



# **Automatisk gallringsuppföljning - utvärdering av stickvägslängd beräknad från skördarnas produktionsdata**

*Automated follow-up of thinning – evaluation of strip road length  
calculated from production data*

**Lewi Köppler**

**Arbetsrapport 19 2017  
Examensarbete 30hp A2E  
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:  
Ola Lindroos**

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
S-901 83 UMEÅ

[www.slu.se/sbt](http://www.slu.se/sbt)

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi



# **Automatisk gallringsuppföljning - utvärdering av stickvägslängd beräknad från skördarnas produktionsdata**

*Automated follow-up of thinning – evaluation of strip road length calculated from production data*

**Lewi Köppler**

Nyckelord: hprGallring, förstagallring, skördardata, stickvägar, stickvägsbredd

Arbetsrapport 19 2017

Jägmästarprogrammet

EX0772, A2E

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30hp

Handledare: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

---

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2017

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

## Förord

Detta examensarbete motsvarar trettio högskolepoäng och har utförts på institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi (SBT) vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Umeå. Arbetet utfördes åt Skogforsk i Uppsala.

Jag vill rikta ett tack till min handledare Ola Lindroos vid SBT som visat stor hjälpsamhet när jag behövt det. Jag vill även tacka min handledare Björn Hannrup vid Skogforsk i Uppsala för det engagemang och hjälpsamhet han visat under arbetes gång, men också Johan J. Möller och Nazmul Bhuiyan vid samma arbetsplats ska ha ett tack för den introduktion till hprGallring jag fick i studiens början.

Jag vill också rikta ett enormt stort tack till min fru Stina Köppler för hennes tålamod och hjälp under de mest intensiva månaderna av arbete. Men framförallt vill jag tacka min vän, kursare och bollplank Arvid Axelsson för ovärderlig hjälp med att finna struktur i skrivandet, reda ut statistiska begrepp och diskutera uppkomna problem.

*Lewi Köppler*

Umeå, mars 2017

## Sammanfattning

Kvalitetssäkring och uppföljning av utförda gallringar är en stor och viktig del i arbetet för att säkerställa att utförda åtgärder följer lagar och certifieringar samt markägares önskemål.

Maskinförarna utför manuella och tidskrävande uppföljningar vilket är produktivitetssänkande. Automatisering av gallringsuppföljning har därför varit ett mål för Skogforsk som utvecklat programvaran hprGallring som skattar flera gallringsparametrar med hög precision. Stickvägsandelen är en gallringsparameter många markägare lägger vikt vid.

Om det i ett bestånd finns luckor skördarna använder i sitt avverkningsarbete uppstår frågan om stickvägarna i dessa ska ingå i beräkningen av stickvägsandelen. Därför har det utvecklats en funktion som beräknar total stickvägslängd och som delar upp stickvägarna i nygjorda och befintliga stickvägar. Nygjorda definieras som stickvägar uppkomna genom tvingande uttag för att göra plats åt skördaren medan befintlig definieras som väg där inget tvingande uttag skett. För att beräkna stickvägsandel behövs beståndets totala areal samt längd och bredd på stickvägarna. I hprGallring förutsätts bredden vara 4,2 meter.

Syftet med studien var att jämföra hprGallrings skattningar av stickvägslängd och förutsatta stickvägsbredd med motsvarande manuella referensmätningar samt analysera orsaker till avvikelser. En manuell referensmätning av nio bestånd gjordes i fält, där stickvägslängden mättes med GPS och bredden med måttband.

Resultatet visar att ny och befintlig stickvägslängd underskattas respektive överskattas signifikant av hprGallring. Total stickvägslängd underskattas med 5 %, dock ej signifikant. Medelvärdet på stickvägsbredden blev i fältinventeringen 4,8 meter. Fyra olika slags typfel samt deras inverkan på resultatet kunde identifieras, vilka kräver åtgärder för att hprGallrings skattningar av stickvägslängd ska bli mer rättvisande.

Nyckelord: hprGallring, förstagallring, skördardata, stickvägar, stickvägsbredd

## Summary

Monitoring of thinnings must be done in order to ensure that laws and certifications as well as the landowners' wishes are satisfied. Today this work is done manually in the field and is very time consuming and which lowers the productivity of the harvesting work. In order to rationalize this work a software called hprGallring has been developed by Skogforsk. This program can automatically estimate several of the monitoring parameters with high precision with help from the production data. Forest stand height, basal area, stems per hectare, strip road length and area are among them.

A function in hprGallring has been developed to divide the total strip road length into two parts, new and existing strip road. New strip road is defined as a strip road created in order to make the forest passable for the machine and existing strip road is defined as an existing path for the machine. The primary cause to this new function is the question: "if the harvester can use gaps in the stand to make its way forward, should that part be classified as strip road in the follow-up?"

The aim of the study was to compare hprGallrings estimations of strip road length and width compared to a manual reference measurement. And also analyse the sources to differences that may appear. A manual reference measurement of nine objects was performed in field. Where the strip road length was measured with GPS and strip road width with tape.

The result shows that the length of new strip road is underestimated as the length of existing strip road is overestimated by hprGallring. Both results are significant. The total length of strip roads is in general underestimated by 5% but there was no significance in that result. The average value of the strip road width was in the field inventory 4.8 meters. Four different kinds of type errors and their impact on the results could be identified. These errors need to be reduced to make hprGallrings' estimations more accurate.

# Innehåll

|       |                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------|----|
| 1     | Introduktion.....                                      | 1  |
| 1.1   | Gallring.....                                          | 1  |
| 1.2   | Stickvägsbegreppet.....                                | 3  |
| 1.3   | Gallringsuppföljning och kvalitetssäkring.....         | 4  |
| 1.4   | Uppföljning av stickvägsandel .....                    | 5  |
| 1.5   | Automatisk gallringsuppföljning.....                   | 6  |
| 1.5.1 | Tillförlitligheten hos hprGallrings skattningar.....   | 9  |
| 1.5.2 | Stickvägsandel och -kategorisering i hprGallring.....  | 9  |
| 1.6   | Syfte och mål.....                                     | 13 |
| 2     | Material och Metod .....                               | 14 |
| 2.1   | Förberedelse.....                                      | 14 |
| 2.2   | Inventering.....                                       | 14 |
| 2.3   | Bearbetning och analys av data .....                   | 15 |
| 3     | Resultat.....                                          | 17 |
| 3.1   | Översiktlig jämförelse av data.....                    | 17 |
| 3.2   | Kvantifiering av avvikelser .....                      | 19 |
| 3.3   | Stickvägsbredd.....                                    | 23 |
| 4     | Diskussion .....                                       | 25 |
| 4.1   | Skattningens precision .....                           | 25 |
| 4.1.1 | Skillnad i stickvägslängd.....                         | 25 |
| 4.1.2 | Typfel .....                                           | 26 |
| 4.1.3 | Kategorisering och definition av stickvägar.....       | 27 |
| 4.1.4 | Stickvägsbredd .....                                   | 28 |
| 4.2   | Studiens utformning .....                              | 29 |
| 4.3   | Framtida studier och tillämpningar av hprGallring..... | 29 |
| 4.4   | Slutsatser.....                                        | 30 |
|       | Referenser.....                                        | 31 |





# 1 Introduktion

## 1.1 Gallring

Gallring är den mest förekommande skogsvårdsåtgärden i det svenska skogsbruket med avseende på behandlad areal. Årligen gallras cirka 400 000 hektar, vilket resulterar i ett virkesuttag på cirka 25 miljoner skogskubikmeter ( $m^3sk$ ) (Christiansen, 2014). Vid gallring lämnas träd av önskade trädslag och kvalitet för att öka värdet på beståndet. Mindre träd, skadade träd och grovgreniga träd gallras bort (Agestam, 2009). Målet är att den kommande tillväxten ska koncentreras till ett mindre antal stammar, vilket leder till en ökad medelstamvolym och högre timmerandel att avverka vid kommande slutavverkning. Detta åstadkoms genom att en jämn friställning av träd i beståndet utförs. Får kvarvarande träd mer utrymme att växa i och tillgång till frigjorda näringsämnen leder det till en ökad tillväxt och medelstamvolym (Mäkinen & Isomäki, 2004). Enligt Nygren (1994) definieras gallring som ”beståndsvårdande utglesning av skog med tillvaratagande av virke”. I en gallring tillvaratas gagnvirke innan självgallring börjar ske och på så sätt kan virkesintäkter tidigareläggas. Dessutom kan ett jämnare flöde i ekonomin skapas eftersom som skogens utveckling styrs på sådant sätt att nettot vid slutavverkningen blir större (Wallentin, 2006). Gallring möjliggör också ståndortsanpassning för enskilda trädslag, ökad vitalitet och minskad självgallring då åtgärden medför ett större utrymme för kvarvarande stammar (Mäkinen & Isomäki, 2004). Hur starkt ett bestånd ska gallras beror på beståndets tidigare skötsel, mål för beståndet och beståndsegenskaper. Gallringsstyrka anges oftast som en andel motsvarande uttaget jämfört med den ursprungliga totala volymen ( $m^3sk$ ) eller grundytan ( $m^2$ ) i ett bestånd. En tumregel är att gallringsstyrkan i en förstagallring ska vara cirka 35 procent medan den i andra- och tredjegallringar skall vara mellan 20 till 30 procent (Skogforsk, 2016). En felaktigt utförd gallring kan ge negativa effekter såsom mark- och trädskador, dåligt tillvaratagande av produktionsförmågan, nedsatt virkeskvalitet eller ökad risk för stormskador (Nordberg, 1987; Skogsstyrelsen, 2016). Under en omloppstid gallras det vanligtvis en till två gånger i norra Sverige och två till tre gånger i södra Sverige. Den första gallringen sker när beståndet nått en höjd av 10 till 14 meter.

Det finns två sätt att gallra på: schematiskt och selektivt. Den selektiva metoden är helt dominerande och det finns idag i huvudsak tre olika slags former av selektiv gallring: låggallring, likformig gallring och höggallring. Gallringskvoten är vad som skiljer dem åt, och beräknas som kvoten mellan de utgallrade stammarnas medeldiameter och de kvarvarande trädens medeldiameter. I en låggallring, som är den vanligast förekommande formen, tas framförallt klenare träd ut och ger därmed en kvot mindre än ett. Vid en höggallring tas grövre träd ut vilket ger en gallringskvot större än ett. I en likformig gallring är uttaget ungefär lika stort i alla diameterklasser. Ibland förekommer formen *kvalitetsgallring* och det är en form av likformig gallring där träd som antas komma att producera dålig kvalitet prioriteras i gallringsuttaget. Vid schematisk gallring sker inget selektivt uttag utan uttaget av träd sker i korridorer eller rader (Agestam, 2009).

Gallring utförs nästan uteslutande maskinellt av en skördare och en skotare och genomförs generellt på två olika sätt, i form av stickvägsgallring eller gallring med beståndsgående maskiner. I en stickvägsgallring byggs ett stickvägssystem upp med så parallella vägar som beståndets egenskaper tillåter, där både skördare och skotare skall kunna ta sig fram. I stickvägarna sker ett tvingande uttag av stammar för att skapa utrymme för maskinerna. Stickvägarna huggs med avseende på maskinernas storlek och beståndets grundförhållande, ytstruktur, lutning och form (Håkansson, 2000). Avstånden mellan stickvägarna kan variera kraftigt mellan olika bestånd beroende av föregående anledningar samt vilket maskinsystem som används. Skördare som används vid stickvägsgallring har vanligen en kranlängd på cirka 10 meter, och som längst 11 meter. Teoretiskt sett är därmed 22 till 24 meter det längsta avstånd mellan stickvägarna som kan användas för att skördaren ska ha möjlighet att nå och göra ett urval bland alla träd mellan stickvägarna (mellanzonen). Detta beror på om stickvägsavståndet mäts från stickvägsmitt till stickvägsmitt eller mellan de två närmsta stickvägskanterna. Rent virkesproduktionsmässigt är ett långt avstånd mellan stickvägarna att föredra, då längre avstånd ger en mindre beståndsandel stickvägar och därmed lägre andel kalhuggen yta i beståndet. Stickvägsbredden brukar vanligen vara mellan fyra och fem meter (Agestam, 2009). Ofta uppstår en större stickvägsareal i svårare bestånd då stickvägarna hamnar närmare varandra och att fler korsningar skapas än i ett enklare. I bestånd som betraktas som svåra blir stickvägsandelen också mer svårberäknad (Eriksson, 1982).

Vid gallring med beståndsgående maskiner slingrar sig maskinerna fram mellan träden i beståndet och därmed görs en lägre andel tvingande uttag av träd som står där maskinernas framfart sker (Lindmark 2002). Gallringar av detta slag brukar ibland kallas för slingerkörning eller gallring enligt stråkmotoden. Då enbart beståndsgående maskiner används i en gallring, brukar åtgärden betraktas som en stickvägsfri gallring. I den mån beståndsgående används, kombineras den brukligen med vanliga stickvägar för att underlätta skotningen av virket. Ofta skapas stickvägar med ett avstånd så stort att ett eller två stråk för beståndsgående maskiner kan köras emellan (Håkansson, 2000). Stickvägsavstånden blir då cirka 30 meter men i täta bestånd litet mindre. Kranlängden på de mindre skördarna är 7-9 meter, vilket också påverkar hur stora stickvägsavstånden blir (Bergkvist, 2010). För att slingerkörning ska fungera rationellt krävs goda terrängförhållanden och relativt klenta bestånd (Bergkvist, 2010; Holmen, 2016). Eftersom urvalet av stammar är större vid slingerkörning kan mer selektivt riktiga val göras (Frohm & Thor 1995). Vanligtvis uppstår dock fler trädsador i en slingerkörning jämfört med en stickvägsgallring eftersom maskinernas färdvägar görs smalare och fler träd står då mycket nära maskinernas körvägar (Fröding 1985, Laestadius, 1987). Detta uppstår trots att det för det mesta används mindre maskiner vid slingerkörning. Vilket innebär att en längre sträcka behöver köras per arealenhet jämfört med en konventionell stickvägsgallring. Vilket i sin tur ger fler skador på kvarvarande bestånd (Fröding, 1982).

Anläggning av stickvägar bidrar till tillväxtminskningar på grund av flera orsaker. Dels kalhuggs cirka en femtedel av beståndet vars yta under resten av beståndstiden inte blir bevuxen samtidigt som de kvarvarande träden inte klarar av att ta vara på alla resurser som de avverkade träden tidigare nyttjade. Möjligheterna till urval blir också mindre med större andel stickvägar och träd med god utvecklingspotential blir avverkade vid upptagningen av stickvägarna. I exempelvis en förstagallring utgör stickvägsuttaget på 20 % av arealen (och därmed vanligtvis också grundytan och volymen) mer än halva gallringsuttaget. Därtill kommer även den kompaktering av marken som maskinerna gör i stickvägarna som leder till att rötter får svårare att växa och ta upp näring och vatten (Björkhem et al, 1983).

Däremot kan det uppstå kanteffekter som leder till en tillväxtökning på upp till 5 meter in i beståndet från stickvägarna, vilket kan kompensera för en del av de borttagna stickvägsträden och andra skador på beståndet. Detta förutsätter att träden närmast stickvägarna inte fått några allvarigare skador i samband med åtgärd (Eriksson m.fl. 1994; Fröding, 1982; Isomäki 1990). För att minimera förlusten av produktiv skog och ta till vara på markens produktionsförmåga är det önskvärt att stickvägsnätet utgör en så liten andel av den totala arealen som möjligt. Tallbestånd uppvisar större känslighet för vindfällning i anslutning till huggna stickvägar än stickvägsfria bestånd (Fransson, 2008).

## 1.2 Stickvägsbegreppet

Stickvägar har använts så länge som virke har forslats ut ur skogen på ett mer storskaligt sätt. Med den ökade mekaniseringsgraden under 1960- och 1970-talen kom frågan om stickvägarnas betydelse upp på dagordningen. Det var framförallt diskussionerna kring stickvägsnätets beståndspåverkan som väckte intresset för stickvägarnas utformning (Diggle & Knutell, 1979). Laestadius (1986) försökte reda ut stickvägsbegreppets definition och användning genom att ställa upp ett antal ”obestridda stickvägsegenskaper” och sedan göra en litteraturstudie. Det framkom att det saknades en enhetlig definition och därför ifrågasattes också de otaliga metoderna för mätning av stickvägars bredd. Begrepp som ”biologisk”, ”praktisk” och ”teknisk” stickväg uppkom. Fröding (1983) introducerade begreppet biologisk stickvägsbredd som benämning på den areal som stickvägen upptar och som beståndet efter gallring inte kan utnyttja för produktion. Om ett maskinsystem kan slingra sig fram igenom ett bestånd utan att några träd behöver ”tvångsavverkas” för att skapa framkomlighet är den biologiska stickvägsbredden lika med noll, medan om raka stickvägar placeras ut slumpmässigt blir den biologiska stickvägsbredden lika med maskinens bredd.

Det som skiljer olika definitioner av stickväg åt är i hur stor utsträckning olika färdvägar genom ett bestånd som ska inkluderas och huruvida definitionen kopplar till skotarens, skördarens eller båda maskinernas arbete. Dahlin (1980) avser med stickväg *”den zon inom vilken alla träd måste avverkas, för att maskiner som utnyttjar vägen skall ges framkomlighet.”* Den definitionen överensstämmer till viss del med definitionen enligt Diggle och Knutell (1979): *”Något förenklat skulle man kunna säga att en stickväg uppstår när man för att bereda utrymme för en maskin avverkar alla träd mellan två parallella kurvor.”* Bucht (1981) menar att *”en stickväg uppstår, såsom begreppet användes här, när träd hugges i samband med gallring med det primära syftet att bereda plats för terrängtransporten och/eller andra avverkningsarbeten. Det innebär att om terrängtransporten utföres i naturliga luckor eller helt mellan de efter selektiv gallring kvarlämnade träden så uppstår i denna mening ingen stickväg.”* En antal olika omfattande definitioner finns alltså, men ingen klar definition går att erhålla. Laestadius (1986) skrev i sina slutsatser att *”mycket talar för att ett stickvägsnät bör betraktas som en rumslig företeelse, avsedd för maskintrafik genom ett bestånd. Därigenom skulle några strikta definitioner av stickvägen och dess egenskaper inte behövas.”* Det finns fortfarande idag ingen enhetlig definition av stickvägsbegreppet utan det existerar en slags samstämmighet om vad en stickväg är och behovet av en definition tycks vara litet. Begreppet används ofta som ett samlingsnamn för alla de körvägar maskiner använder i skogliga åtgärder. Det förekommer däremot ett antal andra benämningar på olika typer av stickvägar och stråk.

Basvägar brukar de körvägar som används för uttransport av virke från bestandsgräns till avlägg kallas. Innanför bestandsgränserna brukar den väg som ansluter till basvägarna kallas för basstråk, vilka fungerar som en uppsamlingsväg där huvudparten av virket transporteras ut. Dessa körvägar placeras med stor hänsyn till virkesvolymernas koncentrationer men framförallt med hänsyn till bärighet. Detta behövs göras för att skona beståndet från markskador och slitage. De körvägar som ligger i anslutning till dessa basstråk är de körvägar som skördare och skotare oftast endast nyttjar en till två gånger per gallring (Agestam, 2009). Det är dessa körvägar som i traditionell mening kallats för stickvägar. Vid skogliga åtgärder förknippas begreppet stickväg främst med gallring. De körvägar som används i gallringar med beståndsgående maskiner är det inte alla aktörer som räknar som stickvägar då dessa förutsätts skapa ett så lågt tvingande uttag och brukar därför benämnas som slingerstråk eller bestandsstråk (Bhuiyan, 2016). För att skona marken i känsliga delar av ett bestånd eller nå alla träd i en mellanzon används ibland så kallade backstråk eller spökslag. Ett backstråk slutar därmed blint mot en blöt del eller rakt ut i en mellanzon. Spökslag är en körväg som endast används av skördare och varifrån skördaren apterar och matar ut virket mot närmaste uppsamlingsväg. Spökstråk läggs intill kantzoner och andra hänsynsytor som inte bär en lastad skotare (Sydved, 2016).

### *1.3 Gallringsuppföljning och kvalitetssäkring*

För att utföra gallringen på ett så tillfredställande sätt som möjligt krävs väl formulerade mål för gallringen. För att säkerställa den utförda gallringens kvalitet bör det ske en uppföljning, utvärdering och återkoppling till entreprenörer och arbetsledare. Kraven på gallringsresultaten, vilka parametrar som utvärderas och hur uppföljningen sker, varierar mellan olika aktörer. Merparten av de större skogsbolagen bedriver en kontinuerlig gallringsuppföljning genom sina entreprenörer, vilka dagligen gör ett subjektivt urval av provytor som anses vara representativa för beståndet. Oftast används då relaskop, klave och måttband för att samla data om beståndet. Exempel på parametrar är: grundyta, medeldiameter, medelhöjd, stamantal, trädslagsfördelning, stickvägsbredd och stickvägsavstånd, skadefrekvens, körskador och antal stubbar (BillerudKorsnäs, 2013; Bylund, 2007). Detta rapporteras in och ligger som grund för kvalitetsuppföljningen av hur entreprenören förhållit sig till ställda traktdirektiv och gallringsmallar. Utifrån de insamlade data går det att beräkna gallringstyrka som är en viktig parameter i sammanhanget. Bolagen brukar även ha en årlig, mer omfattande uppföljning där ett större antal objekt följs upp mer noggrant av inventerare. Inventeraren gör antingen någon slags objektiv inventering med ett slumpmässigt stickprovutlägg eller en enklare men snabbare subjektiv inventering (Bylund, 2007). För att följa upp gallringar finns det många olika rutiner som har tagits fram och de kännetecknas ofta av att vara antingen komplicerade eller väldigt generaliserande och oprecisa. De enkla metoderna är ofta mer lämpliga att bruka, trots att värdena inte kan användas på ett statistiskt riktigt sätt jämfört med metoderna med hög precision. Detta eftersom att de är billigare och oftast ger en tillräckligt bra överblick av gallringsresultatet (Bergkvist & Staland, 2003) samt att trots bristande precision kan användas i motivationshöjande syften (Björheden & Fröding, 1986).

I traktidirektivet bör parametrar som stickvägsavstånd, stickvägsbredd, prioriterade trädslag och gallringsuttag specificeras (Thelin, 1989). Det är viktigt att den gallringsuppföljning maskinförarna gör är korrekt eftersom dessa data kan komma att användas för att ajourhålla skogsbruksplaner och beståndsregister. Det är därför av vikt att manuella inventeringsmetoder som förarna använder, är enkelt utformade och inte för krävande eftersom entreprenörernas intresse för att utföra uppföljningen annars minskar (Åneklint 1999). Många maskinförare skulle vilja fokusera på själva gallringen och anser att de har för många andra arbetsuppgifter (Bylund, 2007). Med en automatisk gallringsuppföljning skulle insamlandet av data rationaliseras, värdena bli bättre och det skulle bli färre arbetsuppgifter för förarna (Burström, 2015; Hannrup m.fl., 2016).

Markägare vill vara delaktiga och påverka hur gallringar utförs på deras marker och väljer därför ofta entreprenör eller leverantörsföretag utifrån tidigare gallringsresultat. Markägaren tittar ofta på hur det ser ut i skogen efter gallring gällande stam- och körskador men också på hur stort uttaget har varit. Uppemot 95 % av markägarna skulle tycka att en kvalitetsgaranti skulle vara något bra eller mycket bra (Persson, 2000). Detta skulle dock medföra merarbete i form av uppföljning samt återkoppling och därför finns det en efterfrågan av nya egenuppföljningsrutiner hos skogsföretag och entreprenörer. En automatisk gallringsuppföljning skulle därför i framtiden kunna komma att bidra till en effektiv och kvalitetssäker uppföljning då beståndsvariabler kan skattas med en hög precision samtidigt som uppföljningen sker objektivt under drivningsarbetet (Hannrup m.fl., 2015). Automatisk gallringsuppföljning skulle dessutom kunna ligga till en grund för automatisk uppdatering av beståndsregister och skogsbruksplaner. Det har framkommit att 75 % av markägarna skulle vara intresserade av att få sina skogsbruksplaner uppdaterade efter gallring och 60 % kunde tänka sig att betala för en sådan tjänst (Persson, 2000).

#### 1.4 Uppföljning av stickvägsandel

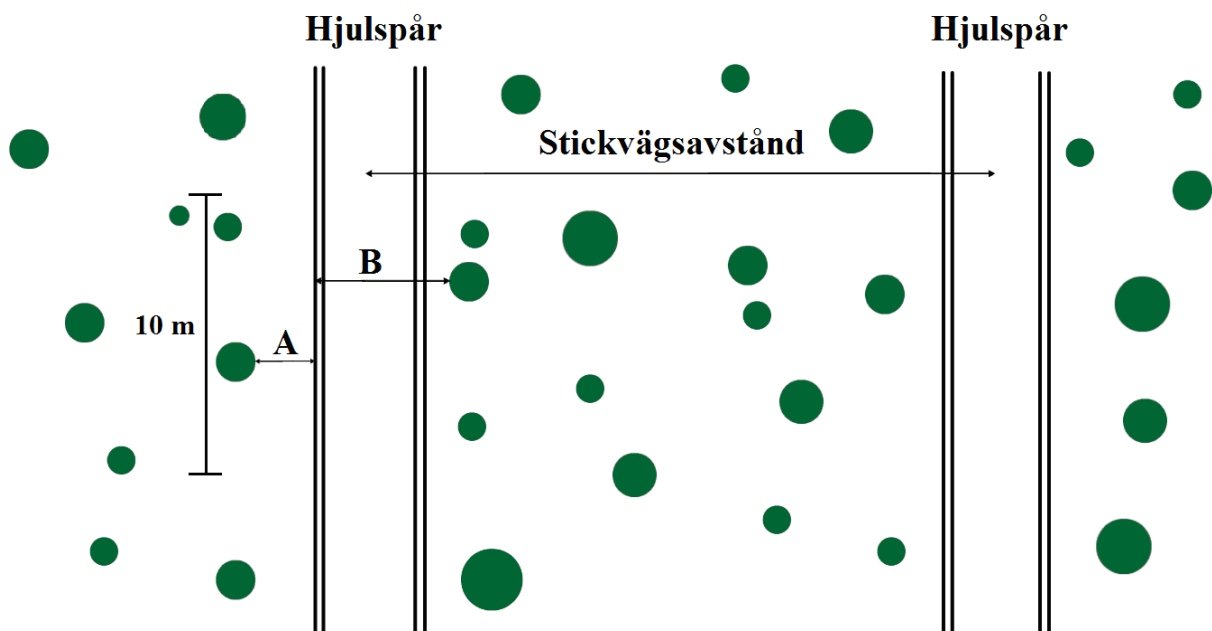
Det finns en rad olika metoder för mätning av stickvägsandel, vissa ingår i större uppföljningsrutiner medan andra är utvecklade för speciellt stickvägar. Många av dessa är omfattande och tidskrävande då de är gjorda för objektiva uppföljningar. Eftersom de subjektiva metoderna ger relativt tillförlitliga resultat trots den större risken för både slumpmässiga och systematiska fel, används dessa ofta vid konventionell gallringsuppföljning. De subjektiva metoderna innefattar att en inventerare gör en subjektiv bedömning av var stickvägsbredd och stickvägsavstånd ska mätas in. Det finns ingen vedertagen metod för mätning av stickvägsandel utan aktörerna själva bedömer vilken metod som är lämplig (Bergkvist & Staland, 2003).

En subjektiv och simpel metod för att mäta stickvägsandel är någon slags ”stegmetod”, som är en mycket enkel linjeinventering. Denna metod kan anses vara relativt osäker. Vid stegmetoden stegar inventeraren från ytterkanten av en stickväg, över stickvägen och stannar vid motsvarande ytterkant på intilliggande eller mer avlägsen stickväg. Antalet *steg i maskinspåret* klassas således som stickväg, resterande andelar klassas som mellanzon. Genom att dividera *stegen i maskinspåret* med *totalt antal steg* beräknas stickvägsandelen. Detta kan fördelaktigen göras med måttband.

Under 1970- och 1980-talen utvecklades den så kallade Sondells metod (Diggle & Knutell, 1979). Sondells metod utgår ifrån ett bestånds kvadratförband för att sedan dela upp en stickväg i mätintervall. Ett högt stamantal leder till ett högre mätintervall och lågt stamantal leder till ett lägre.

Exempelvis ger 900 stammar mätintervallet 10 meter och stamantalet 2000 ger 6,5 meters mätintervall. Bredden mäts i valt intervall genom att från närmaste trädstam på vänster sida mäta avståndet till ytterkanten av det vänstra spåret (Figur 1; avstånd A). Sedan mäts avståndet från närmsta hinder på höger sida till det vänstra spårets ytterkant (Figur 1; avstånd B). Dessa avstånd adderas för att få stickvägsbredden i det mätintervallet och summeras till hela decimeter (Sondell, 1974). En variant av denna metod återfinns i Skogforsks gallringhandledning (Bergkvist & Staland, 2003). Då mäts på en tiometers mätsträcka, avståndet från mitten av stickvägen till de fyra närmaste träden. Avstånden adderas och divideras sedan med två för att erhålla stickvägsbredden.

På mätsträckan inom vilken de två närmaste hindren på var sida av stickvägen ska mätas in för att beräkna stickvägsbredden har stor påverkan på resultatet. Ju längre sträcka, desto större är sannolikheten att träd står riktigt nära hjulspåren och bredden blir då liten. För en riktigt kort sträcka så finns det däremot inga stickvägsnära träd alls inom bedömningsområdet, och bredden blir då mycket stor. En fem gånger längre mätsträcka torde ge fem gånger fler potentiella stickvägsnära träd.



**Figur 1.** Mätning av stickvägsbredd (A+B) på en tio meter lång mätsträcka samt mätning av stickvägsavstånd enligt Sondells metod.

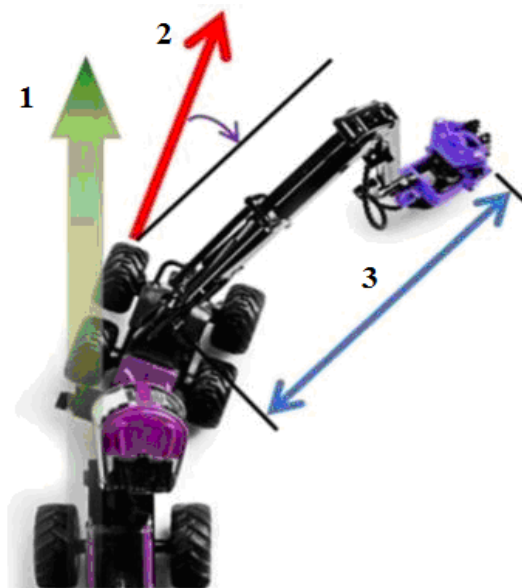
*Figure 1. Measurement of the strip road width (A + B) on a ten meter long measure length and the strip road distance measurement according to Sondells metod.*

### 1.5 Automatisk gallringsuppföljning

Skogforsk har utvecklat metodik som möjliggör utnyttjande av information om de träd som avverkas vid gallring för att skatta hur det kvarvarande beståndet ser ut. Metoden är implementerad i form av en programvara, hprGallring (harvested production), som baserar beräkningarna av exempelvis grundyta, medelhöjd, medeldiameter och gallringsstyrka på data som lagras i skördaren vid avverkning (Möller m.fl., 2011; Möller m.fl., 2015). Med hjälp av denna programvara kan de skattningar av beståndsdata och gallringsuttag som skördarförarna och inventerarna ofta registrerar subjektivt erhållas automatiskt och objektivt.

Utmaningen ligger främst i att tillsammans med tillgängliga trädmodeller bearbeta informationen om träden som avverkas för att få tillförlitliga data på kvarstående bestånd. Problem uppstår i bestånd som gallras på sätt som skiljer sig från ett normalt gallringsförfarande. Som exempel kan ges att om endast ett trädslag avverkas i ett blandbestånd indikerar uttaget att beståndet endast innehåller det uttagna trädslaget. I senare versioner har maskinernas utveckling möjliggjort att stickvägarna kan användas som provytor för hur ursprungsbeståndet såg ut. Detta kan fungera under förutsättningen att stickvägarna är representativt utlagda i beståndet och att alla träd i stickvägen avverkas. Identifieringen av stickvägsträd i beräkningarna ökar precisionen i skattningarna av gallringskvot och parametrar som beskriver kvarvarande skog efter gallring (Hannrup m.fl. 2015). I utvecklingen av hprGallring har man dock fått indikationer på att stickvägarna till viss del läggs ut selektivt och att det inte sker ett fullständigt slumpmässigt urval av träden. Detta då träd med klenare diameter i högre grad avverkas i stickvägarna än vad grova blir (Bhuiyan, 2016).

Efter att skördare utrustats med givare som mäter kranvinkeln vid avverkningen av träd kan nu identifiering av stickvägsträd göras med hjälp av kranvinkeldata. Kranvinkel definieras i detta sammanhang som kranarmens sidovinkel i förhållande till riktningen på maskinens framdel (Figur 2). Med standardinställningarna i hprGallring klassas träd som stickvägsträd om de befinner sig inom kranvinkelintervallet  $\pm 30$  grader. Detta medför att träd som avverkas med en kranvinkel på 25 grader med kranen utsträckt åtta meter egentligen står cirka 1,3 meter utanför stickvägen. Detta är beräknat utifrån det antagande hprGallring gör angående stickvägsbredden, det vill säga att stickvägarna alltid är 4,2 meter. Ovanstående exempel beräknades sålunda genom att avståndet från det aktuella trädet till stickvägens mitt subtraherades med 2,1 meter (halva stickvägsbredden). Beräkningen ser ut som följer:  $\text{Sin}(25) * 8 - 2,1 = 1,28$  meter. För att lösa detta har studier gjorts på hur långt ut kranen är utsträckt i genomsnitt vid avverkning av träd. Detta värde är på Komatsu 911 satt till nio meter. Utifrån samma studie och data slumpas hprGallring ut trädets geografiska position längs en med kranens riktning tänkt linje som är elva meter, liksom kranen maxlängd. Med dessa inställningar kan i genomsnitt 83 % av de sanna stickvägsträden identifieras. Icke-stickvägsträd kan således registreras som stickvägsträd samtidigt som sanna stickvägsträd kan falla utanför intervallet och förbises (Bhuiyan m.fl., 2016).



**Figur 2.** Illustration över maskinens färdriktning (1), kranvinkel (2) och avstånd mellan basmaskin och aggregat (3). Kranvinkeln utgår från basmaskinens framdel, träd som avverkas inom  $\pm 30$  grader åt sidorna definieras som stickvägsträd.

*Figure 2. Illustration of the machine direction (1), crane angle (2) and the distance between the base machine and machine head (3). Crane angle starts from the base machine front, trees felled within  $\pm 30$  degrees to the left or right is defined as strip road trees.*

I hprGallring nyttjas de produktionsfiler som skördardatorn genererar under arbetets gång. Formatet på produktionsfilerna har länge varit .pri men detta fasas nu ut till förmån för det standardiserade formatet .hpr som används i alla de större skogsmaskintillverkarnas maskiner och skördardatorer. Vilket är viktigt för en fortsatt rationaliserad datainsamling (Bhuiyan m.fl., 2016). Dessa produktionsfiler (.hpr) innehåller information om alla träd som avverkas, till exempel deras geografiska position, trädslag samt de ingående stockarnas längd, diameter och kvalitet. Programmet bearbetar data samtidigt som det visar prognoser för flera olika parametrar hos det kvarvarande beståndet, i form av bland annat grundyta ( $m^2$ ), volym ( $m^3sk$ ), stammar per hektar (st/ha) och trädslagsblandning (andel tall, gran, björk, contorta, övrigt). Data kan presenteras antingen per hektar eller per bestånd (Möller m.fl., 2015). Maskinföraren kan kontinuerligt via sin datorskärm se hur beståndet ser ut i siffror och även en karta över beståndet. Detta möjliggör en bättre anpassad gallring jämfört med en gallring utan programmet (Burström, 2015).

I den senaste versionen av hprGallring (version v.2.0.2.0) kan stickvägsandel automatiskt beräknas. Denna funktion kan ses som en respons på att skördarförarna och skogsbolagen vill veta hur stora andelar stickvägar som skapas. Intresset för parametern stickvägsandel har funnits länge och mäts i samband med gallringsuppföljning. Från privata skogsägares håll kan man ofta höra att de tycker att stickvägar som görs är onödigt breda och att det leder till ett sämre tillvaratagande av skogens produktionsförmåga. För att komma till rätta med detta har Södra Skogsägarna sedan maj 2016 tillämnat en ny gallringstjänst som innebär att de i gallringar lämnar en kvalitets- och markskoningsgaranti. Kvalitetsgarantin innebär att de för vissa parametrar lämnar garantier på att gallringen är utförd på, för beståndets värdeutveckling, bästa sätt. Bland annat garanteras det att stickvägsarealen efter avslutad gallring ska vara maximalt 22 % (Södra, 2016).



Med data insamlat från en automatisk och objektiv uppföljning skulle bolagen lättare bedöma hur väl en gallring är utförd och redovisa detta för en eventuell privat markägare men också ge snabbare och säkrare återkoppling till entreprenörerna.

### **1.5.1 Tillförlitligheten hos hprGallrings skattningar**

Vid uppföljning där relaskopering används blir genomsnittligt medelfel i bestämningen av grundyta 14 % (Ståhl, 1992). Medelfelet för ståndortsindex, grundytavägd medeldiameter och medelhöjd var lägre medan medelfelet för stamantal var högre än 14 %. Inventerare med liten erfarenhet har sämre precision i sina mätningar i fält medan mer erfarna har bättre precision. Precisionen blir också sämre när avdelningarna överstiger 3 hektar (Ståhl, 1992). Subjektivt uppmätta volymer kan i skogsbruksplaner avvika upp till 20 % på beståndsnivå (Nordbrant, 2002). Med hprGallring och automatiserad uppföljning låg den systematiska avvikelserna för beståndsvariablerna grundyta, volym, grundytavägd medeldiameter, stamantal och övre höjd under 2,2 % när skattningarna från hprGallring jämfördes mot data från manuella referensmätningar (totalklavning). Standardavvikelseerna för skillnaderna mellan de objektsvisa skattningarna från hprGallring och de manuella referensmätningarna låg inom intervallet 4-13 %. Undantaget utgjordes av stamantalet som hade en standardavvikelse på 16 till 20 % (Hannrup m.fl., 2015).

### **1.5.2 Stickvägsandel och -kategorisering i hprGallring**

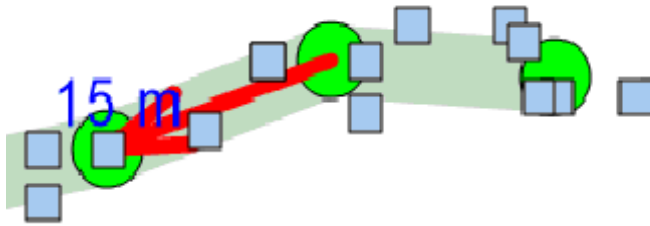
För en exakt beräkning av ett bestånds stickvägsandel krävs data om både stickvägarnas längd och bredd samt det aktuella beståndets areal. I den nuvarande versionen av hprGallring mäts stickvägs längd utifrån skördarens positioner som lagras vid varje tillfälle ett träd avverkas. Dock saknas en metod för att automatiskt mäta stickvägsbredd. Därför kommer det fortsättningsvis krävas manuella insatser i gallringsuppföljningar, även med tanke på de icke automatiskt mätbara parametrarna, exempelvis skadefrekvens och naturhänsyn (Hannrup m.fl., 2016). Av dessa orsaker är stickvägsbredden, som används för beräkning av stickvägsandel satt till ett fast värde på 4,2 meter i hprGallrings grundinställning (Figur 4). Det är av stor vikt att en eventuell manuell mätning av stickvägsbredd gjord av entreprenörerna själva sker rationellt med kvalitetssäker metod, där data kan lagras i hpr-format. Ett bestånds areal beräknas utifrån ett symmetriskt rutnät som placeras över aktuellt åtgärdsområde. Varje ruta där ett träd har avverkats tilldelas ett arealvärde i kvadratmeter motsvarande storleken på rutan. Tomma rutor och rutor som gränsar till icke avverkade rutor tilldelas reducerade arealer beroende på hur många av de åtta angränsande rutorna som berörs. Detta görs för att kompensera för osäkerheter som finns i glesa partier och kantzoner mot öppna ytor (Bhuiyan m.fl., 2016). En skattad stickvägsandel ska motsvara den av maskiner skapade kalytan inom ett bestånd. Om maskinerna i ett mycket glest eller luckigt bestånd kör upp stickvägar utan att ett tvingande uttag görs, torde dessa möjligen inte tas med i beräkningen av stickvägsandel. Skogforsk har därför utvecklat en funktion för kategorisering av stickvägar där de delas in i *nya* respektive *befintliga* stickvägar och tillsammans blir en *total*. Meningen är att uppnå ett mer rättvisande resultat i uppföljningsarbetet då en kategorisering av stickvägar ger en frihet i hur stickvägsandel ska definieras och redovisas. Kategoriseringsfunktionen finns tillämpad i den senaste programversionen (v.2.0.2.0) men är under utveckling och antalet kategorier som är lämpliga är inte bestämt. Funktionen använder GPS-koordinaterna från basmaskinen i kombination med kranvinkeldata för att göra det möjligt att dela upp stickvägarna på detta sätt. Med befintliga stickvägar menas i hprGallrings nuvarande utformning till exempel gamla körvägar, rågångar, gläntor, hyggeskanter och luckor i bestånden där inget tvingande uttag av träd gjorts för att möjliggöra maskinernas framkomst.

Detta medför att nya stickvägar definieras som stickvägar där tvingande uttag av träd skett. hprGallring skapar två stickvägsnät, ett som visar det totala stickvägsnätet och ett som visar de nya stickvägarna. Det totala stickvägsnätet skapas utifrån alla avverkningspositioner i beståndet som lagras för skördaren medan i nätet som utgör de nygjorda stickvägarna endast tagit med avverkningspositioner där träden som avverkats definierats som stickvägsträd. Differensen mellan dessa stickvägsnät ger då ett tredje stickvägsnät som visar var det finns befintliga stickvägar som skördaren utnyttjat. Programmet redovisar i siffror för hur stor stickvägsandelen är för den totala stickvägslängden respektive den nya stickvägslängden (Figur 4).

### **Principiell uppbyggnad av algoritmen för beräkning av stickvägslängd**

Algoritmen som används i hprGallring för beräkning av stickvägslängd är under utveckling och förändras kontinuerligt och är inte heller fullständigt dokumenterad. Nedan ges en översikt av den principiella uppbyggnaden av den version av algoritmen som fanns implementerad i hprGallring vid studietillfället.

Som ingångsdata i algoritmen används produktionsfiler från skördare innehållande registrerade koordinater för basmaskinens position samt kranvinkel, vid varje avverkningstillfälle. Resultaten från algoritmen utgörs av skattningar av stickvägslängd och stickvägsandel där den senare parametern beräknas utifrån en antagen stickvägsbredd. Som underlag för beräkningarna genererar algoritmen ett stickvägsnät i en tvåstegs-process. I ett första steg skapas grupper av närliggande stammar vilket exemplifieras i Figur 3. Figuren redovisar positionsinformation för de 13 först avverkade stammarna (blå kvadrater) i ett bestånd vilka sedan har delats in i tre grupper (gröna cirklar). Algoritmen har delat in de fem först avverkade stammarna (sett från höger till vänster) i en grupp vars position utgörs av medelpositionen för de ingående stammarna. Indelningen i grupper styrs av en parameter som anger det största tillåtna avståndet (grundinställning 12 meter) mellan stammar inom grupp (Figur 4;A). Överskrids detta avstånd påbörjas indelningen i en ny grupp. I Figur 3 innebär detta att avståndet mellan stam ett och fem varit mindre än 12 meter medan avståndet mellan stam ett och sex varit större än 12 meter. Det vill säga, en ny grupp (grön cirkel) påbörjas.



Figur 3. Urklipp ur hprGallring som visar hur positionerna för skördaren vid varje trädfällning (blå kvadrater) tillförs olika grupper (gröna cirklar) utifrån inställningarna i programmet. Den röda pilen visar skördarens färdriktning mellan grupperna och "15 m" är avståndet mellan dessa.

Figure 3. Clipboard from hprGallring that shows how the harvester positions at each tree felling moment (blue squares) are assigned to different groups (green circles) based on the settings in the program. The red arrow shows the direction of the harvester's movement between the groups and "15 m" is the distance between the groups.

|                                                   |                                                         |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Alla stickvägar: 2345 m</b>                    | <b>Nya stickvägar: 1628 m</b>                           |
| <b>Stickvägsandel: 22 %</b>                       | <b>Stickvägsandel: 15 %</b>                             |
| <input checked="" type="radio"/> Alla kranvinklar | <input type="radio"/> Alla kranvinklar                  |
| <input type="radio"/> Kranvinkel ± 30 grader      | <input checked="" type="radio"/> Kranvinkel ± 30 grader |
| Stickvägsbredd 4.2 m                              | Stickvägsbredd 4.2 m                                    |
| <b>A</b> Största avstånd mellan stammar           | Största avstånd mellan stammar                          |
| 12 m                                              | 12 m                                                    |
| <b>B</b> Minsta avstånd mellan grupper            | Minsta avstånd mellan grupper                           |
| 7 m                                               | 7 m                                                     |
| <b>C</b> Största avstånd mellan grupper           | Största avstånd mellan grupper                          |
| 20 m                                              | 20 m                                                    |

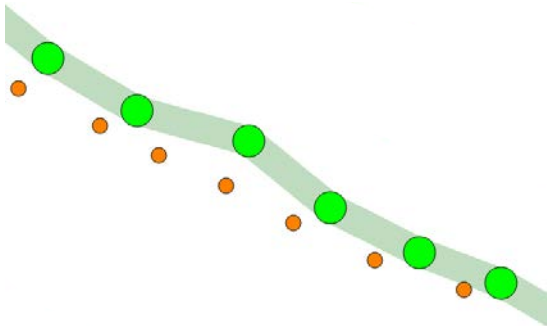
Figur 4. Urklipp från gränssnittet i hprGallring (v.2.0.2.0) som visar vilka stickvägsparametrar som kan ställas in. A, Största avstånd mellan stammar; B, Minsta avstånd mellan grupper; C, Största avstånd mellan grupper. Resultat för samtliga stickvägar (vänster halva) respektive nya stickvägar (höger halva) visas för ett exempelbestånd.

Figure 4. The setup menu in the program hprGallring (v.2.0.2.0). A, Largest distance between stems; B, Minimum distance between groups; C, Largest distance between groups. The left and right part shows the result for total respective new strip road length.

I ett andra steg knyts grupperna samman till stickvägar. Sammanknytningen mellan grupper sker utifrån maskinens färdriktning emellan grupperna. Observera skillnaden mellan maskinens färdriktning och tidigare benämnd riktning för maskinens framdel (utgångsläget för kranvinkeln). Färdriktningen styrs av två parametrar: "Minsta avstånd mellan grupper" och "Största avstånd mellan grupper" (Figur 4; B och C). Överskrider avståndet mellan två efterföljande grupper det avstånd som är angivet för "Största avstånd mellan grupper" knyts inte grupperna samman med en stickväg. Denna parameter används till exempel för att inga fiktiva stickvägar ska skapas då exempelvis skördaren gallrat klart i en del av objektet och sedan förflyttat sig via det befintliga stickvägsnätet till en annan del där gallringsarbetet fortsätter. Ingen sammanknytning mellan grupper sker heller då avståndet mellan två efterföljande grupper underskrider det avstånd som är angivet för "Minsta avstånd mellan grupper". Denna parameter används för att undvika att fiktiva parallella vägar skapas.

Detta kan annars uppkomma till exempel då skördaren först avverkat stickvägsträden och sedan kört tillbaka på samma stickväg för att gallra mellan stickvägarna men där positionsinformationen inte överlappar på grund av den osäkerhet som finns i GPS:ens positionsbestämning (Figur 5).

Utan information om maskinriktningen och avstånd mellan avverkningspositionerna skulle inte programmet veta vilka koordinater som ska kopplas ihop till stickvägar utan positioneringspunkterna skulle kopplas samman med alla punkter som lagrats. Vilket skulle leda till att stickvägssystemen i programmet inte skulle fylla någon funktion. Algoritmen måste därför ta hänsyn till dessa två parametrar väl avvägt för att skapa stickvägsnät som inte över- eller underskattar stickvägsandelen



Figur 5. Illustration av hur styrparametern ”Minsta avstånd mellan grupper fungerar”. En stickväg har skapats utifrån ovanstående beskrivning. Varpå skördaren återvänt vid ett senare tillfälle och avverkat nya träd längs stickvägen, vilket gett upphov till nya grupper men dessa har blivit orangea och inte gröna, och det har dessutom inte dragits någon stickväg mellan dessa. Detta eftersom de nya grupperna ligger mindre än 7 meter från de äldre grupperna (gröna cirklarna) (Figur 4 b).

*Figure 5. Illustration of how the control parameter “minimum distance between groups” works. A strip road has been created between the green groups, after which the harvester has returned and cut down more trees along the strip road, which creates new tree groups (orange circles). Because the new groups are less than 7 meters away from the older groups (green circles), no strip roads are drawn between them.*

Gröna cirklar indikerar grupper som knutits samman med stickvägar och som uppkommit då skördaren avverkat stickvägsträden. Orangea grupper indikerar grupper som uppkommit då skördaren i ett efterföljande steg kört tillbaka och gallrat i mellanzonen. De orangea grupperna har inte accepterats av algoritmen på grund av avståndet till de accepterade grupperna understeg det angivna avståndet ”Minsta avstånd mellan grupper”. Orsaken till att positionerna för de två grupperna inte överlappar är den osäkerhet som finns i GPS:ens positionsbestämning.

Algoritmen kan beräkna stickvägslängd och stickvägsandel för två typer av vägnät: samtliga stickvägar, respektive nya stickvägar. I det förra fallet utnyttjas positionsinformation för samtliga avverkade stammar och i det senare fallet utnyttjas positionsinformation för stickvägsträd vilka identifierats med hjälp av kranvinkelinformation (Figur 4). I båda fallen är dock funktionsprincipen för algoritmen den som beskrivits ovan.

## 1.6 Syfte och mål

Föreliggande studie syftade till att jämföra hur hprGallrings skattningar av stickvägslängd i olika kategorier och antagande om en medelstickvägsbredd på 4,2 meter överensstämmer med motsvarande manuella referensmätningar samt analysera orsaker till eventuella avvikelser.

För att uppfylla syftet formulerades fyra frågeställningar:

- Hur överensstämmer skattningar från hprGallring med manuella referensmätningar med avseende på total stickvägslängd, ny stickvägslängd och befintlig stickvägslängd?
- Hur stora är avvikelserna och vilka orsaker till uppkomna fel finns?
- Finns behov av kategorisering av stickvägar och vilka kategorier ska i sådana fall användas?
- Hur överensstämmer hprGallrings förinställda värde för stickvägsbredden på 4,2 meter med data från manuella referensmätningar?

Studiens mål var att ge framförallt Skogforsk ett underlag för hur väl hprGallring fungerar med avseende på de stickvägsberäkningar som programmet gör utifrån skördardata samt identifiera orsakerna till avvikelser. Studien kan därmed utgöra ett viktigt underlag för vidareutveckling av programvaran.

## 2 Material och Metod

För att studera hur hprGallrings funktioner och algoritmer fungerar samt för att kunna hantera skördardata användes hprGallring (version 2.0.2.0). Med hjälp av trakttdirektiv och skördardata valdes lämpliga förstagallringsbestånd ut som sedan inventerades manuellt med GPS i fält. Med hjälp av statistikprogram (Minitab 17® Statistical Software, 2010) och GIS-verktyg (ESRI ArcMap™ 10.4.1) analyserades sedan insamlade data och skördardata.

### 2.1 Förberedelse

Datamaterialet utgjordes av skördardata, trakttdirektiv och data insamlade i fält. Samtliga skördardata tillhandahölls av SDC (Skogsbrukets informationsnav) och trakttdirektiv tillhandahölls av Norra Skogsägarna. All skördardata var insamlade av en skördare av modellen Komatsu 911.6 utrustad med GPS och inställd för registrering av kranvinkel i hpr-filerna. Maskinens GPS var av modellen Garmin 16x som har en mätnoggrannhet på tre till fem meter. Skördardata och trakttdirektiv för totalt 20 gallrade bestånd fanns tillgängliga för studien och av dessa inventerades totalt elva bestånd. Bestånden valdes ut med avseende på storlek, omkringliggande miljö och för inventeringen uppskattad tidsåtgång. Lämpliga bestånd ansågs vara mindre än fem hektar då chansen att stickvägar skulle användas i beståndsgränser, anliggande hyggeskanter eller bilvägar ökar med minskad areal. Bestånd som var en del av och helt inneslutet i ett större homogent bestånd undveks då de lämnar litet utrymme för variation i avverkningsarbetet. De elva bestånden var belägna inom två mil från Umeå stad.

### 2.2 Inventering

Definitioner av de körvägar som skulle registreras och kategoriseras togs fram innan fältinventeringen påbörjades. Dessa var:

- Ny stickväg
- Befintlig stickväg
- Befintlig stickväg i lucka
- Beståndsstråk
- Stickväg utanför bestånd

*Ny stickväg* definierades som stickvägar i beståndet där det skett avverkning av träd för att göra skogen framkomlig för maskiner. Dessa vägar identifierades genom att kontrollera förekomsten av färska stubbar. Om avståndet mellan färska stubbar i stickvägen var tio meter eller mindre registrerades den som *ny*, annars som *befintlig stickväg*. Tio meter för en befintlig stickvägssträcka ansågs lämplig då det motsvarar utrymmet en skördare med nedfälld kran och att tio meter motsvarar det dubbla mätfelet för maskinens GPS. I de fall en sträcka hade mer än tio meter mellan stubbarna samtidigt som avståndet mellan de på var sida närmaste träden översteg 8 meter, definierades den sträckan som *befintlig stickväg i lucka*. Denna definition av stickväg gällde ej om stickvägen låg mot väg, hygge, beståndsgräns eller öppen jordbruksmark. *Beståndsstråk* definierades som väg som endast skördaren använt och där mycket lite eller inget tvingande uttag skett. *Stickväg utanför bestånd* definierades som körväg utanför beståndsgräns.

Insamlingen av referensdata gjordes i fält genom att varje enskild stickväg mättes med GPS.

Under inventeringen användes en DGPS av typen Topcon GRS-1. GPS:en var kopplad till Swepos nät av referensstationer för att korrigera eventuella avvikelser i positioneringen och utrustningen hade en mätnoggrannhet på meternivå. En koordinat registrerades varannan meter och kopplades sedan samman i ett GIS. Alla stickvägar som använts av skördaren inom varje enskilt objekt mättes in med avseende på både längd och bredd. För att stickvägar i luckor eller gamla stickvägar som endast använts av skotaren inte skulle mätas in, medfördes en kartbild över alla avverkades träds positioner. På så sätt säkerställdes det att endast stickvägar använda av skördaren mättes in. Kartbilden innehöll ingen information om programmets kategorisering, detta för att undvika påverkan på inventeraren.

För att startpunkten för mätningen av stickvägsbredd skulle placeras objektivt, slumpades den första mätpunkten ut mellan noll och femtio. Eftersom GPS-koordinater registrerades varannan meter innebar detta att första mätpunkten hamnade mellan noll till hundra meter från startpunkten och endast i jämna meterintervall. Bredden mättes sedan var hundra meter till det att beståndets alla stickvägar blivit uppmätta. Breddmätningen skedde alltid på en tio meter lång sträcka med mätpunkten i mitten på sträckan. Avståndet mellan stickvägens mitt och det på var sida närmsta träden adderades för att erhålla en stickvägsbredd (Figur 1). Då stickvägar vätte ut mot öppna ytor som exempelvis åkermark eller hygge utgick mätningen av stickvägsbredd. För att ta reda på hur hprGallrings förinställda värde på stickvägsbredd förhöll sig mot några större aktörers gallringsuppföljningsresultat kontaktades fem stora aktörer inom svenskt skogsbruk som i studien fick förbli anonyma.

### *2.3 Bearbetning och analys av data*

Efter inventeringen sammanställdes och bearbetades insamlat data. Två bestånd uteslöts på grund av ofullständiga skördardata och därmed kom nio bestånd att analyseras. Skördardata bearbetades i GIS för att anpassas till de inventerade objekten. Data som registrerats för träd och trädgrupper som låg utanför ett bestånds gränser togs bort. Sådan förekomst varierande i både mängd och avstånd från beståndet, från enstaka meter till kilometer. All data som bedömdes att inte tillhöra det behandlade beståndet tog således bort. På samma sätt justerades beståndets areal för att överensstämma med den behandlade arealen. Skillnader mellan traktdirektivens areal och hprGallrings beräknade areal fanns. Då ett bestånd i ett större objekt inventerades användes kartor och data från hprGallring för att räkna ut vilken areal det ”nyskapade” beståndet hade.

Endast kategorierna ny och befintlig stickväg har använts i beräkningarna då de tre övriga förekom i låg eller ingen omfattning. Analyser av insamlade data genomfördes i statistikprogram och Excel (Microsoft Excel 2013). I syfte att granska referensdatas lämplighet för statistisk analys, då antalet objekt var lågt, kontrollerades dess normalfördelning. Fältinventerade data och skördardata samlades in i samma bestånd och därför var det möjligt att utföra parade t-tester för att ta reda på om skillnader i medelvärde förelåg. Eftersom de inventerade objekten var relativt få till antalet kompletterades de parade t-testerna med ett icke-parametriskt teckentest, som är svagare men fungerar på data som inte är helt normalfördelade. För att utvärdera felen i skattningarna beräknades RMSE (spridning hos data), relativt RMSE och bias (systematiskt fel) (Figur 6).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i})^2}$$

$$\text{RMSE \%} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{y}_{2i}}$$

$$\text{Bias} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{1i} - \hat{y}_{2i})$$

**Figur 6.** De formler som användes för beräkning av RMSE, relativt RMSE och bias, där  $\hat{y}_1$  = medelvärde för hpr-skattningen och  $\hat{y}_2$  = medelvärde för referensmätningen.

*Figure 4. The formulas used for the calculation of RMSE, relative RMSE and bias, where  $\hat{y}_1$  = average hpr value and  $\hat{y}_2$  = average reference value.*

Tabeller över root-mean square error (RMSE), relativt RMSE, bias, teckentest och parade t-tester sammanställdes för att belysa skillnader och likheter mellan insamlat data och givna skördardata. För att eliminera beståndsstorlek som förklarande faktor för utfallet och möjliggöra en jämförelse mellan skördardata och inventerat data i analyserna, dividerades all längddata i meterform med beståndets areal. Således anges all data i denna rapport i meter per hektar. I alla tester och beräkningar där värden mellan hpr och referens jämfördes, har referensvärdet subtraherats från värdet för hpr (värde<sub>hpr</sub> - värde<sub>ref</sub>).

Samtliga kartor, hpr-data och inmätta referensdata undersöktes visuellt i GIS med stöd från hprGallring för att finna avvikelser mellan hpr-data och fältmätta data. Sedan kategoriserades avvikelserna utifrån vilken karaktär de olika felen hade. Slutligen kvantifierades varje enskild avvikelse genom att med ett GIS-verktyg mäta det fel som varje avvikelse gav upphov till.



### 3 Resultat

#### 3.1 Översiktlig jämförelse av data

hprGallring gav i genomsnitt en högre andel befintlig stickväg och en lägre andel ny stickväg än vad fältinventeringen gav (Tabell 1). Det går även att utläsa att den totala stickvägslängden per hektar i medel underskattas med 5 %. Resultaten från de parade t-testerna visar att det var signifikanta under- och överskattningar av ny respektive befintlig stickvägslängd i hprGallring (Tabell 2). Total stickvägslängd var i sex av nio bestånd större i referensmätningen än i hprGallring (Tabell 1), men skillnaderna var ej signifikanta. Resultatet från teckentestet (Tabell 3) visar liksom de parade t-testerna på att ny och befintlig stickväg signifikant under- respektive överskattas. Stickvägslängden i kategori ny har klart högst bias och RMSE men lägst relativt RMSE (Tabell 4). Det låga relativa RMSE:t kan förklaras genom att längden ny stickväg per hektar är flera gånger större än befintlig längd i samtliga objekt (Tabell 1).

**Tabell 1.** Översikt över de inventerade objekten, beståndsstorlek, hprGallrings beräknade stickvägslängd per hektar, referensmätt stickvägslängd per hektar, procentuell differens mellan de två totala stickvägslängderna per hektar och procentuell andel av ny respektive befintlig stickväg. Positiv differens betyder att hprGallring överskattat den totala stickvägslängden. I sju av nio fall avviker hprGallring 7,5 % eller mindre från referensmätningarna men i två av nio fall avviker hprGallring mellan 11 och 19 %

*Table 1. Overview of the inventoried objects, object size, hprGallrings projected strip road length per hectare, reference measured strip road length per hectare, the percentage difference between the two total strip road lengths per hectare and percentage of new (ny) and existing (befintlig) strip road. Positive difference means that hprGallring overestimated the total length of strip road. In seven out of nine cases, hprGallring deviates 7,5 % or less from the reference measurements, but in two of nine cases, hprGallring differs between 11 and 19 %*

| Objekt       | Areal<br>(ha) | Total stickvägslängd (m/ha) |            | Differens<br>(%) | Fördelning av befintlig och ny stickväg |           |              |           |
|--------------|---------------|-----------------------------|------------|------------------|-----------------------------------------|-----------|--------------|-----------|
|              |               | HPR                         | REF        |                  | HPR (%)                                 |           | Referens (%) |           |
|              |               |                             |            |                  | Befintlig                               | Ny        | Befintlig    | Ny        |
| 1            | 1,15          | 561                         | 551        | 1,8              | 18                                      | 82        | 4            | 96        |
| 2            | 4,55          | 491                         | 531        | -7,5             | 13                                      | 87        | 14           | 86        |
| 3            | 5,50          | 506                         | 494        | 2,4              | 23                                      | 77        | 16           | 84        |
| 4            | 4,20          | 520                         | 518        | 0,4              | 34                                      | 66        | 26           | 74        |
| 5            | 2,40          | 506                         | 568        | -10,9            | 23                                      | 77        | 2            | 98        |
| 6            | 2,00          | 449                         | 552        | -18,7            | 6                                       | 94        | 16           | 84        |
| 7            | 1,95          | 536                         | 549        | -2,4             | 38                                      | 62        | 10           | 90        |
| 8            | 6,90          | 487                         | 521        | -6,5             | 19                                      | 81        | 6            | 94        |
| 9            | 5,90          | 516                         | 535        | -3,6             | 13                                      | 87        | 5            | 95        |
| <i>Medel</i> | <i>3,85</i>   | <i>508</i>                  | <i>536</i> | <i>-5,0</i>      | <i>20</i>                               | <i>80</i> | <i>11</i>    | <i>89</i> |

**Tabell 2.** Det parade t-testets resultat på skattad och uppmätt längd stickväg i meter per hektar fördelat på de olika kategorierna. För befintlig och ny stickväg var stickväglängden för hpr och referens signifikant skilda. För total stickväglängd var de däremot inte skilda. Medelvärde, standardavvikelse, konfidensintervall och P-värden redovisas för hprGallring och referensmätningen kategorivis

*Table 2. The paired t-test results on the estimated and measured length of strip road in meters per hectare distributed among the different categories. The results regarding existing (befintlig) and new (ny) strip road is significant. For total length of strip road, the difference is not significant. Mean, standard deviation, confidence intervals and P values are reported for hprGallring and reference, for each category*

|                             | Befintlig |           |           | Ny    |               |           | Total |            |           |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|---------------|-----------|-------|------------|-----------|
|                             | HPR       | Ref       | Differens | HPR   | Ref           | Differens | HPR   | Ref        | Differens |
| Medelvärde                  | 107,1     | 58,7      | 48,4      | 400,8 | 476,8         | -76       | 507,9 | 535,5      | -27,6     |
| Standardavvikelse           | 55,5      | 39,6      | 60,8      | 43,4  | 54            | 53,3      | 31,6  | 22,4       | 37,4      |
| Konfidensintervall,<br>95 % |           | 1,7; 95,1 |           |       | -117,0; -35,0 |           |       | -56,3; 1,1 |           |
| P-värde                     |           | 0,044     |           |       | 0,003         |           |       | 0,058      |           |

**Tabell 3.** Teckentestets resultat för de olika kategorierna. Differensen beräknades som värde<sub>hpr</sub>-värde<sub>ref</sub>. För total stickväglängd är skillnaden inte signifikant. Skillnaden gällande befintlig och ny stickväg är signifikanta enligt de konfidensintervall som beräknats. I motsats till konfidensintervallet är P-värdet för befintlig inte signifikant. Median, konfidensintervall och P-värde samt antal objekt som hamnade över eller under noll presenteras för varje kategori

*Table 3. The sign test results for the different categories. The difference was calculated as value<sub>hpr</sub>-value<sub>ref</sub>. For total length of strip road, the difference is not significant. The difference regarding existing (befintlig) and new (ny) strip road is significant even though the P-value for existing indicate the opposite. Median, confidence interval, P-value and how many objects above/below zero are reported for each category*

|                             | Befintlig | Ny            | Total      |
|-----------------------------|-----------|---------------|------------|
| Median                      | 39,1      | -55,9         | -19,0      |
| Konfidensintervall,<br>95 % | 2,1; 96,6 | -146,1; -33,0 | -57,0; 7,8 |
| P-värde (median = 0)        | 0,1797    | 0,0039        | 0,5078     |
| Över/Under                  | 7/2       | 9/0           | 3/6        |

**Tabell 4.** Bias, RMSE och relativt RMSE för befintlig, ny och total stickvägslängd från utifrån referensvärden

*Table 4. Bias, RMSE and relative RMSE is reported for existing (befintlig), new (ny) and total strip road length based on reference data*

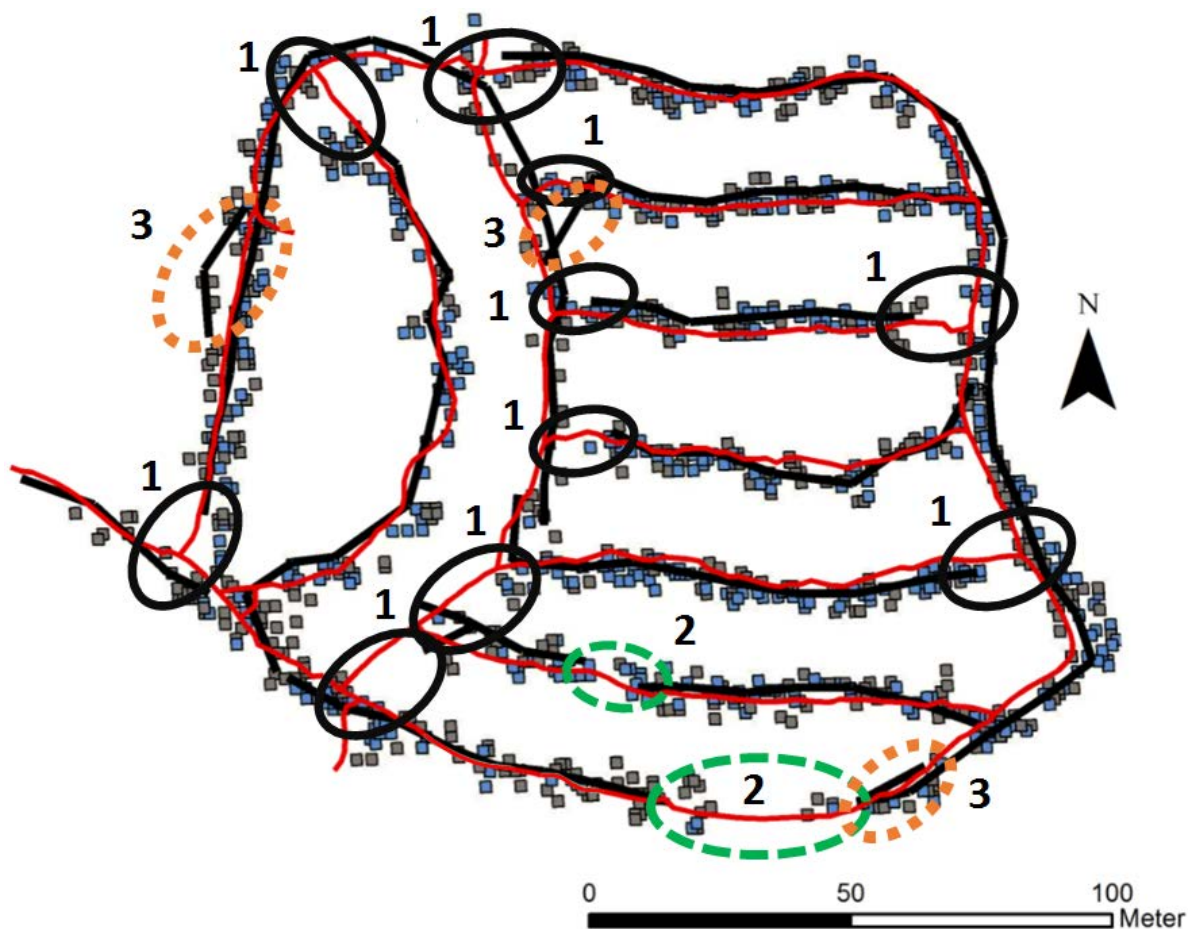
|         | Bias  | RMSE | Relativ RMSE % |
|---------|-------|------|----------------|
| Bef HPR | 48,4  | 75,0 | 127,8          |
| Ny HPR  | -76,0 | 91,1 | 19,1           |
| Tot HPR | -27,6 | 44,7 | 8,4            |

### 3.2 Kvantifiering av avvikelser

Fyra kategorier av typfel kunde urskiljas, hädanefter numrerade ett till fyra, som motsvarar olika slags avvikelser. I Figur 7 illustreras ett bestånd med markerade typfel.

Definitionerna av typfel:

- Typfel 1:** Utebliven sträcka i korsningar.  
hprGallring binder inte ihop stickvägar i korsningar (Figur 8). Detta leder till underskattning av stickvägslängd.
- Typfel 2:** Lucka på raksträcka.  
hprGallring lägger ibland inte ut stickvägar alls. Detta förekommer både mitt i raksträckor och i ändrar på stickvägar (Figur 9). Felet bidrar till underskattning av stickvägslängd.
- Typfel 3:** Dubbel dragning av sträcka,  
då det placeras ut kortare stickvägar parallellt med stickvägar som tillhör det i hprGallring skapade stickvägsnätet (Figur 10). De extra sträckningarna bidrar till ökad stickvägslängd.
- Typfel 4:** Stickväg utanför bestånd.  
Stickvägar placeras utanför beståndsgränserna på bilvägar och detta bidrar till en ökad stickvägslängd (Figur 11).



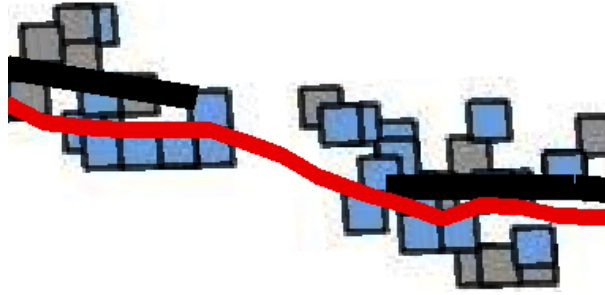
**Figur 7.** Exempelobjekt med typfel. Svart heldragen ellips markerar typfel 1, utebliven sträcka i korsningar; grön streckad ellips markerar typfel 2, lucka på raksträcka och orange streckad (korta segment) ellips markerar typfel 3, dubbel dragning av stickväg.

*Figure 7. Example objects with different type errors. Black solid ellipse denotes type 1 errors, loss of distance in the intersections; green dashed ellipse denotes type 2 errors, failed to create strip road and orange dashed ellipse (with short segments) denotes type 3 errors, dual coating the strip road.*



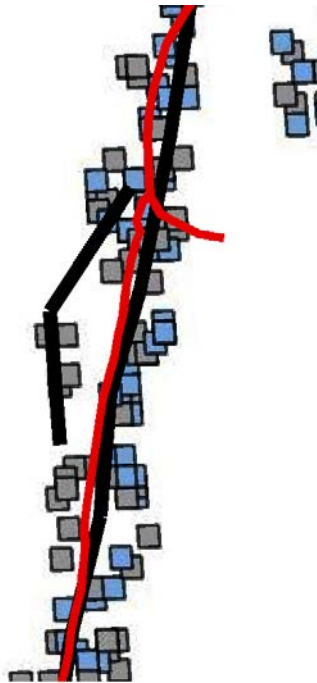
**Figur 8.** Exempel på en korsning som hprGallring missade att binda samman. Svart sträcka är hprGallrings stickvägsdragning och röd är referensmätningen.

*Figure 8. Example of an intersection where hprGallring failed to connect the strip roads. Black line is the estimation of the strip road and red is the reference measurement.*



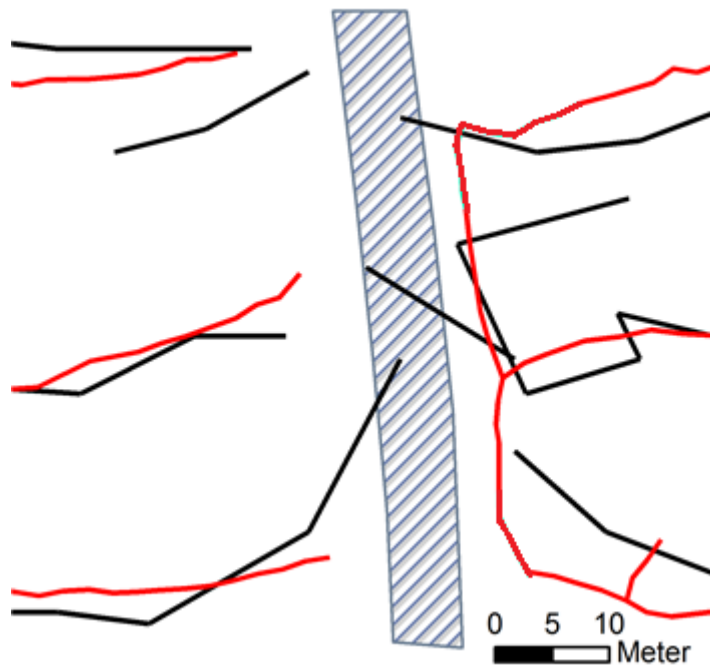
**Figur 9.** hprGallring missar att skapa stickvägar på raksträckor och luckor skapas. Svart sträcka är hprGallrings skattning och röd är referensmätning.

*Figure 9. hprGallring fails to create strip roads on the straights and gaps are created. Black line is the estimation performed by hprGallring and red is the reference measurement.*



**Figur 10.** hprGallring skapar stickvägar parallellt med det stickvägsnätet. Svart sträcka är hprGallrings skattning och röd är referensmätning.

*Figure 10. hprGallring creates strip road parallel to another strip road,. Black line is the estimation made by hprGallring and red is the reference measurement.*



**Figur 11.** Delar av stickvägar förlagda utanför beståndet, på bilvägar. Streckad zon är bilväg, svart linje är hprGallrings stickvägsdragning, röd är referensmätningens.

*Figure 11. Parts of the strip roads are located outside the stand, on the roads. Dashed zone is a public road. Black line is the estimation made by hprGallring, red is the reference measurement.*

Kvantifieringen av typfelen och deras inverkan tydliggörs i Tabell 5. Där har typfelens inverkan, bidragande till en ökning eller minskning av stickvägslängden, också slagits samman till ett värde, som visar den slutgiltiga effekten av alla typfel. En kolumn visar också vilket värde hprGallring hade beräknat om typfelens inverkan eliminerats. Det framgår att typfel 1 har störst inverkan, följt av typfel 3 och 2. Typfel 4 förkom i liten utsträckning och återfanns endast i tre objekt. I medeltal avviker total stickvägslängd per hektar 19 meter mellan referensmätningen och det nya hpr-värdet där typfelens påverkan eliminerats.

**Tabell 5.** Den totala stickvägslängden för hprGallring, de fyra olika typfelen, den slutgiltiga effekten, hprGallrings totala stickvägslängd korrigerat för typfelen samt differensen mellan de korrigerade hpr-värdena och referensvärdena. Alla värden är i *meter per hektar*. Standardavvikelse, medelvärde och ett konfidensintervall visas i den högre delen. Negativt värde på ett typfel innebär att det bidrar till en lägre skattad stickvägslängd. "Slutgiltig effekt" anger summan av mätfelen per hektar. "hpr\_tot korrigerat för typfel" visar det nya värdet för "hpr\_tot" om det tas hänsyn till den slutgiltiga effekten. "Diff. mot ref\_tot" är den beräknade differensen mellan "hpr\_tot korr. f. typfel" och "referens\_tot" (Tabell 1)

*Table 5. The total length of strip road hprGallring, the four different type errors, the final effect, hprGallrings total strip road length corrected for the type errors and the difference between the corrected hpr values and reference values. All values are in meters per hectare. Standard deviation, mean and a confidence interval is displayed in the right part. Negative value of a type errors means that it contributes to a lower estimated strip road length. "Slutgiltig effekt" is the merged value for the type errors per hectare. "hpr\_tot korrigerat för typfel" displays a new value for "hpr\_tot" compensated for the type errors. "Diff. mot ref\_tot" is the calculated difference between "hpr\_tot korr. f. typfel" och "referens\_tot" (Table 1)*

| Bestånd                 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | STDAV | MV  | KI         |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------------|
| hpr_tot (m/ha)          | 561   | 491   | 506   | 520   | 506   | 449   | 536   | 487   | 516   | 31,6  | 508 |            |
| Typfel 1                | -13   | -60   | -41,4 | -33,3 | -52,5 | -109  | -26,7 | -39,2 | -62,1 | 27,5  | -49 | 66,9; 30,2 |
| Typfel 2                | -26,1 | -11   | -12,3 | -7,9  | -19,6 | -39,5 | -13,3 | -35,9 | -9,5  | 11,8  | -19 | 27,3; 11,6 |
| Typfel 3                | 31,3  | 22,9  | 6,3   | 22,9  | 27,1  | 36    | 18    | 32    | 34,1  | 9,4   | 26  | 31,9; 19,4 |
| Typfel 4                | 20,9  |       |       | 1,9   |       |       |       | 35,9  |       | 13,6  | 20  | 28,7; 10:5 |
| Slutgiltig effekt       | 13    | -48,1 | -47,5 | -16,4 | -45   | -112  | -22,1 | -7,2  | -37,5 | 31,6  | 39  |            |
| hpr_tot korr. f. typfel | 547,8 | 539,3 | 553,3 | 536,4 | 550,8 | 561   | 557,9 | 494,2 | 553,5 | 20,3  | 544 |            |
| Diff. mot ref_tot       | -3    | 8     | 60    | 18    | -17   | 9     | 9     | -27   | 19    | 17,2  | 19  |            |

### 3.3 Stickvägsbredd

Referensinventeringens medelvärde för stickvägsbredden blev 4,8 meter, vilket är 0,6 m bredare än den i hprGallring förinställda bredden. Standardavvikelsen blev i genomsnitt 0,7 meter, med en minsta och största stickvägsbredd uppmätt till 3,6 respektive 9,5 meter (Tabell 7). Tre värden är att betrakta som extrema, två av dessa kan dock hänföras kategorin befintlig stickväg i lucka, som under arbetets gång inneslutits i kategorin befintlig stickväg. Medelvärdet för stickvägsbredd hos de fyra större svenska skogsaktörerna är 4,35 meter (Tabell 8).

**Tabell 7.** Stickvägars medelbredd, standardavvikelse, min- och maxvärden, median och antal mätningar gjorda per objekt redovisade för varje objekt.

*Table 7. Average strip road width, minimum and maximum values, standard deviation, median and number of measurements made per object reported for each object.*

| Objekt     | Medelbredd | Standard-<br>avvikelse | Min | Max | Median | Antal<br>observationer |
|------------|------------|------------------------|-----|-----|--------|------------------------|
| 1          | 4,3        | 1,0                    | 3,9 | 4,8 | 4,3    | 6                      |
| 2          | 5,4        | 0,9                    | 3,9 | 5,8 | 5      | 19                     |
| 3          | 4,5        | 0,0                    | 3,6 | 5,5 | 4,6    | 21                     |
| 4          | 4,7        | 0,5                    | 3,6 | 6,5 | 4,5    | 19                     |
| 5          | 4,5        | 0,5                    | 3,8 | 5,6 | 4,3    | 12                     |
| 6          | 5,4        | 1,2                    | 4,3 | 7,5 | 5,2    | 8                      |
| 7          | 4,7        | 0,7                    | 3,7 | 6,1 | 4,4    | 9                      |
| 8          | 4,8        | 0,3                    | 3,9 | 8,1 | 4,4    | 26                     |
| 9          | 4,7        | 1,1                    | 3,8 | 9,5 | 4,7    | 28                     |
| Medelvärde | 4,8        | 0,7                    | 3,8 | 6,6 | 4,6    | 16                     |

**Tabell 8.** Förteckning över de anonymiserade aktörernas medelbredd och mätsträcka som används vid inventering av stickvägsbredd. Aktör E hade en annorlunda mätmetod och deras medelbredd togs inte med i beräkningen av medelvärdet.

*Table 8. List of the anonymized operators average strip road width and distance measure used in the inventory of strip road width. Operator E had a different measure method and was therefore excluded from the width calculation.*

| Företag    | Medelbredd | Mätsträcka |
|------------|------------|------------|
| A          | 4,40       | 10         |
| B          | 4,30       | 10         |
| C          | 4,40       | 10         |
| D          | 4,30       | 10         |
| (E)        | (4,10)     | (50)       |
| Medelvärde | 4,35       |            |



## 4 Diskussion

### 4.1 Skattnings precision

Automatisk gallringsuppföljning ses som ett steg i rationaliseringen av skogsbruket. De flesta gallringsparametrar som idag följs upp kan nu behandlas automatiskt med mycket god precision. Likväl finns förbättringsutrymme i beräkningarna kring stickvägar och deras kategorier för att få värden som har jämförbar precision som övriga skattade parametrar.

#### 4.1.1 Skillnad i stickvägslängd

Resultatet från de parade t-testerna visar att stickvägslängd skattad med skördardata till viss del stämmer överens med insamlade referensdata. I sju av nio fall avviker hprGallring 7,5 % eller mindre från referensmätningarna men i två av nio fall avviker hprGallring mellan 11 och 19 %. Detta bör tolkas som ett gott resultat men det finns också mycket förbättringspotential utifrån de felkällor som identifierats. De skattade värdena skiljer sig från de inventerade genom att hprGallring signifikant underskattar och överskattar ny respektive befintlig sträcka. Det kompletterande teckentestet visar på samma resultat även om P-värdet för befintlig stickväg, 0,1797 visade på det motsatta. Detta beror på att binomialfördelningen som används i testet är en diskret fördelning. När p-värdet i det här fallet beräknades användes ett binomialtest på två lyckade och sju misslyckade. Detta är samma sak som att singla slant nio gånger och endast få två kronor. För att P-värdet ska vara signifikant måste antalet lyckade tillfällen i vara ett av nio eller färre. I konfidensintervallet kan en skattning göras med en icke-linjär interpolering av de två mest närliggande utfallen och ett 95 %-igt konfidensintervall kan erhållas. Därför är konfidensintervallet i detta fall mer tillförlitligt. Då test för normalfördelning visade på att t-test som statistisk metod skulle fungera trots det lilla stickprovet borde de beräknade värdena vara giltiga men med ett större stickprov skulle ge bättre säkerhet.

Relativt RMSE visar att den totala stickvägslängden skattas med relativt hög precision på 8,4 % men med en viss underskattning som i medeltal ligger på -27,6 meter per hektar. Ny stickväg är den klassen som har störst absolut RMSE och bias. Ett relativt RMSE på 19,1 % och ett systematiskt fel på -76,4 meter per hektar i kombination med konfidensintervallen för både parade t-test och teckentest som visar samma bild, är det uppenbart att detta är stickvägskategorin där vidare utvecklingsarbete måste läggas först. Den befintliga stickvägen utgör inte alls lika stor andel av stickvägsnätet. Ett absolut RMSE på 75 meter motsvarar 127,8 % av medelvärdet hos fältmätningarna. Med ett bias på 48,4 meter per hektar är det svårt att urskilja om det finns ett systematiskt fel då spridningen är så pass stor.

### 4.1.2 Typfel

Det förekommer olika former av avvikelser i hprGallring som gör att de skattade värdena inte överensstämmer med referensmätningarna. Ett fel som inte blivit definierat som ett typfel är positioneringen av nya stickvägar i hprGallring inte helt stämmer överens med positioneringen av total stickväg i samma programvara. Detta fel yttrar sig genom att nya stickvägar inte hamnar rakt ovan på stickvägsnätet för alla stickvägar när de behandlas i GIS. Detta fel påverkar dock inte resultaten i programvaran i någon speciell utsträckning och har därför inte utretts. I Tabell 5 framkommer det att om de fyra definierade typfelen kunde elimineras skulle skillnaden mellan hprGallring och referensmätningen i genomsnitt, per hektar, endast vara 19 meter när det kommer till total stickväglängd. Vilket är ungefär 3,5 procent av den genomsnittliga stickväglängden per hektar för referensmätningen (Tabell 1).

De fyra största avvikelsetyperna har definierats som fyra olika slags typfel. Typfel 1 är den största enskilda faktorn som påverkar slutresultatet följt av typfel 3, 2 och 4. Högst troligt ligger orsakerna till typfel 1-3 i samma del av hprGallrings algoritmer. Dessa verkar inte ta tillräcklig hänsyn till maskinens sätt att återkomma till samma, eller samma område mer än en gång.

Typfel 1 (Figur 8) uppstår i korsningar och innebär att stickvägar inte läggs ut mellan avverkningspositioner medan typfel 2 innebär att hprGallring inte lägger ut någon stickväg alls i slutet eller i mitten på en stickväg. Dessa båda typfel verkar uppstå på sträckor där det är glesare mellan avverkningspositionerna. Typfelen kan också kopplas samman med skeendet att skördaren avverkar träd fram till en punkt och sedan *vänder* om och fortsätter på annat håll, för att sedan återkomma från det andra hållet och då inte köra ända fram till *vändpunkten*. Detta exempel passar bra in på typfel 2 (Figur 9) men är egentligen samma sak som sker när typfel 1 uppkommer. En korsning uppstår när en skördare kommit ända fram till en punkt på en stickväg där det finns stickväg åt minst två håll. Det vill säga minst tre noder ska knytas samman. Dock behöver inte skördaren alltid hugga upp en stickväg fram till en annan stickväg för att en korsning ska uppstå. Om exempelvis beståndet är gles kan kranen sträckas långt ut och avverka ett träd för att stickvägen ska vara fullt framkomlig mot nästa stickväg. Då lagras maskinpositionen så långt ifrån de maskinpositioner som ligger på nästa stickväg att dessa inte kopplas ihop till en stickvägskorsning. Delar av dessa problem skulle också kunna hänföras till det fasta värdet för avstånd från maskin till aggregat på nio meter, varifrån trädets position slumpas ut längs en med kranens riktning tänkt linje. Trädet kan då placeras inom exempelvis fem meter från maskinen fastän det är elva meter bort. Detta kan också sättas i förbindelse till de tillfällen som hprGallrings stickvägar slutar tiotalet meter för tidigt i en del stickvägsändar. Avverkar maskinen de sista träden med fullt utsträckt kran samtidigt som den står inom sju meter från den senaste avverkningsposition läggs ingen stickväg ut däremellan.

Uppkomst av parallella stickvägar, typfel 3 (Figur 10), sker när skördaren återkommer till ett ställe där den tidigare varit men denna gång färdas längs samma stickväg och gör kompletterande uttag. Det skapas då ibland en parallell stickväg mellan de nya avverkningspositionerna. Är förskjutningen i sidled jämfört med de befintliga avverkningspositionerna och de nya så stor att den överskrider satt inställning i hprGallring, registreras nya grupper och en parallell stickväg kan skapas. Den risken är större om skördaren koncentrerar kompletteringen på ena eller andra sidan av stickvägen men även mätfel i GPS:en kan spela in för att avståndet mellan de nya inlagrade grupperna ska hamna mer än sju meter från de tidigare skapade grupperna (se Figur 5). Att parallella stickvägar ibland uppstår i ändar av stickvägar eller vid mindre instick, kan bero på att maskinen står

klar relativt länge om det finns många stammar att avverka. När maskinen är stillastående kan drift i GPS:ens positionering bidra till typfelet.

Maskinpositioner som lagras utanför bestånd, exempelvis på väg, för träd som står i beståndet ger upphov till registrering av stickväg utanför beståndet. Vilket bidrar till typfel 4 (Figur 11) som dock förekom i ringa omfattning. Stickvägar som lagts ut av hprGallring på detta vis togs med i de statistiska analyserna då de tekniskt sett låg inom beståndsgränserna då träden gallrades ut från det aktuella beståndet. På sikt bör hprGallring modifieras för att inga stickvägar ska registreras på exempelvis bilvägar. Om underskattningarna åtgärdas kommer detta fel leda till en överskattning av stickvägsandelen för de bestånd som delvis blivit gallrade från väg. Eftersom de på ett felaktigt sätt bidrar till stickvägsandelen, som blir högre än den verkliga.

Koordinater och data för träd som avverkats i på andra platser runt bestånden men som inte tillhör dem måste tas bort för att inte felaktiga skattningar göras. Kring flera inventerade bestånd fanns det i hpr-data lagrat maskinpositioner för exempelvis avverkning av enstaka träd längs med närliggande vägar och på gårdar men också för hela avverknings av andra bestånd. I analysen av hpr-data togs data som inte ansågs tillhöra beståndet bort för att rimliga värden skulle kunna beräknas.

Typfel 1 och 2 är troligen orsakerna till att ny stickväg underskattas i så stor grad. Då stickvägarna inte binds ihop i korsningarna och att stickväglängd faller bort i slutet eller i mitten på stickvägar. Att total stickväglängd per hektar endast skiljer sig 5 % kan tyckas anmärkningsvärt utifrån storleken på typfelen. Men eftersom felen är av olika karaktär och bidrar på olika sätt till stickväglängden, tar de ut varandra och slutresultatet ser bättre än vad det egentligen det är.

#### **4.1.3 Kategorisering och definition av stickvägar**

Ett utökat antal stickvägskategorier i hprGallring kan i nuläget inte motiveras av den orsaken att beräkningsalgoritmen av stickvägar måste justeras. Det kan dessutom tyckas att två kategorier, ny och befintlig stickväg, uppfyller de behov som finns vid gallringsuppföljning. Intressenterna av gallringsuppföljningarna är främst skogsägaren och entreprenörens arbetsgivare. Skogsägaren är ofta intresserad av hur stor stickvägsandel det är. Det ger en bild av hur stor del av beståndet det inte växer någon skog på. Entreprenör och arbetsgivare kan antas vara mer intresserade av hur mycket ny stickväg som skapas Detta för att kunna svara på eventuell kritik från markägaren. Om stickvägarna delas upp i andel befintlig stickväg och andel ny kan markägaren direkt få veta hur stor den totala stickvägsandelen är men också hur stor del av den som entreprenören skapat. Utöver kategoriseringens bidrag till hur stickvägsandelarna är fördelade så förbättras även hprGallrings beståndsprognostisering.

I fältinventeringen mättes slingerstråk och befintliga stickvägar i luckor in men dessa utgjorde en extremt liten andel och analys av dessa värden skulle vara intetsägande. Därför inneslöts värdena för befintliga stickvägar i luckor i kategorin befintlig stickväg. Slingerstråk används i gallringar där syftet är att få så lite stickvägar som möjligt och därför kan det tyckas att denna typ av stickväg per definition inte ska ingå som kategori i hprGallring. Dock kan inte stickvägsarealen i en slingstråkgallring förbises helt då den sannolikt inte utgör en oansenlig del då ett visst tvingande uttag alltid sker. Studier kring hprGallrings funktionalitet i slingergallringar skulle behövas för att kontrollera programmets lämplighet i bestånd som ska stickvägs gallras med kompletterande slingerstråk. Problem kan dock förväntas uppstå med stickvägsdefinitionen och frågan om hur många huvud- och bistammar som måste tas ned på

en given sträcka för att vägen skall kallas stickväg och inte slingerstråk. I dagsläget finns ingen enhetlig definition av begreppet stickväg eller stickvägsbredd. Men ett förslag på hur stickväg bör definieras i hprGallring är: *”alla de vägar, skapade på grund av tvingande uttag eller ej, som skördaren använder när den avverkar stammar.”* Inmätta stickvägar ska sedan kunna delas upp i ny och befintlig för att möta de olika intressenternas informationsbehov.

Det finns också ett behov av att definiera vilka delar som ska ingå i ett bestånds uppföljning då traktidirektivens areal inte stämmer överens med hprGallrings prognoser. Detta eftersom obehandlade ytor inte arealbestäms i hprGallring. Övriga avverkningar utanför huvudobjektet inverkar på hprGallrings resultat genom att den behandlade arealen ökar men också, som tidigare diskuterats, till en felaktig ökning av stickvägslängden. Om en mer exakt aggregatpositionering utvecklas kan den positionen användas istället för maskinens, i syfte att förbättra arealbestämningen.

#### **4.1.4 Stickvägsbredd**

hprGallrings förinställda värde på stickvägsbredd överensstämmer inte med resultaten från fältinventeringen. Det förinställda värdet på 4,2 meter och är 0,6 meter lägre än det värde framkom i fältinventeringen. Anledningen till att det fältmätta värdet blev så pass mycket högre är okänt. Medelvärde på stickvägsbredden hos de fyra större aktörerna är 4,35 meter. Skillnaden mot dessa värden inte alltför stor men att en höjning av det förinställda värdet behövs är nog tydligt. Bredden på stickvägarna har direkt inverkan på stickvägsandelen. En höjning av värdet på stickvägsbredden från 4,2 till 4,3 meter ökar stickvägsarealen med cirka 2,4 %. Bredden på stickvägarna kan antas vara starkt beroende av vilken mätmetod som används. I Tabell 8, som visar medelvärden för stickvägsbredd och längd på den mätsträcka som används vid stickvägsinventering, framgår det att aktören med fem gånger så lång mätsträcka får en markant lägre stickvägsbredd. Detta kan förväntas då det finns fler närliggande träd och hinder på var sida om stickvägen på en femtio meter lång sträcka jämfört med en tio meter lång. Därför skulle ytterligare studier av skogliga aktörers gallringsuppföljningar med medelvärden på stickvägsbredd bidra till ett mer korrekt värde på den, i hprGallring, universella stickvägsbredden. Det skulle också vara av vikt att undersöka vilka slags inventeringsmetoder de olika aktörerna i landet använder sig av för att mäta stickvägsbredd. Data inmätt med olika metoder är svåra att jämföra. Dock finns det ingen helt vedertagen metod för att mäta den sanna stickvägsbredden. På längre sikt skulle en metod för automatisk beräkning av stickvägsbredd i hprGallring, med hjälp av sensorer eller dylikt, vara den mest effektiva och objektiva metoden för mätning av stickvägsbredd. På kortare sikt skulle kanske inställningen för stickvägsbredd göras tillgänglig i användargränssnittet för den enskilde entreprenören eller dess arbetsgivare. Om bredden kunde ställas in manuellt utifrån maskinens, förarskicklighetens eller beståndets beskaffenhets påverkan, skulle sannolikt hprGallrings beståndsskattningar bli bättre.

## 4.2 Studiens utformning

De felkällor som kan vara aktuella i fältinventeringen är mätfel och felaktiga inställningar i GPS:en. GPS:ens mätvärden anses dock vara rimliga och utan större fel då de stickvägar som hprGallring lagt ut, helt överensstämmer med de insamlade i nästan alla objekt. Den felkälla som anses påverka resultatet i störst utsträckning är den manuella kontrollen av kategorierna befintlig och ny stickväg. Mängden ris i stickvägarna varierade mellan objekt och utgjorde ett problem i den manuella kategoriseringen då stubbar ofta var övertäckta. Detta löstes genom att lyfta undan ris och grenar men också genom att härleda olika rishögar till vissa stubbar i den absoluta närheten av stickvägen för att därmed utesluta att en stubbe skulle finnas under riset i stickvägen.

Ett större stickprov hade gett en större noggrannhet i både skattningarna av kategoriernas längder och i jämförelsen mellan referensdata och hpr-data. Dessutom skulle fler kategorier kunnat mätas in för analys. Inledningsvis skapades fem kategorier men bara två kom att vara till användning. Dock har troligtvis inte typfelens förekomst på beståndsnivå påverkats av det låga stickprovet. Eftersom hprGallring fungerar olika bra i olika slags bestånd hade det varit önskvärt med ett större stickprov. Urvalet av bestånd var väldigt begränsat, tjugo stycken objekt motsvarande ett litet större antal skilda bestånd fanns att tillgå. Varibland vissa bestånd hade inkompleta skördardata. Ingen randomisering i valet av bestånd gjordes utan valen baserades på yttre faktorer som inventeraren sedan på ett subjektivt sätt utgick ifrån. Vilket kan ha medfört något slags bias.

Vid kvantifieringen mättes de identifierade typfelen manuellt med ett mätverktyg, det var alltså ingen applikation som automatiskt gjorde dessa skattningar. Detta medför en större osäkerhet och de konfidensintervall som angavs i Tabell 5 skattades därför grovt med två standardavvikelser. Olika programinställningar i hprGallring, enligt Figur 4, testades för att försöka att minska problemen kring hur positioner inte kopplas samman när maskinen återkommer till samma plats en eller flera gånger. Ändrade inställningar medförde dock inga nämnvärda förbättringar av skattningarna från hprGallring.

## 4.3 Framtida studier och tillämpningar av hprGallring

hprGallring bidrar till en rationaliserad och effektiviserad gallringsuppföljning. Programmet möjliggör nationella och regionvisa jämförelser då uppföljningsmetoden blir densamma för de större aktörerna – om de väljer att introducera hprGallring. Dessutom skulle mycket arbete och tid sparas in. Även utbildning av nya förare och kalibrering av mer erfarna förare skulle kunna underlättas med programmet. Med hprGallring skulle skogsägare och gallringsutförare i framtiden få snabbare tillgång till mer objektiva data från gallringsuppföljningar än vad som fås idag. Det skulle bli lättare för både markägare och utförare att vid exempelvis en tvist angående kvaliteten på ett utfört arbete, se om utföraren brustit i vad som är överenskommet i traktordirektivet. Likväl är en snabbare och effektivare uppdatering av skogsbruksplaner eller beståndsregister möjlig.

I denna studie har framförallt stickvägsfunktionen studerats och det står klart om hprGallring ska uppnå tillfredställande resultat gällande stickvägsparametrar i framtiden, krävs fler studier liknande denna. Dessa kan dock först utföras efter att algoritmerna justerats utifrån denna studies resultat. Likväl återstår det en hel del arbete med programmet om man vill att det ska fungera i bestånd som inte gallras som konventionella låggallringar.

Enligt Burström (2016) har programmet svagheter i områden där skogen är heterogen, gles och där gallringsbehovet är svagt. Liksom vid riktade huggningar mot speciella träslag eller diameterklasser, vilket också observerades i studien av Möller m.fl. (2015). När uttaget sker ojämnt mellan olika träslag och diameterklasser gör hprGallring, egentligen blinda, antaganden om skogen utifrån de avverkade stammarna, vilket leder till felaktiga skattningar – om både stickvägar och övriga beståndsegenskaper.

#### *4.4 Slutsatser*

Det står klart att de värden som hprGallrings nuvarande beräkningsalgoritmer beräknar för de två kategorierna inte överensstämmer med fältinventeringens. Ny stickväg underskattas signifikant och befintlig överskattas signifikant samtidigt som den totala stickvägslängden underskattas med 5 %, dock ej signifikant. Avvikelseorna som identifierades och kvantifierades utgör till största del orsaken till skillnaderna mellan hprGallrings skattningar och fältdata. Om typfelens inverkan på hprGallrings värden elimineras, skiljer sig dessa nya värden endast 19 meter per hektar när det gäller total stickvägslängd. Ett sådant resultat ifrån en automatiserad gallringsuppföljning måste anses vara mycket god, endast 3,5 procent av den genomsnittliga totala stickvägslängden per hektar i referensmätningen, 536 meter.

Det fasta värdet på stickvägsbredd stämmer enligt fältinventeringen dåligt men bättre med de fyra större skogsaktörerna. En höjning av det fasta värdet behövs för att få mer korrekta beräkningar på stickvägsandelar. Att göra det möjligt att manuellt ställa in breddvärdet eller manuellt mata in breddvärden från uppföljning torde vara två olika sätt för att ytterligare öka precisionen i skattningarna.

Studien är gjord på ett litet stickprov men detta har sannolikt inte haft någon påverkan på de huvudsakliga resultaten kring avvikelser mellan hprGallrings skattningar och fältinventeringens värden. Innan ytterligare studier görs på detta område bör algoritmerna för hprGallrings skattningar kring stickvägar uppdateras utifrån denna studies resultat. Sedan torde det vara fullt möjligt att uppnå mycket god precision i både stickvägskategorisering, längdmätning av dessa och stickvägsandelar.

## Referenser

- Agestam, E. (2009) Skogsskötselserien - Gallring. Tillgänglig [Online]: <http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/Skogsskotselserien/PDF/07-Gallring.pdf> [2016-09-07].
- Bergkvist, I. & Staland, F. (2003) Gallra med kvalitet- förberedelser, utförande, uppföljning och återkoppling. Uppsala: Skogforsk
- Bergkvist, I. (2010) Gallra från stickväg eller med stråk? Studier vid Holmen Skog, resultat nr 16, Skogforsk.
- Bhuiyan, N., Möller J. J., Hannrup, B. & Arlinger, J. (2016). Automatisk gallringsuppföljning, arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Arbetsrapport 899. Uppsala: Skogforsk.
- BillerudKorsnäs (2013) Gallring – en handledning från BillerudKorsnäs Skog. Tillgänglig: [Online] [http://www.billerudkorsnas.com/Global/BillerudKorsn%C3%A4sSkog/Handledingar/INS-4787-v.12.0\\_Handledning\\_Gallring\\_4\\_dec\\_2013.pdf](http://www.billerudkorsnas.com/Global/BillerudKorsn%C3%A4sSkog/Handledingar/INS-4787-v.12.0_Handledning_Gallring_4_dec_2013.pdf) [2017-01-24]
- Björheden, R, Fröding. A. (1986) Ny rutin för praktisk gallringsuppföljning. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsatser och resultat nr 48.
- Björkhem, U., Fries J., Lundeberg G. & Scholander J. (1983). Studier över körskador vid gallring. Sveriges lantbruksuniversitet, projekt P141: Inverkan av körning med tung traktor på tillväxt och rötförekomst i gallringsbestånd.
- Bucht, S. (1981) Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel.
- Burström, O. (2016) Rätt gallringskvalitet med automatisk gallringsuppföljning. Examensarbete 2016:4. Sveriges lantbruksuniversitet. Umeå: Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi.
- Bylund, A. (2008) En analys av SCA skogs ABs metod för egenuppföljning av gallringar. Examensarbete 2008:1. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel.
- Christiansen L. (red) (2014). Skogsstatistisk årsbok 2014. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Dahlin, B. (1980) Slingrande stickvägar i förstagallringar. Rapport nr 136. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik.
- Dahlin, B. (1986) Slingrande stickvägar, Uppsatser och resultat nr 52. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik.
- Diggie J.P. & Knutell, H. (1979) "KNIGGLE" – en ny metod för skattning av stickvägsbredd. Rapport 125. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik.

- Elfving, B. & Tegnhammar, L. (1996) Trends of tree growth in Swedish forests 1953-1992: an analysis based on sample trees from the National Forest Inventory. SLU Umeå, institutionen för Skogsskötsel.
- Eriksson, L., Fröding, A. & Thörlind, U. M. (1982) Rutin för beståndsinventering efter gallring. Stencil nr 194. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik samt Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Eriksson, H., Johansson, U. & Karlsson, K. (1994) Effekter av stickvägsbredd och gallringsform på beståndsutvecklingen i ett försök i granskog. Rapport nr 38. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogproduktion.
- Fransson, A. (2008) Vindskador vid stickväg i 1:a och 2:a gallring i Boxholm, Östergötland -i stormen Pers fotspår. Examensarbete 108. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap.
- Fröding, A. (1982) Hur ser våra nygallrade bestånd ut? En studie av 101 st slumpmässigt valda gallringsbestånd. Rapport nr 144. Garpenberg: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik.
- Fröding, A. (1983) Skador och stickvägar vid delmekaniserad gallring. Rapport nr 152. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik.
- Fröding, A. (1985) Skador på kvarstående träd vid gallring. Skogsakta teknik och virke, nr 10. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. (2015) Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 857. Uppsala: Skogforsk.
- Hannrup, B., Möller, J.J. & Bhuiyan, N. (2016) Automatiserad gallringsuppföljning – användargrupp för hprGallring. Arbetsrapport 901. Uppsala: Skogforsk.
- Holmen, (2010) Gallringshandledning. Tillgänglig: [Online] <https://www.holmen.com/globalassets/holmen-documents/publications/handledning/gallringshandledning.pdf> [2016-09-28]
- Håkansson, M. (red), (2000) Skogencyklopedin. Stockholm: Sveriges Skogsvårdsförbund.
- Isomäki, A. & Niemistö, P. (1990) Effects of strip roads on the growth and yield of young spruce stand in southern Finland. Folia Forestalia 756. Helsingfors, Finland: Skogsforskningsinstitutet.
- Laestadius, L. (1986) Stickvägsbegreppets definition och användning. Uppsatser och resultat nr 52. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik.
- Lindmark, M. (2002) Skillnader i metod, kvalitet och ekonomi mellan stickvägs- och beståndsstråkgallring. Examensarbete 2002:2. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel.



Lindström, F. & Olbers, A. (2009) Analys av linjetaxering i samband med gallringsinventering med avseende på kvalitet. Examensarbete 2009:19. Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet.

Mäkinen, H. & Isomäki, A (2004) Thinning intensity and growth of scots pine stands in Finland. Forest ecology and management. Volym 201, 311-325

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 nr. 756. Uppsala: Skogforsk.

Möller, J.J., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. (2015) Utveckling och test av beslutstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 862. Uppsala: Skogforsk.

Nordberg, M. (1987) Uppföljning av gallring. Spånga: Forskningsstiftelsen skogsarbeten.

Nordbrandt, A. (2002) Analyser med Indelningspaketet av privata skogsfastigheter inom Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. Arbetsrapport nr. 101. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för resurshushållning och geomatik.

Norra Skogsägarna (2007) Gallringsriktlinjer & gallringsmallar. Umeå: Norra Skogsägarna Tillgänglig [Online]: [www.norra.se/SiteCollectionDocuments/GallringsmallarNorra\\_07.pdf](http://www.norra.se/SiteCollectionDocuments/GallringsmallarNorra_07.pdf) [2016-09-09]

Nygren, L. (red) (1994) Skogsordlista. Danderyd: Solna: Sveriges skogsvårdsförbund, Tekniska nomenklaturcentralen.

Persson, A. (2000) Gallring med kvalitet: skogsägarens syn på gallring. Examensarbete 2000:11. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogshushållning.

Skogsstyrelsen, (2016). Gallring. Tillgänglig [Online]: <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Skota-skog-/Avverkning/Gallring/> [2016-09-10]

Sondell, J. (1974) Mätning av stickvägsareal. Stencil 1974-12-23. Skogsarbeten, (opublicerad).

Skogforsk, (2016-08-11) Hur hårt ska jag gallra? Tillgänglig [Online]: <http://www.skogskunskap.se/skota-barrskog/gallra/gallringsprogram-och-stamval/hur-hart-ska-jag-gallra/> [2016-10-5]

Stendahl, J., Dahlin, B. (2002) Possibilities for harvester-based forest inventory in thinnings. Scandinavian Journal of Forest Research (17): 548-555.

Ståhl, G. (1992) En studie av kvalitet i skogliga avdelningsdata som insamlats med subjektiva inventeringsmetoder. Rapport 24. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för biometri och skogsindelning.

Sydved (2017) Spårlös avverkning – minimerar markskador och ger effektivare skotning. Tillgänglig [Online]: <https://www.sydved.se/skogsbruk/slutavverkning/sparlos-avverkning-%E2%80%93-minimerar-markskador-och-ger-effektivare-skotning> [2017-01-15]

Södra, (2016) Södra inför gallringstjänst med markskoning. Tillgänglig [Online]: <https://www.sodra.com/sv/om-sodra/pressrum/pressmeddelanden/2193384/> [2016-10-10]

Thelin, A. (1989) Checklista – Engreppsskördare i gallring. Kista: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.

Thor, M., Eriksson, I. & Mattsson, S. (1996) Automatisk datainsamling i maskinen – för förarstöd och uppföljning. Resultat nr 19. Uppsala: Skogforsk.

Wallentin, C. (2006) Gallring i granskog. Rapport 2007:29. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Sydsvensk Skogsvetenskap.

Åneklint, A. (1999) Kvalitetssäkring i gallring - en praktisk metod för att kontrollera resultatet av gallringsarbete. Examensarbete 1999:13. Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsingenjörsprogrammet.