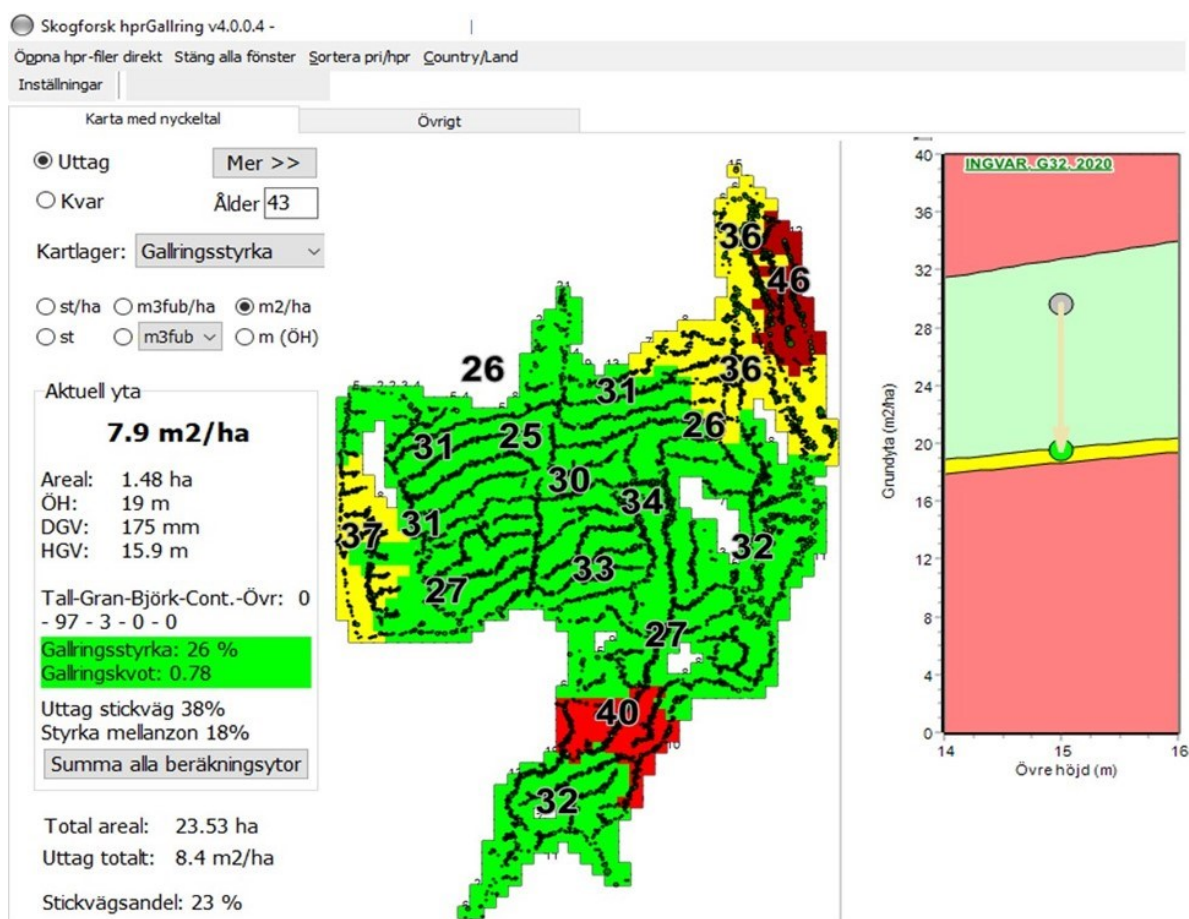


Förbättrad styrning av gallringsarbetet för ökad tillväxt i yngre och medelålders skog

Björn Hannrup, Johan J. Möller, John Arlinger, Ingemar Eriksson (Forbis)



Framsida: Bild från programmet hprGallring

Innehåll

Förord	3
Summary	4
Sammanfattning.....	4
Bakgrund	7
Syfte och mål.....	8
Material och metoder	9
Modell för beräkning av gallringsstyrka och beståndsvariabler	9
Material och modellutveckling	9
Utvärderade modeller	12
Modell för skattning av trädslagsfördelning efter gallring	13
Modell för bestämning av stickvägsandel.....	14
Praktisk test med hprGallring hos skördarlag	15
Implementering i hprGallring	15
Resultat och diskussion	17
Modell för beräkning av gallringsstyrka och beståndsvariabler	17
Gallringsstyrka	17
Gallringskvot	18
Grundyta efter gallring	20
Volym efter gallring	23
Trädslagsfördelningsgrad	25
Grundytevägd medeldiameter i brösthöjd	28
Stamantal.....	30
Modell för bestämning av stickvägsandel.....	31
Praktisk test med hprGallring hos skördarlag	32
Referenser.....	34
Bilaga 1. Algoritm för stickvägsberäkning.....	35
Beräkningsmatris.....	35



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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 7 juni 2021 av Maria Nordström, Bitr. programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 21 juni 2021.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport är utarbetad inom ramen för projektet ”Förbättrad styrning av gallringsarbetet för ökad tillväxt i yngre och medelålders skog”. Projektet har finansierats av medel från Södras Stiftelse för Forskning, Utveckling och Utbildning samt av medel från Skogforsks ramprogram.

I studien har sju skördarlag från sex entreprenörsföretag testat programvaran hprGallring med gallringsmallar integrerade. Följande företag har medverkat i testerna: Vaggeryds skogstransport, Mats Dahlström, Br. Nilsson, RG Skog, Ararp och K&G Skogstjänst. Inför testerna anordnades en utbildning kring automatiserad gallringsuppföljning för berörda produktionsledare. Från Södra deltog följande personer i utbildningen: Patrik Anderchen, Robert Frisk, Gustaf Karlström och Lars-Göran Ljungberg.

Under arbetet har löpande avstämning skett med en referensgrupp bestående av Patrik Anderchen, Henrik Holmberg och Magnus Petersson, samtliga Södra.

Ingemar Eriksson, Forbis AB, har utvecklat den algoritm som användes för beräkning av stickvägsandel. Planering av studien samt genomförande och analys har utförts av en arbetsgrupp bestående av John Arlinger, Björn Hannrup, Staffan Jacobson och Johan J. Möller, samtliga Skogforsk.

Ett varmt TACK till samtliga som bidragit till studien!

Johan J. Möller (Projektledare)

Summary

Studies and follow-up by forest companies show that the removal of trees in today's thinnings is so great that the density in the remaining stand is lower than recommended minimum levels. Intense thinning leads to increment losses, and increases the risk of wind damage, particularly if the thinning takes place late in the rotation. It is important to develop tools that enable continual follow up of thinning activities at different levels, from machine to company level. This will improve control over the thinning work and minimise increment losses and the risk of wind damage. Our study, which comprised three separate substudies, focused on the development of such tools.

In the first substudy, a new model was developed for estimating the intensity of thinning, thinning grade, and stand variables after thinning. A key feature of the new model was to use information about the strip road trees as a sample of the stand's appearance before thinning. In the second substudy, a new model was developed to generate a map of the strip road network, and estimate the proportion of strip road area in relation to the total area of the site. In the third substudy, the hprGallring software was installed and used by seven harvester teams carrying out thinning for the forest company Södra. The work of the harvester teams was continually monitored. At the end of the study period, the operators were interviewed to see how they experienced and used the program, and to find out whether using the program influenced how they carried out the thinning.

The evaluation showed that the new model using information about the strip road trees can estimate thinning intensity and key performance indicators, such as basal area and volume after thinning, with negligible systematic deviation and with a smaller statistical dispersion than the previously used model. Tree species proportions after thinning can be estimated accurately even for stands in which the proportions changed considerably after thinning.

The strip road area proportion estimated with the new model had a strong association with the reference strip road proportion ($R^2 = 0.86$). The association indicated that the estimates could be expected to lie within ± 1 percentage points of the true value in most cases. The strip road proportion was also estimated correctly for sites where the harvester largely thinned the stand from a public road, which was not the case with the model used earlier.

Interviews with harvester operators who had installed hprGallring showed that seven of the eight operators had used the program actively. The most common performance indicator monitored was how the basal area compared with the thinning template recommendation. In general, the operators experienced that the colour coding in the thinning templates corresponded with their perception of how they should thin the stand. The exception comprised early thinning and unmaintained stands. In these cases, thinning often took place in the red interval (excessive removal). Two operators stated that using hprGallring did not affect the way they thinned the stand, but one operator stated the opposite. Other operators found the question difficult to answer, and responded "Don't know".

In summary, the study has shown that the method used in the "Automated follow-up of thinning" study had become more robust, and therefore even more suitable for managing the entire range of thinning measures and stand conditions found in Swedish forestry.

Sammanfattning

Studier och företagsvisa uppföljningar visar att uttagen i en stor andel av dagens gallringar är så höga att tätheten i de kvarvarande bestånden hamnar under rekommenderade lägstanivåer. Hårda gallringar medför tillväxtförluster och ökar risken för vindskador, speciellt om de utförs sent under omloppstiden. Att utveckla verktyg som på olika nivåer, från maskin- till företagsnivå, möjliggör löpande uppföljning av gallringsingreppen är viktigt för att förbättra styrningen av gallringsarbetet samt minimera tillväxtförluster och risken för vindskador. Denna studie kretsade kring utveckling av sådana verktyg och var uppbyggd av tre separata delstudier.

Automatiserad gallringsuppföljning har utvecklats i samklang med svenskt skogsbruk och har på kort tid blivit den dominerande metoden för gallringsuppföljning i Sverige. Resultat från tidigare utvärdering, tillsammans med erfarenheter från omfattande praktisk användning, visar att metodiken fungerar väl för "normal" produktionsskog men kan ge avvikelse i bestånd med extrema gallringsingrepp och ovanliga beståndsförutsättningar. Exempel på sådana fall kan vara ingrepp som kraftigt förändrar trädslagssammansättningen eller bestånd med mycket låg/hög gallringsstyrka.

I den första delstudien togs en ny modell fram för skattning av gallringsstyrka, gallringskvot och bestandsvariabler efter gallring. Centralt för den nya modellen var att utnyttja information om stickvägsträden som ett stickprov av beståndets utseende före gallring. För utveckling och utvärdering av den nya modellen användes data från 50 manuellt referensmätta provytor med rikstäckande spridning. I materialet fanns ett stort antal lövdominerande provytor samt provytor med extrema gallringsingrepp och ovanliga beståndsförutsättningar.

I den andra delstudien utvecklades en ny modell för att generera en karta över stickvägsnätet och skatta andelen stickvägsarea av den totala arean för objektet. Vid beräkningarna utnyttjades positionsinformation registrerad i skördarnas produktionsfiler. För att möjliggöra identifiering av partier där skördaren avverkat från skogsbilväg hämtades information om bilvägsnätet från den nationella vägdatabasen, NVDB. Utvärdering av den nya modellen skedde på nio objekt för vilka noggrann inmätning av stickvägsnätet skett med en handburen GNSS-mottagare.

De utvecklade modellerna för skattning av bestandsvariabler implementerades i programvaran hprGallring, det vill säga den programvara som tagits fram för användning av automatiserad gallringsuppföljning i gallringsskördare. Detta inkluderade implementering av gallringsmallar i programmet, vilket innebar att förarna löpande kunde följa den beräknade kvarvarande grundytan efter gallring i förhållande till gallringsmallens rekommendation. I den tredje delstudien installerades programvaran hos sju skördarlag som gallrade åt Södra. Skördarlagen följdes löpande och i slutet av studietiden intervjuades förarna för att undersöka hur de upplevt och arbetat med programmet samt huruvida användande av programmet påverkat hur de gallrade.

Resultaten visade att den nya modellen som utnyttjar information om stickvägsträden kan skatta gallringsstyrka och centrala nyckeltal som grundyta och volym efter gallring med försumbar systematisk avvikelse och en lägre spridning än den tidigare använda modellen. De visade också att trädslagsfördelningen efter gallring kan skattas korrekt även för bestånd där trädslagsfördelningen ändrats kraftigt vid gallringsingreppet.

Stickvägsandel skattad med den nya modellen hade ett mycket starkt samband med referensmätt stickvägsandel ($R^2=0,86$). Sambandet indikerade att skattningarna kan förväntas ligga inom +/- en procentenhet från det sanna värdet i flertalet fall. Vidare skattades stickvägsandelen korrekt även för objekt där skördaren till stor del gallrat från bilväg, vilket inte var fallet med den tidigare använda modellen.

Intervjuer med skördarförare som installerat hprGallring visade att sju av åtta förare använt programmet aktivt. Det vanligaste nyckeltalet som följdes var hur grundytan låg

till jämfört med gallringsmallens rekommendation. Förarna ansåg generellt att färgsättningen i gallringsmallarna överensstämde med deras uppfattning om hur man bör gallra. Undantaget utgjordes av tidiga gallringar och av oskötta bestånd. I dessa fall hamnade man mycket ofta inom det röda intervallet (för högt uttag). Två förare angav att användande av hprGallring inte påverkat deras sätt att gallra medan en förare angav det motsatta. Övriga förare ansåg frågan svår att besvara och svarade ”nja”.

Sammanfattningsvis har studien inneburit att metodiken som används i automatiserad gallringsuppföljning blivit robustare och därmed ännu mera lämpad att hantera hela den variation i gallringsingrepp och beståndsförutsättningar som förekommer i svenskt skogsbruk.

Bakgrund

Studier och företagsvisa uppföljningar visar att uttagen i en stor andel av dagens gallringar är så pass höga att tätheten i de kvarvarande bestånden hamnar under rekommenderade lägstanivåer (Hannrup m.fl. 2015, Broman m.fl. 2018). Hårda gallringar ökar skaderisken och medför betydande tillväxtförluster (Eriksson 1990, Agestam 2009), vilket i ett nationellt perspektiv kan ge stora effekter eftersom en stor andel (cirka 55 procent) av den totala årliga tillväxten på den produktiva skogsmarken kommer från skog i gallringsbar ålder (Nilsson 2018). En nyckelfaktor för att förändra denna bild är att ge skördarförarna tillgång till verktyg som under pågående gallring ger löpande information om aktuell gallringsstyrka och kvarvarande grundyta i förhållande till förutbestämda målvärden. I den preliminära versionen av rapporten från Samverkansprocess Skogsproduktion förs ett sådant resonemang, och automatiserad gallringsuppföljning och utveckling av larmfunktion vid hårda gallringar lyfts fram som åtgärder för att öka tillväxten i gallringsskog (Normark & Fries 2018).

Automatiserad gallringsuppföljning (Möller m.fl. 2011) har utvecklats i samklang med svenskt skogsbruk under de senaste åtta åren och på kort tid blivit den dominerande metoden för gallringsuppföljning i Sverige. Metodiken, implementerad i programvaran hprGallring (Möller m.fl. 2015), medför att skördarföraren löpande får information om gallringsuttaget och en skattning av en rad parametrar för det kvarvarande beståndet. Den algoritm som fram till nu använts för att skatta dessa parametrar styrs till stor del av data om "hur man tidigare gallrat", vilket inte är lämpligt då man aktivt vill styra och förändra skördarlagens gallringsbeteende. Nyligen har en ny algoritm tagits fram som i högre grad styrs av beståndets grundyta före gallring, indirekt skattad från ett mått som beskriver hur tätt träden står i stickvägarna (Möller, Skogforsk, opubl. material). Innan en sådan algoritm kan tas i bruk är det dock angeläget att den vidareutvecklas och utvärderas ytterligare.

Resultat från utvärderingar av den metodik för uppföljning av stickvägsandel som finns implementerad i hprGallring (Köppler 2017) visar på begränsningar, i grunden kopplade till att skördarnas produktionsfiler enbart innehåller information om positioner där skördaren avverkat träd. För att förfinas metodiken krävs att informationen utökas till att även omfatta partier där skördaren kört men inte avverkat, till exempel större luckor. Nyligen har ett skördartillverkande företag kompletterat produktionsfilen med körspår det vill säga positionsinformation som beskriver skördarens samtliga rörelseförändringar per objekt. Det är tydligt att det utifrån denna nya information tillsammans med den befintliga finns tillräckligt med information för att generera en mycket precis karta över stickvägsnätet och precisa skattningar av stickvägsparametrar för såväl nya stickvägar som för partier där körning skett i luckor och äldre basvägar. För att detta ska realiseras krävs dock att nya algoritmer utvecklas.

Användande av automatiserad gallringsuppföljning medför positiva effekter på skördarnas produktivitet, vilka har kvantifierats via intervjuundersökningar med användare (Hannrup m.fl. 2016). I nuläget saknas dock studier som utifrån verkliga data belyser effekterna på tillväxten av högre grad av styrning och bättre anpassning av gallringsingreppen till varierande förhållanden inom bestånd. Det är därför angeläget att sådana studier genomförs, speciellt då uppskalningseffekterna rimligen är avsevärda eftersom tillväxten från gallringsskog idag utgör hela 55 procent av den totala tillväxten från den produktiva skogsmarken (Nilsson 2018).

Syfte och mål

Det övergripande syftet var att öka tillväxten i gallringsskog genom att utveckla verktyg som möjliggör en bättre anpassning av gallringsingreppen till varierande förhållanden inom bestånden. Mer specifikt syftade projektet till att utveckla och utvärdera komponenter i den metodik som används inom automatiserad gallringsuppföljning samt att kvantifiera den potentiella effekten på skogstillväxten av dess användning.

Målen med projektet var:

- Att vidareutveckla och validera en ny modell för att beräkna gallringsstyrka och beståndsvariabler för det kvarvarande beståndet efter gallring. Den nya modellen utnyttjar, till skillnad från den befintliga, information om beståndstäthet före gallring utifrån data för stickvägsträden.
- Att vidareutveckla och utvärdera modellen för bestämning av stickvägsandel baserad på ny information om skördarnas körspår. Modellen förväntas ge en precis bestämning av stickvägsandel, för nya och befintliga stickvägar samt en detaljerad karta över stickvägsnätet.
- Att kvantifiera effekten på skogstillväxten genom att följa ett antal skördarlag före och efter användning av metodiken som utvecklas i projektet.
- Att implementera de nya modellerna i hprGallring.

Det förväntade effektmålet på kort sikt är att användningen av automatiserad gallringsuppföljning ökar bland Södras egna och anlitade gallringslag. På längre sikt är motsvarande mål att gallringsingreppen i högre grad ska nå specificerade mål och därigenom bidra till en ökad skogstillväxt och minskad risk för skador.

Material och metoder

Projektet var indelat i tre delstudier. I två av delstudierna utvecklades och utvärderades modeller som används i metodiken för automatiserad gallringsuppföljning. Dessa delstudier syftade primärt till att förbättra metodikens robusthet, det vill säga öka dess förmåga att hantera den stora variation i beståndsförutsättningar och gallringsbeteende som förekommer i svenskt skogsbruk.

I den tredje delstudien installerades programvaran hprGallring hos sju skördarlag och dessa följdes löpande under projekttiden.

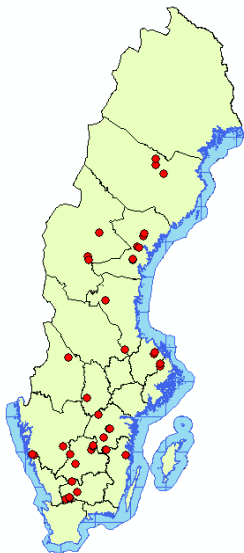
Modell för beräkning av gallringsstyrka och beståndsvariabler

Den mest centrala algoritmen i systemet för automatiserad gallringsuppföljning är den som används för att skatta gallringsstyrka och beståndsvariabler för det kvarvarande beståndet efter gallring. Algoritmen ger en skattning av grundytan efter gallring och utifrån denna skattning beräknas beståndsvariabler för det kvarvarande beståndet. Algoritmen har ett iterativt arbetssätt och styrs av parametrar som anger startvärde och definierar ett intervall inom vilket skattningen av grundyta efter gallring måste hamna för att accepteras. I den nuvarande modellen hämtas parametrarna från rikstäckande statistik genererad från företagsvis gallringsuppföljning (Hannrup m.fl. 2015). Detta innebär att parametrarna i hög grad styr skattningen mot att beskriva "hur man gallrat tidigare" i liknande typ av skog.

Det nuvarande förfaringssättet att generera startvärden ger stabilitet åt modellen men medför samtidigt att flexibiliteten begränsas. Till exempel finns det risk att modellen kan få svårt att hantera bestånd med ovanliga beståndsförutsättningar eller att systematiska fel kan uppkomma ifall att skördarlagens gallringsbeteende förändras markant. I denna studie gjordes ansträngningar för att utveckla startvärden som i högre grad baseras på faktiska mätningar i det aktuella beståndet. Ansatsen var att etablera och utnyttja ett samband mellan tätheten i stickvägarna, uttryckt som grundyteuttaget i stickväg, och grundytan före gallring. Denna ansats beskrivs närmare nedan.

Material och modellutveckling

Sambandet mellan tätheten i stickvägarna och grundytan i beståndet före gallring skattades från ett dataset med manuella referensmätningar på 50 provytor med förstagallringar. Provytorna hade en ungefärlig storlek på 1 ha och var utlagda i två omgångar. I den första omgången lades hälften av provytorna ut i traditionellt skött produktionsskog dominerad av tall och gran, det vill säga sådan typ av skog som dominerar i Sverige. I den andra omgången lades provytorna ut i skogar som är mindre vanliga och där skattningarna med nuvarande metodik visat sig ge större avvikelser. Detta innebär att provytorna i den andra omgången fördelades på bestånd med hög lövandel och bestånd med hög eller låg grundyta före gallring.



Figur 1. Plot av provytornas läge i landet.

Knappt hälften av de 50 provytorna mättes inom ramen för denna studie medan data för resterande provytor hämtades från en tidigare studie (Hannrup m.fl. 2015). Sammantaget var provytorna väl fördelade över landet (Figur 1).

Följande data inhämtades för provytorna:

- Yttergränsen för varje provyta bestämdes genom att registrera ett GNSS-spår med en handhållen GNSS-mottagare. Spåren användes för att bestämma provytornas area.
- Grundytan efter gallring mättes genom att samtliga kvarvarande stammar efter gallring klavades. Klavningen skedde i brösthöjd och vid klavningen registrerades trädslaget för stammarna. Grundytan före gallring bestämdes genom att lägga till grundytan för de avverkade stammarna genererad från produktionsdata registrerad av skördarna i hpr-filen.
- Övre höjden på provytorna bestämdes utifrån skördarnas produktionsdata med hjälp av tidigare utvecklad metodik (Möller m.fl. 2011).
- Grundytan för stammarna som avverkats i stickväg bestämdes i två steg. I ett första steg användes skördarpositionerna registrerade i hpr-filen för att upprätta en karta över stickvägsnätet med hjälp av tidigare utvecklad metodik (Köppler 2017). I ett andra steg identifierades stickvägsträden med hjälp av information om kranvinkel registrerad vid fällning av stammarna. Stammar med kranvinkel inom intervallet $\pm 30^\circ$ betraktades som stickvägsträd. Detta kranvinkelintervall har i tidigare studier visat sig vara effektivt för att identifiera stickvägsträden (Bhuiyan m.fl. 2016). Tätheten i stickvägarna uttrycktes slutligen som avverkad grundyta i stickväg per 500 m stickväg. Måttenheten användes eftersom 500 m stickväg motsvarar den stickvägslängd som ofta förekommer per hektar.

Beskrivande statistik för de 50 provytorna redovisas i tabell 1. Grundytan före gallring varierade från 16,5 till 38,3 m²/ha. Denna variation täcker merparten av den grundytevariation som förekommer vid förstagallring i Sverige.

Tabell 1. Enhet, antal observationer, medelvärden, standardavvikelse till medelvärdena samt min- och maxvärden för variablerna som beskriver provytorna.

Variabel ¹⁾	Enhet	N	Medel	Std. avv.	Min.	Max.
<i>Area</i>	ha	50	1,1	0,3	0,6	2,5
<i>oh</i>	m	50	15,8	2,3	11,0	23,0
<i>gy_{sv}</i>	m ² (500 m stickväg) ⁻¹	50	3,9	1,5	2,0	8,1
<i>gy_{fg}</i>	m ² ha ⁻¹	50	28,5	5,1	16,5	38,3

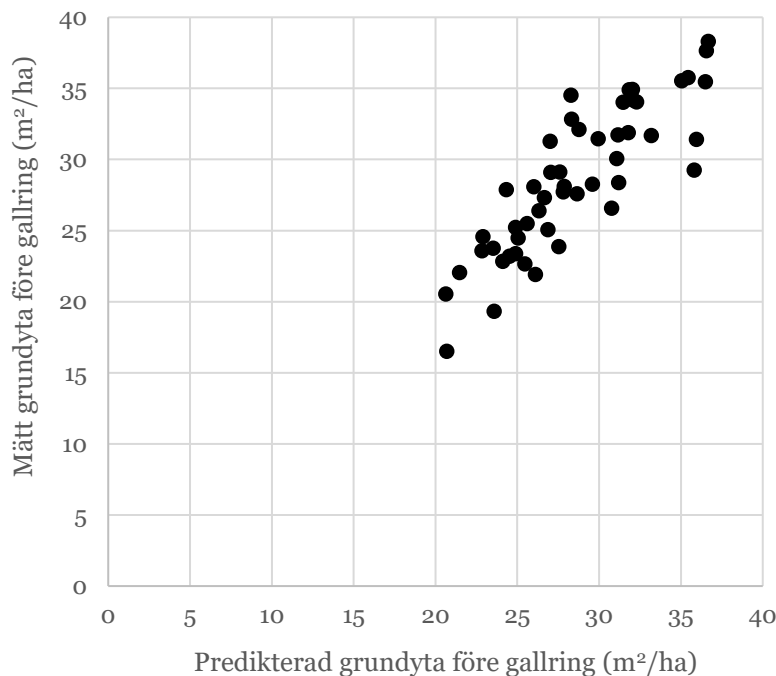
¹⁾ *oh* - övre höjd; *gy_{sv}* - avverkad grundyta i stickväg per 500 m stickväg; *gy_{fg}* - grundyta före gallring.

I modelleringsarbetet plottades inledningsvis grundytan före gallring mot den övre höjden och mot tätheten i stickvägarna. Båda dessa variabler uppvisade logiska positiva samband med grundytan före gallring. Även effekten av dominerande trädslag undersöktes. Tillsammans med de två andra variablerna fanns det dock ingen tydlig effekt av det dominerande trädslaget och denna variabel togs därför inte med i det fortsatta modelleringsarbetet. Följande uttryck anpassades till data från provytorna:

$$[1] \quad gy_{fg} = \alpha_0 + \alpha_1 oh + \alpha_2 gy_{sv}$$

där *oh* är den dominerande höjden för det dominerande trädslaget, *gy_{sv}* är den avverkade grundytan i stickväg per 500 m stickväg, α_0 är modellens intercept och α_1 och α_2 är regressionskoefficienter.

I figur 2 finns en plot av predikterad grundyta före gallring från modellen mot mätt grundyta före gallring. Modellen anslöt väl till data från provytorna med en förklaringsgrad (R^2) på 0,74 och ett skattningsfel ($RMSE$) på 2,67 m²/ha.



Figur 2. Plot av sambandet mellan mätt grundyta före gallring och motsvarande predikterade värden från modellen baserad på övre höjd och avverkad grundyta i stickväg per 500 m stickväg.

Modellens parameterskattningar redovisas i tabell 2. Parameterskattningarnas 95-procentiga konfidensintervall visade att både övre höjd och avverkad grundyta i stickväg per 500 m stickväg hade en starkt signifikant effekt på grundytan före gallring.

Tabell 2. Parameterskattningar med tillhörande 95-procentiga konfidensintervall för modellen beskriven med ekvation 1.

Parameter	Skattning	95 % konfidensintervall	
		Nedre gräns	Övre gräns
α_0	4,39	-0,97	9,75
α_1	1,00	0,65	1,35
α_2	2,12	1,58	2,66
<i>Bias</i> (m ² /ha)	0,00		
<i>RMSE</i> (m ² /ha)	2,67		

I tabell 3 redovisas partiella korrelationer mellan grundytan före gallring och de två oberoende variablerna övre höjd och avverkad grundyta i stickväg per 500 m stickväg. Partiella korrelationer uttrycker de oberoende variabelernas samband med grundyta före gallring när effekten av andra oberoende variabler i modellen tagits bort. Den positiva korrelationen ($r=0,64$) mellan grundyta före gallring och övre höjd indikerar alltså att för en viss nivå på grundytetäthet i stickvägarna tenderar bestånd med hög övre höjd att ha högre grundyta före gallring än bestånd med lägre övre höjd. Omvänt kan det uttryckas så att tätheten i stickvägarna tenderar att underskatta grundytan före gallring i bestånd med hög övre höjd medan det omvända gäller för bestånd med låg övre höjd. Detta kan vara orsakat av att antalet stammar är generellt högre i gallrade bestånd med låg övre höjd än i gallrade bestånd med hög övre höjd (Möller, Skogforsk, opublicerade data). Följaktligen kan det finnas fler luckor i den senare typen av bestånd, vilka kan användas av skördarna när stickvägsnätet huggs upp.

Tabell 3. Partiella korrelationer för modell beskriven i ekvation 1.

Variabel 1*	Variabel 2*	Partiell korrelation
gy_{fg}	oh	0,64
gy_{fg}	gy_{sv}	0,75

^{a)} gy_{fg} – grundyta före gallring; oh – övre höjd; gy_{sv} – avverkad grundyta i stickväg per 500 m stickväg.

Utvärderade modeller

I studien utvärderades två alternativa metoder för att generera startvärden och styrinformation för algoritmen som används för skattning av gallringsstyrka och grundyta efter gallring. De två metoderna benämns framgent ”Modell 2020” respektive ”Modell 2014”.

Metodiken för att generera startvärden och styrinformation med ”Modell 2014” finns beskriven i Möller m.fl. (2011) och Hannrup m.fl. (2015) och baseras på ett samband mellan övre höjd och grundyta efter gallring. I jämförelse med hur skattningarna gjordes i studien av Hannrup m.fl. (2015) har förändringar gjorts när det gäller tillåten grundyta efter gallring för löv samt schablonvärden för gallringskvot. Förändringarna finns beskrivna i Möller m.fl. (2021).

För ”Modell 2020” baserades genereringen av startvärden och styrinformation på det framtagna sambandet mellan täthet i stickväg och grundyta före gallring (Ekvation 1).

Dock användes inte sambandet rakt av, eftersom inledande provning visade att större avvikelser i så fall kunde uppkomma för enskilda objekt. Detta inträffade då tätheten i stickvägarna avvek kraftigt från den generella tätheten i beståndet, till exempel när stickvägarna gått i hyggeskant eller när till stor del äldre traktorvägar utnyttjats. För att mildra en sådan effekt baserades genereringen av startvärden och styrinformation på en kombination av det framtagna sambandet och det samband mellan övre höjd och grundyta efter gallring som användes i "Modell 2014". För tall och gran viktades informationen från de två sambanden samman så att det slutliga startvärdet och styrinformationen till två tredjedelar baserades på det framtagna sambandet mellan täthet i stickvägarna och grundyta före gallring och till en tredjedel på sambandet mellan övre höjd och grundyta före gallring. För löv användes samma vikt för de två sambanden, se detaljerad beskrivning i Möller m.fl. (2021).

Modell för skattning av trädslagsfördelning efter gallring

I de modeller som tidigare använts vid automatisk gallringsuppföljning skattas trädslagsfördelningen efter gallring för en viss diameterklass som en spegelbild av trädslagsfördelningen för motsvarande diameterklass i gallringsuttaget. Detta innebär att avvikelser kan förväntas uppkomma för objekt där trädslagsfördelningen i gallringsuttaget avviker kraftigt från trädslagsfördelningen före gallring. En sådan effekt har noterats vid tidigare utvärdering (Hannrup m.fl. 2015) och observerats vid praktisk användning.

I studien utvecklades en ny modell för bestämning av grundytans fördelning på trädslag efter gallring. Den nya modellen baserades på antagandet att trädslagsfördelningen för stickvägsträden är densamma som den totala trädslagsfördelningen i beståndet före gallring. Utifrån detta antagande skattades trädslagsfördelningen efter gallring genom att reducera den beräknade grundytan per trädslag före gallring med uttagen grundyta per trädslag. Följande beräkningssteg användes:

1. Trädslagsfördelningen för stickvägsträden (träd avverkade inom kranvinkeln +/- 30 grader) bestäms av respektive trädslags grundyteandel av total grundyta avverkad i stickvägen.
2. Trädslagsfördelningen för respektive beräkningsyta före avverkning bestäms utifrån antagandet att trädslagsfördelningen är densamma före avverkning som i grundyteuttaget i stickvägarna. Grundytan före avverkning erhålls genom att beräknad grundyta efter avverkning adderas med uttagen grundyta för beräkningsytan. Grundytan före avverkning tilldelas samma trädslagsfördelning som beräknats med hjälp av stickvägsträden.
3. Trädslagsfördelningen efter gallring beräknas genom att uttagen grundyta per trädslag subtraheras från beräknad grundyta per trädslag före avverkning. Trädslagsandelen beräknas på återstoden genom att grundyta per trädslag divideras med total återstående grundyta.
4. Kvoten mellan trädslagsandel i den beräknade trädslagsfördelningen efter gallring och trädslagets andel i gallringsuttaget beräknas. Kvoten används för att kalibrera trädslagsfördelningen inom respektive diameterklass.

Vid utvärderingen jämfördes den nya modellen för bestämning av trädslagsfördelning efter gallring (Modell 2020) med modellen som använts tidigare (Modell 2014). För båda modellerna beräknades trädslagfördelningsgrad. Detta begrepp finns beskrivet i studien av Hannrup m.fl. (2015) och är definierat som andelen av den totala grundytan där den beräknade trädslagsfördelningen överensstämde med trädslagsfördelningen från den manuella referensmätningen.

Trädslagfördelningsgraden beräknades enligt följande:

$$\text{Trädslagsfördelningsgraden} = 100 - (\text{Abs}(\text{Tallandel}^{\text{referens}} - \text{Tallandel}^{\text{modell}}) + \text{Abs}(\text{Granandel}^{\text{referens}} - \text{Granandel}^{\text{modell}}) + \text{Abs}(\text{Lövandel}^{\text{referens}} - \text{Lövandel}^{\text{modell}})) / 2$$

Modell för bestämning av stickvägsandel

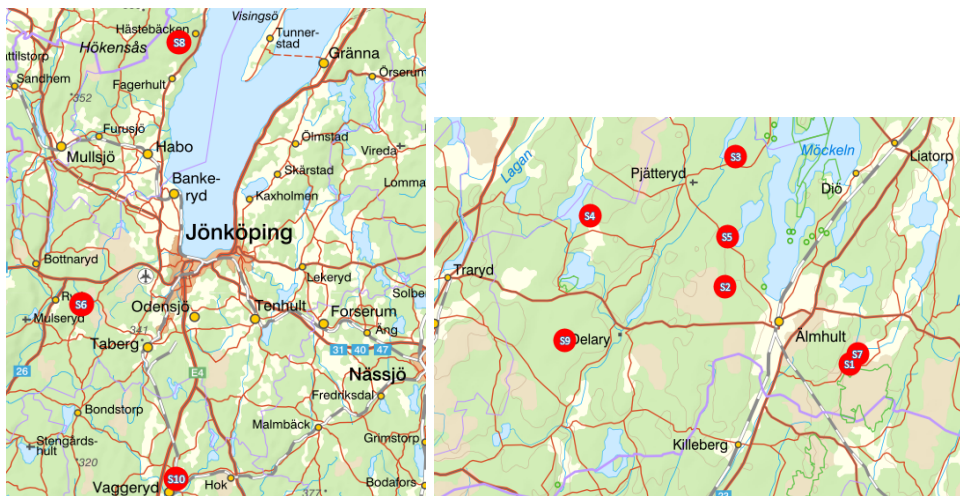
I hprGallring finns inbyggd metodik för att generera en karta över stickvägsnätet samt beräkna stickvägslängden och andelen stickvägsarea av den totala arean för gallringsobjekten. Den senare parametern bestäms utifrån en antagen genomsnittlig stickvägsbredd, vilken i default-läget är 4,3 m. Tidigare utvärderingar (Köppler 2017) och efterföljande förfiningar av metodiken (Hannrup, Skogforsk, opublicerade data) har visat att hprGallrings skattningar av stickvägsandel inte avviker systematiskt från den referensmätta stickvägsandelen men att avvikelserna för enskilda objekt kan vara stora. Denna studie var inriktad på att utveckla metodiken så att skattningar av stickvägsandel kan erhållas med hög precision även för enskilda objekt.

Närmare analys av avvikelserna för enskilda objekt har identifierat olika typer av fel genererade från hprGallrings algoritm för stickvägsbestämning (Köppler 2017). De olika typerna av fel orsakar underskattning, respektive överskattning av stickvägsandelen och kan beskrivas enligt följande:

- Utebliven eller felaktig dragning av stickvägen vid anslutning mellan vägar, alternativt att det blir luckor i stickvägsdragningen i raka partier med gles skog.
- Stickvägar dras utanför objektet då skördaren kört på skogsbilväg eller i hyggeskant.

I studien utvecklades en ny algoritm för stickvägsbestämning vilken utformades för att angripa dessa typer av fel (se bilaga 1 för en detaljerad beskrivning av algoritmen). Den nya algoritmen baserades, likt den tidigare, på information om skördarpositionerna vid avverkning av träden registrerad i produktionsfilerna, men kompletterades med följande information:

- Information om bilvägsnätet från Nationella vägdatan. Med hjälp av denna information var det möjligt att identifiera partier då skördaren stått på skogsbilväg och gallrat.
- Information från logspår registrerade i skördarnas produktionsfiler (hpr). I logspåren lagras positionsinformation vilken sammantagen beskriver skördarens hela rörelsemönster. Registrering styrs av en tids- och avståndsstyrd algoritm vilket i grova drag innebär att en skördarposition registreras var tionde meter, oberoende av om upparbetning sker eller inte. Med hjälp av denna information var det möjligt att förbättra dragningen av stickvägsnätet, framför allt vid anslutningspunkter mellan vägar och i partier med glesare skog.



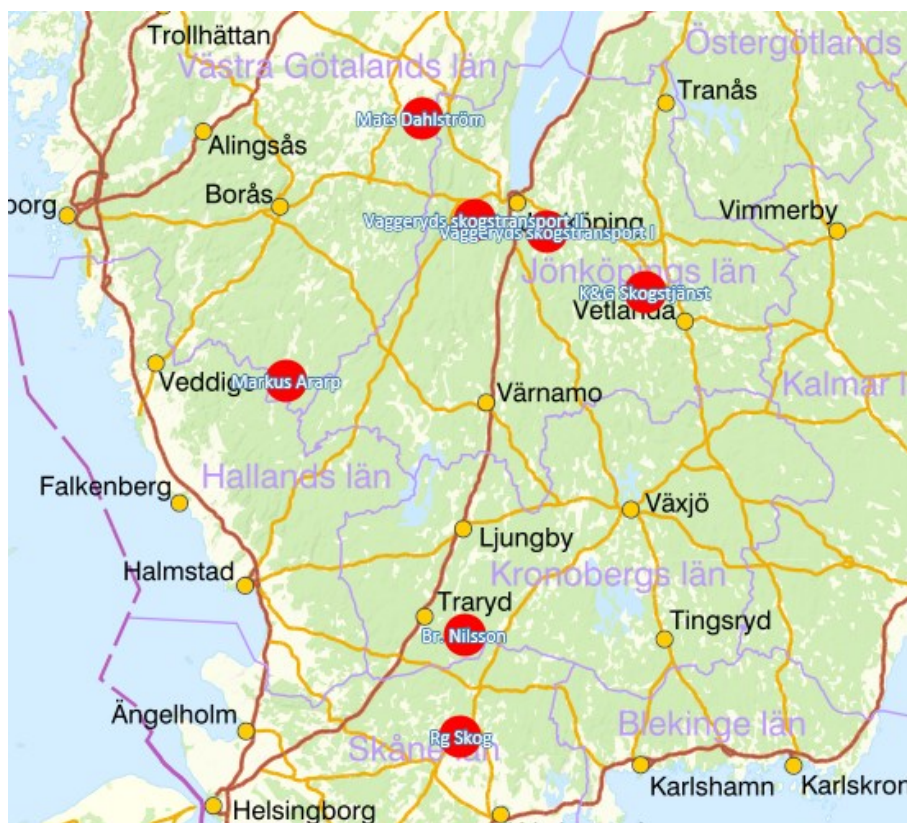
Figur 3. Kartor över de tio objekt som mättes med avseende på stickvägsparametrar.

För att utvärdera den nya algoritmen gjordes fältmätningar i tio gallringsobjekt (Figur 3). Mätning skedde genom att en person, utrustad med GNSS-utrustning, gick längs samtliga stickvägar i objekten. GNSS-utrustningen registrerade stickvägarnas läge med hög precision vilket möjliggjorde en precis bestämning av stickvägarnas totala längd per objekt. Areal stickväg beräknades genom att multiplicera stickvägslängden med en antagen stickvägsbredd på 4,3 m. Andelen stickväg bestämdes slutligen genom att sätta areal stickväg i relation till objektets totala area. Den totala areal per objekt hämtades från hprGallring.

Sammantaget innebär det att den referensmätta stickvägsandelen kunde jämföras med två olika skattningar av stickvägsandel: skattningen från den nya algoritmen och skattningen från den ursprungliga algoritmen i hprGallring.

Praktisk test med hprGallring hos skördarlag

I studien installerades hprGallring hos sju skördarlag som gallrar åt Södra (Figur 4). Den installerade versionen av hprGallring var utrustad med gallringsmallar vilka var inställda att följa rekommendationerna från beslutsstödet Ingvar (Jacobson m.fl. 2008). Förarnas allmänna synpunkter på programmet och specifika synpunkter på rekommendationerna i gallringsmallarna inhämtades löpande under projektiden. I slutet av studieperioden intervjuades samtliga förare utifrån ett enhetligt frågeformulär. Frågorna var anpassade för att undersöka till exempel hur förarna upplevt programmets tekniska funktionalitet, hur de arbetat med programmet och huruvida användande av programmet påverkat hur de gallrat.



Figur 4. Lokalisering av de sju skördarlagen som ingick i studien.

Implementering i hprGallring

Modellerna som utvecklades i studien implementerades i programvaran hprGallring. Utöver implementering av de nya modellerna har omfattande ansträngningar gjorts för

att utveckla villkor som beroende på indata styr vilka delmodeller som ska användas i programvaran. Sådana villkor är mycket viktiga för att programvaran ska fungera väl med hänsyn taget till den stora variation i beståndsförutsättningar och typer av gallringsingrepp som förekommer under praktisk drift. Sammantaget innebar de gjorda förändringarna att en ny version av programvaran togs fram, hprGallring 4.0.

Nedan listas de större förändringar som gjorts i hprGallring under projektarbetet. Mer detaljerade beskrivningar finns i Möller m.fl. (2021).

- Ny modell för grundyta och volym baserad på täthet i stickväg (Modell 2020).
- Ny modell för gallringskvot baserad på täthet i stickväg (Modell 2020).
- Ny modell för trädslagsfördelning baserad på täthet i stickväg (Modell 2020).
- Anpassning av modeller för lövskog för grundyta och gallringskvot (Modell 2014).
- Modifiering av villkor för bestämning av avverkningstyp.
- Anpassning för att hantera avvikande objekt och tillåta större intervall av gallringsstyrka.
- Byggt in gallringsmallar från beslutsstödet Ingvar respektive Bergviks gallringsmall.
- Tagit fram nya nyckeltal: uttagsandel i stickväg och uttagsandel mellan stickvägar.
- Utvecklat villkor som utifrån data avgör när modell 2020 respektive modell 2014 ska användas av programmet.

Resultat och diskussion

Modell för beräkning av gallringsstyrka och beståndsvariabler

Gallringsstyrka

Den manuellt uppmätta gallringsstyrkan, uttryckt som grundytan i uttaget i relation till grundytan före gallring, varierade mellan 18 och 62 procent på de 50 provytorna (Tabell 4). I genomsnitt uppgick gallringsstyrkan för förstagallringar till 39,3 procent medan motsvarande medelvärde för senare gallring var 27,8 procent (Tabell 4).

Jämfört med tidigare studier (Hannrup m.fl. 2015) var gallringsstyrkan ca 6 procent högre för materialets förstagallringar. Anledningen till detta är troligtvis att vi vid tillskapandet av materialet har sökt täta objekt och lövobjekt där uttagen i många fall varit kraftiga. I genomsnitt var gallringsstyrkan 46,4 procent för lövobjekt, 38,5 procent för granobjekt och 35,5 procent för tallobjekt. Gallringsstyrkan kan därför i denna studie inte ses som representativ för svenskt skogsbruk.

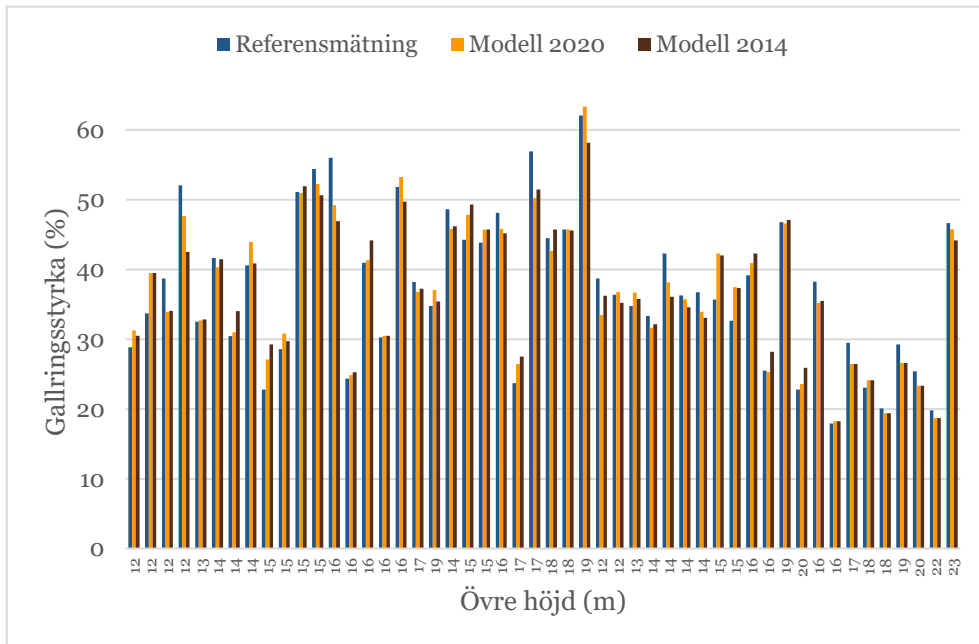
Tabell 4. Gallringsstyrka. Antal provytor, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelsen mellan gallringsstyrka från manuell referensmätning och gallringsstyrka beräknad från skördardata för samtliga provytor samt uppdelat på förstagallringar och senare gallringar.

	N (antal)	Medel (%)	Min (%)	Max (%)	Standardavv. (%-enhet)
Referensmätning Alla	50	37,2	19,4	62,1	
Skördarprognos 2014	50	36,9	18,2	58,2	3,5
Skördarprognos 2020	50	37,0	18,2	63,4	2,9
Referensmätning Första gallring	41	39,3	22,8	62,1	
Skördarprognos 2014 Första gallring	41	39,2	25,3	58,2	3,8
Skördarprognos 2020 Första gallring	41	39,3	23,5	63,4	3,1
Referensmätning Senare gallring	9	27,8	17,9	46,6	
Skördarprognos 2014 Senare gallring	9	26,4	18,2	45,7	1,5
Skördarprognos 2020 Senare gallring	9	26,4	18,2	45,7	1,5

Den beräknade gallringsstyrkan från skördardata visade god överensstämmelse med den manuellt uppmätta gallringsstyrkan (Figur 5). För samtliga provytor uppgick avvikelsen i genomsnitt till 0,2 procentenheter för den nya modellen (Tabell 4) medan standardavvikelsen för avvikelsen mellan mätt och beräknad gallringsstyrka var 2,9 procentenheter. Motsvarande standardavvikelse var 2,8 respektive 2,5 procentenheter i två tidigare studier som gjordes då metodiken för beräkning av gallringsstyrka utifrån skördardata utvecklades (Hannrup m.fl. 2011, 2015). För förstagallring har den nya modellen som utnyttjar information om tätheten i stickvägarna lägre spridning än modellen 2014. Vidare finns en tendens att den nya modellen ger bättre skattningar för objekten med högst respektive lägst gallringsstyrka (Tabell 4 och figur 5).

Jämfört med tidigare modell har intervallet för tillåten gallringsstyrka utökats successivt i takt med att data från avvikande gallringsingrepp kommit in och testats. I den

ursprungliga algoritmen för beräkning av variabler som beskriver det kvarvarande beståndet efter gallring tilläts gallringsstyrkan variera inom intervallet 20 till 40 procent (Möller m.fl. 2011). Efter studien 2014 utökades det tillåtna intervallet till 17–43 procent. I algoritmen som används i Modell 2014 är det tillåtna intervallet för gallringsstyrka idag 10–65 procent för löv och 10–50 procent för barr. För Modell 2020 är minvärdet för gallringsstyrkan satt till 10 procent men inget övre tak finns. Under studien var den maximala gallringsstyrkan enligt referensmaterialet 62,6 procent. Motsvarande gallringsstyrka enligt modell 2020 var 63,4 procent och för modell 2014 58,2 procent. För lövobjekten hade åtta av nio objekt en gallringsstyrka över 40 procent, för gran hade åtta objekt gallringsstyrka över 40 procent och fem objekt över 50 procent. Utan förändring av algoritmen hade hprGallring inte kunnat generera någon skattning av nyckeltal för dessa objekt.



Figur 5. Jämförelse mellan gallringsstyrka från manuell referensmätning och gallringsstyrka beräknad från skördardata enligt modell 2020 inklusive kranvinkeldata och modell 2014 för 41 förstagallringsobjekt. Provytor från vänster med ÖH 12–19 är grandominerande objekt, därefter är ÖH 14–19 lövdominerande objekt och efter det ÖH 12–20 talldominerande objekt. De sista nio ytor med ÖH 16–23 är senare gallringar.

Gallringskvot

Den manuellt uppmätta gallringskvoten, uttryckt som grundytvägd medeldiameter i uttaget genom grundytvägd medeldiameter efter gallring, varierade mellan 0,63 och 0,99 på de 50 provytorna. I genomsnitt uppgick gallringskvoten till 0,81 och det var lite lägre gallringskvot för provytorna med senare gallring än på provytorna med förstagallring (Tabell 5 och figur 6).

Vid jämförelse av de två metoderna så ger de i princip samma gallringskvot men Modell 2020 ger lite lägre spridning. Jämfört med studien 2014 så är det större variation på gallringskvoten och överståndare eller naturvårdsträd påverkar gallringskvoten i många objekt. I 11 av de 50 objekten så har ca 10 naturvårdsträd tagits bort ur referensmaterialet för att inte påverka D_{gv} och gallringskvot för mycket. De borttagna träden påverkade i snitt gallringskvoten 0,08 enheter och max ända upp till 0,18 enheter. D_{gv} påverkades i snitt för de 11 objekten med 21 mm och max med 43 mm.

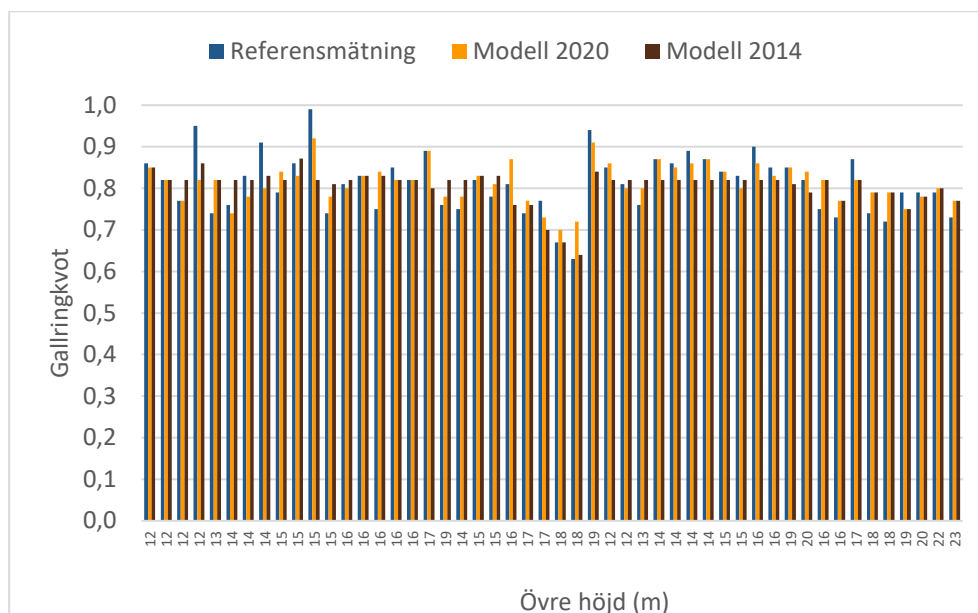
Uppdelat på trädslag och avverkningsstyper så är spridningen för tallobjekten 3 procent medan gran och löv ligger på 7 respektive 5,5 procent. I materialet där vi sökte svåra

objekt och objekt där trädslagsbyte sker så var inte tallobjekt så vanliga. Mycket var blandskog av gran och löv, täta lövobjekt och täta granobjekt. Den större variationen för tall och granobjekten kan eventuellt förklara skillnaden i gallringskvotprognosen. I granobjekten varierade gallringskvoten mellan 0,74–0,99 i tallobjekten mellan 0,76–0,89 och för lövobjekten mellan 0,63–0,94.

Tabell 5. Gallringskvot. Antal provytor, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelsen mellan gallringskvot från manuell referensmätning och gallringskvot beräknad från skördardata enligt modell 2014 från ÖH och avverkningsstyp samt enligt ny modell från 2020 inklusive stickvägsträd.

	N (antal)	Medel (kvot)	Min (kvot)	Max (kvot)	Standardavv
Referensmätning Alla	50	0,81	0,63	0,99	
Skördarprognos 2014	50	0,81	0,64	0,87	0,06
Skördarprognos 2020	50	0,81	0,70	0,92	0,05
Referensmätning Första gallring	41	0,82	0,63	0,99	
Skördarprognos 2014 Första gallring	41	0,81	0,64	0,87	0,06
Skördarprognos 2020 Förstagallring	41	0,82	0,70	0,92	0,05
Referensmätning Senare gallring	9	0,77	0,72	0,87	
Skördarprognos 2014 Senare gallring	9	0,79	0,77	0,82	0,04
Skördarprognos 2020 Senare gallring	9	0,79	0,75	0,83	0,04

Ett av syftena med att beräkna gallringskvoten är att i nästa steg kunna beräkna D_{gv} och stamantal. I flera fall när gallringskvotsprognosen blir dålig är gallringskvoten i referensen lägre för skördarprognosen, vilket i många av dessa fall beror på att det finns överståndare på ytan.



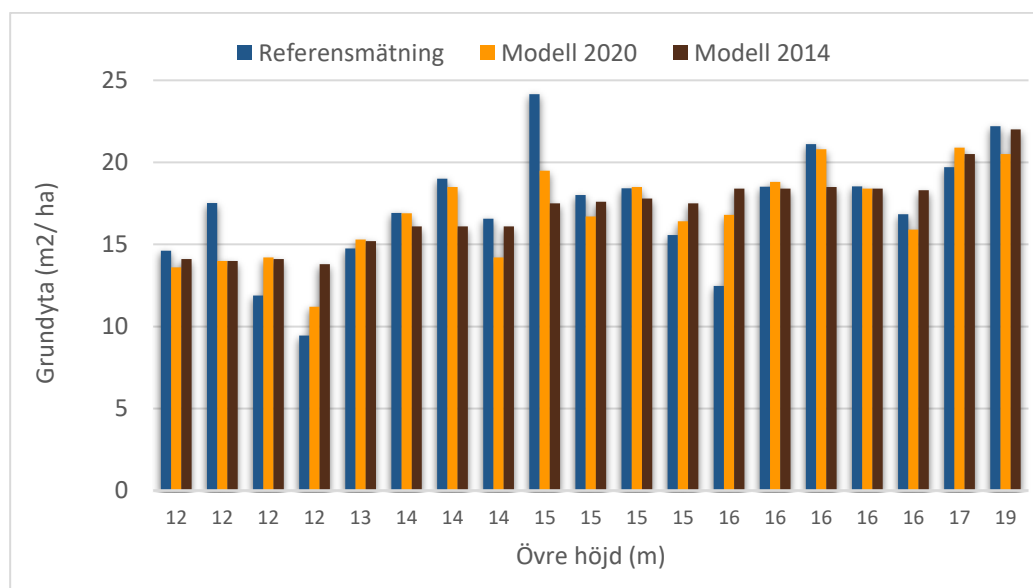
Figur 6. Jämförelse mellan gallringskvot från manuell referensmätning och gallringskvot beräknad från skördardata enligt modell 2020 inklusive kranvinkeldata och modell 2014. Provytor från vänster med ÖH 12–19 är grandominerande objekt, därefter är ÖH 14-19 lövdominerande objekt och efter det är ÖH 12-20 talldominerande objekt. De sista nio ytor med ÖH 16–23 är senare gallringar.

Grundyta efter gallring

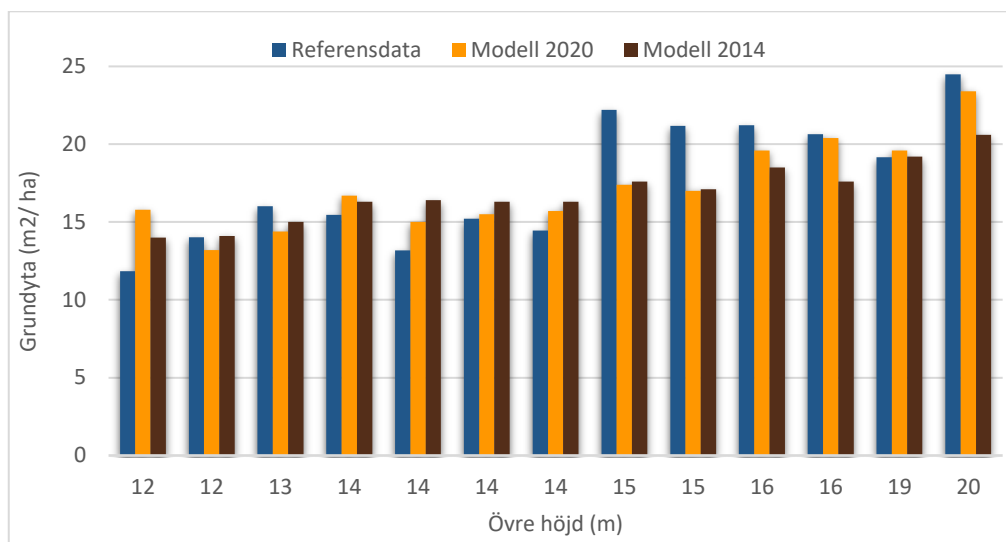
Grundytan efter gallring beräknad från skördardata visade god överensstämmelse med grundytan efter gallring från manuell referensmätning såväl generellt som då provytorna grupperats efter det dominerande trädslaget gran, tall och löv (Figur 7–10). För samtliga provytor fanns det ingen systematisk avvikelse mellan referensmätt och beräknad grundyta (Tabell 6). För provytorna med förstagallring var den systematiska avvikelsen 0,2 m²/ha för båda modellerna medan den för senare gallring uppgick till 0,8 respektive 1,0 m²/ha för modellerna från 2020 respektive 2014. Standardavvikelsen för avvikelsen mellan referensmätt och beräknad grundyta efter gallring var 2,1 m²/ha för Modell 2020 och 2,5 m²/ha för Modell 2014 för samtliga provytor (Tabell 6). Det tillfälliga felet för den nya modellen i studien var genomgående lägre än motsvarande fel uppmätta i tidigare utvärderingar av systemet för Automatiserad gallringsuppföljning (Hannrup m.fl. 2011 och 2015). Vid denna resultatjämförelse bör man beakta att materialet i den här studien i betydligt högre grad bestod av provytor med extrema gallringsingrepp och ovanliga beståndsförutsättningar. Sammantaget indikerar det att den nya modellen kan förväntas generera skattningar som; i) har försumbar systematisk avvikelse, ii) har en lägre spridning än skattningar från den tidigare använda modellen och iii) har en ökad robusthet för hela den variation i gallringsingrepp och beståndsförutsättningar som förekommer i svenskt skogsbruk.

Tabell 6. Grundyta efter gallring. Antal provytor, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelser mellan grundyta efter gallring från manuell referensmätning och grundyta beräknad från skördardata för samtliga provytor samt uppdelat på förstagallringar och senare gallringar. Standardavvikelsen är uttryckt som m² /ha och som procentuell andel av medelvärdet.

	N (antal)	Medel (m ² /ha)	Min (m ² /ha)	Max (m ² /ha)	Standardavv. (m ² /ha) (%)	
Referensmätning Alla	50	17,4	9,4	24,5		
Skördarprognos 2014	50	17,4	13,8	22,9	2,5	14,6
Skördarprognos 2020	50	17,4	11,2	23,5	2,1	12,1
Referensmätning Förstagallring	41	17,0	9,4	24,5		
Skördarprognos 2014 Förstagallring	41	16,8	13,8	22,0	2,6	15,5
Skördarprognos 2020 Förstagallring	41	16,8	11,2	23,8	2,1	12,4
Referensmätning Senare gallring	9	19,2	15,7	23,6		
Skördarprognos 2014 Senare gallring	9	20,2	18,1	22,9	1,8	9,4
Skördarprognos 2020 Senare gallring	9	20,0	17,9	22,9	1,8	9,1

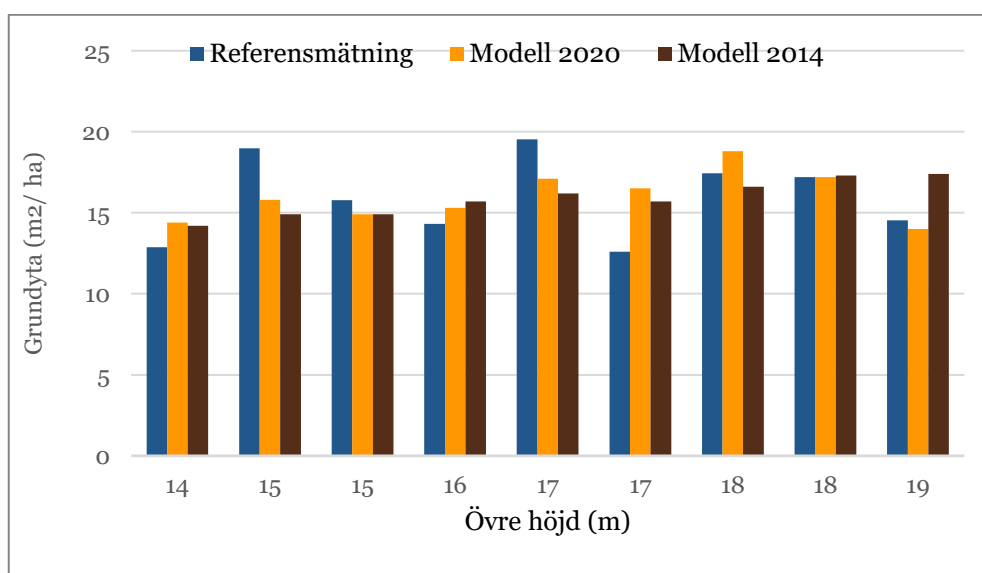


Figur 7. Jämförelse mellan grundyta efter gallring från manuell referensmätning och grundyta efter gallring beräknad från skördardata. Förstagallring av 19 granobjekt sorterade efter ÖH.

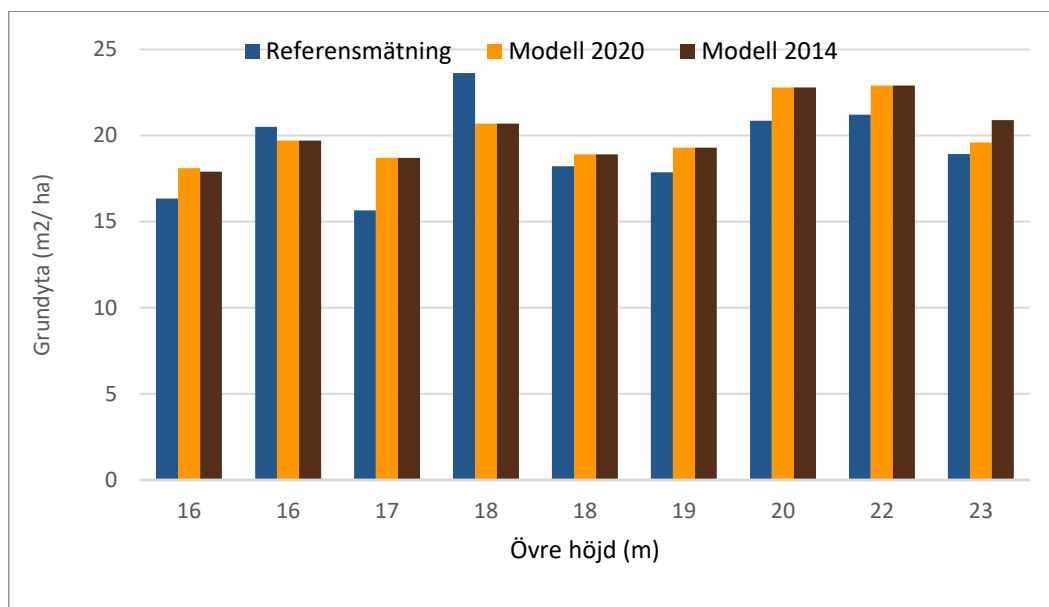


Figur 8. Jämförelse mellan grunddyta efter gallring från manuell referensmätning och grunddyta efter gallring beräknad från skördardata. Första gallring av 13 tallobjekt sorterade efter ÖH.

Användande av information om tätheten i stickvägarna är en central ansats i Modell 2020. Närmare granskning av Modell 2020:s känslighet visade att större fel kan uppkomma för bestånd där tätheten i stickvägarna avviker kraftigt från den generella tätheten i beståndet. Sådana fall kan till exempel vara gallringar där avverkningen nästan enbart består av stickvägsträd eller att stickvägarna förlagts till stor del på gamla traktorvägar. För att öka metodikens totala robusthet gjordes omfattande ansträngningar för att utifrån ett oberoende material omfattande 10 470 ha gallringar utarbeta villkor som identifierar den här typen av objekt och styr programvaran som används för beräkningar till att använda Modell 2014. I denna studie identifierades sex sådana provtyper utifrån villkor baserade på minimivärde för antal avverkade stammar per 500 m stickväg och maxvärde för andel avverkade träd som avverkats i stickväg. För tre av dessa provtyper gav skattningarna från Modell 2020 mycket stora avvikelser vilka reducerades avsevärt då skattningarna ersattes med skattningar från Modell 2014.



Figur 9. Jämförelse mellan grunddyta efter gallring från manuell referensmätning och grunddyta efter gallring beräknad från skördardata. Förstagallring av nio lövobjekt sorterade efter ÖH.

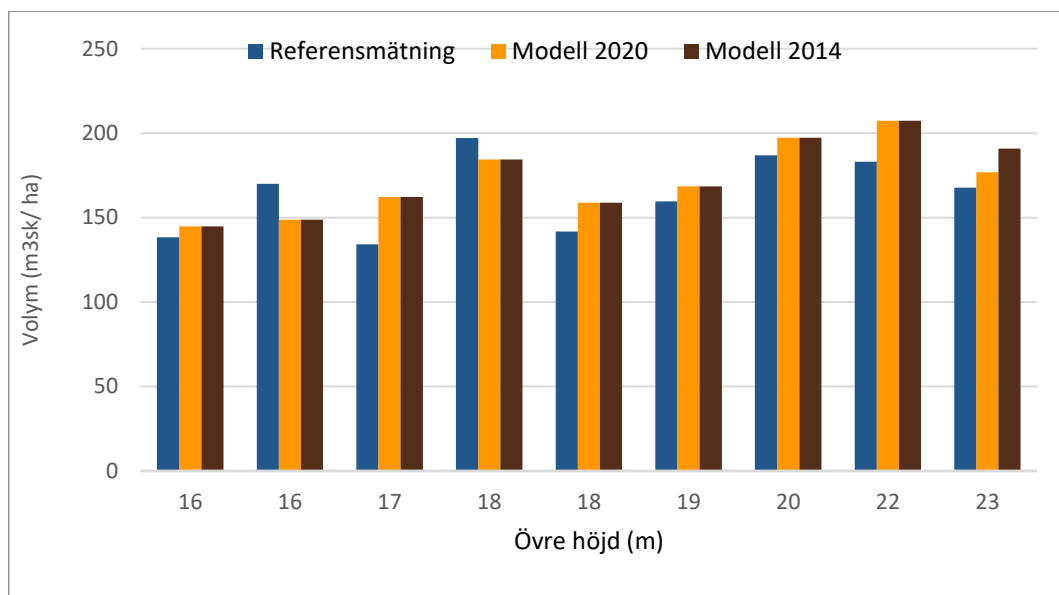


Figur 10. Jämförelse mellan grunddyta efter gallring från manuell referensmätning och grunddyta efter gallring beräknad från skördardata. Nio senare gallringar sorterade efter ÖH.

Volym efter gallring

Förhållandet mellan volym efter gallring beräknat från skördardata och volym efter gallring från manuell referensmätning var likartat som motsvarande förhållande för grunddyta efter gallring (Figur 11 och 12). För provytorna med förstagallring var den systematiska avvikelsen för de två utvärderade modellerna nära noll (Tabell 7). För senare gallring överskattade båda modellerna volymen efter gallring med cirka 8 m³/ha. Motsvarande tendens till överskattning av volymen efter gallring i senare gallring har också noterats i tidigare utvärdering (Hannrup m.fl. 2015). Även om överskattningen bör tolkas med viss försiktighet eftersom antalet provytor med senare gallring i båda studierna var lågt är det angeläget att detta följs vidare vid praktisk användning av metodiken.

För Modell 2020 var standardavvikelsen för avvikelsen mellan referensmätt och beräknad volym efter gallring 15,2 respektive 16,0 m³/ha för provytorna med förstagallring respektive senare gallring. På samma sätt som för gallringsstyrka och grunddyta efter gallring hade Modell 2020 lägre spridning än Modell 2014 för provytorna med förstagallring och en tydlig tendens till bättre följsamhet för provytorna med lägst/högst värden.



Figur 12. Jämförelse mellan volym från manuell referensmätning och volym beräknad från skördardata enligt modell 2020 inklusive kranvinkeldata och modell 2014. Nio senare gallringar med övre höjd 16–23 m.

Trädslagsfördelningsgrad

I tabell 8 redovisas den genomsnittliga trädslagsfördelningen efter gallring för samtliga provytor bestämd genom manuell referensmätning och beräknad med Modell 2020 respektive Modell 2014. För båda modellerna överensstämde den genomsnittliga trädslagsfördelningen väl med den referensmätta men det fanns en tendens till högre överensstämmelse för Modell 2020. Samma tendens noterades i analysen av provytornas trädslagsfördelningsgrad, det vill säga hur stor andel av provytornas grundyta som erhållit korrekt trädslagsklassificering från modellerna (Tabell 9). För provytorna med förstagallring ökade trädslagsfördelningsgraden från 85 till 90 procent då trädslagsfördelningen beräknades med Modell 2020 i stället för Modell 2014. Därtill fanns en markant skillnad mellan modellerna när det gäller provytorna med lägst överensstämmelse mellan beräknad och referensmätt trädslagsfördelning. För Modell 2014 var minimivärdet för trädslagsfördelningsgraden 43 procent medan motsvarande värde för Modell 2020 var 71 procent.

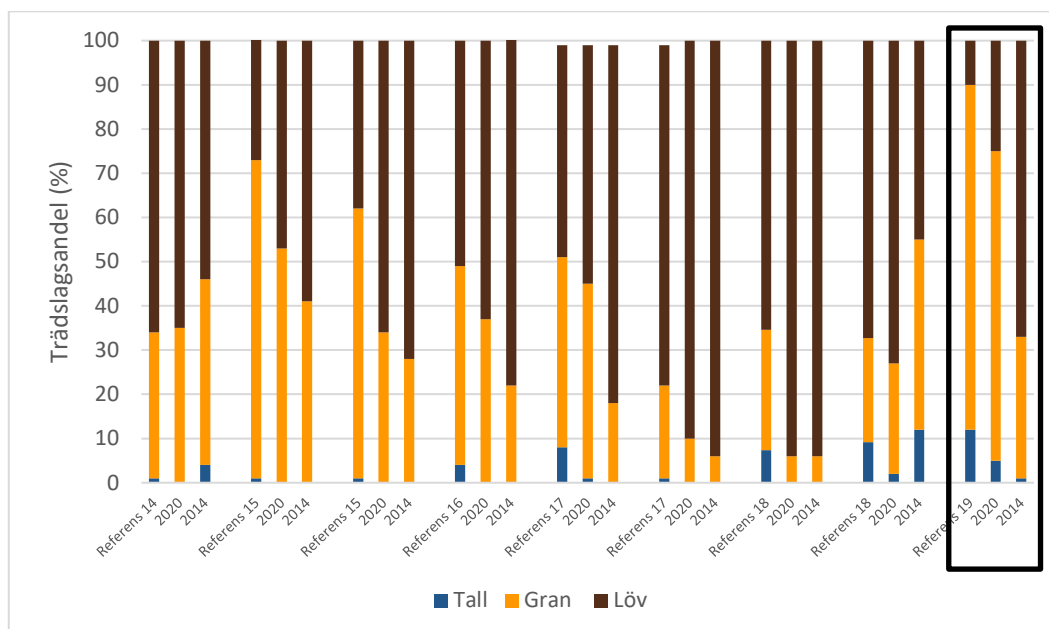
Tabell 8. Genomsnittlig trädslagsfördelning efter gallring för samtliga provytor från manuell referensmätning och beräknad från Modell 2020 respektive Modell 2014.

	N	Tall (%)	Gran (%)	Löv (%)
Referensmätning	50	38	44	18
Modell 2020	50	34	45	21
Modell 2014	50	35	42	23

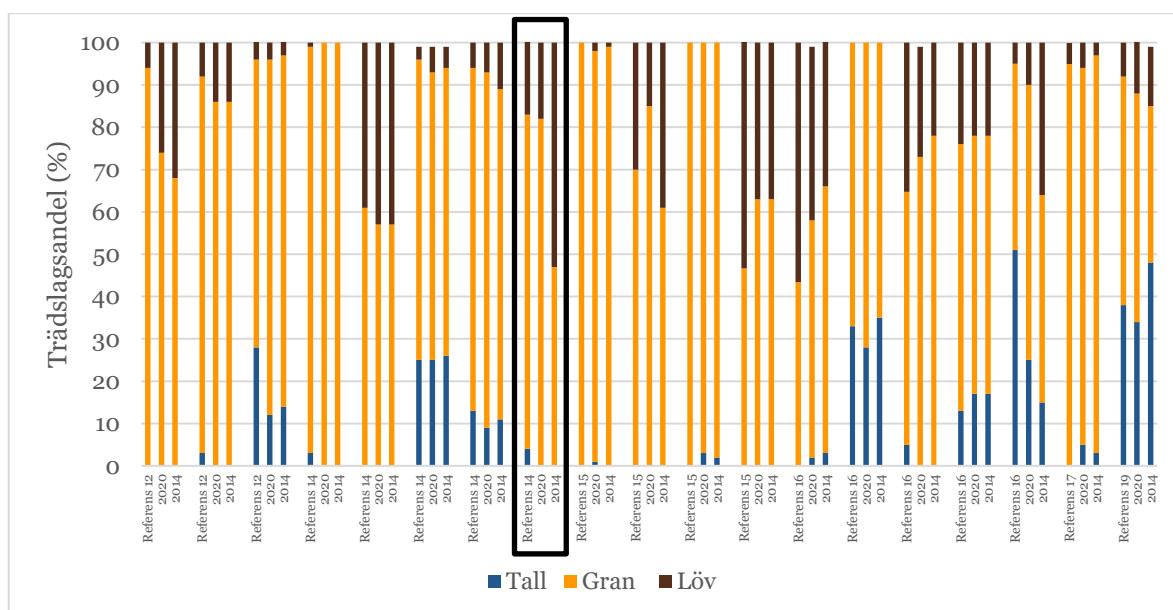
Tabell 9. Trädslagsfördelningsgrad. Antal provytor, medelvärden, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelser mellan trädslagsfördelningsgrad från manuell referensmätning (100) och trädslagsfördelningsgrad beräknad från skördardata med modell 2020 och 2014. Standardavvikelsen är uttryckt som procentuell andel av medelvärdet.

	N (antal)	Medel (%)	Min (%)	Max (%)	Standardavv. (%)
Referensmätning Alla	50	100	100	100	
Skördarprognos 2014	50	86	43	99	14,0
Skördarprognos 2020	50	90	70	100	8,1
Referensmätning Förstagallring	41	100	100	100	
Skördarprognos 2014 Förstagallring	41	85	43	99	14,1
Skördarprognos 2020 Förstagallring	41	90	71	100	7,6
Referensmätning Senare gallring	9	100	100	100	
Skördarprognos 2014 Senare gallring	9	90	70	99	10,8
Skördarprognos 2020 Senare gallring	9	92	70	99	10,3

För att fullt ut undersöka effekten av den nya modellen är det viktigt att närmare granska trädslagsfördelningen för de enskilda provytorna. I Modell 2020 används stickvägsträden som en spegel av trädslagsfördelningen före gallring och störst effekt av denna modell, jämfört med Modell 2014, kan förväntas för provytor med stor trädslagsvariation och då gallringsingreppet kraftigt förändrat trädslagsammansättningen. I vårt material skedde större förändringar av trädslagsfördelningen vid gallring framförallt för de provytor som före gallring var lövdominerande. För dessa provytor gav trädslagsfördelningen beräknad med Modell 2020 högre överensstämmelse med referensmätt trädslagsfördelning jämfört med Modell 2014 för åtta av de nio provytorna (Figur 13). För de grandominerande provytorna förändrades trädslagsfördelningen vid gallringsingreppen i betydligt lägre utsträckning än för de lövdominerande provytorna och den positiva effekten för Modell 2020 var inte lika tydlig (Figur 14). För en av provytorna förändrades dock trädslagsfördelningen kraftigt vid gallringsingreppet (inringad provyta i figur 14) och för denna provyta gav Modell 2020 en markant förbättring av beräknad trädslagsfördelning jämfört med Modell 2014. Sammantaget indikerar resultaten att den nya modellen är väsentligt bättre anpassad än den tidigare använda för att bestämma trädslagsfördelning efter gallring när trädslagsfördelningen ändras vid gallringsingreppet.



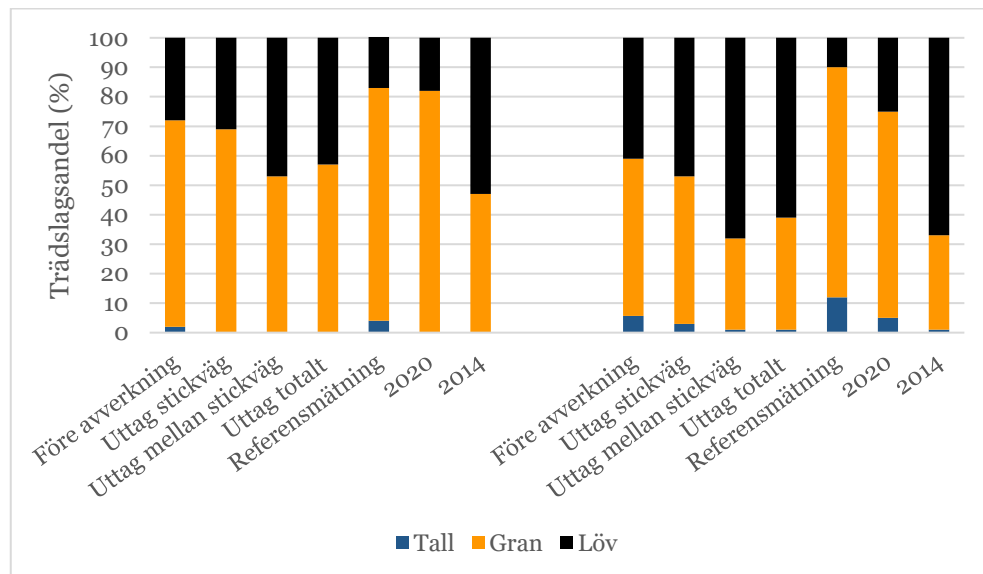
Figur 13. Lövdominerande förstagallringsobjekt sorterade i övre höjdsordning från 14 till 19 meter. Jämförelse mellan trädslagsfördelning från manuell referensmätning (längst till vänster), trädslagsfördelning beräknad från skördardata enligt modell 2020 inklusive kranvinkeldata (mitten) och beräknad med modell 2014 (höger).



Figur 14. Grandominerande förstagallringsobjekt sorterade i övre höjdsordning från 12 till 19 m. Jämförelse mellan trädslagsfördelning från manuell referensmätning (längst till vänster), trädslagsfördelning beräknad från skördardata enligt Modell 2020 inklusive kranvinkeldata (mitten) och beräknad med Modell 2014 (höger).

För två av provytorna (inringade i figur 13 och 14) var förändringen av trädslagsfördelningen och tillhörande effekt av Modell 2020 mycket stor. Data från dessa provytor kan användas för att illustrera modellernas funktionssätt. För båda provytorna var gallringsingreppet inriktat på att gallra bort löv och gynna gran, indikerat av att lövandelen i de selektiva gallringsuttagen mellan stickvägarna var 17 till 22 procent högre än lövandelen på provytorna före gallring (Figur 15). I Modell 2020 utnyttjas information om trädslagsfördelningen i stickvägarna för att skatta trädslagsfördelningen före gallring.

På den grandominerande provytan (vänster del i figur 15) var de två fördelningarna mycket lika vilket återspeglades i en mycket hög överensstämmelse mellan referensmätt trädslagsfördelning efter gallring och motsvarande fördelning beräknad med Modell 2020. På den lövdominerande provytan (höger del i figur 15) var lövandelen i stickvägarna något högre än lövandelen före gallring vilket fortplantade sig till en viss överskattning av lövandelen då trädslagsfördelningen efter gallring beräknades med Modell 2020. För Modell 2014 används trädslagsfördelningen i gallringsuttaget för att återspegla trädslagsfördelningen efter gallring, vilket kan ses i form av en stor likhet mellan trädslagsfördelningen i det totala gallringsuttaget och trädslagsfördelningen efter gallring beräknad med Modell 2014 (Figur 15). Den mindre skillnad mellan de två fördelningarna som kan observeras i figuren beror på att återspeglingsen sker per diameterklass och att gallringsuttaget är olika för olika diameterklasser.



Figur 15. Trädslagsfördelning före gallring och för gallringsuttaget fördelat på uttaget i stickväg, mellan stickväg och totalt samt trädslagsfördelning efter gallring från manuell referensmätning respektive beräknat med modellerna från 2020 och 2014. Data från två provytor vilka finns markerade i figur 13 och 14.

Baserat på ovanstående diskuterade resultat drar vi slutsatsen att den utvecklade modellen för beräkning av trädslagsfördelning efter gallring är väl lämpad för att ge en precis bestämning av trädslagsfördelning efter gallring för såväl "normal" produktionsskog som bestånd där gallringsingreppet kraftigt förändrar trädslagsfördelningen, till exempel förstagallringsbestånd med hög lövinblandning. Detta är ett betydelsefullt steg framåt för användningen av automatiserad gallringsuppföljning, eftersom andelen bestånd med hög lövinblandning har ökat och kan förväntas öka ytterligare framöver i svenskt skogsbruk.

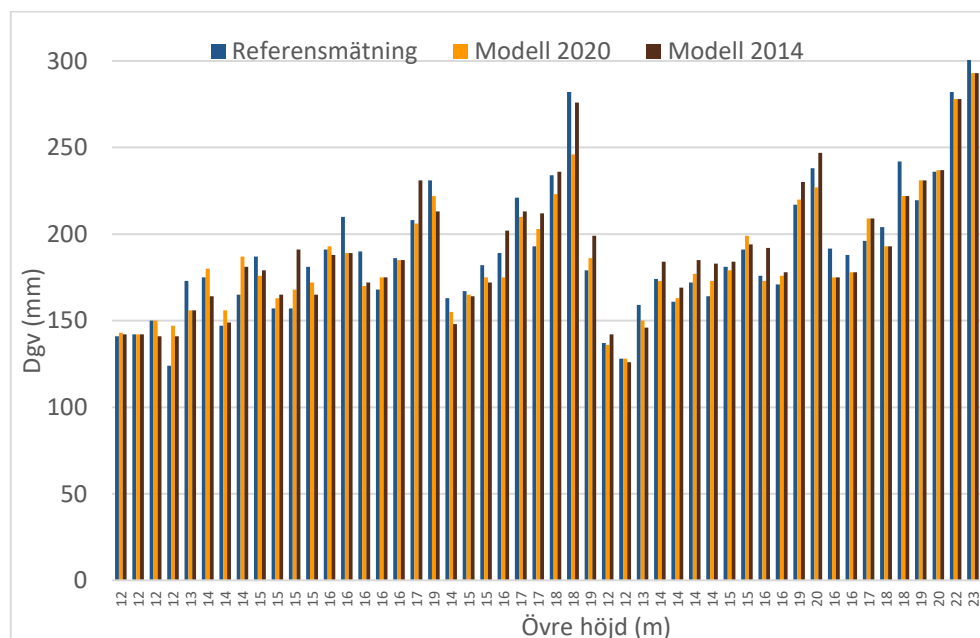
Grundtyevägd medeldiameter i brösthöjd

Den manuellt referensmätta grundtyevägd medeldiameteren i brösthöjd (D_{gv}) varierade mellan 124 och 309 mm på de 50 provytorna (Tabell 10). I genomsnitt uppgick D_{gv} till 189 mm medan motsvarande värden beräknade med Modell 2014 och Modell 2020 var 189 respektive 186 mm. Modellernas spridning uttryckt som standardavvikelsen mellan referensmätt D_{gv} och beräknad D_{gv} uppgick till 6,8 (Modell 2014) respektive 5,8 procent (Modell 2020). Vidare uppvisade båda modellerna generellt god följsamhet med referensmätt D_{gv} (Figur 16).

Utifrån resultaten dras slutsatsen att både Modell 2014 och Modell 2020 kan förväntas skatta D_{gv} med försumbart systematiskt fel och hög precision. Detta innebär att i flertalet fall kan D_{gv} skattad med någon av de utvärderade modellerna förväntas ligga inom +/- 7 procent från det sanna värdet.

Tabell 10. Grundtyevägd medeldiameter i brösthöjd (D_{gv}). Antal provytor, medelvärden, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelsen mellan D_{gv} från manuell referensmätning och D_{gv} beräknad från skördardata enligt Modell 2020 och Modell 2014. Standardavvikelsen är uttryckt som mm och som procentuell andel av medelvärdet.

	N (antal)	Medel (mm)	Min (mm)	Max (mm)	Standardavv.	
					(mm)	(%)
Referensmätning Alla	50	189	124	309		
Skördarprognos 2014	50	189	126	293	13,1	6,8
Skördarprognos 2020	50	186	128	294	11,3	5,8
Referensmätning Förstagallring	41	180	124	282		
Skördarprognos 2014 Förstagallring	41	182	126	276	13,1	7,1
Skördarprognos 2020 Förstagallring	41	178	128	246	11,2	6,0
Referensmätning Senare gallring	9	230	188	309		
Skördarprognos 2014 Senare gallring	9	223	175	293	12,1	5,3
Skördarprognos 2020 Senare gallring	9	224	175	293	11,2	4,9



Figur 16. Jämförelse mellan grundtyevägd medeldiameter från manuell referensmätning och grundtyevägd medeldiameter beräknad från skördardata enligt modell 2020 inklusive kranvinkeldata och modell 2014. Provytor från vänster med övre höjd 12–19 m är grandominerande objekt, därefter är övre höjd 14–19 m lövdominerande objekt och efter det

är övre höjd 12–20 m talldominerande objekt. De sista nio ytorna med övre höjd 16–23 m är senare gallringar.

Stamantal

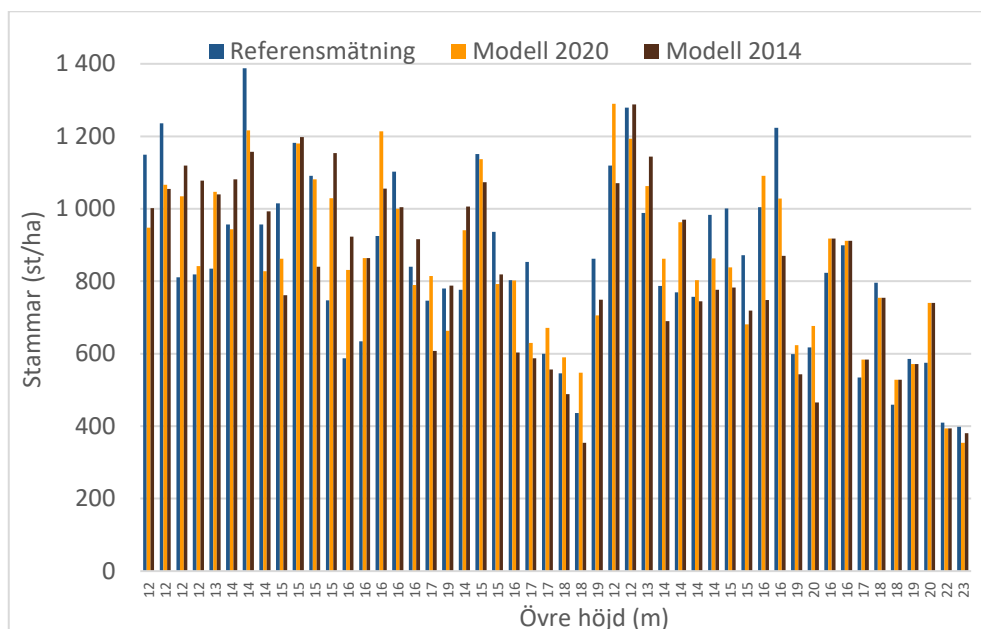
För provytorna med förstagallring uppgick den genomsnittliga avvikelsen mellan stamantal från manuell referensmätning och stamantal beräknad med Modell 2020 till sju stammar/ha (Tabell 11). För provytorna med senare gallring överskattade Modell 2020 stamantalet per hektar med 30 stammar. Motsvarande tendens att det beräknade stamantalet genererar ett försumbart systematiskt fel för förstagallring men överskattning i senare gallring är i linje med tidigare utvärdering (Hannrup m.fl. 2015). Överskattningen i denna studie var dock lägre än i den tidigare studien.

Tidigare studier har visat att stamantal i förstagallring är den variabel som är svårast att skatta med hög precision vid automatiserad uppföljning. Sannolikt är denna svårighet kopplad till förekomsten av småstammar som beroende på tidigare skötsel kan variera stort i antal men har liten inverkan på den totala grundytan. Förklaringen stöds av att skattningen av stamantal har väsentligt lägre spridning för provytorna med senare gallring än för provytorna med förstagallring (Tabell 11 och figur 17). Det stöds även av skillnader i spridning mellan provtytor dominerande av olika trädslag. För provytorna med gran, som kan antas innehålla fler småstammar, var spridningen 18 procent medan motsvarande spridning för tall, som kan antas innehålla färre småstammar, uppgick till 14 procent. För provytorna med löv, vilka innehöll en stor andel gran, var spridningen 17 procent.

Sammanfattningsvis drar vi slutsatsen att Modell 2020 kan förväntas skatta stamantalet i förstagallring med försumbart systematiskt fel men med en hög spridning motsvarande cirka 150 stammar/ha. För senare gallring kan spridningen förväntas vara betydligt lägre men tendensen till systematisk överskattning bör följas vid praktisk användning.

Tabell 11. Stamantal efter gallring. Antal provtytor, spridningsmått samt standardavvikelsen för avvikelsen mellan stamantal från manuell referensmätning och stamantal beräknad från skördardata enligt Modell 2020 och Modell 2014. Standardavvikelsen är uttryckt som antal och som procentuell andel av medelvärde.

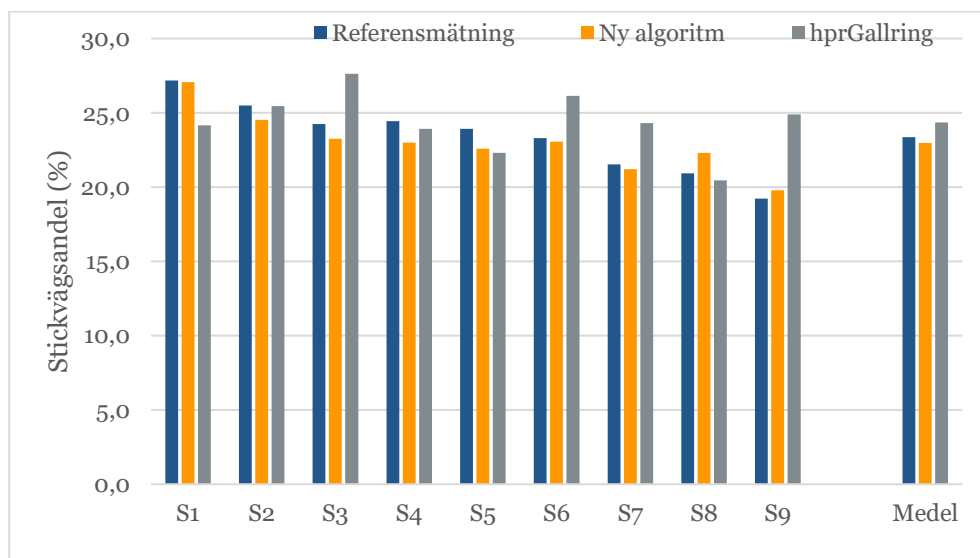
	N (antal)	Medel (st/ha)	Min (st/ha)	Max (st/ha)	Standardavv.	
					(st/ha)	(%)
Referensmätning Alla	50	845	398	1388		
Skördarprognos 2014	50	831	354	1288	175	20,7
Skördarprognos 2020	50	857	354	1290	139	16,4
Referensmätning Förstagallring	41	897	436	1388		
Skördarprognos 2014 Förstagallring	41	870	354	1288	189	21,1
Skördarprognos 2020 Förstagallring	41	904	548	1290	150	16,7
Referensmätning Senare gallring	9	609	398	899		
Skördarprognos 2014 Senare gallring	9	643	354	918	67	11,0
Skördarprognos 2020 Senare gallring	9	639	354	918	70	11,5



Figur 17. Jämförelse mellan stamantal/ha från manuell referensmätning och stamantal/ha beräknad från skördardata enligt Modell 2020 och Modell 2014. Provytor från vänster med övre höjd 12–19 m är grandominerande objekt, därefter är övre höjd 14–19 m lövdominerande objekt och efter det är övre höjd 12–20 m talldominerande objekt. De nio sista ytorna med övre höjd 16–23 m är senare gallringar.

Modell för bestämning av stickvägsandel

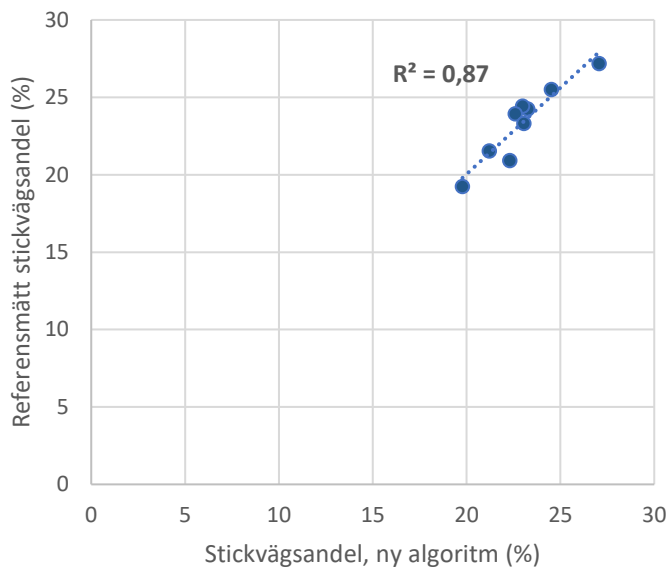
I figur 18 redovisas en jämförelse av referensmätt stickvägsandel och stickvägsandel skattad från den nya algoritmen och hprGallrings ursprungliga algoritmen. För ett av objekten var skördarens registrering av logspår inte korrekt. Detta objekt uteslöts vilket resulterade i att nio objekt ingick i jämförelsen mellan manuellt referensmätt stickvägsandel och stickvägsandel från automatiserad skattning.



Figur 18. Stickvägsandel från manuell referensmätning och stickvägsandel skattad med den nya algoritmen respektive hprGallrings ursprungliga algoritmen.

Som framgår av figur 19 följde stickvägs längden skattad från den nya algoritmen väl den referensmätta stickvägs längden. För sex av de nio gallringsobjekten var skillnaden i stickvägsandel mindre än en procentenhet. I genomsnitt för de nio objekten uppgick

skillnaden till 0,4 procentenheter. Det mycket starka sambandet ($R^2=0,87$ mellan de två sätten att bestämma stickvägsandel illustreras också i figur 19. Sambandet indikerar att stickvägs längd skattad från den nya algoritmen i flertalet fall kan förväntas ligga inom +/- en procentenhet. Uttryckt som stickvägs längd per hektar motsvarar detta en felmarginal på 22 m.



Figur 19. Sambandet mellan referensmätt stickvägsandel och stickvägsandel skattad från den nya algoritmen baserad på information om skördarpositioner, skördarens hela rörelsemönster (logspår) och det nationella vägnätet.

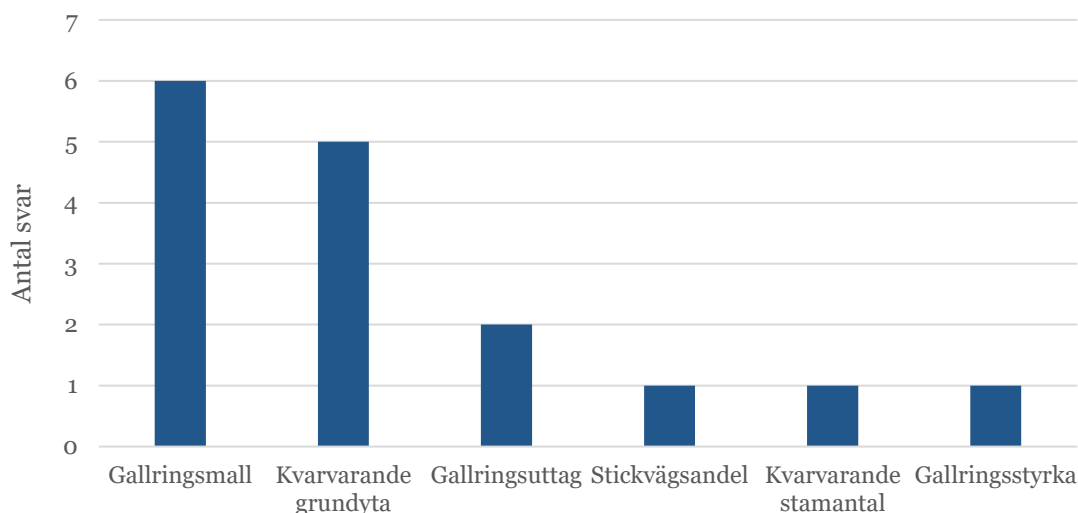
I genomsnitt var stickvägsandel skattad från hprGallrings ursprungliga algoritmen en procentenhet högre än den referensmätta stickvägsandelen (Figur 18). Avvikelsena för de enskilda objekten var dock stora och betydligt större än avvikelsena för den nya algoritmen. För fyra av objekten (S3, S6, S7 och S9) överskattade hprGallrings algoritmen stickvägsandelen kraftigt. I samtliga dessa fall hade skördaren på en betydande sträcka gallrat från bilväg vilket algoritmen felaktigt tolkat som stickväg.

Praktisk test med hprGallring hos skördarlag

För att kartlägga förarnas erfarenheter av att använda hprGallring intervjuades förare från samtliga sju skördarlag som ingick i studien. För ett av skördarlagen intervjuades två förare vilket innebär att totalt åtta förare intervjuades. Förarnas erfarenheter av att använda hprGallring kan sammanfattas enligt följande:

- Sju av de åtta intervjuade förarna har använt och använder programmet.
- Samtliga förare har upplevt att programmet fungerat tekniskt bra under studieperioden. Installationen upplevdes som enkel och man har inte upptäckt några buggar.
- På frågan hur ofta man tittar på programmet svarar sex förare att de tittar någon gång per dag alternativt vid naturliga pauser under dagen. En förare tittar mer sällan, någon gång varannan vecka.
- Gallringsmallar och kvarvarande grundyta var de vanligaste nyckeltalen som de intervjuade förarna angav att de följde i hprGallring (Figur 20). Det var möjligt att ange flera nyckeltal och i gruppen av förare följde man även gallringsuttaget, stickvägsandelen, kvarvarande stamantal och gallringsstyrkan.

- Förarna ansåg generellt att färgsättningen i gallringsmallarna överensstämde med deras uppfattning om hur man bör gallra. Undantaget utgjordes av tidiga gallringar (låg övre höjd) och av oskötta bestånd. I dessa fall hamnade man mycket ofta inom det röda intervallet.
- På frågan till förarna om de tror att användande av gallringsmallarna i hprGallring har påverkat deras sätt att gallra är svaren varierande. Två förare svarar bestämt att det inte påverkat medan en förare svarar att det absolut påverkat. Återstående fyra förare svarar med ett ”nja”, att frågan är svår att svara på. Exempel på kommentarer är: ”påverkar egentligen inte hur jag gallrar men programmet är till stor hjälp” och ”ser jag att jag ligger en bit upp i det gröna tar jag något träd extra och ligger jag på rött så sparar jag något extra träd”.
- Ett önskemål från flera förare är att informationen i hprGallring skulle integreras i skördarnas GIS-program. Karthanteringen i hprGallring upplevs som osmidig och det vore en fördel att ha all information i ett program.



Figur 20. Illustration av vilka nyckeltal de intervjuade skördarförarna följde i hprGallring.

Sammanfattningsvis överensstämmer förarnas erfarenheter kring teknisk funktionalitet och hur ofta de tittar på programmet med resultaten från en motsvarande intervjuundersökning med förare som använt hprGallring (Hannrup m.fl. 2016). Likheter mellan resultaten från de två studierna finns också när det gäller vilka nyckeltal man följer. Undantaget utgörs av gallringsstyrka som i kontrast till vår studie var det mest frekvent följda nyckeltalet i den tidigare studien. Då den tidigare studien genomfördes fanns dock inte gallringsmallarna inlagda i hprGallring och vi tolkar resultatet i vår studie där många förare följer gallringsmallen men få gallringsstyrkan som att informationen från gallringsmallarna ersatt informationen man tidigare hämtade genom att följa nyckeltalet gallringsstyrka.

Referenser

- Agestam E. 2009. Skogsskötselserien nr 7, Gallring. Skogsstyrelsen. 83 s.
- 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 Skogforsk nr. 899. 39 s.
- Broman, N., Glöde, D., Holmberg, H., Leonardsson, L. & Norgren, O. 2018. Effektiv skogsskötsel - delrapport inom Samverkan för ökad skogsproduktion. Rapport 2018/2 från Skogsstyrelsen: 23 s.
- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsregimers effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. Rapport 42, Inst. f. skogsproduktion, SLU. 135 s.
- Hannrup, B. Möller J. J. & Bhuiyan, N. 2016. Automatiserad gallringsuppföljning - Användargrupp för hprGallring. Arbetsrapport Skogforsk nr. 901. 27 s.
- Jacobsson, S., Pettersson, F., Sikström, U., Nyström, K. & Övergaard, K. 2008. INGVAR – gallringsmall och planeringsinstrument. Resultat nr. 10, Skogforsk. 4 s.
- Köppler, L. 2017. Automatisk gallringsuppföljning - utvärdering av stickvägslängd beräknad från skördarnas produktionsdata. Examensarbete, SLU Umeå. 34 s.
- Möller, J. J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register- och planeringssystem. Arbetsrapport från Skogforsk, nr. 756. 39 s.
- Möller, J. J. Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport Skogforsk nr. 862. 24 s.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N., Arlinger, J., Eriksson, I., & Söderberg, J. 2021. hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserat på skördardata. Opublicerat manuskript.
- Nilsson, P. 2018. Specialanalys på uppdrag av Skogforsk. Inst. för resurshållning, SLU.
- Normark, E. & Fries, A. 2018. Skogsskötsel med nya möjligheter. Rapport från Samverkansprocess skogsproduktion (Remissversion): 168 s. Dnr 2017/824.

Bilaga 1. Algoritm för stickvägsberäkning

Denna bilaga är en kortare version av dokumentation av stickvägsalgoritm (Eriksson opublicerad 2021). Den bygger även på delar av arealberäkningsalgoritmen (Eriksson opublicerad 2021) och dokumentation av stamlistor.

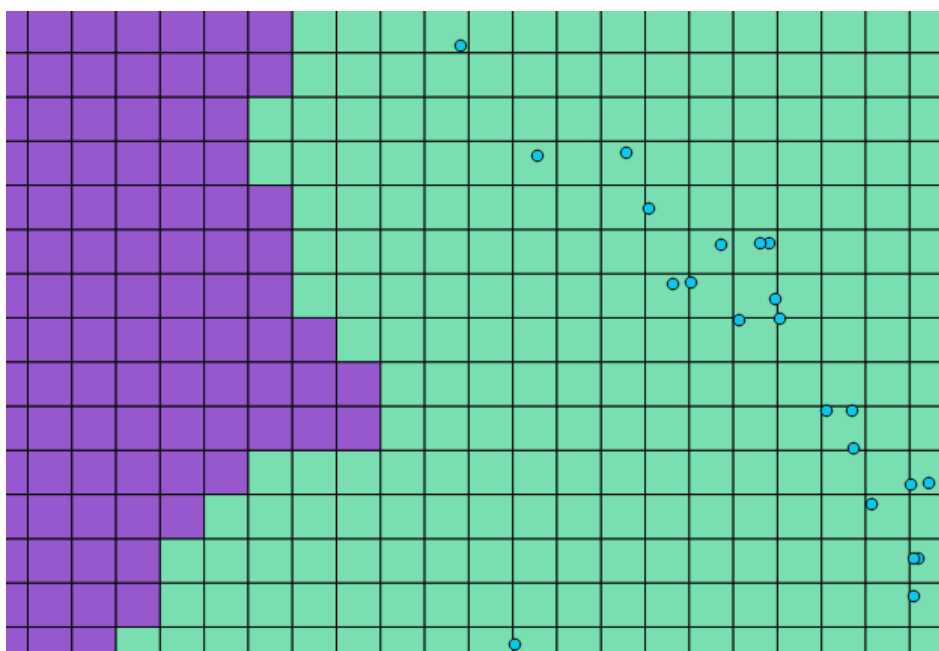
Indata

Algoritmen bygger på data genererad i skördarnas hpr-filer enligt StanForD 2010 (Arlinger m.fl. 2012) version 3.6 eller högre inkluderande trackingdata (Skördarnas loggspår). Dessutom används vägar i nationella vägdatabasen NVDB för att plocka bort eventuellt befintliga vägar som maskinen utnyttjat.

Beräkningsmatris

Stickvägsalgoritmen bygger på en matris som skapas med hjälp av indata i arealberäkningsalgoritmen. Stegen för att skapa denna matris är:

- **Datainläsning:** Alla skördardata inklusive trädslag, stockar, kranvinklar, koordinater med mera som hör till objektet läses in i en stamlista. Trackingdata från skördaren blir också inlästa. Allmänna data hämtas från skogliga grunddata, vegetationsindex, markfuktighetskarta, lutningsraster samt nationella vägdatabasen.
- **Matris:** En matris med upplösning på en meter skapas genom att använda en omslutande rektangel som täcker alla avverkade stammar plus en buffert om ca 20 m. Alla inlästa data inklusive stamlistan och trackingdata fördelas ut på matrisens celler.
- **Objektsavgränsning:** Med hjälp av data i varje cell bestäms om en cell ska anses ingå i objektet eller inte. Faktorer som avgör detta är exempelvis avståndet till närmaste avverkade stam, om cellen är belägen över en bilväg eller om det går att identifiera en tydlig gräns i laserdata mot intilliggande objekt (hygge, åker eller liknande).



Figur 1. Matris vid anrop av algoritmen. Grön färg betyder att cellen är innanför objektsgränsen. Varje positionerad stam är kopplad till en stamlista per cell och till en stamlista för hela matrisen.

Räkna ut summerade punktavstånd och bestämma maxpunkter

Eftersom maskinen kan köra flera gånger längs samma väg i olika riktningar, är en egenskap med trackingdata att det ofta förekommer närliggande positioner som inte är i tidsmässig sekvens. Nästa steg i beräkningarna är därför att summera positionsavstånd

för att åstadkomma maxpunkter i matrisen. Dessa utgör de koordinater som senare kan knytas ihop till vägar.

För varje cell undersöks vilka positioner som finns inom ett visst avstånd. Dessa summeras därefter med en funktion som är avtagande ju längre ifrån cellen positionen är. Maxpunkter identifieras som de celler som inte har någon granne med en högre summa. I ett sista steg filtreras maxpunkterna, enligt ett krav på minsta avstånd mellan dem. Default minsta avstånd är sex meter.

7.62	8.06	7.62
8.54	8.6	7.81
7.62	7.81	7.21

Figur 2. Celler med beräknad avståndssumma. Cellen i mitten är en maxpunkt.

Generera stickvägar

För att skapa vägar används noder och vektorer, där en vektor förbinder två noder. Metoden är att läsa positionerna från antingen trackingdata eller stamdata i den ordning de är registrerade och att för varje position söka den närmaste maxpunkten. En nod skapas i maxpunkten och en vektor skapas mellan maxpunkten och föregående maxpunkt, efter en kontroll att det inte redan fanns en motsvarande nod och/eller motsvarande vektor. Om avståndet mellan noderna blir för långt skapas ingen vektor, utan algoritmen betraktar vägsträckan som avslutad. Den använda avståndsgränsen är 20 m.

Koppla stammar till stickvägar

Avslutningsvis kopplas alla stammar till den närmaste stickvägen för beräkning av nyckeltal såsom stickvägsandel, täthetsmått och andel stickvägsträd. Om cellerna i matrisen härstammar från arealberäkningsalgoritmen, kan nyckeltal även beräknas för beräkningsytor eller för hur mycket stickväg som är utanför objektet och ligger på väg eller i omgivningen i övrigt.

Beräkning av stickvägsrelaterade nyckeltal

Nyckeltal för stickvägar kan räknas ut för till exempel objektet som helhet, ett geografiskt avgränsat område eller en delyta. Om avgränsningen finns representerad i matrisens celler, kan beräkningen ske direkt i algoritmen. I annat fall kan stickvägarna lagras i en geodatabas för användning i GIS-analyser.

Vissa nyckeltal beräknas direkt utifrån cellernas egenskaper, medan andra utnyttjar cellernas stamlistor. Beräkning av nyckeltal från stamlistor, exempelvis virkesvolym per sortiment eller antalet stickvägsträd baserat på kranvinkel, redovisas i dokumentationen för stamlistor (Eriksson 2021, opublicerat).

Identifiering av vilka celler som ingår i stickväg sker analogt med kopplingen av skördarstammar. Avståndet till cellen beräknas som avståndet mellan vektorn och cellens centrumkoordinat. För att cellen ska anses ingå i stickvägen får detta avstånd inte överstiga 2,15 meter (det vill säga halva stickvägsbredden).

För att räkna ut till exempel arealandelen stickväg inom en delyta, filtreras först alla celler som hör till delytan ut för summering av ytans totalareal. Därefter filtreras ytans celler med kravet att de ska ingå i en stickväg. Kvoten mellan arealen för ytans stickvägsceller och ytans totalareal ger arealandelen stickväg. På samma sätt kan nyckeltal för till exempel Skogsstyrelsens laserbaserade skogliga grunddata räknas ut.

Handlar det om nyckeltal baserat på skördarstammar, är knytningen mellan stammar och celler i normalt användbart endast för att avgöra vilken yta som stammarna tillhör. Modellen är dock förberedd för att kunna dra nytta av bättre positionering av de enskilda träden.