndet efter gallring (Hannrup et al. 2015). Programmet använder sig av tre trädpopulationer för beräkningarna, stickvägsträd, de kvarstående träd mellan stickvägar och träd mellan stickvägar före gallring där två ekvationer används för att erhålla dessa diametrar (Ekvation 3a, 3b, 3c):

$$Dgv_{förems} = Dgv_{efter} * (1 - U_{ms}) + (Dgv_{uttag_{ms}} * U_{ms}) \quad (3a)$$

$$Dgv_{efter} = \frac{(Dgv_{förems} - Dgv_{uttag_{ms}} * U_{ms})}{(1 - U_{ms})} \quad (3b)$$

$$U_{ms} = \left(1 - \frac{Gy_{kvi_x}}{Gy_{tot}}\right) * \left(\frac{Gy_{tot}}{Gy_{tot_före}}\right) \quad (3c)$$

Den första ekvationen beskriver den grundytavägda medeldiametern före gallringsingreppet ($Dgv_{förems}$) och är diametern för träd mellan stickvägar, $Dgv_{uttag_{ms}}$ är grundytavägd medeldiameter för uttaget mellan stickvägar. Ekvation 3b är trädens grundytavägda medeldiameter efter gallring (Dgv_{efter}), ekvation 3c är andelen av den totala grundytan före gallring som har avverkats mellan stickvägar (U_{ms}) (Hannrup et al. 2015).

Uttagsandelen mellan stickvägar (U_{ms}) beräknas med hjälp av grundytan från stickvägar Gy_{kvi_x} , där detta tal är baserat på kranvinkelintervallet x som är förinställt, samt den totala grundytan Gy_{tot} och den skattade grundytan som var innan gallringsingreppet $Gy_{tot_före}$ (Hannrup et al. 2015).

Den grundtyevägda medeldiametern Dgv_i beräknas för varje diameterklass (i) enligt:

$$Dgv_i = \frac{\sum_{j=0}^{N_i} dbh_j^3}{\sum_{j=0}^{N_i} dbh_j^2} \quad (4)$$

där dbh_j är brösthöjdsdiametern för stam j i den i -te diameterklassen och N_i är antalet stammar i klassen. Beräkningen ger ett medelvärde av diametern där varje träd viktas efter sin grundyta dbh_j^2 , vilket innebär att större träd bidrar proportionellt mer till medelvärdet än mindre träd. Detta mått används eftersom det bättre representerar beståndets volym och struktur än ett aritmetiskt medelvärde av diametern (Möller et al. 2011).

I *hprGallring* används den grundtyevägda medeldiametern som en indirekt variabel för att skatta vissa nyckelvariabler som inte kan mätas direkt från skördardata. Enligt Hannrup et al. (2015) beräknas den separat för träd avverkade inom ett kranvinkelintervall på $\pm 15^\circ$ och för träd avverkade utanför ett kranvinkelintervall på $\pm 50^\circ$. Dessa två beräkningar representerar i första hand träd från stickvägsnära respektive mellanliggande beståndsytor, och används i modelleringen av grundtyeuttag och relaterade beståndsegenskaper. Det är viktigt att notera att dessa kranvinkelintervall inte är desamma som de som används för att identifiera stickvägar i *hprGallring*, utan är specifikt framtagna för skattning av nyckelvariabler.

Stamantal

Beräkningsmodellen baseras på de beräkningar av stamantal som tidigare har använts hos företag där inventering skett med laserscanning. Ett matematiskt samband mellan stamantalet och kvoten mellan total grundyta och den grundtyevägda medelstammens grundyta används. Den grundtyevägda medelstammens diameter beräknas indirekt genom empiriska erfarenhetstal som beskriver relationen med den grundtyevägda medeldiameter eftersom den inte kan skattas direkt från data. Stamantalet beräknas enligt formeln (Ekvation 5):

$$N_{stam} = \frac{Gy}{((Dgv * a)^2 * \frac{\pi}{4} / 1000)} \quad (5)$$

där Gy är grundytan, Dgv är den grundtyevägda medeldiametern, och a är kvoten mellan den grundtyevägda medelstammens diameter och den grundtyevägda medeldiameter.

Vid beräkningarna används trädslagsvisa värden för kvoten mellan den grundytavägda medelstammens diameter och den grundytavägda medeldiameter (Hannrup et al. 2015).

Trädslagsfördelning

Trädslagsfördelningen i stickväg bestäms genom att se hur stor andel varje trädslag står för av den totala grundytan och denna fördelning antas att representera hela beståndet före gallring. Med det som grund beräknas trädslagsfördelningen efter gallring genom att subtrahera den uttagna grundytan per trädslag från den beräknade grundytan före gallring. Därefter beräknas varje trädslags andel av den kvarvarande grundytan (Hannrup et al. 2021). Programmet använder följande beräkningssteg vid skattning av trädslagsfördelningar:

1. Trädslagsfördelningen i stickvägarna bestäms genom att beräkna varje trädslags andel av den totala grundyta som avverkats inom stickvägen. Denna fördelning används därefter som ett antagande för att beskriva trädslagsfördelningen i beståndet före avverkning.
2. För att uppskatta grundytan före gallring adderas den kvarvarande grundytan efter avverkning med den grundyta som avverkats inom respektive yta. Beståndet tilldelas därefter samma trädslagsfördelning som den som observerats i stickvägarna.
3. Trädslagsfördelningen efter gallring beräknas sedan genom att subtrahera den uttagna grundytan per trädslag från den totala grundytan före avverkning. För att få fram trädslagsandelarna efter gallring divideras varje trädslags återstående grundyta med den totala återstående grundytan.
4. Slutligen beräknas kvoten mellan trädslagsandelen efter gallring och motsvarande andel i gallringsuttaget. Programmet använder denna kvot för att justera och kalibrera trädslagsfördelningen inom respektive diameterklass, så att den bättre speglar den faktiska fördelningen efter avverkning.

Stickvägsandel och stickvägsträd

För att bestämma stickvägsandelen använder *hprGallring* en modell som bygger på skördarens position och rörelse som registreras i hpr-filerna. En algoritm tar hjälp av data från nationella vägdatabaser som kan urskilja skogsbilvägar mot stickvägar, samt loggspår som uppdaterar skördarens position var tionde meter (Hannrup et al. 2021).

Algoritmen skapar en karta över stickvägsnätet baserat på skördarens rörelsemönster, där stickvägar identifieras med hjälp av skördarens positioner och

en förinställd kranvinkel vid trädavverkning (Bhuiyan et al. 2016). Identifieringen av stickvägsträd bygger på kranvinkeldata, där träden som har avverkats framför maskinen inom ett visst vinkelintervall registreras som stickvägsträd skilda från resterande träd som har gallrats bort (Bhuiyan et al. 2016). Detta kranvinkelintervall varierar mellan skogsmaskinfabrikat där John Deere och Rottne har ett intervall på $\pm 32^\circ$ och Komatsu mellan -28° och $+24^\circ$ (Möller et al. 2024). Stickvägarnas totala längd beräknas och multipliceras med en antagen stickvägsbredd på 4,3 meter för att uppskatta stickvägsarean (Hannrup et al. 2021).

De stickvägar som skapas används som en stor provyta för att beskriva ursprungsbeståndet och precisionen i skattningarna av de skogliga variablerna vilar på en korrekt identifiering av stickvägsträden (Hannrup et al. 2015).

Ståndortsindex Höjdutvecklingskurvor och Övre höjd

Ståndortsindex (SI) beräknas utifrån beståndets övre höjd enligt Elfving & Kiviste (1997). Programmet delar in objektet i rutor om 20 x 20 meter, stammarna inom varje kvadrat registreras och sorteras efter trädslag. När trädslagsfördelningen är klar, identifieras det dominerande trädslaget för varje kvadrat. För varje stam som tillhör en viss kvadrat beräknas den tilldelade övre höjden, som omvandlas med hjälp av funktioner för att räkna om SI mellan tall och gran:

$$H100_{Tall} = e^{-2,5397 + LN(H100_{Gran}) * 1,6967 - 0,005179 * H100_{Gran}} \quad (6a)$$

$$H100_{Gran} = e^{7,9209 + LN(H100_{Tall}) * (-0,9596) + 0,01171 * H100_{Tall}} \quad (6b)$$

Den ingående SI beror på den övre höjden samt trädslaget för den aktuella stammen, medan det utgående SI beräknas utifrån det dominerande trädslaget för kvadraten.

Efter att konverteringen mellan trädslag genomförts korregerar programmet åldern på övre höjden med beståndsålder. Åldern kan anges av användaren i programmet, alternativt beräknas åldern med en funktion (Möller et al. 2024). När alla stammars SI-höjd har summerats för en kvadrat och en medelhöjd har fastställts, begränsas SI till ett maximalt värde, T34 för tall och G40 för gran.

Efter att en kvadrat har tilldelats ett SI, räknas antalet kvadrater med ett visst trädslag upp med ett. Det trädslag som har tilldelats flest kvadrater kommer att vara bestämmande vid SI-beräkningen för respektive beräkningsyta. Därefter genomgår alla kvadrater en omvandling av SI-värdet, där det justeras till det trädslags SI som har bestämts för den aktuella beräkningsytan. Slutligen summeras alla SI-värden för kvadraterna inom respektive beräkningsyta (Möller et al. 2011).

1.3 Tidigare studier av *hprGallring*

Ett tidigare examensarbete jämförde *hprGallring* med manuell gallringsuppföljning med hjälp av cirkelprovytor. Skillnaden i skattningen av grundytan var signifikant. Inga signifikanta skillnader fastlades för volym eller stamantal. Emellertid så uppmärksammades det att skattningen på trädslagsfördelningen inte var exakt när gallringsuttaget riktades mot ett speciellt trädslag (Pettersson 2016).

I ett annat examensarbete där samma typ av jämförelse med hjälp av cirkelytor gjordes så var de systematiska avvikelserna små. Resultatet visade att den kvarvarande volymen överskattades med 7,1 % och att trädslagsfördelningen generellt stämde bra mellan de olika metoderna. Även i detta arbete visade det sig att *hprGallring* hade brister när gallringen riktades mot ett specifikt trädslag (Burström 2016).

I ett annat liknande och mer rikstäckande examensarbete av Larsson (2017) jämfördes skattningar på skogliga variabler mellan grova respektive klena gallringar i norra och södra Sverige för manuell och automatisk gallringsuppföljning. Enligt studien underskattade *hprGallring* grundyta med genomsnitt 5 % med en statistisk signifikans. Stamantalet överskattades med 22 % i genomsnitt, där avvikelserna var större i klena gallringar jämfört med grova (Larsson 2017). Tidigare studier från Skogforsk har visat just att programmet har svårast för att skatta stamantal (Hannrup et al. 2021).

Larsson (2017) indikerade i sin studie att den grundytevägda medeldiametern hade små avvikelser och med bäst precision i grova gallringar. Avvikelserna för grundyta och stamantal låg inom ± 10 % i norra Sverige medan södra Sverige visade något högre spridning i genomsnitt.

Skogforsk egna studie som omfattar en rikstäckande utvärdering av systemet visade att gallringsstyrkan från *hprGallring* generellt stämde bra med den manuella referensmätningen. Standardavvikelsen mellan dessa var 2,8 %. Grundyta och volym efter gallring hade en högre standardavvikelse på 12–13 %, medeldiameter och övre höjd visade på en medelmåttig standardavvikelse på 4 och 8 % och stamantal visade en hög standardavvikelse på 16–20 %. Det konstaterades även att trädslagsfördelningen vid prognosen av det kvarvarande beståndet stämde bra på de flesta av provytorna (Hannrup et al. 2015). I Skogforsks studier har referensmätning genomgående skett i form av totalklavning efter gallring på provytor om cirka 1 ha.

Skogforsks senare studie från 2021 utvärderade en ny modell i *hprGallring* för att förbättra skattningen av bestandsvariabler efter gallring, där metoden utnyttjar stickvägsträd som ett representativt stickprov på hur beståndets tillstånd var före gallring. Resultatet visade en hög precision och en liten systematisk avvikelse för skattningar på grundyta och volym. Stickvägsandelen korrelerade starkt med referensmätningar med avvikelser inom ± 1 % i de flesta fall. Skördarförarna ansåg att verktyget gav tydlig vägledning och var enkelt att använda (Hannrup et al. 2021).

Köppler (2017) undersökte *hprGallrings* beräkningar av stickvägslängd och bredd med manuella referensmätningar. Det visade sig att *hprGallring* underskattade nya stickvägslängder (där avverkning var tvungen att ske) och överskattade befintlig stickvägslängd (där ingen avverkning skedde). Totalt underskattades stickvägslängd med 5 %, däremot utan någon statistisk signifikans. Det manuellt inmätta fältvärdet av stickvägsbredden låg på 4,8 meter och det som var antaget i programmet var 4,2 meter.

Sammanfattningsvis vet man att *hprGallrings* skattningar av olika skogliga variabler har förbättrats genom åren samt att programmet har påvisat begränsningar i dess skattning av stamantal. Kunskapsluckor var ingen tidigare data finns tillgängligt på hur väl *hprGallring* skattningar förhåller sig mot manuella referensmätningar är skattningar på den andel uttag som kommer från stickvägar samt skattningar i totala kvarstående volym.

Alla tidigare studier som har undersökt *hprGallring* gjordes med tidigare varianter av *hprGallring* än som vad som fanns tillgängligt vid denna studies utförande.

1.4 Syftet med studien

Eftersom skördarförarna måste göra gallringsuppföljningar manuellt tar detta tid från deras huvudsakliga arbetsuppgift. Det är viktigt att kunna förlita sig på det data som ny teknik genererar och att säkerställa att det som samlas in med hjälp av *hprGallring* är trovärdigt.

Syftet med denna studie var att jämföra skattningar av beståndsbeskrivande variabler mellan två olika gallringsuppföljningsmetoder efter en utförd förstagallring i barrskogsdominerade bestånd i södra Västerbotten. Ena metoden var en automatisk uppföljningsmetod med programvaran *hprGallring* och den andra var en manuell referensmetod. Det var tre huvudsakliga variabler som prioriterades att undersökas.

1. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *andelen uttag i stickväg* vid en förstagallring?
2. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *grundyta* efter förstagallring?
3. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *stamantal* efter förstagallring?

Ett underliggande syfte var att undersöka hur skattningar för resterande fem beståndsvariabler skiljde sig mellan metoderna.

1. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *volym per hektar och totala volymen* efter förstagallring?
2. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *grundtyevägd medeldiameter i brösthöjd* efter förstagallring?
3. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *andel stickvägsareal* efter förstagallring?
4. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *ståndortsindex* vid förstagallring?
5. Hur överensstämmer resultaten från *hprGallring* med manuella objektiva stickprovsmätningar avseende *trädslagsfördelning* efter förstagallring?

Målet med studien var att tillhandahålla Norra Skog ett beslutsunderlag för att bedöma hur väl *hprGallring* presterar under deras specifika förutsättningar och att kvantifiera eventuella avvikelser. För att studien skulle ha relevans som ett underlag åt Norra Skog bestämdes ett acceptabelt avvikelseintervall. Falkeström² beskrev att Norra Skog använder ett intervall på $\pm 10 \%$, vilket var den godkända relativa avvikelsen mellan mätningar utförd av entreprenörer och egna kontrollmätningar.

För varje enskild variabel testades följande hypoteser

Hypotes 1:

- H_0 : Det finns ingen signifikant skillnad mellan metodernas medelvärden för variabeln.
- H_1 : Det finns en signifikant skillnad mellan metodernas medelvärden för variabeln.

Vid bedömning av den relativa medelskillnaden mellan metoderna testades även följande hypoteser för varje beståndsvariabel

Hypotes 2:

- H_0 : Den relativa medelskillnaden mellan metoderna ligger inom ett intervall på $\pm 10 \%$ för variabeln.
- H_1 : Den relativa medelskillnaden mellan metoderna ligger utanför ett intervall på $\pm 10 \%$ för variabeln.

² Olof Falkeström, Skogsskötselspecialist, Norra Skog, personlig kontakt 2024-08-06

2. Material och Metoder

2.1 Gallringsbestånd och urvalsprocess

Materialet bestod av data från fältinventering, skördardata, hpr-filer, Biometrias inmätningar, traktdirektiv med areal samt gallringsobjektens shape-filer (Tabell 1). Materialet utöver fältinventeringen tillhandahölls av Norra Skog. Skogforsk distribuerade programmet *hprGallring* (Version 4.0.7.3).

Urvalspopulationen bestod av tjugo förstagallringsobjekt, vilka tillhandahölls av Norra Skog. Dessa objekt valdes ut av en produktionsledare med följande kriterier: objekten skulle vara barrskogsdominerade, ha genomgått en förstagallring under barmarksäsongen 2024, och inga slingerstråk fick förekomma eftersom *hprGallring* inte kan särskilja mellan stickvägar och slingerstråk. Objektens geografiska läge och gränser dokumenterades i shape-filer med polygoner. Filerna från *hprGallring* innehöll data om grundyta (total och per trädslag), grundytevägd medeldiameter, diameter på enskilda träd, medelträdhöjd, volym uttaget från stickvägar, stickvägsandel, stickvägsnät, trädslagsfördelning, ståndortsindex, beståndets totalålder, maskinernas geografiska punkt vid upparbetning av stammen, areal, samt beståndsgrenser. Stickvägarnas bredd var angivet som 4,3 m i samtliga undersökta objekt. Gallringsvolymen för varje enskilt objekt kom från skördardata och från Biometrias inmätta volym. Avverkningsvolym från skördardatat användes till beräkningarna för den manuella referensmetoden och Biometrias volym användes som kontrollvariabler för att se att maskinerna hade god volymsbestämning.

Gallringsuppgiften hade utförts av tre olika maskinlag som använde sig av olika maskintillverkare och modeller av skördare. Maskinernas mätutrustning var kalibrerad och kontrollerad.

Av de 20 objekten slumpades 10 objekt ut inför en fältinventering med ett slumpmässigt PPS (*probability proportional to size*) urval i *Microsoft Excel*. Ett PPS urval ger en proportionell inklusionssannolikhet med objektens storlek. Vid en kumulativ PPS används ett urvalsintervall baserat på objektens areal, där ett slumpmässigt genererat tal bestämmer intervallet. De objekt vars intervall överlappar produkten av den genomsnittliga arealen och det slumpmässiga talet väljs ut.

Först sorterades objekten i storleksordning för att säkerställa en jämn spridning i urvalet samt för att undvika att enbart de största eller minsta bestånden valdes ut.

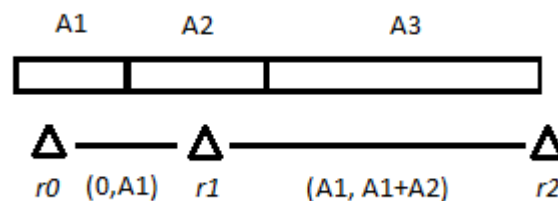
Därefter genererades ett slumptal s mellan 0 och 1. Detta slumptal togs fram i R Studio med funktionen `runif(1)`, funktionen tar fram ett slumptal med en kontinuerlig uniform fördelning. Slumptalet 0,017381 multiplicerades med den totala arealen av alla bestånd (A_T) dividerat med det önskade urvalet n på 10 objekt (Ekvation 5).

Detta gav den första urvalspunkten, r_0

$$r_0 = \frac{A_t}{n} \quad (5)$$

därefter beräknades samtliga urvalspunkter $r_1, r_2 \dots r_{10}$ genom att addera samma intervall till startpunkten, det vill säga $r_n + A_T$ dividerat med n . Denna process repeterades tills att 10 urvalspunkter skapats.

För att koppla dessa punkter till objekten skapades ett intervall för varje objekt kopplat till dess areal. Om objektens areal är A_1, A_2, A_3 , blev det första intervallet $(0, A_1)$, det andra intervallet $(A_1, A_1 + A_2)$ och det tredje $(A_1 + A_2, A_1 + A_2 + A_3)$ och så vidare, för samtliga 10 bestånd. De objekt vars intervall överlappade någon urvalspunkt inkluderades i urvalet (Figur 2).



Figur 2. Schematisk bild över hur slumpmekanismen fungerar där A_1, A_2 och A_3 är objektens areal som representeras av rektanglar på en rad. Den slumpmässiga startpunkten för urvalet är r_0 vilket är första startpunkten och r_1 och r_2 är de andra urvalspunkterna. Intervallerna är $(0, A_1)$ och $(A_1, A_1 + A_2)$ vilket är de kända intervallen som urvalet sker i.

Figure 2. Schematic illustration of how the random selection mechanism works, where A_1, A_2 , and A_3 represent the areas of objects, depicted as rectangles in a row. The random starting point for the selection is r_0 , which is the first selection point, while r_1 and r_2 are the subsequent selection points. The intervals $(0, A_1)$ and $(A_1, A_1 + A_2)$ represent the known intervals within which the selection takes place.

Dessa 10 gallringsobjekt utformade sampelpopulationen (Tabell 1).

Objekten var utspridda inom Umeå kommun och Vindeln kommun i Västerbottens län (Figur 3).



Figur 3. Karta över Västerbottens län, Sverige där cirkeln visar var objekten befann sig inom Umeå och Vindelns kommun.

Figure 3. Map of Västerbotten County, Sweden, with the circle indicating the location of the plots within the municipalities of Umeå and Vindeln.

Storleken på objekten varierade, och enligt Bergkvist & Staland (2003) rekommenderas en provyteandel motsvarande 2–4 % av objektets areal för objekt upp till 5 hektar. Denna rekommendation baseras på vanligt förekommande förutsättningar enligt författarna. Objekt över fem hektar ska enligt Bergkvist & Staland (2003) uppnå en provyteandel mellan 1 – 1,5 %. För att säkerställa denna statistiska säkerhet valdes 20 provytor med en radie på 7 meter för samtliga objekt. Provyteandelen varierade mellan objekten (2,7 – 7,2 %). Objekt på 5 hektar eller mindre hamnade mellan 6,4 – 7,2 % och objekt över 5 hektar hamnade mellan 2,7 – 5,7 % i provyteandel (Tabell 1).

Tabell 1. Urvalet av de studerade objekten med tillhörande objekt ID, areal enligt Norra Skogs trakt direktiv, relativ provyteandel, maskinmodell, maskinlag, skördarinmätt volym, den inmätta volymen från Biometria i m³fub samt relativ skillnad mellan skördarinmätt volym och Biometrias.

Table 1. The selection of studied stands, including associated stand ID, area according to Norra Skog's stand directive, relative proportion of sample plots, harvester model, machine team, harvester-measured volume, the measured volume from Biometria in m³fub, and the relative difference between the harvester-measured volume and Biometria's measurement.

Objekt ID	Areal (ha)	Provyteandel (%)	Maskinmodell	Maskinlag	Skördarrapporterad volym (m ³ fub)	Biometrias volym (m ³ fub)	Skillnad i skördarrapporterad volym i relation till Biometrias volym (%)
1	11,1	2,8	JD 1070 G	B	484	503	-3,8
2	11,3	2,7	JD 1170 G	A	485	485	0,1
3	9,2	3,3	JD 1070 G	C	433	420	3
4	4,3	7,2	JD 1170 G	A	265	267	-0,8
5	4,8	6,4	JD 1070 G	C	227	219	3,5
6	10,8	2,9	JD 1170 G	A	710	685	3,4
7	6,9	4,5	JD 1070 G	C	267	264	1,3
8	5,4	5,7	JD 1170 G	A	534	491	8,2
9	9,2	3,3	JD 1070 G	C	346	325	6,1
10	7,5	4,1	JD 1070 G	B	210	198	5,3
Total					3960	3855	2,6

2.1.1 Studerade skördare

De två typer av maskiner, vars tre olika maskinlags utförda gallringar undersöktes, maskinlagen använde maskinfabrikatet John Deere och modellerna JD 1170 G samt JD 1070 G (Tabell 1).

Alla skördare hade 6 hjul, en kranräckvidd på 10 m samt ett skördaraggregat av modell H423. JD1070 var 6,99 m lång, 2,66 m bred och med en vikt på 16–17 ton. JD1170 var 7,24 m lång 2,72 m bred och med en vikt på 18 ton (John Deere 2025 a, b). Skördaraggregatet H423 är utformat för gallringar och hade *intelligent harvester head control* (IHC) som gör att föraren inte behövde justera aggregatets inställningar, så som knivtryck, manuellt. Aggregatet hade en fälldiameter som sträckte sig mellan 4 – 58 cm och en vikt på 955 kg (John Deere 2025 c).

2.2 Fälthinventering

Fälthinventeringen delades upp i två separata delar. Den första delen utfördes under hösten mellan 8:e och 29:e november 2024. Till en början var det barmark, dock inträffade det ett häftigt snöfall mellan den 20:e november och 22:a november. Under denna fälthinventering mättes gallringsobjektens skogliga variabler med cirkelprovinventering.

Den andra delen utfördes under april månad där stickvägarnas medelbredd samt medelavstånd mättes in för samtliga gallringsobjekt.

2.2.1 Cirkelprovinventering för beståndsbeskrivning

Innan en fältdag påbörjades placerades provytorna ut i förväg på kartan. Detta gjordes som ett obundet slumpmässigt urval med programvaran *ArcGIS pro* (Version 3.2). Verktöget *Create Random Points* användes för att slumpmässigt placera ut 20 provytor per objekt. Ett minimiavstånd på 14 meter mellan punkterna angavs för att undvika överlappning, då varje provyta hade en radie på 7 meter (Figur 4).



Figur 4. Ett objekt med ett slumpmässigt urval av 20 provytor som har placerats ut med hjälp av de verktyg som finns i *ArcGIS pro*. Punkterna inom polygonen (objektsgränsen) är de cirkelprovytor som inventerades.

Figure 4. An object with a random selection of 20 sample plots, placed using the tools available in *ArcGIS Pro*. The points within the polygon (object boundary) represent the circular sample plots that were surveyed.

Verktögen *subset feature* (Esri u.å.a) användes på de objekt som hade delade objektsgränser, det vill säga, olika områden som skulle gallras men var inom samma gallringsobjekt. Verktöget *create random points* (Esri u.å.b) skapade 20 punkter inom varje objektsgräns och således skapade det fler än 20 provytor om gallringsobjektet hade flera områden. Om ett gallringsobjekt hade två områden som skulle gallras så skapades det alltså 40 punkter. Med *subset feature* kunde ett slumpmässigt urval tas av de flertaliga punkterna till 20 cirkelprovytor (Figur 5). De skogliga variablerna som inventerades var grundyta, volym, stamantal, grundytavägd medeldiameter i brösthöjd, trädslagsfördelning samt ståndortsindex.



Figur 5. Ett exempel på ett av objekten där gallringsobjektet är delad, vilket resulterade i 20 provytor i varje område. Här skapades det först 40 provytor för att sedan bli 20 provytor med hjälp av Subset Feature

Figure 5. An example of one of the objects where the thinning object is divided, resulting in 20 sample plots in each area. Initially, 40 sample plots were created, which were then reduced to 20 sample plots using the Subset Feature tool

I ArcGIS Pro skapades kartor för att kunna navigera sig till provyterna i fält. Dessa kartor fördes över till mobilapplikationen Avenza maps.

I varje provytecentrum placerades en Haglöfs transponder T3 för att finna gränsen för 7 meter provyteradie. Därefter valdes ett startträd ut som utgångspunkt för att gå medsols runt provytecirkeln där alla levande träd med en brösthöjdsdiameter ≥ 5 centimeter som hamnade inom provytan korsklavades i brösthöjd (1,3 m) med en Haglöfs dataklave Digitech Professional II[®] med applikationen HagFTax (Version 1.9) installerat (Haglöf Sweden AB 2019). Träd med klykor under brösthöjd klassades som två träd. Klavens skänkel riktades mot provytecentrum vid den första av korsklavningens två klavningar. Om trädets märe var inom 7 meter så inkluderades trädet, annars inte (Holm 2012).

En överhöjdsbonitering utfördes på vart femte provyta. Överhöjdsboniteringen utfördes enligt Skogsstyrelsens metod, där de två grövsta träden inom en provyta med en radie på 10 meter valdes ut. Trädens aritmetiska medelhöjd och brösthöjdsålder mäts, varefter höjdutvecklingskurvor för det bonitetsvisande trädslaget används för att bestämma ett ståndortsindex (Skogsstyrelsen 1985). Höjden mättes med en digital höjdmätare av modellen Nikon Forestry Pro II[®] och brösthöjdsåldern bestämdes med hjälp av att borra ut en kärna med en Haglöfs tillväxtborr och räkna årsringarna.

Hamnade någon provyta delvis utanför objektets gränser utfördes en spegling. Spegling genomfördes genom att placera ytterligare ett provytecenrum utanför objektgränsen och där träden som är inom objektgränsen inom den nya speglade provytan inventerades. Detta ger alla träd inom objektets gränser samma inklusionssannolikhet (Holm 2012).

Dataklavens dataterminal loggade alla stammars brösthöjdsdiameter och trädslag. Efter varje slutförd inventeringsdag exporterades det insamlade materialet från dataklaven till Excel-filer.

2.2.2 Stickvägsbredd och stickvägsavstånd

Med verktyget *Create Random Points* skapades 20 slumpmässigt placerade provpunkter, vid vilka stickvägsbredden mättes i fält enligt Skogforsks metod (Bergkvist & Staland 2003). Vid varje provpunkt utfördes två separata mätningar på stickvägen, med tio meters avstånd mellan mätpunkterna, för att kunna beräkna ett medelvärde.

Bredden bestämdes genom att mäta avståndet från vägens betraktade mittpunkt till närmaste stam på vardera sidan av vägen. För varje provpunkt resulterade detta i fyra delmätningar, två per sida och mätpunkt, vilka summerades och därefter användes för att beräkna medelvärdet enligt ekvation 7:

$$\text{Stickvägsbredd} = \frac{A + B + a + b}{2} \quad (7)$$

där A och B är mätningarna från den första mätpunkten och a och b är mätningarna från den andra mätpunkten inom den tio meter långa sträckan.

I fält mättes även stickvägsavståndet. Vid varje provpunkt registrerades avståndet till de stickvägar som låg tvärs över provpunkten.

Andelen stickvägsareal beräknades genom att dividera medelstickvägsbredden med medelstickvägsavståndet.

Samma utrustning som i tidigare inventeringar användes även här. I slutet av varje inventeringsdag sammanställdes alla data i Excel.

2.3 Bearbetning och statistik

2.3.1 Bearbetning av data

De exporterade filerna från dataklaven laddades upp i *Heurekas PlanWise* där grundyta, trädslagsfördelning, grundtytevägd medeldiameter i brösthöjd, volym (total och per hektar), samt stammantal sammanställdes.

Heurekas PlanWise används främst som ett simuleringsverktyg för att utvärdera konsekvenserna av olika skogliga planeringsalternativ (Eggers & Öhman 2020).

PlanWise använde Brandels volymfunktion för volymprognostiseringen samt Söderbergs höjdfunktion som estimerade höjden på enskilda stammar utifrån stammens diameter (Brandel 1990; Söderberg 1992). PlanWise redogjorde resultatet i m^3sk , för att få all volym i samma enhet behövdes ett omräkningstal användas för att få det i enheten m^3fub . Omräkningstalet var $0,854 \text{ m}^3\text{sk}/\text{m}^3\text{fub}$ från Skogsstyrelsens senaste rapport *Nytt omräkningstal från m^3fub till m^3sk för avverkningsberäkningar* (Skogsstyrelsen 2022). Eftersom den manuella metoden inte inkluderade en uppskattning av gallringsobjektens areal, användes *hprGallrings* arealskattningar för att beräkna totalt kvarstående volym.

Stickvägsandelen från den andra etappen av inventeringen beräknades genom att ta kvoten mellan medelstickvägsbredden och medelstickvägsavståndet för varje gallringsobjekt.

För att beräkna andelen volym uttaget från stickvägar med den manuella metoden gjordes antagandet att träden i gallringsobjekten var jämnt fördelade och att stickvägarna var representativa ytor. Följande steg gjordes för att ta fram andelen uttag från stickväg:

1. Beräkna stickvägarnas area i hektar genom att ta den skattade stickvägsandelen multiplicerat med den totala arealen skog.
2. Produkten av stickvägarnas areal i hektar och den skattade volym per hektar blev den skattade volymen uttaget från stickvägar.
3. Kvoten mellan den skattade volym uttaget från stickvägar och den totala skördarmätta uttaget blev andelen uttag stickväg.

Metodernas skillnader på skattningarna för varje observerade bestandsvariabel efter gallring undersöktes på objektsnivå, det vill säga varje bestånd för sig samt sampelpopulationsnivå (hädanefters benämnt som populationsnivå) som beskrev samtliga tio objektens medelvärde för att kunna beskriva urvalspopulationen och ge en tillämpad generalisering av resultaten.

2.3.2 Statistisk

För alla statistiska analyser användes *JMP statistical software* (JMP u.å.) där skattningarna från metoderna jämfördes på populationsnivå och objektsnivå. Populationsnivå innebar att beräkningarna gjordes på medelvärdena för respektive metod. Objektsnivå innebar att beräkningarna gjordes på individuella objekts medelvärden. För att få en riktning i skillnaden mellan metodernas skattningar så användes den manuella metodens skattningar som ett referensvärde.

Deskriptiv statistik

Medelvärde för varje variabel för respektive metod sammanställdes där värdeskillnaden beräknades. Standardavvikelsen (sd) beräknades också (Ekvation 8) och sammanställdes, där n är antal observationer, V_i är variabelvärdet för objektet eller provytan i och $\bar{V}$ är variabelns medelvärde (Bilaga 1).

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \bar{V})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

Därefter beräknades hur metodernas variabelvärden skiljde sig procentuellt mellan varandra (ekvation 9), där manuell inventering agerade referens för att pröva hypotesen, där W_m är variabelvärdet för manuell inventering och W_{hpr} är variabelvärdet för automatisk inventering.

$$Skillnad (\%) = \frac{W_{hpr} - W_m}{W_m} \times 100 \quad (9)$$

Positiva tal betyder att *hprGallring* har överskattat variabel, negativa indikerar att *hprGallring* har underskattat.

Medelskillnaden för de olika beståndsvariablerna beräknades genom att summera skillnaden mellan metoderna med manuell metod som referens och dividera denna summa med antalet objekt. Ett positivt tal indikerade att manuell metod skattade den skogliga variabeln högre än *hprGallring* och ett negativt tal således indikerade på motsatsen.

Root mean square (RMSE) användes för att se hur stor spridningen var på datasetets residualer för alla skogliga variabler. RMSE (Ekvation 10) beräknades genom att summera differenserna mellan manuella mätningar (W_m) och *hprGallrings* mätningar (W_{hpr}) upphöjt med faktor 2. Summan dividerades med antalet observationer och kvadratroten togs ur kvoten.

$$RMSE = \pm \sqrt{\frac{\sum (W_m - W_{hpr})^2}{n}} \quad (10)$$

Standardavvikelsen för skillnaderna mellan metoderna beräknades som standardavvikelsen för differenserna mellan *hprGallrings* skattningar och resultaten från den manuella inventeringen. Detta mått beskriver variationen i avviken mellan metoderna över samtliga objekt och utgör ett mått på den interna spridningen i skillnaderna.

Standardavvikelsen för dessa differenser beräknades enligt ekvation 11:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \quad (11)$$

Där $\bar{d}$ är medelvärdet av differenserna och n är antalet objekt och Där $d_i = W_{m,i} - W_{hpr,i}$ var differensen för objekt i .

Signifikanstest

Normalfördelningen mellan metoderna kontrollerades med bara ett enda Shapiro-Wilk test för alla variabler. Ett parat tvåsidigt t-test utfördes för alla de normalfördelade variabler för att se om en signifikant skillnad påträffades. Wilcoxon signed-rank test utfördes för de variabler som ej var normalfördelade. Signifikansnivån sattes på 95 % (p-värde <0,05) (Samuels et al. 2016).

3. Resultat

3.1 Skattningar av det kvarvarande beståndet efter gallring

För de tio inventerade gallringsobjekten utgjorde provytearealen i genomsnitt 4,3 % av beståndsarealen. Den manuellt uppmätta trädslagsfördelningen var 75,2 % tall, 15,3 % gran och 8,8 % löv. Motsvarande fördelning enligt *hprGallring* var 65,6 % tall, 19,6 % gran och 14,7 % löv. Statistiska tester visade signifikanta skillnader mellan metoderna för tall ($p < 0,001$) och löv ($p < 0,001$).

Av de elva undersökta variablerna låg sju inom den definierade felmarginalen på ± 10 % (Tabell 2). De variabler som överskred intervallet var grundyta för tall, gran och löv samt stickvägsandelen. Ståndortsindex hade den minsta relativa medelskillnaden mellan metoderna ($-1,6$ %), medan grundyta för löv uppvisade den största ($-66,7$ %) (Tabell 2).

Det framgick att de variabler som oftast låg inom differensintervallet ± 10 %, beräknat utifrån varje objekts enskilda medelvärde, i fallande ordning var: ståndortsindex, diameter i brösthöjd (Dgv), grundyta och volym per hektar (Tabell 3). Ett särskilt framträdande resultat var att objekt 8 uppvisade väl samstämmiga skattningar, medan objekt 7 uppvisade de största avvikelserna från ± 10 %-intervallet för samtliga skogliga variabler.

Tabell 2. Beståndsegenskaper för de studerade objekten. Tabellen visar medelvärden för varje variabel enligt den manuella inventeringen respektive hprGallrings skattningar, med tillhörande standardavvikelser för metoden inom parentes. Skillnaden mellan metoderna redovisas som medelavvikelse och relativ avvikelse (%). Även RMSE-värden (Root Mean Square Error) och deras relativa motsvarigheter inkluderas.

Table 2. The table shows mean values for each variable based on the manual inventory and the corresponding estimates from hprGallring, with associated standard deviations for the method presented in parentheses. The difference between the methods is reported as mean deviation and relative deviation (%). RMSE values (Root Mean Square Error) and their relative equivalents are also included.

Variabel	Manuell	hprGallring	Medelskillnaden	Relativ medelskillnad (%)	RMSE	Relativ RMSE (%)
Grundyta (m ² /ha)	17,9 (2,4) ^a	17,3 (1,4) ^a	-0,6	-3,4	1,8	10,0
Grundyta Tall (m ² /ha)	13,7 (4,5) ^a	11,5 (3,1) ^b	-2,2	-16,1 *	7,0	51,1
Grundyta Gran (m ² /ha)	2,7 (0,9) ^a	3,4 (1,2) ^a	0,7	25,9 *	2,3	85,2
Grundyta Löv (m ² /ha)	1,5 (1,9) ^a	2,5 (2,1) ^b	1,0	66,7 *	3,2	213,3
Stamantal (st/ha)	884,3 (207,2) ^a	820,3 (191,7) ^a	-64,0	-7,2	202,4	22,9
Uttag stickväg (%)	39,3 (0,1) ^a	36,2 % (5) ^b	-3,7	-9,4	0,1	0,3
Dgv (cm)	18,4 (2,6) ^a	19,3 (3,1) ^a	0,9	4,9	2,9	15,8
Volym/ha (m ³ fub/ha)	107,9 (23,7) ^a	103,1 (24,0) ^a	-4,8	-4,4	15,2	14,1
Volym total (m ³ fub)	736,9 (325,1) ^a	700,4 (333,4) ^a	-36,5	-5,0	115,4	15,7
SIH (m)	24,9 (0,9) ^a	24,5 (0,9) ^a	-0,4	-1,6	1,3	5,2
Stickvägsandel (%)	21,3 (1,9) ^a	23,9 (2,1) ^b	2,6	12,2*	0,1	0,5

Ett ^a i respektive metod variabels kolumn indikerar på ingen signifikant skillnad ($p \geq 0,05$), ett ^b i hprGallrings kolumn indikerar på en signifikant skillnad ($p < 0,05$) mellan metoderna för den variabeln. Asterisk (*) beskriver att avvikelsen överskred gränsen på ± 10 %.

An ^a in the column for a given variable under each method indicates no significant difference ($p \geq 0.05$), while a ^b in the hprGallring column indicates a significant difference ($p < 0.05$) between the methods for that variable. An asterisk (*) indicates that the deviation exceeded the $\pm 10\%$ threshold..

Tabell 3. Procentuell skillnad (%) mellan manuella mättningsresultat och hprGallrings skattning för varje enskilda objekt på de observerade skogliga variabler. Den manuella metoden agerar som referens. Ett positivt tal indikerar att den manuella metoden har skattat ett högre värde än vad hprGallring gjorde i det enskilda objektet.

Table 3. Percentage difference (%) between manual measurement results and hprGallring estimates for each individual object in the observed forest variables. The manual method serves as the reference. A positive value indicates that the manual method estimated a higher value than hprGallring for the individual object.

Objekt	Grundyta	Gy Tall	Gy Gran	Gy Löv	Dgv	Stamantal	Volym/ha	Volym totalt	Stickvägsuttag	SIH	Stickvägsandel
1	2,2	21,5	-84,2	-150,0	-7,3	14,1	5,9	5,0	-81,8	-5,6	-10,1
2	-3,9	28,6	-113,0	-216,7	1,7	-2,9	2,7	-0,5	21,8	-0,8	0,0
3	5,9	14,8	-72,0	0,0	-1,2	32,2	-3,3	-1,0	-22,8	4,0	-6,4
4	-0,1	10,1	-63,6	-33,3	5,2	-21,8	7,4	7,7	-46,2	0,0	0,0
5	10,3	24,7	14,3	-328,6	-5,0	14,7	17,3	16,0	20,8	4,0	1,1
6	-15,3	-12,1	0,0	-66,7	4,7	-32,0	-17,4	4,4	-86,0	-8,7	0,0
7	19,6	26,8	-50,0	-1900,0	-9,4	32,0	27,7	24,4	-30,6	4,0	-7,0
8	-1,9	-33,3	9,1	-4,8	-4,4	-4,2	-8,4	-9,9	5,8	2,7	0,0
9	-5,5	23,5	-11,4	-150,0	-18,9	27,2	-2,1	-1,6	-1,9	11,5	-8,9
10	10,9	26,7	30,6	-92,6	0,0	0,3	10,5	11,5	41,7	0,0	0,0

3.2 Grundyta efter gallring

På populationsnivå uppgick medelskillnaden i skattad grundyta mellan hprGallring och den manuella inventeringsmetoden till 0,6 m²/ha, med ett RMSE på 1,8 m²/ha. Den manuella metoden gav i genomsnitt 17,9 m²/ha (sd = 2,4 m²/ha), medan hprGallring skattade 17,3 m²/ha (sd = 1,4 m²/ha). Skillnaden var inte statistiskt signifikant ($p > 0,05$), och Hypotes 1 kunde därför inte förkastas. Vid jämförelse mot den fördefinierade gränsen på ± 10 % låg differensen inom intervallet, vilket innebar att Hypotes 2 inte kunde förkastas (Tabell 2). På objektsnivå låg sex av tio objekt inom ± 10 %. Den största avvikelser återfanns i objekt 7 (19,6 %), och den minsta i objekt 4 (-0,1 %) (Tabell 3).

Tall

På populationsnivå skattade den manuella inventeringsmetoden i genomsnitt 2,2 m²/ha, motsvarande en relativ medelskillnad på 16,1 %, högre grundyta för tall än hprGallring. Den manuella metoden gav 13,7 m²/ha (sd = 4,5 m²/ha), medan hprGallring gav 11,5 m²/ha (sd = 3,1 m²/ha) (Tabell 2). Skillnaden var statistiskt signifikant ($p < 0,001$), vilket innebar att Hypotes 1 förkastades. Eftersom den relativa medelskillnaden översteg gränsen på ± 10 % förkastades även Hypotes 2.

RMSE uppgick till 7,0 m²/ha. På objektsnivå låg samtliga objekt utanför ± 10 %-intervallet, med den minsta avvikelser i objekt 4 (10,1 %) och den största i objekt 8 (-33,3 %).

Gran

På populationsnivå skattade den manuella inventeringsmetoden i genomsnitt 25,9 % lägre grundyta för gran än *hprGallring*. Den manuella metoden gav 2,7 m²/ha (sd = 0,9 m²/ha), medan *hprGallring* gav 3,4 m²/ha (sd = 1,2 m²/ha) (Tabell 2). Skillnaden var inte statistiskt signifikant ($p > 0,05$), vilket innebar att Hypotes 1 inte kunde förkastas. Däremot översteg den relativa medelskillnaden gränsen på ± 10 %, vilket medförde att Hypotes 2 förkastades. Medelskillnaden var -0,7 m²/ha och RMSE uppgick till 2,3 m²/ha. På objektsnivå låg åtta av tio objekt utanför ± 10 %-intervallet, med den minsta avvikelser i objekt 6 (0,0 %) och den största i objekt 2 (-113,0 %).

Löv

På populationsnivå skattade den manuella inventeringsmetoden i genomsnitt 66,7 % lägre grundyta för löv än *hprGallring*. Den manuella metoden gav 1,5 m²/ha (sd = 1,9 m²/ha), medan *hprGallring* gav 2,5 m²/ha (sd = 2,1 m²/ha) (Tabell 2). Skillnaden var statistiskt signifikant ($p < 0,001$), vilket innebar att Hypotes 1 förkastades. Den relativa medelskillnaden överskred även gränsen på ± 10 %, vilket medförde att Hypotes 2 förkastades. Medelskillnaden var -1,0 m²/ha och RMSE uppgick till 3,2 m²/ha. På objektsnivå låg åtta av tio objekt utanför ± 10 %-intervallet, med den minsta avvikelser i objekt 3 (0,0 %) och den största i objekt 7 (-1900,0 %).

Tabell 4. Grundyta efter gallring för totalen och respektive trädslag. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Standardavvikelsen är uttryckt som m²/ha och som en procentuell relativ andel av manuella metodens medelvärde.

Table 4. Basal area after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the deviation in estimated basal area between the manual method and hprGallring for all objects. The standard deviation is expressed as m²/ha and as a percentage of the manual method's mean value.

Metod	Min (m²/ha)	Max (m²/ha)	Skillnadens	
			Standardavvikelse (m²/ha)	(%)
Total				
Manuell	15,4	22,0		
hprGallring	15,8	20,7	1,9	10,6
Tall				
Manuell	4,8	19,8		
hprGallring	6,4	16,7	2,3	16,8
Gran				
Manuell	1,6	4,4		
hprGallring	1,8	4,9	1,3	48,1
Löv				
Manuell	0,0	6,3		
hprGallring	0,0	6,6	0,9	60,0

Skillnadernas standardavvikelse beskriver spridningen i avvikelserna mellan de två metoderna och visar hur mycket dessa avvikelser varierar mellan objekten. Ett högt värde indikerar stora variationer i skillnaderna, medan ett lågt värde tyder på mer konsekventa avvikelser. För den totala grundytan var skillnadernas standardavvikelse 1,9 m²/ha, motsvarande 10,6 % relativt den manuella metodens medelvärde. För den manuella metoden varierade grundytan mellan 15,4 och 22,0 m²/ha, medan motsvarande intervall för hprGallring var 15,8–20,7 m²/ha.

För tall var skillnadernas standardavvikelse 2,3 m²/ha (16,8 % relativt manuell metod). Grundytan varierade mellan 4,8 och 19,8 m²/ha för den manuella metoden och mellan 6,4 och 16,7 m²/ha för hprGallring.

För gran var skillnadernas standardavvikelse 1,3 m²/ha (48,1 % relativt manuell metod). Spridningsintervallet var 1,6–4,4 m²/ha för den manuella metoden och 1,8–4,9 m²/ha för hprGallring.

För löv var skillnadernas standardavvikelse 0,9 m²/ha (60,0 % relativt manuell metod). Grundytan varierade mellan 0,0 och 6,3 m²/ha för den manuella metoden och mellan 0,0 och 6,6 m²/ha för *hprGallring* (Tabell 4).

3.3 Stamantal efter gallring

På populationsnivå underskattade *hprGallring* i genomsnitt stamantalet med 64,0 st/ha (7,2 %) jämfört med den manuella inventeringsmetoden. Medelvärde var 884,3 st/ha (sd = 207,2) för den manuella metoden och 820,3 st/ha (sd = 191,7) för *hprGallring* (Tabell 2). Skillnaden var inte statistiskt signifikant ($p > 0,05$), och Hypotes 1 kunde därför inte förkastas. Vid jämförelse mot ± 10 %-gränsen låg medelavvikelsen inom intervallet. RMSE mellan metoderna var 202,4 st/ha.

På objektsnivå låg tre av tio objekt inom ± 10 %-intervallet. Den största avvikelsen var 32,2 % (objekt 3) och den minsta 0,3 % (objekt 10) (Tabell 3). Hypotes 2 kunde därmed inte förkastas.

Tabell 5. Stammar per hektar efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i st/ha mellan manuell metod och *hprGallring* för samtliga objekt. Standardavvikelsen är uttryckt som st/ha och som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.

Table 5. Stems per hectare after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the difference in stems/ha between the manual method and *hprGallring* for all objects. The standard deviation is expressed as stems/ha and as a percentage of the manual method's mean value.

Metod	Min (st/ha)	Max (st/ha)	Skillnadens Standardavvikelse	
			(st/ha)	(%)
Manuell	562,1	1137,7		
<i>hprGallring</i>	407,6	1133,7	178,2	20,1

Skillnadernas standardavvikelse var 178,2 st/ha (20,1 % relativt den manuella metodens medelvärde) och den manuella metodens resultat varierade mellan 562,1 till 1137,7 st/ha, medan motsvarande intervall för *hprGallring* var 407,6 – 1133,7 st/ha (Tabell 5).

3.4 Uttag i stickväg

På populationsnivå skattade *hprGallring* i genomsnitt 3,7 procentenheter (relativ motsvarighet 9,4 %) lägre andel volym uttagen från stickvägar än den manuella metoden. Medelvärde var 39,9 % för den manuella metoden och 36,2 % för

hprGallring (Tabell 2). Skillnaden var statistiskt signifikant ($p < 0,001$), vilket innebar att Hypotes 1 (populationsnivå) förkastades. RMSE var 0,1 %.

På objektsnivå låg endast två av tio objekt inom det satta intervallet på ± 10 %, objekt 8 på 5,8 % och objekt 9 på -1,9 %. Den största avvikelsen noterades i objekt 6 (-86,0 %) och den minsta i objekt 9 (-1,9 %) (Tabell 3).

Tabell 6. Andel uttag från stickvägar efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i % mellan manuell metod och *hprGallring* för samtliga objekt. Standardavvikelsen är uttryckt som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.

Table 6. Proportion of removal from strip roads after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and standard deviation of the percentage difference between the manual method and *hprGallring* for all objects. The standard deviation is expressed as a relative share of the mean value from the manual method.

Metod	Min (%)	Max (%)	Skillnadens Standardavvikelse	
			(%)	(%)
Manuell	18,1	58,4		
<i>hprGallring</i>	28,0	43,0	14,2	36,1

Skillnadernas standardavvikelse mellan metoderna var 14,2 %, motsvarande 36,1 % relativt den manuella metodens medelvärde. Den manuella metodens resultat varierade mellan 18,1 % och 58,4 %, medan motsvarande intervall för *hprGallring* var 28,0 - 43,0 % (Tabell 6).

3.5 Grundytevägd medeldiameter efter gallring

På populationsnivå skattade den manuella metoden den grundytevägda medeldiametern (Dgv) i genomsnitt 0,9 cm, motsvarande 4,9 %, lägre än *hprGallring*. Medelvärdet var 18,4 cm (sd = 2,6 cm) för den manuella metoden och 19,3 cm (sd = 3,1 cm) för *hprGallring* (Tabell 2). Skillnaden var inte statistiskt signifikant ($p > 0,05$), och Hypotes 1 kunde därför inte förkastas. Den relativa medelskillnaden låg inom det fördefinierade intervallet på ± 10 %, vilket innebar att även Hypotes 2 inte förkastades. RMSE var 2,9 cm.

På objektsnivå låg nio av tio objekt inom ± 10 %-intervallet, med den största avvikelsen i objekt 9 (18,9 %) och den minsta i objekt 10 (0,0 %) (Tabell 3).

Tabell 7. Grundtyevägd medeldiameter efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i centimeter (cm) mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Standardavvikelsen är även uttryckt som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.

Table 7. Basal area-weighted mean diameter after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the difference in centimetres (cm) between the manual method and hprGallring for all objects. The standard deviation is also expressed as a relative share of the mean value from the manual method.

Metod	Min (cm)	Max (cm)	Skillnadens	
			Standardavvikelse	
			(cm)	(%)
Manuell	16,0	24,2		
hprGallring	16,3	26,8	1,4	7,6

Skillnadernas standardavvikelse mellan metoderna var 1,4 cm, vilket motsvarar 7,6 % relativt den manuella metodens medelvärde. För den manuella metoden varierade den grundtyevägd medeldiametern mellan 16,0 och 24,2 cm, medan motsvarande intervall för *hprGallring* var 16,3–26,8 cm (Tabell 7).

3.6 Kvarstående volym efter gallring

Volym per hektar

Den manuella inventeringsmetoden skattade medelvärde av volym per hektar 4,4 % högre jämfört med *hprGallring*, således var skillnaden inom intervallet på ± 10 %. Ingen statistisk signifikant skillnad framkom mellan metodernas medelvärde. Den manuella metodens medelvärde var 107,9 m³fub/ha (sd = 23,7 m³fub/ha) och *hprGallring* 103,0 m³fub/ha (sd = 24,0 m³fub/ha). Den systematiska avvikelsen för samtliga objekt av skattningen på volym mellan *hprGallring* och manuell metod var 4,8 m³fub/ha samt att RMSE mellan metoderna var 15,2 m³fub/ha (Tabell 2).

På objektsnivå visades en låg spridning, där sex av tio objekt hamnade inom intervallet på ± 10 %. I dessa data framgår det att den minsta skillnaden (-2,1 %) var i objekt 9 och den största (27,7 %) i objekt 3 (Tabell 3).

Tabell 8. Volym per hektar efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i m³fub/ha mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är även uttryckt som en relativ andel av manuella metodens medelvärde.

Table 8. Volume per hectare after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the difference in m³fub/ha between the manual method and hprGallring for all objects. The standard deviation of the differences is also expressed as a relative share of the mean value from the manual method.

Metod	Min (m ³ fub/ha)	Max (m ³ fub/ha)	Skillnadernas Standardavvikelse	
			(m ³ fub/ha)	(%)
Manuell	87,7	163,7		
hprGallring	88,2	165,2	14,3	13,3

Den manuella metoden uppvisade ett volymintervall från 87,7 till 163,7 m³fub/ha. Motsvarande intervall för hprGallring var 88,2–165,2 m³fub/ha. Skillnadernas standardavvikelse mellan metoderna uppgick till 14,3 m³fub/ha, vilket motsvarar 13,3 % relativt den manuella metodens medelvärde (Tabell 8).

Totala kvarstående volymen

På populationsnivå skattade den manuella inventeringsmetoden den totala volymen i genomsnitt 36,5 m³fub, motsvarande 5,0 %, högre än hprGallring. Medelvärdet var 736,9 m³fub (sd = 325,1) för den manuella metoden och 700,4 m³fub (sd = 333,4) för hprGallring (Tabell 2). Skillnaden var inte statistiskt signifikant ($p > 0,05$), vilket innebar att Hypotes 1 inte kunde förkastas. Den relativa medelskillnaden låg inom det fördefinierade intervallet ± 10 %, vilket innebar att även Hypotes 2 inte förkastades. Medelskillnaden var 36,5 m³fub och RMSE 115,4 m³fub.

På objektsnivå låg sju av tio objekt inom ± 10 %-intervallet, medan tre objekt överskred gränsen (Tabell 3).

Tabell 9. Total kvarstående volym efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i m³fub mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är uttryckt som en andel av manuella metodens medelvärde.

Table 9. Total remaining volume after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the difference in m³fub between the manual method and hprGallring for all objects. The standard deviation of the differences is expressed as a proportion of the mean value from the manual method.

Metod	Min (m ³ fub)	Max (m ³ fub)	Skillnadens Standardavvikelse	
			(m ³ fub)	(%)
Manuell	317,0	1187,4		
hprGallring	280,6	1158,5	65,6	8,9

Skillnadernas standardavvikelse mellan metoderna var 35,6 m³fub, vilket motsvarar 8,9 % relativt den manuella metodens medelvärde. Den manuella metoden uppvisade ett intervall från 317,0 till 1187,4 m³fub, medan motsvarande värden för *hprGallring* var 280,6–1158,5 m³fub (Tabell 9).

3.7 Ståndortsindex

På populationsnivå var medelskillnaden mellan den manuella inventeringsmetoden och *hprGallring* 0,4 m, motsvarande 1,6 %, där den manuella metoden skattade högre värden. Skillnaden låg inom det fördefinierade intervallet ± 10 %, och Hypotes 2 kunde därför inte förkastas. Ingen statistiskt signifikant skillnad påvisades mellan metodernas medelvärden ($p > 0,05$), vilket innebär att även Hypotes 1 inte förkastades. Medelvärdet var 24,9 m (sd = 0,9) för den manuella metoden och 24,5 m (sd = 0,9) för *hprGallring*, och RMSE var 0,0 m (Tabell 2).

På objektsnivå var spridningen liten, med samtliga objekt inom ± 10 %-intervallet utom ett. Objekt 4 uppvisade ingen skillnad (0,0 %) och den största skillnaden observerades i objekt 9 (11,5 %) (Tabell 3).

Tabell 10. Ståndortsindex (SIH) efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för skillnaden i meter (m) mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är uttryckt som en andel av manuella metodens medelvärde.

Table 10. Site index (SIH) after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the difference in meters (m) between the manual method and hprGallring for all objects. The standard deviation of the differences is expressed as a proportion of the mean value from the manual method.

Metod	Min (m)	Max (m)	Skillnadens Standardavvikelse	
			(m)	(%)
Manuell	23	26		
<i>hprGallring</i>	23	26	1,4	5,6

Skillnadernas standardavvikelse mellan metoderna var 1,4 m, vilket motsvarar 5,6 % relativt den manuella metodens medelvärde. Den manuella metoden uppvisade ett intervall på 23 till 26 m, medan motsvarande värden för *hprGallring* var 23 till 26 m (Tabell 10).

3.8 Stickvägsandel

Stickvägsandelens medelskillnad var 2,6 % (relativ medelskillnad 12,2 %), där *hprGallring* i genomsnitt skattade högre värden än den manuella metoden. Skillnaden låg utanför det fördefinierade intervallet ± 10 %, och därför förkastades

Hypotes 2. Skillnaden var statistiskt signifikant ($p < 0,001$), vilket innebar att Hypotes 1 förkastades. Medelvärde för den manuella metoden var 21,3 % (sd = 1,9 %) och för *hprGallring* 23,9 % (sd = 2,1 %). RMSE var 0,1 % (relativ RMSE 0,5 %) (Tabell 2). Endast gallringsobjekt 1 låg utanför det fördefinierade intervallet på ± 10 % (10,1 %).

Skillnadernas standardavvikelse var 1,7 %, motsvarande 7,9 % relativt den manuella metodens medelvärde. Den manuella metoden hade ett intervall på 18,9–25,4 %, medan motsvarande värden för *hprGallring* var 21,0–29,0 % (Tabell 11).

Tabell 11. Stickvägsandelen efter gallring. Metod, spridningsmått (min, max) samt standardavvikelsen för avvikelserna mellan manuell metod och hprGallring för samtliga objekt. Skillnadernas standardavvikelse är uttryckt som en andel av manuella metodens medelvärde.

Table 11. Proportion of strip roads after thinning. Method, dispersion measures (min, max), and the standard deviation of the deviation between the manual method and hprGallring for all objects. The standard deviation of the differences is expressed as a proportion of the mean value from the manual method.

Metod	Min (%)	Max (%)	Skillnadens Standardavvikelse	
			(%)	(%)
Manuell	18,9	25,4		
<i>hprGallring</i>	21,0	29,0	1,7	7,9

Medelstickvägsavståndet och medelstickvägsbredden som var grunden till beräkningarna för stickvägsandelen var 21,9 m respektive 4,6 m (Tabell 12).

Tabell 12. Gallringsobjektens stickvägsavstånd och stickvägsbredd enligt referensmetoden och stickvägsandelen enligt referensmetoden och hprGallring.

Table 12. The thinning objects strip road spacing and strip road width according to the reference method, as well as the strip road proportion according to the reference method and hprGallring.

Objekt	Avstånd (m)	Bredd (m)	Stickvägsandel Manuell (%)	Stickvägsandel <i>hprGallring</i> (%)
1	25,5	4,9	19,1	21,0
2	20,6	4,5	21,6	23,0
3	22,5	5,0	22,2	22,0
4	22,1	5,0	22,4	24,0
5	22,6	4,8	21,1	23,0
6	24,0	4,5	18,9	25,0
7	23,6	4,6	19,6	23,0
8	21,9	4,7	21,5	25,0
9	20,3	4,3	21,3	24,0
10	15,7	4,0	25,4	29,0
Medel	21,9	4,6	21,3	23,9

4. Diskussion

4.1 Grundyta och trädslagsfördelning

Grundytan efter gallring visade god överensstämmelse mellan metoderna på populationsnivå, med avvikelser inom ± 10 %, vilket ligger i linje med tidigare studier (Hannrup et al. 2015). Precisionen var jämförbar med Burström (2016) och något bättre än Hannrup et al. (2021). Medelskillnaden ($-3,4$ %) var dock större än tidigare rapporterat (Hannrup et al. 2015), vilket kan indikera metodspecifika variationer i detta material.

På objektsnivå avvek fyra av tio objekt från ± 10 %-gränsen. Något samband mellan provyteandel och grundyta kunde inte identifieras, vilket tyder på att slumpvariation haft betydelse. Larsson (2017) har visat att *hprGallring* kan vara mer precis vid grov gallring än vid klen gallring, vilket kan vara en möjlig förklaring till vissa avvikelser i denna studie.

Den största bristen på överensstämmelsen mellan metoderna gällde trädslagsfördelningen, särskilt löv, där både medelskillnad och RMSE var höga och skillnaderna signifikanta för tall och löv. Den begränsade datamängden för löv gör att små absoluta skillnader får stor relativ påverkan, vilket kan vara obetydligt i uppföljningssyfte men riskerar att ge missvisande sortimentsfördelningar vid operativ planering.

4.2 Stamantal

Tidigare studier har visat att *hprGallring* har störst utmaningar vid skattning av stammar per hektar (Hannrup et al. 2021; Larsson 2017). Resultaten i denna studie bekräftar detta, även om medelskillnaden på populationsnivå ($-64,0$ st/ha; $-7,2$ %) låg inom det fördefinierade ± 10 %-intervallet och inte var statistiskt signifikant, vilket innebär att Hypotes 1 och Hypotes 2 inte förkastades. Detta överensstämmer med Pettersson (2016), som heller inte fann någon signifikant skillnad, medan Burström (2016) rapporterade en överskattning på $18,3$ % som var signifikant.

Skillnadernas standardavvikelse i denna studie var 20,1 %, vilket är högre än den förbättrade versionen av *hprGallring* (16,4 %) men lägre än i Skogforsks rikstäckande studie (21,2 %) (Hannrup et al. 2015). RMSE var 202,4 st/ha (22,9 %), vilket ligger nära Burström (2016) som rapporterade 194,0 st/ha (23,0 %).

Sammantaget indikerar resultaten att *hprGallrings* skattningar av stamantal är mindre träffsäkra på objektsnivå, men tillräckligt tillförlitliga på populationsnivå. Den relativt höga RMSE och standardavvikelsen visar dock att metodens precision varierar avsevärt mellan objekt, vilket bekräftar tidigare slutsatser om behovet av vidareutveckling.

4.3 Andel volym uttaget ur stickvägar

En variabel som tidigare inte har studerats specifikt är *hprGallrings* precision vid skattning av andelen volym som avverkas i stickvägar. Eftersom metoden baseras på volymuttag inom ett definierat kranvinkelintervall ($\pm 32^\circ$ för John Deere) finns en inneboende osäkerhet, bland annat på grund av skillnader i mätmetoder. Resultaten från denna studie indikerar att *hprGallring* kan ge en tillförlitlig uppskattning på populationsnivå, då medelskillnaden låg inom det satta ± 10 %-intervallet (Hypotes 2 ej förkastad). På objektsnivå låg däremot en majoritet av objekten utanför gränsen, vilket motiverar försiktighet om metoden används som underlag för enskilda bestånd.

En bidragande förklaringsfaktor till skillnaderna kan vara att manuella mätningar endast utfördes efter gallring och att ingen förinventering fanns. Därför antogs en jämn stamfördelning inom objekten, vilket är ett förenklat antagande. Eftersom tätare partier innehåller mer volym per hektar och ofta är svårare att köra i, kan avverkningsen ha koncentrerats till glesare delar, vilket i sin tur kan ha påverkat resultaten. Detta är dock en möjlig förklaring och kan inte fastställas i denna studie.

Viktigt att notera är att den relativa RMSE för variabeln var låg (0,1 %) och att en statistiskt signifikant skillnad mellan metoderna påvisades (Hypotes 1 förkastad). Detta illustrerar skillnaden mellan hypoteserna: den ena bedömer strikt statistiska skillnader, den andra om dessa skillnader är praktiskt relevanta för tillämpning. För stickvägsuttag innebär den låga RMSE att *hprGallring* kan vara ett användbart verktyg vid uppföljning av flera objekt på aggregatnivå, men inte nödvändigtvis på enskild objektsnivå.

En potentiell felkälla är att trädfällningar i stickväg ibland sker utanför det definierade vinkelintervallet, vilket kan leda till att delar av uttaget inte registreras korrekt. Detta kan resultera i underskattning av stickvägsuttaget eller en felaktig fördelning av gallringsstyrkan mellan stickväg och mellanliggande skog. Eftersom

uttaget används för att beräkna flera andra nyckelvariabler är det centralt att denna klassificering blir korrekt.

4.4 Grundytevägd medeldiameter

Skillnaden i skattning av grundytevägd medeldiameter (Dgv) mellan den manuella metoden och *hprGallring* var liten, med en medelskillnad på 0,9 cm (+4,9 %), och utan statistisk signifikans. Hypotes 1 och Hypotes 2 förkastades därför inte. På objektsnivå låg samtliga objekt utom ett inom ± 10 %-intervallet, vilket tyder på att Dgv är en av de mest stabila variablerna i *hprGallrings* skattningar.

RMSE var 2,9 cm (15,8 %), vilket indikerar måttlig variation mellan metoderna. Tidigare studier har visat både underskattning (Larsson 2017: -4,2 %) och överskattning (Burström 2016: +3,2 %), men samtliga inom ± 10 %. Skillnadernas standardavvikelse (1,4 cm; 7,6 %) låg nära tidigare rapporterade värden (Hannrup et al. 2015, 2021).

Den höga överensstämmelsen kan förklaras av att diametermätningarna i skördardata ofta är mycket noggranna. Sammantaget visar resultaten att *hprGallring* ger jämförbara skattningar av Dgv med den manuella metoden, vilket gör variabeln användbar i både operativ och strategisk planering, även om små avvikelser bör beaktas vid storskaliga volymsberäkningar.

4.5 Volym

Volym per hektar ($\text{m}^3\text{fub/ha}$)

Skillnaden i skattning av volym per hektar mellan den manuella metoden och *hprGallring* var liten, med en medelskillnad på -4,8 $\text{m}^3\text{fub/ha}$ (-4,4 %), och utan statistisk signifikans. Hypotes 1 och Hypotes 2 förkastades därför inte. Detta indikerar att *hprGallring* i genomsnitt underskattar volymen marginellt, utan praktisk betydelse på populationsnivå.

RMSE var 15,2 $\text{m}^3\text{fub/ha}$ (14,1 %), vilket tyder på viss variation mellan metoderna. Skillnadernas standardavvikelse uppgick till 14,3 $\text{m}^3\text{fub/ha}$ (13,3 %), i nivå med tidigare rapporterade värden (Hannrup et al. 2021) och något lägre än 15,6 $\text{m}^3\text{fub/ha}$ från tidigare studier. Jämfört med studentarbetena av Larsson (2017) och Burström (2016), där överskattningar på 7 % rapporterades, pekar resultaten på att avvikelsernas riktning kan variera men att noggrannheten generellt är god.

Sammanfattningsvis visar resultaten att *hprGallring* ger tillförlitliga volym-skattningar per hektar och kan användas operativt, även om variationen på objektsnivå bör beaktas.

Volym total

För den totala volym observerades att *hprGallring* skattningar har en medelskillnad som motsvarar -5 %. Detta innebär att *hprGallring* tenderar att något underskatta den totala volymen i jämförelse med den manuella metoden, men differensen kan betraktas som ringa då det var inom den satta gränsen enligt Hypotes 2.

RMSE-värdet tyder på en viss variation mellan metoderna, sannolikt påverkad av hur små skillnader i skattning per yta ackumuleras över större arealer då detta värde beräknas genom att multiplicera volym per hektar med *hprGallrings* skattade totala areal i gallringsobjektet. Skillnadernas relativa standardavvikelse var på 8,9 % och indikerar på att *hprGallrings* skattning av den totala volymen är något mer stabil från det ena gallringsobjektet till det andra än för variabeln *volym per hektar*. Detta bekräftas av resultatet där 3 gallringsobjekt hamnade utanför ± 10 % intervallet för volym total och 4 gallringsobjekt för volym per hektar (Tabell 4).

Den statistiska analysen visade däremot ingen signifikant skillnad, vilket antyder att metoden ger en övergripande representativ uppskattning av total volym på populationsnivå och från vad som kan tolkas från resterande resultat gällande objektsnivå kan även *hprGallring* ge en representativ uppskattning på den nivån.

Eftersom denna variabel inte tidigare undersökts i jämförbara studier bidrar resultaten med ny kunskap om *hprGallrings* prestanda för total volymenskattning.

4.6 Ståndorts Index

En intressant observation i resultaten var att skillnaden mellan den manuella metoden och den automatiska metoden för enheten ståndortsindex var mycket liten, trots att antalet provytor för ståndortsbonitering var betydligt färre jämfört mot resterande skogliga variabler.

I genomsnitt underskattade *hprGallring* 0,4 m (relativ -1,6 %) från de manuella mätningarna, detta jämfört med vad Hannrup et al. (2015) rapporterade på 0,1 m (relativ 0,3 %) så har denna studie en avsevärt större avvikelse mellan metoderna. Skillnadernas standardavvikelse mellan metoderna hamnade på 1,4 meter (relativ 5,6 %) vilket, jämfört med tidigare studier som visade en standardavvikelse på 1,5 meter (relativ 5,6 %), är mycket lik och visar att spridningen mellan metoderna är lika som tidigare forskning har påvisat, om än metoderna skiljde sig åt mellan studierna (Hannrup et al. 2015). Värt att notera är att i tidigare forskning var observationerna utspridda i en större utsträckning geografiskt än denna studie och att boniteternas var avsevärt mer varierat. Trots denna inhemska geografiskt bundna skillnad mellan studierna uppvisades en mycket liten skillnad mellan dess resultat.

Detta resultat tillsammans med resultatet som visar att enbart ett gallringsobjekt hamnade utanför ± 10 % intervallet tyder på att *hprGallrings* skattningar av ståndortsindex är mycket pålitlig, trots att antalet provytor var ringa (Tabell 4).

Sammanfattningsvis visar resultatet att *hprGallrings* skattningar av ståndortsindex är en mycket pålitlig metod både för en population samt enskilt gallringsobjekt som går att implementera i skogsbranschens praxis med en hög grad av pålitlighet.

4.7 Stickvägsandel och stickvägsbredd

För variabeln stickvägsandel observerades en signifikant skillnad mellan metoderna, där *hprGallring* skattade en högre andel jämfört med den manuella metoden. Den relativa medelskillnaden uppgick till 12,2 %, vilket överskrider den angivna gränsen på ± 10 % och tyder på en systematisk överskattning av stickvägsandelen i *hprGallrings* prognos. En tänkbar felkälla kan vara mätnoggrannheten i skördarens GPS. Trots detta kan den absoluta skillnaden på 2,6 procentenheter betraktas som relativt begränsad i praktisk mening. Även den relativa RMSE-värdet på 0,5 % visar att det finns en stabilitet på modellernas skillnad. Avvikelsen på den systematiska avvikelsen kan eventuellt förklaras av hur stickvägar har definierats i fält jämfört med i den automatiska analysen. Hannrup et al. (2021) visade en mindre systematisk avvikelse mellan metoderna där *hprGallring* i genomsnitt underskattade stickvägsandelen med 0,4 procentenheter under den manuella referensmetoden. Skillnaderna mellan studiernas resultat kan bero på skillnaden mellan studiernas valda metod, där Skogforsk använde en person med GNSS-utrustning som vandrade längs med samtliga stickvägar för att sedan beräkna area stickväg genom att multiplicera denna stickvägslängd med en antagen medelstickvägsbredd på 4,3 m. Denna area stickväg sattes i relation mot gallringsobjektets totala areal. Den totala arean per objekt hämtades från *hprGallrings* skattningar (Hannrup et al. 2021).

Trots en statistisk signifikans på skillnaden mellan metoderna visar resultaten att stickvägsandelen var en av de mest stabila skattningar mellan objekten (Tabell 4). Detta pekar på att *hprGallrings* skattningar är tillräckligt trovärdiga för att kunna använda sig av metoden inom operativ planering.

Det är värt att notera att det i nuläget finns enbart en tidigare studie som direkt behandlar jämförelser av stickvägsandel mellan manuell mätning och *hprGallring*. Däremot finns ett studentarbete som utforskar *hprGallrings* förmåga att beräkna stickvägslängd och stickvägsbredd. Köppler (2017) undersökte detta och kom fram till att den förinställda stickvägsbredden i *hprGallring* inte överensstämde med det fältinventeringen kom fram till en skillnad på 0,6 m i genomsnitt. Detta resultat kan stärkas med vad denna studie visar där den absoluta skillnaden mellan metodernas skattning på stickvägsbredd är 0,3 m.

Den studie som har utförts här bidrar till att uppdatera det nuvarande kunskapsläget inom området, särskilt vad gäller *hprGallrings* precision vid tillämpning i skogsbruket. För att stärka dessa slutsatser och öka förståelsen för *hprGallrings* begränsningar och möjligheter, bör vidare forskning genomföras inom detta område.

4.8 Styrkor och svagheter med studien

En av studiens styrkor är att i dagsläget finns inga liknande studier som har undersökt precisionen för den *senaste* versionen av *hprGallring*. Utöver det har denna studie jämfört skattningar av skogliga variabler som tidigare inte har studerats mellan en manuell metod och automatisk metod. Detta gör att denna studie har uppdaterat dagens kunskapsläge.

En begränsning med studien är att inga mätningar innan utförd gallringsåtgärd kunde utföras. Detta skulle kunna ge en bättre insikt och högre upplösning på skogens struktur innan gallringsingreppet. En förbättring på studien hade varit att göra en totalklavning i gallringsobjekten innan och efter den gallrades och därmed ge ett bättre underlägg till analysen. Utöver denna begränsning är det även enbart en studie som har utförts i Västerbottens kustland samt att studien är begränsad till maskiner av fabrikatet John Deere (JD 1070G och JD 1170G), vilket innebär att generaliserbarheten till andra fabrikat bör betraktas med försiktighet. Data från skördarna kan teoretiskt sett skilja sig mellan maskinfabrikat till maskinfabrikat, då de har olika prestanda. Om denna skillnad skulle vara betydande är omöjligt att fastställa, däremot är det en fråga som bör ställas och utforskas mer, ”är *hprGallrings* prestanda kopplat till maskinfabrikat?”. Detta är en central fråga då det kan begränsa appliceringen av *hprGallring* för de entreprenörer som inte använder sig av till exempel John Deere eller Komatsu, som är de enda skördarmodellerna som har undersökts i tidigare studier och denna.

En central begränsning i denna studie är den osäkerhet som präglar de två tillämpade metoderna. Den manuella metoden påverkas av variationsrisker mellan provytor och dess grad av representativitet, medan den automatiserade metoden är beroende av olika algoritmers förmåga att korrekt analysera data. Frånvaron av en absolut referensstandard försvårar ytterligare möjligheten att objektivt utvärdera metodernas respektive tillförlitlighet.

Trots dessa begränsningar uppvisar resultaten en övergripande tydlig överensstämmelse, vilket indikerar att ett underliggande fenomen faktiskt fångas upp oberoende av metodval. Denna överensstämmelse stärker resultatens robusthet och tyder på att studien, trots tolkningssvårigheterna, lyckats med ett meningsfullt bidrag till det aktuella kunskapsläget. I detta avseende kan metodernas osäkerhet paradoxalt nog också betraktas som en styrka, då studien demonstrerar att det går att uppnå värdefulla insikter även i avsaknad av en referensram.

4.9 Datasetets tillförlitlighet

En avgörande faktor för resultatet är kvaliteten och tillförlitligheten hos det insamlade datamaterialet.

En osäkerhetsfaktor i *hprGallrings* data är hanteringen av buntade stammar, vilket framför allt kan påverka skattningarna av stammantal. En annan osäkerhetsfaktor är hur stickvägarna läggs ut. Eftersom träd som avverkas i stickvägarna utgör en betydande del av underlaget för beräkningarna, är det viktigt att stickvägsnätet är representativt för hela beståndet. Om detta inte är fallet kan skattningarna bli snedvridna. Denna studie var inte specifikt utformad för att isolera denna effekt, men resultaten indikerar att variationer i stickvägsnätets utformning kan påverka precisionen i *hprGallrings* skattningar.

En osäkerhetskälla i det manuellt insamlade materialet är om provytorna fångar den faktiska variationen i bestånden. Det slumpmässiga urvalet minskar denna risk, men slumpmässiga variationer kan ändå påverka resultaten. En mer tillförlitlig metod skulle vara totalklavning före och efter gallringen, vilket skulle ge högre upplösning på förändringar i beståndsstrukturen.

Både denna och tidigare studier visar att *hprGallring* kan ha begränsningar när gallringsuttaget är selektivt, det vill säga när det medvetet riktas mot en viss typ av träd, till exempel lövträd eller stammar med liten diameter. Detta beror på att modellen bygger på generella samband och antaganden om trädslagsfördelning och storleksstruktur i hela beståndet. Om uttaget inte följer dessa antaganden kan skattningarna bli mindre träffsäkra. I sådana fall kan manuell uppföljning ge mer tillförlitliga resultat. Vidare är det sannolikt att *hprGallring* har svårare att ge representativa skattningar i bestånd med låg täthet eller starkt heterogen trädfördelning, eftersom modellen utgår från att stickvägarna speglar hela beståndets sammansättning.

4.10 Framtida studier och tillämpningar av *hprGallring*

Framtida forskning bör fokusera på att integrera automatisk datainsamling med högupplösta fältmätningar och laserdata för att ytterligare förbättra noggrannheten. Vidare kan en djupare analys av maskinförarnas påverkan på skattningarna ge värdefulla insikter om hur *hprGallrings* skattningar kan optimeras.

Det skulle också vara av värde att undersöka hur olika terrängförhållanden påverkar *hprGallrings* prestanda och om metodens algoritmer kan justeras för att bättre hantera dessa variationer.

Programmet *hprGallrings* tillämpningar har ett stort värde vid behov av snabba, omfattande gallringsuppföljningar där tiden för manuella mätningar är begränsade. Däremot bör viss försiktighet vid tolkning av vissa variablers värden på objektsnivå

tas då programmet visade sig ha svårast att hålla en konsekvent precision från ett gallringsobjekt till det ena. Det kan indikera på att vissa bestånd är mer lämpliga för *hprGallring* än andra, till exempel ett mer homogent bestånd är lättare att uppskatta strukturen på efter en gallringsåtgärd än ett väldigt heterogent sådant. Det är värt att notera att denna variation sannolikt beror på skillnader i maskinförarnas individuella prestanda och erfarenhetsnivå. Då detta är något som har direkt utforskats i denna studie så kan inga slutsatser tas, enbart spekulationer, att maskinförarens erfarenhet inom gallringsuppdrag har en betydande påverkan på hur *hprGallrings* resultat på skattningar blir, eftersom algoritmer baseras delvis på insamlad statistik från tidigare utförda gallringar runtom i Sverige.

En faktor kopplad till maskinförarens erfarenhet är terrängens utformning och stickvägarnas linjeföring, vilka kan påverka skattningarnas noggrannhet. I bestånd där stickvägarna inte är raka utan anpassade till terrängens hinder, finns en möjlighet att *hprGallrings* algoritm, som utgår från skördarens rörelsemönster, kan tolka slingrande rörelser felaktigt. Detta kan påverka både identifieringen av stickvägar och beräkningen av stickvägsandel. Det är därför bör framtida studier analysera om systematiska fel i stickvägsandel korrelerar med terrängtyp eller grad av vägkrokighet.

4.11 Slutsats

Resultaten från denna studie visar att *hprGallring* i stor utsträckning ger skattningar som är jämförbara med manuella metoder för flera centrala skogliga variabler. Trots vissa observerade osäkerheter, särskilt vad gäller stamantal och andel uttag från stickvägar, är avvikelserna av de flesta variablerna generellt begränsade och inom acceptabla gränser för operativ användning. Flera variabler uppvisade mycket god överensstämmelse mellan metoderna. Detta stärker förtroendet för *hprGallring* som ett användbart verktyg för gallringsuppföljning.

Analysen visar att det finns möjligheter att förbättra programvarans precision:

- En justering av den antagna stickvägsbredden (4,3 m) till en ökad genomsnittlig bredd på 4,5 m kan förbättra skattningarna av stickvägsandel då en medelbredd på 4,3 m har visat sig enligt denna studie vara svårt att uppnå.

Sammanfattningsvis visar studien att *hprGallring* har en stor potential att bli en central komponent i framtidens skogsbruksuppföljning. Den möjliggör en effektiv, detaljerad automatisk gallringsuppföljning, vilket inte bara minskar behovet av tidskrävande manuellt arbete, utan ger även möjligheten att följa upp en större andel genomförda gallringar. I flera avseenden visar studiens resultat på att *hprGallring* redan idag kan ersätta manuella metoder.

Där osäkerheten i skattningarna är större, kan *hprGallring* med fördel användas i kombination med kompletterande manuella mätningar i nuläget. Med fortsatt metodutveckling kan även de mer osäkra uppskattningarna bli mer samstämmiga för att enbart använda sig av automatisk gallringsuppföljning.

Resultaten visar att *hprGallring* i många fall utgör ett jämförbart och praktiskt användbart alternativ till manuell fältmätning. Med fortsatt utveckling från Skogforsk och fler studier som denna finns en tydlig väg mot ett mer automatiserat och kostnadseffektivt skogsbruk.

Referenser

- Agestam E. (2009). *Gallring. Skogsskötselserien nr 7*. Skogsstyrelsen.
- Bergkvist, I. & Staland, F. (2003) *Gallra med kvalitet - förberedelser, utförande, uppföljning och återkoppling*. Skogforsk. Uppsala.
- Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. (2016). *Automatisk Gallringsuppföljning – Areaberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot*. (Arbetsrapport 899). Skogforsk. Uppsala.
- Broman, N., Glöde, D., Holmberg, H., Leonardsson, L. & Norgren, O. (2018). *Effektiv skogsskötsel - delrapport inom Samverkan för ökad skogsproduktion*. (Rapport 2018/2). Skogsstyrelsen.
- Burström, O. (2016). *Rätt gallringskvalitet med automatisk gallringsuppföljning*. (Rapport från institutionen för skogens biomaterial och teknologi 2016:4). Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-5453>
- Esri. (u.å.a). *Subset features*. Tillgänglig på: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/geostatistical-analyst/subset-features.htm> [2024-10-05]
- Esri. (u.å.b). *Create random points*. Tillgänglig på: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/create-random-points.htm> [2024-10-05]
- Eggers, J. & Öhman, K. (2020). *Overview of the PlanWise application and examples of its use*. Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management. (Arbetsrapport 514).
- Haglöf Sweden AB (2019). *HagFTax (Version 1.9)*. [Användarmanual]. Långsele.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. (2015). *Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning*. (Arbetsrapport 857). Skogforsk. Uppsala.
- Hannrup, B., Möller J.J. & Bhuiyan, N. (2016). *Automatiserad gallringsuppföljning - Användargrupp för hprGallring*. (Arbetsrapport 901). Skogforsk. Uppsala.
- Hannrup, B., Möller, J.J., Arlinger, J & Eriksson, E. (2021). *Förbättrad styrning av gallringsarbetet för ökad tillväxt i yngre och medelålders skog*. (Arbetsrapport 1085). Skogforsk. Uppsala.
- Holm, S. (2012). *Inventeringsteori*. Institution för skoglig resurshushållning. Sveriges Lantbruks universitet. Umeå. [Undervisningskompendium]

- Jacobsson, S., Pettersson, F., Sikström, U., Nyström, K. & Övergaard, K. (2008). *INGVAR – gallringsmall och planeringsinstrument*. Resultat nr. 10, Skogforsk. Uppsala.
- JMP. (u.å). JMP. *Data analysis software*. Tillgänglig på: <https://www.jmp.com/en/software/data-analysis-software> [24 april 2025].
- John Deere (2025 a). *John Deere 1170G skördare*. Tillgänglig på: <https://www.deere.se> [2025-02-04]
- John Deere (2025 b). *John Deere 1170G Skördare*. Tillgänglig på: <https://www.deere.se> [2025-02-04]
- John Deere (2025 c). *John Deere H423 skördaraggregat*. Tillgänglig på: <https://www.deere.se> [2025-02-04]
- Köppler, L. (2017). *Automatisk gallringsuppföljning - utvärdering av stickvägslängd beräknad från skördarnas produktionsdata*. (Rapport från institutionen för skogens biomaterial och teknologi 2017:19). Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-8859>
- 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. Uppsala.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. (2015). *Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning*. (Arbetsrapport 862). Skogforsk. Uppsala.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N., Arlinger, J., Eriksson, I., Söderberg, J. & Hannrup, B. (2024). *hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserade på skördardata*. (Arbetsrapport 1228). Skogforsk. Uppsala.
- Olsson, E. (2014). *Jämförelse av prognostiserad och observerad beståndstillväxt 5 år efter första gallring enligt Bergvik Skogs skötselprogram*. (Examensarbete institutionen för skogens ekologi och skötsel). Sveriges lantbruksuniversitet. Jägmästarprogrammet. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-3239>
- Pettersson, K. (2016). *Tillförlitligheten i den automatiserade gallringsuppföljningen - En jämförande studie*. (Examensarbete institutionen för skog och träteknik) Linnéuniversitetet. urn:nbn:se:lnu:diva-54057
- Samuels, M.L., Witmer, J.A. & Schaffner, A.A. (2016). *Statistics for the life sciences*. 5th edition. global edition. Pearson Education Limited.
- Skogsstyrelsen (1985). *Fälthäfte i Bonitering i Västerbotten län*. (1). Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen (2022). *Nytt omräkningstal från m3fub till m3sk för avverkningsberäkningar*. (Rapportserie 16). Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen (2024). Statistikdatabas. <https://skogsstyrelsen.se/statistik/statistikdatabas> [2024-09-24]
- Söderberg, U. (1992). *Functions for forest management. Height, form height and bark thickness of individual trees*. Sveriges lantbruksuniversitet. institution för skogstaxering. (Rapportserie 52) Umeå.

- Wilhelmsson, E. (u.å.). *Introduktion objektiv systematisk cirkelinventering*. Institution för skoglig resurshushållning. SLU, Umeå. [Undervisningskompendium]
- Roberge, C., Dahlgren, J., Nilsson, P., Wikberg, P.-E. & Fridman, J. (2024). *Skogsdata 2024 - Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen*. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet. Umeå.
- Karlsson, K., Mörling, T. & Pape, R. (1999). *Gallring på gott och ont: hur påverkas tillväxt och kvalitet hos tall och gran?* (Rapportserie 10). Institutionen för skoglig hushållning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Umeå.
- Thor, M., Eriksson, I. & Mattsson, S. (1996). *Automatisk datainsamling i maskinen för förarstöd och uppföljning*. (Arbetsrapport 19). Skogforsk. Uppsala.
- Elfving, B. & Kiviste, A. (1997). Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest ecology and management*, 98 (2), 125–134. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00077-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00077-7)
- Siljebo, W., Möller J. J., Hannrup, B. & Bhuiyan N. (2017). *hprCM – modul för beräkning av trädegenskaper och skogsbränslekvantiteter baserat på skördardata*. (Arbetsrapport 944). Skogforsk. Uppsala.
- Frohm, S. & Thor, M. (1995). *Ta vara på möjligheterna vid gallring - för god ekonomi idag och på sikt*. SkogForsk, Uppsala. Resultat från SkogForsk (4) 1995.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Tomas Nordfjell för allt det stöd du har gett mig under arbetets gång. Ett tack också till Olof Falkeström och Liza Edlund från Norra Skog för att ni har gett mig förutsättningarna att genomföra detta arbete, samt för ert enorma engagemang och intresse.

Ett enormt tack till Björn Hannrup och Johan Möller från Skogforsk, som har tagit sig tid att besvara alla mina frågor och funderingar om hprGallring, samt för ert stöd som en extra hjälpande hand under metod- och skrivprocessen.

Tack till min fästmö Amanda Johansson samt mina hundar, Egon och Måns-Hubert, som höll mig sällskap under fältinventeringarna. Samma tack riktas till Hannes Alajärvi och hans hund Zarko för motsvarande stöd. Jag vill även tacka Petter Tillberg för att ha varit den bästa studiekamraten man kan önska sig och de uppmuntrande ord och roliga stunder du har bjudit på under denna tid.

Tack till min familj för allt ert stöd.

Populärvetenskaplig sammanfattning

I dagens skogsbruk är det viktigt att snabbt, kostnadseffektivt och tillförlitligt kunna följa upp hur gallringsåtgärder genomförts i fält. Gallring är en central del i skogsskötseln för att ge tidigare ekonomisk avkastning innan en slutavverkning kan ske. Vanligtvis utförs gallringsuppföljningar manuellt av skördarförarna och företagets egen fältpersonal, vilket är både tidskrävande och resursintensivt. Programvaran *hprGallring* är ett stöd åt skördarförarna som använder skördardata för att uppskatta den kvarvarande skogens struktur efter gallring. Studien syftade till att jämföra resultaten från *hprGallring* med manuella mätningar och därigenom utvärdera hur väl programmet fungerar i praktiken. Målet var att ge Norra Skog ett beslutsunderlag för att avgöra om *hprGallring* kan ersätta eller komplettera manuella uppföljningar inom deras egen verksamhet.

Undersökningen genomfördes i tio slumpmässigt utvalda förstagallringsbestånd inom Umeå och Vindelns kommun. I varje bestånd jämfördes två mätmetoder:

1. *Manuell metod*: baserad på dataklaveinventering i cirkelprovytor.
2. *hprGallring*: ett automatiserat program som skattar skogliga nyckelvariabler från skördardata.

Skogliga variabler som undersöktes inkluderade grundyta, stamantal, uttagsandel från stickvägar, volym, medeldiameter, trädslagsfördelning, ståndortsindex och stickvägsandel. En felmarginal på $\pm 10\%$ ansågs vara ett acceptabelt intervall mellan metoderna.

På en övergripande nivå visade resultaten att *hprGallring* i många fall gav en likvärdig uppskattning som den manuella metoden.

För grundyta låg avvikelser inom den godkända felmarginalen, vilket kan tyda på att programmet ger en pålitlig skattning efter gallring.

Större osäkerheter för stamantal uppvisades samt en tendens att underskatta antalet kvarvarande stammar, vilket var i linje med tidigare studier.

Programmet underskattade systematiskt uttagsandelen från stickvägar.

För trädslagsfördelningen fanns en statistiskt signifikant skillnad mellan metoderna. Denna skillnad berodde mest troligt på att när det är så liten data på till exempel stammar av löv blir små skillnader större.

Volym och grundytavägd medeldiameter låg generellt inom acceptabla gränser.

Resultaten varierade något mellan olika objekt, men trenden var tydlig att på populationsnivå var skillnaderna inom en acceptabel gräns för praktisk tillämpning.

Studien visade att *hprGallring* har stor potential att, trots vissa metods specifika osäkerheter, helt eller delvis ersätta manuella inventeringar. För beståndsvariabler som grundyta, volym och medeldiameter fungerade *hprGallring* tillfredsställande och kan därmed minska behovet av manuell uppföljning, vilket sparar både tid och resurser.

Samtidigt understryker studien vikten av fortsatt metodutveckling, framför allt vid trädslagsselektad gallring och för mer precisa skattningar av stamantal. För Norra Skog innebär detta att programmet kan användas som en pålitlig metod.

Bilaga – Detaljerad skattningsdata

Bilaga 1. Detaljerade skattningsdata för studerade gallringsobjekt för respektive metod. Standardavvikelse är inom parentes. Manuell referensmetod = m. Automatisk metod med hprGallring = hpr.

Objekt	Metod	Grundyta (m ² /ha)	Gy Tall (m ² /ha)	Gy Gran (m ² /ha)	Gy Löv (m ² /ha)	Dgv (cm)	Stammar (st/ha)	Volym (m ³ fub/ha)	Volym total (m ³ fub)	Stickvägsuttag (%)	SIH (m)	Andel stickväg (%)
1	m	18,1 (7,6)	15,41 (7,1)	1,9 (2,5)	0,8 (1,6)	19,2 (4,6)	866,0 (269,0)	117,6 (66,0)	1187,4 (33,3)	17,6 (29,7)	25,0 (0)	19,1
	hpr	17,7 (2,3)	12,1 (5,2)	3,5 (2,2)	2,0 (2,7)	20,6 (3,8)	744,1 (228,3)	110,7 (32,2)	1127,9 (47,9)	31,6 (2,7)	26,4 (0,9)	21,0
2	m	15,4 (4,0)	12,6 (4,3)	2,3 (2,9)	0,6 (0,9)	17,5 (3,3)	875,8 (260,1)	87,7 (31,3)	923,1 (16,5)	35,8 (39,2)	24,9 (1,1)	21,6
	hpr	15,8 (1,9)	9,0 (2,3)	4,9 (3,0)	1,9 (0,8)	17,2 (3,4)	901 (269,4)	85,3 (25,3)	927,6 (44,2)	34,4 (3,5)	25,1 (0,3)	23,0
3	m	22,0 (6,5)	19,6 (6,9)	2,5 (3,0)	0,0	24,2 (3,1)	601,3 (106,4)	163,7 (56,5)	1147,5 (19,8)	28,5 (47,9)	25,0 (0)	22,2
	hpr	20,7 (1,4)	16,7 (2,2)	4,3 (1,8)	0,0	24,5 (3,6)	407,6 (114,6)	169,1 (18,6)	1158,7 (38,8)	32,4 (7,0)	24,0 (0)	22,0
4	m	16,3 (4,1)	13,8 (4,1)	2,2 (2,3)	0,3 (0,4)	17,4 (2,6)	826,8 (236,4)	92,4 (24,8)	379,8 (5,1)	25,3 (37,1)	24,0 (0)	22,4
	hpr	16,4 (1,0)	12,4 (1,3)	3,6 (0,7)	0,4 (0,4)	16,5 (0,8)	1007,3 (70,7)	85,6 (9,6)	350,4 (26,3)	35,8 (4,1)	24,0 (0)	24,0
5	m	18,9 (3,0)	16,2 (4,7)	2,1 (2,9)	0,7 (1,0)	16,0 (1,5)	1111,1 (251,8)	104,9 (21,1)	483 (4,9)	51,8 (50,9)	25,0 (0,1)	21,1
	hpr	16,9 (1,0)	12,2 (3,9)	1,8 (1,2)	3,0 (2,3)	16,8 (0,6)	948 (55,7)	86,8 (16,3)	406,3 (40,0)	37,8 (4,6)	24,0 (0)	23,0
6	m	15,7 (8,0)	11,6 (4,8)	2,7 (6,0)	1,5 (4,2)	21,4 (4,8)	562,1 (155,0)	99,5 (58,4)	1058,2 (31,0)	17,2 (23,9)	23,0 (0)	18,9
	hpr	18,2 (1,8)	13,0 (3,7)	2,7 (2,3)	2,5 (2,7)	20,4 (3,5)	741,9 (215,6)	116,8 (21,4)	1011,5 (34,7)	30 (2,4)	25,0 (0)	25,0
7	m	21,4 (5,0)	19,8 (5,5)	1,6 (3,8)	0,01 (0,05)	18,0 (2,7)	1006,5 (282,4)	128,9 (37,0)	689,9 (9,9)	29,1 (33,8)	25,0 (0)	19,6
	hpr	17,1 (0,7)	14,5 (2,7)	2,4 (2,7)	0,2 (0,2)	19,7 (1,4)	684,5 (68,6)	93,2 (7,6)	501,8 (18,0)	36,8 (2,9)	24,0 (0)	23,0
8	m	15,8 (4,7)	4,8 (4,2)	3,3 (3,9)	6,3 (4,5)	18,1 (1,8)	748,4 (218,8)	90,0 (28,6)	470,5 (7,5)	36,1 (27,6)	26,1 (0,8)	21,5
	hpr	15,9 (1,7)	6,4 (2,7)	3,0 (1,7)	6,6 (2,3)	18,9 (1,5)	780,2 (81,7)	97,6 (16,2)	516,9 (30,4)	32,8 (1,5)	25,4 (0,9)	25,0
9	m	16,3 (0,1)	10,2 (0,1)	4,4 (0,1)	1,8 (0,0)	15,9 (2,2)	1107,8 (306,2)	88,9 (25,1)	711,5 (10,5)	41,2 (45,0)	26,0 (0)	21,5
	hpr	17,2 (1,1)	7,8 (2,9)	4,9 (1,0)	4,5 (2,6)	18,9 (1,8)	806,7 (119,8)	90,8 (12,9)	723 (41,8)	41 (5,0)	23,0 (0)	24,0
10	m	19,2 (3,6)	12,9 (6,6)	3,6 (3,9)	2,7 (2,9)	16,4 (1,6)	1137,3 (259,2)	105,3 (22,4)	317,0 (3,4)	73,7 (70,9)	25,0 (0)	25,4
	hpr	17,2 (1,0)	9,5 (0,5)	2,5 (0,3)	5,2 (1,7)	16,4 (1,6)	1133,5 (145,0)	94,2 (12,1)	280,6 (2,1)	41,5 (0,7)	25,0 (0)	29,0

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (PDF-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

- <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.