



# **Produktivitet och avverkningskostnad vid olika sätt att anlägga slingerstråk i förstagallring**

En jämförelse av två metoder inom SCA:s gallringsverksamhet

---

Lukas Bergvik

Examensarbete • 30 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
Umeå 2026



Produktivitet och avverkningskostnad vid olika sätt att anlägga  
slingerstråk i förstagallring - En jämförelse av två metoder i  
SCA:s gallringsverksamhet

*Productivity and harvesting cost associated with different approaches to establishing strip roads in first thinning – A comparison of two methods in SCA's thinning operations*

Lukas Bergvik

**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:** Mastersarbeten i skogsbruksvetenskap

**Kurskod:** EX1033

**Program/utbildning:** Skoglig råvaruförsörjning

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Utgivningsort:** Umeå

**Utgivningsår:** 2026

**Nyckelord:** Gallringsmetod, växelstråk, mittenstråk, skördare, skotare

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

## Sammanfattning

Ett konkurrenskraftigt och långsiktigt hållbart skogsbruk förutsätter att skogsskötselåtgärder genomförs på ett sätt som kombinerar god produktivitet med låga kostnader och bibehållen skoglig kvalitet. Gallring utgör en central åtgärd i svenskt skogsbruk, särskilt i norra Sverige där förstagallringar ofta sker i bestånd med låg medelstamsvolym och begränsade ekonomiska marginaler. Utformningen av gallringsmetod och körmönster kan därmed ha stor betydelse för både skogsmaskinernas produktivitet och den totala drivningskostnaden.

Syftet med denna studie var att jämföra produktivitet och drivningskostnad vid gallring enligt två olika gallringsmetoder, mittenstråk och växelstråk. Analysen baserades på uppföljningsdata och produktionsdata från skördare och skotare och genomfördes med både jämförelser av gallringsmetodernas gruppmedelvärden och regressionsmodeller där beståndsvariabler och uttagsnivåer inkluderades som förklarande variabler.

Resultaten visade att gallring enligt växelstråksmetodens arbetsmönster gav en signifikant högre produktivitet för både skördare och skotare jämfört med mittenstråksmetoden. Efter kontroll för bestånds faktorer var skördarproduktiviteten i genomsnitt 7,6% högre och skotarproduktiviteten 7,2% högre vid växelstråksmetodens arbetssätt. Skillnaderna återspeglades även i lägre avverkningskostnader, där den totala drivningskostnaden i genomsnitt var cirka 20 kronor per kubikmeter lägre vid användning av växelstråksmetoden.

Studien indikerar att skillnaderna i produktivitet i huvudsak kan kopplas till arbetsmönstrets utformning snarare än till teknisk utnyttjandegrad. Resultaten visar också att valet av slingermetod kan ha betydande ekonomisk påverkan i förstagallring. Samtidigt behövs fortsatt forskning som även inkluderar kvalitetsaspekter och långsiktiga skogliga effekter av olika gallringsmetoder.

*Nyckelord: Gallringsmetod, växelstråk, mittenstråk, skördare, skotare*

## Abstract

A competitive and long-term sustainable forestry requires silvicultural operations to be carried out in a way that combines high productivity with low costs while maintaining silvicultural quality. Thinning is a central management practice in Swedish forestry, particularly in northern Sweden where first thinnings are often conducted in stands with small mean stem volumes and limited economic margins. Consequently the design of thinning methods and machine travel patterns can have a substantial influence on both machine productivity and total harvesting costs.

The aim of this study was to compare productivity and harvesting costs associated with two different thinning methods used in thinning operations, the centre-strip method and the alternating-strip method. The analysis was based on follow-up and production data from harvesters and forwarders and was conducted using both comparisons of the two thinning methods group means and regression models in which the effects of stand characteristics and harvesting intensity were controlled for.

The results showed that thinning conducted according to the alternating-strip method resulted in significantly higher productivity for both harvesters and forwarders compared with the centre-strip method. After controlling for stand related factors, harvester productivity was on average 7.6% higher and forwarder productivity 7.2% higher when applying the alternating-strip method. These productivity gains were also reflected in lower harvesting costs, with total harvesting costs being approximately 20 SEK per cubic metre lower when using the alternating-strip method.

The study indicates that the observed differences in productivity are primarily related to the organisation of the work pattern rather than differences in technical utilisation rates. The results therefore demonstrate that the choice of thinning method can have a substantial economic impact in first thinning operations. At the same time, further research that also incorporates silvicultural quality and long-term stand development effects of different thinning methods is needed.

*Keywords: thinning method, alternating-strip method, centre-strip method, harvester, forwarder*

# Innehållsförteckning

<b>Tabellförteckning .....</b>	<b>7</b>
<b>Figurförteckning .....</b>	<b>8</b>
<b>Förkortningar .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Inledning .....</b>	<b>10</b>
1.1 Gallring .....	10
1.2 Gallringsprogram och -utförande .....	11
1.3 Mekaniserad gallring .....	13
1.4 Produktivitet .....	14
1.5 Drivningskostnader .....	15
1.6 Problembakgrund .....	16
1.6.1 Mittenstråksmetoden .....	17
1.6.2 Växelstråksmetoden .....	17
1.7 Syfte & Frågeställningar .....	18
<b>2. Material och metod .....</b>	<b>20</b>
2.1 Nyckeltal som studeras .....	22
2.1.1 Tidsmått och teknisk utnyttjandegrad .....	22
2.1.2 Produktivitet relativt förväntad prestation .....	23
2.1.3 Produktivitetsindex .....	26
2.1.4 Avverkningskostnad .....	27
2.2 Urval av maskinlag .....	27
2.3 Datainsamling och bearbetning .....	30
2.4 Statistiska analyser .....	31
<b>3. Resultat .....</b>	<b>33</b>
3.1 Skördarproduktivitet .....	33
3.2 Skotarproduktivitet .....	34
3.3 Produktivitet relativt förväntad prestation .....	36
3.4 Avverkningskostnader .....	37
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>39</b>
4.1 Diskussion av resultat .....	39
4.1.1 Skördarproduktivitet .....	39
4.1.2 Skotarproduktivitet .....	40
4.1.3 Avverkningskostnader .....	41
4.2 Styrkor och svagheter .....	42
4.3 Praktisk tillämpning .....	43
4.4 Framtida studier .....	43
4.5 Slutsatser .....	44

<b>Referenser</b> .....	<b>45</b>
<b>Populärvetenskaplig sammanfattning</b> .....	<b>52</b>
<b>Bilaga 1</b> .....	<b>53</b>
<b>Bilaga 2</b> .....	<b>54</b>
<b>Bilaga 3</b> .....	<b>55</b>
<b>Bilaga 4</b> .....	<b>56</b>
<b>Bilaga 5</b> .....	<b>57</b>

# Tabellförteckning

Tabell 1. Översikt över de fem huvudsakliga delmoment som har genomförts i studien.	21
Tabell 2. Sammanställning över nyckeltal som studeras för produktivitet i studien.....	22
Tabell 3. Produktivetspåverkande faktorer enligt SCA:s prognosmodell för skördare (SCA 2020). .....	24
Tabell 4. Produktivetspåverkande faktorer enligt SCA:s prognosmodell för skotare (SCA 2020).....	25
Tabell 5. Översikt över antal maskinlag samt antal avverkningsobjekt per produktionsområde och gallringsmetod.....	30
Tabell 6. Sammanställning av beståndsfaktorers medelvärden, standardavvikelser och p-värden för samtliga avverkningsobjekt som ingår i studien. Värdena är grupperade per gallringsmetod.....	31
Tabell 7. Skördares medelvärden för mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden för respektive nyckeltal. Värdena är baserade på resultat från tvåsidiga t-test. Inom parentes anges 95% konfidensintervall.....	33
Tabell 8. Skotares medelvärden för mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden för respektive nyckeltal. Värdena är baserade på resultat från tvåsidiga t-test. Inom parentes anges 95% konfidensintervall.....	35

# Figurförteckning

Figur 1. Illustration av skördarens arbetsgång vid gallring enligt mittenstråksmetoden. Pilarna beskriver maskinens riktning och rörelse genom beståndet (Wiig 2025). .....	17
Figur 2. Illustration av skördarens arbetsgång vid gallring enligt växelstråksmetoden. Pilarna beskriver maskinens riktning och rörelse genom beståndet (Wiig 2025). .....	18
Figur 3. Översiktskarta över SCA:s verksamhetsområde (Häggström 2024).....	20
Figur 4. Schematisk bild över hur SCA delar in schemalagd arbetstid (Arlinger & Möller 2010).....	23
Figur 5. GPS-loggar från skördare som arbetat enligt växelstråksmetoden. Vita loggar illustrerar stickvägar och blå loggar illustrerar slingerstråk.....	28
Figur 6. GPS-loggar från skördare som arbetat enligt mittenstråksmetoden. Gula loggar illustrerar stickvägar och blå loggar illustrerar slingerstråk.....	29
Figur 7. Produktivitet för skördare som funktion av skördad medelstamsvolym. Figuren är baserad på skördarmodellen i bilaga 4. Medelstamsvolym anges som kontinuerlig variabel. Övriga variabler hålls konstant vid deras medelvärden. Total volym = 463.68, Uttagen volym per hektar = 35.15, Granandel = 31.81, Lövandel = 14.29, Lutning = 1.98, Antal sortiment = 4.35..... <b>Fel! Bokmärket är inte definierat.</b>	
Figur 8. Produktivitet för skotare som funktion av terrängtransportavstånd. Figuren är baserad på skotarmodellen i Bilaga 3. Produktiviteten anges vid varierande terrängtransportavstånd. Övriga variabler hålls konstant vid deras medelvärden. Medelstamsvolym = 0.08, total volym = 463.68, Uttagen volym per hektar = 35.15, Granandel = 31.81, Lövandel = 14.29, Lutning = 1.98, Antal sortiment = 4.35.....	35
Figur 9. Medelvärden för relativ avvikelse från prognostiserad produktivitet i m <sup>3</sup> fub/G <sub>0</sub> -tim. Värdena presenteras för respektive gallringsmetod och för skördare samt skotare separat. 95% konfidensintervall framgår av den vertikala linjen i vardera stapel.....	37

# Förkortningar

<b>Förkortning</b>	<b>Betydelse</b>
Ekv	Ekvation
G <sub>0</sub>	Grundtid utan avbrott
G <sub>15</sub>	Grundtid inklusive avbrott kortare än 15 minuter
GPS	Global positioning system
h	Timme
ha	Hektar
kr	Kronor
PI	Produktivitetsindex
SCA	Svenska cellulosa aktiebolaget
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
tim	Timme
TU	Teknisk utnyttjandegrad

# 1. Inledning

Skogen är en viktig resurs för Sverige. Av landets totala yta på 40,8 miljoner hektar utgörs cirka 28 miljoner hektar av skogsmark varav cirka 23,6 miljoner hektar är produktiv skogsmark (Roberge 2025). Skogen bidrar med ekosystemtjänster som är nödvändiga i ett hållbart samhälle där ekonomiska, ekologiska och sociala värden likställs (Sundqvist 2018). I skogsvårdslagens första paragraf fastslås att skogen är en nationell tillgång som ska skötas för att bevara biologisk mångfald samt uthålligt generera ekonomiskt god avkastning (Riksdagsförvaltningen 1993). Skogsråvara är nödvändigt för att tillgodose samhällets behov av material och energi. För att åstadkomma ett uthålligt skogsbruk där alla skogens ekosystemtjänster värnas, krävs genomtänkta skogsskötselprogram för aktivt brukande (Schulte et al. 2024). Inom skogssektorn råder stor konkurrens om råvaran (Berndes et al. 2021). För att skogsbolag ska behålla sin position på marknaden och möta dess krav krävs därför ständig utveckling och innovation (Thor 2012). Ett utvecklingsområde är att hitta nya och effektivare sätt att genomföra skogsskötselåtgärder. Gallring är en central åtgärd i svenskt skogsbruk och utgör en stor del av de svenska skogsbolagens avverkningsverksamhet varför det är viktigt med produktiva och kostnadseffektiva gallringsmetoder.

## 1.1 Gallring

Definitionen av gallring är att det är en ”beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagande av virke”. Gallring är en mycket vanlig skötselåtgärd i svenskt skogsbruk och de flesta skogarna i landet gallras en eller flera gånger under en omloppstid (Agestam 2015).

Den genomsnittliga avverkningsvolymen från produktiv skogsmark under perioden 2014 – 2024 uppgick till 84,1 miljoner m<sup>3</sup>sk. Av denna volym kom en betydande del, motsvarande 22,3 miljoner m<sup>3</sup>sk från gallring (Roberge 2025). Gallringsverksamheten har under de senaste årtiondena varierat men för närvarande gallras ca 400 000 hektar varje år. För att få perspektiv så är motsvarande siffra för slutavverkning 200 000 hektar årligen. Detta betyder att gallring är den vanligaste skötselåtgärden i trakthyggesbruket som är det skogsskötselsystem som har använts i störst utsträckning sedan 1950-talet (Albrektson et al. 2012).

Syftet med gallring är att förbättra ett skogsbestånds utveckling vad gäller virkeskvalitet, diametertillväxt och trädslagsblandning och således åstadkomma önskvärda egenskaper hos den kvarvarande skogen. Vid gallring koncentreras tillgängligt ljusinsläpp och markens näring till färre träd vilket gynnar diameter- och volymtillväxten. Samtidigt ger oftast avverkningen ekonomisk avkastning då gallringsvirket säljs vilket också utgör ett incitament till åtgärden (Andersson 2013). Det vanligaste skälet till att gallra är att förbättra ekonomin i skogsbruket, både på kort sikt genom ett tidigt virkesuttag och på lång sikt genom att styra tillväxten till de träd som förväntas ha störst tillväxt och producera bäst

virkeskvalitet. Teorin bakom detta är att man genom gallring ökar mängden virke som kan tas tillvara eftersom risken för självgallring minskar. Det innebär att man kan ta vara på träd som i annat fall sannolikt skulle ha dött naturligt på grund av för stor konkurrens från omkringstående träd (Agestam 2015).

Gallring kan även innebära både ökade och minskade risker för olika skador på skogen. De vanligaste skadorna orsakas främst av snö, storm samt insekts- och svampangrepp. Den vanligaste skadan i gallringsfasen är stormskador (Agestam 2015). Gallring ökar risken för stormskador och risken ökar i grad med gallringsstyrkan som är ett mått på hur stor andel av ett bestånds grundyta som avverkas (Persson 1975). Snöskador uppkommer till följd av att tung, blötsnö fastnar i trädkronorna vilket kan leda till att de knäcks. Risken för toppbrott till följd av snöskador är som störst i skogar som är täta och med klen medelstam. Detta innebär att ogallrade skogar och skogar som har höggallrats är särskilt utsatta för eventuella snöskador. Genom att gallra tidigt kan risken för snöskador minskas genom att trädens tillväxt styrs mot ökad diametertillväxt istället för höjdtillväxt, vilket annars prioriteras av träden när de står tätt (Persson 1972). Det finns också risker i samband med gallringens genomförande, och då i form av skador som kan uppstå på träd och dess rötter till följd av exempelvis påfällning, skav och markskador. Vanligtvis orsakas sådana skador av avverkningsmaskiner men kan även uppkomma vid motormanuell gallring. Skador som uppkommer i samband med avverkningsarbetet kan bli inkörsportar för svampar och insekter som kan leda till försämrade virkeskvalitet (Johansson et al. 2002).

Det är inte nödvändigt att gallra då skogen klarar sig utan gallring. Att sköta skogen har i större delen av Sverige endast gjorts i några hundra år. Inom det moderna skogsbruket formuleras dock ofta tydliga mål för skogsskötseln som att styra beståndens utveckling mot bättre virkeskvalitet, ökad stabilitet samt förbättrad ekonomisk avkastning samtidigt som hänsyn tas till miljömässiga och sociala värden. De flesta aktörer inom skogsbruket är därför överens om att gallring är en viktig och betydelsefull åtgärd eftersom den möjliggör aktiv styrning av beståndsutvecklingen i linje med uppsatta mål (Agestam 2015; Lindroos 2025).

## 1.2 Gallringsprogram och -utförande

Ett gallringsprogram är en plan för när och hur gallring ska genomföras (Skogskunskap 2024). Gallringsprogram kan beskrivas utifrån fyra huvudsakliga faktorer; tidpunkten för förstagallring, gallringsstyrka, gallringsintervall och antal gallringar samt gallringsform (Agestam 2015). För att fastställa lämpliga gallringsprogram kan gallringsmallar användas som beslutsstöd. Gallringsmallar är ett hjälpmedel i tabell- eller diagramform som visar en prognos över skogens tillväxt och rekommendationer för gallringstidpunkter samt gallringsuttagets storlek (Håkansson 2000). Gallringsmallar är modeller som bygger på kunskap från gallringsförsök om total volymproduktion och enskilda träds dimensionsutveckling tillsammans med erfarenhet av kostnader och risker. Det finns olika gallringsmallar beroende på trädslag, geografi och ståndortsindex. Ett bestånds övre höjd (höjden på beståndets högsta träd) och grundyta (mått på

skogens täthet vilket anges i m<sup>2</sup>/hektar) används för att med hjälp av gallringsmallen bestämma om gallringsbehov finns (Skogskunskap 2023).

Lämplig tidpunkt för förstagallring varierar beroende av ovan nämnda faktorer och är en avvägning mellan behovet av att minska konkurrensen i beståndet och möjligheten att göra ett lönsamt virkesuttag. Förstagallring utförs vanligtvis då träden nått en övre höjd mellan 10 och 15 meter. På bördiga marker med ståndortsindex bättre än G32 når granbestånd vanligtvis en övre höjd då förstagallring är lämpligt före 25 års ålder medan det på svagare marker som G22 och sämre tar över 40 år. Motsvarande åldrar för tall är 25 år på marker med T26 och bättre samt 55 år på marker med T18 och sämre (Agestam 2015).

Gallringsstyrka är ett mått på hur stor andel av ett bestånd som avverkas vid gallring. Gallringsstyrkan mäts vanligtvis i hur stor andel av beståndets grundtyta som tas ut men kan även anges i volym eller antal stammar (Håkansson & Nordvall 2000). I normala fall används en gallringsstyrka på mellan 20 och 40% (Agestam 2015). Enligt skogsföretaget SCA:s gallringsriktlinjer bör gallringsstyrkan vara tillräckligt hög för att gallringen ska generera ett bra avverkningsnetto. Den bör däremot inte vara så pass hög att de kvarvarande träden inte kan nyttja markens produktionsförmåga eller utsätts för högre skaderisk än nödvändigt (SCA 2025). Gallringsintervallet är också en viktig del i ett gallringsprogram och utgör tiden mellan gallringar. Gallringsintervall bestäms beroende på trädslag, ålder, markens bördighet och skogsägarens mål. Gallringsintervallet påverkar antalet gallringar som bör göras under en omloppstid (Agestam 2015).

Det finns huvudsakligen två olika begrepp som används för att beskriva hur uttaget genomförs vid gallring, selektiv gallring och schematisk gallring. Vid schematisk gallring avverkas träden i ett bestämt geometriskt mönster, ofta i form av korridorer och det görs således inget urval baserat på trädens egenskaper. Vid selektiv gallring görs ett aktivt val av vilka träd som ska avverkas. Urvalet görs baserat på trädens egenskaper och placering i beståndet (Agestam 2015). För att uppnå önskvärd gallringsstyrka i förstagallring nyttjas vanligtvis en kombination av selektiv- och schematisk gallring. Stickvägar är en form av schematisk gallring och avverkas för att avverkningsmaskiner ska kunna ta sig fram. Om det schematiska uttaget i stickvägarna är mindre än den önskvärda gallringsstyrkan finns det utrymme att göra ett selektivt uttag i mellanzonen mellan stickvägarna (Ibid).

Gallringsform är ett begrepp som används för att beskriva vilken storlek av träd som tas ut i en gallring. Det finns två huvudsakliga gallringsformer, låggallring och höggallring. Vid låggallring, som idag är den vanligast förekommande gallringsformen i svenska tall- och granskogar, avverkas de klenaste träden. Tanken bakom detta är att de klenare träden inte har samma potential att producera och bilda ett kvalitativt slutavverkningsbestånd. Vid höggallring avverkas de största träden vilket således innebär att färre träd tas ut för att uppnå

den eftersträvade gallringsstyrkan jämfört med om samma bestånd hade låggallrats. Detta är fördelaktigt vad gäller avverkningskostnad eftersom det går åt mindre tid att utföra åtgärden jämfört med låggallring (Agestam 2015; Lindroos 2019).

Renodlad låg- eller höggallring är i praktiken ovanligt. Vid gallring tas istället oftast hänsyn till var träden befinner sig i beståndet och dess egenskaper. Målet efter gallring är vanligtvis att efterlämna ett bestånd där träden är jämnt fördelade över arealen. Ett annat vanligt förekommande mål är att skapa ett bestånd med god kvalitet. Det innebär att man vill gynna träd med önskvärda egenskaper och avverka de med icke önskvärda egenskaper. Detta sätt att gallra kallas ibland kvalitetsgallring (Agestam 2015; SCA 2025). Skogsbolaget SCA tillämpar kvalitetsgallring och från de gallringsriktlinjer som finns tillgängliga för SCA:s avverkningsentreprenörer framgår att raka, finkvistä träd som är fria från defekter ska gynnas. Gallringsuttaget ska istället inriktas på skadade, krokiga, frodvuxna och grovkvistiga träd (SCA 2025).

### 1.3 Mekaniserad gallring

Sedan den första engreppsskördaren lanserades i början av 1980-talet har det svenska skogsbruket nästan uteslutande bedrivits utifrån ett två-maskinsystem med engreppsskördare för avverkning och skotare för terrängtransport. Nästan 50% av storskogsbrukets gallringsvolym kom under 80-talet att avverkas med hjälp av engreppsskördare (Nordansjö 1992) och idag är de helt dominerande vid avverkningsarbete i både förnygringsavverkning och gallring (Thorsén & Thor 2014). Avverkningskostnaderna i gallring har minskat till följd av den ökade produktiviteten som två-maskinsystemet möjliggör vilket därmed bidrar till större nettoinkomster från gallringar. Vid mekaniserad gallring används skördare för att i förstagallring avverka stickvägar och träd i mellanzonerna mellan stickvägar. Skördarens uppgift är att fälla, kvista och aptera träden för att sedan lägga virket bredvid stickvägarna där skotaren kan komma åt att med kran plocka upp virket för vidaretransport till virkesavlägg (Agestam 2015). Samtidigt som avverkningskostnaderna minskar vid gallring med mekaniserade system så innebär det en ökad risk för skador på träd, rötter och mark. Stamskador orsakas vanligtvis av skav från maskinerna eller träd som fälls. Eftersom maskinerna är tunga innebär det en risk för både rot- och markskador. Skador på stam och rötter kan bli tillgängliga inkörsportar för rötsvampar och kan orsaka kvalitetsfel på virket vilket påverkar virkesvärdet negativt. Vid gallring med maskiner som tar upp stickvägar ökar också risken för storm- och snöskador för de träd som står i stickvägarnas kantzoner (Ibid). För att minimera risken för skador och samtidigt öka produktiviteten sker ständigt en teknisk utveckling för att effektivisera och anpassa maskinerna (Bergqvist 2009).

Vid mekaniserad gallring med skördare och skotare finns olika sätt att organisera avverkningsarbetet. De två huvudsakliga metoderna är att gallra genom enbart stickvägar eller genom en kombination av stickvägar och beståndsstråk (Bergqvist och Lundström 2010). Stickvägar är körvägar som tas upp för att både skördare och skotare ska kunna ta sig fram i beståndet och utföra avverkningsarbetet (Håkansson & Nordvall 2000). Stickvägsbredden varierar beroende på faktorer som terrängförhållanden maskinstorlek och om det är tänkt att använda samma stickvägar vid kommande gallringar. Omkring 4 meter är en vanlig stickvägsbredd (Agestam 2015). Avståndet mellan stickvägar beror på vilken gallringsmetod som används och skördarens kranräckvidd (Bergqvist 2009). Vid vanlig stickväsgallring med stickvägsgående skördare är stickvägsavståndet vanligtvis cirka 20-22 meter medan det vid gallring med mindre beståndsgående skördare ofta är cirka 25-35 meter (Skogskunskap 2024). Att avverka stickvägar är inte något positivt i sig. Det ger ett tvingande uttag som är nödvändigt för att dra nytta av de fördelar som finns med mekaniserad gallring. Vid upptagandet av stickvägar skapas kalytor och därmed blir arealen där träd växer mindre. Den totala yta som uppstår till följd av upptagande av stickvägar i ett bestånd benämns stickvägsareal. Stickvägsarealen varierar beroende på stickvägsbredd och stickvägsavstånd. En vanlig stickvägsbredd på fyra meter och ett stickvägsavstånd på 20 meter ger en stickvägsareal som teoretiskt motsvarar 20% av ett bestånd (Agestam 2015). Har man istället ett stickvägsavstånd på 30 meter och samma stickvägsbredd resulterar det i en stickvägsareal motsvarande 13% (Skogskunskap 2025). Med hänsyn till både kvalitet och tillväxt vore det bättre att gallra jämnt över hela arealen i ett bestånd (Agestam 2015). Skotare kräver generellt större utrymme än skördare, som har bättre möjligheter att röra sig fritt i beståndet. Detta utnyttjas ofta genom att komplettera stickvägarna med beståndsstråk mellan stickvägarna. Beståndsstråk, även benämnda slingerstråk, används enbart av skördare och tas upp för att möjliggöra gallring i mellanzonen mellan stickvägar. Vid gallring med beståndsstråk lägger skördaren ut virket mot stickvägarna där skotaren senare utför terrängtransporten (Bergqvist och Lundström 2010). Genom att nyttja beståndsstråk kan avståndet mellan stickvägarna ökas vilket minskar stickvägsarealen och skapar större utrymme för selektiva uttag i beståndet (Agestam 2015).

## 1.4 Produktivitet

Produktiviteten i gallring är en avgörande parameter för att bedöma effektivitet och kostnad vid avverkningsarbeten. Den definieras vanligtvis som producerad volym ( $m^3\text{fub}$ ) per tidsenhet effektiv tid ( $G_0$ ) och påverkas av en rad faktorer relaterade till både bestånd, maskin och människa (Lageson, 1997; Purfürst och Erlér (2011); Mederski 2006; Eriksson & Lindroos 2014). Produktivitet prognosticeras ofta för att ge en uppfattning om förväntad prestation per maskintimme. Produktiviteten prognosticeras utifrån en produktivitetsnorm vilket är en modell som kan vara baserad på exempelvis maskinstatistik från tidigare avverkningar eller faktorer som har en inverkan på produktivitet (SCA 2020; Eriksson & Lindroos 2014). Detta är bland annat viktigt för prissättning av

avverkningsjänster, budgetering och för att beräkna virkesflöden över tid (SCA 2020).

Den enskilt viktigaste faktorn som påverkar skördarens produktivitet är medelstammens volym. Enligt tidigare studier förklarar medelstamsvolymen mellan 45 och 57% av variationen i produktivitet vid gallring (Purfurst & Erler 2011; Eriksson & Lindroos 2014; Lindroos et al. 2024). Större träd ger i genomsnitt högre produktivitet eftersom volymökningen per träd är större än motsvarande ökning i tidsåtgång för fällning och aptering. Färre stammar behöver således hanteras för att uppnå samma volymuttag. Även förarens skicklighet har stor betydelse och skillnaden i produktivitet mellan förare vid körning med samma maskin och vid samma medelstamsvolym kan uppgå till mellan 35 och 40% (Purfurst och Erler 2011; Kärhä et al. 2004). Detta belyser att mänskliga faktorer som erfarenhet och arbetssätt är centrala även i mekaniserade system.

Flera studier indikerar att sättet som gallringar organiseras kan ha en inverkan på produktiviteten även om skillnaderna ofta är små. Resultat från Jonsson (2014) och Thor (1996) tyder på att skördarprestationen i beståndstråk är lägre än vid upptagning av stickvägar. Detta är rimligt eftersom föraren vid gallring från beståndsstråk förväntas lägga mer fokus på att göra selektiva uttag. Trots detta visar studier att den totala produktiviteten är högre vid gallring med en kombination av stickvägar och ett beståndsstråk kontra ren stickväggsgallring (Kärhä 2004; Thor 1996). Orsaken till det är sannolikt att det mer sällan finns ett behov av att arbeta med full kranräckvidd (Kärhä 2004; Jonsson 2014; Thor 1996). Produktiviteten är också beroende av avståndet mellan stickvägar. Ökat stickvägsavstånd tycks ha en svagt negativ inverkan på skördarprestation medan skotarens prestation påverkas positivt (Jonsson 2014; Dahlin 2008). Det kan förklaras av mindre mängd stickvägskörning på grund av ökad virkeskoncentration i stickvägarna (Nurminen et al. 2006).

Den viktigaste faktorn som påverkar skotarens produktivitet är terrängtransportavstånd och skotarproduktiviteten minskar med ökat terrängtransportavstånd (Kuitto 1990, 1992; Hakonen 2013; Eriksson & Lindroos 2014). Andra faktorer som har negativ inverkan på en skotares produktivitet är svåra terrängförhållanden, antal virkessortiment samt dåliga ljus och siktförhållanden. Bland de faktorer som har positiv inverkan på skotarproduktivitet finns medelstamsvolym, lastkapacitet, total uttagsvolym samt volym per hektar (Eriksson & Lindroos 2014).

## 1.5 Drivningskostnader

Drivningskostnader är starkt korrelerande med produktivitet (Bergqvist 2009). Drivningskostnader består av de kostnader som uppkommer vid avverkning och transport av virke till avläggsplatsen och anges i enheten kronor per fast kubikmeter under bark. Detta möjliggör att man oberoende av den totala avverkningsvolymen kan jämföra drivningskostnader mellan olika drivningsenheter. Drivningskostnaden för en maskins arbete beräknas genom att dividera maskinens timkostnad med dess produktivitet. Timkostnaden består av

en fast och en rörlig del. Den fasta kostnaden innefattar kapitalkostnader och fasta underhållskostnader samt tiden den används varje år. Den rörliga delen innefattar rörliga underhållskostnader, drivmedelskostnader samt förarlön. Detta betyder att drivningskostnadens storlek beror på maskinens timkostnad och tiden som behövs för att avverka ett bestånd. För att nå en låg drivningskostnad vid en given timkostnad krävs således att arbetet utförs med hög produktivitet (Lindroos et al. 2019). I en nationell sammanställning om skogsbrukets intäkter och kostnader presenteras varje år en sammanställning över hur drivningskostnaderna varierar i landet. Under 2024 låg drivningskostnaden för totalentreprenad på 268 kr/m<sup>3</sup>fub vid gallring i norra Sverige. Rapporten visar också att drivningskostnaden varierar i stor utsträckning (Eliasson & Engberg 2024).

De faktorer som har en inverkan på produktivitet har även en direkt inverkan på avverkningskostnad. Beståndsfaktorer har stor inverkan på hur mycket maskinarbete och således maskintid som krävs för att avverka ett bestånd (Lindroos et al. 2019). Även maskinstorlek har en direkt inverkan på drivningskostnaden. Större maskiner har vanligtvis högre kapitalkostnader till följd av högre inköpspris. Mindre maskiner är billigare i inköp och innebär således lägre kapitalkostnader. Olika maskinstorlekar presterar också olika bra vid olika spann av medelstamsvolym (Brunberg 2000; Jonsson 2014). Flera studier antyder att små skördare är ekonomiskt fördelaktiga vid en medelstam upp till 0,09 m<sup>3</sup>fub (Thelin, 1990; Brunberg & Lundström, 2010). Val av gallringsmetod kan också ha en inverkan på drivningskostnad. Tidigare studier har dock visat att skillnaderna i avverkningskostnad för totalentreprenad ofta är små (Dahlin 2008; Jonsson 2014). Bergkvist och Lundström (2010) jämförde ren stickväggsgallring och gallring med ett beståndsstråk vid olika beståndsförutsättningar. Studien visade att beståndsgallring passar bäst för klena till medelgrova tallgallringar samt klena grangallringar. Större stickvägsavstånd gav lägre skotningskostnad samt lägre tvingande uttag. Av studien drogs även slutsatsen att mellanstora skördare passar bra till gallring med ett beståndsstråk och flerträdshantering, då mindre skördare ofta är för klena och stora skördare inte får nog hög lönsamhet i klenare skogar och blir därmed för dyra.

## 1.6 Problembakgrund

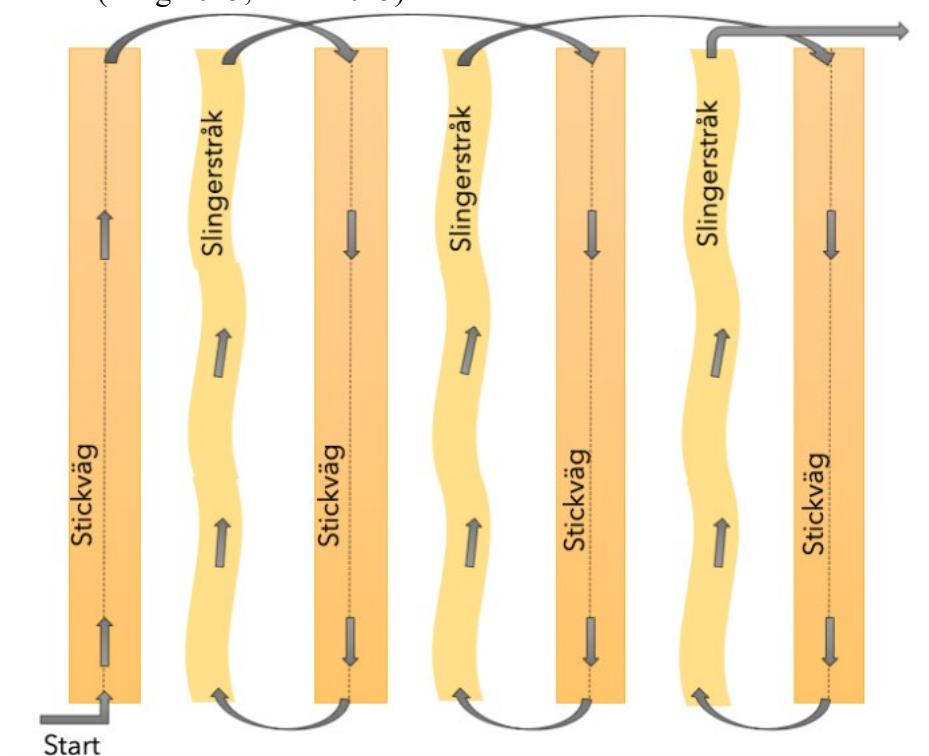
För att förstagallring i bestånd med klen medelstam ska vara lönsamt krävs utöver maskinteknisk utveckling även anpassade metoder som möjliggör en kombination av hög effektivitet i gallring samtidigt som god gallringskvalitet upprätthålls. Detta är viktigt både för att ge ett positivt avverkningsnetto samt för att ge goda förutsättningar för beståndets framtida utveckling och avkastning.

SCA har utvecklat och implementerat en gallringsmetod som internt benämns SCA-gallring men som vidare i rapporten kommer att benämnas ”Mittenstråksmetoden”. Mittenstråksmetoden innebär gallring med ett slingerstråk och har ett specifikt arbetsmönster som syftar till att öka möjligheten för skördarförare att göra selektiva trädval, samt skapa naturligare mellanzoner genom att nyttja skogens naturliga luckor och öppningar. Denna metod är tänkt att användas av alla maskinförare som arbetar åt SCA vid gallring (SCA 2025).

Metoden har dock tolkats olika och visat sig implementeras på olika sätt av olika maskinlag. En vanlig tolkning av metoden som frekvent används av SCA:s avverkningsentreprenörer är växelstråksmetoden. SCA:s rekommenderade metod har visat sig ge en jämnare rumslig fördelning av kvarvarande träd efter gallring (Wiig 2025).

### 1.6.1 Mittenstråksmetoden

Det som utmärker mittenstråksmetoden från konventionell gallring med ett slingerstråk är arbetsordningen i vilken stickvägar och slingerstråk tas upp. Vid mittenstråksmetodens avverkas först 2 parallella stickvägar för att därefter slingra mellan dessa i mellanzonens naturliga luckor och öppningar (Figur 1). Virket som avverkas i mellanzonen läggs ut mot stickvägarna där skotaren är avsedd att arbeta (Wiig 2025; SCA 2025).



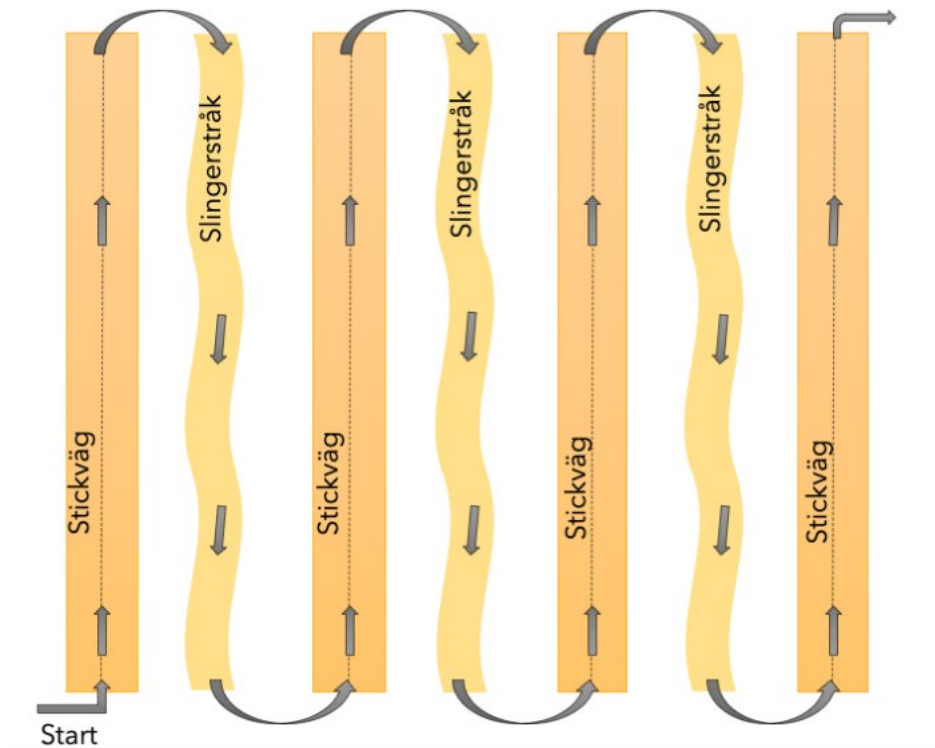
Figur 1. Illustration av skördarens arbetsgång vid gallring enligt mittenstråksmetoden. Pilarna beskriver maskinens riktning och rörelse genom beståndet (Wiig 2025).

Figure 1. Illustration of the harvester's working pattern during thinning according to the centre-strip method. Arrows indicate the machine's direction of travel and movement within the stand (Wiig 2025).

### 1.6.2 Växelstråksmetoden

Den alternativa metoden som frekvent används av SCA:s avverkningsentreprenörer benämns växelstråk och är en form av konventionell stråkgallring med ett slingerstråk. Det som skiljer växelstråksmetoden från mittenstråksmetoden är körsättet. Skördaren arbetar vid denna metod i ett mönster

där en stickväg huggs upp för att i nästa slag direkt växla över till slingerstråk och vidare därefter fortsätta med en ny stickväg (Figur 2). Detta innebär att det inte finns en mellanzon vid tillfället då slingerstråket huggs utan endast en upphuggen stickväg för skördarföraren att förhålla sig till. Det innebär således också att virket endast kan läggas ut mot den redan befintliga stickvägen (Wiig 2025; SCA 2025).



Figur 2. Illustration av skördarens arbetsgång vid gallring enligt växelstråksmetoden. Pilarna beskriver maskinens riktning och rörelse genom beståndet (Wiig 2025).

Figure 2. Illustration of the harvester's working pattern during thinning according to the alternating-strip method. Arrows indicate the machine's direction of travel and movement within the stand (Wiig 2025).

## 1.7 Syfte & Frågeställningar

Studien syftar till att undersöka huruvida produktivitet och avverkningskostnader skiljer sig vid gallring enligt mittenstråksmetodens eller växelstråksmetodens arbetsmönster. Målet är att bidra med kunskap och underlag som kan användas för val av framtida gallringsmetoder.

Specifika frågeställningar:

- Förekommer skillnader i produktivitet och avverkningskostnad när förstagallring utförs med mittenstråksmetoden eller växelstråksmetoden.
- Förekommer skillnader i hur väl produktiviteten prognosticeras med befintliga företagspecifika modeller då förstagallring utförs med mittenstråksmetoden eller växelstråksmetoden.

Studien avgränsades till förstagallringar i barrskog i södra Norrland genomförda under 2024. Endast gallringar utförda med traditionellt trakthyggesbruk med tvåmaskinsystem inkluderades i studien.

## 2. Material och metod

Denna studie har genomförts på uppdrag av Svenska cellulosabolaget (SCA). SCA är ett företag som grundades år 1929 och som med hjälp av skogen tillverkar bland annat sågade trävaror och pappersprodukter. SCA är Europas största privata skogsägare och förvaltar cirka 2,7 miljoner hektar skog i norra Sverige, Estland, Lettland och Litauen. Utöver detta utför även SCA skogliga tjänster åt privata skogsägare. Företaget är organiserat i fem affärsområden: skog, trä, containerboard, massa och förnybar energi (SCA u.å). Denna studie har genomförts i samarbete med SCA Skog. SCA Skogs verksamhetsområde är uppdelat i 7 flödesområden, Sundsvall, Ånge, Östersund, Sollefteå, Strömsund, Umeå och Piteå (Figur 3).



*Figur 3. Översiktskarta över SCA:s verksamhetsområde (Häggström 2024).*

*Figure 3. Overview map of SCA's operational area (Häggström 2024).*

Studien genomfördes som en kvantitativ komparativ observationsstudie baserad på uppföljningsdata och jämför gallring enligt gallringsmetoderna, mittenstråk och växelstråk. De data som användes i studien hämtades från SCA:s databas med produktionsdata och maskinstatistik från utförda avverkningsobjekt. De maskinlag och avverkningsobjekt som har analyserats i studien befinner sig inom SCA:s verksamhetsområde i södra Norrland där flödesområdena Sundsvall,

Sollefteå och Östersund är aktuella. Studien genomfördes i fem huvudsakliga steg (Tabell 1).

Tabell 1. Översikt över de fem huvudsakliga delmoment som har genomförts i studien.

Table 1. Overview of the five main methodological steps carried out in the study.

Moment	Syfte	Genomförande
1. Urval av maskinlag	Att identifiera maskinlag som konsekvent tillämpat gallring enligt mittenstråks- respektive växelstråksmetoden .	Trakter som förstagallrats inom SCA:s verksamhetsområde i södra Norrland under 2024 identifierades i SCA:s beståndsregister. Gallringsmetod fastställdes genom analys av skördarnas GPS-loggar. Maskinlag som konsekvent tillämpade samma körmönster kategoriserades som mittenstråks- eller växelstråkslag. Övriga maskinlag uteslöts.
2. Datainsamling och bearbetning	Att samla in och strukturera produktionsdata för skördare och skotare samt tillhörande beståndsdata för vidare analys.	Data hämtades från SCA:s maskinstatistiksystem. Produktions- och beståndsdata hämtades för de trakter som valda maskinlag hade avverkat under 2024. Nyckeltal för maskinproduktivitet och produktivitet relativt förväntad prestation enligt SCA:s bortsättningsmodell extraherades för skördare och skotare separat.
3. Analys av bestånds faktorer	Att säkerställa jämförbarhet mellan gallringsmetoderna avseende beståndsegenskaper och uttagsnivåer.	Medelvärden och standardavvikelser för centrala bestånds faktorer beräknades och jämfördes mellan mittenstråks- och växelstråksmetoden för samtliga inkluderade avverkningsobjekt.
4. Jämförelse av gruppmedelvärden för mittenstråk och växelstråk.	Att analysera om medelvärden för de nyckeltal som valts för studien (se avsnitt 2.2) skiljer sig mellan mittenstråks- och växelstråksmetoden .	Gallringsmetodernas gruppmedelvärden för respektive nyckeltal jämfördes mellan gallringsmetoderna med tvåsidiga T-test. Analyserna genomfördes separat för skördare och skotare.
5. Normering för påverkans faktorer genom multipel linjär regressionsanalys	Att undersöka om observerade skillnader i medelvärden kvarstår efter normering av beståndsvariabler och uttagsnivåer.	Linjära regressionsmodeller skapades för skördare respektive skotare. Gallringsmetod inkluderades som förklarande variabel och bestånds faktorer inkluderades som kovariater. Modellerna möjliggjorde jämförelse mellan gallringsmetoderna under likartade bestånds förhållanden.

## 2.1 Nyckeltal som studeras

För att analysera eventuella skillnader mellan gallringsmetoderna studerades tre övergripande nyckeltal: produktivitet, avverkningskostnad samt produktivitet relativt förväntad prestation. Nyckeltalen är valda för att kunna analysera både faktisk produktivitetsnivå, ekonomiska konsekvenser och produktivitet i relation till förväntad prestation enligt SCA:s bortsättningsmodell (som beskrivs vidare i 2.1.2).

Produktivitet analyseras med flera mått för att belysa olika aspekter av både skördarens och skotarens arbete och produktivitet utfall (Tabell 2). För att även beakta skillnader i tidsutnyttjande och avverkningstakt använder SCA ett sammanvägt produktivitetsindex.

*Tabell 2. Sammanställning över nyckeltal som studeras för produktivitet i studien.*

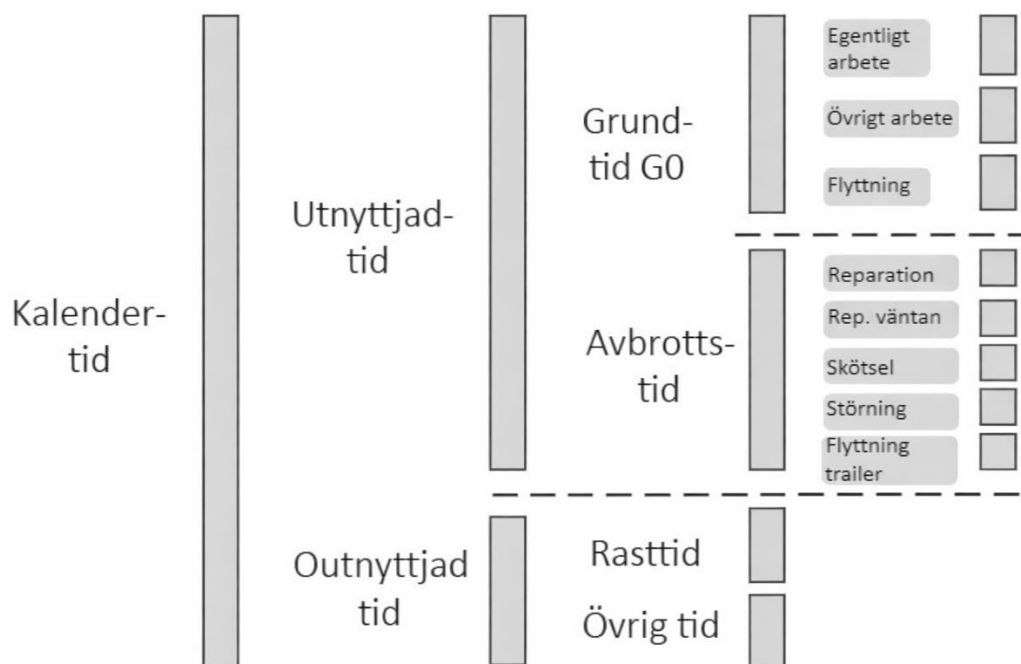
*Table 2. Summary of the productivity indicators analyzed in the study.*

Nyckeltal	Enhet	Beskrivning
Produktivitet	m <sup>3</sup> fub/G <sub>0</sub> -timme	Avverkad och upparbetad (skördare) eller transporterad (skotare) volym per G <sub>0</sub> -timme
Produktivitet	Träd/G <sub>0</sub> -timme	Antal upparbetade eller transporterade träd per G <sub>0</sub> -timme
Produktivitet	Lass/G <sub>0</sub> -timme	Antal transporterade lass per G <sub>0</sub> -timme
Produktivitetsindex (PI)	Index/enhetslös	Produkt av produktivitet relativt förväntad prestation enligt SCA:s bortsättningsmodell och teknisk utnyttjandegrad (TU). Produktivitetsindex beskrivs vidare i avsnitt 2.1.3.

### 2.1.1 Tidsmått och teknisk utnyttjandegrad

Centralt i alla de produktivitetsmått som nyttjas är att tiden anges som grundtid. Tid kan delas upp i olika delar beroende på vad som undersöks (Figur 4). All schemalagd kalendertid kan delas in i utnyttjad tid och outnyttjad tid. Den utnyttjade tiden är relevant då produktivitet studeras. Den delas in i grundtid och avbrottsid. Grundtiden inkluderar för skördare och skotare den tid då arbete utförs. Det innebär upparbetning, lastning och transport/flytt inuti beståndet och övriga uppgifter som räknas till det huvudsakliga uppdraget. Avbrottsid

innefattar tid som krävs för reparation eller väntan på reparation, skötsel, störningar eller maskinflytt på trailer (Arlinger & Möller 2010).



Figur 4. Schematisk bild över hur SCA delar in schemalagd arbetstid (Arlinger & Möller 2010).

Figure 4. Schematic illustration of how SCA categorizes scheduled working time (Arlinger & Möller 2010).

I denna studie anges produktivetsmått per produktiv  $G_0$ -timme. Det innebär att eventuella avbrott ej inkluderas i den produktiva tiden. För att beskriva hur väl avverkningsmaskinerna utnyttjas för att utföra det huvudsakliga uppdraget används teknisk utnyttjandegrad (TU) som mått. Den tekniska utnyttjandegraden anger andelen grundtid i förhållande till utnyttjad tid och beräknas enligt ekvation 1.

$$\text{Teknisk utnyttjandegrad} = \frac{\text{Grundtid } G_0}{\text{Utnyttjad tid}}$$

(Ekv. 1) [*andel*]

### 2.1.2 Produktivitet relativt förväntad prestation

För att uppskatta den förväntade produktiviteten för skördare och skotare använder SCA en bortsättningsmodell (Bilaga 1 & 2). Produktiviteten för skördare och skotare uppskattas utifrån en traktvis bedömning där ett antal produktivetspåverkande faktorer tas i beaktning (Tabell 3 & 4).

För skördare uppskattas produktiviteten utifrån en grundkurva som anger en förväntad grundproduktivitet i antal avverkade träd per G<sub>0</sub>-timme vid en given medelstamsvolym (Bilaga 3). Grundkurvan bygger på statistik från historiska avverkningar. För att skapa en traktsspecifik prognos för skördare korrigeras sedan grundproduktiviteten utifrån ett antal produktivitetspåverkande faktorer som framgår i Tabell 3 (SCA 2020).

*Tabell 3. Produktivitetspåverkande faktorer enligt SCA:s prognosmodell för skördare (SCA 2020).*

*Table 3. Factors affecting harvester productivity according to SCA:s forecasting model (SCA 2020).*

<b>Faktor</b>	<b>Enhet</b>	<b>Definition</b>
Medelstamsvolym	m <sup>3</sup> fub	Total uttagsvolym i m <sup>3</sup> fub dividerat med totalt antal uttagna stammar med en brösthöjdsdiameter över 8 cm.
Terrängfaktorer		Bedöms i klasserna 1-5 enligt Skogforsks terrängtypschema (Berg 1995).
Stamtäthet, uttag	Stammar/ha	Antal stammar med en brösthöjdsdiameter över 8 cm som avverkas.
Underväxt	Stammar/ha	Antal stammar med en höjd över 1,3 meter och en brösthöjdsdiameter under 8 cm.
Svåra träd, uttag	%	Träd med upparbetningshinder eller ansättningshinder på den del av stammen som normalt upparbetas. Exempelvis krök eller klyka.
Snöhinder	%	Snöhinder som stort snödjup och grovkornig snö med skare som försvårar förflyttning av maskiner och ansättning av aggregat. Prestationen korrigeras med mellan 0 och 10%.
Antal avläggssortiment	Antal	För att räknas som ett eget sortiment ska volymen utgöra minst 2% av den totala volymen. Sortiment sorteras utifrån SCA:s vid avverkningstillfällets gällande instruktioner.
Gränskvot	Meter/ha	Tar hänsyn till traktens geometriska utformning genom att beräkna en kvot av avverkningsytornas kantlinjelängd dividerat med nettoarealen i hektar.
Avstånd till depå	Meter	Vid ett avstånd över 700 meter till depå korrigeras prestationen för att kompensera för förflyttning mellan trakt och depå.

För skotare finns ingen generell grundkurva, utan produktiviteten prognosticeras för varje enskild trakt genom att produktivitetspåverkande faktorer (Tabell 4) adderas som byggstenar med en viss tidsåtgång i  $G_0$ -minuter per skotad  $m^3$ fub. Både skördar- och skotarprognosen beräknas sedan om för att ange den uppskattade produktiviteten i  $m^3$ fub/ $G_0$ -timme (SCA 2020).

Tabell 4. Produktivitetspåverkande faktorer enligt SCA:s prognosmodell för skotare (SCA 2020).

Table 4. Factors affecting forwarder productivity according to SCA:s forecasting model (SCA 2020).

Faktor	Enhet	Definition
Pålastning, körning under pålastning och avlastning	Ton och $m^3$ fub/ha	Tidsåtgång beräknas utifrån storleksklass på skotare och uppskattad volym per hektar.
Lutning		Bedöms i klasserna 1-5 enligt Skogforsks terrängtypschema (Berg 1995).
Terrängtransport-avstånd	Meter	Tidsåtgång för tom- och lastkörning baseras på volymvägd körsträcka i meter. Beräknas utifrån skotarens laststorlek och terrängtransportavståndet mellan avläggsplats och traktens volymtyngdpunkt. Beroende på traktspecifika förutsättningar beräknas tidsåtgången utifrån olika körhastigheter.
Sortering	Antal	Sortiment som utgör minst 2% av totalvolymen grupperas i två klasser baserat på om de utgör $\leq 5,5\%$ eller $< 5,5\%$ av totalvolymen. Indelningen görs för att justera tidsåtgång för på- och avlastning.
Medelstamsvolym	$m^3$ fub	Total uttagsvolym i $m^3$ fub dividerat med totalt antal uttagna stammar med en brösthöjdsdiameter över 8 cm.
Gränskvot	Meter/ha	Tar hänsyn till traktens geometriska utformning genom att beräkna en kvot av avverkningsytornas kantlinjelängd dividerat med nettoarealen i hektar.

Produktivitet relativt grundkurva är ett mått på hur skördares avverkningsarbete på en trakt står sig i jämförelse mot den förväntade produktivitetsnivån enligt grundkurvan. Avvikelsen i faktisk produktivitet från grundkurvans prognosticerade nivå anges som en procentuell avvikelse. Produktivitet relativt grundkurva beräknas enligt ekvation 2 och är en komponent som behövs för att beräkna produktivitetsindex för skördare (Se avsnitt 2.1.3.).

$$\text{Produktivitet relativt grundkurva} = \frac{\text{faktisk produktivitet}}{\text{förväntad produktivitet enligt grundkurva}} * 100$$

(Ekv. 2) [%]

Produktivitet relativt prognos är ett mått på hur både skördares och skotares avverkningsarbete på en trakt står sig i jämförelse mot den förväntade produktivetsnivån enligt prognos där även faktorerna i Tabell 3 och 4 har inkluderats. Avvikelsen i faktisk produktivitet från den prognostiserade produktiviteten anges som en procentuell avvikelse och beräknas enligt ekvation 3. Produktivitet relativt prognos är en komponent som behövs för att beräkna produktivetsindex för skotare (Se avsnitt 2.1.3).

$$\text{Produktivitet relativt prognos} = \frac{\text{faktisk produktivitet}}{\text{förväntad produktivitet enligt prognos}} * 100$$

(Ekv. 3) [%]

### 2.1.3 Produktivetsindex

Produktivetsindex (PI) används för både skördare och skotare för att beskriva maskinlagens prestation genom att kombinera deras produktionstakt och tidsutnyttjande. Produktionstakten beskriver hur hög produktivitet maskinlaget uppnår i relation till den förväntade produktivetsnivån under givna skogliga förhållanden. För skördare baseras den förväntade nivån på SCA:s grundkurva (Bilaga 3) eftersom medelstamsvolymen ensamt förklarar så mycket av skördarproduktivitetens variation. För skotare baseras i stället den förväntade produktivetsnivån på prognos där faktorerna i Tabell 4 beaktas. Tidsutnyttjande beskriver hur stor andel av den utnyttjade tiden som används för produktivt arbete. Vid beräkning av produktivetsindex används teknisk utnyttjandegrad (TU) som mått på tidsutnyttjande (ekvation 1).

Produktivetsutfallet relativt prognos eller grundkurva anges i procent och den tekniska utnyttjandegraden anges som en andel som kan anta värden mellan 0 och 1. Produktivetsindex beräknas för skördare enligt ekvation 4 genom att multiplicera produktivetsnivån relativt grundkurva (ekvation 2) och den tekniska utnyttjandegraden (ekvation 1). För skotare beräknas produktivetsindex enligt ekvation 5. Beräkningen sker på samma sätt som för skördare men den förväntade produktivetsnivån är relativt prognos (ekvation 3) istället för grundkurva. Indexet är enhetslöst och kan användas för att jämföra maskinlagens prestation mellan trakter med olika förutsättningar (personlig kommunikation, Bylund 2025).

$$PI_{\text{skördare}} = \text{produktivitet relativt grundkurva} * \text{teknisk utnyttjandegrad}$$

(Ekv. 4) [enhetslös]

$PI_{skotare} = \text{produktivitet relativt prognos} * \text{teknisk utnyttjandegrad}$

(Ekv. 5) [enhetslös]

#### 2.1.4 Avverkningskostnad

Avverkningskostnad avser kostnaden för skördarens och skotarens arbete och analyseras som kostnad per avverkad kubikmeter (kr/m<sup>3</sup>fub). Kostnaden beräknas utifrån maskinernas timkostnad i relation till beräknad produktivitet. I studien används en antagen kostnad där skördarens timkostnad sätts till 1 500 kr/G<sub>0</sub>-timme och skotarens till 1 300 kr/G<sub>0</sub>-timme. Dessa timkostnader är baserade på riktvärden från Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen 2026). Avverkningskostnaden beräknas enligt ekvation 6 genom att dividera timkostnaderna med produktiviteten. I praktiken justeras timkostnader och ersättning i SCA:s verksamhet genom entreprenörspecifika avtal och bortsättningsmodellen där bestånds faktorer beaktas (SCA 2020). I denna studie används dock antagna värden för att möjliggöra jämförelse med resultat från andra studier.

$$\text{Avverkningskostnad} = \frac{\text{Timkostnad}}{\text{Produktivitet}}$$

(ekv. 6) [kr/m<sup>3</sup>fub]

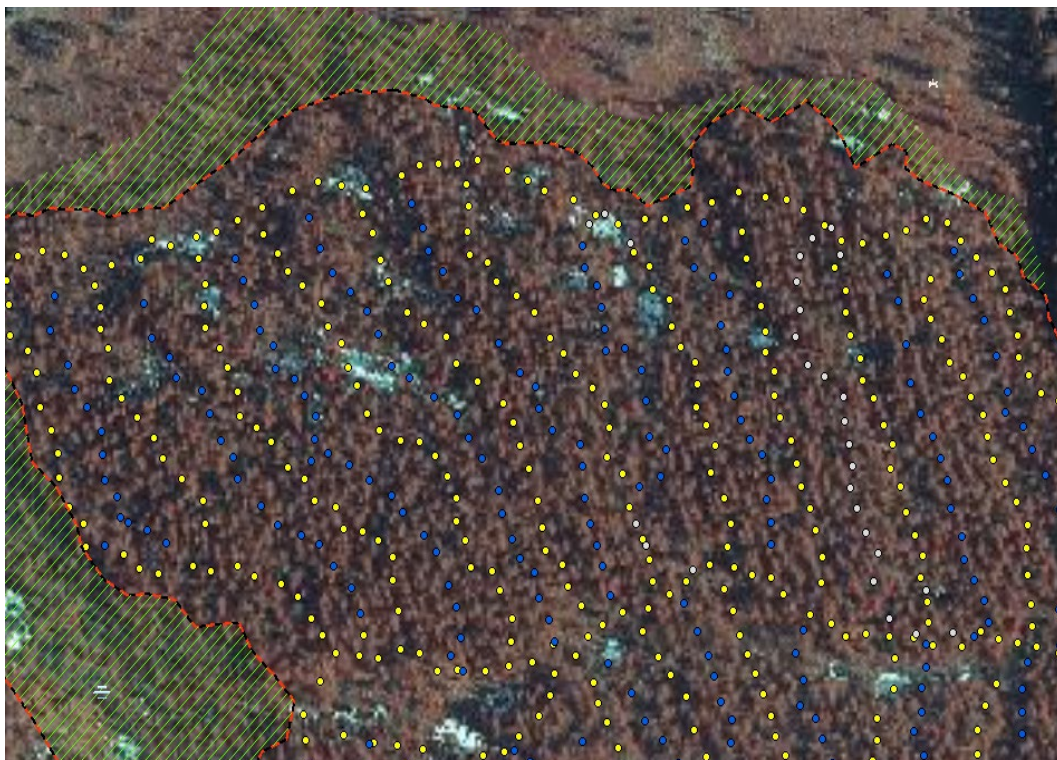
## 2.2 Urval av maskinlag

Urvalet av maskinlag inleddes med att identifiera trakter som befann sig inom det valda studieområdet i södra Norrland och som hade förstagallrats under tidsperioden 2024-01-01 till 2025-01-01. Detta gjordes i SCA:s interna system med beståndsregister (SPÖK). I ett första steg gjordes en grov filtrering där avverkningsform gallring och den aktuella perioden valdes. För att fånga just förstagallringar begränsades urvalet till trakter med en medelstamsvolym på maximalt 0,2 m<sup>3</sup>fub. Urvalet gjordes separat för produktionsområdena Sundsvall, Sollefteå och Östersund. För att avgöra vilken gallringsmetod som användes mest frekvent av de maskinlag som var aktiva under perioden, studerades körmönster utifrån skördarnas GPS-loggar. Detta gjordes i företagets drivningsplaneringssystem. Maskinlag som konsekvent körde enligt samma mönster som kan ses i Figur 5 kategoriserades som växelstråkslag. De maskinlag som konsekvent körde enligt mönstret i Figur 6 kategoriserades som mittenstråkslag.



*Figur 5. GPS-loggar från skördare som arbetat enligt växelstråksmetoden. Vita loggar illustrerar stickvägar och blå loggar illustrerar slingerstråk.*

*Figure 5. GPS tracks from a harvester operating according to the alternating strip method. White tracks indicate strip roads, and blue tracks indicate intermediate passages.*



*Figur 6. GPS-loggar från skördare som arbetat enligt mittenstråksmetoden. Gula loggar illustrerar stickvägar och blå loggar illustrerar slingerstråk.*

*Figure 6. GPS tracks from a harvester operating according to the centre strip method. Yellow tracks indicate strip roads, and blue tracks indicate intermediate passages.*

För respektive maskinlag undersöktes uppskattningsvis 10 trakter jämt spridda över studieperioden. Det totala antalet maskinlag i de valda produktionsområdena var 40 lag vilket innebär att totalt cirka 400 trakter kontrollerades. För samtliga maskinlag inom produktionsområdena Sundsvall, Sollefteå och Östersund som använde antingen växelstråk eller mittenstråk som gallringsmetod noterades lagnamn och bedömd gallringsmetod. Maskinlag som använde någon övrig metod eller som ej kunde kategoriseras uteslöts från studien. Totalt identifierades 29 lämpliga maskinlag där 17 maskinlag nyttjade mittenstråksmetoden och resterande 12 använde sig av växelstråksmetoden.

## 2.3 Datainsamling och bearbetning

Datainsamlingen gjordes i MAST, SCA:s system för maskinstatistik och lagring av uppföljningsdata. Arbetet inleddes med att filtrera fram de maskinlag som hade valts ut för studien med avseende på gallringsmetodik i föregående steg. Därefter filtrerades de trakter som maskinlagen hade gallrat under studieperioden fram. De nyckeltal och bestånds faktorer som skulle analyseras för trakterna filtrerades fram för både skördare och skotare. För att enbart få rimlig produktionsdata och tillförlitlig maskinstatistik användes förinställda kriterier för detta vid datainhämtningen i MAST. Dessa kriterier exkluderar automatiskt trakter med ofullständigt data. Utöver de 3 övergripande nyckeltalen som studien syftar till att analysera inkluderades även data och beståndsuppgifter som ansågs kunna ha en inverkan på dessa vilket var nödvändigt för att kunna modellera maskinproduktivitet i senare stadiet. Datainsamlingen resulterade i totalt 1090 trakter (Tabell 5). Varje trakt genererar 2 observationer eftersom skördarens och skotarens arbete på samma trakt resulterar i olika observationer. Totalt blev det därför 2180 observationer. 1350 observationer bestod av trakter som hade avverkats med mittenstråksmetoden och de resterande 830 observationerna hade avverkats med växelstråksmetoden. I studien ingick totalt 29 maskinlag som därmed i genomsnitt hade gallrat 38 trakter vardera under den valda tidsperioden.

*Tabell 5. Översikt över antal maskinlag samt antal avverkningsobjekt per produktionsområde och gallringsmetod.*

*Table 5. Overview of the number of machine teams and harvesting sites by production area and thinning method.*

Produktionsområde	Antal maskinlag		Antal avverkningsobjekt	
	Mittenstråk	Växelstråk	Mittenstråk	Växelstråk
Sundsvall	5	0	215	0
Sollefteå	2	10	86	362
Östersund	10	2	374	53

Efter att samtliga trakter hade valts ut kontrollerades medelvärden och standardavvikelser för ett antal bestånds faktorer som vanligtvis har en inverkan på produktivitet (Tabell 6). Medelvärdena jämfördes mellan respektive gallringsmetod med hjälp av tvåsidiga t-tester. Analyserna visade att flertalet bestånds faktorer inte skiljde sig signifikant mellan gallringsmetoderna. Signifikanta skillnader observerades däremot för lutning, underväxt och trädslagsfördelning, vilka därför kontrollerades för i de efterföljande regressionsanalyserna som beskrivs i avsnitt 2.5.

Tabell 6. Sammanställning av beståndsfaktorerens medelvärden, standardavvikelser och p-värden för samtliga avverkningsobjekt som ingår i studien. Värdena är grupperade per gallringsmetod.

Table 6. Summary of stand characteristics mean values, standard deviations and p-values for all harvesting objects included in the study. The values are grouped by thinning method.

Beståndsfaktor	Växelstråk		Mittenstråk		P-värde
	$\bar{x}$	SD	$\bar{x}$	SD	
Medelstamsvolym (m <sup>3</sup> fub/träd)	0,081	(0,03)	0,080	(0,03)	0,620
Ytstruktur (1–5)	2,1	(0,7)	2,1	(0,7)	0,600
Lutning (1–5)	2,0	(0,67)	1,9	(0,62)	<0,05
Underväxt (stammar/ha)	851	(1431)	738	(1140)	<0,05
Uttag (träd/ha)	343	(382)	351	(446)	0,640
Uttag (m <sup>3</sup> fub/ha)	23,5	(28)	24,8	(30)	0,290
Terrängtransportavstånd (m)	205	(280)	194	(273)	0,370
Areal (ha)	18,2	(19,9)	19,6	(21,7)	0,099
Granandel (%)	38,2	(27,1)	27,7	(25,7)	<0,05
Lövandel (%)	16,5	(18,5)	12,4	(14,8)	<0,05
Tallandel (%)	43,3	(33,5)	58,0	(32,1)	<0,05

Datat strukturerades slutligen i ett långformat där varje rad representerar en observation från en trakt/avverkningsobjekt och varje kolumn representerar en variabel eller nyckeltal kopplad till detta avverkningsobjekt. Detta format valdes för att underlätta de statistiska analyserna. Datat innehöll både kontinuerliga och kategoriska variabler. Då datainsamlingen var klar exporterades datat till Microsoft Excel för vidare bearbetning. En kolumn för att ange vilken gallringsmetod som hade använts för respektive trakt lades till. Därutöver skapades rubriker med lämpliga namn för att underlätta de statistiska analyserna. Slutligen sparades datat som en CSV-fil för att sedan gå vidare med de statistiska analyserna.

## 2.4 Statistiska analyser

De statistiska analyserna utfördes i statistikprogrammet R. För att jämföra om nyckeltalen som beskrivs i avsnitt 2.1 varierar mellan gallringsmetoderna växelstråk och mittenstråk studerades först deras gruppmedelvärden. Analyserna gjordes separat för skördare och skotare. Detta möjliggjorde att eventuella effekter kunde analyseras för respektive maskintyp. Jämförelsen av gallringsmetodernas gruppmedelvärden för varje nyckeltal och maskintyp gjordes genom att utföra tvåsidiga t-test. Vid samtliga statistiska test användes ett tröskelvärde för signifikans på  $p=0,05$ .

För att undersöka om observerade skillnader i produktivitet och avverkningskostnad kunde förklaras av andra faktorer än gallringsmetod utvecklades produktivitetsmodeller för både skördare och skotare med hjälp av multipel linjär regression. Responsvariabeln logaritmerades för att minska

inverkan från enskilda extrema observationer. Ekvation 7 visar den generella modellen för regressionsanalyserna.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \epsilon_i \quad (\text{Ekv. 7})$$

Där  $Y$  är den logaritmerade produktiviteten för skördare och skotare i respektive modell.  $X_{1i}$  representerar en kategorisk indikatorvariabel för gallringsmetod och resterade  $X$ -variabler är kontinuerliga. För skördare inkluderades följande variabler: medelstamsvolym, trädslagsfördelning, ytstruktur, lutning, underväxt, uttagsvolym, areal och antal sortiment. För skotare studerades utöver dessa dessutom lastvolym samt terrängtransportavstånd.

Där  $\beta_0$  är interceptet.

$\beta_1 - \beta_p$  är regressionskoefficienter för variablerna.

$\epsilon_i$  är en felterm som representerar modellernas avvikelser.

Modellernas förklarande variabler valdes med utgångspunkt i vilka faktorer som data fanns tillgängligt för i MAST och baserat på de ingående faktorerna som används operativt i SCA:s bortsättningssystem (Tabell 3 & 4). Utöver detta studerades också vilka variabler tidigare studier med liknande studieupplägg hade använt för att skapa produktivetsmodeller (Erikson & Lindroos 2014; Häggström 2024). I regressionsanalysen användes mittenstråk som referenskategori och parameterestimat för växelstråk beskriver således den relativa skillnaden i produktivitet jämfört med mittenstråk.

Variabler inkluderades till modellerna genom stegvis variabelselektion där en variabel i taget adderades till modellerna. Variabler som gav ett signifikant bidrag till modellens förmåga att förklara variation i produktivitet behölls medan övriga exkluderades. De slutliga modellerna (Bilaga 3 & 4) användes därefter för att analysera om skillnader i produktivitet och avverkningskostnad mellan gallringsmetoderna kvarstod efter kontroll för bestånds faktorer och uttagsnivåer.

Modellen som användes för att prediktera produktivitet och avverkningskostnader för skördare bestod av 7 variabler som signifikant bidrog till modellens förklaringsgrad (Bilaga 3). Skördarmodellens förklaringsgrad efter justering för antal ingående variabler uppgick till 52%. Regressionsmodellen som användes för skotaren hade en förklaringsgrad på 23% och bestod av 7 variabler som signifikant bidrog till denna (Bilaga 4).

## 3. Resultat

### 3.1 Skördarproduktivitet

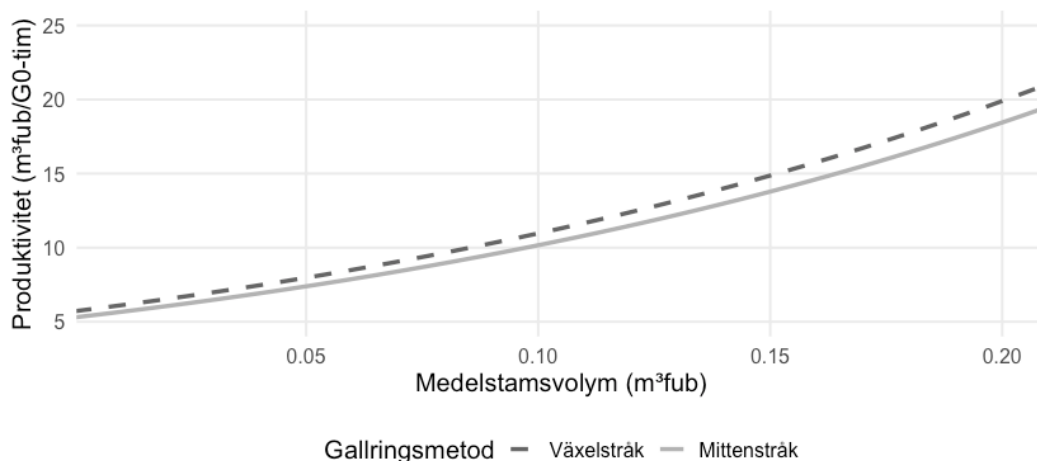
Resultaten från analysen av gallringsmetodernas gruppmedelvärden för skördarproduktivitet redovisas i tabell 7. T-testerna visade att produktivitetsindexet för skördare var cirka 2 enheter högre för växelstråksmetoden, men skillnaden var inte statistiskt signifikant (Tabell 7). Växelstråksmetoden gav ett medelvärde för produktivitetsindex på 67,0 medan mittenstråksmetoden gav ett värde på 65,1. När produktiviteten angavs i avverkad volym per  $G_0$ -timme och antal avverkade träd per  $G_0$ -timme visade dock jämförelsen av gallringsmetodernas gruppmedelvärden att det fanns en signifikant skillnad till fördel för växelstråksmetoden. Mätt i volym var produktiviteten i medeltal  $0,5 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$  högre vid växelstråksmetoden vilket innebär en skillnad på 5,4%. Jämförelsen visade också att 3 fler träd i genomsnitt avverkas per  $G_0$ -timme vid växelstråksmetoden. Den tekniska utnyttjandegraden låg på samma nivå för båda gallringsmetoderna och ingen signifikant skillnad kunde observeras (Tabell 7).

*Tabell 7. Skördares medelvärden för mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden för respektive nyckeltal. Värdena är baserade på resultat från tvåsidiga t-test. Inom parentes anges 95% konfidensintervall.*

*Table 7. Harvester mean values for the center-strip method and the alternating-strip method for each key metric. The values are based on results from two-sided t-tests. The 95% confidence interval is given in parentheses.*

Nyckeltal	Mittenstråk	Växelstråk	P-värde
PI	65,1 (63,7 – 66,6)	67,0 (65,1 – 69,0)	0,1181
Produktivitet (träd/ $G_0$ -tim)	120 (117 – 122)	123 (120 – 126)	0,0755
Produktivitet ( $\text{m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ )	9,18 (8,95 – 9,41)	9,68 (9,39 – 9,97)	0,0084
TU (%)	85,2 (84,1 – 86,3)	84,6 (83,0 – 86,2)	0,5492

Efter att effekten av bestånds faktorer hade kvantifierats kunde fortfarande en signifikant skillnad i produktivitet mellan metoderna uppvisas (Figur 8). Växelstråksmetoden hade vid en medelstamsvolym på  $0,08 \text{ m}^3\text{fub}$  i genomsnitt en produktivitet som är  $0,71 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$  högre jämfört med mittenstråksmetoden. Detta innebär en skillnad på 7,4%. Medelvärdet för växelstråksmetoden var  $10,05 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$  och  $9,35 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$  för mittenstråksmetoden. Beräknat i antal träd som avverkas under en  $G_0$ -timme motsvarar skillnaden mellan metoderna 9 fler träd till fördel för växelstråksmetoden ( $123 \text{ träd}/G_0\text{-tim}$ ) jämfört med mittenstråksmetoden ( $114 \text{ träd}/G_0\text{-tim}$ ). Produktivitetsskillnaden mellan gallringsmetoderna ökar med ökande medelstamsvolym.



Figur 7. Produktivitet för skördare som funktion av skördad medelstamsvolym. Figuren är baserad på skördarmodellen i bilaga 4. Medelstamsvolym anges som kontinuerlig variabel. Övriga variabler hålls konstant vid deras medelvärden. Total volym = 463.68, Uttagen volym per hektar = 35.15, Granandel = 31.81, Lövandel = 14.29, Lutning = 1.98, Antal sortiment = 4.35.

Figure 7. Harvester productivity as a function of harvested mean stem volume. The figure is based on the harvester model in appendix 4. Mean stem volume is specified as a continuous variable. All other variables are held constant at their mean values. Total volume = 463.68, extracted volume per hectare = 35.15, spruce proportion = 31.81, deciduous proportion = 14.29, slope = 1.98, number of assortments = 4.35.

## 3.2 Skotarproduktivitet

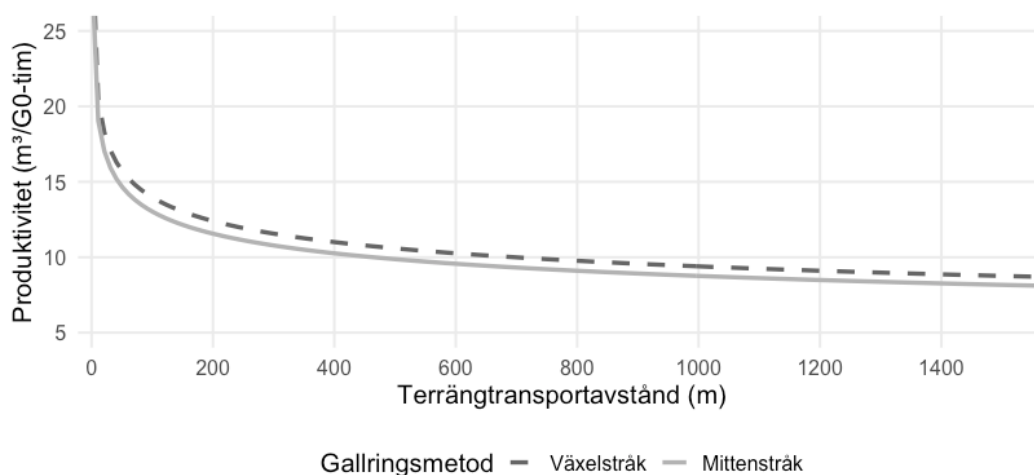
Resultaten från analysen av gallringsmetodernas gruppmedelvärden för skotarproduktivitet redovisas i tabell 8. T-testerna visade att produktivetsindexet för skotare var 4,21 enheter högre för växelstråksmetoden. Växelstråksmetoden gav ett medelvärde för produktivetsindex på 82 medan mittenstråksmetoden gav ett medelvärde på 77,8. Denna skillnad var signifikant (Tabell 8). Även mätt i antal kubikmeter per G<sub>0</sub>-timme visade sig produktiviteten vara högre i växelstråksmetoden. Skillnaden mellan metoderna var 0,4 m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme till fördel för växelstråksmetoden. Likt resultatet för skördare låg den tekniska utnyttjandegraden på en jämn nivå mellan metoderna och ingen signifikant skillnad kunde uppvisas (Tabell 8).

Tabell 8. Skotares medelvärden för mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden för respektive nyckeltal. Värdena är baserade på resultat från tvåsidiga t-test. Inom parentes anges 95% konfidensintervall.

Table 8. Forwarder mean values for the center-strip method and the alternating-strip method for each key metric. The values are based on results from two-sided t-tests. The 95% confidence interval is given in parentheses.

Nyckeltal	Mittenstråk	Växelstråk	P-värde
PI	77,8 (75,5 – 80,1)	82,0 (79,0 – 85,0)	0,0310
Produktivitet (lass/G <sub>0</sub> -tim)	0,988 (0,988 – 1,020)	0,975 (0,940 – 1,010)	0,5613
Produktivitet (m <sup>3</sup> fub/G <sub>0</sub> -tim)	10,5 (10,2 – 10,7)	10,9 (10,5 – 11,4)	0,0529
TU (%)	86,0 (84,4 – 87,6)	85,9 (84,1 – 87,7)	0,9122

Efter att effekten av bestånds faktorer och uttagsnivåer hade kvantifierats kvarstod en signifikant skillnad i produktivitet (Figur 11). Växelstråksmetoden gav i genomsnitt 0,74 m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme högre produktivitet jämfört med mittenstråksmetoden vid ett terrängtransportavstånd på 360 meter (medianvärde). Produktiviteten vid mittenstråksmetoden var i genomsnitt 10,23 m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme och 10,98 m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme vid växelstråksmetoden. Beräknat i antal lass per G<sub>0</sub>-timme var produktiviteten något högre för växelstråksmetoden där medelvärdet var 0,97 lass per timme. För mittenstråksmetoden var motsvarande siffra 0,95 lass per timme.



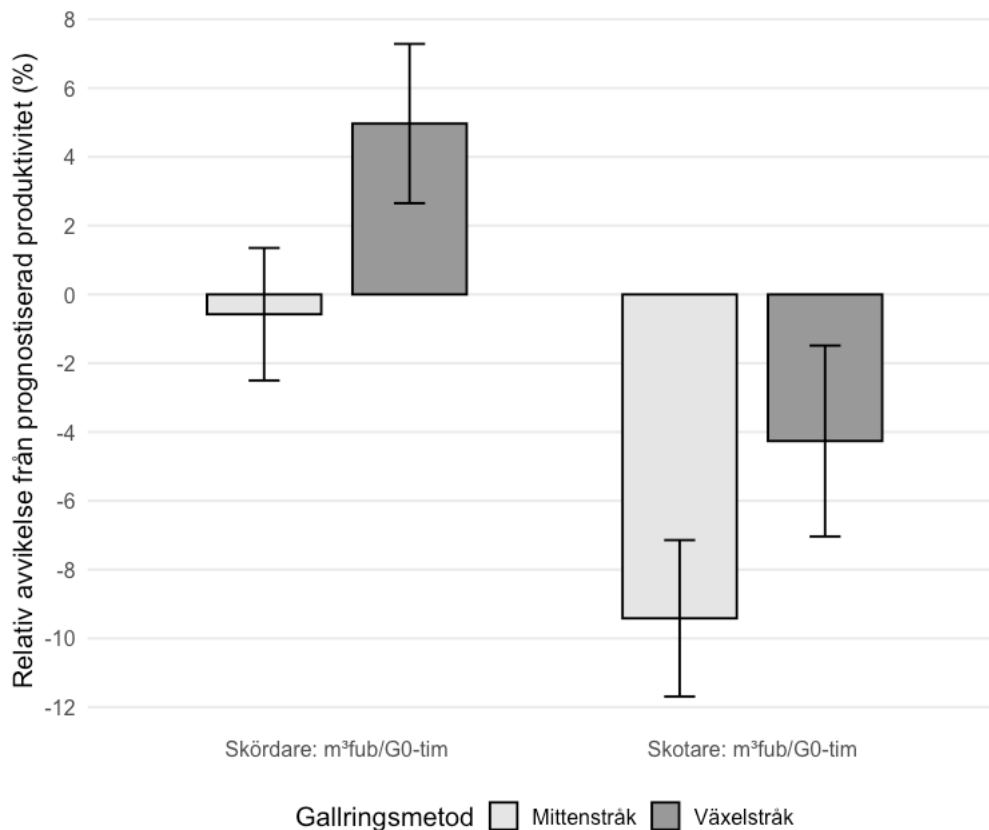
Figur 8. Produktivitet för skotare som funktion av terrängtransportavstånd. Figuren är baserad på skotarmodellen i Bilaga 3. Produktiviteten anges vid varierande terrängtransportavstånd. Övriga variabler hålls konstant vid deras medelvärden. Medelstamsvolym = 0.08, total volym = 463.68, Uttagen volym per hektar = 35.15, Granandel = 31.81, Lövandel = 14.29, Lutning = 1.98, Antal sortiment = 4.35.

Figure 8. Forwarder productivity after controlling for stand factors and extraction levels. The figure is based on the forwarder model in appendix 3. Productivity is

*presented at varying terrain transport distances. All other variables are held constant at their mean values. Mean stem volume = 0.08, total volume = 463.68, extracted volume per hectare = 35.15, spruce proportion = 31.81, deciduous proportion = 14.29, slope = 1.98, number of assortments = 4.35.*

### 3.3 Produktivitet relativt förväntad prestation

Vid studie av relativ avvikelse från prognostiserad produktivitet för skördare ( $\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$ ) kunde en större avvikelse observeras för växelstråksmetoden jämfört med mittenstråksmetoden (figur 12). Medelvärdet för relativ avvikelse från prognos låg nära det förväntade värdet för mittenstråksmetoden. Den relativa avvikelsen var -0,57%. Den relativa avvikelsen från prognos för avverkningsobjekt där växelstråksmetoden hade använts hade en positiv avvikelse som i medeltal avvek 4,91% från prognos. Den relativa avvikelsen från grundkurva var 2,74 enheter större vid gallring enligt mittenstråksmetoden. Båda metoderna hade en negativ avvikelse från det förväntade värdet enligt grundkurvan. Avvikelsen var -23,7% för mittenstråksmetoden och -21,0% för växelstråksmetoden. Skillnaden var signifikant med ett p-värde på  $p=0,008$ . För skotare var den relativa avvikelsen från prognos negativ för båda gallringsmetoderna (Figur 12). Vid användning av mittenstråksmetoden var avvikelsen i medeltal -9,42% och för växelstråksmetoden -4,21%. Resultatet från t-testerna där gallringsmetodernas gruppmedelvärden jämfördes visade att skillnaderna i avvikelse från prognos mellan gallringsmetoderna var statistiskt signifikanta för både skördare och skotare. För skördare observerades ett p-värde på  $p=0,0004$  och för skotare observerades ett p-värde på  $p=0,005$ .



Figur 9. Medelvärden för relativ avvikelse från prognostiserad produktivitet i m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-tim. Värdena presenteras för respektive gallringsmetod och för skördare samt skotare separat. 95% konfidensintervall framgår av den vertikala linjen i vardera stapel.

Figure 9. Mean values for the relative deviation from predicted productivity in m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-hour. The values are presented for each thinning method, separately for harvesters and forwarders. The 95 percent confidence interval is shown by the vertical line in each bar.

### 3.4 Avverkningskostnader

Avverkningskostnaden baserat på resultat från analysen av gallringsmetodernas gruppmedelvärden resulterade för skördare i en avverkningskostnad på 163 kr/m<sup>3</sup>fub vid gallring enligt mittenstråksmetoden. Jämfört med växelstråksmetoden som hade en avverkningskostnad på 155 kronor/kubikmeter är mittenstråksmetoden i genomsnitt 8 kronor dyrare per kubikmeter. För skotare var avverkningskostnaden för mittenstråk i genomsnitt 124 kronor per kubikmeter vilken är 5 kronor mer jämfört med växelstråksmetoden som hade en genomsnittlig avverkningskostnad på 119 kr/m<sup>3</sup>fub.

Efter att effekten av beståndsvariabler hade kontrollerats var skördarens avverkningskostnad i medeltal 149 kronor per kubikmeter vid växelstråksmetoden. Det innebär att drivningskostnaden för skördare var 11 kronor lägre jämfört med mittenstråksmetoden där avverkningskostnaden i

genomsnitt var 160 kronor per kubikmeter. Samma trend syntes för skotarens drivningskostnader där växelstråksmetoden hade en genomsnittlig kostnad på 118 kronor/kubikmeter och därmed var 9 kronor lägre än mittenstråksmetoden där kostnaden var 127 kronor per kubikmeter.

## 4. Diskussion

### 4.1 Diskussion av resultat

Studiens resultat visar genomgående att växelstråksmetoden ger högre produktivitet och lägre drivningskostnader än mittenstråksmetoden. Detta gäller både för skördare och skotare och oavsett om resultaten analyseras utifrån gruppmedelvärden eller efter att beståndsvariabler hade normerats i regressionsmodellerna. Skillnaderna blev däremot tydligare och mer signifikanta efter att effekten av beståndsvariabler hade kvantifierats. Detta är rimligt eftersom bestånds faktorer ofta har en stor inverkan på produktivitet vid avverkningarbete (Eriksson & Lindroos 2014; Lageson 1997). Variablerna som signifikant bidrog till att förklara variation i regressionsmodellen för skördare var medelstamsvolym, total uttagen volym, avverkad volym per hektar, andel gran och löv samt lutning. Variablerna som bidrog till att förklara variation i regressionsmodellen för skotare var medelstamsvolym, total uttagen volym, avverkad volym per hektar, lastvolym, terrängtransportavstånd och andel gran. Dessa resultat överensstämmer med tidigare studier (Eriksson & Lindroos 2014; Häggström 2024). Resultaten visar att modellerna som användes för att kvantifiera effekten av bestånds faktorer bidrog till robustare resultat jämfört med analysen av gruppmedelvärden.

#### 4.1.1 Skördarproduktivitet

Analysen av gruppmedelvärden för skördare visade att det inte fanns någon signifikant skillnad för produktivitetsindex mellan gallringsmetoderna. När produktiviteten mätt i  $\text{m}^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$  i stället analyserades observerades en signifikant skillnad där produktiviteten i växelstråksmetoden var  $0,5 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$  och 5,4% högre jämfört med mittenstråksmetoden. Skillnaden kunde även observeras för antal träd som i medel avverkas under en  $G_0$ -timme. I genomsnitt visade analysen av gruppmedelvärden att 3 fler träd per timme avverkas vid växelstråksmetoden jämfört med mittenstråksmetoden. Den tekniska utnyttjandegraden låg på samma nivå i båda gallringsmetoderna vilket innebär att produktivitetsskillnaden inte beror på skillnader i maskinutnyttjande mellan metoderna. Den jämna nivån i teknisk utnyttjandegrad i kombination med de små skillnader som uppvisades i skördarens jämförelse av produktivitet relativt förväntad prestation enligt grundkurvan förklarar sannolikt varför ingen signifikant skillnad i produktivitetsindex kunde observeras. Skördarens relativa avvikelse gällande produktivitet mot grundkurva var för växelstråksmetoden 21% under den förväntade nivån. För mittenstråksmetoden var avvikelsen 24% under den förväntade nivån.

När produktiviteten jämfördes efter att effekten av beståndsvariabler hade kvantifierats förstärktes resultaten. För skördarna motsvarade skillnaden i genomsnittlig produktivitet mellan metoderna cirka  $0,71 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$  vilket innebär att skördarproduktiviteten är 7,6% högre vid gallringsarbete enligt växelstråksmetodens arbetsmönster. Detta återspeglades även i det högre antalet avverkade träd per  $G_0$ -timme. Vid gallring med växelstråksmetoden avverkas i

genomsnitt 123 träd per G<sub>0</sub>-timme vilket är 9 fler träd per timme jämfört med mittenstråksmetoden där i genomsnitt 114 träd avverkas per G<sub>0</sub>-timme.

När produktiviteten för skördare jämfördes med förväntad prestation enligt prognos låg medelvärdet för mittenstråksmetoden nära prognosen med en genomsnittlig avvikelse på -0,57 procentenheter. För växelstråksmetoden överträffades däremot prognosen i genomsnitt med 4,91%. Detta indikerar att skördarnas faktiska prestation vid arbete enligt växelstråksmetodens körmönster i större utsträckning motsvarar eller överstiger den förväntade nivån. Att skillnaden i produktivitet (m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-tim) kvarstod och förstärktes efter normering av beståndsfaktorer i regressionsmodellerna tyder på att skillnaden mellan gallringsmetoderna inte enbart kan förklaras av variation i beståndsförutsättningar.

En möjlig förklaring till skillnaderna i produktivitet är hur gallring organiseras och genomförs vid växelstråksmetoden. Eftersom virket läggs mot en och samma stickväg kan det uppmuntra ett körsätt där gallringen i större utsträckning sker på en sida om maskinen. Detta överensstämmer med resultaten från Wiig (2025) som visade att slingerstråk vid växelstråks-gallring konsekvent placerades närmare stickvägar. Samtidigt var uttaget i mellanzonen mellan körvägar lägre jämfört med mittenstråksmetoden. Om gallringsarbetet i högre grad koncentreras till en sida om maskinen kan detta innebära kortare kranrörelser och färre förflyttningar och därmed ett mer kontinuerligt arbetsflöde. Tidigare tidsstudier har visat att både krankörning och maskinförflyttning utgör betydande andelar av den totala cykeltiden vid arbete i beståndsstråk jämfört med arbete längs stickvägar (Thor 1996). En minskning av dessa tidskrävande moment kan därmed bidra till den observerade produktivitetsökningen för skördare vid arbete enligt växelstråksmetoden.

#### 4.1.2 Skotarproduktivitet

Analysen av gruppmedelvärden för skotare visade att det fanns en signifikant skillnad i produktivetsindex mellan gallringsmetoderna där växelstråksmetoden uppvisade ett PI-värde som i medeltal var 4,2 enheter högre än för mittenstråksmetoden. När produktiviteten i stället mättes i m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme observerades även här en signifikant skillnad till fördel för växelstråksmetoden. Skillnaden motsvarade 0,4 m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme vilket innebär att växelstråksmetoden i genomsnitt gav 4,0% högre produktivitet. Även om skillnaden i produktivitet uttryckt i antal lass per G<sub>0</sub>-timme var liten, låg den något högre för växelstråk (0,97 lass/G<sub>0</sub>-timme) jämfört med mittenstråk (0,95 lass/G<sub>0</sub>-timme). Den tekniska utnyttjandegraden låg på en jämn nivå mellan gallringsmetoderna, vilket indikerar att skillnaderna i produktivitet inte beror på variation i maskinernas utnyttjandegrad utan snarare på effektiviteten i arbetsflödet mellan metoderna. Detta stärks av analysen av avvikelse från prognos, där skotarna vid växelstråk uppvisade en mindre negativ avvikelse (-4,2%) jämfört med mittenstråksmetoden (-9,4%), vilket tyder på att växelstråk i större utsträckning möjliggör att den prognostiserade produktivetsnivån uppnås i praktiken.

När produktiviteten jämfördes efter normering av beståndsvariabler, terrängtransportavstånd och uttagsnivåer blev skillnaderna tydligare. Resultaten visade att skotarproduktiviteten i genomsnitt var 0,74 m<sup>3</sup>fub/G<sub>0</sub>-timme högre vid växelstråksmetoden vilket motsvarar 7,2% högre produktivitet jämfört med mittenstråksmetoden. Även uttryckt i antal lass per G<sub>0</sub>-timme återfanns skillnaden där växelstråksmetoden i genomsnitt uppnådde 0,97 lass/G<sub>0</sub>-timme jämfört med 0,95 lass/G<sub>0</sub>-timme för mittenstråksmetoden. Dessa resultat visar sammantaget att växelstråksmetoden verkar ge ett mer effektivt arbetsflöde även för skotning.

Högre virkeskoncentration i stickvägarna är en tänkbar förklaring till att produktiviteten är högre även för skotare vid körning enligt växelstråksmetoden. Tidigare studier har visat att total uttagsvolym och därmed också virkeskoncentration i stickvägar har stor inverkan på skotarproduktivitet (Manner et al. 2013; Eriksson & Lindroos 2014). Eftersom skördarföraren endast har en stickväg att lägga virket mot vid avverkningarbetet i växelstråksmetoden läggs virket endast på en sida om stickvägarna vid gallring från beståndsstråket. Detta innebär sannolikt att virkeskoncentrationen blir större på en sida om stickvägarna än den andra. Vid avverkning enligt mittenstråksmetodens arbetsmönster finns redan två upphuggna stickvägar vilket innebär att virket kan läggas åt båda sidorna och därför bör virkeskoncentrationen bli lika stor på båda sidorna om stickvägarna. För skotningsarbetet kan en högre virkeskoncentration leda till mindre kranarbete och förflyttningar längs med stickvägarna och därmed högre produktivitet i växelstråksmetoden (Bilaga 5).

### 4.1.3 Avverkningskostnader

Eftersom avverkningskostnaden i denna studie har beräknats utifrån en antagen timkostnad oberoende av maskinstorlek och maskinmodell följer dessa resultat resultaten för produktivitet. Avverkningskostnaden beräknas genom en timkostnad som en konstant vilken divideras med produktiviteten. I denna studie presenterades resultat beräknade utifrån en timkostnad på 1500 kronor för skördare och 1300 kronor för skotare. Vid jämförelse mot resultat från andra studier är det därför möjligt att utgå från andra timkostnader. Baserat på ovanstående nämnda timkostnader och resultaten från regressionsmodellerna där beståndsvariabler hade normerats beräknades genomsnittliga avverkningskostnader. För skördare var kostnaden i växelstråksmetoden 11 kronor lägre per kubikmeter jämfört med mittenstråksmetoden. Samma trend syntes för skotare där kostnaden var 9 kronor lägre per avverkad kubikmeter vid arbete enligt växelstråksmetoden kontra mittenstråksmetoden. Den totala drivningskostnaden uppgick till 267 kronor/kubikmeter för växelstråksmetoden och 287 kronor för mittenstråksmetoden. Detta innebär således en skillnad motsvarande 20 kronor/kubikmeter eller 7,4%. Kostnaden för totalentreprenad i en genomsnittlig gallring (medelstamsvolym=0,083 m<sup>3</sup>fub) i norra Sverige var under 2024, 268 kronor/m<sup>3</sup>fub (Eliasson & Engberg, 2024). Gallring enligt växelstråksmetodens arbetsmönster tycks därför ligga närmare genomsnittet med

endast en krona/m<sup>3</sup>fub i avvikelse. Mittenstråksmetodens arbetssätt gav i genomsnitt en avverkningskostnad som är 19 kronor högre än riksgenomsnittet i norr.

## 4.2 Styrkor och svagheter

Det finns flera tidigare studier som undersöker produktivitetsnivåer och avverkningskostnader vid gallring med beståndsstråk och stickvägar. Antalet studier som utreder om det finns skillnader mellan olika arbetsmönster vid gallring med beståndsstråk är däremot begränsat. Denna studie kan därför bidra med ny kunskap och nya perspektiv. Studiens styrkor ligger till stor del i den stora datamängd som användes för analyserna. Studien innehöll totalt 2180 observationer från 29 olika avverkningslag i tre olika produktionsområden. Den stora datamängden gör att sannolikheten för att enskilda extrema observationer påverkar resultatet nämnvärt är låg. Samtidigt blir resultaten mer generaliserbara och representativa för studiens geografiska område jämfört med om datamängden hade varit liten. Studien undersöker dessutom effekter för både skördare och skotare vilket möjliggör att slutsatser kan dras för både de enskilda maskintyperna samt för komplett maskinsystem. Den främsta metodologiska begränsningen är att det inte kan garanteras att varje trakt i datamaterialet faktiskt har avverkats med den gallringsmetod som ett maskinlag kategoriserats efter. Klassificeringen baserades på GPS-loggar som visade lagens körmönster i ett stickprov av trakter under studieperioden. Eftersom inte en direkt granskning av arbetsmönstret för varje enskild trakt har genomförts innebär det en potentiell risk för felklassificering. Vidare är valet av gallringsmetod inte oberoende eftersom maskinlagen inte slumpats till att använda mittenstråk eller växelstråk utan själva valt metod efter förutsättningar som erfarenhet och preferenser. Detta innebär en risk att gallringsmetodens effekter kan vara sammanblandade med faktorer som förarnas skicklighet och inställning samt maskintekniska skillnader vilket statistiskt är svårt att kontrollera. En ytterligare aspekt rör beståndsförutsättningarna som överlag var relativt likvärdiga mellan gallringsmetoderna. Detta är en fördel då det minskar risken att resultaten påverkas av skillnader i beståndsegenskaper istället för själva gallringsmetoden. De flesta variabler som normalt sett har en inverkan på produktivitet som medelstam, lutning, ytstruktur och uttagsnivåer låg mycket nära varandra vilket stärker jämförbarheten mellan grupperna. Det fanns dock även skillnader som bör uppmärksammas. trädslagsfördelningen i bestånden samt mängden underväxt varierade mellan observationerna för respektive gallringsmetod (Tabell 6). Särskilt granandelen skilde sig i större utsträckning. Vid högre andel gran i ett bestånd visar både skördarens och skotarens regressionsmodeller och tidigare studieresultat att produktiviteten påverkas negativt (Bilaga 3 & 4; Liski et al. 2020; Svängård 2024). Dessa faktorer kan påverka arbetssätt och därmed

produktivitet och kan således utgöra en källa till variation som inte kan separeras från effekterna av vald gallringsmetod. Därtill fanns en geografisk obalans i datamaterialet eftersom Sollefteå hade betydligt fler växelstråkslag än mittenstråkslag och vice versa för de andra två produktionsområdena. Detta kan ha introducerat geografiska effekter som inte fångas upp i de statistiska analyserna.

### 4.3 Praktisk tillämpning

De observerade skillnaderna i produktivitet och avverkningskostnad mellan växelstråks- och mittenstråksmetoden indikerar att metodvalet bör betraktas som en betydande faktor vid utvärdering av produktivitet i gallringsarbete. Den genomsnittliga skillnaden i total drivningskostnad på cirka 20 kr/m<sup>3</sup>fub innebär betydande ekonomiska effekter vid större gallringsvolym. På årsnivå kan detta motsvara avsevärda kostnadsskillnader för ett skogsbolag. Även på objektsnivå kan skillnaden vara relevant. För enskilda markägare som säljer en avverkningsrätt utgör en skillnad på 20 kr/m<sup>3</sup>fub en betydande skillnad för avverkningsnettot, särskilt vid stora uttagsvolym.

Resultaten skulle kunna användas praktiskt för att uppdatera bortsättningssystemet vilket kan säkerställa tillförlitligare prognoser. Mindre avvikelse från prognos kan underlätta den operativa planeringen. Samtidigt påverkas ackordspriset som avverkningsentreprenörerna får betalt för avverkningsarbetet. För att ersättningsnivån ska vara rättvis kan därför gallringsmetod inkluderas som en produktivitetsförklarande faktor i bortsättningssystem. Resultaten bör också sättas i relation till kvalitén på beståndet efter utförd gallring och övriga mål som mittenstråksmetoden syftar till att uppnå.

### 4.4 Framtida studier

För att fördjupa förståelsen av de produktivitetsskillnader som observerats i denna studie krävs framtida studier med andra metoder och datakällor. En viktig fortsatt forskningsinriktning är kvalitativa studier av entreprenörers och föräres metodval. Intervjuer skulle kunna ge ökad förståelse för varför växelstråks- respektive mittenstråksmetoden väljs i praktiken. Sådan kunskap kan bidra till att tolka de kvantitativa resultaten från denna studie tillsammans med andra perspektiv och därmed identifiera faktorer och perspektiv som inte framgår av produktionsdata.

Vidare bör framtida studier kombinera produktivetsdata med bedömningar av gallringskvalitet. Genom att koppla mått på kvalitet som trädval, kvarvarande rumslig fördelning av grundytan, skador på kvarvarande träd, körskador och markpåverkan till produktivitet kan samband mellan avverkningens effektivitet och kvaliteten på skogen efter gallring analyseras mer heltäckande. Detta är också relevant då högre produktivitet inte nödvändigtvis innebär ett bättre långsiktigt utfall för beståndet eller ekonomin. För att kartlägga var skillnader i produktivitet uppkommer bör gallringsmetodernas olika moment studeras genom exempelvis

tidsstudier eller analys av maskindata. Det skulle kunna möjliggöra en djupare förståelse av hur produktiviteten varierar mellan metoderna. Ytterligare studier bör även undersöka hur gallringsmetodernas produktivitet påverkas av andra bestånds faktorer, årstid och andra geografiska områden. Denna studie är begränsad till södra Norrland och de dominerande beståndstyper som finns där.

## 4.5 Slutsatser

Studiens resultat visar att gallring enligt växelstråksmetodens arbetsmönster ger högre produktivitet än mittenstråksmetoden för både skördare och skotare. Den genomsnittliga produktiviteten var 7,6% högre för skördare och 7,2% högre för skotare vid tillämpning av växelstråksmetoden. När den uppmätta produktiviteten sattes i relation till förväntad prognostiserad produktivitet framgick att skördarnas utfall i båda gallringsmetoderna låg relativt nära prognosen med en negativ avvikelse på 0,57% för mittenstråksmetoden och positiv avvikelse på 4,91% för växelstråksmetoden. För skotare var avvikelsen från prognos negativ i båda metoderna men mindre vid växelstråksmetoden (-4,2%) jämfört med mittenstråksmetoden (-9,4%). Studien visar vidare att den högre produktiviteten vid växelstråksmetoden också återspeglas i lägre avverkningskostnader. Den genomsnittliga totala drivningskostnaden var cirka 20 kronor per kubikmeter lägre vid gallring enligt växelstråksmetoden jämfört med mittenstråksmetoden. Sammantaget indikerar resultaten att växelstråksmetoden under de förutsättningar som studerats innebär ett mer produktivt och kostnadseffektivt arbetssätt än mittenstråksmetoden.

# Referenser

Agestam, E. (2015). *Gallring*. Skogsskötselserien, nr 7. Andra upplagan. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-7-gallring.pdf>

Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselns grunder och samband*. Skogsskötselserien, nr 1. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-1-skogsskotselns-grunder-och-samband.pdf>

Andersson, R. (2013). *Grundbok för skogsbrukare: Fakta om skog och skogsbruk*. Första upplagan. Skogsstyrelsen, Jönköping. ISBN 9789187535024.

Arlinger, J. & Möller, J. (2012). *StanForD 2010: Modern kommunikation med skogsmaskiner*. Arbetsrapport nr. 784-2012. Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/f6ab99f3707a4670baeb987798c6e0b6/stanford-2010-svensk.pdf>

Berg, S. (1995). Terrängtypschema. Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/dd0282d1b35c4fe88f210b088f02b486/terrangtypschema.pdf>

Bergqvist, I. (2009). *Skördarstorlek och metod i förstagallring av tall och gran: Studier av prestation och kvalitet i förstagallring*. Arbetsrapport nr. 685-2009. Skogforsk. [https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161537/contentassets/d038e62ac48e456fa3c96edc302a1009/arbetsrapport-685-2009.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161537/contentassets/d038e62ac48e456fa3c96edc302a1009/arbetsrapport-685-2009.pdf)

Bergqvist, I. & Lundström, H. (2010). *Gallra från stickväg eller med stråk?: Studier vid Holmen skog*. (Resultat Nr. 16-2010). Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2010/Gallra-fran-stickvag-eller-med-strak-Studier-vid-Holmen-Skog>

Berndes, G., Börjesson, P., Egnell, G., Fagerström, A., Gunnarsson, J., Hagberg, M., Hansson, J., Hellsten, S., Johnsson, F., Lönnqvist, T., Rootzén, J., Rydberg, T. & Unger, T. (2021). *Konkurrensen om den svenska skogsråvaran: Syntesrapport*. Rapport 2021:820. Energiforsk.

<https://energiforsk.se/media/30662/konkurrensen-om-den-svenska-skogsravaran-syntesrapport-energiforskrapport-2021-820.pdf>

Brunberg, T. (2000). *Engreppsskördare i gallring*. (Arbetsrapport Nr. 464-2000). Skogforsk.

<https://www.skogforsk.se/contentassets/b699aed0b93d4b79904a48538901842f/arbetsrapport-464-2000.pdf>

Brunberg, T. & Lundström, H. (2010). *Rätt maskinval i gallring: Studie vid SCA Skog*. (Resultat Nr. 6-2010). Skogforsk.

[https://www.skogforsk.se/cd\\_20190114161734/contentassets/9f27e90a8dae45eab501fcb50cf36a18/resultat6-10\\_lowres.pdf](https://www.skogforsk.se/cd_20190114161734/contentassets/9f27e90a8dae45eab501fcb50cf36a18/resultat6-10_lowres.pdf)

Bylund, A. (2025). Personlig kommunikation.

Dahlin, A. (2008). *Produktivitet och kvalitet vid stickvägs- respektive beståndsgående förstagallring*. (Arbetsrapport 216-2008). Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning.

[https://stud.epsilon.slu.se/12103/1/dahlin\\_a\\_171107.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/12103/1/dahlin_a_171107.pdf)

Eliasson, L. & Engberg Sundström, L. (2024). *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2024*. Nr 42-2025. Skogforsk.

<https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2025/tillf-kooin-lfgkse/>

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>

- Hakonen, O. (2013). *Metsäkuljetusmatkan arvioinnin erot puunostajan ja puunkorjuuyrittäjän välillä Stora Enso Metsän Itä-Suomen hankinta-alueella*. Karelia University of Applied Sciences.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61687/Hakonen\\_Ollipekka.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61687/Hakonen_Ollipekka.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Håkansson, M., & Nordwall, A. (2000). *Skogenscyklopedin*. Stockholm: Sveriges Skogsvårdsförbund.
- Häggström, K. (2024). *Drivningsproduktivitet och kostnader i hyggesfritt skogsbruk*. Rapport Nr. 2024:10. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. <https://stud.epsilon.slu.se/20790/1/haggstrom-k-20250124.pdf>
- Johansson, K., Agestam, E., Johansson, U. & Nilsson, U. (2002). *Skador i samband med gallring i granskog: En litteraturstudie*. Granprogrammets webstencil serie, 1.  
[https://www.researchgate.net/publication/242779080\\_Skador\\_i\\_samband\\_med\\_gallring\\_i\\_granskog-en\\_litteraturstudie](https://www.researchgate.net/publication/242779080_Skador_i_samband_med_gallring_i_granskog-en_litteraturstudie)
- Jonsson, R. (2014). *Simulering av gallring med noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna och jämförelse av drivningskostnader*. (Arbetsrapport nr. 416-2014). Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning. [https://stud.epsilon.slu.se/6849/7/jonsson\\_r\\_140613.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/6849/7/jonsson_r_140613.pdf)
- Kuitto P.-J. (1990). *Metsäkuljetus harvesterin jälkeen*. Rapport Nr. 17-1990. Metsäteho. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1990\\_17-compressed.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1990_17-compressed.pdf)
- Kuitto P.-J. (1992). *Koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus – maksuperusteselvitys 1990–1992*. Rapport Nr. 9-1992. Metsäteho. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1992\\_09-compressed.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1992_09-compressed.pdf)

Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S.-I. (2004). Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. *International Journal of Forest Engineering*. 15(2), ss.43–56. doi: <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702496>

Lageson, H. (1997). Effects of Thinning Type on the Harvester Productivity and on the Residual Stand. *Journal of Forest Engineering*. 8(2). ss. 7–14. doi: 10.1080/08435243.1997.10702699.

<https://journals.lib.unb.ca/index.php/IJFE/article/view/30167/1882525469>

Lindroos, O. (2025). *Styrning av skogliga arbetsprocesser*. [Kurskompendium]. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Lindroos, O., Pettersson, J. & Nordfjell, T. (2024). How stem size variations in forest stands influence harvester productivity and the use of productivity models. *International Journal of Forest Engineering*. 35(3), ss.389–398. doi: <https://doi.org/10.1080/14942119.2024.2387523>

Lindroos, O., Ersson, B.T., Nordfjell, T., & Wästerlund, I. (2019). *Liten skogsteknisk ordlista*. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Liski, E., Jounela, P., Korpunen, H., Sosa, A., Lindroos, O. & Jylhä, P. (2020). Modeling the productivity of mechanized CTL harvesting with statistical machine learning methods. *International Journal of Forest Engineering*. 31(3), ss.253–262. doi: <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1820750>

Manner J., Nordfjell T., Lindroos O. (2013). Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. *Silva Fennica*. 47(4). <https://doi.org/10.14214/sf.1030>

Mederski, P.S. (2006). A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. *Forest Ecology and Management*, 224(3), ss.286–296. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.042>

Nordansjö, I. (1992). *Från stocksåg till skördare*. Tekniska museet, Stockholm.

Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006). *Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system*. *Silva Fennica*, 40(2). doi: <https://doi.org/10.14214/sf.346>

Persson, P. (1975). *Stormskador på skog*. Skogshögskolan, inst. För skogsproduktion. Rapport nr 36.

Persson, P. (1972). *Vind- och snöskadors samband med beståndsbehandlingen: inventering av yngre gallringsförsök*. Rapport nr 23. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion.

Purfürst, T. & Erler, J. (2011). The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. *International Journal of Forest Engineering*. 22(2), ss.15–22. doi: <https://doi.org/10.1080/14942119.2011.10702606>

Riksdagsförvaltningen (1993). *SFS 1979:429 Skogsvårdslag*. [https://www.riksdagen.se/sv/dokumentlagar/dokument/svenskforfattningssamling/skogsvardslag-1979429\\_sfs-1979-429](https://www.riksdagen.se/sv/dokumentlagar/dokument/svenskforfattningssamling/skogsvardslag-1979429_sfs-1979-429)

Roberge, C. (2025). *Skogsdata 2025: Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning. [https://internt.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata\\_2025\\_web.pdf](https://internt.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2025_web.pdf)

SCA. (u.å). *Om oss*. <https://www.sca.com/sv/om-oss/> [2025-12-30]

SCA Skog (2025). *Gallringsriktlinjer*. [Internt material].

SCA Skog (2020). *Tillämpningsinstruktion för prestationsnormer*. [Internt material].

Schulte, M., Eriksson, A., Ågren, K., Möller, J., Sonesson, J., Fahlvik, N., Strömngren, M., Johansson, F., Rönnbäck, S. & Hansson, P.-A. (2024). *Klimat effektiv skogsskötsel: En jämförelse mellan tre trakthyggesbaserade skötselprogram och en hyggesfri metod utifrån ett klimatperspektiv*. Arbetsrapport

1204-2024. Skogforsk.

<https://www.skogforsk.se/contentassets/3cf90fc5151f4f3b8d67be5a19892d35/1204-2024-klimat effektiv-skogsskotsel.pdf>

Skogskunskap. (u.å.). *Gallringsmall för barr och löv.*

<https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/skogsvard/gallringsmall/> [2025-12-30]

Skogskunskap. (2024a). *Gallringsprogram.*

<https://www.skogskunskap.se/skota-skog/gallra/gallra-barrskog/gallringsprogram-och-stamval/> [2025-12-30]

Skogskunskap. (2024b). *Göra stickvägar.* <https://www.skogskunskap.se/skota-skog/gallra/gallra-barrskog/stickvagor-och-stickvagseffekter/>

[2025-12-30]

Skogskunskap. (2025). *Antal stammar efter gallring.*

<https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/skogsvard/antal-stammar-efter-gallring/> [2025-12-30]

Skogsstyrelsen. (2026). *Fasta kostnader och riktvärden för stöd till Nokås.*

<https://www.skogsstyrelsen.se/aga-skog/stod-och-bidrag/nokas/riktvarden/> [2026-03-16]

Sundqvist, H. (2018). *Skogens ekosystemtjänster: Status och påverkan.* Rapport

2017/13. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2017/rapport-201713-skogens-ekosystemtjanster---status-och-paverkan.pdf>

Svangård, L. (2024). *Underväxtens effekter på gallringsarbetet: Hur*

*underväxttäthet påverkar drivningsarbetet och skogsmaskinförarnas arbetsmiljö i*

*gallring.* 2024:1. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens

biomaterial och teknologi. Doi: [https://stud.epsilon.slu.se/19994/1/svangard-l-](https://stud.epsilon.slu.se/19994/1/svangard-l-20240530.pdf)

[20240530.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/19994/1/svangard-l-20240530.pdf)

Thelin, A. (1990). *Beståndsgående gallringsskördare: alternativ och komplement i gallring*. Redogörelse Nr 1, 1990. Forskningsstiftelsen skogsarbeten, Kista.

Thor, M. (1996). *Stråkkörning med mellanstor engreppsskördare: Studier av selektivitet och prestation vid förstagallring av tall hos MoDo SKOG AB*. Arbetsrapport nr. 311-1996. Skogforsk.  
<https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/1996/strakkorning-med-mellanstor-engreppsskordare--studier-av-selektivitet-och-prestation-vid-forstagallring-av-tall-hos-modo-skog-ab/>

Thor, M. (2012). *Forskning och innovation för produktiv och skonsam skogsteknik: en strategisk fråga för hela den svenska skogsnäringen*. Nr. 1-2012. Kungliga skogs- och lantbruksakademien. <https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2012/03/KSLAT-1-2012-Forskning-o-innovation-f-produktiv-o-skonsam-skogsteknik.pdf>

Thorsén, Å. & Thor, M. (2014). *Effektivt skogsbruk: ett långsiktigt miljöarbete*. Nr. 2014-91. Skogforsk.  
<https://www.skogforsk.se/contentassets/ea6e810a4ad841928394823b0be85c47/effektivt-skogsbruk.pdf>

Wiig, S. (2025). *Rumslig fördelning och skadefrekvens av kvarvarande träd efter förstagallring med slingerstråk: En jämförelse av två metoder i SCA:s gallringsverksamhet*. 2025:5. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi. doi: <https://stud.epsilon.slu.se/21784/1/wiig-s-20251009.pdf>

# Populärvetenskaplig sammanfattning

För att skogsbruk ska vara både lönsamt och hållbart krävs att skogsskötselåtgärder genomförs effektivt och med rimliga kostnader samtidigt som kvaliteten i skogen bevaras. Gallring är en av de viktigaste åtgärderna i svenskt skogsbruk och särskilt i norra Sverige där förstagallringar ofta görs i täta bestånd med små träd och små ekonomiska marginaler. Hur gallringen genomförs kan därför få stor betydelse för resultatet.

I den här studien undersöktes hur två olika sätt att organisera gallringsarbete påverkar produktivitet och kostnader för avverkningen. Metoderna som undersöks är mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden. Skillnaden mellan metoderna ligger främst i hur skördaren rör sig i beståndet och i vilken ordning olika körvägar som används av avverkningsmaskinerna tas upp. I mittenstråksmetoden tas 2 parallella stickvägar upp före ett slingerståk görs. I växelstråksmetoden tas endast en stickväg upp innan slingerstråket görs.

Studien bygger på produktionsdata från skördare och skotare som har arbetat i förstagallringar inom skogsföretaget SCA:s verksamhetsområde i södra Norrland under 2024. Genom att jämföra stora mängder med verklig produktionsdata kunde skillnader mellan gallringsmetoderna upptäckas och analyseras.

Resultaten visade att växelstråksmetoden gav högre produktivitet för både skördare och skotare. Efter att skillnader i skogens egenskaper som kan påverka produktiviteten hade räknats bort var produktiviteten för både skördare och skotare cirka 7-8% högre vid växelstråksmetoden jämfört med mittenstråksmetoden. Skillnaden i produktivitet ledde till avverkningskostnader som i genomsnitt var 20 kronor lägre per avverkad kubikmeter i växelstråksmetoden jämfört med mittenstråksmetoden.

Sammantaget visar resultaten att valet av gallringsmetod kan ha en inverkan på produktivitet och kostnader vid första tillfället som skog gallras. Studien bidrar med kunskap som kan komma till nytta vid fortsatt utveckling av gallringsmetoder. Studien belyser också att det finns ett fortsatt behov av forskning inom området där även gallringskvalitet och långsiktiga effekter på skogens utveckling studeras.



# Bilaga 2

Underlag för prestationsprognos och bortsättning i gallring

## SKOTARE

Januari 2020

Skogsförvaltning..... PL.....  
 Trakt..... Avläggs nr..... Hf.....  
 Lag..... Idnr.....  
 Datum..... Signatur.....

A. PÅLASTNING, KÖRNING UNDER PÅLASTNING OCH AVLASTNING													G <sub>0</sub> -min	
M <sup>3</sup> fub/ha	20	30	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	
Skotarstorlek														
Gallrare	3,28	3,20	3,13	3,00	2,90	2,82	2,75	2,71	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	
Liten gallrare	3,83	3,75	3,68	3,56	3,45	3,37	3,31	3,27	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	
Tillägg contorta (0,20 x Pålastning, körn. under pålastning, avlastning G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub)	0,20 x ..... = ..... G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub													
LUTNING													G <sub>0</sub> -min	
Lutning ,klass														
	1	2	3	4										
	-0,15	0,00	0,15	0,31										
B. TOM- OCH LASSKÖRNING (Se baksidan. Transportavstånd avser enkel väg)														
Terräng (Antal 100 m x G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub/100 m)	..... x ..... = ..... G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub													
Tillägg gallring (0,10 x terrängkörning G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub)	0,10 x ..... = ..... G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub													
Basväg (Antal 100 m x 200/(m <sup>3</sup> G <sub>0</sub> -min x lassvolym))	..... x 200 / (..... x .....) = ..... G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub													
C. SORTERING														
Sortiment med volymsandel >5,5 %														
Sortiment med volymsandel =<5,5 %														
	1	2	3	4	5	6	7	8						
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70						
	0,02	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15						
Avlastning från terräng														
Avlastning från terräng motiverar ett tidstillägg beroende av antal (stora och små) sortiment på avlägg														
< 8 stycken sortiment ger ett tidstillägg på 0,05 G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub														
8-9 stycken sortiment ger ett tidstillägg på 0,10 G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub														
> 9 stycken sortiment ger ett tidstillägg på 0,15 G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub														
D. KORREKTION FÖR MEDELSTAM														
M <sup>3</sup> fub/träd	05	10	15	20	25	30								
	0,47	0,00	-0,37	-0,65	-0,82	-0,90								
GRÄNSKVOT														
m/ha	100	200	300	400	500	600	700	800	900					
	0,02	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21					
E. ÖVRIGA KORREKTIONSFAKTORER														
(Min per vända/Lassvolym)	..... / ..... = ..... G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub													
F. SUMMA G <sub>0</sub> -MIN/M <sup>3</sup> FUB														
(Summa A - E)	..... + ..... + ..... + ..... + ..... = ..... G <sub>0</sub> -min/m <sup>3</sup> fub													
G. BERÄKNAD PRESTATION														
(60/F)	60 / ..... = ..... m <sup>3</sup> fub/G <sub>0</sub> -h													
H. ACKORDSPRIS														
1. Kalkylpris kr/G <sub>0</sub> -h	..... / ..... = ..... kr/m <sup>3</sup> fub													
H.1/G)	..... / ..... = ..... kr/m <sup>3</sup> fub													
I. ÖVRIGA ERSÄTTNINGAR														
Beskrivning	..... kr/m <sup>3</sup> fub													
	..... kr/m <sup>3</sup> fub													
J. TOTALT ACKORDSPRIS														
(Summa H + I)	..... + ..... = ..... kr/m <sup>3</sup> fub													
ANTECKNINGAR														
.....														
.....														
.....														

## Bilaga 3

*Regressionsmodell för skotarproduktivitet.*

*Regression model for forwarder productivity.*

Variabel	Parameter	Standardavvikelse	p-värde
Intercept	1,87714	0,43646	<0,001
Gallringsmetod Växelstråk	0,07004	0,02001	<0,001
log(Medelstam)	0,25496	0,02842	<0,001
log(Totalvolym)	0,04476	0,01297	<0,001
log(Uttag_volym_ha)	0,02377	0,01140	0,037
log>Lastvolym)	0,73351	0,16568	<0,001
log(Terrängtransportavstånd)	-0,17241	0,01665	<0,001
Granandel	-0,00150	0,00037	<0,001

Residual standard error: 0,2838

R<sup>2</sup>: 0,236

R<sup>2</sup> (adj): 0,230

Modellens p-värde: <0,001

## Bilaga 4

*Regressionsmodell för skördarproduktivitet.*

*Regression model for harvester productivity.*

Variabel	Parameter	Standardavvikelse	p-värde
Intercept	3,46900	0,06996	<0,001
Gallringsmetod Växelstråk	0,07281	0,01369	<0,001
log(Medelstam)	0,60341	0,01944	<0,001
log(Totalvolym + 1)	0,05270	0,00719	<0,001
log(Uttag_volym_ha + 1)	0,02033	0,00876	0,0204
Granandel	-0,00113	0,00026	<0,001
Lövandel	-0,00101	0,00041	0,0148
Lutning	-0,03347	0,01096	0,0023

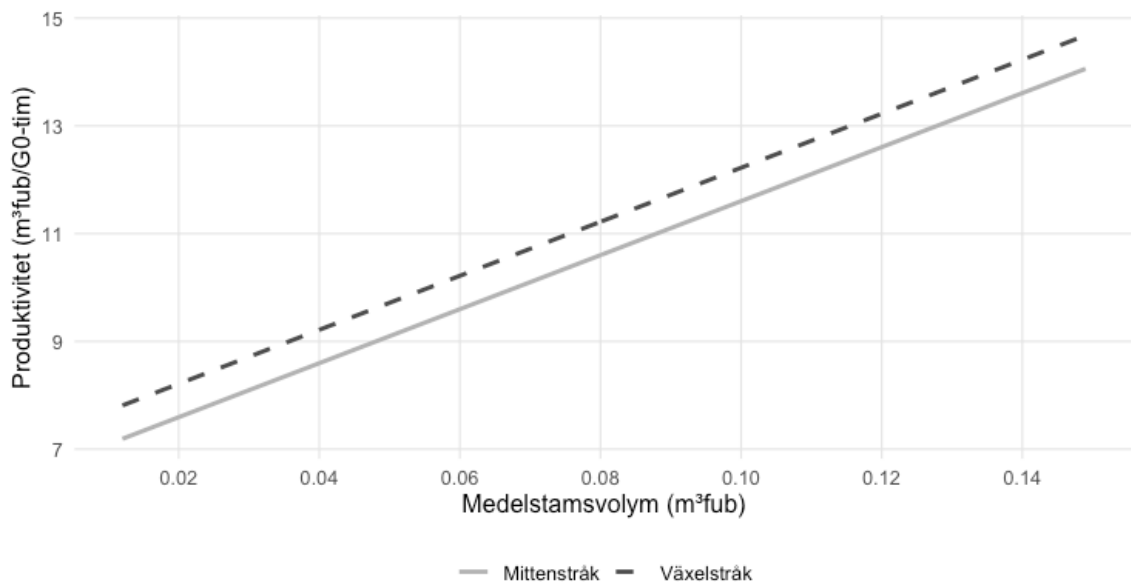
Residual standard error: 0,2242

R<sup>2</sup>: 0,532

R<sup>2</sup> (adj): 0,529

Modellens p-värde: <0,001

## Bilaga 5



*Skotarproduktiviteten vid varierande medelstamsvolym fördelat på mittenstråksmetoden och växelstråksmetoden. Figuren är baserad på en envägs ancova modell med produktivitet som responsvariabel, gallringsmetod är en fixerad variabel och medelstamsvolym samt terrängtransportavstånd som kovariat. Terrängtransportavståndet är konstant vid medianvärdet 360 meter.*

## 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, Lukas Bergvik 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.