



Rumslig fördelning och skadefrekvens av kvarvarande träd efter förstagallring med slingerstråk

En jämförelse av två metoder i SCA:s gallringsverksamhet

Sandra Wiig

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2025:5

Umeå 2025



Rumslig fördelning och skadefrekvens av kvarvarande träd efter förstagallring med slingerstråk. En jämförelse av två metoder i SCA:s gallringsverksamhet

Spatial distribution and damage frequency of remaining trees after first thinning with "ghost trails". A comparison of two methods in SCA's thinning operations

Sandra Wiig

Handledare: Ola Lindroos, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Examinator: Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E

Kurstitel: Mastersarbete i skogsvetenskap

Kurskod: EX0955

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2025

Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.

Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Delnummer i serien: 2025:5

Nyckelord: Gallringsmetod, skogsskötsel, uttagsfördelning, stamskador, beslutstöd

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Gallring är en viktig skoglig åtgärd som påverkar beståndets utveckling, trädens kvalitet och den framtida avkastningen. För att gallringen ska bli effektiv och hållbar krävs det att arbetet utförs med god precision och planering. SCA Skog har utvecklat en metod för gallring med slingerstråk, som de rekommenderar att alla gallringslag använder sig av, men det finns variation i hur den tillämpas. För den rekommenderade metoden placeras slingerstråket mellan två parallella stickvägar och det gallrade virket läggs vid de två befintliga stickvägarna. Den andra metoden innebär att slingerstråket placeras parallellt med en stickväg och virket läggs endast vid den stickvägen. Studien omfattade en analys av samtliga gallringslag inom ett förutbestämt område, totalt inventerades 24 bestånd fördelade mellan de två gallringsmetoderna. Syftet var att undersöka och jämföra hur den rumsliga fördelningen och stamskador på kvarvarande träd skiljer sig åt efter gallring utifrån vilken gallringsmetod som tillämpats. Resultatet visade en stor variation vid tillämpning av olika gallringsmetoder och visade att den rekommenderade metoden gav en jämnare fördelning av gallringsuttaget vid jämförelse med den andra metoden av slingerkörning, som visade större variation. Skadefrekvensen på kvarvarande träd påverkades inte av gallringsmetod, däremot fanns det en högre risk för skador i grandominerade bestånd än i tallbestånd. De kvarvarande trädens fördelning visade tydligt att de påverkas av slingerstråkets placering mellan stickvägarna snarare än enbart metodval. Resultaten kan användas som underlag för framtida beslutstöd, planering och utbildning, främst inom företagets gallringsverksamhet.

Nyckelord: Gallringsmetod, skogsskötsel, uttagsfördelning, stamskador, beslutstöd

Abstract

Thinning is a key silviculture treatment that influences stand development, timber quality, and future revenue. To be effective and sustainable, thinning operations require careful planning and high operational precision. SCA Forestry has developed a recommended method for thinning using strip roads, yet the degree of implementation varies in practice. For the recommended method, the “ghost trail” is placed between two parallel strip roads, and the harvested timber is piled alongside both strip roads. The alternative method involves placing the “ghost trail” parallel to a single strip road, with the harvested timber piled only alongside that strip road. The study analyzed all thinning units within a predetermined area, with a total of 24 stands inventoried and divided between the two thinning methods. The aim was to investigate and compare how the spatial distribution and damage frequency of residual trees differ depending on the thinning method applied. The results revealed considerable variation in outcomes depending on the thinning method. The recommended method produced a more uniform distribution of harvested trees, while the alternative method showed greater variability. Stem damage frequency was not affected by thinning methods, but the risk of damage was higher in spruce-dominated stands than in pine-dominated ones. Furthermore, the distribution of remaining trees was more clearly influenced by the placement of the “ghost trail” road between the strip roads than by the method itself. The findings can inform the development of future decision support tools, planning practices, and training initiatives, particularly within the company’s thinning operations.

Keywords: Thinning method, forest management, “ghost trail”, stem damage, decision-support

Förord

Inledningsvis riktas ett varmt tack till värdföretaget SCA Skog och de personer som hjälpt till under arbetets gång. Med synpunkter, reflektioner och stöd har flera personer väglett arbetet framåt. Ett särskilt tack till följande:

Ola Lindroos, handledare SLU, för otroligt värdefull feedback och kunskap.

Magnus Eriksson, kontaktperson SCA Skog, för ett gott samarbete och insyn i den praktiska verksamheten.

Rebecka Åslin, produktionsledare SCA Skog, som generöst har bidragit med kunskap och information.

Innehållsförteckning

Förord	4
Tabellförteckning	7
Figurförteckning	8
Inledning	10
1.1 Gallring	10
1.2 Gallringsformer	12
1.3 Gallringsmetoder	14
1.4 Beslutsstöd vid gallring	16
1.5 SCA Skog	18
1.6 Problembakgrund	18
1.7 SCA-gallring – "Mittenstråk"	19
1.8 Alternativ metod – "Växelstråk"	20
1.9 Syfte & Frågeställningar	21
1.10 Avgränsningar	22
2. Metod och metoder	23
2.1 Val av studieområde	23
2.2 Identifiering av gallringsmetoder via analys från GPS-loggar	24
2.3 Urval av gallringslag	25
2.4 Urval av bestånd för fältinventering	26
2.5 Material och datainsamling med bältesinventering	29
2.6 Säkerhet vid fältarbete	33
2.7 Variabler från bältesinventering	33
2.8 Bearbetning och sammanställning av data	35
2.9 Statistiska analyser	35
3. Resultat	37
3.1 Tillämpning av gallringsmetoder	37
3.2 Totalt stickvägsavstånd	37
3.3 Slingerstråkets placering mellan stickvägarna	40
3.4 Fördelning av gallringsuttag	43
3.5 Förekomsten av skador på kvarvarande träd	46
4. Diskussion	49
4.1 Skillnader i gallringsuttag och struktur för kvarvarande träd	49
4.2 Effekterna av slingerstråkets placering och det totala stickvägsavståndet	50
4.3 Skillnader i förekomsten av skador	52
4.4 Tillämpning av gallringsmetoder i praktiken	53
4.5 Studiens styrkor och svagheter	54

4.6	Framtida studier	55
4.7	Slutsatser	57
	Referenser.....	58
	Populärvetenskaplig sammanfattning	63
	Bilaga 1.....	64
	Bilaga 2.....	65
	Bilaga 3.....	67
	Bilaga 4.....	68

Tabellförteckning

Tabell 1: Översikt över studiens metodik, uppdelad i tre steg. Tabellen sammanfattar de tre viktigaste delmomenten i studien.	23
Tabell 2: Antal gallringslag fördelat på geografiskt område och gallringsmetod baserat på körmönster.	24
Tabell 3: Sammanställning av maskinspecifikationer för de skördarmodeller som inkluderats i studien, samt antal utvalda gallringslag per skördarmodell och gallringsmetod.....	25
Tabell 4: Beskrivning av beståndsegenskaper och urvalskriterier för val av bestånd.	27
Tabell 5: Beståndsegenskaper för varje gallringsbestånd som inkluderats i studien, där T = tallbestånd G=granbestånd. T dominerades av tall med 60–100% och G hade fördelningen 50–100% gran och löv. Varje gallringsmetod bestod av 6 “tallbestånd” och 6 “granbestånd”.....	28
Tabell 6: Visar en översikt av samtliga variabler som ingick i analysen och som samlades in från fältinventeringen, förklaras med beskrivning och enhet. (I) beskriver om variabeln används vid fältinventering och (A) vid analysen.....	34
Tabell 7: Redovisar den genomsnittliga stickvägslängden och standardavvikelser uppdelat efter gallringsmetod och trädslag.....	40
Tabell 8: Medelavstånd (meter) från slingerstråk till stickväg för respektive sida (längsta (A) och kortaste (B)), trädslag och gallringsmetod, samt standardavvikelse (SD) för varje medelavstånd.	43
Tabell 9: Totalt antal observerade kvarvarande träd, antal skadade träd och andelen skadade träd (%) per gallringsmetod.....	46

Figurförteckning

Figur 1: Schematisk illustration av arbetsgången vid gallring enligt metoden mittenstråk. Pilarna visar riktningen och ordningen för maskinens färdväg genom beståndet.	20
Figur 2: Schematisk illustration av arbetsgången vid gallring enligt metoden växelstråk. Pilarna visar riktningen och ordningen för maskinens färdväg genom beståndet.	21
Figur 3: Karta över Sverige med geografisk placering för de bestånd som ingick i studien, där orange punkt markerar ungefärlig plats för varje enskilt bestånd. Originalkartan hämtad från: "Sweden rel location map" av NordNordWest, licenserad under CC BY-SA 3.0.	29
Figur 4: Illustration av en provyta som användes vid inventeringen. Visar exempel för inventeringens startpunkt, placering av slingerstråk och stickvägar samt hur träd och stubbar kan vara fördelade inom inventeringsbältet, med en bredd på 4 meter.	31
Figur 5: Exempel över utfallet av det systematiska slumpmässiga urvalet av startpunkter för bältesprovytor (gröna punkter) i ett bestånd, baserat på GPS-loggar över stickvägar (gula punkter) och slingerstråk (blå punkter). Beståndsgränsen visas med röd linje.	32
Figur 6: Fördelning av gallringsmetoder i procent per område och totalt för flödesområde södra Norrland.	37
Figur 7: Totalt stickvägsavstånd (meter) för de två gallringsmetoderna mittenstråk och växelstråk. Boxploten visar median, övre och nedre kvartil samt spridningen av stickvägsavstånd för respektive gallringsmetod. Prickarna representerar avvikande värden. Y-axeln startar vid 20 meter för att tydliggöra variationen mellan observationerna.	38
Figur 8: Medelvärde för totalt stickvägsavstånd (meter) uppdelat utifrån gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk) och dominerande trädslag (gran och tall). Punkterna markerar medelvärdena och de vertikala linjerna representerar standardfel. Y-axeln startar vid 26 meter för att tydliggöra skillnader mellan punkterna.	39
Figur 9: Medelavstånd från slingerstråk till stickväg (meter) för lång (A) respektive kort (B) sida, uppdelat utifrån gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk). Staplarna visar medelvärden och standardfel. Y-axeln startar vid 10 meter för att tydliggöra variationen mellan observationerna.	41

Figur 10: Medelavstånd från slingerstråk till stickväg (meter) för respektive lång (A) och kort (B) sida, uppdelat utifrån gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk) och trädslag (gran och tall). Staplarna visar medelvärden och standardfel.	42
Figur 11: Andel gallrade träd i förhållande till det relativa avståndet från slingerstråk till stickväg för de två gallringsmetoderna (mittenstråk och växelstråk). Y-axeln startar vid 0,2 för att tydliggöra variationen mellan observationerna. Det relativa avståndet går från 0 (mitten på slingerstråket) och 1 (första hjulspåret mot stickväg).....	44
Figur 12: Andel gallrade träd i förhållande till faktiskt avstånd (meter) från slingerstråk till stickväg för gallringsmetoderna (mittenstråk och slingerstråk), uppdelat efter lång (A-linje) och kort (B-streckad) sida. Y-axeln startar vid 0,2 för att tydliggöra variationen mellan observationerna.....	45
Figur 13: Andel gallrade träd per trädslag (gran och tall) och gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk) med standardavvikelse.....	46
Figur 14: Andel skadade träd efter gallring per trädslag (gran och tall) och gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk).....	47
Figur 15: Andel skadade träd efter gallring i relation till avståndet mellan slingerstråk och stickväg per gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk).....	48

Inledning

Skogen är en av Sveriges mest betydelsefulla resurser. Den täcker nästan 28 miljoner hektar av landets yta, varav 23,5 miljoner hektar utgörs av produktiv skogsmark. Sveriges skogar har en avgörande roll för att långsiktigt bidra till både ekonomi och klimatmål (Roberge et al. 2024).

En betydande del av den produktiva skogsmarken sköts utifrån framtagna skogsskötselsystem (Albrektson et al. 2012). Genom aktiv och hållbar skogsskötsel ökar tillväxten, samtidigt som det bidrar till klimatnytta (Lundmark et al. 2014). Skogsvårdslagens (lag 1979:429) allmänna bestämmelser kräver att produktionsmål och miljömål ska ha lika stor betydelse. Skogen ska skötas så att den ger en långsiktigt god avkastning samtidigt som naturvärden och andra allmänna intressen bevaras (Riksdagsförvaltningen 1993). För att främja både naturvärden och produktion krävs en ständig utveckling inom skogssektorn. Innovation och anpassning av effektiva och hållbara skötselmetoder är nödvändigt för att behålla en konkurrensfördel och möta marknadens krav på hållbarhet och effektivitet (Thor 2012).

Svenska cellulosa AB (SCA) är en stor aktör inom skogssektorn som förser både industrier och samhället med resurser genom den förnybara råvaran från skogen. De har ett stort utbud av tjänster inom skogsskötsel där gallring utgör en stor del och som syftar till att maximera tillväxt, minska skador och skapa högkvalitativa skogar inför slutavverkning. Genom att kombinera långsiktig skogsskötsel med innovation och utveckling av produkter och tjänster, bidrar de aktivt till samhällets hållbara utveckling (SCA u.å.a).

1.1 Gallring

För att uppnå hållbar skogsskötsel och främja skogens produktivitet tillämpas aktiva åtgärder, där gallring har en betydande roll. Gallring definieras som ”beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagande av virke” (Agestam 2015). Det är den mest förekommande skötselåtgärden inom trakthyggesbruket, vilket är det skogsskötselsystem som dominerat sedan 1950-talet (Albrektson et al. 2012). Gallringsskogar utgör 40% av den brukade produktiva skogsmarken i Sverige och med en årlig gallringsareal på ca 290 000 hektar är gallring den främsta avverkningsåtgärden inom svenskt skogsbruk (Roberge et al. 2024).

För att beskriva gallring är det viktigt att särskilja åtgärden från rökning, som även det påverkar beståndets framtida utveckling. Rökning är en skogsvårdsåtgärd som

i jämförelse med gallring definieras som en utglesning av träd utan att något virkesuttag sker (Agestam 2015). Ungskogsröjning, den mest förekommande röjningsformen, sker vanligtvis då beståndet är ungt, vilket innebär att trädens höjd är mellan 2 och 6 meter. Röjningsbehovet uppstår när träden står väldigt tätt i beståndet vilket gör att konkurrensen om plats, näring och ljus blir för stor (Pettersson et al. 2012). Enligt SCA är syftet med röjning att gynna de barrträd som valts ut vid föryngring och som förväntas ge den bästa tillväxten (SCA 2022). Utöver ungskogsröjning tillämpas även underväxtröjning, en åtgärd som utförs innan gallring eller föryngringsavverkning för att förbättra sikten och underlätta vid maskinarbetet (Forsberg & Lodén 2020). Till skillnad från gallring som nästan uteslutande bedrivs med skogsmaskiner, sker röjningsarbetet oftast motormanuellt (Lundqvist et al. 2014). Gallring utförs i ett senare skede och har utöver skogsvårdande syften, även ett ekonomiskt fokus då virkesuttag sker. Enligt SCA är gallring både en möjlighet att ta ut virke och en investering i framtida beståndskvalitet inför slutavverkning (SCA u.å.b). En gallring utförs vanligtvis en till två gånger under beståndets omloppstid med målet att optimera förutsättningarna för kvarvarande träd (Lagergren & Lindroth 2004). Samtidigt minskar risken för självgallring, som annars kan uppstå när mindre och undertryckta träd inte får tillräckligt med solljus och begränsade tillväxtmöjligheter (Albrektson et al. 2012). Det är skogsägarens val som i första hand påverkar gallringens utfall. Målet kan exempelvis vara att skapa högre lönsamhet genom ökad tillväxt, främja önskvärda trädslag eller skapa strukturer som gynnar naturvärden och rekreation (Lagergren & Lindroth 2004).

Fördelarna med gallring är många men det kan även medföra en del risker. Efter gallring kan känsligheten för vind- och stormskador öka på grund av att de kvarvarande träden står glesare i beståndet och intensivare gallringar kan skapa större risk för skador (Valinger & Pettersson 1996). Vindskador är vanliga vid exponerade lägen, vilket kan vara vid kanterna av ett bestånd eller i branta partier, samt om gallringen skapar stora luckor i beståndet som påverkar trädens stabilitet. Storm- och vindskador kan orsaka stora ekonomiska förluster för skogsägaren (Ulvcrone et al. 2010). Ytterligare en risk i samband med gallring är att avverkningsmaskinerna kan orsaka både mark- och trädsador på det kvarvarande beståndet, vilket kan minska kvalitén hos de träd som står kvar (Johansson et al. 2002). Det går även att avstå helt från gallring, vilket kan vara fördelaktigt för skogsägare som vill maximera volymproduktionen, även om gallring kan påverka den ekonomiska utfallet på andra sätt och bidra till en önskvärd beståndsstruktur (Nilsson et al. 2010).

1.2 Gallringsformer

Gallring som skötselåtgärd är ett sätt att styra beståndets utveckling, där kvarlämnade träd och virkesförråd ska anpassas efter markens produktionsförmåga. I Skogsstyrelsens föreskrifter till 10 § i skogsvårdslagen står följande:

“Stamantalet och virkesförrådet efter avverkning ska vara tillräckligt för att tillvarata markens virkesproducerande förmåga. De kvarlämnade träden ska i huvudsak vara jämnt fördelade över arealen. Skador på kvarlämnade träd ska så långt som möjligt undvikas” (Skogsstyrelsen 2025).

En viktig aspekt inom skogsskötsel är kunskapen kring hur enskilda träd och bestånd utvecklas och påverkas av olika åtgärder som bedrivs. Antal träd, höjd, diameterfördelning och volymtillväxt är bara ett fåtal exempel på faktorer som olika skötselåtgärder kan påverka och styra mot ett önskat utfall (Albrektson et al. 2012). Val av gallringsmetod har stor betydelse för det framtida beståndet och tas vanligtvis fram utifrån skogsägarens önskemål i kombination med gallringsmallar. En gallringsmall är ett beslutsstöd vid utformning av det gallringsprogram som bedöms lämpligt för beståndet. Ett gallringsprogram sätts ihop med hjälp av ett antal olika parametrar. Det är baserat på gallringstyrka, antal gallringar, gallringsform och tidpunkt för den första gallringen, vilket även är den främsta parametern. En väl utformad gallringsmall utgår från de olika parametrarna och väger samtidigt in biologiska aspekter, ekonomiska faktorer och eventuella risker (Agestam 2015).

Beståndets första gallring genomförs som regel då träden når en höjd på cirka 10–15 meter. För gran sker vanligtvis en gallring vid lite högre höjd, omkring 12–15 meter i jämförelse med tall där gallringen normalt utförs vid 10–13 meters höjd. Det är vanligare att en förstagallring sker tidigare under omloppstiden i tallbestånd i jämförelse med granbestånd eftersom risken är större att fler värdefulla produktionsträd går förlorade (Agestam 2015). En gallring som utförs i ett bestånd med låg ålder har oftast lägre träd vilket minskar risken för stormskador. Vind och stormskador, tillväxtresurser och ekonomi är faktorer som påverkar tidpunkt för en förstagallring. En tidig gallring kan gynna tillväxten hos de kvarvarande träden genom att skapa mer utrymme vid låg ålder. Däremot blir intäkterna ofta lägre jämfört med en senare gallring, då träden oftast är mindre och avverkningskostnaderna för den skördade volymen högre (Agestam 2015).

För att bestämma gallringsuttagets storlek används gallringsstyrka. Det beskriver hur stor andel av grundyta, volym eller stamantal som ska tas ut vid avverkning. Med grundyta avses summan av flera träds tvärsnittytor vid 1,3 meter över

marken. Måttet beskrivs utifrån medelvolymen per träd och anges i m²/ha. För att balansera lönsamhet med de risker som finns är gallringsstyrkan vanligtvis mellan 20–40% av grundytan. Högre uttag kan medföra större risk för stormskador samt påverka tillväxten negativt. Ett lägre uttag ger sämre lönsamhet och intervallet till eventuell andra gallring minskar (Agestam 2015; Albrektson et al. 2012). Antal gallringar baseras på flera faktorer och har stor variation beroende på trädslag, ålder, markens produktionsförmåga och skogsägarens mål. Tiden mellan två gallringar beskrivs som gallringsintervall och bestäms utifrån de olika faktorerna samt gallringsstyrkan. Valet baseras på att utföra flera gallringar med lågt uttag eller färre gallringar med högre uttag, vilket styrs utifrån intäkter och önskvärt resultat för den rumsliga fördelningen i skogen (Agestam 2015).

En gallring kan utföras genom selektivt eller schematiskt uttag, vilket är två olika val av gallringsform. Selektiv gallring innebär att urvalet är riktat och beskriver i förväg vilka träd som ska tas ut. De gallringsformer som vanligtvis används är låggallring eller höggallring. Låggallring utförs genom att de träd som har lägst medeldiameter avverkas eftersom klenare träd inte anses ha samma potential att utvecklas till bra huvudträd eller slutavverkningsträd. Vid höggallring skördas i stället de grövsta, vilket ofta även är de högsta, träden ut. Syftet är då att gynna tillväxten för undertryckta och mindre träd. Likformig gallring är också en typ av selektiv gallringsform som tillämpas genom att träd av god kvalitet väljs ut och de träd som konkurrerar med de valda huvudträden gallras bort (Agestam 2015; Bergkvist & Staaland 2003). Vid tillämpning av schematisk gallringsform sker det i sin tur inget aktivt urval av specifika träd. Uttaget sker endast utifrån ett förutbestämt system, exempelvis genom korridorer eller rader (Agestam 2015; Hamilton 1980). I praktiken kombineras ofta båda formerna, främst vid förstagallringar, där det sker tvingande uttag allt eftersom maskinen etablerar körvägar i beståndet för att ta sig fram. Det genomförs vanligtvis i kombination med en selektiv gallringsform för träden mellan stickvägarna (Agestam 2015). SCA rekommenderar och utför kvalitetsgallringar, vilket är en form av selektiv gallring där syftet i första hand är att gallra ut de träd som är skadade eller anses ha sämre kvalitet, för att låta de raka och välutvecklade träden stå kvar inför eventuell andra gallring och slutavverkning (SCA u.å.b).

En ojämn rumslig fördelning av de kvarlämnade träden i ett bestånd kan påverka den framtida tillväxten. Franke (2012) beskriver att ojämn stamfördelning, där öppna luckor kombinerat med täta partier kan leda till varierande konkurrens om resurser och därför påverka den framtida produktionen. Stora och ojämn uttag fördelat över beståndet skapar dessutom större risk för att stormskador ska inträffa (Agestam 2015). Enligt Broman et al. (2018) bör urvalet av träd vid gallring utgå från det enskilda trädets kvalitet, positionering, vitalitet och trädslag. Maximal

gallringseffekt skapas då skador på träden minimeras och starkt växande träd har en jämn spridning över beståndet, med 2,5–3,5 meters avstånd (Broman et al. 2018). Studier har visat att total volym av kvarvarande träd efter gallring, ofta uttryckt i grundyta, är den viktigaste faktorn som påverkar beståndets tillväxt och den ekonomiska avkastningen. En studie av Fransson et al. (2019) fann att när grundytan hålls konstant, kan en jämn rumslig fördelning av kvarvarande träd förbättra nettovirkesproduktionen och nuvärdet med upp till 8%. Resultatet tyder på att en jämn fördelning av träd i beståndet kan bidra till ökad tillväxt men att grundytan efter gallring har en större påverkan för beståndets utveckling (Fransson et al. 2019).

1.3 Gallringsmetoder

I Sverige genomförs gallring i huvudsak med två-maskinsystem med engreppsskördare och skotare, vilket är det system som dominerat i branschen sedan 80-talet (Ager 2017). Skördarförarens uppgift är att optimera avverkningen utifrån positionering och bearbetning av träd. Det gör dem genom att ta beslut om vilka träd som ska sköras och lämnas kvar, samt hur stammarna ska apteras och var de olika sortimenten för stammarna ska placeras. Vidare uttransport av virket från skogen till närmsta väg sker med hjälp av skotaren. Arbetet påverkas bland annat av faktorer som maskintyp, maskinförare, terrängförhållanden, väder och val av gallringsmetod (Agestam 2015; Bergkvist 2009). Det är främst två olika gallringsmetoder som används, stickvägsgallring respektive gallring med slingerstråk (Agestam 2015; Bergkvist 2009). Vid stickvägsgallring arbetar skördaren följt av skotaren längs samma parallella stickvägar. Skördarföraren planerar stickvägarna utifrån terrängens struktur och maskinens räckvidd. Stickvägens bredd är omkring 4 meter och maskinens kran kan som längst nå 11 meter, vilket oftast skapar stickvägar med ett mellanrum upp mot 22 meter. Systemets stickvägar täcker då ca 20% av arealen (Agestam 2015). Vid stickvägsgallring används oftast större maskiner, vilket ofta är ekonomiskt fördelaktigt i grövre bestånd medan andra maskinval kan vara mer lämpade i klenare bestånd (Brunberg & Lundström 2010; Eriksson & Lindroos 2014). Samtidigt oroar sig många skogsägare att större maskiner ska innebära ökad risk för markskador, att stickvägarna ska bli alldeles för breda och att de kvarvarande träden ska bli ojämnt fördelade över beståndet (Hamilton 2011). En del skogsägare är därför beredda att betala mer för att använda mindre maskiner, trots att den totala kostnaden per avverkad volym blir högre (Sundström 2019; Gustavsson 2017). För andra skogsägare lönar det sig inte ekonomiskt att genomföra en gallring, vilket leder till att en stor del skogsägare avstår helt från att gallra sin skog (Hamilton 2011). För att minska problemen och möta skogsägarnas olika förutsättningar och krav, har alternativa gallringsmetoder och

mindre beståndsgående maskinsystem utvecklats (Nilssen Klinga 2020). Slingerkörning, även kallad stråkgallring eller beståndsgående gallring, är en metod som kombinerar ett eller flera slingerstråk, placerade mellan stickvägarna. Det är endast skördaren som kör i slingerstråken och lägger ut virket mot stickvägarna, medan skotaren enbart använder stickvägarna. Vanligtvis utförs beståndsgående gallringar med hjälp av mindre skördare som har en kranlängd på 7–9 meter, vilket kan bidra till större flexibilitet för skördaren att navigera och utnyttja naturliga luckor i beståndet (Bergkvist & Lundström 2010). Tidigare studier har visat att mindre maskinsystem innebär lägre risk för att påverka marken och orsaka skador på träden i jämförelse med större och tyngre maskiner (Edlund 2015).

Valet av maskinstorlek och gallringsmetod påverkar drivningskostnader, trädens fördelning och stickvägsavståndet. Resultat från flera studier tyder på att mindre modeller av skördare är mer kostnadseffektiva i klenare gallringar. Vilket är relevant eftersom andelen förstagallringar med låg medeldiameter och minskad medelstamsvolym ökar (Brunberg & Lundström 2010; Kärhä et al. 2004). En studie av Jonsson (2014) visar att beståndsgående gallring med ett slingerstråk mellan stickvägarna minskar drivningskostnaderna, jämfört med både noll och två slingerstråk i förstagallring av tall. Resultatet visar också att stickvägsavstånd påverkar maskinsystemets produktivitet. Att längre avstånd förbättrar skotarens effektivitet eftersom mer virke samlas efter varje stickväg, medan det i stället kan minska skördarens produktivitet. Det belyser vikten av att skapa ett välanpassat stickvägsavstånd som kombinerar maskinernas kapacitet utifrån beståndets struktur (Jonsson 2014). Den mest kostnadseffektiva lösningen har visats vara en mindre skördarmodell med 30 meters stickvägsavstånd där ett slingerstråk används (Bergkvist & Lundström 2010).

Vid en analys av gallringsuttaget visade Bergkvist (2009) att slingerkörning med 30 meters stickvägsavstånd ger en jämnare fördelning av de kvarvarande träden i beståndet, där slingerstråkets placering var avgörande för resultatet. Däremot visades lägst tvingande uttag vid användning av stickvägsgallring och högst tvingande uttag vid användning av ett slingerstråk mellan stickvägar som hade ett kort stickvägsavstånd på 22 meter. Studien fann inte någon skillnad i skador på träden mellan de olika metoderna, dock belyser resultatet att gallringsmetod påverkar mer än ekonomiska aspekter, eftersom uttagets fördelning formar beståndets framtida struktur (Bergkvist 2009).

Utöver drivningskostnad och uttagsfördelning är stickvägarnas bredd och avstånd avgörande för den rumsliga fördelningen av kvarvarande bestånd efter gallring (Broman et al. 2018). Skördarens arbete underlättas med kortare avstånd mellan

körvägarna eftersom kranen enklare kan nå hela området. Dessutom minskar förflyttningen för fällda träd, vilket i sin tur minskar risken för skador på de kvarvarande träden i beståndet. Vid längre avstånd kan delar av beståndet förbli ogallrade eftersom maskinens räckvidd inte täcker hela zonen mellan stickvägarna. Dessutom kan längre avstånd medföra sämre siktförhållanden för maskinföraren och påverka stamvalet, samt gallringsutfallet. Däremot kan korta avstånd mellan stickvägarna och breda körvägar öka risken för högt tvingande uttag eftersom stor del av arealen behöver användas för att maskinen ska tas sig fram genom beståndet (Agestam 2015).

1.4 Beslutstöd vid gallring

Gallringsarbetet för maskinföraren omfattar flera parallella arbetsmoment, där arbetet anpassas efter beståndets struktur, maskinens kapacitet och de beslutstöd som finns tillgängliga. Maskinförarens arbete är avgörande för att balansera produktivitet med kvalitet, samtidigt som skador på mark, träd, och rötter ska undvikas (Gellerstedt 2013). De beslutstöd som finns tillgängliga för maskinföraren är traktdirektiv, Geografiska Informationssystemet (GIS), Global Positioning System (GPS) och HPR-gallring, vilket är ett program som används för att effektivisera gallringsutförandet.

Traktdirektiv är en viktig del inom gallringsplanering och innehåller instruktioner för hur skördarföraren ska utföra arbetet. Det ska innehålla tydliga kartor över området samt informera om beståndsgränser, kontaktuppgifter, koordinater, gallringsuttag, gallringsstyrka och markens bärighet. Ytterligare specifikationer som ska inkluderas är hänsyn till natur- och kulturvärden samt rekommenderade drivningsvägar (Bergkvist & Staland 2003). För att sammanställa den data som behövs, används en kombination av fältarbete med inventering och digitala kartsystem, där GIS och GPS är viktiga verktyg. GIS är ett digitalt kartsystem som används för att samla in, analysera och visualisera geografiska data. Lantmäteriet, Skogsstyrelsen och Riksskogstaxeringen har bland annat genom laserskanning, flygbilder och satelliter bidragit med en stor mängd data som kan laddas ner till GIS-verktyget. Systemet används inom skogsbruket för att exempelvis lagra information om skogens volym, grundyta, lutning, markfuktighet och trädslagfördelning (Skogskunskap 2024). GPS möjliggör en hög noggrannhet vid positionering i terrängen (Jonsson 1991) och används i skogsmaskiner för att navigera samt följa den planerade avverkningen. Traktdirektivet skickas digitalt till den dator som finns i skogsmaskinen, där föraren kan kombinera GIS kartor och GPS- positionering för att tidseffektivt och noggrant följa det beslutstöd som finns i gallringsdirektivet (Bergkvist & Staland 2003).

Utöver kartsystem och navigeringsstöd har maskinförare tillgång till programmet HPR-gallring, ett beslutstöd som analyserar gallringsdata i realtid. Programmet tar fram information om gallringsuttag, gallringsstyrka, gallrad areal och beskriver det kvarvarande beståndet baserat på skördardata från de avverkade träden. Systemet sammanställer information om grundyta, volym, stamantal och trädslagsfördelning och bidrar till mer kvalitetssäkra gallringar. Precisionen i gallringsutförandet kan förbättras genom HPR-gallring och ge maskinföraren en tydlig uppfattning av hur uttaget påverkar beståndet (Möller et al. 2016).

Den tekniska utvecklingen inom skogsbruket fortsätter i snabb takt vilket lett till att nya system och beslutstöd introduceras kontinuerligt. Användningen av laserskanning och Artificiell Intelligens (AI) är tekniska hjälpmedel som utvecklas och effektiviserar framtida planering och genomförande av skogliga åtgärder. Data från laserskanning används idag i digitala kartor för att skapa detaljerade 3D modeller av skogsområden (Olsson et al. 2022). SCA har som mål att under 2025 planera all avverkning av egna skogar digitalt, eftersom de tillsammans med laserdata och skördardata har skapat ett AI verktyg för att efterlikna skogen i hög kvalitet. Det ingår som en del i arbetet att ligga i framkant vad gäller teknik och digitalisering i branschen (SCA 2024).

Trots tillgången till flera beslutstöd, finns det studier som visar att arbetsmetodiken kan variera mellan förare beroende på erfarenhet och arbetsstrategi att arbeta med digitala hjälpmedel (Lindroos et al. 2017; Ovaskainen, 2009). En studie av Sesone & Vestlund (2024) visar att tekniska hjälpmedel som siktförbättrade system och digitala beslutstöd, skulle kunna påverka maskinförarens arbetssätt och gallringens utfall. Gellerstedt (2013) beskriver att beståndets egenskaper påverkar gallringens resultat, utifrån tid på dygnet, årstid och framför allt täta granbestånd kan påverka förarens sikt. Under arbetets gång skapas ett glesare bestånd allt eftersom fler träd avverkas, vilket gör att sikten förbättras och träd blir synliga från längre avstånd. Att fälla och förflytta träd med långt avstånd från maskinen kräver skicklighet och erfarenhet från maskinföraren. Samma studie belyser att både förarens tekniska kompetens och skogliga kunskap är viktigt för att positionera maskinen optimalt i beståndet, samt är avgörande för gallringens utförande och kvalitet (Gellerstedt 2013). Kvalitetssäkring i gallring används av många företag för att kontrollera gallringsresultat mot de definierade målen som satts upp. En gallringsuppföljning kan stödjas med tidigare nämnda tekniska hjälpmedel i kombination med kontrollmätningar i fält. Genom noggrann uppföljning och identifiering av uttag, trädfördelning och skador på kvarvarande träd i beståndet kan maskinföraren få återkoppling och bidra till framtida förbättringar (Bergkvist & Staaland 2003).

Eftersom gallring är en komplex arbetsuppgift, kan resultatet variera beroende på förarens individuella arbetsmetodik och användandet av tekniska hjälpmedel. Det är därför av intresse att undersöka hur olika förare och användande av tekniska hjälpmedel påverkar beståndets struktur efter gallring. Inte minst i och med den utveckling som skett av digitala verktyg som stöd. Det är relevant att studera skillnader i beståndets rumsliga fördelning och förekomsten av skador på kvarvarande träd, baserat på val av gallringsmetod och arbetsmetodik.

1.5 SCA Skog

Arbetet har utförts i samarbete med Europas största privata skogsägare Svenska Cellulosa Aktiebolag, SCA. Bolaget grundades 1929 och har idag fem affärsområden: Skog, Trä, Containerboard, Massa och Förnybar energi med huvudkontor i Sundsvall (SCA, u.å.c). SCA har ett skogsinnehav på 2,7 miljoner hektar, som affärsområde Skog förvaltar och sköter samtidigt som de erbjuder service och tjänster till privata skogsägare. SCA Skog har omkring 530 anställda från Söderhamn i söder till Jokkmokk i norr, spritt över 35 olika orter i Sverige och som är uppdelade utifrån fem funktioner: Marknad, Skog och skötsel, Produktion, Industriförsörjning och Baltikum. Det är Produktion som ansvarar för all avverkning som sker på uppdrag av SCA Skog oavsett om det gäller privata markägare eller den egenägda skogen. Bolaget har ungefär 20 egna maskinlag som utför en del av avverkningararbetet, men huvuddelen utförs av lokala entreprenörer, där en viktig del är att stötta och utveckla entreprenörer i deras affärsutveckling (SCA, u.å.d).

1.6 Problembakgrund

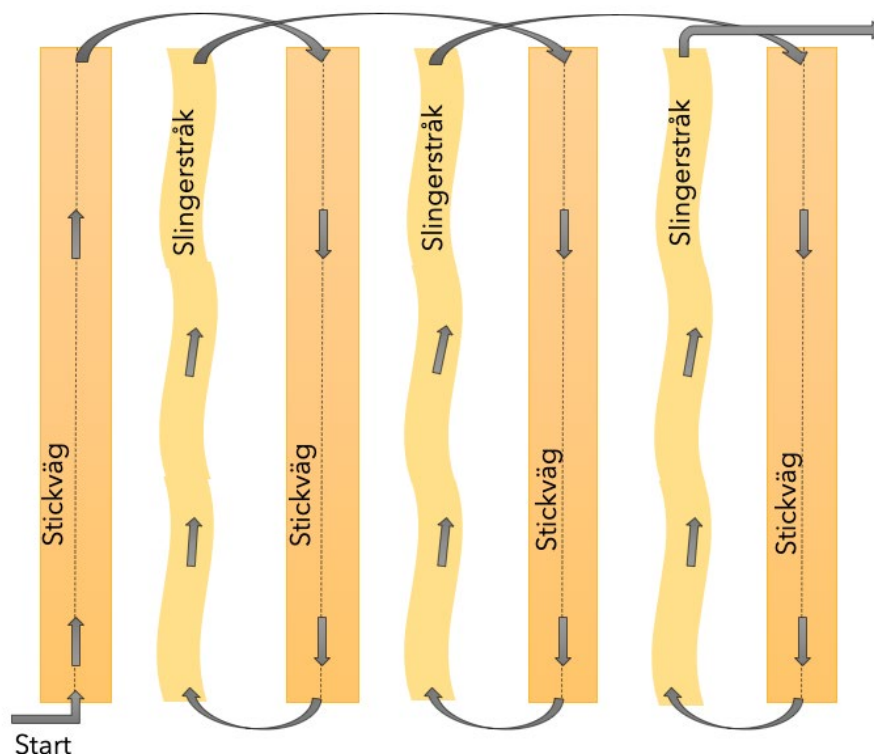
Effektivitet och kvalitetssäkring är viktiga delar inom skogsskötsel, vilket bidragit till att många skogsföretag genomfört omfattande studier för att ta fram effektivare arbetsmetoder. SCA Skog har, baserat på studier och praktiska erfarenheter utvecklat och implementerat en gallringsmetod som idag är företagets praxis. Det är en metod av slingerkörning, som inom företaget benämns som "SCA-gallring". Alla maskinförare som arbetar åt SCA, både anställda och entreprenörer förväntas tillämpa metoden vid gallringsarbete. För att säkerställa att metoden utförs på önskat sätt så har SCA Skog tagit fram instruktionsmaterial i form av instruktionsfilmer, dokument och gjort insatser för att direkt informera främst maskinförare och deras produktionsledare.

Trots utförda insatser att implementera metoden sedan flera år tillbaka, finns det indikatorer på att metoden inte alltid tillämpas enligt den framtagna metoden (M.

Eriksson, personlig kommunikation, 28 augusti 2024). Utifrån de maskinförare som använder slingerkörning har främst två olika arbetsmetoder iakttagits hos SCA, det är ”SCA-gallring” och en alternativ metod. Skillnaden är att slingerstråket placeras mellan två parallella stickvägar för ”SCA-gallring” och endast utifrån en parallell stickväg för den alternativa metoden. Utöver dessa två metoder finns det förare som helt utesluter slingerkörning och endast använder stickvägsgallring. SCA Skog har en teori om att metodvarianterna kan påverka det slutgiltiga gallringsresultatet, med teorin om att den framtagna metoden ”SCA-gallring” skapar en mer jämn rumslig fördelning och mindre stamskador för de kvarvarande träden i bestånden i jämförelse med den alternativa metoden.

1.7 SCA-gallring – ”Mittenstråk”

Den arbetsmetod som inom företaget kallas för SCA-gallring, benämns i rapporten som mittenstråk. Det är en variant av stråkgallring där slingerstråket skapas i zonen mellan två parallella och redan uppkörda stickvägar (Figur 1). Skördarföraren hugger först upp två parallella stickvägar med cirka 30 meters mellanrum. Därefter anpassas slingerstråkets placering efter mellanzonens naturliga luckor och öppningar. Det virke som gallras ut från slingerstråket läggs vid de två befintliga stickvägarna. Det kan förklaras med att körvägarna huggs upp med en roterande arbetsgångs eftersom slingerstråket alltid placeras i mitten av de två redan uppkörda stickvägarna. Arbetsordningen för metoden följer mönstret: stickväg - stickväg - slingerstråk - stickväg - slingerstråk – stickväg och upprepas kontinuerligt under arbetes gång (SCA Skog 2024).



Figur 1: Schematisk illustration av arbetsgången vid gallring enligt metoden mittenstråk. Pilarna visar riktningen och ordningen för maskinens färdväg genom beståndet.

Figure 1: Schematic illustration of thinning operations using the "center-ghost trail". The arrows show the direction and sequence of the machine's travel path through the stand.

1.8 Alternativ metod – "Växelstråk"

Den alternativa metoden som observerats, benämns i rapporten som växelstråk. Arbetsmetoden utgår från en liknande form av slingerstråkgallring men arbetsgången ser annorlunda ut. Skördarföraren hugger först upp en stickväg och vänder sedan ca 180 grader för att köra upp ett slingerstråk tillbaka, parallellt med den befintliga stickvägen (Figur 2). Därefter vänder skördaren återigen 180 grader och hugger upp nästa stickväg för att sedan upprepa arbetsprocessen. Metoden innebär att arbetsgången växelvis varierar stickväg och slingerstråk vilket i jämförelse med mittenstråksmetoden betyder att det bara finns en stickväg för maskinföraren att förhålla sig till, samt att virket enbart kan läggas vid den befintliga stickvägen. Arbetsordningen för metoden följer mönstret: stickväg - slingerstråk - stickväg - slingerstråk och så vidare (M. Eriksson, SCA, personlig kommunikation, 28 augusti 2024).

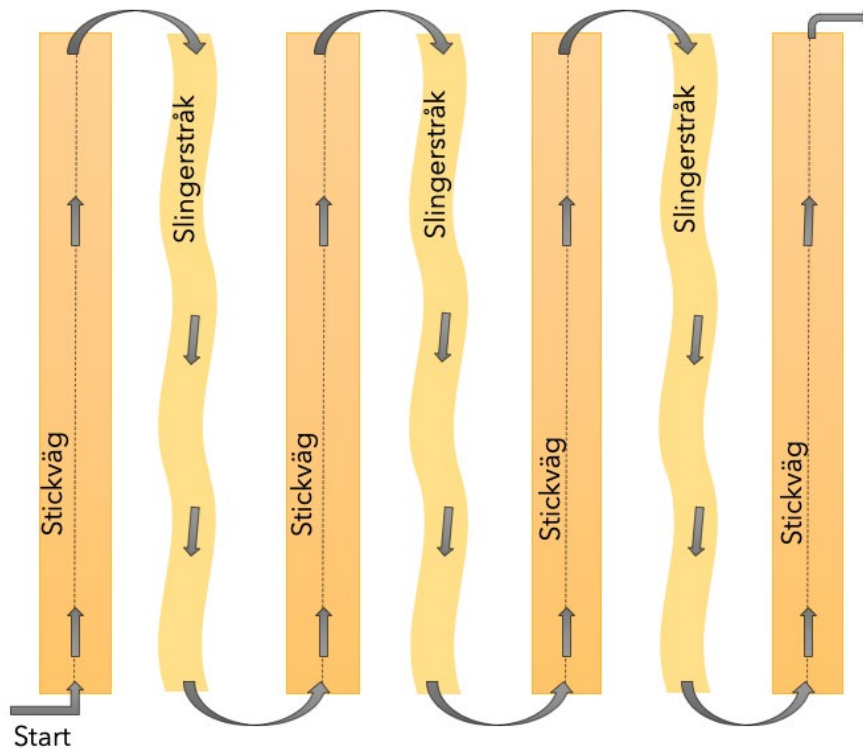


Figure 2: Schematisk illustration av arbetsgången vid gallring enligt metoden växelstråk. Pilarna visar riktningen och ordningen för maskinens färdväg genom beståndet.

Figure 2: Schematic illustration of thinning operations using the "asymmetrical-ghost trail". The arrows show the direction and sequence of the machine's movement path through the stand.

1.9 Syfte & Frågeställningar

Studien syftar till att undersöka och jämföra hur den rumsliga fördelningen och stamskador på kvarvarande träd skiljer sig åt efter gallring med de två olika gallringsmetoder. Genom att undersöka hur de två metoderna av slingerkörning (mittenstråk och växelstråk) påverkar gallringsutfallet är målet att bidra med kunskap som kan användas för framtida beslutstöd och gallringsstrategier generellt, och specifikt för SCA Skogs gallringsverksamhet.

Specifika frågeställningar:

- *I vilken omfattning tillämpas den förespråkade metoden (mittenstråk) vid praktiskt gallringsutförande?*
- *Hur påverkas stickvägsavståndet och placeringen av slingerstråken mellan stickvägarna av gallringsmetod och beståndets dominerade trädslag?*
- *Hur påverkas den rumsliga fördelningen av kvarvarande träd efter utförd gallring beroende på vilken gallringsmetod som används?*

- *I vilken utsträckning varierar skador på de kvarvarande träden i beståndet efter utförd gallring och hur påverkas de baserat på val av gallringsmetod samt dominerande trädslag?*

1.10 Avgränsningar

Studien avgränsades geografiskt till Södra Norrland, med utgångspunkt för datainsamling från SCA Skogs lokalkontor i Sundsvall. Arbetet inkluderade endast förstagallringar utförda under barmarkssäsongen 2024. Analys och inventering av uttag, träds fördelning och skador inkluderade endast jämförelse mellan de två specifika gallringsmetoderna: mittenstråk och växelstråk. Alla övriga metoder exkluderades från analysen, bortsett från en tidig kartläggning för att ge en övergripande bild av metodfördelningen.

Arbetet inriktades mot gallringens resultat med avseende på att jämföra hur den rumsliga fördelningen och skador på kvarvarande träd i bestånden skiljer sig åt mellan de två olika arbetsmetoderna. Däremot studerades inte skillnader i gallringsresultat med avseende på parametrar som diameter, höjd, ålder och grundyta. Det är uppgifter som finns tillgängliga för företaget genom interna digitala system och genom planering.

2. Metod och metoder

Studien genomfördes baserat på två datakällor bestående av SCA:s GPS-loggar från gallringsskördare och beståndsinventeringar. Syftet med att kombinera de två datakällorna var att säkerställa en noggrann kartläggning av gallringsgenomförandet och utfallet, för att besvara studiens forskningsfrågor. GPS-data från maskinerna gav information om deras rörelsemönster och därmed information om hur gallringen hade genomförts, vilket tydliggjorde vilken arbetsmetod som hade använts. Fältinventeringen gav detaljerad information om det kvarvarande trädens rumsliga fördelning, avstånd från slingerstråk till stickväg, stickvägsavstånd och eventuella stamskador. Användningen av SCA:s interna system för drivningsanalys, bortsättningsunderlag och GPS-data nyttjades för att undersöka vilka arbetsmetoder som använts. Studien genomfördes baserat på tre steg, vilket skapade en systematisk analys av gallringsmetoderna och hur det påverkade gallringsresultatet (Tabell 1).

Tabell 1: Översikt över studiens metodik, uppdelad i tre steg. Tabellen sammanfattar de tre viktigaste delmomenten i studien.

Table 1: Overview of the study methodology, divided into three steps. The table summarizes the three main components of the study.

Delmoment	Syfte	Genomförande
1.Urval och analys av GPS-loggar från gallringsskördare	Att kartlägga maskinförarnas val av gallringsmetod (mittenstråk, växelstråk, övriga metoder).	GPS-loggar användes för att analysera gallringsskördarnas rörelsemönster.
2.Fältinventering av bestånd efter gallring	Att kvantifiera den rumsliga fördelningen av träd, stickvägar och slingerstråk, samt förekomsten av stamskador.	Bältesinventering utfördes där utvalda variabler samlades in och registrerades systematiskt.
3.Statistiska analyser för att jämföra gallringsmetoder	Att identifiera skillnader mellan de olika gallringsmetoderna utifrån trädfördelning, avstånd och skador efter utförd gallring.	Statistiska analyser genomfördes med relevanta test för att jämföra de olika gallringsmetoderna.

2.1 Val av studieområde

Studien fokuserade på företagets flödesområde i södra Norrland, som innehöll tre delområden: Sollefteå, Sundsvall och Östersund. De tre delområdena hade likartade skogliga förhållanden vad gäller exempelvis trädslagsfördelning och andel produktiv skogsmark (Roberge et al. 2024). Val av flödesområdet ansågs

lämpligt, då en stor areal gallrades årligen och eftersom företaget hade iakttagit att ett antal olika gallringsmetoder användes. För att skapa en representativ bild av hur olika gallringsmetoder tillämpas i praktiken och inom ett stort geografiskt område, inkluderades alla gallringslag som tillhörde flödesområdet för södra Norrland vid en kartläggning och analys.

2.2 Identifiering av gallringsmetoder via analys från GPS-loggar

Samtliga gallringslag som var aktiva under perioden för barmark (maj till oktober) inom de tre delområdena i södra Norrland studerades och analyserades genom gallringsskördarnas körmönster som registrerades i maskinens GPS. Det studerades med hjälp av företagets egna drivningsprogram (SCA drivning) och deras interna traktprogram (SCA trakt). Uppskattningsvis studerades 5–10 utförda förstagallringar från varje gallringslag beroende på hur tydligt gallringsmetoden kunde identifieras, vilket motsvarade omkring totalt 300 utförda gallringar inom området för södra Norrland. För att säkerställa vilken gallringsmetod som gallringslagen använde inhämtades även information från företagets produktionsledare, den person som arbetsledde och hade kännedom för lagets arbetssätt. Gallringslagens arbetsmetod fastställdes baserat på den gallringsmetod som användes mest konsekvent av gallringslaget. Gallringslagen delades upp mellan tre olika kategorier: mittenstråk, växelstråk och övriga metoder, vilket bestämdes utifrån vilken gallringsmetod som användes (Tabell 2). Kategorin övriga metoder innehöll alla arbetsmetoder som inte klassificerades till någon av de andra kategorierna. Det kunde vara exempelvis ren stickvägskörning, användning av dubbla slingerstråk intill varandra eller att gallringslaget i stor utsträckning varierade mellan arbetsmetoder.

Tabell 2: Antal gallringslag fördelat på geografiskt område och gallringsmetod baserat på körmönster.

Table 2: Distribution of harvesting teams by geographic area and thinning method based on movement pattern.

Område	Mittenstråk	Växelstråk	Övriga metoder	Totalt
Sundsvall	5	3	4	12
Östersund	10	2	0	12
Sollefteå	4	11	2	17
Totalt	19	16	6	41

I linje med studiens syfte och företagets praxis gällande gallring med slingerstråk inkluderades endast mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden vid vidare

analyser i studien. Det betyder att alla gallringslag som tillämpade någon av de övriga metoderna exkluderades från studien och vidare analyser.

2.3 Urval av gallringslag

Baserat på tidsåtgången från en tidigt utförd pilotstudie av inventeringsmetodik (stycke 2.5, s.30) anpassades studiens datainsamlingsmängd. Urvalet begränsades till två av de tre delområdena inom geografin södra Norrland, vilket var Sollefteå och Östersund. Begränsningen gjorde att res- och inventeringstiden kunde rymmas inom vad som fanns tillgängligt för studiens genomförande eftersom de två delområdena hade stort antal genomförda gallringar.

Baserat på information om vilken skördarmodell som varje enskilt gallringslag använde vid de studerade gallringarna kunde även maskintekniska egenskaper tas fram. De specifikationer som varje skördarmodell hade, är hämtade från respektive tillverkare (Komatsu, John Deere, Ponsse) och kan utläsas i Tabell 3. För att ett gallringslag skulle inkluderas i urvalet för studien så skulle tre maskinspecifikationer uppfyllas. Kranlängden skulle vara mellan 8,6 till 11,3 meter, det skulle vara en maskin med 6 hjul och vikten skulle vara drygt 17 ton. Urvalskriterierna är baserat på maskintillverkarnas mindre alternativ av gallringsskördare, vilka är typiska förstagallringsmaskiner. Eftersom dessa typer av maskiner användes av majoriteten av gallringslagen gav det tillräckligt många lag att basera urvalet på. 12 gallringslag, 6 för varje metod (mittenstråk och växelstråk) av totalt 27 möjliga gallringslag inkluderades vid urvalet. Utifrån de lag som uppfyllde de maskinspecifika kraven och hade utfört gallringar inom närmast möjliga geografiska avstånd till varandra var de gallringslag som valdes ut för vidare urval av gallringsbestånd.

Tabell 3: Sammanställning av maskinspecifikationer för de skördarmodeller som inkluderats i studien, samt antal utvalda gallringslag per skördarmodell och gallringsmetod.

Table 3: Summary of machine specifications for the harvester models included in the study, as well as the number of selected harvesting teams per harvester model and thinning method.

Modell	Kranlängd		Vikt		Mittenstråk (antal lag)	Växelstråk (antal lag)
	(m)	Antal hjul	(kg)			
Komatsu 901	10 – 11	6	17 600	0	3	
Komatsu 911	8,7 – 11	6	17 850	1	0	
John Deere 1170	10 – 11,3	6	17 800	4	3	
Ponsse Beaver	8,6 – 11	6	17 700	1	0	

2.4 Urval av bestånd för fältinventering

Beståndsurvalet utgick från de 12 gallringslag som valts ut baserat på gallringsmetod, geografisk placering (Figur 3) och maskinstorlek. Från varje gallringslag sorterades två bestånd ut, jämnt fördelade mellan gallringslagen. Det resulterade i totalt 24 gallringsbestånd, dvs 12 för mittenstråksmetoden och 12 för växelstråksmetoden, av totalt 80 bestånd som gallringslagen tillsammans utfört under barmarkssäsongen. Urvalet av vilka bestånd som skulle inkluderas vid fältinventeringen utgick från specifika urvalskriterier (Tabell 4) med variabler och värden som hämtades från SCA:s egna bortsättningssystem. Bortsättning används inom SCA Skog för att skapa ett rättvist ersättningsunderlag för maskinförnas arbete, vilket är baserat på beståndets egenskaper (Tabell 4). Kriterier och urvalsspann syftade till att identifiera bestånd från utförda förstagallringar från de valda gallringslagen som innehöll jämförbara skogliga förhållanden. Urvalskriterierna som kan ses i Tabell 4 togs fram genom att succesivt minska urvalsspannet för varje beståndsegenskap, tills endast de bestånden med mest likartade egenskaper återstod. Urvalet inkluderade alla utvalda gallringslag och antalet bestånd var anpassat efter den tidsåtgång som uppskattades i pilotstudien av inventeringsmetodiken (stycke 2.5, s.30). En mer detaljerad redovisning av de utvalda bestånden visas i Tabell 5.

Tabell 4: Beskrivning av beståndsegenskaper och urvalskriterier för val av bestånd.**Table 4:** *Description of stand characteristics and selection criteria for stand selection.*

Beståndsegenskap	Beskrivning	Urvalskriterier
Trädslagfördelning	Andel i ordning: tall, gran och löv, t.ex. 910 = 90% tall, 10% gran och 0% löv. X00 = 100% tall.	Hälften av bestånden för respektive gallringsmetod skulle bestå av 60–100% tall och hälften av 50–100% gran och löv.
Medelstamsvolym	Skördad medelvolym per bestånd, fast kubikmeter under bark.	0,060–0,095
Ytstruktur	Klassificeras mellan 1–5 utifrån markens terräng, baseras på hinder (sten, block och jordhögar).	1,0–3,2
Lutning	Klassificeras mellan 1–5 utifrån beståndets dominerande lutning i procent eller grader.	1,0–3,4
Gallringsuttag (träd/ha)	Genomsnittligt uttag av antal träd per hektar vid gallring.	450–950
Underväxt	Antal träd per hektar med en höjd under 1,3 meter och en diameter under 8 cm.	0–3200

Tabell 5: Beståndsegenskaper för varje gallringsbestånd som inkluderats i studien, där T = tallbestånd G=granbestånd. T dominerades av tall med 60–100% och G hade fördelningen 50–100% gran och löv. Varje gallringsmetod bestod av 6 “tallbestånd” och 6 “granbestånd”.

Table 5: Stand characteristics for each thinning stand included in the study, where T=pine-dominated stands and G=spruce-dominated stands. T stands consist of 60-100% pine, while G stands have a composition of 50-100% spruce and deciduous species. Each thinning method includes 6” pine stands” and 6” spruce stands”.

Gallrings- metod	Best- ånd	Trädslagsför- delning	Medelstams- volym	Ytstruk- tur	Lutn- ing	Uttagsmängd (träd/ha)	Under- växt
Växelstråk	1	811 (T)	0,077	3,1	1,8	460	2400
	2	721 (T)	0,070	2,2	1,4	480	100
	3	820 (T)	0,078	2,0	1,4	686	1600
	4	910 (T)	0,068	1,5	1,5	606	200
	5	X00 (T)	0,062	2,5	2,2	774	2000
	6	631 (T)	0,080	1,5	1,5	545	1000
	7	082 (G)	0,060	1,3	1,2	737	500
	8	172 (G)	0,077	1,3	1,2	714	0
	9	271 (G)	0,074	2,5	3,4	734	1000
	10	181 (G)	0,080	3,0	1,7	946	2000
	11	163 (G)	0,072	1,5	1,5	826	3000
	12	361 (G)	0,071	2,1	2,5	799	2000
Mittenstråk	1	901 (T)	0,071	1,9	1,7	906	200
	2	910 (T)	0,071	2,2	2,7	785	3000
	3	X00 (T)	0,070	1,5	1,5	452	1500
	4	721 (T)	0,067	2,0	1,8	484	1500
	5	X00 (T)	0,060	1,1	1,6	563	300
	6	901 (T)	0,072	2,9	1,7	499	2000
	7	451 (G)	0,065	2,0	2,0	463	1500
	8	451 (G)	0,064	1,0	1,0	641	0
	9	541 (G)	0,094	2,8	2,7	515	1400
	10	541 (G)	0,091	2,4	2,2	573	3200
	11	541 (G)	0,061	3,0	3,0	626	1500
	12	262 (G)	0,073	3,2	2,6	933	1400



Figur 3: Karta över Sverige med geografisk placering för de bestånd som ingick i studien, där orange punkt markerar ungefärlig plats för varje enskilt bestånd. Originalkartan hämtad från: "Sweden rel location map" av NordNordWest, licenserad under CC BY-SA 3.0.

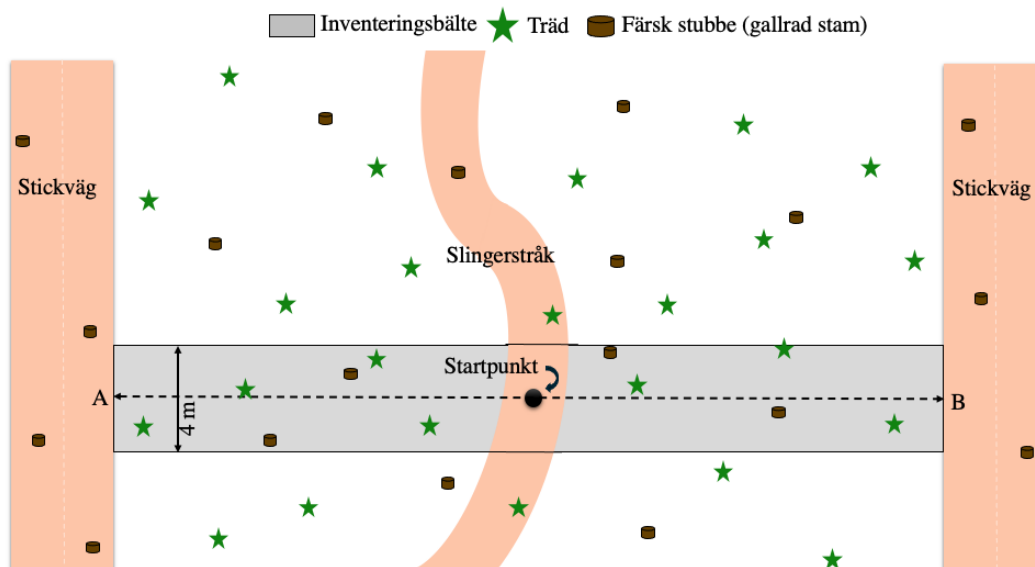
Figure 3: Map of Sweden showing the geographic location of the stands included in the study, where orange dots mark the approximate location of each stand. Original map taken from: "Sweden rel location map" by NordNordWest, licensed under CC BY-SA 3.0.

2.5 Material och datainsamling med bältesinventering

Datainsamlingen genomfördes från den 28 oktober till den 29 november 2024 och inkluderade alla 24 utvalda gallringsbestånd. Övervägande del av fältarbetet genomfördes under gynnsamma väderförhållanden, med undantag för enstaka tillfällen då ett tunt snötäcke låg kvar på marken. Det bedömdes dock inte påverka inventeringen. Från varje bestånd samlades data in med hjälp av bältesinventering som inventeringsmetod. Oavsett storlek på beståndet, inventerades fem bältesformade provytor med systematisk slumpad placering (Figur 5).

Eftersom inventeringen syftade till att hitta objekt (träd, stubbar och stamskador) i en miljö med kända och regelbundna mönster (stickvägar) så valdes bältesinventering som metodik. Bältesinventering innebär att provytor i form av

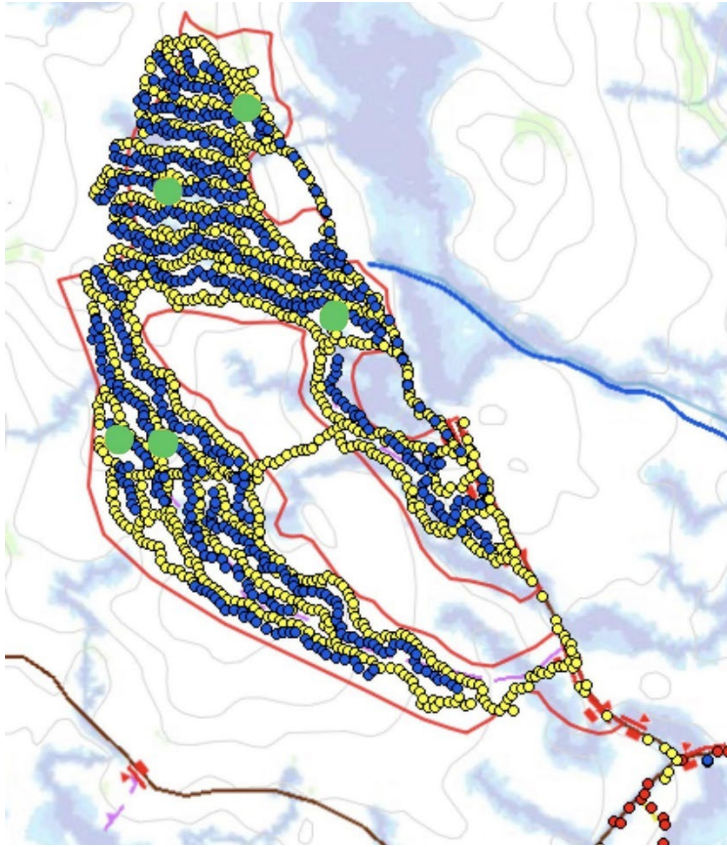
smala, rektangulära bälten placeras och inventeras på ett systematiskt sätt som fångar upp önskad variation i regelbundna mönster. Eftersom denna studie syftade till att undersöka gallringsmetodernas skillnad i form av trädfördelning mellan stickvägarna så placerades bältena mellan stickvägar. Ett 25 meter långt måttband placerades med startpunkt mellan två parallella stickvägar, på slingerstråkets mittpunkt (Figur 4). Måttbandet sträcktes ut vinkelrätt fram till första hjulspåret på närmsta stickväg (Figur 4) och inventeringen genomfördes systematiskt meter för meter längs med måttbandet, där varje meter markerade ett inventeringsintervall (en "delyta" i bältet). Bältets bredd var totalt 4 meter (Figur 4), som i det praktiska genomförandet implementerades genom att en 2 meter lång måttstock användes. Först inventerades den ena sidan om måttbandet genom att gå från startpunkten (mitten av slingerstråket) till stickvägen och sedan inventerades den andra sidan av måttbandet på vägen tillbaka till startpunkten. Därefter utfördes inventeringen av bältets del mellan startpunkten och den andra stickvägen (Figur 4). Genom uppdelningen i 1-meters delytor så kunde den spatiala fördelningen längs bältets längd fångas upp, samtidigt som avståndet mellan slingerstråk och stickväg mättes upp. Den sida från startpunkten till stickvägen som hade längst avstånd benämndes alltid med A och den sida med kortare avstånd med B (Figur 4). De objekt som registrerades var antal färskastubbar (gallrade träd), antal kvarvarande träd, samt eventuella skador på träden (orsakade av gallringsmaskinerna). De träd som räknas in som kvarvarande träd efter gallring är träd med en diameter på minst 8 cm i brösthöjd och med en höjd på minst 1,3 meter. Stamskador registrerades om skadan på trädets stam var lika med eller större än 15 cm² och skattades med hjälp av en tumstock (ca 5x3cm). Det baserades från SCA:s egna kriterier för vad som klassas som skador på kvarvarande träd efter gallring.



Figur 4: Illustration av en provyta som användes vid inventeringen. Visar exempel för inventeringens startpunkt, placering av slingerstråk och stickvägar samt hur träd och stubbar kan vara fördelade inom inventeringsbältet, med en bredd på 4 meter.

Figure 4: Illustration of a sample plot used in the inventory. Shows examples of the inventory start position, the location of "ghost trail" and strip roads, and how trees and stumps can be distributed within the inventory belt, with a width of 4 meters.

Samtliga slingerstråk inom varje bestånd identifierades före inventeringen genom SCA:s egna traktprogram, baserat på GPS-spår från skogsmaskinen. De numrerades, och med hjälp av en slumpgenerator så valdes 5 slingerstråk ut. Respektive stråks totala längd togs fram genom ett digitalt mätverktyg i appen och användes för att slumpa ut ett av värdena. Det slumpade avståndet längs det slumpade slingerstråket utgjorde bältets startpunkt, vilket markerades med koordinater i traktprogrammet före fältarbetets start (Figur 5). Denna systematiska och slump-baserade urvalsprocedur minimerade risken för att inventeringen påverkades av subjektiva bedömningar i fält.



Figur 5: Exempel över utfallet av det systematiska slumpmässiga urvalet av startpunkter för bältesprovytor (gröna punkter) i ett bestånd, baserat på GPS-loggar över stickvägar (gula punkter) och slingerstråk (blå punkter). Beståndsgränsen visas med röd linje.

Figure 5: Example of the outcome for the systematic random selection of starting points for belt sample plots (green dots) in a stand, based on GPS logs of strip roads (yellow points) and "ghost trails" (blue points). The stand boundary is shown with a red line.

2.6 Säkerhet vid fältarbete

Säkerhet vid fältarbete är en viktig del att ta hänsyn till vid insamling av data och ensamarbete i skogen. Eftersom studien genomfördes i samarbete med SCA efterföljdes de riktlinjer för ensam och fältarbete som tillämpas inom SCA Skog, vilka också motsvarar de krav som fanns vid SLU:s fakultet för skogsvetenskap. En riskbedömning genomfördes innan uppstart av fältarbetet och skyddsåtgärder vidtogs inför studiens genomförande. För att minimera risker användes varselväst för ökad synlighet samt broddar för att minska risken för fallolyckor. För transporter tillhandahöll SCA en av deras tjänstebilar, som väljs för att minska risken för och konsekvensen av trafikolyckor. För larm- och hemkomstkontroll nyttjades Crystal Alarm, ett larmsystem som används av SCA för att registrera GPS-positioner vid ensamarbete.

2.7 Variabler från bältesinventering

Efter fältinventeringen sammanställdes värdena för de insamlade variablerna och strukturerades för vidare bearbetning och analyser. De insamlade variablerna och hur de beräknades presenteras i Tabell 6.

Tabell 6: Visar en översikt av samtliga variabler som ingick i analysen och som samlades in från fältinventeringen, förklaras med beskrivning och enhet. (I) beskriver om variabeln används vid fältinventering och (A) vid analysen.

Table 6: Shows an overview of all variables included in the analysis and collected from the field inventory, explained with description and unit (I) indicates that the variable was used during field inventory, and (A) that it was used in the analysis.

Variabel	Användning	Beskrivning/Beräkning	Enhet
Stamantal	(I), (A)	Antal kvarvarande träd inom varje avståndsintervall.	Antal
Uttagsfrekvens	(I), (A)	Antal gallrade träd (stubbar) inom varje Avståndsintervall.	Antal
Skadefrekvens	(I), (A)	Antal observerade stamskador inom varje avståndsintervall.	Antal
Avståndsintervall(I)		Avstånd från slingerstråkets mittpunkt till stickväg. Intervall (0–1, 1–2, etc.).	Meter
Mittpunktsvärde (A)		Mittpunkt för varje avståndsintervall (0.5, 1.5 etc.) mellan slingerstråk och stickväg.	Meter
Relativt avstånd (A)		Normaliserat avståndsintervall beräknat som mittpunktsvärde dividerat med uppmätt avstånd mellan slingerstråk och stickväg för varje avståndsintervall.	Proportion (0–1)
Sida (A/B)	(I), (A)	Sida från slingerstråkets mittpunkt till stickväg där (A = (A/B) längre sida, B = kortare sida) oavsett geografisk riktning.	Kategorisk
Stickvägsavstånd (A)		Summan av det totala stickvägsavståndet (Sida A + Sida B) inom samma inventeringsbälte.	Meter
Trädslag (T/G)	(A)	Dominerande trädslag för det observerade beståndet, Tall (T) eller Gran (G).	Kategorisk
Metod	(A)	Mittenstråk eller växelstråk, beroende på vilken gallringsmetod som använts i beståndet.	Kategorisk

Studien utfördes genom att alltid benämna den längre sidan som sida A och den kortare som sida B, oavsett geografisk riktning från slingerstråk till stickväg i beståndet. Metodvalet användes för att genomföra systematiska analyser av hur olika sidolängder påverkar uttagsfördelningen. För att analysera fördelningen av gallringsuttaget och skadefrekvensen mellan de olika metoderna beräknades andelen uttagna träd och andelen skadade träd. Andelen uttagna träd beräknades som antalet avverkade träd (färska stubbar) i relation till det totala antalet träd som fanns innan utförd gallring, dvs summan av antalet registrerade träd och färska stubbar. Andelen skadade träd beräknades genom antal träd med skada i relation till det totala antalet kvarvarande träd efter utförd gallring. Andelsberäkningarna gjordes på beståndsnivå och inkluderade samtliga bälten inom varje enskilt bestånd.

2.8 Bearbetning och sammanställning av data

Den data som samlades in från både GPS-loggar och fältinventeringen sammanställdes kontinuerligt och överfördes dagligen till Excel. Efter avslutad fältinventering strukturerades samtliga data för bearbetning och exportering till en CSV-fil för vidare statistiska analyser. Totalt omfattade datamaterialet 3517 observationer med 12 variabler, datamängden för mittenstråk var 1772 respektive 1745 för växelstråk. En observation i datafilen motsvarar ett avståndsintervall och inkluderar metod, trädslag, sida, träd, stubbar, skador, totalt stickvägsavstånd och det relativa avståndet från slingerstråket till stickvägen. Fältinventeringen innehöll totalt 1743 träd, 926 gallrade träd (färska stubbar) och 86 trädskador. Den totala stickvägslängden inventerades för alla 5 provytor inom alla gallringsbestånd vilket är 60 gånger per gallringsmetod, fördelat lika mellan tall- och granbestånd.

2.9 Statistiska analyser

För att undersöka skillnader och samband med insamlade gallringsdata användes flera statistiska analysmetoder, beroende på frågeställning och datauppsättning. Eftersom olika analyser krävde olika urval av data, beskrivs de använda modellernas syfte. För att analysera skillnader i avstånd mellan stickvägar och slingerstråk användes tvåvägs- och trevägs-ANOVA. Denna metod valdes eftersom den möjliggör analys av både huvudeffekter och interaktioner mellan variabler som gallringsmetod, trädslag och kort eller lång sida från slingerstråk till stickväg. Två logistiska regressionsmodeller (GLM) användes för att analysera sannolikheten för gallringsuttaget (andelen avverkade träd) respektive skadades träd, med oberoende variabler som gallringsmetod, trädslag, kort/lång sida och avstånd från slingerstråk till stickväg. I modellen för gallringsuttaget inkluderades

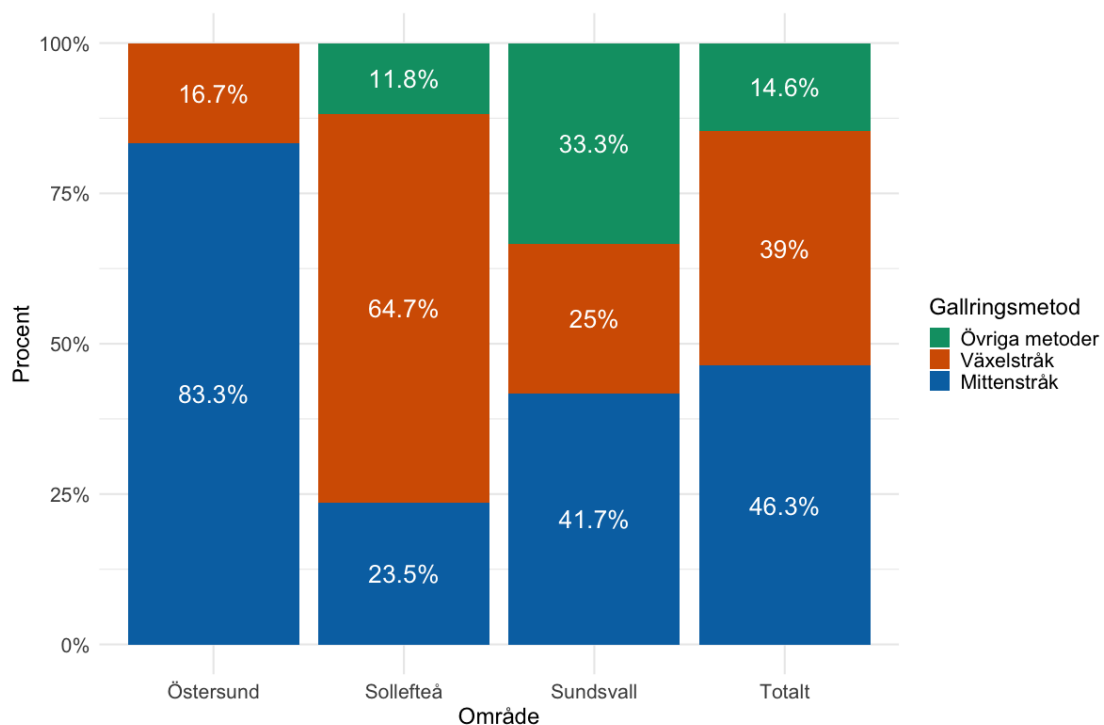
även en kvadratisk term för att fånga eventuellt icke-linjära samband, eftersom data indikerade ett u-format mönster.

För att utvärdera modellernas styrka och tillförlitlighet användes eta squared (η^2) för ANOVA-modellerna som förklarar varje faktors variation i modellen och McFadden's R^2 för regressionsanalyserna, som visar hur stor andel av variationen som förklaras av hela modellen. Modellernas förmåga att beskriva samband utvärderades med RMSE (Root Mean Square Error) och bias. Alla statistiska analyser genomfördes i RStudio, och signifikansnivån sattes till 0,05 i samtliga fall.

3. Resultat

3.1 Tillämpning av gallringsmetoder

Resultatet visade att den förespråkade gallringsmetoden vid SCA, som i rapporten benämns med mittenstråk, inte tillämpades fullt ut i praktiken. Det var endast 46,3% av gallringslagen som använde mittenstråksmetoden och tillämpningen hade stor spridning mellan de tre delområdena i södra Norrland (Figur 6).



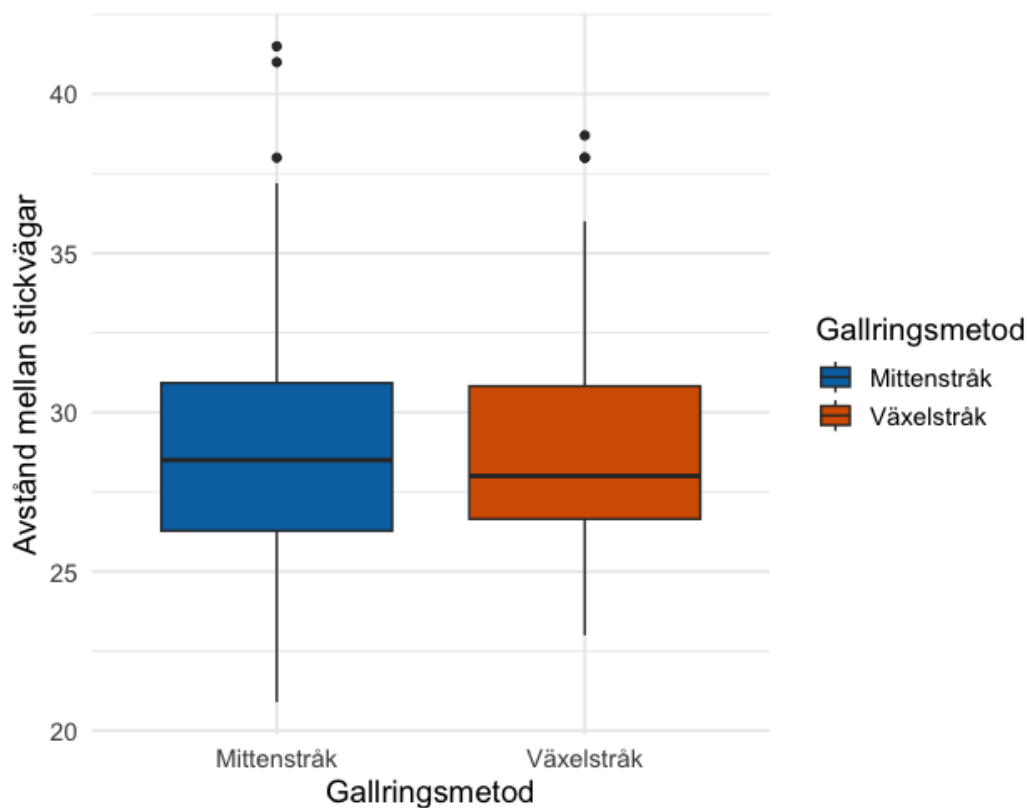
Figur 6: Fördelning av gallringsmetoder i procent per område och totalt för flödesområde södra Norrland.

Figure 6: Distribution of thinning methods in percentages per area and in total for the southern Norrland part.

3.2 Totalt stickvägsavstånd

ANOVA-analysen över skillnader mellan det totala stickvägsavståndet (längd från stickväg till nästa parallella stickväg), visade att det fanns en tvåvägsinteraktion ($p=0,002$) mellan gallringsmetod och trädslag. Däremot visade analysen att huvudeffekten av gallringsmetod inte var signifikant ($p=0,598$). Det betyder att det inte fanns någon skillnad mellan mittenstråksmetoden som hade ett

genomsnittligt stickvägsavstånd på totalt 29,0 meter och växelstråksmetoden som hade 28,7 meter mellan stickvägarna (Figur 7).

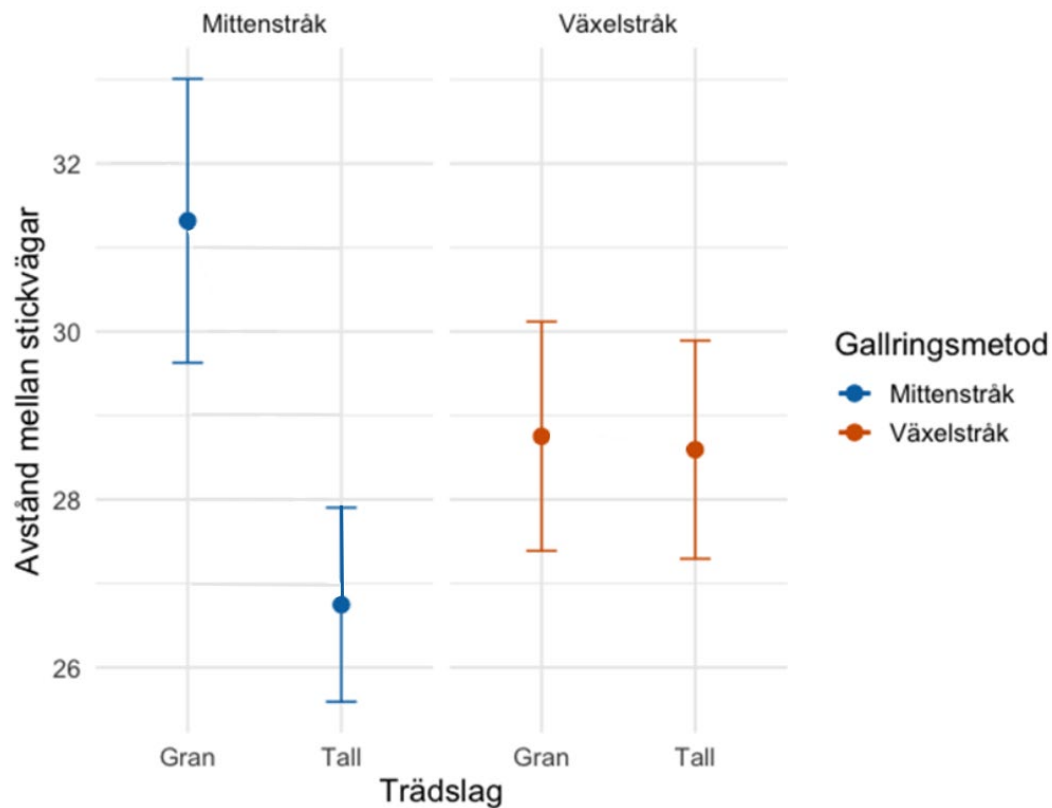


Figur 7: Totalt stickvägsavstånd (meter) för de två gallringsmetoderna mittenstråk och växelstråk. Boxploten visar median, övre och nedre kvartil samt spridningen av stickvägsavstånd för respektive gallringsmetod. Prickarna representerar avvikande värden. Y-axeln startar vid 20 meter för att tydliggöra variationen mellan observationerna.

Figure 7: Total strip road distances (meters) for the two thinning methods ("mittenstråk" and "växelstråk"). The boxplot shows the median, upper and lower quartile as well as the spread of strip road distances for each thinning method. The dots represent outliers. The y-axis starts at 20 meters to highlight the variation between the observations.

ANOVA-analysen visade att det fanns en huvudeffekt av trädslag på stickvägsavståndet ($p < 0,002$). Den parvisa interaktionseffekten visade störst skillnad inom mittenstråksmetoden (post-hoc $p < 0,001$), där stickvägsavståndet i bestånd dominerade av trädslaget tall var 4,6 meter längre än bestånd dominerade av gran (Figur 8). Det fanns även en parvis interaktionseffekt mellan gallringsmetod och bestånd som dominerades av gran (post-hoc $p = 0,043$). Mittenstråksmetoden hade ett genomsnittligt stickvägsavstånd i granbestånd som var 2,6 meter längre i jämförelse med grandominerade bestånd för växelstråksmetoden (Figur 8 & Tabell 7). Den parvisa interaktionseffekten visade

inte någon signifikant skillnad för stickvägsavståndet inom växelstråksmetoden mellan tall- och grandominerade bestånd (post-hoc $p=0,998$). Det fanns inte heller någon signifikant skillnad mellan gallringsmetoderna och stickvägsavståndet för talldominerade bestånd (post-hoc $p=0,226$) (Figur 8 & Tabell 7). Statistisk dataanalys redovisas i Bilaga 1.



Figur 8: Medelvärde för totalt stickvägsavstånd (meter) uppdelat utifrån gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk) och dominerande trädslag (gran och tall). Punkterna markerar medelvärdena och de vertikala linjerna representerar standardfel. Y-axeln startar vid 26 meter för att tydliggöra skillnader mellan punkterna.

Figure 8: Mean value for total strip road distance (meters) divided according to thinning method ("mittenstråk" and "växelstråk") and dominant tree species (spruce and pine). Bars show mean values and standard errors. The y-axis starts at 26 meters to highlight the variation between the observations.

Tabell 7: Redovisar den genomsnittliga stickvägslängden och standardavvikelse uppdelat efter gallringsmetod och trädslag.

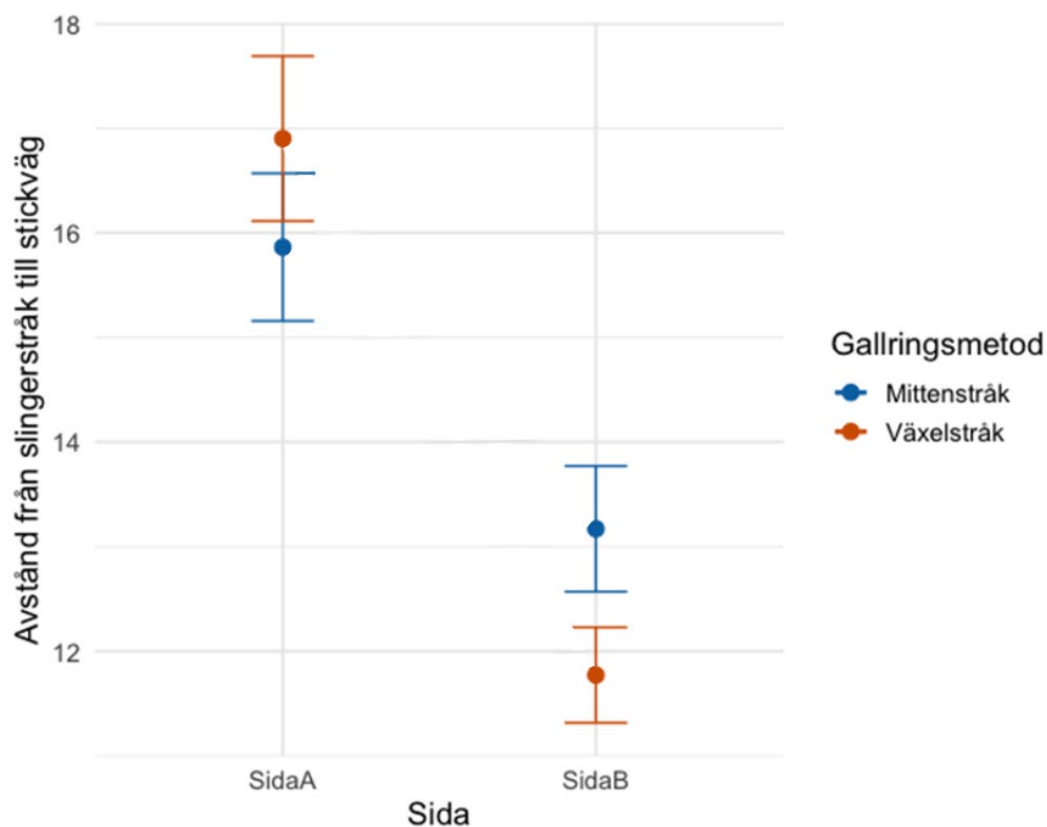
Table 7: Shows the average strip road length, broken down by thinning method and tree species.

Metod	Trädslag	Medelvärde (m) för total stickvägslängd	Standardavvikelse (m)
Mittenstråk	Gran	31,3	4,5
Mittenstråk	Tall	26,7	3,1
Växelstråk	Gran	28,8	3,7
Växelstråk	Tall	28,6	3,5

3.3 Slingerstråkets placering mellan stickvägarna

ANOVA-analysen över skillnader mellan slingerstråkets avstånd till stickvägarna (längd på det längsta (A) och kortaste (B) avståndet), metod och trädslag visade att det inte fanns några trevägsinteraktioner mellan de faktorerna ($p=0,357$). Det fanns inte heller någon signifikant effekt av två-vägsinteraktionen mellan avstånd till stickvägarna och trädslag ($p=0,579$), eller för huvudeffekten gallringsmetod ($p=0,561$). Däremot visade analysen att övriga huvud- och tvåvägsinteraktioner var signifikanta ($p < 0,001$), vilket betyder att slingerstråken generellt sett inte placerades centrerat mellan stickvägarna och att hur ocentrerat de placerades påverkades av gallringsmetod och trädslag. För kombinationen mellan metod och trädslag så var slingerstråket i genomsnitt 3,9 meter närmare den närmsta stickvägen i jämförelse med stickvägen placerat åt andra hållet, stickvägen längst bort från slingerstråket (dvs sida A var 3,9 m längre än sida B) (Figur 9).

Den parvisa interaktionseffekten mellan gallringsmetod och avstånd från slingerstråk till stickväg bestod främst av en signifikant större skillnad (post-hoc $p < 0,001$) mellan det längsta och kortaste avståndet till stickväg för växelstråksmetoden (5,3 m). För mittenstråksmetoden var skillnaden bara hälften så stor, 2,7 meter (post-hoc $p < 0,001$) (Figur 9).

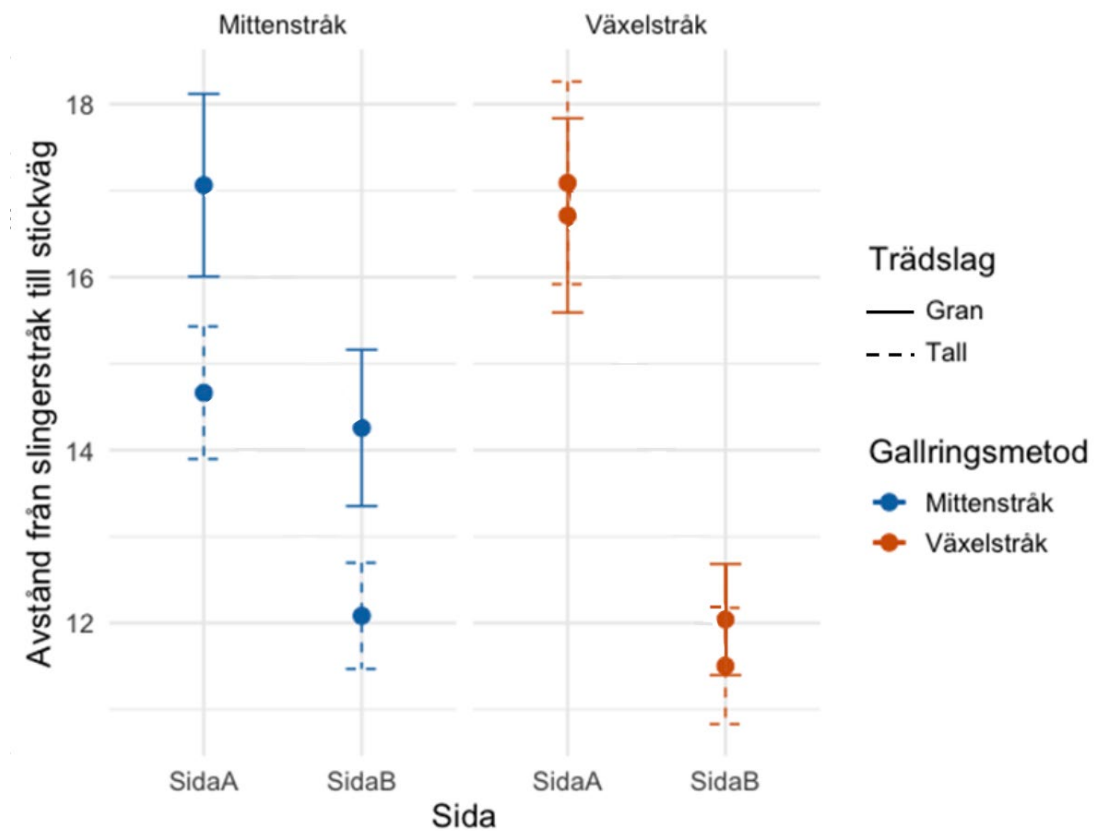


Figur 9: Medelavstånd från slingerstråk till stickväg (meter) för lång (A) respektive kort (B) sida, uppdelat utifrån gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk). Staplarna visar medelvärden och standardfel. Y-axeln startar vid 10 meter för att tydliggöra variationen mellan observationerna.

Figure 9: Average distance from the "ghost trail" to the strip road (meters) for long (A) and short (B) side, divided according to thinning method ("mittenstråk" and "växelstråk"). Bars show mean values and standard errors. The y-axis starts at 10 meters to highlight the variation between the observations.

Den parvisa interaktionseffekten mellan gallringsmetod och trädslag bestod av att både de längsta och de kortaste avstånden till stickvägarna var 2,3 meter kortare i tallbestånd med mittenstråksmetoden i jämförelse med granbestånd (post-hoc $p < 0,001$). För växelstråksmetoden visade analysen ingen skillnad i avstånd

beroende på trädslag (Figur 10 & Tabell 8). Statistisk dataanalys redovisas i Bilaga 3.



Figur 10: Medelavstånd från slingerstråk till stickväg (meter) för respektive lång (A) och kort (B) sida, uppdelat utifrån gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk) och trädslag (gran och tall). Staplarna visar medelvärden och standardfel.

Figure 10: Mean distances from the "ghost trail" to the strip roads (meters) for each long (A) and short (B) side, divided according to thinning method ("mittenstråk" and "växelstråk") and tree species (spruce and pine). Bars show mean values and standard errors.

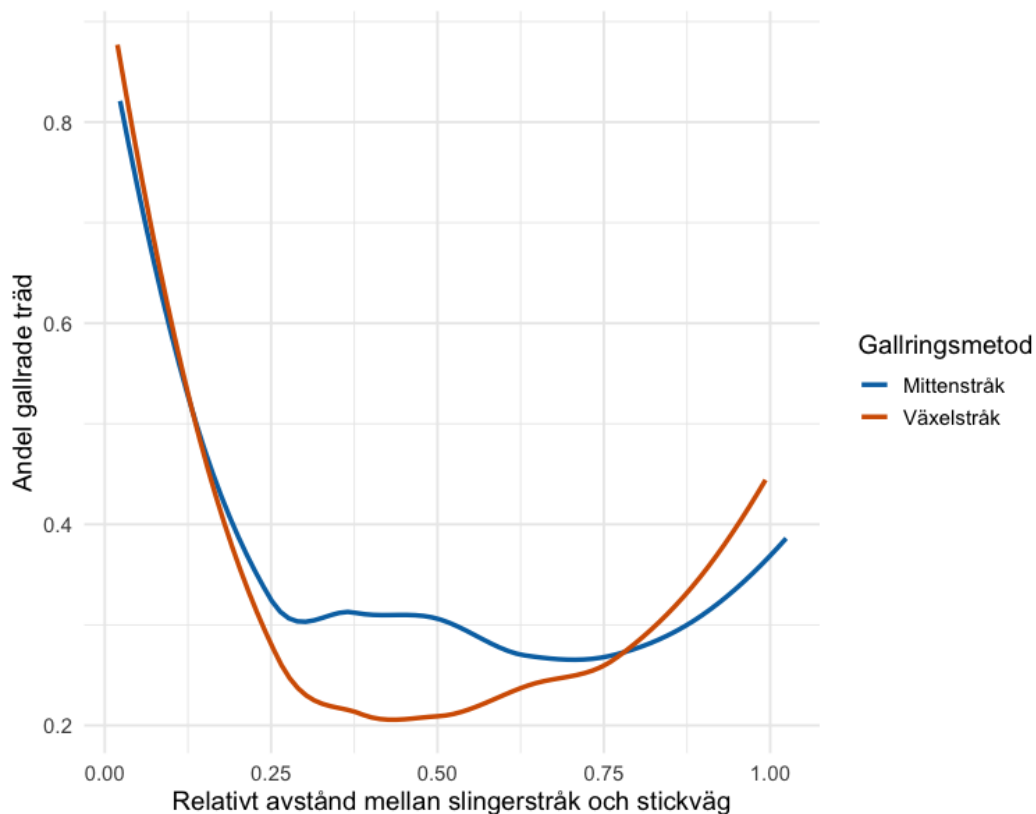
Tabell 8: Medelavstånd (meter) från slingerstråk till stickväg för respektive sida (längsta (A) och kortaste (B)), trädslag och gallringsmetod, samt standardavvikelse (SD) för varje medelavstånd.

Table 8: Mean distances (meters) from the "ghost trail" to the strip road for each side (longest (A) and shortest (B)), tree species and thinning method, and standard deviation (SD) for each mean distance.

Metod	Trädslag	Sida	Medelavstånd (m) per sida	SD (m)
Mittenstråk	Gran	A	17,1	2,8
Mittenstråk	Gran	B	14,3	2,4
Växelstråk	Gran	A	16,7	3,0
Växelstråk	Gran	B	12,0	1,7
Mittenstråk	Tall	A	14,7	2,1
Mittenstråk	Tall	B	12,1	1,6
Växelstråk	Tall	A	17,1	3,1
Växelstråk	Tall	B	11,5	1,8

3.4 Fördelning av gallringsuttag

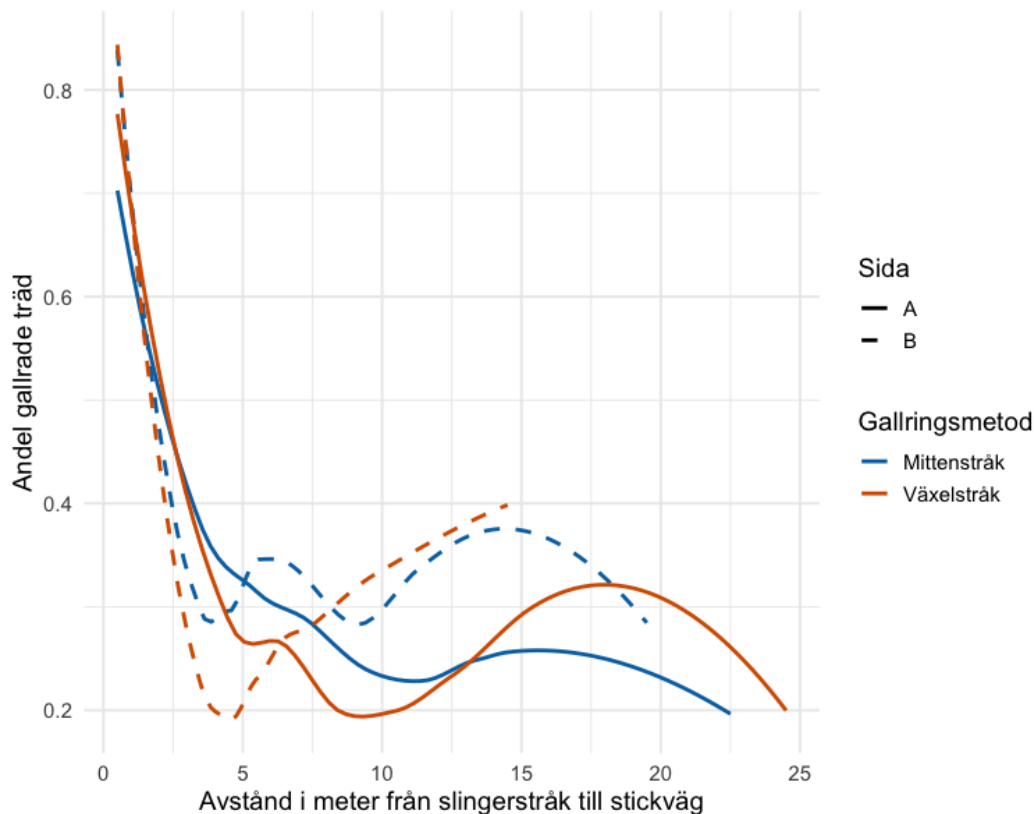
Den logistiska regressionsanalysen över skillnader mellan gallringsuttag (andel gallrade träd), metoder, trädslag, sida och avstånd (relativt avstånd från slingerstråk till stickväg) visade att det fanns signifikanta tvåvägs interaktioner. De främsta signifikanta skillnaderna som påverkade gallringsuttaget var kombinationen mellan gallringsmetod och det relativa avståndet ($p=0,035$). Det betyder att det fanns skillnader mellan gallringsmetoderna som påverkas av avståndet från slingerstråk till stickväg. Analysen visade även en signifikant skillnad för hur gallringsuttaget påverkas mellan gallringsmetoderna och en kvadratisk form av det relativa avståndet ($p=0,017$). Det betyder att uttagna träd inte följde ett linjärt samband, att det i stället skapade en U-form för uttaget av gallrade träd. Det beskriver hur andelen uttagna träd var fördelade över avstånd från slingerstråk till stickväg (Figur 11). För växelstråksmetoden var sannolikheten för gallrade träd högst nära slingerstråk och stickväg, men betydligt lägre i zonen mellan körvägarna. Däremot visade mittenstråksmetoden en jämnare fördelning av gallrade träd över avståndet från slingerstråk till stickväg (Figur 11). Det tyder på att val av gallringsmetod påverkar hur träden gallras ut i relation till trädens position i zonen mellan slingerstråk och stickväg.



Figur 11: Andel gallrade träd i förhållande till det relativa avståndet från slingerstråk till stickväg för de två gallringsmetoderna (mittenstråk och växelstråk). Y-axeln startar vid 0,2 för att tydliggöra variationen mellan observationerna. Det relativa avståndet går från 0 (mitten på slingerstråket) och 1 (första hjulspåret mot stickväg).

Figure 11: Proportion of thinned trees in relation to the relative distance from the "ghost trail" to the strip road for the two thinning methods ("mittenstråk" and "växelstråk"). The y-axis starts at 0.2 to highlight the variation between observations. The relative distance ranges from 0 (center of the "ghost trail") and 1 (closest wheel track of the strip road).

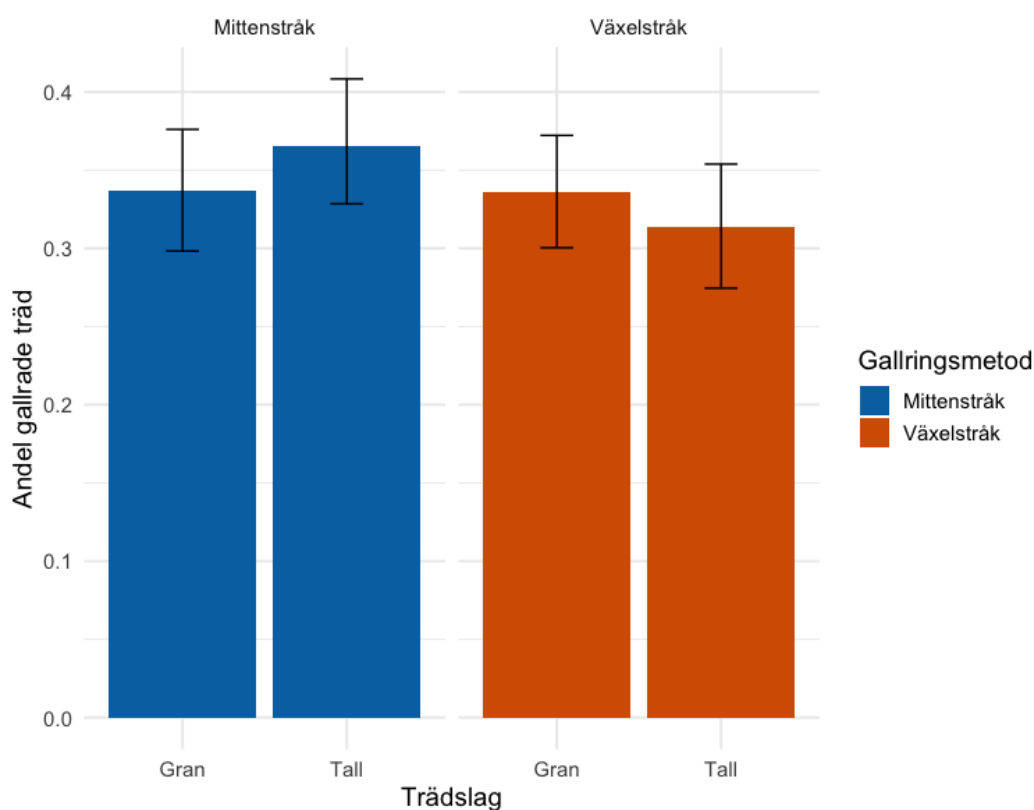
Analysen visade att övriga tvåvägsinteraktioner inte var signifikanta. Det betyder att andelen gallrade träd inte påverkas av gallringsmetod i kombination med trädslag ($p=0,391$), vilket det inte heller gör för kombinationen mellan gallringsmetod och lång och kort sida från slingerstråk till stickväg ($p=0,885$). Däremot var huvudeffekten för kort eller lång sida från slingerstråk till stickväg signifikant ($p=0,021$) och påverkade gallringsuttaget. Sannolikheten för att ett träd skulle gallras ut var större för den kortare sidan (B) jämfört med den längre sidan (A) (Figur 12). Trots att ingen signifikant interaktion visades mellan metod samt kort och lång sida kan en visuell skillnad tydas. Detta eftersom uttagsfördelningen skiljer sig åt baserat på avståndet från slingerstråk till stickväg och beroende på gallringsmetod (Figur 12).



Figur 12: Andel gallrade träd i förhållande till faktiskt avstånd (meter) från slingerstråk till stickväg för gallringsmetoderna (mittenstråk och slingerstråk), uppdelat efter lång (A-linje) och kort (B-streckad) sida. Y-axeln startar vid 0,2 för att tydliggöra variationen mellan observationerna.

Figure 12: Proportion of thinned trees in relation to the actual distance (meters) from the "ghost trail" to the strip road for the thinning methods ("mittenstråk" and "växelstråk"), divided into long (A-line) and short (B-dashed) side. The y-axis starts at 0.2 to highlight the variation between observations.

Analysen visade flera signifikanta huvudeffekter som påverkar gallringsuttaget. Den största påverkan visades för relativt avstånd ($p < 0,001$) och den icke-linjära faktorn för relativt avstånd ($p < 0,001$). Det bekräftar att avståndet från slingerstråk till stickväg är en viktig faktor för hur fördelningen av uttagna träd ser ut i zonen mellan körvägarna och att interaktionseffekten visar att det finns skillnader beroende på gallringsmetod. Däremot visade analysen att huvudeffekten av gallringsmetod inte var signifikant ($p = 0,198$), vilket inte heller visades för trädslag ($p = 0,822$) (Figur 13). Statistisk dataanalys redovisas i Bilaga 3.



Figur 13: Andel gallrade träd per trädslag (gran och tall) och gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk) med standardavvikelse.

Figure 13: Proportion of thinned trees per tree species (spruce and pine) and thinning method ("mittenstråk" and "växelstråk") with standard deviation.

3.5 Förekomsten av skador på kvarvarande träd

Den totala andelen skador utifrån antalet träd i datasetet var 4,93%, vilket motsvarar 86 skadade träd baserat på de totalt 1743 observerade träden, det visades ingen skillnaden mellan gallringsmetoderna (Tabell 9).

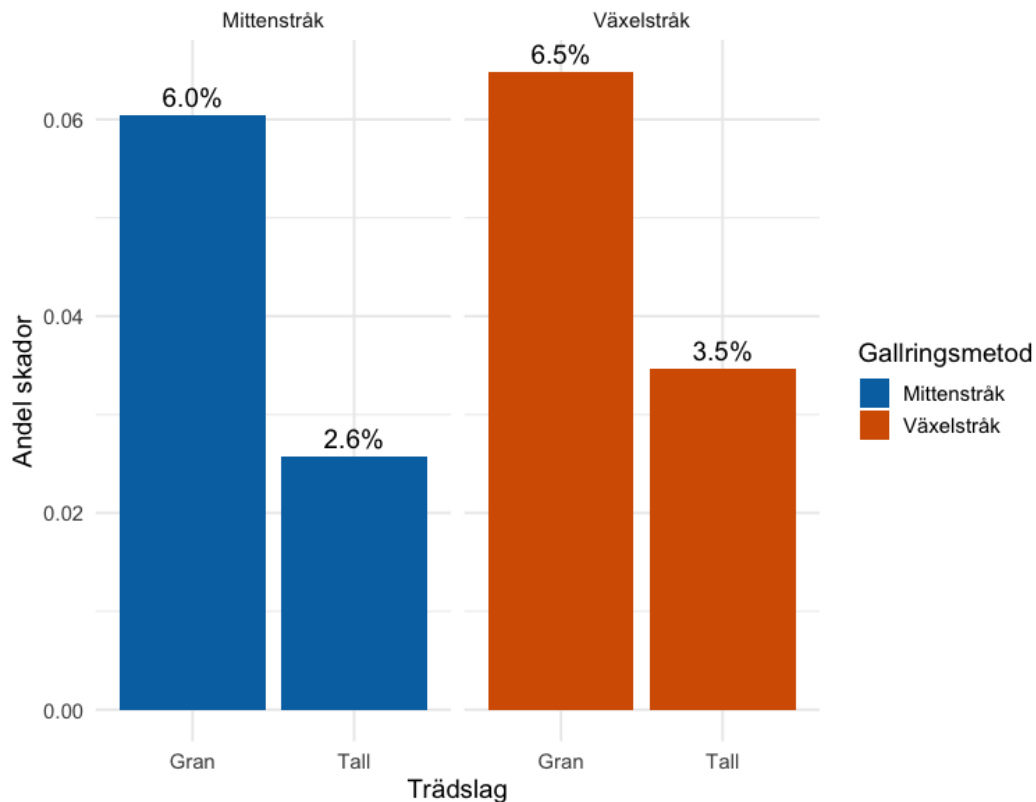
Tabell 9: Totalt antal observerade kvarvarande träd, antal skadade träd och andelen skadade träd (%) per gallringsmetod.

Table 9: Total number of trees observed number of damaged trees and percentage of damaged trees (%) per thinning method.

Metod	Kvarvarande träd (antal)	Skadade träd (antal)	Andel skadade träd (%)
Mittenstråk	855	42	4,91
Växelstråk	888	44	4,95

Den logistiska regressionsanalysen som förklarar hur skadefrekvensen påverkas av gallringsmetod, trädslag, avstånd och sida (kort eller lång) visade att det inte fanns några tvåvägsinteraktioner mellan faktorerna ($p > 0,05$). Det fanns inte heller

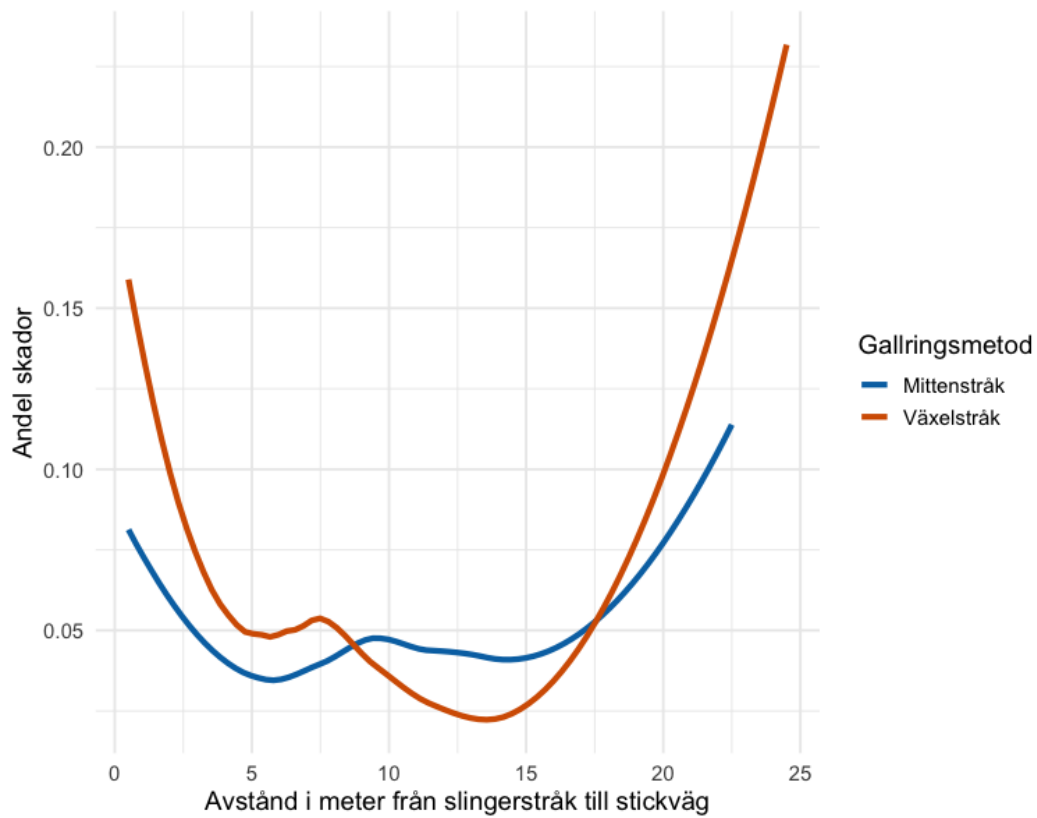
någon signifikant huvudeffekt av gallringsmetod ($p=0,500$), avstånd från slingerstråk till stickväg ($p=0,737$) eller beroende på kort eller lång sida ($p=0,363$). Däremot visade analysen att huvudinteraktionen mellan skadade träd och det dominerande trädslaget för beståndet är signifikant ($p=0,008$) (Figur 14). Tallbestånd visade lägre risk för skador på kvarvarande träd efter gallring i jämförelse med grandominerade bestånd. Statistisk dataanalys redovisas i Bilaga 4.



Figur 14: Andel skadade träd efter gallring per trädslag (gran och tall) och gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk).

Figure 14: Proportion of damaged trees after thinning by tree species (spruce and pine) and thinning method ("mittenstråk" and "växelstråk").

Trots att resultatet inte visade någon signifikant skillnad baserat på avståndet från slingerstråk till stickväg, visar Figur 15 att andelen skador inte är konstant fördelat i beståndet. Båda gallringsmetoderna visade en variation i skadeförekomst, där skadorna ser ut att öka som mest vid längre avstånd, särskilt för växelstråksmetoden.



Figur 15: Andel skadade träd efter gallring i relation till avståndet mellan slingerstråk och stickväg per gallringsmetod (mittenstråk och växelstråk).

Figure 15: Proportion of damaged trees after thinning in relation to the distance between the "ghost trail" and the strip road per thinning method ("mittenstråk" and "växelstråk").

4. Diskussion

4.1 Skillnader i gallringsuttag och struktur för kvarvarande träd

En stor del av studiens syfte var att undersöka skillnader i den rumsliga fördelningen av kvarvarande träd efter utförd gallring, samt jämförelser mellan de två gallringsmetoderna mittenstråk och växelstråk. Resultatet visade signifikanta skillnader för hur uttaget av träd var fördelat, främst beroende på avstånd från slingerstråk till stickväg. Det största gallringsuttaget var som förväntat i körvägarna och i direkt anslutning till körvägarna (slingerstråk och stickvägar), men lägre i zonen mellan körvägarna. Detta mönster var konsekvent för båda gallringsmetoderna och överensstämmer med tidigare forskning som menar att det är högst tvingande uttag i maskinens körväg (Agestam 2015). Det är ett naturligt resultat av att maskinen måste ta sig fram och skapa utrymme för det fortsatta arbetet genom beståndet. Växelstråksmetoden visade signifikant större variation för hur trädens uttag var fördelade mellan körvägarna i jämförelse med mittenstråksmetoden (Figur 11). Trots att båda metoderna följde samma mönster, visar växelstråksmetoden lägre andel uttagna träd i zonen mellan körvägarna. Det indikerar på att träden efter gallring troligtvis står kvar med tätt mellanrum i dessa partier, vid antagande att träden stod relativt jämnt fördelade innan gallring.

En tolkning av resultatet är att mittenstråksmetoden kan ha en större möjlighet att skapa en struktur där kvarvarande träd är något mer jämnt fördelade i beståndet, vilket i många sammanhang betraktas som ett önskvärt resultat (Agestam 2015; Broman et al. 2018; Franke 2012; Skogsstyrelsen 2025). Den främsta förklaringen till varför mittenstråksmetoden resulterade i mindre variation av uttagsfördelningen av träd kan troligtvis kopplas till arbetsmetoden. Metoden innebär att båda stickvägarna är etablerade innan slingerstråket körs upp. Det betyder att skördarföraren kör upp slingerstråket efter att båda de parallella stickvägarna intill är uppkörda. Det kan göra att beståndet upplevs mer öppet och enligt (Gellerstedt 2013) förbättras sikten vid arbetet när träd från längre avstånd ska gallras ut. Vid växelstråksmetoden är det endast en stickväg som körs upp innan slingerstråket etableras. Det kan göra att beståndet upplevs som tätare åt det håll där den andra stickvägen ännu inte skapats, vilket i sin tur kan påverka vilka träd som väljs ut för gallring. Det är dock viktigt att poängtera att det finns forskning som anser att grundytan är den mest avgörande faktorn för beståndets fortsatta utveckling i relation till hur träden står fördelade i beståndet efter gallring (Fransson et al. 2019). Resultatet kunde inte visa någon signifikant skillnad i total

uttagsmängd mellan gallringsmetoderna, vilket talar för att båda metoderna, trots variationen i uttagsmönster skulle kunna uppnå samma mål i slutändan, förutsatt att den önskvärda totala grundytan för beståndet uppnås.

4.2 Effekterna av slingerstråkets placering och det totala stickvägsavståndet

Effekterna av slingerstråkets placering i förhållande till stickvägarna togs fram genom att studien undersökte avståndet från slingerstråk till närmsta stickväg åt vardera håll. Syftet var att analysera hur sidornas längd kan påverka gallringsuttagets fördelning av kvarvarande träd. Resultatet visade att slingerstråkets placering var ocentrerat mellan stickvägarna eftersom det fanns signifikanta skillnader mellan sidornas längd, oavsett gallringsmetod. Växelstråksmetoden visade dessutom signifikant större skillnad mellan avstånden från slingerstråk till stickväg beroende på sida. Skillnaden var nästan dubbelt så stor mellan sidornas avstånd i jämförelse med mittenstråksmetoden. Det betyder att slingerstråket konsekvent placeras närmare en av stickvägarna, främst för växelstråksmetoden.

Variationen i sidolängd går att koppla till uttagsfördelningen, främst i zonen mellan slingerstråk och stickväg. Resultatet visade att andelen uttagna träd i zonen mellan slingerstråk och stickväg var väldigt låg vid vissa avstånd för den sida som var kortare, främst för växelstråksmetoden. Det kan vara ett medvetet val av skördarföraren eftersom uttaget skulle riskera att bli för högt i förhållande till körvägarnas placering, där ett tvingat uttag redan är gjort. Teorin leder till att uttagna träd fokuseras till körvägarna och leder till att kvarvarande träd i beståndet inte har en jämn fördelning. Motsvarande effekt visades vid väldigt långa avstånd för båda metoderna, men även här främst för växelstråksmetoden. Det mönster som kunde utläsas var dock att den lägsta andelen uttagna träd var förflyttad ca 5–10 meter bort från slingerstråket i jämförelse med det lägsta uttaget vid kortare avstånd (Figur 12). Det påverkas sannolikt av att maskinens kranlängd inte når genom hela zonen mellan slingerstråket och stickvägen vid längre avstånd eftersom maskinernas kranlängder i den här studien inte nådde längre än ca 11 meter. Det fanns observationer där avståndet var längre än 22 meter (Figur 12) och det går därför att koppla till tidigare forskning som menar att väldigt långa avstånd mellan körvägar påverkar den rumsliga fördelningen av kvarvarande träd (Agestam 2015). Vid väldigt långa avstånd, upp mot 25–30 meter går det även att observera att fördelningen av andelen uttagna träd sjunker igen närmare stickvägen trots att maskinen bör kunna gallra ut träd där. En möjlig förklaring kan vara att skördarföraren anser att det redan skett uttag från den sidan

om stickvägen, vilket minskar drivkraften att utföra ytterligare uttag från motsatt håll. En viktig aspekt är att båda gallringsmetoderna visade liknande mönster både vid korta och långa avstånd från slingerstråk till stickväg, samt för den totala andelen uttagna träd baserat på det relativa avståndet. Det tyder på att slingerstråkets placering i förhållande till stickvägarna baserat på maskinens räckvidd, kan vara en viktigare faktor än vilken gallringsmetod som tillämpats.

Eftersom resultatet visar att slingerstråkets placering påverkar fördelningen av träd i kvarvarande bestånd är det viktigt att hitta fungerande beslutstöd och uppföljningar som kan identifiera dessa mönster. Digitala hjälpmedel som meddelar när och var slingerstråkets placering riskerar att bli för ocentrerat i förhållande till stickvägarna intill skulle kunna vara en praktisk åtgärd som kan bidra till ett jämnare uttag av träden vid gallring. Resultatet kan också bidra till införande, samt utveckling av utbildningsmaterial för maskinförare, så att planering av slingerstråk anpassas bättre till beståndets struktur. Att använda faktorer som avstånd från körväg till nästa körväg är konkreta och mätbara parametrar som enkelt går att följa upp. Till skillnad från mer komplexa faktorer som maskinförarens bedömningar eller sikt i beståndet, kan slingerstråkets placering utvärderas och justeras med digitala hjälpmedel samt fältobservationer. Resultatet från den här studien kan bidra till rekommendationer vid gallringsarbetet, vilket fortsättningsvis skulle kunna påverka metodval och arbetssätt.

Det totala avståndet mellan stickvägarna skiljer sig inte signifikant mellan mittenstråks- och växelstråksmetoden. Medelavståndet var omkring 29 meter för båda metoderna, vilket överensstämmer väl med tidigare forskning där ett stickvägsavstånd på 30 meter i kombination med ett slingerstråk resulterade i en jämn fördelning av kvarvarande träd efter gallring (Bergqvist 2009). Resultatet antyder därför att det totala stickvägsavståndet inte är en avgörande faktor för att studera hur kvarvarande träd är fördelade i beståndet. Det bör dock noteras att tidigare studier inkluderat en stickvägsbredd i mätningen av det totala stickvägsavstånd, vilket inte gjordes i den här studien. Det innebär att stickvägsavstånden i praktiken kan vara något kortare vid jämförelse med andra studier. En intressant observation var att bestånd med gran som dominerande trädslag i genomsnitt hade ett stickvägsavstånd som var längre för mittenstråksmetoden jämfört med växelstråksmetoden. Mittenstråksmetoden visade dessutom ett signifikant längre avstånd för grandominerade bestånd i jämförelse med tallbestånd. Trots att grandominerade bestånd kännetecknas av tätare kronor och sämre sikt visade resultatet överlag längre avstånd mellan stickvägarna för grandominerade bestånd.

4.3 Skillnader i förekomsten av skador

Resultatet visade att skadefrekvensen i genomsnitt var strax under 5% för båda gallringsmetoderna, vilket ligger inom de riktlinjer som SCA anser är acceptabelt. Ingen signifikant skillnad visades mellan de två gallringsmetoderna, vilket tyder på att gallringsmetod inte har en avgörande effekt vid förekomsten av skador, i de undersökta bestånden. Detta är resultat som ligger i linje med vad tidigare studier har visat, exempelvis Bergqvist (2009) som inte heller fann några skillnader mellan de olika gallringsmetoderna som undersöktes.

Däremot visade resultatet att trädslagfördelningen påverkar förekomsten av skador, där tallbestånd visade lägre risk för skador på träd i jämförelse med granbestånd (Figur 14). En förklaring kan vara att granbestånd ger sämre sikt (Gellerstedt 2013) och träden upplevs stå närmare varandra eftersom grenarna täcker stor del av trädens stam. Det kan försvåra arbetet för maskinförare vid fällning och transport av träd i granbestånd.

Visuella mönster går att tyda genom resultatet, trots att det inte visade några signifikanta skillnader mellan dessa faktorer. En skillnad som observerades var att skadorna förekom mest frekvent i närhet av både slingerstråk och stickvägar, medan zonen mellan körvägarna visar lägre risk för skador. Det är ett resultat som är väntat då maskinerna rör sig mer kring körvägarna i beståndet och på så sätt ökar risken för att komma åt kvarvarande träd. Det går även att avläsa skillnader mellan gallringsmetoderna utifrån fördelningen över avstånd.

Mittenstråksmetoden visade en mer jämn fördelning av skador, medan växelstråksmetoden tenderar till högre andel skador nära körvägarna. Metodernas olika arbetssätt kan vara en möjlig förklaring eftersom ordningen för hur körvägarna körs upp skiljs åt. Att skadefrekvensen trots dessa observationer hålls inom en acceptabel nivå kan förklaras genom flera faktorer. Dels är det endast mindre maskinsystem som används i studien, vilket enligt Edlund (2015) innebär lägre risk för skador i jämförelse med tyngre och större maskiner. Dessutom kan maskinförarens erfarenhet, förmåga att anpassa arbetet efter terrängen samt sikt och instruktioner bidra till att skador undviks. Gallringsmetod kan därför inte förklara några skillnader för skadefrekvens, men att trädslag och beståndsstruktur kan vara möjliga faktorer som påverkar utfallet. Resultatet kan vara användbart vid planering och uppföljning av gallringsarbetet, vilket genom beslutstöd kan underlätta maskinförarnas arbetssätt samt identifiera eventuella riskområden för skador.

4.4 Tillämpning av gallringsmetoder i praktiken

Resultatet visar att SCA:s rekommenderade gallringsmetod, i denna studie benämnd som mittenstråk, inte tillämpats fullt ut i praktiken för det studerade området. Det bekräftar den ursprungliga hypotesen från SCA, som besvarar studiens första frågeställning. Trots tydliga instruktioner, riktlinjer och tillgång till tekniska beslutstöd, exempelvis GPS-baserade system, traktdirektiv och planeringsverktyg visar resultatet att metodvalet påverkas av andra faktorer. Detta är i linje med tidigare forskning av både Lindroos et al. (2017) och Ovaskainen (2009), att arbetsmetod kan variera mellan olika maskinförare beroende på individuella förutsättningar, exempelvis utifrån erfarenhet, teknisk färdighet och prefenser i körsätt. Att SCA:s val av gallringsmetod inte konsekvent tillämpats trots företagets implementeringsförsök, kan indikera ett behov av ytterligare uppföljning, tydligare instruktioner och kommunikation mellan produktionsledning och maskinlag.

En möjlig förklaring till att den rekommenderade gallringsmetoden inte tillämpats konsekvent kan vara användningen av digitala beslutstöd som fortsatt varierar mellan maskinförare (Lindroos et al. 2017; Ovaskainen, 2009). System som HPR-gallring är exempel på program som inte alltid är tillgängliga eller användbara för alla maskintyper, vilket kan bero på skillnader i maskinmodell, teknisk utrustning samt maskinförarens inställning till programmet. Införandet av nya arbetssätt påverkas av dessa faktorer, inte minst om det innebär att en invand arbetsmetod måste ersättas vilket kan vara tidskrävande och utmanade.

Utöver att SCA:s metod inte tillämpats fullt ut, visade resultatet tydliga skillnader mellan de tre undersökta områdena (Figur 6). Det tyder på att metodvalet troligtvis påverkas av fler än enbart individuella faktorer. Skillnaderna kan möjligtvis förklaras av organisatoriska strukturer och kulturella skillnader, där normer och implementering av ett nytt arbetssätt kan skiljas åt mellan olika områden, kontor, produktionsledare och maskinlag. Produktionsledarens roll kan påverka maskinförarens utförande genom uppföljning och återkoppling eftersom personen agerar länk mellan planering och arbetet som utförs.

Trots att ett stort antal gallringar studerades per gallringslag så är val av gallringsmetod baserat utifrån vilken metod som används för den studerade tidsperioden. Det innebär att variationen mellan metoderna och de undersökta områdena till viss del kan ha påverkats av vilka- och antal bestånd som gallrades under den aktuella perioden.

4.5 Studiens styrkor och svagheter

Eftersom SCA:s system redan var välbekanta tack vare författarens arbete som produktionsledare under sommaren 2024, kunde data bearbetas effektivt, vilket minimerade risken för fel vid analyser och framttagande av underlag till fältinventeringen. Det stora datasetet med fältobservationer från flera olika gallringslag och bestånd utgör en stor bredd och ökar tillförlitligheten i studien. Kombinationen av GPS-analyser från skördarförarens maskinloggar i kombination med fysiska observationerna i fält gav en detaljerad analys av gallringsresultatet, som baserades på uttagsfördelning och skador av kvarvarande träd. Dessutom tillhörde alla observationer samma skogliga klassificering (Roberge et al. 2024), vilket betyder att beståndsvariationerna inte är tydligt avgörande och att resultatet kan kopplas till vilken gallringsmetod som använts.

En fördel med studiens resultat är den praktiska tillämpningen för vidare utveckling av beslutstöd, gallringsplanering och kvalitetsuppföljningar. Resultatet identifierade skillnader för slingerståkets placering, avstånd mellan körvägar och uttagsfördelning, vilket är användbart vid utbildning och instruktioner för att skapa ett hållbart gallringsutförande. Dessutom kan studiens design utifrån den uppdelade strukturen med avgränsade moment och tillgång till resultatet användas vid framtida studier och uppföljningar.

Studien är främst begränsad genom jämförelsen av endast två av flera förekommande gallringsmetoder, vilket gör att resultat inte går att applicera för vilken gallringsmetod som i allmänhet anses vara mest pålitlig när det kommer till studiens frågeställningar. Trots att urvalet är baserat på ett stort antal analyserade bestånd för att identifiera vilken gallringsmetod som använts, så finns det en viss osäkerhet kring metodens tillförlitlighet. Eftersom klassificeringen är baserad på det dominerande körmönstret för varje gallringslag, under en begränsad tidsperiod går det inte att utesluta användningen av att andra metoder kan ha använts i viss omfattning. Studien tar inte hänsyn till maskinförarnas individuella erfarenhet, användningen av tekniska hjälpmedel eller beslut, vilket till stor del kan påverka resultatet.

Den geografiska avgränsningen till två områden kan begränsa studiens överförbarhet till andra områden med skillnader kring klimat, markstruktur och beståndsegenskaper. Eftersom samma antal provytor användes vid fältobservationerna oavsett beståndens storlek betyder det att variationen kan vara större än vad provytorna fångar upp, trots att det placerades ut slumpmässigt. Dessutom betyder det att bestånden kan vara över eller underrepresenterade i förhållande till arealstorlek, främst eftersom varje enskilt träd, stickväg och slingerstråk etc. inte har lika stor chans att komma med inom provytorna. Hela

datainsamlingen är baserad på manuella mätningar och analyser, vilket alltid innebär en risk för mänskliga fel vid mätning och registrering av data. Samtliga statistiska modeller i studien har beräknats med RMSE och bias för att analysera den statistiska styrkan, dessutom har förklaringsgraden för modellerna analyserats. Förklaringsgraden var relativt låg för samtliga modeller, vilket kan bero på att fältförsöket påverkats av icke studerade eller mätbara parametrar så som biologiska, tekniska och mänskliga faktorer.

Resultatet för ANOVA modellen där slingerstråkets placering analyserades gav en hög effektstorlek mellan lång och kort sida i jämförelse med övriga faktorer. Därför kan en tydlig skillnad i längd mellan sidorna bekräftas, vilket enligt studiens resultat även påverkat förutsättningarna för den rumsliga fördelningen av träd. Kombinationen av statistiska skillnader och en hög effektstorlek ökar studiens tillförlitlighet och stärker eventuella antaganden. Övriga effektstorlekar i ANOVA-modellerna var lägre, vilket betyder att resultatet trots signifikanta skillnader endast förklarar en del av variationen.

Förklaringsgraden för de två logistiska regressionsmodellerna där analyser av uttagsfördelning och skador studerades, visade relativt låga värden. Dock var bias värdet samt felmarginalen för modellen väldigt lågt, vilket visar att modellerna inte är snedfördelade och tyder på stabilitet. Modellernas låga förklaringsgrad bör uppmärksammas vid tolkning av resultaten eftersom det endast förklarar en liten del av variationen.

4.6 Framtida studier

Det finns flera intressanta delar att studera, utveckla och inkludera vidare i framtida studier. En tidigare nämnd begränsning för utförandet av den här studien är att den endast inkluderar förstagallringar under barmarkssäsongen. En förlängd tidsperiod av datainsamling skulle även kunna inkludera fler årstider och variationer vilket i större utsträckning skulle kunna bidra till hur metodval och gallringsutfall påverkas över tid.

Vidare omfattas den här studien främst av två områden, vilket är en relativt liten areal av de gallringar som utförs i Sverige årligen. Därför bör framtida studier inkludera fler geografiska områden där flera skillnader mellan olika gallringsmetoder kan studeras baserat på skillnader i klimat, markförhållanden, bonitet osv. Det skulle utöka analysen och ge resultat för hur metodval och uttagsfördelning påverkas regionalt och öka resultatets överförbarhet till fler områden. En annan intressant fråga för framtida studier är hur trädens rumsliga fördelning efter gallring påverkar förutsättningarna för eventuell andra gallring

och slutavverkning. Studien visade inga signifikanta skillnader i den totala uttagsmängden mellan metoderna vilket kan tala för att den framtida slutavverkningen inte påverkas i någon större omfattning så länge produktionsmål uppnås. Det är dock inte något som har studerats närmare i det här arbetet och det är därför svårt att dra någon slutsats om eventuella långsiktiga effekter.

Maskinförarens kompetens och användning av digitala hjälpmedel kan vara en bidragande faktor för resultatet. Att bedöma träds synlighet, navigera i täta bestånd och avgöra gallringsträds placering kräver erfarenhet. Eftersom den här studien inte inkluderat uppgifter och data från enskilda maskinförare, kan det ses som en möjlig felkälla och en viktig aspekt för framtida studier. Ytterligare en relevant aspekt att studera närmare är hur gallringsmetoder implementeras, inte minst i relation till instruktioner, beslutstöd och riktlinjer. I linje med studiens problembakgrund och syfte finns det en kunskapslucka kring hur väl rekommenderade gallringsmetoder tillämpas i praktiken, och vilka faktorer som påverkar valet av gallringsmetod.

4.7 Slutsatser

Resultatet för studien visade att den förespråkade gallringsmetoden inte tillämpades konsekvent i praktiken, med stor variation mellan olika geografiska områden. Studien visar även att gallringsmetod och slingerstråkets placering tydligt påverkat den rumsliga fördelningen av kvarvarande träd efter förstagallring. Mittenstråksmetoden, vilket också var den rekommenderade metoden vid SCA, resulterade i ett mer jämnt uttagsmönster vid jämförelser med växelstråksmetoden. Skillnaderna i uttagsmönster och därmed kvarvarande trädens fördelning kan sannolikt förklaras av metodernas olika arbetsgång, där mittenstråksmetoden innebär att båda stickvägarna körs upp innan slingerstråket etableras. Slingerstråken placerades generellt ocentrerat mellan stickvägarna och avståndskillnaden var signifikant större för växelstråksmetoden (5,3 m) i jämförelse med mittenstråksmetoden (2,7 m). Trots dessa skillnader visade resultatet att det totala stickvägsavståndet inte skiljde sig åt mellan metoderna, men däremot mellan trädslag inom mittenstråksmetoden. Skadefrekvensen för kvarvarande träd efter gallring var totalt 4,93% och påverkades inte av gallringsmetod, men med signifikant högre förekomst i grandominerade bestånd jämfört med tallbestånd. Resultaten belyser vikten av tydligare implementering, uppföljning och användning av beslutstöd för att säkerställa en jämn rumslig fördelning för de kvarvarande träden i bestånden efter förstagallring.

Referenser

- Ager, B. (2017). *Nedslag i skogsbrukets teknikhistoria del 1. skotarens tillkomst, del 2. gripskördarens tillkomst, del 3. aktörer, beteenden och förlopp i den skogstekniska utvecklingen*. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Agestam, E. (2015). *Gallring*. (Skogsskötselserien, nr 7. Andra upplagan). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotselserien-14-gallring.pdf> [2025-01-08]
- Albrektson, A., Elving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselns grunder och samband*. (Skogsskötselserien, nr 1. Andra upplagan). <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-1-skogsskotselns-grunder-och-samband.pdf> [2025-01-08]
- Bergkvist, I., Lundström, H. (2010). *Gallra från stickväg eller med stråk? studier vid Holmen Skog*. (Nr. 16, 2010). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161813/contentassets/00c7d4faf7fd4ba8a5fd4337583b0a81/resultat16-10_lowres.pdf [2025-03-16]
- Bergkvist, I. (2009). *Skördarstorlek och metod i förstagallring av tall och gran: studier av prestation och kvalitet i förstagallring*. (Nr 685, 2009). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161537/contentassets/d038e62ac48e456fa3c96edc302a1009/arbetsrapport-685-2009.pdf [2025-03-16]
- Bergkvist, I. & Staaland, F. (2003). *Gallra med kvalitet - förberedelser, utförande, uppföljning & återkoppling*. Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/9281346e032e401faf7dd9dca6455d73/gallra-med-kvalitet.pdf> [2025-03-16]
- Broman, N., Glöde, D., Holmgren, H., Leonardsson, L. & Norgren, O. (2018). Effektiv skogsskötsel. *Rapport från samverkansprocess skogsproduktion*. (2018/2). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/pagaende-projekt/samverkansprocess-skogsproduktion/effektiv-skogsskotsel-rapport-2018-2.pdf> [2025-03-28]
- Brunberg, T., Lundström, H. (2010). *Rätt maskinval i gallring: studie vid SCA Skog*. (Nr 6, 2010). Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20190114161734/contentassets/9f27e90a8dae45eab501fcb50cf36a18/resultat6-10_lowres.pdf [2025-03-04]
- Edlund, L. (2015). *Uttagsnivån i förstagallring och dess inverkan på framtida tillväxt och avkastningspotential i talldominerade bestånd*. (Arbetsrapport 4, 2015). Avancerad nivå, A2E. Umeå. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Sveriges lantbruksuniversitet. https://stud.epsilon.slu.se/7825/7/edlund_1_150420.pdf
- Eriksson, M. & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International*

- Journal of Forest Engineering*, vol. 25 (3), ss. 179–200. DOI:
<https://doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
- Franke, G. (2012). *Beståndsutveckling i stormskadade granbestånd*. Avancerad nivå, A2E. Alnarp. (Nr 192). Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap. Sveriges lantbruksuniversitet. https://stud.epsilon.slu.se/4721/1/Franke_G_120824.pdf
- Fransson, P., Nilsson, U., Lindroos, O., Franklin, O. & Brännström, Å. (2019). Model-based investigation on the effects of spatial evenness, and size selection in thinning of *Picea abies* stands. *Scandinavian journal of forest research*, 34 (3), 189–199.
<https://doi.org/10.1080/02827581.2019.1577914>
- Forsberg, M. & Lodén, H. (2020). *Förröjning i Sverige - en granskning av skogsföretagens strategier för underväxtröjning inför förstagallring*. (Kandidatarbete i skogsvetenskap 2020:13). Sveriges lantbruksuniversitet. Fakulteten för skogsvetenskap / Jägmästarprogrammet.
<https://stud.epsilon.slu.se/15935>
- Gellerstedt, S. (2013). Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work. *International journal of forest engineering*, 13 (2), 35–47.
<https://doi.org/10.1080/14942119.2002.10702461>
- Gustavsson, H. (2017). *Tidsstudie och kvalitetsuppföljning vid jämförelse av små och konventionella skördare och skotare i förstagallring*. (Arbetsrapport 5 2017). Avancerad nivå, A2E. Umeå. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Sveriges lantbruksuniversitet. https://stud.epsilon.slu.se/10194/1/_storage-um.slu.se_restricted%24_SBT_Administration%20SBT_Rapporter_Epsilon_Gustavsson_H_20170518.pdf
- Hamilton, C.-F. (2011). *Hur kan man öka gallringen hos privata skogsägare? : En kvalitativ intervjustudie*. (Rapport 2011:65). Sveriges lantbruksuniversitet
- Hamilton, G.-J. (1980). *Line thinning*. Forestry Commission Leaflet.
https://cdn.forestryresearch.gov.uk/1980/04/fclf077_1980.pdf
- Johansson, K., Agestam, E., Johansson, U. & Nilsson, U. (2002). *Skador i samband med gallring i granskog- en litteraturstudie*. Research gate.
https://www.researchgate.net/publication/242779080_Skador_i_samband_med_gallring_i_granskog-en_litteraturstudie
- John Deere (u.å). *Skördare*. <https://www.deere.se/sv/sk%C3%B6rdare/> [2025-10-01]
- Jonsson, B. (1991). *Kort introduktion till GPS*. (1991:4). Lantmäteriet.
<https://www.lantmateriet.se/globalassets/geodata/gps-och-geodetisk-matning/rapporter/1991-4.pdf>
- Jonsson, R. (2014). *Simulering av gallring med noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna och jämförelser av drivningskostnader*. (Arbetsrapport 416, 2014). Avancerad nivå, A2E. Umeå. Institutionen för drivningskostnader. Sveriges lantbruksuniversitet. https://stud.epsilon.slu.se/6849/7/jonsson_r_140613.pdf
- Komatsu. (u.å). *Våra skördare*.
<https://www.komatsuforest.se/skogsmaskiner/v%C3%A5ra-sk%C3%B6rdare> [2024-10-01]

- Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S.-I. (2004). Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. *International journal of forest engineering*, 15 (2), 43–56.
<https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702496>
- Lagergren, F. & Lindroth, A. (2004). Variation in sap flow and stem growth in relation to tree size, competition and thinning in a mixed forest of pine and spruce in Sweden. *Forest ecology and management*, 188 (1), 51–63.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.018>
- Lindroos, O., La Hera, P.X. & Häggström, C. (2017). Drivers of Advances in Mechanized Timber Harvesting – a Selective Review of Technological Innovation. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 38 (2), 243–258
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F. (2014). Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, 5 (4), 557–578.
<https://doi.org/10.3390/f5040557> [2025-02-14]
- Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C. (2014). *Slutavverkning*. (Skogsskötselserien nr 20). Skogsstyrelsen.
<https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-20-slutavverkning.pdf> [2025-04-02]
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. (2004). Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest ecology and management*, 201 (2), 311–325.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.016>
- Möller, J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. (2016). *Bestandsvis gallringsuppföljning i praktiskt drift*. (2016-26). Skogforsk.
<https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2016/bestandsvis-gallringsuppfoljning-nu-i-praktisk-drift/>
- Nilssen Klinga, M. (2020). *Små beståndsgående skördares förutsättningar och potential i Sveriges gallringsskogar*. (2020:12). Avancerad nivå, A2E. Umeå. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Sveriges lantbruksuniversitet.
https://stud.epsilon.slu.se/16281/1/klinga_m_201112.pdf
- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P.-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K. & Lundmark, T. (2010). Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden: effects of different thinning programmes on standlevel gross- and net stem volume production. *Studia forestalia Suecica*, 219, 1–46
- NordNordWest (u.å.). *Sweden rel location map*. [Map]. Tillgänglig:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sweden_rel_location_map.svg (CC BY-SA 3.0.) [2025-]
- Olsson, H., Nilsson, M., Lindberg, E. & Nilsson, L. (2022). *Ökad punkttäthet vid nationell laserskanning*. (2022:19). Skogsstyrelsen.
https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2022021202020192018/rapport-2022-19-okad-punkttathet-vid-nationell-laserskanning.pdf?utm_source=chatgpt.com

- Ovaskainen, H. (2009). Timber harvester operators' working technique in first thinning and the importance of cognitive abilities on work productivity. *Dissertationes Forestales*, 2009 (79). <https://doi.org/10.14214/df.79>
- Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. (2012). *Röjning*. (Skogsskötselserien nr 6. Andra upplagan). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-6-rojning.pdf> [2025-03-01]
- Ponsse. (u.å). Skördare. <https://www.ponsse.com/sv/produkter/skoerdare#/> [2024-10-01]
- Riksdagsförvaltningen (1993). *Skogsvårdslag (1979:429) Svensk författningssamling 1979:429 t.o.m. SFS 2024:807*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svenskförfattningssamling/skogsvardslag-1979429_sfs-1979-429 [2025-02-14]
- Roberge, C., Dahlgren, J., Nilsson, P., Wikberg, P.-E. & Fridman, J. (2024). *Skogsdata 2024: aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen Tema: Arter*. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2024_web.pdf [2024-10-03]
- SCA. (2022). *Så här ska du röja*. <https://www.sca.com/siteassets/skog/skogliga-tjanster/roja/instruktion---sa-har-ska-du-roja---anpassad-efter-skogsbruk-certifierat-enligt-fsc-och-pefc.pdf> [2025-03-03]
- SCA. (2024). *SCA använder AI för digital traktplanering*. <https://www.sca.com/sv/media/nyheter/2024/sca-anvander-ai-for-digital-traktplanering/> [2025-03-21]
- SCA. (u.å.a). *Innovation och forskning*. <https://www.sca.com/sv/om-oss/innovation-och-forskning/> [2025-03-02]
- SCA. (u.å.b.). *Vill du öka värdet på din skog?* [Broschyr]. SCA. https://www.sca.com/siteassets/skog/skogliga-tjanster/gallra/gallring_infoblاد.pdf [2025-02-13]
- SCA. (u.å.c). *Om oss*. <https://www.sca.com/sv/om-oss/> [2025-03-21]
- SCA. (u.å.d). *Om SCA Skog*. <https://www.sca.com/sv/skog/sca-skog/> [2025-05-11]
- SCA Skog. (2024). Gallringsutbildning. [Internt material]
- Sesone, N. & Vestlund, D. (2024). *Siktförbättrande teknologi för ökad effektivitet och hållbarhet i skogsbruket: vad tycker skördarförarna?* (2024:08). Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarprogrammet. <https://stud.epsilon.slu.se/20435/1/sesone-n-vestlund-d-20240821.pdf>
- Skogsstyrelsen (2025). Skogsvårdslagstiftningen - gällande regler 1 april 2025. (SKSFS 2025:3). Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/lag-och-tillsyn/skogsvardslagen/skogsvardslagstiftningen---gallande-regler-1-april-2025.pdf> [2025-05-16]
- Skogskunskap. (2024). *Digitala data om skogen*. <https://www.skogskunskap.se/aga-skog/matt-och-matning/digitala-data-om-skogen/> [2025-04-02]

- Sundström, L. (2019). *Privata skogsägars preferenser och betalningsvilja vid val av maskinstorlek i gallring*. (2019:5) Avancerad nivå, A2E. Umeå. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. Sveriges lantbruksuniversitet.
https://stud.epsilon.slu.se/15002/13/sundstrom_1_190919.pdf
- Thor, M. (2012). *Forskning och innovation för produktiv och skonsam skogsteknik: en strategisk fråga för hela den svenska skogsnäringen*. Kungl. Skogs- och lantbruksakademien.
- Ulvcróna, K.A., Ulvcróna, T., Lundmark, T. (2010). *Skador efter tidig gallring i täta tallbestånd*. Enheten för skoglig fältforskning, Vindeln's Försöksparker, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Valinger, E. & Pettersson, N. (1996). Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry (London)*, 69 (1), 25–33. <https://doi.org/10.1093/forestry/69.1.25>

Populärvetenskaplig sammanfattning

Gallring är en vanlig åtgärd i det svenska skogsbruket som innebär att utvalda träd plockas bort för att de kvarvarande träden ska få bättre möjlighet att växa. Det är en vanlig åtgärd i det svenska skogsbruket och har flera olika syften. Förutom att förbättra trädens tillväxt och skapa värdefulla skogar för framtiden, ger gallring också en direkt ekonomisk nytta. De träd som plockas ut kan säljas vilket innebär att skogsägaren får en inkomst samtidigt som det påverkar hur skogen ser ut och upplevs efter åtgärden.

I det här arbetet har två olika metoder som används vid gallring studerats. Båda metoderna använder något som kallas för slingerstråk, vilket är en körväg som gallringsmaskinen använder, men där arbetsgången skiljer sig åt. Den ena metoden (mittenstråk), som är rekommenderad att använda av skogsbolaget SCA innebär att maskinföraren först kör upp två huvudvägar och sedan ett slingerstråk mellan dem vägarna. Den andra metoden (växelstråk) innebär att maskinföraren växlar mellan en huvudväg och ett slingerstråk. Syftet med studien var att se om metoderna påverkar hur träden står kvar i skogen efter gallring och om det blir fler eller färre skador på de träd som lämnas.

För att undersöka det här studerades GPS-loggar från maskinerna och data samlades in direkt i fält från 24 olika platser i Södra Norrland där maskinerna gallrat. Studien visar att metod spelar roll eftersom den rekommenderade metoden mittenstråks gav en jämnare fördelning mellan träden som stod kvar efter gallring och att växelstråksmetoden gav större variation. Det är resultat som kan vara viktigt då jämnt fördelade träd kan gynna tillväxten och det kan påverka hur skogen upplevs visuellt hos skogsägare.

När det kommer till skador på träden visade studien att det inte var någon större skillnad mellan metoderna men att det fanns fler skador i bestånd med mycket gran i stället för tall, vilket kan bero på att granskogar ofta är tätare och mörkare så det blir svårt för maskinföraren att se tydligt.

I takt med att tekniska hjälpmedel som GPS, AI och digitala verktyg som kan användas vid planering blir vanligare i skogsbruket, finns goda möjligheter att anpassa arbetet efter tillväxt och det visuella värdet. Studien bidrar med ny kunskap som kan användas i planering, utbildning och utveckling av framtidens hållbara gallringsmetoder.

Bilaga 1

Signifikansnivåer: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. RMSE = 3,66 och BIAS = 0 för modellen (Tabell 10).

Tabell A1: ANOVA-resultat för totalt stickvägsavstånd per gallringsmetod och trädslag.

Faktor	Frihetsgrader (DF)	Summa kvadrater (Sum Sq)	Medel kvadrat (Mean Sq)	F-värde	p-värde	Effektstorlek (η^2)
Metod	1	3,9	3,89	0,28	0,598	0,002
Trädslag	1	168,0	168,03	12,10	<0,001***	0.09
Metod: Trädslag	1	146,1	146,08	10,52	0,002**	0.08
Residuals	116	1611,4	13,89	-	-	-

Signifikansnivåer: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$ (Tabell 11).

Tabell A2: Parvisa jämförelser (Tukey HSD) för interaktioner mellan gallringsmetod och trädslag för totalt stickvägsavstånd.

Parvisa jämförelser	Skillnad (Diff.)	95% konfidensintervall	p-värde
Mellan metoder			
Växelstråk: Gran-Mittenstråk: Gran	-2,57	(-5,06: -0.06)	0,043*
Växelstråk: Tall-Mittenstråk: Tall	1,85	(-0,66: 4.36)	0,226
Inom metoder			
Växelstråk: Gran-Växelstråk: Tall	-0,16	(-2,67: 2,34)	0,998
Mittenstråk: Gran-Mittenstråk: Tall	-4,57	(-7,08: -2,06)	<0,001***

Bilaga 2

Signifikansnivåer: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. RMSE = 2,35 och BIAS = 0 för modellen (Tabell 12).

Tabell B1: ANOVA-resultat för slingerstråkets placering (baserat på sida A och B) per gallringsmetod, sida och trädslag.

Faktor	Frihets grader (DF)	Summa kvadrater (Sum Sq)	Medelkv adrat (Mean Sq)	F-värde	p-värde	Effektstorlek (η^2)
Sida	1	918,1	918,1	160,19	<0,001 ***	0,41
Metod	1	1,9	1,9	0,34	0,561	0
Trädslag	1	84,0	84,0	14,66	<0,001 ***	0,06
Sida: Metod	1	89,1	89,1	15,54	<0,001 ***	0,06
Metod: Trädslag	1	73,0	73,0	12,74	<0,001 ***	0,05
Sida: Trädslag	1	1,8	1,8	0,31	0,579	0
Sida: Metod: Trädslag	1	4,9	4,9	0,85	0,357	0
Residuals	232	1329,6	5,7	-	-	-

Referensvariabel: Metod = Mittenstråk, Trädslag = Gran, Sida = A.

Signifikansnivåer: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$ (Tabell 13).

Tabell B2: Parvisa jämförelser (Tukey HSD) för interaktioner mellan gallringsmetod, sida och trädslag för slingerstråkets placering (avstånd mellan slingerstråk och stickväg).

Parvisa jämförelser	Skillnad (Diff.)	95% Konfidensintervall	p-värde
Mellan metoder per sida			
Växelstråk: SidaA-Mittenstråk: SidaA	1,03	(-0,09: 2,17)	0,085
Växelstråk: SidaB-Mittenstråk: SidaB	-1,40	(-2,53: -0,27)	0,008**
Inom metoder per sida			
Mittenstråk: SidaB-Mittenstråk: SidaA	-2,67	(-3,82: -1,56)	<0,001***
Växelstråk: SidaB-Växelstråk: SidaA	-5,13	(-6,26: -3,40)	<0,001***
Mellan metoder per trädslag			
Växelstråk: Gran-Mittenstråk: Gran	-1,28	(-2,41: -0,15)	0,019*
Växelstråk: Tall-Mittenstråk: Tall	0,92	(-0,21: 2,05)	0,152
Inom metoder per trädslag			
Mittenstråk: Tall-Mittenstråk: Gran	-2,28	(-3,42: -1,16)	<0,001***
Växelstråk: Tall-Växelstråk: Gran	-0,08	(-1,21: 1,05)	0,998

Bilaga 3

Referensvariabler: Metod = Mittenstråk, Trädslag = Gran, Sida = A.

Signifikansnivåer: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. RMSE = 0,200, BIAS = 0, McFaddenR2 = 0,026 (Tabell 14).

Tabell C: Resultat från logistisk regressionsmodell (GLM) för andel skador på kvarvarande träd efter gallring per gallringsmetod, trädslag, avstånd (mittpunkt) och sida (lång A och kort B).

Variabel	Oddsquot (OR)	Estimate	Standardfel (SE)	z-värde	p-värde
Intercept	0,06	-2,74	0,44	-6,226	<0,001** *
MetodVäxelstråk	1,50	0,40	0,60	0,674	0,500
TrädslagTall	0,37	-0,97	0,38	-2,636	0,008**
Mittpunkt	0,99	-0,01	0,04	-0,337	0,737
SidaB	1,36	0,31	0,34	0,909	0,363
MetodVäxelstråk* TrädslagTall	1,25	0,22	0,50	0,445	0,656
MetodVäxelstråk* Mittpunkt	0,97	-0,03	0,05	-0,564	0,572
MetodVäxelstråk* SidaB	0,81	-0,21	0,47	-0,447	0,655

Bilaga 4

Referensvariabler: Metod = Mittenstråk, Trädslag = Gran, Sida = A. Relativt avstånd² förklarar modellens u-kurva. Signifikansnivåer: *** p < 0,001, **p < 0,01, *p < 0,05. RMSE = 0,403, BIAS = 0, McFaddenR2 = 0,061 (Tabell 15).

Tabell D: Resultat från logistisk regressionsmodell (GLM) för uttagsfördelning (andel gallrade träd) per gallringsmetod, trädslag, avstånd (relativt från slingerstråk (0) till stickväg (1) och sida.

Variabel	Oddsquot (OR)	Estimate	Standardfel (SE)	z-värde	p-värde
Intercept	1,91	0,64	0,20	3,237	0,001**
MetodSlinger	1,44	0,37	0,28	1,287	0,198
TrädslagTall	1,03	0,03	0,12	0,224	0,822
SidaB	1,31	0,27	0,12	2,304	0,021*
Relativt avstånd	0,00	-6,19	0,85	-7,291	<0,001***
I (Relativt avstånd ²)	171,41	5,14	0,80	6,400	<0,001***
MetodVäxelstråk: TrädslagTall	0,87	-0,14	0,17	-0,858	0,391
MetodVäxelstråk: SidaB	0,98	-0,02	0,17	-0,145	0,885
MetodVäxelstråk: Relativt avstånd	0,08	-2,58	1,23	-2,105	0,035*
MetodSlinger: I (Relativt avstånd ²)	15,66	2,75	1,16	2,381	0,017*

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Sandra Wiig har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

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