



Underväxtens effekter på gallringsarbetet

- Hur underväxttäthet påverkar drivningsarbetet och skogsmaskinförarnas arbetsmiljö i gallring

Lukas Svängård

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogsfakulteten, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2024:1

Umeå 2024



Underväxtens effekter på gallringsarbetet – *Hur underväxttäthet påverkar drivningsarbetet och skogsmaskinförarnas arbetsmiljö i gallring*

The effect of undergrowth on thinning operations – How undergrowth density affects thinning work and the working environment of forestry machine operators in thinnings

Lukas Svängård

Handledare: Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, Skogens biomaterial och teknologi (SBT)
Extern kontaktperson: Anna Bylund, SCA skog
Examinator: Ola Lindroos, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogens biomaterial och teknologi (SBT)

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: A2E
Kurstitel: Mastersarbete i skogsvetenskap
Kurskod: EX0956
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Skogens biomaterial och teknologi (SBT)
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2024
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien: 2024:1

Nyckelord: Underväxtröjning, Lönsamhet, Maskinavbrott, Drivningskostnad, Stamskador, Körskador

Sveriges lantbruksuniversitet
Jägmästarprogrammet
Skogens biomaterial och teknologi (SBT)

Sammanfattning

Under de senaste två decennierna har gallringskostnaderna i Sverige ökat kontinuerligt, och om denna trend fortsätter finns risken att gallringskostnaderna blir så höga att markägare slutar utföra gallringar. Det skulle innebära en minskning av den årliga volymen gagnvirke som tas ut ur Sveriges skogar, vilket skulle vara negativt både för skogsindustrin och hela skogsbranschen. De ökande gallringskostnaderna drivs främst av ökade skördarkostnader, och för att minska dessa finns det flera möjliga åtgärder. Underväxtröjning är en åtgärd som kan minska skördarkostnaden, men själva genomförandet av underväxtröjningen är också kostsam. Därför bör underväxtröjning endast genomföras om det är ekonomiskt lönsamt, men det är inte känt vid vilken underväxttäthet detta inträffar.

Syftet med denna studie var att undersöka den ekonomiska lönsamheten och det framtida behovet av underväxtröjning inför gallring. Det gjordes genom att undersöka hur förekomsten av underväxt påverkar maskinproduktiviteten, mängden maskinavbrott samt förekomsten av kör- och stamskador i samband med gallring. Dessa faktorer användes sedan för att beräkna underväxtens påverkan på gallringskostnaden. Studien undersökte även översiktligt hur maskinförarna upplevde att deras arbete påverkades av underväxt, och deras syn på lämplig hantering av underväxt.

Tre olika typer av analyser genomfördes. Den första bestod av analyser över underväxtens påverkan på drivningsarbetet och baserades på data från 15 752 trakter som gallrades av SCA mellan år 2013 och 2023, vilket utgör ett av de största dataseten som hittills använts för att studera underväxtens påverkan vid gallring. Maskinförarnas åsikter om underväxt samlades in genom telefonintervjuer med tre gallringsentreprenörer som var verksamma åt SCA. Den sista analysen var en kvalitetskontroll av inrapporterad underväxttäthet och utfördes med ett datamaterial insamlat genom en fältinventering av åtta gallringstrakter belägna inom 80 km från Umeå.

Resultaten visade att underväxt sänkte skördarproduktiviteten, men höjde skotarproduktiviteten. Inget samband fanns mellan underväxttätheten och körskador, stamskador eller maskinavbrott. Underväxt orsakade en ökning av drivningskostnaden med som mest 3,27 kr/m³fub, där den lägsta underväxtröjningskostnaden vid samma underväxttäthet var 46,16 kr/m³fub.

Slutsatsen är att det inte är ekonomiskt lönsamt att underväxtröja under de förutsättningar som studerats. Däremot finns det ett fortsatt behov att utföra underväxtröjning, eller annan likvärdig åtgärd, för att skapa en acceptabel arbetsmiljö för skogsmaskinförarna.

Nyckelord: underväxtröjning, lönsamhet, maskinavbrott, drivningskostnad, stamskador, körskador

Abstract

Over the past two decades, thinning costs in Sweden have continuously increased, and if this trend continues, there is a risk that thinning costs will become so high that landowners stop conducting thinning operations. This would result in a reduction of the annual volume of valuable timber extracted from Sweden's forests, which would be detrimental to both the forest industry and the entire forestry sector. The increased thinning costs are primarily driven by rising harvester costs, and to mitigate these, there are several possible measures. Undergrowth clearing is one measure that can reduce harvester costs, but the implementation of undergrowth clearing is also costly. Therefore, undergrowth clearing should only be carried out if it proves to be economically viable, but it is not known at what undergrowth density this occurs.

The purpose of this study was to examine the economic profitability and the future need for undergrowth clearing before thinning. This was done by examining how the presence of undergrowth affects machine productivity, the amount of machine downtime and the occurrence of soil- and stem damages in thinnings. These factors were then used to calculate the impact of undergrowth on thinning costs. The study also briefly examined how machine operators perceived their work to be affected by undergrowth and their view on appropriate undergrowth management.

Three different types of analyses were conducted. The first consisted of analyses of the impact of undergrowth on the thinning work and was based on data from 15 752 stands that were thinned by SCA between 2013 and 2023, making it one of the largest datasets used to study the impact of undergrowth in thinnings. Machine operator's opinions on undergrowth were collected through telephone interviews with three thinning contractors working for SCA. The final analysis was a quality control of reported undergrowth density and was conducted using data collected through field inventories of eight thinning stands located within 80 km of Umeå.

The results showed that undergrowth reduced harvester productivity but increased forwarder productivity. There was no correlation between undergrowth density and soil damage, stem damages, or machine downtime. Undergrowth caused an increase in thinning cost of up to 3,72 SEK/m³fub, with the lowest undergrowth clearing cost at the same undergrowth density being 46,16 SEK/m³fub.

In conclusion, under the conditions studied, it is not economically viable to perform undergrowth clearing. However, there is still a need to carry out undergrowth clearing, or similar measures, to create a satisfactory working environment for forestry machine operators.

Keywords: undergrowth clearing, profitability, machine breakdown, logging cost, stem damages, soil damages

Förord

Denna studie har genomförts som ett examensarbete inom Jägmästarprogrammet vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi på Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng.

Jag vill tacka min handledare på SLU, Dan Bergström, som varit till stor hjälp med resonemang och idéer samt bidragit med mycket kunskap under arbetets gång.

Jag vill också rikta ett stort tack till min kontaktperson på SCA, Anna Bylund, som effektivt och smidigt tillhandahöll allt nödvändigt datamaterial samt bidrog med värdefulla insikter om materialet och visade ett stort engagemang under studiens gång.

Till sist vill jag tacka de tre gallringsentreprenörer som deltog i studien och tog sig tiden att bidra med många nya, intressanta och värdefulla kunskaper inom ämnet.

Umeå, mars 2024

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	11
Figurförteckning.....	13
Förkortningar	14
1 Bakgrund	15
1.1 Inledning.....	15
1.2 Underväxt och underväxtröjning	17
1.3 Underväxtens påverkan i gallring.....	18
1.4 Underväxtröjningens kostnader, nackdelar och alternativ	18
1.5 Nuvarande kunskapsluckor.....	19
1.6 Syfte	20
2 Material och metod	21
2.1 Arbetets utförande	21
2.2 SCA:s gallringstrakter	22
2.3 SCA:s maskinsystem och gallringsmetod.....	23
2.4 SCA:s röjningsgräns	24
2.5 Definition av parametrar.....	25
2.5.1 Underväxttäthet	25
2.5.2 Maskinernas arbetstid.....	25
2.5.3 Maskinernas produktivitet	25
2.5.4 Maskinernas avbrott	25
2.5.5 Skördad volym	26
2.5.6 Körskador.....	26
2.5.7 Stamskador.....	26
2.5.8 Snö.....	27
2.5.9 Flerträdshantering.....	27
2.5.10Skördad volym/ha	27
2.5.11Antal skördade träd/ha.....	27
2.5.12Skotningsavstånd	27
2.6 Utsortering av trakter	28
2.7 Sammanställning av data från SCA trakt.....	30
2.8 Logaritmering, kategorisering och hantering av nollvärdesproblematik	30

2.9	Kompletterande fältinventering	31
2.9.1	Bearbetning av fältinventeringsdata	31
2.9.1.1	FUT.....	32
2.9.1.2	Differens mellan FUT och AUT	32
2.9.1.3	Medelvärde över differensen mellan AUT och FUT	32
2.9.1.4	Standardavvikelsen över differensen mellan AUT och FUT	32
2.9.1.5	Standardavvikelsen mellan provytorna i FUT	33
2.9.1.6	Medelvärde över standardavvikelsen i FUT.....	33
2.10	Statistiska analyser	33
2.10.1	Regressionsanalyser – modellbeskrivning	33
2.10.2	T-tester och korrelationsanalys.....	36
2.10.2.1	Skillnad mellan AUT och FUT	36
2.10.2.2	Korrelation mellan FUT och AUT.....	36
2.10.2.3	Korrelation mellan underväxttäthet och körskador	36
2.11	Kostnadsanalyser.....	37
2.11.1	Sammanställning av underväxtens påverkan.....	37
2.11.2	Beräkning av underväxtröjningens kostnader	37
2.11.2.1	Prognosfunktioner för underväxtröjningens tidsåtgång.....	37
2.11.2.2	Underväxtröjningskostnad per m ³ fub	38
2.12	Känslighetsanalyser	38
2.12.1	Modellering baserad på FUT	38
2.12.2	Underväxtens påverkan vid olika traktförutsättningar	38
2.12.3	Förändring av röjnings- samt maskinkostnader.....	39
2.13	Intervjustudie med gallringsentreprenörer	40
3	Resultat	41
3.1	Underväxttäthetens påverkan på produktivitet	41
3.1.1	Skördare	41
3.1.2	Skotare.....	41
3.2	Underväxttäthetens påverkan på avbrott.....	42
3.2.1	Skördare	42
3.2.2	Skotare.....	42
3.3	Underväxttäthetens påverkan på skador	43
3.4	Kontrollmätning av underväxttäthet	43
3.5	Kostnadsanalyser.....	44
3.5.1	Underväxtröjningskostnader	44
3.5.2	Skördare	45
3.5.3	Skotare.....	46
3.5.4	Drivningssystemet	46
3.6	Känslighetsanalyser	48
3.6.1	Skördarproduktivitet och kostnad vid användning av FUT	48
3.6.2	Underväxtens påverkan vid förändrade förutsättningar	48

3.6.3	Förändrade maskin- och röjningskostnader	50
3.7	Intervjuer med gallringsentreprenörer	51
3.7.1	Underväxtens påverkan på produktivitet	51
3.7.2	Undantagsfall för underväxtröjningens utförande	52
3.7.3	Arbetsmiljö och motivation	52
3.7.4	Åsikter om SCA:s inställning till underväxtröjning	53
3.7.5	Underväxtens påverkan på rekrytering	54
3.7.6	Gallringsentreprenörernas övriga synpunkter	55
4	Diskussion	56
4.1	Utvärdering av resultat	56
4.1.1	Statistiska analyser av underväxtens påverkan	56
4.1.2	Beräkning av underväxtens påverkan på kostnader	59
4.1.3	Beräkning av underväxtröjnings-kostnader	59
4.1.4	Kontrollmätning av underväxttätheten	60
4.1.5	Intervjuer med gallringsentreprenörer	61
4.1.6	Kostnadsanalyser	61
4.2	Studiens styrkor och svagheter	62
4.2.1	Studiens omfattning	62
4.2.2	Datasetet	63
4.2.3	Analysmetoden	65
4.2.4	Logaritmering och kategoriska data	67
4.3	Betydelse för praktisk verksamhet	69
4.4	Framtida studier	70
4.5	Slutsatser	71
	Referenser	72
	Bilaga 1 – SCA:s inventeringsinstruktion för underväxt	76
	Bilaga 2 – Värden samt gränser för kategorisk data	77
	Bilaga 3 – SCA:s inventeringsinstruktion för kör- och stamskador	78
	Bilaga 4 – Inventeringsinstruktion fältinventering	79
	Bilaga 5 – Intervjusvar från gallringsentreprenörerna	80
	Bilaga 6 – Bestånd och maskinvariabler	92
	Bilaga 7 – Tabeller av resultatet från de statistiska analyserna	95

Tabellförteckning

Tabell 1. Ett antal skogsbolags samt skogsägarföreningars definition över av vad som enligt dem utgör underväxt, deras röjningsgräns samt röjningsinstruktioner (Forsberg & Lodén 2020; Johansson 2020)	17
Tabell 2. Medel-, min- och max-värden för sju skogligaparametrar i SCA:s genomsnittliga gallringstrakt. Parametrarna anger värden innan utförd gallring och var baserade på 2 000 gallringar planerade mellan år 2019-2023 (Bylund)	23
Tabell 3. Fördelning av maskinstorlek (vikt) för skördare respektive skotare vid SCA:s utförda gallringar mellan juli 2013 och augusti 2023	23
Tabell 4. Definitioner samt tidsgränser för sju olika avbrottstyper hos SCA skog (Bylund)	26
Tabell 5. Kriterium över vilka värden på variabler som bedömdes felaktiga samt kriterium för variabler i uteslutningsalgoritmen	28
Tabell 6. Antalet gallringstrakter i datasetet före och efter exkludering av felaktig data, applicering av uteslutningsalgoritmen samt efter indelning i de två medelstamsvolymklasserna $0,03 \geq X \leq 0,15 \text{ m}^3 \text{ fub}$ ($V \leq 0,15$) och $0,15 > X \leq 0,30 \text{ m}^3 \text{ fub}$ ($V > 0,15$)	29
Tabell 7. Beskrivning, areal och avverkningsplanerarens uppskattning av underväxttätheten (AUT) för de trakter där en fältinventering av underväxtenstätheten genomfördes	31
Tabell 8. De oberoende trakt- och maskinvariabler som testades vid framtagandet av modellerna över underväxtpåverkan på produktivitet, avbrott och stamskador. Medelvärde, standardavvikelse (SD) och min/max värden var summerade för samtliga studerade trakter. Uppgifter om dataursprung härstammar från Bylund ⁴ samt Eriksson och Lindroos (2014)	34
Tabell 9. De inklusionskriterier som användes i de OLS-framåtriktade stegvisa regressionsmodellerna	35
Tabell 10. De modellkriterier som användes för att filtrera bort ej signifikanta modeller samt modeller med för låg andel förklarad variation	36
Tabell 11. Beskrivning över traktförutsättningarna i SCA:s medelgallringstrakt samt tre olika exempeltrakter vid $0,03 \geq X \leq 0,15 \text{ m}^3 \text{ fub}$. De tre exempeltrakterna var "dålig trakt med liten skotare", "bra trakt med stor skotare" och "bra trakt med lågt volymuttag och stor skotare"	39

Tabell 12. Det totala urvalet av gallringsentreprenörer inom SCA:s huvudområden och deras respektive verksamhetsområden.....	40
Tabell 13. Resultat och beräkningar av den fältinventerade uppskattningen av underväxttätheten (FUT) i åtta olika trakter planerade för gallring, alla belägna inom en radie av 80 km från Umeå. Avverkningsplanerarens uppskattning av underväxttätheten (AUT) inkluderades som ett referensvärde.....	43
Tabell 14. Kostnad för utförandet av en underväxtröjning i kronor per m ³ fub (kr/m ³ fub) beroende på underväxtenhöjd (m) och underväxttäthet (st/ha).....	45
Tabell 15. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över vad som utgjorde de största problemen som underväxt orsakade för skördaren respektive skotaren.....	51
Tabell 16. De tre gallringsentreprenörernas exempel på undantagsfall där en underväxtröjning med fördel kunde ha undvikits	52
Tabell 17. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över vad som utgjorde de främsta anledningar till varför ökad underväxttäthet ledde till en sänkt arbetsmotivation, för skördar- respektive skotarförare.....	53
Tabell 18. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över SCA:s dåvarande förhållningsätt till när en underväxtröjning utförs eller bör utföras	54
Tabell 19. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över på vilka olika sätt underväxt påverkade en ny maskinförare annorlunda jämfört med motsvarande påverkan för en erfaren förare	55
Tabell 20. Sammanfattning av de tre gallringsentreprenörernas övriga synpunkter om underväxt, underväxttäthet och övergripande synpunkter om SCA:s utförande av underväxtröjning.....	55
Tabell 21. Samtliga bestånds- och maskinvariabler som testades, i respektive modell, som oberoende variabler vid framtagandet av modellerna för bedömning av underväxtpåverkan på produktivitet, avbrott, kör- och stamskador	92

Figurförteckning

- Figur 1. Karta över SCA:s sju verksamhetsområden (Piteå, Umeå, Strömsund, Sollefteå, Östersund, Ånge och Sundsvall) (Bylund)..... 22
- Figur 2. Exempel på hur dragning av stickvägar ser ut när slingerstråk nyttjas i gallring. Figur lånad från SCA skog (2010). 24
- Figur 3. Skördar- och skotartrakternas fördelning över underväxttäthetskategorier, uppdelat på trakter med en skördad medelstamsvolym (m^3fub) mellan $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) respektive $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$). Antalet observationer är angivet över respektive stapel. 29
- Figur 4. Underväxttäthetens påverkan på skotar- och skördarproduktivitet (m^3fub/G_0-h) i trakter med en medelstamsvolym mellan $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) och $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$) jämfört med när ingen underväxt förekom. 42
- Figur 5. Jämförelse mellan avverkningsplanerarens (AUT) och fältinventeringens uppskattning av underväxttäthet (FUT) i åtta olika trakter planerade för gallring, alla inom en radie av 80km från Umeå. Medelvärdet av FUT och AUT i samtliga trakter inkluderades som referensvärde..... 44
- Figur 6. Av underväxt orsakade förändringarna i gallringskostnad för skördaren (skör) och skotaren (skot), vid tre olika nivåer av underväxttäthet (st/ha) och en medelstamsvolym mellan $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ 46
- Figur 7. Skillnad mellan de av underväxt orsakade ökningarna i drivningskostnad (kr/m^3fub) för tre olika underväxttätheter (st/ha) (grå linjer). Tre exempel på underväxtröjningskostnader (kr/m^3fub) för olika typer av underväxt (svarta linjer). Drivningskostnader var beräknade för SCA:s medelgallringstrakt. 47
- Figur 8. Känslighetsanalys över hur drivningskostnaderna (kr/m^3fub) påverkas av ökad underväxttäthet (st/ha) i tre exempeltrakter samt SCA:s medelgallringstrakt. . 48
- Figur 9. Förändring i drivningskostnad (kr/m^3fub) om underväxttäthetens påverkan på produktiviteten blev två (UT +100%) respektive 10 (UT +900%) gånger större än normalt (UT normal). Heldragen svart linje var den lägsta underväxtröjningskostnaden (kr/m^3fub), återfanns vid underväxthöjd på 1 m. 49
- Figur 10. Skillnaden i gallringskostnad (kr/m^3fub) om underväxttäthet (st/ha) var 1246 st/ha högre (FUT+) respektive lägre (FUT-) än den av avverkningsplaneraren uppskattade underväxttätheten (AUT)..... 50
- Figur 11. Förändringar i de av underväxt orsakade kostnaderna (kr/m^3fub) om skördaren eller skotarens timkostnad (kr/G_0-h) förändras med $\pm 10\%$ 50

Förkortningar

%	Procent
AUT	Avverkningsplanerarnas uppskattning av underväxttäthet
cm	Centimeter
FUT	Fältinventerad uppskattning av underväxttäthet
G ₀ -h	Effektiv arbetstimme utan avbrott
G ₀ -tid	Effektiv arbetstid utan avbrott
G ₁₅ -h	Effektiv arbetstimme inklusive avbrott kortare än 15 min
ha	Hektar
km	Kilometer
ln	Naturlig logaritm
m	Meter
M	Miljoner
m ³ fub	Fastkubikmeter under bark
m ³ sk	Skogskubikmeter, innefattar hela stammens volym ovan stubb höjd inklusive bark och topp, exklusive grenar och rötter.
MAST	Maskinstatistik – specifikt internt system för SCA
OLS	Ordinary least square
SCA	Svenska Cellulosa Aktiebolag
st/ha	Stammar per hektar
tim	Timmar
TU	Teknisk utnyttjandegrad
UT	Underväxttäthet
V>0,15	Medelstamvolym 0,15 > X ≤ 0,30 m ³ fub
V≤0,15	Medelstamvolym 0,03 ≥ X ≤ 0,15 m ³ fub
VIF	Variance-Inflation-Factor

1 Bakgrund

1.1 Inledning

Sverige är ett skogsrikt land där 68% av landarealen består av skogsmark, vilket gör att Sverige är det land i Europa som har störst andel skogsmark efter Finland (73%) (SCB 2023). Arealen skogsmark utgörs av ungefär 58% produktiv skogsmark, vilket definieras som mark där tillväxten överstiger 1 m³sk/ha och år (Riksskogstaxeringen 2023b). Majoriteten av Sveriges produktiva skog har beståndsformen enskiktad, vilket betyder att skogen har ett höjdsikt som tydligt kan definieras (Albrektson et al. 2012). Det skogsskötselsystem som används för enskiktad skog heter trakthyggesbruk och har varit det dominerande skötselsystemet sen 1950-talet (Albrektson et al. 2012). Trakthyggesbruk är en cyklisk skötselmetod som består av huvudsakligen fyra faser (föryngrings-, ungskogs-, gallrings- och slutavverkningsfas) som alla omfattar olika typer av skötselåtgärder (Albrektson et al. 2012). Den vanligaste skötselåtgärden inom trakthyggesbruket är gallring, där åtgärden definieras som en ”beståndsvårdande utglesning av skog under tillvaratagandet av virke” (Agestam 2015). Under ett skogsbestånds omloppstid kan en eller flera gallringar utföras för att forma beståndet och skapa bättre förutsättningar för kvarvarande träd. Gallring ger även skogsägaren en möjlighet att forma beståndet efter hans preferenser, däribland kvalitet och trädslagsval som främjas genom att gallra ut träd av sämre kvalitet och genom att gynna vissa trädslag. De vanligaste gallringsformerna i Sverige är låg- och höggallring, där en låggallring innebär att klenta träd med liten diameter tas ut medan grövre lämnas kvar. En höggallring utförs på motsatt vis (Agestam 2015). Likformig gallring är ytterligare en gallringsform som innebär att det uttagna gallringsvirket har samma medeldiameter som medeldiametern i beståndet efter gallring (Agestam 2015). Oavsett gallringsform resulterar en utförd gallring i en tillfälligt lägre volymtillväxt, då ett uttag av träd har gjorts och kvarvarande träd står glesare. Efter att gallringen har utförts börjar trädkronorna breda ut sig för att fylla tomrummet. Det medför att stammarna blir grövre för att orka bära upp den tyngre trädkronan (Agestam 2015). Grövre stammar leder till att andelen sågtimmer blir större i kommande gallringar eller i slutavverkningen, vilket bidrar till ett bättre ekonomiskt utfall för skogsägaren, eftersom sågverken betalar mer för sågtimmer än massbruken betalar för massaved (Skogsstyrelsen 2023b)

Enligt Riksskogstaxeringen (2023) utförs gallring i Sverige på omkring 290 000 ha årligen, där ungefär 243 000 ha utgörs av skog som gallras för första gången

(förstagallringar) (Sjöqvist & Olofsson 2018). Majoriteten av all gallring genomförs med konventionella två-maskinsystem bestående av engreppsskördare och skotare, vilket har utgjort branschstandard sedan mitten av 80-talet (Ager 2017). Manuell gallring där fällning, kvistning samt aptering utförs med motorsåg och skotning utförs maskinellt, förekommer i begränsad form i Sverige och är vanligast bland privata skogsägare (Skogskunskap 2022). Under perioden 2017 till 2022 uppgick den genomsnittliga totala gallringsvolymen till 21,0 Mm³sk/år, vilket motsvarar ett genomsnittligt gallringsuttag på 72,4 m³sk/ha och år (Riksskogstaxeringen 2023b).

Under de senaste 17 åren har kostnaden för gallring ökat och för år 2022 var den genomsnittliga gallringskostnaden i Sverige 249 kr/m³fub (Skogsstyrelsen 2023a). Den fortsatta ökningen av gallringskostnaderna utgör ett problem, eftersom det kan leda till att markägare väljer att inte utföra gallringar (Sjöqvist & Olofsson 2018). Att gallringar uteblir utgör inget problem för själva skogen, då även en ogallrad skog klarar sig bra. Gallringarna är däremot ett sätt att styra skogsbrukets ekonomi, genom att minska mängden självgallring och sänka skaderisken (Agestam 2015). Uteblir utförandet av stora mängder gallring innebär det att betydande volymer gagnvirke riskerar att gå till spillo, vilket är på väg att bli verklighet i Sverige. År 2016 uppskattades det omedelbara gallringsbehovet till 1,1 Mha, vilket är ungefär fyra gånger större än den årliga arealen som faktiskt gallras (Bergquist et al. 2016).

Det som i störst grad avgör gallringskostnaderna i ett bestånd är kostnader för skördaren, som är beroende av dess timkostnad och antalet arbetade timmar (Frank 2006; Kärhä 2006; Skogelid 2019; Wiklund 2019). Skördarens timkostnad är i sin tur beroende av skördarens fasta och rörliga kostnader. Fasta kostnader utgörs av investerings-, ränte-, fast underhålls- och förarkostnad. Rörliga kostnader utgörs av drivmedels-, rörlig underhålls- och avskrivningskostnad (Nordfjell 2006). Utifrån en skördares arbetade timmar och dess totala produktion beräknas produktiviteten. Faktorer som exempelvis väder, terräng, bärighet, mörkerkörning och snö påverkar i olika grad hur hög produktiviteten blir i ett bestånd. Exempelvis innebär ett snödjup av 70 till 90 cm att produktiviteten för skördaren sänks med upp till 6%, där orsaken till sänkningarna beror på försämrad framkomlighet för basmaskinen (Brunberg & Lundström 2010). Förekomsten av snö, speciellt upplega, innebär även att underväxt blir mer siktförhindrande för skördarförarna (Grandin & Karlsson 2023). Även skördarens utrustning påverkar produktiviteten. Nyttjas exempelvis ett flerträdshanterande skördaraggregat kan produktiviteten öka med upp till 40% vid gallring av trakter med låg medelstamsvolym (Jansson 2011). Maskinföraren själv utgör också en stor påverkande faktor i gallring både för skördaren och skotaren, där mer erfarna förare uppnår högre produktivitet (Nurminen et al. 2006). De mest påverkande faktorerna i gallring utgörs dock av låg medelstamsvolym, lågt volymuttag/ha, högt antal kvarlämnade träd och hög underväxttäthet där samtliga leder till låg skördarproduktivitet och därmed höga kostnader (Phillips 2004; Kärhä 2006). I trakter med en betydande underväxttäthet är det möjligt att minska skördarkostnaderna genom att förbättra traktens förutsättningar för gallring, till exempel genom att utföra en underväxtröjning.

1.2 Underväxt och underväxtröjning

Det existerar många olika definitioner av vad som utgör underväxt, där en allmän definition kan sammanfattas till ”Träd som är betydligt yngre och även ofta lägre och klenare än den huvudsakliga skogen. Till underväxt räknas även småträd, buskar och större plantor som lyckats etablera sig” (Skogsencyklopedin 2023).

Olika skogsbolag och skogsägarföreningar har egna definitioner (Tabell 1) över vad som utgör underväxt, samt olika gränser i underväxttäthet för när de bedömer att en underväxtröjning är lönsam och bör utföras. Denna gräns benämns härefter som ”röjningsgränsen”, och anges i enheten st/ha.

Tabell 1. Ett antal skogsbolags samt skogsägarföreningars definition över av vad som enligt dem utgör underväxt, deras röjningsgräns samt röjningsinstruktioner (Forsberg & Lodén 2020; Johansson 2020)

Table 1. The definition of undergrowth and the limit and instructions for pre-commercial thinning for a number of forest companies and forest associations (Forsberg & Lodén 2020; Johansson 2020)

Företag	Definition över vad som utgör underväxt	Röjningsgräns	Övrig röjningsinstruktion
Billerud	Tall och gran, oavsett höjd med en brösthöjdsdiameter <7 cm, eller löv, oavsett höjd med en brösthöjdsdiameter <8 cm.	≥1 500-2 000 st/ha	Underväxt som bedöms siktförhindrande eller besvärar skördaraggregatet ska röjas.
Sveaskog	Träd, oavsett trädslag, med en brösthöjdsdiameter <8 cm och som är >1,3 m i höjd.	Gran: ≥2 000 st/ha Löv: ≥1 500 st/ha	-
AB Karl Hedin	Träd oavsett trädslag med en brösthöjdsdiameter <8 cm och som är >”knähöjd” i höjd.	Underväxtröjning utförs om underväxten bedöms siktförhindrande.	All underväxt inom en radie av 1 m från avverkningstammarna ska röjas.
Södra	Träd oavsett trädslag med en brösthöjdsdiameter <8 cm och som är >1,3 m i höjd.	≥1 500 st/ha	-
Norra skog	Träd, oavsett höjd och trädslag, med en brösthöjdsdiameter <8 cm.	Underväxtröjning utförs om underväxten bedöms siktförhindrande.	-
Stora Enso	Träd, oavsett höjd och trädslag, med en brösthöjdsdiameter <7 cm.	Underväxtröjning utförs om underväxten bedöms siktförhindrande.	-
SCA	Träd, oavsett trädslag, med en brösthöjdsdiameter <8 cm och som är >1,3 m i höjd. Underväxtstammar med klyka räknas alltid som en stam, oberoende klykans höjd.	≥5 000 st/ha	På privatmark avgör markägaren själv om/när en underväxtröjning ska utföras.

När skogsbestånd underväxtröjs görs det i majoriteten av fallen motormanuellt med röjsåg, även om maskinell underväxtröjning har förekommit (Bergkvist & Nordén 2002). Utförandet av en underväxtröjning innebär oftast att samtliga stammar som ej utgör gagnvirke och bedöms som siktförhindrade röjs bort, även om andra röjningsmetoder förekommer i mindre skala (Kärhä 2006; Pålsson 2013; Andersson 2016). Det är inte känt hur vanligt det är att gallringstrakter underväxtröjs i Sverige, vilket till stor del beror på en låg grad av uppföljning av underväxtröjning (Forsberg & Lodén 2020).

1.3 Underväxtens påverkan i gallring

En stor påverkande faktor i gallring är underväxt, vars primära påverkan handlar om att den begränsar sikten och orsakar skador på skogsmaskinen. Underväxten har även en sekundär påverkan då den försämrade sikten leder till en ökad risk för stensågning, kedjehopp, slangbrott samt stamskador orsakade av kran/aggregat. Dessa problem leder till en minskad produktivitet, ökad mängd avbrott och sänkt kvalitet i kvarvarande bestånd, något som är väldokumenterat i tidigare studier (Kärhä 2006; Jonsson 2015; Sjöqvist & Olofsson 2018; Skogelid 2019; Grandin & Karlsson 2023). Olika studier uppvisar dock olika nivåer för den påverkan som underväxt har på skördarproduktiviteten (mellan 5-34%), där förekomsten av granunderväxt (*Picea abies*) påverkar mest (Kärhä 2006). Tidigare studier är oeniga om hur lövunderväxt påverkar skördarproduktiviteten. Enligt Kärhä (2006) påverkar lövunderväxt inte produktiviteten, medan Jonsson (2015) drar slutsatsen att lövunderväxt kan sänka produktiviteten med upp till 12,6%. Underväxt har en mindre påverkan på skotaren jämfört med skördaren, och enligt Kärhä (2006) sänks skotarproduktiviteten med mellan 1-7%. De studier som har undersökt maskinförarnas upplevelser är däremot eniga i att de anser att underväxt, oavsett trädslag, har en negativ påverkan på produktiviteten (Sjöqvist & Olofsson 2018; Kärhä & Bergström 2020; Grandin & Karlsson 2023).

1.4 Underväxtröjningens kostnader, nackdelar och alternativ

Även om en underväxtröjning bidrar till minskade skördarkostnader så är den dyr att utföra. Genomsnittskostnaden för en underväxtröjning år 2022 uppgick till 1 812 kr/ha (Skogsstyrelsen 2023a). Tidigare studier har dock visat att kostnaden för en röjning inte är konstant utan varierar beroende på stamtäthet och trädhöjd, där en högre stamtäthet och högre höjd innebär ökad röjningskostnad (SLA Norr 1991; Pålsson 2013; Gustavsson 2016). Att kostnaden för en underväxtröjning är hög har inneburit att den nästan enbart utförs om den bedöms som ekonomiskt lönsam. En studie utförd av Kärhä (2006) visar att underväxtröjning av lövträd inte är ekonomiskt lönsamt. För underväxt av gran varierade röjningsgränsen mellan 600–3400 st/ha beroende på gallringens medelstamsvolym ($m^3\text{fub}$), volymuttag

(m³fub/ha) och underväxtens höjd (m). Det finns även flertalet andra studier som visar att en underväxtröjning inte är ekonomiskt lönsamt (Sjöqvist & Olofsson 2018; Skogelid 2019; Wiklund 2019).

Utöver de ekonomiska aspekterna finns miljömässiga och sociala aspekter med underväxtröjning som måste vägas in, där de sociala aspekterna primärt handlar om skördarförarens arbetsmiljö. Tidigare studier av Grandin och Karlsson (2023) har visat att skördarförare upplever en försämrad arbetsmiljö och motivation när de arbetar i gallringstrakter med hög underväxttäthet. Utförandet av en underväxtröjning kan därmed bidra till en förbättring av maskinförarnas arbetsmiljö, vilket utgör fördelar som kan vägas emot kostnaden för en underväxtröjning. De ekologiska fördelarna av att underväxten lämnas kvar utgör faktorer som talar emot att genomföra en underväxtröjning (Klein 2020). Exempelvis utgör underväxt skydd för fåglar, växter och andra organismer, vilket ökar traktens biologiska mångfald (Poulsen 2002). Underväxt behövs även vid en potentiell övergång till ett hyggesfritt skogsbruk, eftersom den hjälper till att säkerställa inväxning av nya träd och möjliggör bildandet av den flerskiktade skogen som krävs för brukningsformen (Lundqvist et al. 2014; Hannerz et al. 2017).

Som ett alternativ till underväxtröjning kan LIDAR-baserade beslutstöd användas för att förbättra maskinförarnas arbetsmiljö i trakter med betydande underväxttäthet (Andersson et al. 2023). Denna teknik innebär att skördaren utrustas med LIDAR-sensorer som kan "se igenom" underväxten och exkludera den från synfältet, vilket möjliggör för maskinföraren att endast se gallringsstammarna. Denna teknik är ny och har endast testats i experimentella studier. Fortsatt utvärdering krävs därför innan några slutsatser om dess effektivitet kan dras. Utifrån de genomförda studierna bedöms dock tekniken ha en god möjlighet att underlätta för maskinföraren i sitt arbete. Tekniken kan även bidra till att förbättra statistiken över bland annat gallringsuttaget, gallringskvaliteten och det kvarlämnade skogsbeståndet (Andersson et al. 2023).

1.5 Nuvarande kunskapsluckor

I tidigare studier om hur underväxt påverkar gallringsarbetet har studiemetoden närmast uteslutande varit olika former av tidsstudier. Ingen studie har undersökt data från databaser av redan gallrade trakter. Fördelen med att använda sådan data är det stora antalet observationer och att datainsamlingen inte begränsas av hur länge tidsstudien pågick. Det innebär att all data från det att en trakt påbörjades tills den avslutades finns sparad, vilket även möjliggör analys av hur avbrottstiden påverkas av underväxttätheten. En annan fördel med att analysera stora mängder data är att risken för slumpmässiga samband minskar (Biau et al. 2008).

Att maskinförarnas arbetsmiljö påverkas negativt av ökad underväxttäthet och att en underväxtröjning kan lösa dessa problem har konkluderats i tidigare studier. Det saknas däremot studier på om en förbättrad arbetsmiljö för maskinförarna är något som väger upp för höga underväxtröjningskostnader. Det är även okänt hur skogsbolagens/skogsägarföreningarnas hantering av underväxt, det vill säga i

vilken omfattning de underväxtröjer, påverkar gallringsentreprenörernas val av arbetsgivare och deras möjlighet att rekrytera nya förare. Enligt Meijer (2021) råder det idag en stor brist på skogsmaskinsförare och skogsbolag/-skogsägarföreningar har svårt att hitta nya entreprenörer. Det innebär att det blir än viktigare att veta om skogsbolagens/skogsägarföreningarnas röjningsgränser kan påverka entreprenörernas val av arbetsgivare. Föredrar entreprenörerna en arbetsgivare som underväxtröjer oftare, så kan det vara ytterligare en faktor som motiverar den extra kostnad som frekventare underväxtröjningar innebär.

Enligt intervjustudier av Grandin och Karlsson (2023) samt Kärhä och Bergström (2020) upplever maskinförarna att mängden kedjehopp och andra maskinella problem ökar med ökad underväxttäthet. Förekomsten av ett samband mellan underväxttäthet och avbrott har dock inte undersökts i tidigare studier. Därför blir det intressant att i denna studie undersöka om ett sådant samband existerar i det aktuella datasetet.

1.6 Syfte

Studiens huvudsyfte är att utvärdera hur underväxten påverkar drivningsarbetet vid gallring, samt att ge övergripande förståelse över hur underväxten påverkar maskinförarnas arbetsmiljö. Utifrån det kan sedan en sammanvägd slutsats dras om underväxtens totala påverkan samt den eventuella lönsamheten och det fortsatta behovet av underväxtröjning.

För att uppnå studiens huvudsyfte finns även följande delsyften:

- 1) Kartlägga hur olika stamantal av underväxt påverkar produktiviteten, andelen avbrott samt skadefrekvensen i gallring.
- 2) Beräkna hur underväxt påverkar drivningskostnaden.
- 3) Beräkna hur underväxtröjningsröjningskostnaden påverkas av underväxttätheten.
- 4) Jämföra de av underväxt orsakade förändringarna i drivningskostnader med underväxtröjningskostnaderna.
- 5) Övergripande identifiera hur maskinförare påverkas av underväxt, utifrån ett produktivitets- samt arbetsmiljömässigt perspektiv.

2 Material och metod

2.1 Arbetets utförande

Arbetet genomfördes i följande kronologisk ordning:

- Det första steget var att göra ett urval av trakter och importera dessa från MAST (Maskinstatistik) och SCA trakt till Excel.
 - o I Excel sorterades data, variabelnamn ändrades, nya variabler beräknades utifrån befintliga variabler och vissa variabler kategoriserades.
 - o Nästa steg var att välja ut vilka av variablerna som skulle användas i kommande statistiska analyser och dessa exporterades från Excel till Rstudio, där en bortsortering av ej komplett och ej relevant data genomfördes.
- För att bedöma kvalitén i SCA:s skattning av underväxttäthet genomfördes ett antal referensmätningar i fält. Efter att inventeringarna utförts sammanställdes och analyserades all insamlad data.
- För att få kunskap över hur arbetsmiljön och effektiviteten hos SCA:s gallringsentreprenörer påverkas av underväxt, genomfördes och sammanfattades tre intervjuer med tre olika gallringsentreprenörer.
- I Rstudio (version 2023.03.0) genomfördes statistiska analyser med en OLS linjär regressionsmetod, för att ta reda på om underväxttätheten har en statistiskt signifikant påverkan på någon av de beroende variablerna.
- Utifrån tidigare framtagna prognosfunktioner från SLA Norr (1991) beräknades underväxtröjningens tidsåtgång vid olika underväxthöjder och underväxttätheter.
- En kostnadsanalys genomfördes mellan de av underväxten orsakade förändringarna i drivningskostnader och underväxtröjningskostnaden.
- Sista steget var att genomföra känslighetsanalyser för att belysa eventuella osäkerheter i data.

2.2 SCA:s gallringstrakter

De undersökta trakterna härstammar från gallringar utförda inom SCA:s samtliga verksamhetsområden (Figur 1) i både egen skog och privatägd skog från juli 2013-07-31 till 2023-08-01. Samtliga gallringar har utförts i Sverige mellan breddgraderna 62° till 68°.



Figur 1. Karta över SCA:s sju verksamhetsområden (Piteå, Umeå, Strömsund, Sollefteå, Östersund, Ånge och Sundsvall) (Bylund¹).

Figure 1. A map of SCA:s seven operation areas (Piteå, Umeå, Strömsund, Sollefteå, Östersund, Ånge and Sundsvall) (Bylund¹).

De dominerande trädslagen i de gallrade trakterna var tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*), men vissa gallringar har även utförts i rena björktrakter (*Betula pendula*/*Betula pubescens*). Totalt bestod datasetet av 17 579 trakter och 1 001 registrerade gallringsuppföljningar, varav 52% var på egen skog och 48% på trädköp.

Eftersom traktdata från MAST inte innefattade traktbeskrivningar innan gallring skapades en generell beskrivning för SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 2). Traktbeskrivningen var baserad på 2 000 trakter planerade för gallring mellan år 2019–2023.

¹ Anna Bylund, Avdelningschef verksamhetsutveckling produktion, SCA, E-post 2023-11

Tabell 2. Medel-, min- och max-värden för sju skogligaparametrar i SCA:s genomsnittliga gallringstrakt. Parametrarna anger värden innan utförd gallring och var baserade på 2 000 gallringar planerade mellan år 2019-2023 (Bylund²)

Table 2. Average-, minimum- and maximum value for a number of forest data parameters, for SCA:s average thinning stand. The parameters represent values before thinning and originates from planned thinnings between 2019 and 2023 (Bylund²)

Variabel	Medelvärde	Min	Max
Medelstamsvolym (m ³ fub)	0,09	0,03	0,30
Trädhöjd (m)	15,2	5,0	28,0
Brösthöjdsdiameter (cm)	18,0	15,0	28,0
Underväxttäthet (st/ha)	1073	0	20 000
Grundyta innan gallring (m ² /ha)	26,5	14,0	48,0
Stående volym innan gallring (m ³ sk/ha)	203,0	44,0	460,0
Gallringsstyrka (%)	31,0	3,7	62,5

2.3 SCA:s maskinsystem och gallringsmetod

När SCA utför gallringar använder de ett tvåmaskinsystem bestående av en skördare och en skotare, vilket tillsammans utgör en gallringsgrupp. De som utför gallringen var oftast anlitade entreprenörer som äger skogsmaskinerna och arbetar på kontrakt åt SCA, men SCA har även 23 maskinlag som de äger och driver själva (SCA skog 2023). Den vanligaste maskinstorleken som används var skördare eller skotare på mellan 11-18 ton, men andra maskinstorlekar förekommer också i viss omfattning (Tabell 3).

Tabell 3. Fördelning av maskinstorlek (vikt) för skördare respektive skotare vid SCA:s utförda gallringar mellan juli 2013 och augusti 2023

Table 3. Distribution of machine size (weight) for harvesters and forwards in thinnings performed by SCA between June 2013 and August 2023

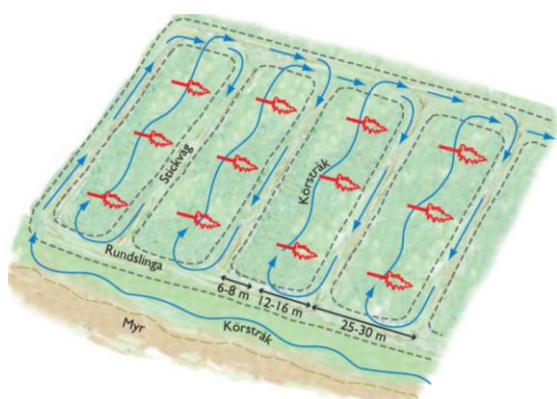
Skördare		Skotare	
Tjänstevikt (ton)	Andel	Tjänstevikt (ton)	Andel
<11,0	<0,1%	<11,0	0,0%
≥11,0 – ≤18,0	85,2%	≥11,0 – ≤18,0	83,1%
>18,0	14,8%	>18,0	16,9%

Den gallringsmetod som SCA använde på det egna skogsinnehavet och även rekommenderade på privat mark kallades för ”kvalitetsgallring”. Gallringsmetoden innebar att trädvalet i första hand inriktas mot att gynna de kvalitetsmässigt bästa träden. Det innebar att utifrån stamvalet i den aktuella trakten kunde gallringsformen för en kvalitetsgallring antingen vara en låg-, likformig- eller höggallring. Uttaget i en kvalitetsgallring skedde primärt av träd som var skadade, krokiga, frodvuxna och/eller grokvistiga. Det innebar att gallringsformen gynnar träd som var raka, finkvistiga och fria från defekter. SCA kunde dock genomföra

² Anna Bylund, Avdelningschef verksamhetsutveckling produktion, SCA, E-post 2023-11

gallringen med andra gallringsformer om skogsägaren önskade det (SCA skog 2010).

Oavsett gallringsform så var det normalt att SCA nyttjar ”slingerstråk” i sina gallringar (Figur 2). Slingerstråk innebär att skördaren gjorde ett körstråk mellan stickvägarna där den ”slingrar” sig mellan träden och lägger ut virke mot stickvägarna. Fördelarna med att nyttja slingerstråk var att avståndet mellan stickvägarna kunde öka till mellan 25–30 m, en mindre areal av den gallrade trakten bestod av stickväg och skotningen blev effektivare (SCA skog 2010).



Figur 2. Exempel på hur dragning av stickvägar ser ut när slingerstråk nyttjas i gallring. Figur lånad från SCA skog (2010).

Figure 2. Example of strip road placement in thinnings where harvesting corridors are being used. The figure originates from SCA forest (2010).

2.4 SCA:s röjningsgräns

SCA hade år 2024 en etablerad röjningsgräns på 5 000 st/ha, vilket var avsevärt högre än gränserna hos andra aktörer (Tabell 1). Att ha en hög röjningsgräns kunde dock innebära vissa fördelar, eftersom det leder till att färre underväxtröjningar utförs, vilket kunde vara ekonomiskt lönsamt. Samtidigt innebär nyttjandet av en röjningsgräns, även om den var hög, att de mest extrema nivåerna av underväxttäthet röjs bort och på så sätt minskar påfrestningen på maskinförarna.

Trots de teoretiska fördelarna med en hög röjningsgräns fanns det inga studier som har utvärderat om SCA:s röjningsgräns var tillräcklig för att skapa en hanterbar arbetsmiljö för maskinförarna, samtidigt som den minimerar behovet av underväxtröjning. Eftersom SCA årligen gallrar ut ungefär 1,3 Mm³ fub blev det än viktigare att underväxtröjningar endast utförs när de behövs. Annars var risken stor att underväxtröjningarna kostar onödigt mycket pengar, samt att de i onödan försämrar den biologiska mångfalden.

I trakter med hög och smal underväxt säger SCA:s riktlinjer att en underväxtröjning ska genomföras en vinter innan gallring, om det var praktiskt genomförbart. Det möjliggör för snön att trycka ner de röjda stammarna. För andra typer av underväxt saknas riktlinjer angående tidpunkten för när en underväxtröjning ska utföras (Johansson 2021).

2.5 Definition av parametrar

Arbetet använde totalt 20 oberoende variabler (Tabell 8) för att beräkna och utvärdera den påverkan som underväxttäteten innebar för gallringsarbetet. Ursprunget för majoriteten av dessa variabler var SCAs interna system MAST, där driftsdata från skördare och skotare sammanställs med manuellt registrerade uppgifter om trakten (exempelvis traktstorlek). Majoriteten av de använda variablerna importerades direkt från MAST, medan andra räknades fram utifrån befintliga variabler. Nedan följer definitioner, förklaringar, enhet och bakomliggande beräkningar för de beräknade variablerna, samt för de variabler som av annan anledning behövde förklaras ytterligare.

2.5.1 Underväxttätet

För att ett träd skulle definieras som underväxt inom SCA skulle tre kriterier uppfyllas (Tabell 1). Inventeringen av underväxttätet utfördes av avverkningsplaneraren enligt SCAs inventeringsinstruktioner (Bilaga 1) och angavs av SCA i enheten st/ha.

2.5.2 Maskinernas arbetstid

Den registrerade arbetstiden för varje enskild trakt uttrycktes i effektiv arbetstid T_{eff} (G₀-h/trakt) och definierades som total utnyttjad tid T_{tot} (tim/trakt) subtraherat med den totala avbrottstiden $T_{Avbrott}$ (tim/trakt).

2.5.3 Maskinernas produktivitet

Produktiviteten P i antal m³fub per effektiv arbetstimme (m³fub/G₀-h) beräknades för skotaren respektive skördaren enligt

$$P = \frac{V_{trakt}}{T_{eff}} \quad (\text{m}^3\text{fub/G}_0\text{-h}) \quad (\text{Funktion 1})$$

där V_{trakt} var den skördade volymen per trakt (m³fub/trakt).

2.5.4 Maskinernas avbrott

Tiden för respektive avbrottstyp (Tabell 4) registrerades i enheten timmar per trakt (tim/trakt), men beräknades om till enheten tim/ha. Nedan följer en förklaring hur beräkningarna utfördes, med reparationsavbrott TH_{rep} som räkneexempel

$$TH_{rep} = \frac{T_{rep}}{A_{trakt}} \quad (\text{tim/ha}) \quad (\text{Funktion 2})$$

där T_{rep} utgör total avbrottstid för reparation (tim/trakt) och A_{trakt} var traktens uppmätta areal (ha).

Tabell 4. Definitioner samt tidsgränser för sju olika avbrottstyper hos SCA skog (Bylund³)

Table 4. Definitions and time limits for seven different types of forest machine-interruptions at SCA Forest (Bylund³)

Avbrottstyp	Enhet	Tidsgräns	
		(min)*	Definition
TH _{rep}	tim/ha	>5	Nödvändiga reparationer utförs på maskinen, antingen av inhyrd mekaniker eller maskinförare.
TH _{väntan}	tim/ha	>5	Väntan på att inhyrd mekaniker ska komma till maskinen och utföra nödvändiga reparationer.
TH _{skötsel}	tim/ha	>5	Nödvändig eller planerad skötsel utförs på maskinen, nödvändig skötsel var t.ex. kedjebyte eller kalibrering av aggregat och planerad skötsel var t.ex. smörjning.
TH _{störning}	tim/ha	>5	Något ”stör” maskinföraren, kunde t.ex. vara ett besök av produktionsledaren eller markägaren.
TH _{trailer}	tim/ha	>5	Maskinen lastas på och flyttas med maskintrailer mellan två olika trakter.
TH _{flyttning}	tim/ha	>5	Maskinen förbereds inför flytt och ”hjular” sedan för egen maskin mellan två olika trakter.
TH _{små}	tim/ha	≤5	Maskinen står still i mindre än 5 minuter pga avbrott. Typiska exempel på småavbrott var kedjehopp eller kedjebyte.

* Tidsgräns utgör min-/maxgräns för hur länge ett avbrott måste/får pågå för att tillhöra avbrottstypen.

2.5.5 Skördad volym

Den volym som användes för beräkningarna i arbetet var den skördade volymen per trakt V_{trakt} ($\text{m}^3\text{fub/trakt}$). Skördad volym bestod antingen av skördarens inrapporterade volym per trakt ($\text{m}^3\text{fub/trakt}$) eller den vid industrin inmätta totalvolymen för trakten ($\text{m}^3\text{fub/trakt}$), beroende på vilken av de två som var störst.

2.5.6 Körskador

För att spårbildning i terräng skulle räknas som en körskada krävdes det att en spårbildning med ett djup av minst 10 cm förekomma på mer än 20 m/ha (SCA skog 2010). Inventeringen över körskador utfördes av SCA personal enligt givna inventeringsinstruktioner (Bilaga 3) och angavs som ett binärt värde med 1 om körskador förekom respektive 0 om körskador ej förekom i trakten.

2.5.7 Stamskador

En skada på ett kvarvarande träd efter gallring klassificerades som stamskada endast om mer än 15 cm^2 ved var synligt (SCA skog 2010). Inventeringen över stamskador utfördes av SCA personal enligt givna inventeringsinstruktioner (Bilaga 3). Variabeln uttrycks som andelen stamskadade huvudstammar av totalt antal kvarlämnad huvudstammar efter gallring (%/ha).

³ Anna Bylund, Avdelningschef verksamhetsutveckling produktion, SCA, E-post 2023-11

2.5.8 Snö

För att avgöra om en trakt hade gallrats i snö (binär) utgick arbetet från om ”snökorrektion” tilldelats till gallringsentreprenören som gallrade trakten. Om snökorrektion tilldelades ansågs det att snö förekom vid gallringsarbetet. Variabeln antog värdet 1 om snö förekom under gallring, annars var värdet 0.

2.5.9 Flerträdshantering

För att avgöra om en trakt gallrats med flerträdshanterande skördaraggregat (binär) utgick arbetet från om skördaren var utrustad med sådant aggregat eller inte. Det antogs att om skördaren var utrustad med funktionen så användes den. Variabeln antog värdet 1 om skördaren var utrustad med ett flerträdshanterande aggregat vid gallringen, annars var värdet 0.

2.5.10 Skördad volym/ha

Skördad volym per ha V_{ha} ($m^3\text{fub/ha}$) beräknades för varje enskild trakt enligt

$$V_{ha} = \frac{V_{trakt}}{A_{trakt}} \quad (m^3\text{fub/ha}) \quad (\text{Funktion 3})$$

2.5.11 Antal skördade träd/ha

Antal skördade träd per ha SkT_{ha} (st/ha) beräknades för varje enskild trakt enligt

$$SkT_{ha} = \frac{SkT_{trakt}}{A_{trakt}} \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 4})$$

där SkT_{trakt} (st/trakt) stod för totala antalet träd med en brösthöjdsdiameter ≥ 8 cm som gallrades ut ur trakten.

2.5.12 Skotningsavstånd

Genomsnittliga skotningsavståndet enkel väg S_{skot} (m) beräknades för varje enskild trakt enligt

$$S_{skot} = S_{terräng} + S_{bas} \quad (\text{m}) \quad (\text{Funktion 5})$$

där $S_{terräng}$ var det genomsnittliga avståndet av terrängkörning i trakten enkel väg (m) och S_{bas} var det genomsnittliga avståndet av basvägskörning i trakten enkel väg (m).

2.6 Utsortering av trakter

Det totala datasetet bestod av 17 579 trakter för skördaren och 15 306 för skotaren (Tabell 6). Ungefär 3,5% av trakterna var ej kompletta och exkluderades enligt kriterierna i Tabell 5. Utöver dessa förekom trakter utan fel i data, men med andra uppenbara felaktigheter. Exempelvis hade 1% av trakterna ett träduttag på över 2 000 st/ha, vilket ansågs osannolikt. För att utesluta sådana extremtrakter togs en enkel algoritm fram. Toleranserna i algoritmen innebar att trakter som mätts korrekt men har ovanliga observationer ändå tilläts ingå i datasetet. Gränsdragningen i uteslutningsalgoritmen (Tabell 5) härstammade från Eriksson och Lindroos (2014) samt egna beslut med stöd av Agestam (2015).

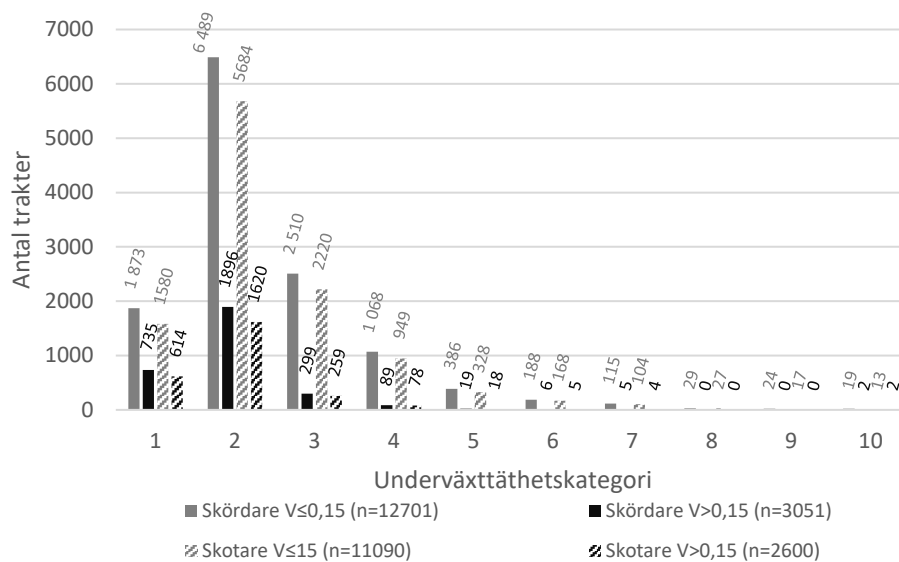
Tabell 5. Kriterium över vilka värden på variabler som bedömdes felaktiga samt kriterium för variabler i uteslutningsalgoritmen

Table 5. Criteria over which values of variables that were deemed inaccurate, and also criteria's for variables used in the exclusion-algorithm

Variabel	Enhet	Värde
Felaktig/ej komplett data		
Areal	Hektar	X=0
Produktivitet	M ³ fub/G ₀ -h	X=0
Uteslutningsalgoritm för irrelevant/ej verklighetstrogen data		
Volymuttag	M ³ fub/hektar	X<10 och X>200
Träduttag	Stammar/hektar	X<50 och X>2000
Medelstamsvolym	M ³ fub	X<0,03 och X>0,30
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	X≤1
Skotningsavstånd	Meter	X<10 och X>3000

Efter att uteslutningsalgoritmen tillämpats exkluderades ytterligare 8% av trakterna (Tabell 6). Fördelningen mellan egen skog och trädköp förblev oförändrad efter sorteringen, med 52% respektive 48%.

Efter att ha sorterat all data noterades en tydlig skillnad i spridningen av observationerna över underväxttäthetskategorierna beroende på medelstamsvolymen för skördar- och skotartrakterna (Figur 3). För trakter med en medelstamsvolym ≤0,15 m³fub befanns sig 85,5% av observationerna inom underväxttäthetskategorierna 1-3, medan motsvarande andel för trakter med en medelstamsvolym >0,15 m³fub var 96,0%. I underväxttäthetskategorierna 4-5 observerades 11,0% av observationerna för trakter med en medelstamsvolym ≤0,15 m³fub, jämfört med endast 4,0% för trakter med en medelstamsvolym >0,15 m³fub. För underväxttäthetskategorierna 6-10 noterades 3,0% av observationerna för trakter med en medelstam ≤0,15 m³fub, medan endast 0,4% av trakterna med en medelstamsvolym >0,15 m³fub (Figur 3).



Figur 3. Skördar- och skotartrakternas fördelning över underväxttäthetskategorier, uppdelat på trakter med en skördad medelstamsvolym (m^3fub) mellan $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) respektive $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$). Antalet observationer är angivet över respektive stapel.

Figure 3. Distribution of harvesting and forwarding sites across undergrowth density categories, divided into sites with an averaged harvested stem volume (m^3fub) between $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) or $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$). The number of observations is indicated above each bar.

Dessa skillnader i spridningen av observationer över underväxttäthetskategorierna beroende på medelstamsvolymen bedömdes tillräckligt stora för att motivera en uppdelning av datasetet i två olika delar, vilket möjliggjorde analys av de olika datafördelningarna var för sig. Därför beslutades det att dela upp datasetet i två olika medelstamsvolymklasser, $V \leq 0,15$ och $V > 0,15$ (Tabell 6).

Tabell 6. Antalet gallringstrakter i datasetet före och efter exkludering av felaktig data, applicering av uteslutningsalgoritmen samt efter indelning i de två medelstamsvolymklasserna $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) och $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$)

Table 6. The number of thinning stands in the dataset before and after the exclusion of inaccurate data, the application of the exclusion-algorithm and after the division into the two mean stem volume classes, $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) and $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$)

	Antal skördartrakter			Antal skotartrakter		
	Egen skog	Privat skog	Totalt	Egen skog	Privat skog	Totalt
Innan utsorteringar*	9 058*	8 208*	17 579	8 047*	7 088*	15 306
Efter exkludering av felaktig data	8 858	8 113	16 971	7 895	6 983	14 878
Efter applicering av uteslutningsalgoritmen	8 107	7 645	15 752	7 158	6 532	13 690
$V \leq 0,15$	6 225	6 476	12 701	5 530	5 560	11 090
$V > 0,15$	1 882	1 169	3 051	1 628	972	2 600

*171 skotartrakter och 313 skördartrakter saknar information om ursprung (Egen skog eller privat skog)

I det slutgiltiga datasetet var antalet skördartrakter 2 062 stycken fler än skotartrakterna (Tabell 6). Det berodde på att trakter som enbart hade körts med en skotare inte kunde analyseras på grund av avsaknad data, såsom underväxttäthet

och medelstamsvolym, vilket endast registrerades på trakter där en skördare hade arbetat. För att analysera data för skotaren krävdes att en skördare också hade kört trakten, medan alla trakter där en skördare kört kunde analyseras, oavsett om en skotare hade arbetat i trakten eller inte.

2.7 Sammanställning av data från SCA trakt

SCA utför årligen ett stort antal gallringsuppföljningar på slumpmässigt utvalda trakter. Insamlad data från gallringsuppföljningarna lagras sedan i databasen SCA trakt. I varje gallringsuppföljning kvantifieras bl.a. andelen stamskador (%/ha) och körskador. I studien användes data över kör- och stamskador från genomförda gallringsuppföljningar för att bedöma om förekomsten av skador förändras vid högre underväxttäthet.

Datasetet innehöll totalt 1 001 gallringsuppföljningar, men majoriteten av dessa saknade information om i vilken trakt respektive gallringsuppföljning var utförd. Om en gallringsuppföljning ej kunde kopplas till en trakt innebar det att data från den gallringsuppföljningen inte kunde analyseras. Det medförde att det analyserade datasetet, efter genomförda sorteringar (Tabell 5), endast bestod av 33 trakter för körskador och 120 trakter för stamskador. I dessa trakter förekom körskador i 27 (82%) och förekom ej i 6 (18%), medan för stamskador var siffrorna 51 (42%) respektive 69 (58%).

2.8 Logaritmering, kategorisering och hantering av nollvärdesproblematik

De statistiska analyserna krävde transformering av data, vilket gjordes genom att all numerisk data transformerades till dess naturliga logaritm. Det gjordes för att samtliga variabler skulle uppnå OLS-regressionens antaganden om normalfördelning. Det fanns dock flertalet variabler i datasetet som ej var normalfördelade men innehöll nollvärden, vilket innebar att de ej kunde transformeras till dess naturliga logaritm. Dessa variabler var underväxttäthet, gran-, löv-, och tall andel samt maskinavbrott. För att möjliggöra en inkludering av dessa variabler i de statistiska analyserna krävdes en transformering av variablerna, vilket antingen innebar kategorisering av variabeln eller exkludering av dess nollvärden.

Underväxttätheten var ursprungligen en kontinuerlig variabel i enheten st/ha. Majoriteten av observationerna var dock i eller omkring jämna tusental med få observationer däremellan och det bedömdes därför lämpligt att kategorisera variabeln. Underväxttätheten delades upp i 10 kategorier (1-10), (Bilaga 2).

Gran-, löv-, och tall andel var ursprungligen tre kontinuerliga variabler uttryckta som procentandelen av volymen för respektive trädslag i förhållande till den totala volymen för hela trakten. Att ha trädslagsandel som en kontinuerlig variabel bedömdes dock svårtolkat och en kategorisering av variablerna skulle göra de mer tillämpbara i praktiken. Det bedömdes därför lämpligt att kategorisera variablerna.

Kategoriseringen av dessa variabler innebar att observationer av gran-, löv-, och tall andel kunde samlas i 11 olika kategorier, (Bilaga 2).

Maskinavbrotten (Tabell 4) var variabler som efter omräkning uttrycktes i enheten tim/ha. För att hantera nollvärdena i dessa variabler föll valet på att exkludera samtliga observationer där avbrottsmängden var 0 tim/ha. Bedömningen var att då analyserna enbart fokuserade på att undersöka sambandet mellan mängden avbrott och underväxttätheten i de trakter där avbrott förekom, utgjorde det inget problem att exkludera de observationer där inga avbrott förekom.

2.9 Kompletterande fältinventering

För att utvärdera eventuella osäkerheter i den rapporterade mängden underväxttäthet genomfördes en fältinventering enligt instruktionerna i Bilaga 4. Inventeringsmetoden baserades på metoder beskrivna i Holm (2012) och liknar den metoden som används av Riksskogstaxeringen (Riksskogstaxeringen 2023a).

Ett bekvämlighetsurval utfördes bland SCA:s aktuella gallringstrakter, där kriterierna var att trakten låg inom 80 km från Umeå, var planerad för gallring men ej gallrad och hade en underväxttäthet $\geq 2\,500$ st/ha. Urvalet bestod av totalt 25 trakter, varav 10 stycken valdes slumpmässigt för fältinventeringen (Tabell 7). Två av trakterna uteslöts från urvalet eftersom de hade gallrats innan inventeringen kunde genomföras.

Tabell 7. Beskrivning, areal och avverkningsplanerarens uppskattning av underväxttätheten (AUT) för de trakter där en fältinventering av underväxttätheten genomfördes

Table 7. Description, area, and the forest managers estimate of undergrowth density (AUT) for the thinning stands where a field inventory of the undergrowth density was performed

Nr	Område	Typ	Areal (ha)	AUT (st/ha)
1	Holmfors	Egen skog	5,1	4333,0
2	Holmfors	Egen skog	9,0	3266,0
3	Holmfors	Egen skog	14,0	2900,0
4	Nordanbäck	Privat	2,2	4000,0
5	Fällfors	Egen skog	8,1	3550,0
6	Fällfors	Egen skog	2,1	3467,0
7	Abborrtjärn	Egen skog	6,3	3000,0
8	Ramsele	Egen skog	5,1	2900,0

2.9.1 Bearbetning av fältinventeringsdata

All insamlad data från fältinventeringarna sammanställdes och beräkningar utfördes. Nedan följer definitioner, förklaringar, enheter och bakomliggande beräkningar för alla parametrar som ingick i fältinventeringen.

2.9.1.1 FUT

Den genomsnittliga fältinventerade uppskattningen av underväxttätheten (FUT) per trakt (st/ha) inventerades, enligt inventeringsinstruktionerna bifogade i Bilaga 4, och beräknades enligt

$$UT_{\text{fält}} = UV_{\text{prov}} \times 400 \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 6})$$

$$FUT = \frac{\sum(UT_{\text{fält}})}{N} \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 7})$$

där UV_{prov} var det inventerade antalet underväxtstammar i provyta n (st), 400 var antalet provytor som ryms på en ha, $UT_{\text{fält}}$ var den inventerade underväxttätheten i provyta n (st/ha) och N var det totala antalet inventerade provytor per trakt.

2.9.1.2 Differens mellan FUT och AUT

Beräkningen över differensen mellan FUT och avverkningsplanerarnas uppskattning av underväxttätheten (AUT) per trakt $|DIFF_{UT}|$ (st/ha) beräknades i absoluta värden enligt

$$|DIFF_{UT}| = |FUT - AUT| \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 8})$$

2.9.1.3 Medelvärde över differensen mellan AUT och FUT

Medelvärdet för differensen mellan AUT och FUT för samtliga trakter M_{DIFF} (st/ha) beräknades i absoluta värden enligt

$$M_{DIFF} = \frac{\sum(|DIFF_{UT}|)}{T_{FUT}} \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 9})$$

där T_{FUT} var det totala antalet inventerade trakter i FUT.

2.9.1.4 Standardavvikelsen över differensen mellan AUT och FUT

Standardavvikelsen över differensen mellan AUT och FUT för samtliga områden SD_{DIFF} (st/ha) beräknades enligt

$$SD_{DIFF} = \sqrt{\frac{\sum(|DIFF_{UT}| - M_{DIFF})^2}{T_{FUT}}} \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 10})$$

2.9.1.5 Standardavvikelsen mellan provytorna i FUT

Standardavvikelsen mellan provytorna i FUT för varje trakt SD_{FUT} (st/ha) beräknas enligt

$$SD_{FUT} = \sqrt{\frac{\sum(UT_{fält} - FUT)^2}{N}} \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 11})$$

2.9.1.6 Medelvärde över standardavvikelsen i FUT

Medelvärdet över standardavvikelsen mellan provytorna i FUT för samtliga trakter MSD_{FUT} (st/ha) beräknades enligt

$$MSD_{FUT} = \frac{\sum(SD_{FUT})}{T_{FUT}} \quad (\text{st/ha}) \quad (\text{Funktion 12})$$

2.10 Statistiska analyser

2.10.1 Regressionsanalyser – modellbeskrivning

I regressionsanalyserna utvecklades nio modeller för att undersöka underväxtens påverkan på respektive beroende variabel. Det bestod av fyra modeller för produktivitet, fyra för avbrott, och en för stamskador. Produktivitets- och avbrottsmodellerna inkluderade en modell för $V \leq 0,15$ och en för $V > 0,15$, för både skördaren och skotaren. De oberoende variabler som användes i analyserna finns beskrivna i Tabell 8, (se Bilaga 6 för detaljerade värden för respektive modell). De beroende variabler som studerades var P, $TH_{skötsel}$, TH_{rep} , $TH_{små}$, TU samt stamskador.

Tabell 8. De oberoende trakt- och maskinvariabler som testades vid framtagandet av modellerna över underväxtens påverkan på produktivitet, avbrott och stamskador. Medelvärde, standardavvikelse (SD) och min/max värden var summerade för samtliga studerade trakter. Uppgifter om dataursprung härstammar från Bylund⁴ samt Eriksson och Lindroos (2014)

Table 8. The independent stand- and machine-variables that were tested in the models that determine the effect of undergrowth on machine-productivity, interruptions, and stem damages. Mean value, standard deviation (SD) and min/max values was summarized for all studied stands. Information about data origin derives from Bylund⁴ and Eriksson and Lindroos (2014)

Variabel	Enhet	Medelvärde	SD	Min	Max	Dataursprung
Tillämpade på samtliga modeller						
Träd uttag totalt	Stammar/trakt	7193	8365	59,0	123479	A
Träd uttag	Stammar/hektar	556,7	294,9	50,09	1992	M/A ^a
Volymuttag	m ³ fub/hektar	55,14	27,22	10,01	199,9	M/A ^a
Medelstamsvolym	m ³ fub	0,1131	0,0502	0,0300	0,3000	A
Skördad volym	m ³ fub	704,2	782,1	10,60	10428	A
Traktareal	Hektar	14,54	16,36	1,000	252,0	M
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	61,65	68,42	1,050	813,4	A
Lutning	1-5	1,744	0,5363	1,0	4,6	M
Ytstruktur	1-5	1,839	0,5472	1,0	5,0	M
Andel gran	1-11	3,232	2,489	1	11	A
Andel löv	1-11	2,040	1,521	1	11	A
Andel tall	1-11	7,727	3,187	1	11	A
Underväxttäthet	1-10	2,357	1,165	1	10	M
Snö	0/1	0,1393	-	0	1	M
Tillämpade på endast skördarmodelleringen av produktivitet, avbrott samt stamskador						
Antal sortiment	Styck	3,570	0,8911	1,0	7,0	M
Flerträd	0/1	0,8051	-	0	1	M
Tillämpade på endast skotarmodelleringen för produktivitet och avbrott						
Antal sortiment	Styck	4,191	1,090	1,0	15,0	M
Totalt antal lass	Styck	61,62	65,70	1,0	858,0	A
Skotningsavstånd	Meter	432,3	266,7	23,00	2725	M
Medel lassvolym	m ³ fub/lass	12,04	2,165	5,082	24,86	A

A=automatiskt insamlad samt registrerad data, M=Manuellt insamlad samt registrerad data, A^a=Volym/totalt antal träd automatiskt mätt, traktareal manuellt mätt.

⁴ Anna Bylund, Avdelningschef verksamhetsutveckling produktion, SCA, E-post 2023-11

De statistiska modellerna utvecklades genom linjär regression med OLS-metoden, baserade på en stegvis regressionsmetod med framåtvalsprincip. Analysprocessen för samtliga modeller inkluderade följande steg:

1. Data importerades från MAST och SCA trakt till Excel, för databehandling. Därefter importerades data från Excel till Rstudio (version 2023.03.0), där tidigare beskriven filtrering, indelning i medelstamsvolymklasser och logaritmering utfördes.
2. En enkel linjär regression utfördes där underväxttäthet alltid var den första oberoende variabeln i modellen.
3. Ett parametriskt korrelationstest med Pearsons korrelationskoefficient genomfördes mellan residualerna av den linjära regressionsmodellen och samtliga oberoende variabler.
4. En manuell framåtstegsregression utfördes där den oberoende variabeln som hade högst korrelationskoefficient och uppfyllde de förutbestämda inklusionskriterier (Tabell 9) inkluderades i modellen.
5. Kontinuerliga analyser av modellens standardiserade residualer genomfördes för att säkerställa att de följer OLS-regressionens antaganden om linjäritet, oberoende variabler, normalfördelning och konstant varians. VIF-analyser genomfördes kontinuerligt för att upptäcka och hantera eventuell multikollinearitet.
6. Steg 3-4 upprepades sedan vart efter att en ny variabel inkluderats i modellen, tills att något av följande inträffade:
 - a. Antalet oberoende variabler i modellen nådde fyra för skördarmodellerna och sex för skotarmodellerna, eller
 - b. Ingen ytterligare oberoende variabel uppfyllde de fördefinierade inklusionskriterierna.

Efter att en modell hade utvecklats, genomfördes varje analys en andra gång för att minimera risken för fel i den manuella processen.

Tabell 9. De inklusionskriterier som användes i de OLS-framåtriktade stegvisa regressionsmodellerna

Table 9. The inclusions criteria that were used in the OLS-stepwise forward regression models

Variabel	Inklusionskriterium
VIF	Ny oberoende variabel måste leda till att VIF förblir <5
Adjusted R ²	Ny oberoende variabel måste leda till en ökning i adjusted-R ² på ≥0,01 (1%)
P-värde	Ny oberoende variabel måste vara statistiskt signifikant (p-värde <0,05)

Modellerna som framkom från analysprocessen bedömdes enligt tre kriterier, (Tabell 10). Kriteriernas syfte var att filtrera bort modeller som ej var statistiskt signifikanta, ej uppvisade en signifikant påverkan av underväxttäthet och/eller hade en för låg förklaringsgrad. Modeller som inte uppfyllde samtliga kriterier i Tabell 10 exkluderades.

Tabell 10. De modellkriterier som användes för att filtrera bort ej signifikanta modeller samt modeller med för låg andel förklarad variation

Table 10. The model criteria's that were used to filter out non-significant models and models with to low proportion of explained variation

Variabel	Modellkriterium
Adjusted R ²	Modellens adjusted R ² måste vara >20%
P-värde (modell)	Modellen måste vara statistiskt signifikant (p-värde <0,05)
P-värde (Underväxttäthet)	Variabeln underväxttäthet måste vara statistiskt signifikant (p-värde <0,05)

För att uppfylla antagandet om normalfördelning för OLS-regressionen krävdes att majoriteten av de numeriska variablerna (både oberoende och beroende) i analysen omvandlades till sina naturliga logaritmer. När de beroende variablerna omvandlades krävde det att resultatet återfördes till den numeriska skalan för att vara tillämpliga i praktiken. För att korrigera för det s.k. "logarithmic bias" som uppstår vid denna typ av återföring användes en metod som involverar att addera $(RSE/2)^2$ (Residual Standard Error) till modellens intercept innan återföringen (Baskerville 1972; Zeng & Tang 2011).

2.10.2 T-tester och korrelationsanalys

2.10.2.1 Skillnad mellan AUT och FUT

Sambandet mellan de två delpopulationerna AUT och FUT undersöktes med ett students t-test (med signifikansnivån på 5%) för att avgöra om det kunde uteslutas att det noterade sambandet var orsakat av slumpen.

2.10.2.2 Korrelation mellan FUT och AUT

Tre linjära regressionsanalyser utfördes mellan FUT och AUT för att undersöka förekomsten av statistiska samband. Analyserna utfördes i Rstudio (med signifikansnivån på 5%) mellan variablerna $|UT_{DIFF}|$ och SD_{FUT} , SD_{FUT} och A_{trakt} samt $|UT_{DIFF}|$ och A_{trakt} .

2.10.2.3 Korrelation mellan underväxttäthet och körskador

Ett Chi²-test utfördes mellan underväxttätheten (kategorisk variabel) och förekomsten av körskador (Binär). Analysen utfördes i Rstudio med en signifikansnivå på 5%.

2.11 Kostnadsanalyser

2.11.1 Sammanställning av underväxtens påverkan

Effekten av underväxttäthets påverkan på drivningsarbetet sammanställdes och användes som underlag för en kostnadsanalys för att bedöma hur underväxttätheten påverkar gallringskostnaden (kr/m³fub) för både skördaren, skotaren och hela drivningssystemet. Förändringen i gallringskostnaden för hela drivningssystemet jämfördes sedan med den motsvarande underväxtröjningskostnaden (kr/m³fub) vid likvärdig underväxttäthet.

För att genomföra analyserna antogs en skördarkostnad, omräknad till G₀-tid, på 1 315 kr/G₀-h och en skotarkostnad på 1 135 kr/G₀-h (Andersson et al. 2022). För omräkning av G₁₅-h till G₀-h användes konstanten 1,08 G₁₅-h/G₀-h (Jonsson 2013). Analyserna utfördes på SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 11). I analyserna varierades underväxttätheten och medelstamsvolym medan övriga variabler var låsta till respektive värde i medelgallringstrakten. Underväxttätheten varierade mellan 1000 och 8000 st/ha och en medelstamsvolym mellan 0,03–0,15 m³fub. Kostnadsanalyserna utfördes i Excel.

2.11.2 Beräkning av underväxtröjningens kostnader

Tidsåtgången för en underväxtröjning uppskattades genom att använda prognosfunktioner framtagna av SLA Norr (1991), där tidsåtgången anges i G₁₅-tid och var beroende av mängden underväxttäthet, medelhöjden på röstammarna och korrektionsfaktorer. Korrektionsfaktorer (%) avser hinder såsom ojämn terräng (förflyttningshinder), hinder för sågning (sågningshinder) och andel granar med lågt sittande grenar. Den maximala korrektionsfaktorn i prognosfunktionen var 130%, det vill säga mer än dubbelt så lång tid (SLA Norr 1991; Gustavsson 2016). I studien beräknades underväxtröjningskostnaden för en medeltrakt med en antagen korrektionsfaktor på hälften av det maximala (65%). Kostnaden för röjningen K_{röj} (kr/G₀-h) beräknades utifrån en dagsverkskostnad på 3 040 kr. Med en arbetstid på 8 tim/dag blev timkostnaden 380 kr/G₁₅-h och omräknad till G₀-h (med konstanten 1,08 (Jonsson 2013)) var kostnaden 410 kr/G₀-h (Brus 2023).

2.11.2.1 Prognosfunktioner för underväxtröjningens tidsåtgång

Beräkningen av tidsåtgången för röjning av underväxt T_{UR} (min/ha) utfördes enligt

$$T_{UR} = \left(\frac{0,765 * ((15,08 * UT_K) + (9,5 * UT_K * H_{Undv}) - (0,15 * UT_K^2 * H_{Undv}) + 91)}{0,15 * UT_K^2 * H_{Undv} + 91} \right) \quad (\text{min/ha}) \quad (\text{Funktion 13})$$

där UT_K var traktens underväxttäthet i tusental (Kst/ha) och H_{Undv} var underväxtens höjd (m).

Den totala tidsåtgången för underväxtröjningen T_{totUR} inklusive korrektionsfaktorerna och avbrottstiden beräknades enligt

$$T_{totUR} = \left(T_{UR} * \frac{(100 + R_{kor})}{100} \right) \quad (\text{min/ha}) \quad (\text{Funktion 14})$$

där R_{kor} var summan av korrektionsfaktorerna (%).

2.11.2.2 Underväxtröjningskostnad per m^3 fub

Underväxtröjningskostnaden per m^3 fub K_{UR} (kr/ m^3 fub) beräknas enligt

$$\frac{\left(\frac{T_{totUR}}{60} \right) * TK_{röj}}{V_{ha}} = K_{UR} \quad (\text{kr}/m^3\text{fub}) \quad (\text{Funktion 15})$$

där $TK_{röj}$ var timkostnaden för röjning (kr/ G_0 -h) och 60 var antalet minuter på en timme.

2.12 Känslighetsanalyser

2.12.1 Modellering baserad på FUT

Två känslighetsanalyser utfördes för att undersöka hur skördarkostnaden påverkades om FUT användes istället för AUT i de åtta inventerade trakterna (Tabell 7). I varje trakt korrigerades underväxttätheten med det genomsnittliga positiva eller negativa värdet av absolutdifferensen mellan AUT och FUT.

För att bedöma de praktiska effekterna av differensen mellan AUT och FUT användes SCA:s nuvarande produktivetskorrektion från bortsättningsunderlaget, vilket var -0,0025% per underväxtstam (st/ha) (Johansson 2020). Beräkningar utfördes med värden från SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 11) och med den tidigare antagna skördarkostnaden.

Att utföra motsvarande analys för skotarkostnaderna var ej möjligt eftersom SCA inte korrigerade skotarens produktivitet efter underväxttäthet i bortsättningsunderlaget. Följaktligen fanns ingen tillgänglig produktivetskorrektion.

2.12.2 Underväxtens påverkan vid olika traktförutsättningar

För att simulera hur de av underväxt orsakade merkostnaderna och den eventuella röjningsgränsen förändras under andra förutsättningar genomfördes tre olika känslighetsanalyser. Först simulerades hur de kostnader som orsakats av underväxttätheten påverkas om traktförutsättningarna förändras. Tre olika uppsättningar av medelstamsvolym, volymuttag, lassvolym, skotningsavstånd, effektiv arbetstid och skördad volym användes för detta ändamål (Tabell 11).

Tabell 11. Beskrivning över traktförutsättningarna i SCA:s medelgallringstrakt samt tre olika exempeltrakter vid $0,03 \geq X \leq 0,15 \text{ m}^3\text{fub}$. De tre exempeltrakterna var ”dålig trakt med liten skotare”, ”bra trakt med stor skotare” och ”bra trakt med lågt volymuttag och stor skotare”

Table 11. Description of stands characteristics in SCA's mean thinning-stand and three different stand types for $0,03 \geq X \leq 0,15 \text{ m}^3\text{fub}$. The three stand types was "bad stand, with small forwarder", "good stand with big forwarder" and "good stand with low volume extraction and big forwarder"

	Trakt			
	SCA:s medelgallrings- trakt	”Dålig trakt”, med liten skotare	”Bra trakt”, med stor skotare	”Bra trakt”, lågt volym- uttag och stor skotare
Medelstamsvolym (m^3fub)	0,093	0,045	0,090	0,090
Volymuttag ($\text{m}^3\text{fub/ha}$)	52,0	25,0	75,0	25,0
Lassvolym ($\text{m}^3\text{fub/lass}$)	12,2	10,0	18,0	18,0
Skotningsavstånd (m)	444,4	750,0	250,0	250,0
Effektiv arbetstid ($G_0\text{-h}$)	65,8	50,0	115,0	47,0
Skördad volym (m^3fub)	696	300	1200	500

I en andra känslighetsanalys genomfördes simuleringar för att undersöka hur drivningskostnaden och röjningsgränsen förändrades om underväxttäthetens påverkan på produktiviteten var större i verkligheten än vad de statistiska modellerna visade. För att simulera en ökad påverkan gjordes koefficienten för underväxttätheten två- (100%) respektive 10 gånger (900%) större än det normala. För skotaren multiplicerades koefficienten för underväxttäthet med -2 och -10 för att även undersöka effekterna på skotaren om ökad underväxttäthet hade resulterat i en sänkt produktivitet.

Ytterligare en analys utfördes där FUT användes istället för AUT i beräkningarna över underväxttäthetens påverkan på drivningskostnaderna. Eftersom differensen mellan FUT och AUT beräknades i absoluta värden analyserades effekten av positiva (+FUT) eller negativa (-FUT) differenser.

2.12.3 Förändring av röjnings- samt maskinkostnader

För att simulera hur lönsamheten för underväxtröjning påverkas om de antagna röjnings, skördar- och skotarkostnaderna ($\text{kr}/G_0\text{-h}$) var annorlunda genomfördes tre kostnadsanalyser med nya scenarion. Dessa scenarion var följande:

- $\pm 10\%$ förändrad röjningskostnad med oförändrade maskinkostnader.
- $\pm 10\%$ förändrad skotarkostnad med oförändrade övriga kostnader.
- $\pm 10\%$ förändrad skördarkostnad med oförändrade övriga kostnader.

Analyserna utfördes i Excel med traktförutsättningarna från SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 11).

2.13 Intervjustudie med gallringsentreprenörer

För delsyfte 5 genomfördes en kvalitativ studie där gallringsentreprenörer intervjuades med avseende på effekter av underväxt och dess påverkan på maskinförarnas arbetsmiljö. Utifrån arbetets begränsade tidsplan gjordes ett slumpmässigt urval av tre respondenter. För att säkerställa en jämn geografisk representation av respondenterna delades SCA:s verksamhetsområden in i tre huvudområden, (Tabell 12), och därefter valdes en respondent från varje huvudområde. Urvalet genomfördes från en lista över SCA:s samtliga gallringsentreprenörer (Tabell 12). Om den första utvalda respondenten valde att inte delta i studien, valdes en ny respondent slumpmässigt ut från samma huvudområde. Totalt kontaktades två entreprenörer från varje huvudområde, men två kunde inte nå (område Mitt och Syd) och en hade inte tid att delta (Nord). Samtliga entreprenörer deltog frivilligt i studien och var medvetna om studiens syfte.

Tabell 12. Det totala urvalet av gallringsentreprenörer inom SCA:s huvudområden och deras respektive verksamhetsområden

Table 12. The total number of thinning contractors in SCA:s main working areas and in each respective operation areas

Huvudområde	Verksamhetsområden	Antal entreprenörer
Nord	<i>Piteå</i>	14
Mitt	<i>Umeå</i>	10
Syd	<i>Strömsund, Sollefteå, Östersund, Ånge och Sundsvall</i>	39
Totalt		63

Intervjuerna genomfördes som telefonintervjuer, med totalt 14 frågor uppdelat i tre delar (Bilaga 5). Respondenterna fick ta del av frågorna 7-14 dagar innan intervjuerna. Tidsåtgången för varje intervju varierade mellan 1 till 2 timmar. Anteckningar fördes under intervjuerna och renskrevs direkt efter varje intervju. Respondenterna anonymiserades och fick namnen Nord, Mitt och Syd baserat på respektive huvudområde där de var verksamma (Tabell 12). Respondenter var medvetna om att de skulle vara anonyma redan när intervjuerna bokades. De relevanta delarna, för att uppnå delsyfte 5, presenterades i resultatavsnittet, medan intervjuerna i sin helhet återfinns i Bilaga 5.

3 Resultat

3.1 Underväxttäthetens påverkan på produktivitet

3.1.1 Skördare

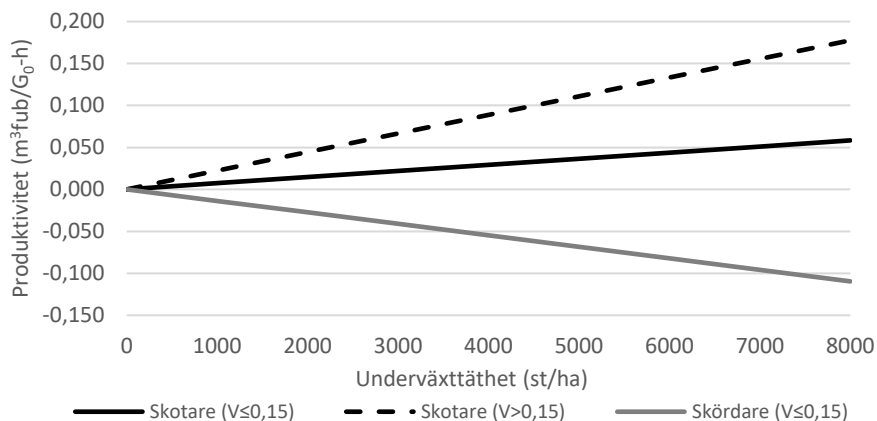
För $V \leq 0,15$ innebar en ökad underväxttäthet att skördarproduktiviteten sänktes med $0,014 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$ (-0,117%) per underväxttäthetskategori. Vid den högsta undersökta underväxttätheten (8000 st/ha) var skördarproduktiviteten $0,110 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$ lägre jämfört med när underväxttätheten var 0 st/ha (Bilaga 7).

Modellerna för $V > 0,15$ uppfyllde inte inklusionskriterierna (Tabell 10) och exkluderades (Bilaga 7).

3.1.2 Skotare

För $V \leq 0,15$ innebar en ökad underväxttäthet att skotrarproduktiviteten ökade med $0,007 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$ (0,059%) per underväxttäthetskategori (Figur 4). Vid den högsta undersökta underväxttätheten (8000 st/ha) var skotrarproduktiviteten $0,058 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$ högre jämfört med när underväxttätheten var 0 st/ha (Bilaga 7).

Ett positivt samband observerades för $V > 0,15$, där skotrarproduktivitet ökade med $0,022 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$ per underväxttäthetskategori (Figur 4). Vid den högsta undersökta underväxttätheten (8000 st/ha) var skotrarproduktiviteten $0,178 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-h}$ högre jämfört med när underväxttätheten var 0 st/ha (Bilaga 7).



Figur 4. Underväxttäthetens påverkan på skotar- och skördarproduktivitet (m^3fub/G_0-h) i trakter med en medelstamsvolym mellan $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) och $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$) jämfört med när ingen underväxt förekom.

Figure 4. The impact of undergrowth density on forwarder- and harvester-productivity (m^3fub/G_0-h) in stands with a mean stem volume between $0,03 \geq X \leq 0,15 m^3fub$ ($V \leq 0,15$) and $0,15 > X \leq 0,30 m^3fub$ ($V > 0,15$) compared to when no undergrowth was present.

3.2 Underväxttäthetens påverkan på avbrott

3.2.1 Skördare

För $V > 0,15$ minskade skördarens skötselavbrott med 0,062 tim/ha per underväxttäthetskategori och småavbrotten med 0,090 tim/ha per underväxttäthetskategori (Bilaga 7). Det innebär att mängden skötsel- och småavbrott minskade när underväxttätheten ökade.

Resterande skördaravbrottstyper, för båda medelstamsklasserna, uppnådde ej inklusionskriterierna (Tabell 10) och exkluderades (Bilaga 7).

3.2.2 Skotare

För $V > 0,15$ minskade skotarens skötselavbrott med 0,082 tim/ha per underväxttäthetskategori och småavbrotten med 0,108 tim/ha per underväxttäthetskategori (Bilaga 7). Det innebär att mängden skötsel- och småavbrott minskade när underväxttätheten ökade.

Övriga typer av skotaravbrott, för båda medelstamsklasserna, uppfyllde inte inklusionskriterierna (Tabell 10) och exkluderades (Bilaga 7).

3.3 Underväxttäthetens påverkan på skador

Det utförda Chi²-testet mellan underväxttäthet och körskador visade på en icke signifikant korrelation (p-värde=0,162). Det indikerar att det inte fanns något statistiskt signifikant samband mellan mängden underväxttäthet och förekomsten av körskador.

Regressionsanalyserna kunde inte påvisa något statistiskt signifikant samband mellan underväxttäthet och förekomsten av stamskador (Bilaga 7).

3.4 Kontrollmätning av underväxttäthet

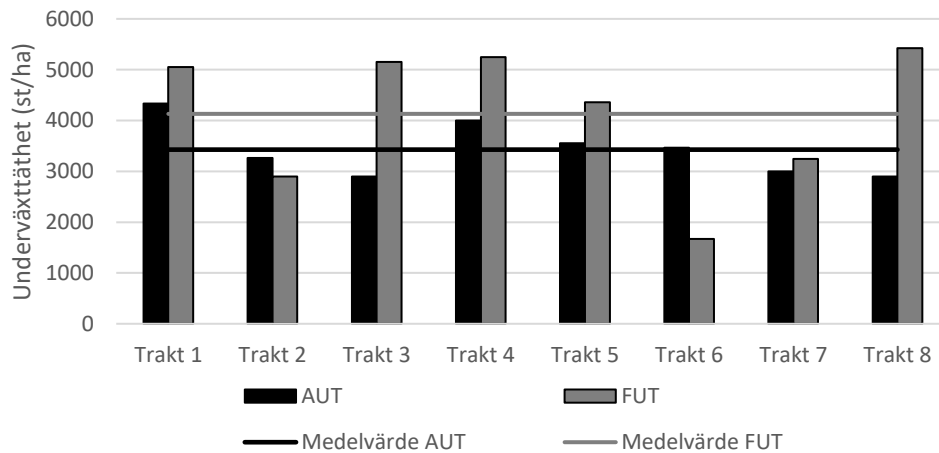
De utförda analyserna av fältinventeringsdata (Tabell 13) visade att medelvärdet av differensen mellan AUT och FUT i absoluta tal var 1246 st/ha med en standardavvikelse på 861 st/ha. Det innebär att FUT i genomsnitt avvek med 25% från AUT. Standardavvikelsen mellan provytorna i FUT för varje trakt var i genomsnitt 2138 st/ha, med ett maximalt värde på 3215 st/ha.

Tabell 13. Resultat och beräkningar av den fältinventerade uppskattningen av underväxttätheten (FUT) i åtta olika trakter planerade för gallring, alla belägna inom en radie av 80 km från Umeå. Avverkningsplanerarens uppskattning av underväxttätheten (AUT) inkluderades som ett referensvärde

Table 13. Result and calculations for the field-invented estimation of undergrowth density (FUT) in eight different stands planned for thinning and located within a radius of 80 km from Umeå. The forest manager's estimation of undergrowth density (AUT) was included as a reference value

Område	Antal ha	AUT (st/ha)	FUT (st/ha)	Differens mellan AUT och FUT	Standardavvikelse mellan provytorna i FUT
1	5,1	4333	5055	722	3178
2	9,0	3266	2900	366	940
3	14,0	2900	5150	2250	2901
4	2,2	4000	5250	1250	3215
5	8,1	3550	4360	810	2051
6	2,1	3467	1667	1800	745
7	6,3	3000	3244	244	1935
8	5,1	2900	5422	2522	2134
Medel		3427	4131	1246	2138

I två områden var FUT lägre än AUT och i övriga sex var FUT högre. Dessutom var medelvärdet av FUT i genomsnitt 704 st/ha högre än för AUT (Figur 5). Att medelvärdet för FUT översteg AUT tyder på att fältinventeringen i genomsnitt skattade underväxttätheten högre än vad SCA:s avverkningsplanerare gjorde.



Figur 5. Jämförelse mellan avverkningsplanerarens (AUT) och fältinventeringens uppskattning av underväxttäthet (FUT) i åtta olika trakter planerade för gallring, alla inom en radie av 80km från Umeå. Medelvärdet av FUT och AUT i samtliga trakter inkluderades som referensvärde.

Figure 5. A comparison between the forest managers estimation of undergrowth density (AUT) and the field inventoried estimation of undergrowth density (FUT) in eight different stands planned for thinning and located within a radius of 80km from Umeå. The mean value of FUT and AUT for all the stands was included as a reference value.

Ingen av de tre genomförda regressionsanalyser visade på ett statistiskt signifikanta samband mellan någon av de undersökta parametrarna.

Students t-testet resulterade i ett p-värde på 0,21 vilket innebar att det inte fanns någon statistiskt signifikant skillnad mellan AUT och FUT. Det kan därmed inte uteslutas att skillnaden som observerades i fältinventeringen beror på slumpen.

3.5 Kostnadsanalyser

3.5.1 Underväxtröjningskostnader

De utförda beräkningarna över underväxtröjningskostnaden (kr/m³fub) visade att kostnaden varierar från 19,16 till 101,29 kr/m³fub (Tabell 14). Motsvarande kostnader i enheten kr/ha var 996,60 till 5266,96 kr/ha. De högsta underväxtröjningskostnaderna uppnåddes vid hög underväxttäthet och höga underväxthöjder, medan de lägsta kostnaderna uppnåddes vid låg underväxttäthet och låga underväxthöjder.

Tabell 14. Kostnad för utförandet av en underväxtröjning i kronor per m³fub (kr/m³fub) beroende på underväxthöjd (m) och underväxttäthet (st/ha)

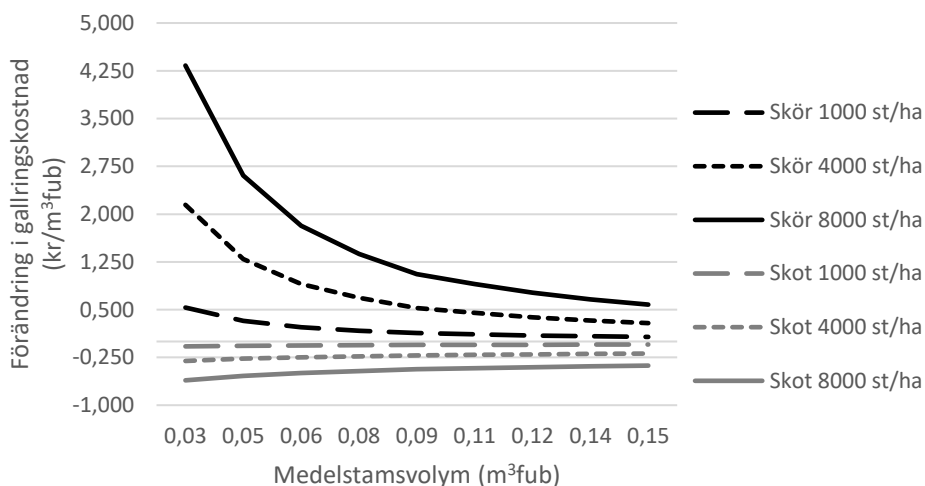
Table 14. The cost of performing an undergrowth clearing in Swedish crowns per m³fub (kr/m³fub) depending on the height (m) and density (st/ha) of undergrowth

Underväxttäthet (st/ha)	Underväxthöjd (m)					
	1	2	3	4	5	6
1 000	19,16	20,72	22,27	23,82	25,38	26,93
2 000	23,17	26,23	29,28	32,34	35,39	38,45
3 000	27,13	31,64	36,14	40,65	45,16	49,67
4 000	31,04	36,95	42,86	48,77	54,68	60,59
5 000	34,89	42,16	49,42	56,68	63,95	71,21
6 000	38,70	47,27	55,83	64,40	72,97	81,54
7 000	42,46	52,28	62,10	71,92	81,74	91,56
8 000	46,16	57,19	68,21	79,24	90,26	101,29

3.5.2 Skördare

Baserat på produktivitetsmodellen från 3.1.1 och värden för SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 11) visade kostnadsanalysen för $V \leq 0,15$ att en ökning i underväxttätheten medförde en ökning av skördarkostnaden med 0,13 kr/m³fub (0,12%) per underväxttäthetskategori. Den lägsta kostnadsökningen i $V \leq 0,15$ var 0,07 kr/m³fub (0,09%) och återfanns vid den lägsta undersökta underväxttäthet (1000 st/ha) samt den största undersökta medelstamsvolym (0,15 m³fub). Den största kostnadsökningen var 4,33 kr/m³fub (1,88%) och återfanns vid den högsta undersökta underväxttätheten (8000 st/ha) samt lägsta undersökta medelstamsvolym (0,03 m³fub). Analyserna indikerar att underväxttäthetens påverkan på skördarkostnaden var större vid lägre medelstamsvolym (Figur 6).

Inga kostnadsanalyser utfördes för $V > 0,15$ eftersom dessa modeller ej uppnådde inkluderingskriterierna (Tabell 10).



Figur 6. Av underväxt orsakade förändringarna i gallringskostnad för skördaren (skör) och skotaren (skot), vid tre olika nivåer av underväxttäthet (st/ha) och en medelstamsvolym mellan $0,03 \geq X \leq 0,15$ m³fub.

Figure 6. The by undergrowth caused changes in thinning cost for the harvester (skör) and forwarder (skot) for three different undergrowth densities (st/ha) and an average stem volume between $0,03 \geq X \leq 0,15$ m³fub.

3.5.3 Skotare

Baserat på produktivitetsmodellen från 3.1.2 och värden för SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 11) visade kostnadsanalysen för $V \leq 0,15$ att ökad underväxttäthet medförde en minskning av skotarkostnaden med 0,05 kr/m³fub (-0,06%) per underväxttäthetskategori. Den lägsta kostnadssänkningen bland samtliga undersökta medelstamsvolymen var 0,05 kr/m³fub (-0,06%) och inträffade vid den lägsta undersökta underväxttätheten (1000 st/ha) och den största undersökta medelstamsvolymen (0,15 m³fub). Den största kostnadssänkningen var 0,61 kr/m³fub (-0,56%) och återfanns vid den högsta undersökta underväxttätheten (8000 st/ha) och den lägsta undersökta medelstamsvolymen (0,03 m³fub). Analyserna indikerade att underväxtens påverkan på skotarkostnaden var större vid lägre medelstamsvolymen (Figur 6).

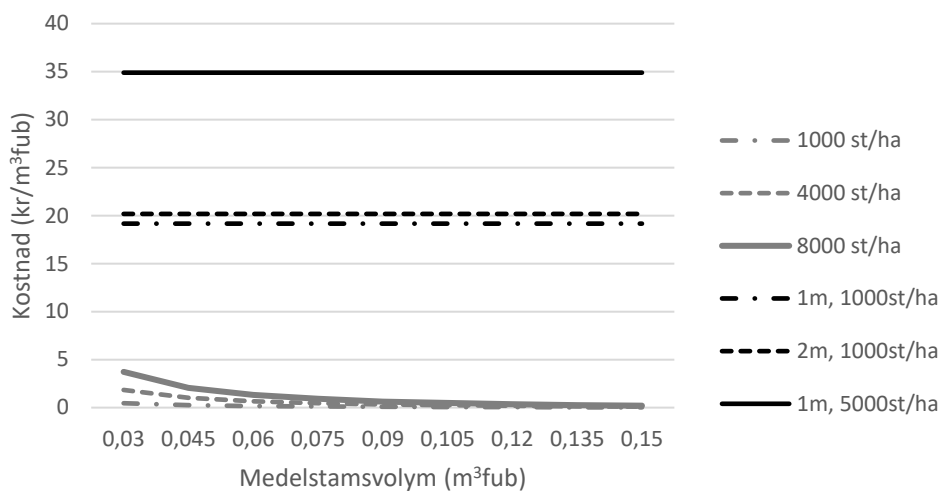
Inga kostnadsanalyser utfördes för $V > 0,15$ eftersom dessa modeller antingen ej uppnådde inkluderingskriterierna (Tabell 10) eller ansågs verklighetstroga.

3.5.4 Drivningssystemet

Summerat för hela drivningssystemet vid $V \leq 0,15$ visade kostnadsanalysen, baserad på SCA:s medelgallringstrakt, att ökad underväxttäthet innebar en ökning i drivningskostnaden med 0,08 kr/m³fub (0,06%) per underväxttäthetskategori. Den lägsta ökningen i drivningskostnad bland alla undersökta medelstamsvolymen var 0,02 kr/m³fub (0,03%) och inträffade vid den lägsta undersökta underväxttätheten

(1000 st/ha) och den största undersökta medelstamsvolymen (0,15 m³fub), (Figur 7). Den största kostnadsökningen var 3,72 kr/m³fub (1,32%) och återfanns vid den högsta undersökta underväxttätheten (8000 st/ha) och den lägsta undersökta medelstamsvolymen (0,03 m³fub). Den motsvarande lägsta underväxtröjningskostnaden vid samma underväxttäthet var 46,16 kr/m³fub.

När den ökning i drivningskostnader som orsakats av underväxttätheten jämfördes med motsvarande underväxtröjningskostnad vid samma underväxttäthet, blev det tydligt att en underväxtröjning, med de antagna maskin- och röjningskostnaderna, alltid resulterar i en betydligt högre kostnad än att utföra gallringen med underväxten kvarlämnad, (Figur 7).



Figur 7. Skillnad mellan de av underväxt orsakade ökningarna i drivningskostnad (kr/m³fub) för tre olika underväxttätheter (st/ha) (grå linjer). Tre exempel på underväxtröjningskostnader (kr/m³fub) för olika typer av underväxt (svarta linjer). Drivningskostnader var beräknade för SCA:s medelgallringstrakt.

Figure 7. The difference between the by undergrowth caused increases in thinning cost (kr/m³fub) for three different undergrowth densities (st/ha) (grey lines). Three examples of undergrowth clearing costs (kr/m³fub) for different types of undergrowth (black lines). Thinning costs were calculated for SCA's mean thinning-stand.

Differensen mellan den lägsta möjliga underväxtröjningskostnaden (Tabell 14) och den högsta ökningen i drivningskostnad som orsakades av underväxttätheten var 15,47 kr/m³fub. Detta innebär att en underväxtröjning, med de antagna maskin- och röjningskostnaderna, skulle bli ekonomiskt lönsam först om dess utförandekostnad minskade med 80,07%.

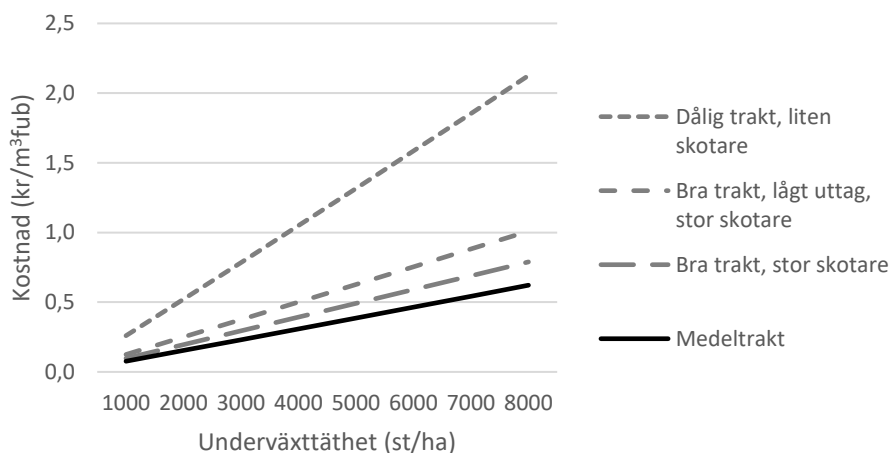
3.6 Känslighetsanalyser

3.6.1 Skördarproduktivitet och kostnad vid användning av FUT

Om FUT användes istället för AUT i SCA:s bortsättningsunderlag innebär det att skördarkostnaden förändrades med i genomsnitt 3,40 %/m³fub. Omräknat till kostnad i kr/m³fub innebär det att skördarkostnaden förändrades med 3,88 kr/m³fub eller totalt 2 698,24 kr/trakt.

3.6.2 Underväxtens påverkan vid förändrade förutsättningar

Känslighetsanalysen över hur ökad underväxttäthet påverkade drivningskostnaden i de tre olika exempeltrakterna (Tabell 11) visade att den högsta kostnadsökningen, uppgående till 2,13 kr/m³fub, observerades i den ”dåliga trakten” (Figur 8). Denna ökning jämfördes med den lägsta möjliga underväxtröjningskostnaden på 19,17 kr/m³fub (Tabell 14). Trots att underväxttätheten i den ”dåliga trakten” hade en 3,42 gånger större påverkan på drivningskostnaden, jämfört med motsvarande påverkan i SCA:s medelgallringstrakt, så var en underväxtröjning fortsatt dyrare. Det fanns därför ingen ekonomisk lönsamhet i att utföra en underväxtröjning, givet de antagna röjnings- och maskinkostnaderna.

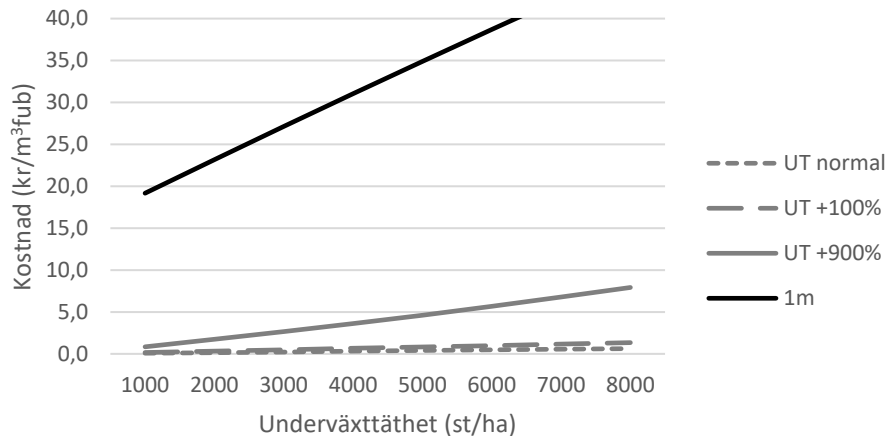


Figur 8. Känslighetsanalys över hur drivningskostnaderna (kr/m³fub) påverkas av ökad underväxttäthet (st/ha) i tre exempeltrakter samt SCA:s medelgallringstrakt.

Figure 8. Sensitivity analysis over how the costs for the two-machine systems (kr/m³fub) are affected by increases in undergrowth density (st/ha) in three different stands and SCA's mean thinning-stand.

När underväxttäthetens påverkan på maskinproduktiviteten dubblerades resulterade det i en ökning av drivningskostnaden med högst 1,34 kr/m³fub, vilket observerades vid en underväxttäthet på 8000 st/ha. När underväxttäthetens påverkan på maskinproduktiviteten ökade med 900% ökade drivningskostnaden med som högst

7,92 kr/m³fub, vilket noterades vid en underväxttäthet på 8000 st/ha. Den billigaste underväxtröjningskostnaden vid samma underväxttätheten var 46,16 kr/m³fub (Figur 9). Det innebar att även om underväxtens påverkan på drivningsarbetet var 900% större, så var fortfarande en underväxtröjning dyrare och det fanns ingen ekonomisk lönsamhet i att utföra en underväxtröjning.

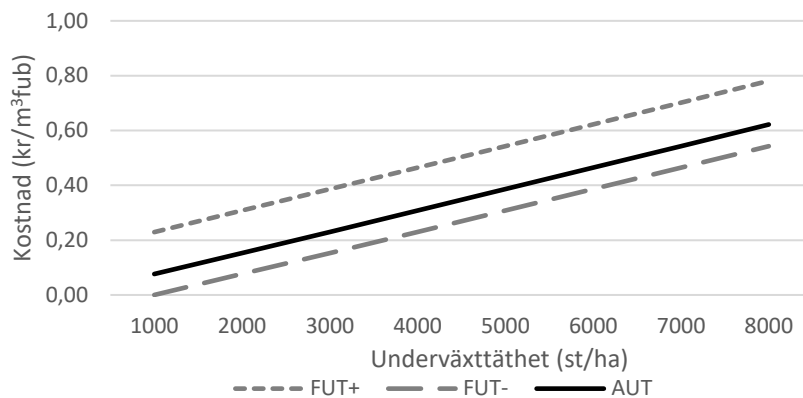


Figur 9. Förändring i drivningskostnad (kr/m³fub) om underväxttäthetens påverkan på produktiviteten blev två (UT +100%) respektive 10 (UT +900%) gånger större än normalt (UT normal). Heldragen svart linje var den lägsta underväxtröjningskostnaden (kr/m³fub), återfanns vid underväxthöjd på 1 m.

Figure 9. Changes in thinning costs (kr/m³fub) if the effect of undergrowth on machine productivity was two (UT +100%) or ten times (UT +900%) higher than normal. The solid black line represents the lowest undergrowth clearing cost (kr/m³fub), which occurs in undergrowth with a height of 1m.

Om -FUT (där FUT var 1246 st/ha lägre än AUT) användes istället för AUT innebar det att de av underväxt orsakade ökningarna i drivningskostnaden var som mest 0,54 kr/m³fub, vilket var 12,71% lägre än motsvarande ökning när AUT användes. Vid användning av +FUT (där FUT var 1246 st/ha större än AUT) ökade drivningskostnaden med som mest 0,78 kr/m³fub, vilket var 25,61% högre än med AUT (Figur 10).

Det fanns signifikanta skillnader i drivningskostnaderna beroende på om -FUT, +FUT eller AUT användes som värde för underväxttäthet. Trots detta resulterade inget av dessa värden i tillräckligt stora ökningarna av drivningskostnaderna för att göra underväxtröjning ekonomiskt lönsam. Den lägsta underväxtröjningskostnaden var fortfarande 18,38 kr/m³fub högre än den ökade drivningskostnaden vid gallring av trakter med +FUT kvarlämnad.

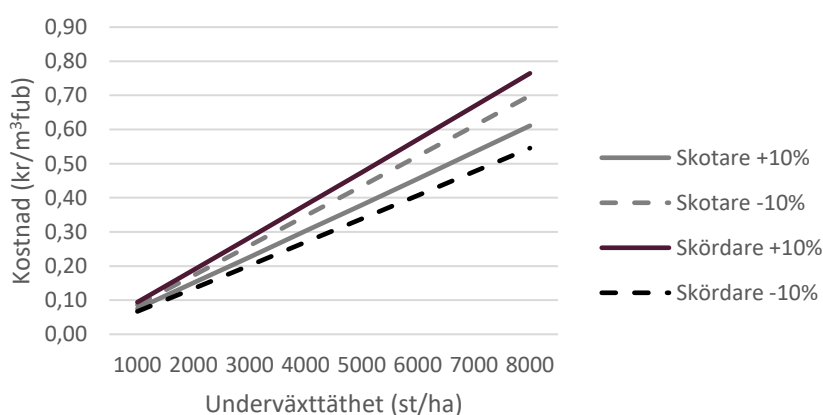


Figur 10. Skillnaden i gallringskostnad (kr/m³fub) om underväxttäthet (st/ha) var 1246 st/ha högre (FUT+) respektive lägre (FUT-) än den av avverkningsplaneraren uppskattade underväxttätheten (AUT).

Figure 10. Differences in thinning costs (kr/m³fub) if the undergrowth density (st/ha) was 1246st/ha higher (FUT+) or lower (FUT-) than undergrowth density reported by the forest managers (AUT).

3.6.3 Förändrade maskin- och röjningskostnader

Känslighetsanalysen visade att förändringar av skogsmaskinernas timkostnader hade varierande effekt på den ökning i drivningskostnad som orsakades av ökad underväxttäthet. Störst effekt hade en förändring av timkostnad för skördaren (Figur 11). Vid en 10% ökning av skördarens timkostnad och en underväxttäthet på 8000 st/ha ökade drivningskostnaden endast med 0,77 kr/m³fub. Det innebär att en 10% ökning av skördarens timkostnad inte gjorde en underväxtröjning ekonomiskt lönsam, då det fortfarande var billigare att gallra med underväxten kvarlämnad jämfört med att utföra en underväxtröjning av motsvarande underväxttäthet.



Figur 11. Förändringar i de av underväxt orsakade kostnaderna (kr/m³fub) om skördaren eller skotarens timkostnad (kr/G₀-h) förändras med ±10%.

Figure 11. Changes in the by undergrowth affected costs (kr/m³fub) if the hourly costs (kr/G₀-h) for the harvester or forwarder are changed with ±10%.

I den sista känslighetsanalysen, där timkostnaden för en underväxtröjning varierades med $\pm 10\%$, observerades den lägsta underväxtröjningskostnaden vid en underväxttäthet på 1000 st/ha, en underväxthöjd på 1 m och 10% lägre röjningstimmkostnad. Under dessa förhållanden uppgick underväxtröjningskostnaden till 17,25 kr/m³fub. Vid en 10% högre röjningskostnad ökade den lägsta underväxtröjningskostnaden till 21,08 kr/m³fub och återfanns vid en underväxttäthet på 1000 st/ha och en underväxthöjd 1 m. Trots den 10% lägre röjningstimmkostnaden var det fortfarande inte ekonomiskt fördelaktigt att utföra en underväxtröjning.

3.7 Intervjuer med gallringsentreprenörer

3.7.1 Underväxtens påverkan på produktivitet

Respondenterna upplevde olika påverkan av underväxttätheten beroende på maskin, där respondenterna menade att skördaren påverkades mer än skotaren. Även de orsakade problemen för skördaren ansågs vara fler än för skotaren. De mest typiska problemen för skördaren uppgavs vara försämrad sikt, ökad andel stamskador och problem med aggregatet. För skotaren menade respondenterna att det största problemet var att skräp följde med i lassen (Tabell 15).

Tabell 15. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över vad som utgjorde de största problemen som underväxt orsakade för skördaren respektive skotaren

Table 15. The opinions of three thinning contractors about what composed the biggest problems that undergrowth caused for the harvester and the forwarder

Maskin	Problem	Andel som upplevde problemet
Skördare	Försämrad sikt	3 av 3
Skördare	Ökad risk för stamskador	3 av 3
Skördare	Problem med aggregat/kedjehopp	3 av 3
Skördare	Svårt att planera var stickvägar skulle dras	2 av 3
Skördare	Svårt att göra bra trädval	2 av 3
Skördare	Träd föll fel	1 av 3
Skotare	Underväxt följde med i lassen och tvingades sorteras ut	3 av 3
Skotare	Ökad risk för slangbrott	1 av 3

3.7.2 Undantagsfall för underväxtröjningens utförande

Ingen av respondenterna uppgav att det fanns generella fördelar att trakter med behov av underväxtröjning inte röjdes, annat än i tre undantagsfall (Tabell 16).

Tabell 16. De tre gallringsentreprenörernas exempel på undantagsfall där en underväxtröjning med fördel kunde ha undvikits

Table 16. The three thinning contractors provided examples of exceptional cases where an undergrowth clearing could have been advantageously avoided

Undantagsfall där en underväxtröjning hade kunnat undvikas	Andel som angav undantagsfallet
Om underväxtröjning skett för nära inpå gallring	2 av 3
Om endast bitvis behov av underväxtröjning förelåg	1 av 3
Om trakten hade dålig bärighet*	1 av 3

**Kvarlämnad underväxt bedömdes, enligt entreprenören, förbättra traktens bärighet.*

Tiden mellan utförandet av en underväxtröjning och gallringstillfället var något som samtliga respondenter ansåg var viktigt, där det optimala var om en underväxtröjning kunde utföras åtminstone ett år före gallring. Skedde underväxtröjningen för nära inpå gallring ansågs det leda till att problemen för skotaren ökade, medan problemen för skördare inte blev värre men kvarstod på grund av att underväxten inte hunnit lägga sig.

3.7.3 Arbetsmiljö och motivation

Samtliga respondenter ansåg att underväxt försämrar deras arbetsmiljö och motivation, där ökad stress, sämre sikt och försämrade möjligheter till bra gallringskvalitet bedömdes vara de största anledningarna bakom nedgången (Tabell 17). Storleken på försämringen i arbetsmotivation berodde huvudsakligen på underväxttätheten och traktens tidsåtgång (Tabell 17), där brytpunkten för hur länge en trakt med ”hög” underväxttäthet kunde pågå innan arbetsmotivationen sänktes betydande uppskattades till en vecka. Att däremot arbeta mindre än en vecka i ”hög” underväxttäthet bedömdes som mindre påfrestande och därmed hanterbart. En betydande skillnad i arbetsmiljö- och motivationspåverkan förekom mellan skotar- och skördarförarna, där skördarföraren upplevde en betydligt större nedgång än skotarföraren.

Tabell 17. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över vad som utgjorde de främsta anledningar till varför ökad underväxttätet ledde till en sänkt arbetsmotivation, för skördar- respektive skotarförare

Table 17. The opinions of the three thinning contractors about what composed as the foremost reason to why increased undergrowth density led to a decrease in work motivation, for both harvester and forwarder operators

Maskin	Anledning till sänkt arbetsmotivation	Andel som upplevde anledningen
Skördare	Ökad stress att nå upp till prestationskraven	3 av 3
Skördare	Prestationskraven var för tuffa när underväxten var tät	3 av 3
Skördare	Arbetet blev tråkigare då sikten försämras	3 av 3
Skördare	Svårt att göra ett bra arbete, vilket sänkte motivationen då det märktes att arbetet som utfördes blev dåligt	2 av 3
Skotare	Påfrestande och tråkigt att sortera bort ris	2 av 3
Skotare och skördare	Desto längre tid en trakt tog att köra desto mer sänkte underväxten arbetsmotivationen	3 av 3

Vidare ansåg samtliga respondenter att nedgången i förarnas arbetsmotivation var något som SCA i större grad borde väga in när beslut om en underväxtröjnings eventuella utförande togs.

3.7.4 Åsikter om SCA:s inställning till underväxtröjning

Alla respondenter ansåg att SCA:s dåvarande förhållningssätt till underväxtröjning borde ha förändrats, där det största problemet var att dåvarande röjningsgräns ansågs för hög (Tabell 18). Majoriteten av respondenterna upplevde dock inte att andra skogsbolag/skogsägarföreningar røjde i större omfattning än SCA. Majoriteten av respondenterna ansåg inte heller att en aktörs inställning till underväxtröjning var avgörande vid deras val av arbetsgivare (Tabell 18).

Tabell 18. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över SCA:s dåvarande förhållningsätt till när en underväxtröjning utförs eller bör utföras

Table 18. The opinions of the three thinning contractors regarding SCA's approach to when an undergrowth clearing is performed or should be performed

Fråga	Andel som besvarade frågan med ja
Var gränsen på 5 000 st/ha för hög?	3 av 3
Var andelen trakter som underväxtröjs för lågt?	2 av 3
Efterföljdes gränsen på 5 000 st/ha alltid?	0 av 3
Hade andra skogsbolag bättre förhållningsätt till när en underväxtröjning borde utföras?	1 av 3
Var ett skogsbolags/skogsägarförenings benägenhet att utföra underväxtröjningar något som påverkade i ditt val av arbetsgivare?	1 av 3
Hade du hellre sett att SCA underväxtröjde oftare än att de höjde ersättningen?	3 av 3

Kvalitén i AUT var något som majoriteten av respondenterna ansåg måste förbättras, då AUT oftast inte upplevdes stämma överens med verkligheten. Alla respondenter vittnade även om att SCA:s röjningsgräns inte alltid följdes. Beslutet om när en underväxtröjning skulle utföras berodde istället på vad ledningen inom regionen ansåg utgjorde ”för hög” underväxttäthet.

Underväxtstammar understigande 1,3 m var något som två respondenter ansåg bör inräknas i underväxttätheten, men endast i extremfall. Den tredje respondenter ansåg däremot att underväxtstammar över och under 1,3 m bör räknas separat, i de fall där underväxt under 1,3 m förekommer i större omfattning.

3.7.5 Underväxtens påverkan på rekrytering

Samtliga respondenter ansåg att rekryteringen av ny personal påverkades negativt om maskinlaget ofta gallrade i hög underväxttäthet. Två respondenter menade att själva rekryteringen blev svårare och att det även blev svårare att behålla personal som började. Den tredje respondenter ansåg att rekryteringen inte påverkades, men instämmer i att det blev svårare att behålla nyrekryterad personal.

Samtliga respondenter ansåg att underväxt utgjorde ett större problem för oerfaren personal, där en oerfaren skördarförare blev mer påverkad än en oerfaren skotarförare. Respondenterna menade även att all den påverkan som underväxt har på en erfaren skördarförare blev mer påverkande för en oerfaren (Tabell 19), där den ökade negativa påverkan på arbetsmotivationen bedömdes vara mest allvarlig.

Tabell 19. De tre gallringsentreprenörernas åsikter över på vilka olika sätt underväxt påverkade en ny maskinförare annorlunda jämfört med motsvarande påverkan för en erfaren förare

Table 19. The opinions of the three thinning contractor's on the various ways undergrowth affected a new machine operator differently compared to its impact on an experienced operator

Maskin	Underväxtens påverkan på en oerfaren förare	Andel som upplevde påverkan
Skördare	Högre andel skador	3 av 3
Skördare	Sämre produktivitet	3 av 3
Skördare	Oerfaren personal känner sig sämre och får sänkt arbetsmotivation	3 av 3

Vidare menade samtliga respondenter att tillgång till gallringstrakter utan underväxt var en förutsättning för att snabbt kunna lära upp nyrekryterade förare. Samtliga respondenter ansåg även att sänkningar i prestationskraven för nya förare, särskilt i trakter med hög underväxttäthet, skulle underlätta rekryteringen av förare.

3.7.6 Gallringsentreprenörernas övriga synpunkter

Samtliga respondenter hade ett antal övriga synpunkter som de delade med sig av vid slutet av intervjun. En sammanfattad version av de mest relevanta synpunkterna för studien återfinns nedan (Tabell 20), medan övriga återfinns i Bilaga 5.

Tabell 20. Sammanfattning av de tre gallringsentreprenörernas övriga synpunkter om underväxt, underväxttäthet och övergripande synpunkter om SCA:s utförande av underväxtröjning

Table 20. Summary of the three thinning contractors other opinions about undergrowth, undergrowth density and overall opinions about SCA's implementation of undergrowth clearing

Övriga synpunkter	Antal med samma synpunkt
Underväxtröjning borde aldrig utföras efter genomförd gallring	2 av 3
SCA borde notera typ av underväxt (träds slag) och dess höjd	1 av 3
Hur underväxttätheten påverkade kvalitet (andel skador) i gallringen borde vägas in i bedömningen om när en underväxtröjning skulle ha genomförts	1 av 3
Avverkade stammar med brösthöjdsdiameter <8 cm bör inbringa entreprenören ersättning	1 av 3

4 Diskussion

4.1 Utvärdering av resultat

4.1.1 Statistiska analyser av underväxtens påverkan

Resultatet av de genomförda statistiska analyserna visade att en ökad underväxttäthet innebar en minskad skördarproduktivitet och en ökad skotarproduktivitet.

Vid en underväxttäthet av 4000 st/ha och en traktmedelstamsvolym på 0,09 m³fub, visade denna studie att skördarproduktiviteten minskade med 0,5%. Det resultatet kan jämföras med resultaten från Kärhä (2006), där skördarproduktiviteten var 19,0% lägre vid motsvarande underväxttäthet och medelstamsvolym, och med Skogelid (2019) där skördarproduktiviteten minskade med 22,5%. Det innebar att den observerade minskningen i denna studie var mellan 38 till 45 gånger lägre jämfört med resultaten från tidigare studier (Kärhä 2006; Skogelid 2019). Dessa betydande skillnader mellan studierna indikerar att resultaten från denna studie kan vara för låga eller felaktiga, då en sådan stor avvikelse inte bör förekomma jämfört med andra studier. Skillnaden kan dock förklaras av hur de olika studierna genomfördes. Studierna av Kärhä (2006) och Skogelid (2019) var tidsstudier med färre undersökta trakter samt en större säkerhet i data, jämfört med denna studie. Eftersom fler trakter studerades i denna studie, återspeglar resultatet en större variation av data. Det skulle kunna ha orsakat den stora skillnaden i resultat mellan denna och tidigare studier.

Att underväxttätheten noteras på ett annorlunda sätt i denna studie jämfört med i tidigare studier kan vara en annan möjligt förklaring till den betydande skillnaden i underväxttäthetens påverkan på skördarproduktiviteten. Tidigare studier har noterat underväxt beroende på trädslag och höjd, medan SCA enbart noterat underväxt utifrån stamantal. Enligt Kärhä (2006) var underväxtens trädslag och höjd betydande faktorer för hur underväxten påverkade produktiviteten. Studien visade till exempel att en hög underväxttäthet av gran hade en stor påverkan på skördarproduktiviteten, medan en hög underväxttäthet av björk inte hade någon påverkan oavsett underväxtens höjd. Det innebär att om majoriteten av underväxten i de analyserade trakterna utgjordes av björk så skulle det kunna förklara varför

denna studie visade att underväxttätheten hade en låg påverkan på skördarproduktiviteten. Denna hypotes går dock ej att verifiera, då det saknas data över underväxtens trädslagstyp i de studerade trakterna.

Enligt Kärhä (2006) minskade skotarproduktiviteten med ökad underväxttäthet, vilket motsäger denna studies resultat. Att skotarproduktiviteten i denna studie har ett positivt samband med underväxttätheten skulle till viss del kunna förklaras av att SCA noterar underväxt enbart utifrån stamantal. Utöver eventuella osäkerheter i studerad data eller fel i utförda statistiska analyser återfinns ingen förklaring till den observerade ökningen i skotarproduktivitet.

Resultatet visade att det inte fanns något statistiskt signifikant samband mellan mängden underväxttäthet och förekomsten av körskador. Eftersom ingen tidigare forskning har utförts inom ämnet, fanns det ingen möjlighet att jämföra resultatet med tidigare forskningsresultat. Det var däremot förväntat att en ökad underväxttäthet skulle leda till en lägre förekomst av körskador, då ökad förekomst av grenar, trädrester och ”ris” leder till en armering av marken och förbättrad bärighet (Agestam 2015). Antalet analyserade trakter var dock lågt (n=33), vilket innebär att representativiteten i resultatet kan ifrågasättas. Det finns även anledning att misstänka att ökad underväxttäthet gör det svårare att inventera körskador, då underväxt begränsar sikten för inventeraren och gör det svårare att få en överblick i gallringstrakten. Risken är därför stor att körskador kan ha missats vid inventeringen av trakter med hög underväxttäthet. Det kan därmed inte uteslutas att det icke statistiskt signifikanta sambandet mellan underväxttäthet och körskador var orsakat av slumpen eller inventeringens genomförande.

Samtliga modeller för avbrott var ej statistiskt signifikanta eller hade för låg förklaringsgrad. Inga tidigare studier har undersökt sambandet mellan maskinavbrott och underväxttäthet, vilket innebar att inte fanns några studier att jämföra resultatet med. I de tre genomförda intervjuerna framkom det att maskinförarna ansåg att andelen avbrott ökar med ökad underväxttäthet. Samma resultat observerades av Grandin och Karlsson (2023). Att maskinförarnas upplevelser skiljer sig mot resultatet från de statistiska analyserna kan bero på att det förekommer fel i använd data. Dataregistrering för maskinavbrott sker både automatiskt och manuellt, där skogsmaskinen själv loggar stilleståndstid och föraren registrerar avbrottstyp. Att det förekommer vissa fel i stilleståndstiden är sannolikt då automatiskt registrerad data kan drabbas av korrektions- eller andra registreringsfel (Eriksson & Lindroos 2014). Den manuella registreringen av avbrottstyp kan antas utgöra en större risk för fel till följd av den mänskliga faktorn. Den främsta felkällan bedöms dock vara att mängden underväxttäthet är helt beroende av manuell datainsamling och registrering. Dessutom utfördes datainsamlingen och registreringen av många olika personer, vilket ökar risken för datafel (Eriksson & Lindroos 2014). Eftersom uppgifterna om underväxttäthet och avbrott är en grund för betalning av entreprenörerna, finns det starka incitament för

att uppgifterna ska vara så korrekta som möjligt, men det garanterar inte att uppgifterna alltid är felfria. Osäkerheter i data över underväxttäthet och avbrott utgör en möjlig förklaring till att denna studie inte återfinner ett signifikant samband mellan avbrott och underväxttäthet, trots att maskinförarna vittnar om att ett sådant finns.

Denna studie kunde inte påvisa ett signifikant samband mellan stamskador och underväxttäthet. Resultatet är i linje med tidigare studier (Kärhä 2006; Skogelid 2019; Wiklund 2019). Att det inte går att finna något signifikanta samband mellan stamskador och underväxttäthet förklaras av Kärhä (2006) med att skördarförarnas arbetssätt är det som huvudsakligen styr mängden stamskador, inte underväxttätheten. En stor osäkerhetsfaktor i denna studies resultat var inventeringsmetoden av stamskador, som främst fokuserar på att studera andelen stamskador runt stickvägarna (SCA skog 2010). Det innebär att inventeringen riskerar att missa de skador som förekommer mellan stickvägarna och i slingerstråken. Ytterligare en möjlig felkälla är att antalet trakter med data om stamskador var lågt (n=120). Det låga antalet observationer gör det även svårt att generalisera resultatet.

Möjligheten att studera maskinförarens påverkan på andelen stamskador undersöktes, men utifrån tillgänglig data var det ej genomförbart. Bland annat förekom inga konsekventa uppgifter över vilken förare som arbetat i vilken trakt. Majoriteten av de analyserade trakterna var dessutom gallrade av två eller fler maskinförare och därmed var det ej möjligt att dra några slutsatser kring den enskilde maskinförarens påverkan.

Förekomsten av snö eller nyttjandet av flerträdshanterande aggregat var två variabler som, utifrån Myhrman (1993) och Jansson (2011), förväntades ha en stor påverkan på produktiviteten. I de resulterande modellerna för skördar- och skotarproduktivitet ingick dock inte variabeln för varken snö eller flerträdshanterande aggregat. Det kan i sin tur förklaras av att den statistiska analysprocessen som användes i denna studie endast inkluderade de fyra, för skördarmodellerna, respektive sex, för skotarmodellerna, mest påverkande variablerna i varje modell. Det innebär att det inte kan uteslutas att förekomsten av snö eller nyttjandet av flerträdshanterande aggregat inte hade någon påverkan på produktiviteten, däremot var ingen av variablerna en av de variabler som hade störst påverkan på skördar- respektive skotarproduktiviteten.

Uppdelningen av datasetet i två medelstamsvolymklasser resulterade i en god spridning av data för $V \leq 0,15$, med ett bedömt tillräckligt stort antal observationer i varje underväxttäthetskategori (Figur 3). Efterföljande analyser av datasetet gav också resultat som var i linje med tidigare studier inom området (Kärhä 2006; Skogelid 2019; Wiklund 2019). För $V > 0,15$ var situationen dock den motsatta, där spridningen av data var sämre och det fanns mycket få observationer för underväxttäthetskategori 5-10. Efterföljande analyser av $V > 0,15$ visade också att

en ökning i underväxttäthet ledde till en ökning i både skördar- och skotarproduktivitet, samtidigt som samtliga avbrottstyper minskade med ökad underväxttäthet. Det innebar att en maskingrupp som arbetade i hög underväxttäthet uppnådde en högre produktivitet och drabbades av färre avbrott, vilket motsäger tidigare studier (Kärhä 2006; Skogelid 2019; Wiklund 2019; Grandin & Karlsson 2023). På grund av detta ansågs modellerna för $V > 0,15$ felaktiga och inga kostnadsanalyser genomfördes för medelstamsvolymklassen. Eftersom ingen användbara analys framkom ur $V > 0,15$, hade studien gagnats av att enbart fokusera på trakter med en medelstamsvolym mellan $0,03-0,15 \text{ m}^3\text{fub}$ ($V \leq 0,15$). Det skulle ha minskat textmängden och arbetsbördan utan ha påverkat det slutgiltiga resultatet.

4.1.2 Beräkning av underväxtens påverkan på kostnader

Utifrån de antagna maskinkostnaderna beräknades underväxttäthetens påverkan på drivningskostnaden. Resultatet för $V \leq 0,15$ visade att ökad underväxttäthet ledde till en ökning med maximalt $3,72 \text{ kr/m}^3\text{fub}$, vilket är 9-25 gånger lägre än vad tidigare studier visat (Kärhä 2006; Skogelid 2019; Wiklund 2019). Dessa studier återfinns dock enbart sådana kostnadsökningar i trakter med underväxt av gran. Det är därmed möjligt att skillnaden i kostnadsökning mellan denna och tidigare studier kan förklaras av att SCA noterar underväxt enbart utifrån stamantal.

4.1.3 Beräkning av underväxtröjningskostnader

För att beräkna underväxtröjningskostnaden användes en antagen röjningskostnad på $410 \text{ kr/G}_0\text{-h}$ (Brus 2023) samt prognosfunktioner framtagna av SLA Norr (1991). Dessa visade att tidsåtgången för en underväxtröjning ökar linjärt med ökad underväxttäthet och höjd, vilket resulterade i dyrare röjningar. En underväxtröjning kostade som minst $996,60 \text{ kr/ha}$ (1000 st/ha , höjd 1 m) och som mest $5266,96 \text{ kr/ha}$ (8000 st/ha , höjd 6 m). Dessa kostnader kan jämföras med tidigare studier, där Kärhä (2006) använde en underväxtröjningskostnad på $1892,74 \text{ kr/ha}$ (202 Euro/ha), medan Wiklund (2019) och Skogelid (2019) använde kostnader på $1400,0 \text{ kr/ha}$ respektive $1972,0 \text{ kr/ha}$. Den lägsta underväxtröjningskostnaden i denna studie var därmed $28,89\%$ lägre jämfört med tidigare studier. Det innebär att de antagna underväxtröjningskostnaderna i denna studie är betydligt lägre än i tidigare forskning. Detta indikerar att höga kostnader för underväxtröjning inte kan förklara varför resultatet visar att det inte är ekonomiskt lönsamt att underväxtröja.

De produktivitetskorrigeringar som användes i prognosfunktionerna för underväxtröjningens tidsåtgång antogs till 50% av det maximala värdet, baserat på en subjektiv bedömning av vad som ansågs utgöra en rimlig nivå. Att produktivitetskorrigeringarna var baserade på ett antagande utgör en möjlig felkälla, men antagandena var nödvändiga för att kunna genomföra studien. Det var inte möjligt att tillämpa den "verkliga" korrektionsnivån eftersom det saknades

tillgänglig data för att beräkna en sådan. Att beräkna den verkliga underväxtröjningskostnaden utifrån SCA:s data valdes bort då sådan data var svår att sammanställa.

4.1.4 Kontrollmätning av underväxttätheten

Fältinventeringarna visade på stora avvikelser mellan AUT och FUT. Det genomförda students t-test:et visade dock att skillnaden mellan FUT och AUT ej var statistiskt signifikant, vilket troligtvis beror på att antalet fältinventerade trakter var för lågt ($n=8$). Det antyder att fler trakter behöver inventeras för att uppnå signifikanta resultat om eventuella avvikelser i AUT. Oberoende om resultaten från fältinventeringarna visar signifikans eller ej, skulle en användning av FUT istället för AUT innebära en förändring av gallringskostnaden med 3,89 kr/m³fub. Med en, för SCA, antagen årlig gallringsvolym på 1 300 000 m³fub skulle den totala förändringen av gallringskostnaden uppgå till 5 044 000 kr/år. En felaktigt angiven underväxttäthet får även andra konsekvenser, där en underskattad underväxttäthet riskerar att leda till onödiga försämringar av maskinförarnas arbetsmiljö. Överskattning av underväxttäthet kan leda till att underväxtröjningar genomförs i ”onödan”, vilket är negativt för ekonomin och leder till en sämre biologisk mångfald (Poulsen 2002; Klein 2020). Det kan därmed finnas en stor ekonomisk betydelse för SCA att vidare undersökta datakvaliteten i AUT.

Bortses det från möjligheten att den observerade skillnaden mellan FUT och AUT orsakades av slumpen, är det sannolikt att skillnaden orsakades av ett otillräckligt antal inventerade provytor eller dålig spridning av provytorna i AUT. I inventeringsinstruktionerna för AUT (Bilaga 1) preciseras inte antalet provytor per trakt, provytornas storlek eller hur de ska fördelas i trakten. Det innebär att inventeringen bakom AUT till stor del bygger på subjektiva bedömningar av avverkningsplaneraren, vilket är en inventeringsmetod som innebär många osäkerheter (Holm 2012). Inventeringen bakom FUT är däremot objektivt utförd enligt specifika instruktioner (Bilaga 4) som innebär en jämn spridning av provytorna, med kända provytestorlekar. Det medför att data som samlats in från fältinventeringarna kan antas ha en högre grad av tillförlitlighet, än det data som samlats in enligt SCA:s inventeringsinstruktioner.

En svaghet i genomförandet av FUT är användningen av en iPhone 12 för positionering i fält, vilket medför att osäkerheter i GPS-positioneringen. Tidigare studier har visat att träffsäkerheten kan varieras med upp till 13m i stadsmiljö (Merry & Bettinger 2019). Trots denna osäkerhet bedömdes resultatet inte påverkas nämnvärt då osäkerheten var likvärdig för alla inventerade provytor.

4.1.5 Intervjuer med gallringsentreprenörer

Resultaten från intervjuerna är till stor del likvärdiga de i Grandin och Karlsson (2023) samt Kärhä och Bergström (2020). Att underväxttäthetens påverkan på maskinförarnas arbetsmiljö varierade beroende på traktens tidsåtgång, samt att underväxttätheten ansågs påverka rekryteringen negativt, är ny kunskap som erhållits från denna studie. Antalet respondenter i intervjuerna var dock lågt (n=3), vilket utgör en svaghet för studien och resultaten ska tolkas med försiktighet. Det låga antalet respondenter ökar risken för missad variation samt att studien ej är representativ för hela populationen. Resultaten är dock fortsatt intressanta och visar att det finns ett behov av framtida studier inom ämnet.

Från intervjuerna framkom exempel på när en underväxtröjning inte bör utföras. Enligt respondenterna var det onödigt att underväxtröja trakter som var planerade att gallras inom mindre än ett år. Liknande resultat framkom även i studien av Kärhä och Bergström (2020). SCA:s rådande praxis är att om underväxten är smal och har en hög höjd så ska underväxtröjningar utföras en vinter innan gallring, men i övriga fall finns ingen praxis om hur långt innan gallring en underväxtröjning ska ske (Johansson 2021). Respondenterna ansåg även att de underväxtröjningar som utförs efter genomförd gallring är onödiga och bör undvikas. Kan utförandet av underväxtröjningar undvikas i dessa två fall innebär det ekonomiska besparingar samt att kvarlämnad underväxt leder till ekologiska fördelar.

Samtliga intervjuerespondenter ansåg att ökad underväxttäthet innebar betydande sänkningar i skördarproduktiviteten och ökad mängd avbrott, vilket inte överensstämmer med resultaten i de statistiska analyserna. För skotaren uppgav samtliga respondenter att en liten minskning i produktivitet förekommer vid ökad underväxttäthet. Dock uppgav ingen respondent att skotarproduktiviteten ökar med ökad underväxttäthet. De motsägelsefulla resultaten mellan intervjuerna och statistiska analyserna är ytterligare en indikation på att det kan ha förekommit fel i analyserad data eller i analysmetoden.

4.1.6 Kostnadsanalyser

Kostnadsanalysen som jämförde kostnadsökningar orsakade av underväxttätheten och kostnaden för underväxtröjning visade att det aldrig var ekonomiskt lönsamt att underväxtröja. Enligt Kärhä (2006) var det ekonomiskt lönsamt att utföra en underväxtröjning av granunderväxt i trakter med liknande förutsättningar som i denna studie (Tabell 11), redan vid en underväxttäthet på 1000 st/ha och en underväxthöjd på 4 m. Samma studie visade dock att björkunderväxt inte påverkade gallringsproduktiviteten, vilket innebär att underväxtröjning av björkunderväxt aldrig var ekonomiskt lönsamt.

Orsaken till att underväxtröjning, i denna studie, aldrig var ekonomiskt lönsamt kan förklaras av att det inte fanns någon signifikant samband mellan underväxttäthet och mängden avbrott, kör- eller stamskador. En ökning av

underväxttätheten innebar inte heller en tillräckligt stor minskning av produktiviteten för att en underväxtröjning skulle bli ekonomiskt lönsam. I en känslighetsanalys undersöktes hur resultaten från kostnadsanalysen skulle förändras om underväxttäthetens påverkan på drivningsproduktiviteten var 10 gånger större än vad som framkom ur de statistiska analyserna. Resultaten visade att kostnaden för underväxtröjningen fortfarande var högre än kostnaden för att gallra med underväxten kvarlämnad, vilket ytterligare indikerar att en underväxtröjning inte var ekonomiskt lönsamt.

En annan anledning till att underväxtröjning ej var ekonomiskt lönsam kan ha varit en för högt antagen timkostnad för röjningsarbetet, vilket undersöktes i en känslighetsanalys. Den visade att en 10% lägre timkostnad bidrog till att underväxtröjningen blev billigare, men att en underväxtröjning fortfarande var dyrare än den extrakostnad som tillkom vid gallring med underväxten kvarlämnad. För att en underväxtröjning i SCA:s medelgallringstrakt (Tabell 11) skulle vara ekonomiskt lönsam, det vill säga när kostnaden för underväxtröjning var lika stor som kostnaden att gallra med underväxten kvarlämnad, krävdes en minskning av underväxtröjningens timkostnad med 80%.

4.2 Studiens styrkor och svagheter

4.2.1 Studiens omfattning

Studiens största styrka ligger i dess omfattning, då den inkluderade dataanalyser, intervjuer och en fältinventering. Tidigare studier inkluderade endast en av dessa delar och inga tidigare studier har studerat hur avbrottsstid eller körskador påverkas av underväxt. Studiens tidsbegränsning till 20 veckor utgjorde dock en svaghet för arbetet och resulterade i att antalet intervjuer och fältinventeringar begränsades. Det påverkade i sin tur resultatens representativitet och gjorde det svårt att generalisera resultatet till en bredare population.

Genomförandet av intervjustudien och fältinventeringarna, trots deras begränsade omfattning, kan ifrågasättas. Motiveringen till detta var dock att båda delarna bidrog med resultat som ansågs vara nödvändiga för arbetet och dess diskussion. Till exempel bidrog fältinventeringarna med en indikation på misstänka brister i AUT och utgjorde en grund för diskussionen om möjliga felkällor i studien. Trots det begränsade antalet intervjuer, bidrog de med värdefulla insikter om maskinförarnas synpunkter på underväxtröjning. Dessutom gav de information om behovet av att hantera underväxten för att skapa en acceptabel arbetsmiljö för maskinförarna, även om det inte är ekonomiskt lönsamt. Båda delarna ger även upphov till ett behov av vidare studier inom respektive områden.

4.2.2 Datasetet

Att studien analyserar data insamlad från 15 752 gallrade trakter gör den unik sett till analyserad datamängd. I teorin borde det innebära att studien ger resultat som tydligt återspeglar hur underväxttätheten påverkar drivningsarbetet och kostnaderna för gallring. Det förutsatte dock att analyserad data var tillförlitlig.

Analyserad data bestod till 50% av automatiskt insamlad data från skogsmaskinerna (Tabell 8). I resterande data hade insamling, registrering eller både insamling och registrering skett manuellt. För automatiskt registrerad data bedömdes tillförlitligheten som hög. Det fanns dock, som med all automatiskt registrerad data, en mindre risk för fel orsakade av till exempel felaktig kalibrering (Eriksson & Lindroos 2014). Manuellt insamlad eller registrerad data bedömdes ha en lägre tillförlitlighet. Det beror på att den manuella hanteringen av data ökar risken för fel på grund av mänskliga faktorer och/eller subjektiva bedömningar (Holm 2012). Den lägsta tillförlitligheten i data återfanns i de variabler där både registrering och inmatning utfördes manuellt samt där inventeringsmetoden till stor del byggde på subjektiva beslut. Dessa variabler var körskador, stamskador och underväxttäthet.

Enligt inventeringsinstruktionerna för kör- och stamskador ska fyra provytor per trakt, oberoende traktens storlek, placeras ut längs stickvägarna. Det innebär att inventeringen riskerar att missa variation då inventeringen är koncentrerad runt stickvägarna. Det betyder att eventuella kör- och stamskador i slingerstråken ej inventeras. Det är därmed sannolikt att data över kör- och stamskador ej återspeglar den verkliga omfattningen av skador i trakterna, vilket försvårar bedömningen av om resultaten över underväxttäthetens påverkan på mängden kör- och stamskador är korrekta eller om de orsakats av ett bristfälligt dataunderlag.

Ett annat problem med uppgiften om körskador var att den var binär i SCA:s data. Det innebär att det inte fanns uppgifter över omfattningen av körskador, utan bara om de förekom eller ej. Om körskador registrerats som en kontinuerlig variabel skulle det varit möjligt att analysera underväxttäthetens påverkan på mängden körskador. Sådana analyser hade i sin tur kunnat användas för att prediktera hur mängden körskador påverkas av olika nivåer av underväxttäthet, vilket inte var möjligt att göra med binär data.

I SCA:s inventeringsinstruktioner för underväxttäthet (Bilaga 1) tas beslut om antal provytor, provytorernas storlek och dess placering av avverkningsplaneraren. Det innebär att inventeringsmetoden var subjektiv. Det bidrar i sin tur till att osäkerheten i den registrerade underväxttätheten var hög, vilket utgör en svaghet för studien.

Trots att det fanns ett betydande antal observationer för både $V \leq 0,15$ och $V > 0,15$ (Tabell 6) och vissa likheter i spridningen mellan dem då båda hade majoriteten av sina observationer i underväxttäthetskategorierna 1-4 (Figur 3), så bedömdes det nödvändigt att dela upp det ursprungliga datasetet i två medelstamsvolymklasser.

Anledningen till detta var för att det noterades betydande skillnaderna mellan de båda medelstamsvolymklasserna, där skillnaderna var som mest påtagliga i underväxttäthetskategorierna 5-10. För $V \leq 0,15$ fanns totalt 761 observationer med ett antal observationer i vardera av kategorierna, medan i $V > 0,15$ fanns endast 32 observationer i dessa kategorier. Kategorier 6–7 hade sex respektive fem observationer för $V > 0,15$, medan kategori 8 och 9 båda hade 0 observationer och kategori 10 hade endast 2 observationer. Det låga antalet observationer för $V > 0,15$ i kategorierna 5-10 bedömdes försämra prediktionerna av underväxttäthetens effekten på de beroende variablerna, då analyserna utgår från de få tillgängliga observationerna. Då det fanns osäkerheter i datakvaliteten för hela datasetet så innebar det en stor osäkerheter att prediktionerna baseras på ett fåtal observationer. För $V \leq 0,15$ förekom inte detta problem, då det fanns ett stort antal observationer även i kategorierna 5-10 och ingen kategori innehöll färre än 13 observationer (Figur 3).

Ett alternativ till att dela upp datasetet hade varit att analysera all data samtidigt. Valet att inte göra detta berodde på de betydande skillnaderna i spridning och det låga antalet observationer i underväxttäthetskategorierna 5–10 för $V > 0,15$ jämfört med $V \leq 0,15$. Att analysera all data utan att ta hänsyn till dessa skillnader skulle öka risken för felaktiga analyser, då den sämre spridningen för trakter med medelstamsvolym $> 0,15 \text{ m}^3/\text{ub}$ skulle leda till att analyserna fokuserade på det lägre medelstamsintervallet där majoriteten av observationerna fanns. Dessutom skulle det vara svårt att applicera modellerna på verkligheten, särskilt med tanke på de interna skillnaderna inom datasetet. Därför bedömdes det att separata analyser av de båda medelstamsvolymklasserna skulle möjliggöra skapandet av mer precisa modeller jämfört med om hela datasetet hade analyserats som en enhet.

Att ytterligare dela upp datasetet hade möjligen kunnat resultera i förbättrade analyser, men eftersom inga andra tydliga skillnader i spridningen av observationer över underväxttäthetskategorierna observerades utöver de redan definierade medelstamsvolymklasserna, ansågs ytterligare uppdelning ej nödvändig. Med hänsyn till att ytterligare uppdelningar inte ansågs vara nödvändiga samt att det skulle öka arbetsmängden, fattades beslutet att inte genomföra fler uppdelningar av datasetet.

En svaghet med studien är att majoriteterna av de analyserade trakterna i hela datasetet befann sig i underväxttäthetskategorierna 1-5 (underväxttäthet $\leq 4000 \text{ st/ha}$), medan antalet trakter i underväxttäthetskategorierna 6-10 (underväxttäthet $> 4000 \text{ st/ha}$) är betydligt lägre (Figur 3). Det innebär att det finns mycket färre dataobservationer för kategorierna 6-10, vilket kan leda till en ökad osäkerhet i prediktionerna över hur underväxttätheten påverkar de beroende variablerna i trakter med en underväxttäthet $> 4000 \text{ st/ha}$. När antalet observationer är lågt blir analyserna även mer känsliga för fel i data, eftersom dessa fel kan ha en betydande påverkan på de slutgiltiga resultaten. Det utgör en påtaglig risk för detta dataset,

särskilt med tanke på de misstänka osäkerheterna i kvalitén av analyserad data. Om antalet observationer är stort tenderar dock data att jämna ut sig och felaktiga dataobservationer får inte lika stor påverkan på de slutgiltiga resultaten (Biau et al. 2008). Det är därför sannolikt att det begränsade antalet observationer av trakter i underväxttäthetskategorierna 6–10 utgör en potentiell felkälla för studien. Det låga antalet trakter i underväxttäthetskategorierna 6–10 beror på att SCA röjer bort majoriteten av de trakter där underväxttätheten är ≥ 5000 st/ha, då underväxttätheten överstiger deras nuvarande röjningsgräns (Tabell 1).

För att resonemanget ovan ska vara tillämpligt är det dock viktigt att de misstänka felen i datasetet kan antas vara slumpmässiga. Även om det i fältinventeringen fanns indikationer på att felen i uppgifterna om underväxttätheten kan vara systematiska, säger detta ingenting om vilken typ av fel som kan förekomma i övriga variabler i datasetet. Baserat på att ett stort antal traktplanerare noterade uppgifterna i datasetet utan tydliga inventeringsinstruktioner, är det dock sannolikt att eventuella fel i datasetet bör betraktas som slumpmässiga snarare än systematiska.

Ytterligare en svaghet med arbetet är att ingen hänsyn togs till hur årstiden (lövfri-säsong kontra lövsäsong) påverkade underväxttäthetens inverkan på gallringsarbetet. Att detta ej gjordes berodde på svårigheter med att fastställa när den lövfria säsongen började i den omfattande geografin som analyserades. Dessutom bedömdes effekterna av årstiderna som svårstuderade eftersom det inte gick att fastställa om underväxten bestod av löv- eller barrträd. Följaktligen skulle det ha varit problematiskt att bedöma om årstiderna hade någon påverkan på hur mycket underväxttätheten påverkar gallringsarbetet, vilket ledde till att denna analys inte genomfördes.

4.2.3 Analysmetoden

Användningen av en manuellt utförd statistisk analysmetod med framåtvalsprincip innebar fördelar för studien. Det gav bland annat större kontroll över vilka variabler som inkluderas i modellen och det blev möjligt att utesluta variabler som inte hade någon eller låg korrelation med regressionsmodellen. En manuell analysmetod har dock vissa svagheter. Den är tidskrävande och det finns en risk att den mänskliga faktorn kan orsaka slarvfel som leder till att variabler med hög påverkan missas och inte inkluderas i modellen. För att minimera risken för slarvfel genomfördes vardera analys minst två gånger.

Fördelen med att använda en manuell statistikmetod istället för en automatisk är att det ger större flexibilitet i modellskapandet. Det är enkelt att göra ändringar i modellen samt att det ger en djupare förståelse för hur modellen är uppbyggd och hur olika variabler påverkar slutresultatet. Genom att använda en framåtvalsprincip istället för en bakåtvalsprincip blir det enklare att skapa modeller med färre

variabler och stegvis välja ut nya variabler som ska inkluderas i modellen. Dessutom minskar framåtmetoden risken för överanpassning (overfitting). Dock har den manuella metoden svårare att uppnå samma förklaringsgrad som modeller skapade med en automatisk "Bi-directional" metod. Trots fördelarna med bi-directional metoden valdes en framåtriktad manuell metod för att möjliggöra enklare styrning och skapande av mer relevanta modeller (Sohil et al. 2022).

Att inkludera underväxttäthet som den första variabeln i varje modell är ett ovanligt tillvägagångssätt vid statistiska analyser. Den största fördelen med detta tillvägagångssätt och anledningen till att det användes var att underväxttätheten alltid ingår som en variabel i modellerna. Eftersom det enda syftet med analyserna var att undersöka hur underväxttäthet påverkar de beroende variablerna, var det nödvändigt att underväxttäthet alltid ingick som en oberoende variabel i modellerna. Om modellerna hade skapats med en liknande framåtriktad metod där underväxttäthet inte var den första variabeln, fanns risken att underväxttäthet inte skulle vara en av de fyra/sex variablerna som ingick i respektive modell. Om underväxttätheten inte ingick i en modell hade analyser av dessa modeller inte bidragit till studiens syfte, därför beslutades det att underväxttätheten alltid skulle inkluderas som första variabel. En annan fördel med att inkludera underväxttätheten först var att det blev enklare att analysera hur underväxtens påverkan skiljde sig mellan olika modeller.

Riskerna med att alltid inkludera underväxttätheten som den första variabeln var att "bias" kan introduceras i modellen, där modellen riktas mot att underväxt ska påverka modellen även om det finns andra oberoende variabler som påverkar mer eller lika mycket. Ett annat problem var att detta tillvägagångssätt inte alltid resulterar i den modell med högst förklaringsgrad, eftersom underväxttäthet inkluderas oberoende av dess korrelation med den beroende variabeln.

Ett alternativ till det i studien använda tillvägagångssättet hade varit att ta bort begränsningen i antalet oberoende variabler för varje modell och genomföra en framåtriktad regressionsanalys, där alla oberoende variabler som var statistiskt signifikanta inkluderades i modellen. Om underväxttäthet då ingick i dessa modeller skulle det innebära att underväxttäthet påverkar den beroende variabeln, och resultatet hade kunnat analyseras utifrån dessa modeller. Det största problemet med denna typ av analys, och anledningen till att metoden inte användes, är risken för att skapa väldigt stora och onödigt komplicerade modeller som blir svåra att tolka och applicera i verkligheten, samt att det ökar risken för överanpassning.

Valet att använda ett maximalt antal oberoende variabler i skördar- och skotarmodellerna baserades på resultaten från Eriksson och Lindroos (2014). Deras studie visade att när fler oberoende variabler inkluderas i en skördar- eller skotarmodell, ökade förklaringsgraden (adjusted R^2) initialt. Dock avtog ökningen efter att fyra variabler inkluderats för skördarmodellerna och efter sex variabler för skotarmodellerna. Därför beslutades det att modellerna inte skulle bestå av fler än

fyra oberoende variabler för skördarna eller sex för skotrarna. Att inkludera fler variabler än nödvändigt ökar även komplexiteten samt försvårar den praktiska tillämpningen och förståelsen av modellerna, vilket också var en viktig faktor bakom beslutet att begränsa antalet oberoende variabler i modellerna.

Studien inkluderar ett omfattande urval av variabler som kan påverka drivningsarbetet, men inkluderar inte alla påverkande variabler. Dessutom används inte de faktiska kostnaderna, vilket utgör begränsningar i kostnadsanalyserna. Till exempel är inte underväxtröjningskostnaden helt verklighetstrogen utan uppskattades utifrån tidigare studier och prognosfunktioner (SLA Norr 1991; Brus 2023). Timkostnaderna för skördaren och skotaren är också uppskattade utifrån tidigare studier av Jonsson (2015). Att de faktiska kostnaderna inte användes beror på att det var uppgifter som SCA inte ville offentliggöra. Andra kostnader som påverkar drivnings- samt underväxtröjningskostnaden är inte heller inkluderade i analyserna. Exempelvis är inte maskinernas flyttkostnad och kostnaden för röjarnas avbrottsid (exempelvis tiden det tar för röjarna att promenera ut till trakten) inkluderade.

Eftersom alla kostnader för skogsmaskinerna och underväxtröjningen är uppskattade, kan denna studie inte ge en exakt bild av den verkliga lönsamheten för underväxtröjningen. Bedömningen var dock att samtliga av de uppskattade kostnaderna låg nära de faktiska, då de antagna kostnaderna baserades på verkliga kostnader från studier som utfördes mellan 2015 och 2023 (Jonsson 2015; Brus 2023). För att undersöka konsekvenserna av förändringar i kostnaderna utfördes ett antal känslighetsanalyser där både drivnings- och underväxtröjningskostnaderna förändrades med $\pm 10\%$. Resultatet av dessa analyser visade att de uppskattade kostnaderna var realistiska och att en förändring av kostnaderna inte hade några betydande konsekvenser på slutresultatet.

4.2.4 Logaritmering och kategoriska data

För att uppnå OLS-regressionens antaganden om normalfördelning krävdes det att vissa variabler omvandlades till sina naturliga logaritmer. Det innebar att när modellerna sedan skulle tolkas behövde de återgå till numerisk skala. För att undvika att introducera logaritmisk bias vid återgången till numerisk skala, korrigerades interceptet med $(RSE/2)^2$, vilket är en metod som var vanligt förekommande i tidigare studier (Zeng & Tang 2011). Bedömningen var att korrigeringen inte påverkade resultatet negativt utan bidrog till att utesluta en potentiell felkälla.

I studien omvandlades samtliga typer av avbrott till sina naturliga logaritmer för att uppnå OLS-regressionens antaganden. För att kunna genomföra denna logaritmiska omvandling var det nödvändigt att hantera nollvärdena på ett lämpligt sätt. Att utesluta samtliga trakter med en avbrottsid på 0 tim/ha bedömdes vara

lämpligt eftersom studiens fokus enbart låg på att undersöka hur underväxttäteten påverkade avbrottmängden i de trakter där avbrott förekom.

En potentiell risk associerad med den tillämpade nollvärdeshantering var att en skillnad i underväxttätet skulle förekomma mellan trakter där maskinavbrott inte förekom jämfört med de trakter där avbrott skedde. Om en sådan skillnad förelåg skulle den använda nollvärdeshantering inte vara tillämpbar då den skulle leda till bias i resultaten. Vid en analys av skillnaden i medelvärdet av underväxttätet mellan trakter med och utan maskinavbrott kunde inga märkbara skillnader observeras. Den tillämpade nollvärdeshantering ansågs därmed lämplig. Ett alternativ till den använda nollvärdehantering hade varit att addera en konstant till varje observation av maskinavbrott. Problemet med denna metod var att avbrottsvariablerna inte uppfyllde antagandet om normalfördelning i OLS-regressionen, vilket gjorde att denna strategi inte kunde användas och följaktligen valdes bort.

När observationerna av underväxttätet granskades noterades det att majoriteten av observationerna var i jämna tusental och få observationer däremellan. Det var därmed lämpligt att ändra underväxttäteten från kontinuerlig till kategorisk skala med tio kategorier, (Bilaga 2). Denna kategorisering gjorde även att variabeln underväxttätet uppfyllde antagandena för OLS-regressionens och kunde användas i analyserna. Dock hade kategoriseringen en nackdel när det gällde att skapa kategorier för trakter med en underväxttätet över 8000 st/ha, eftersom det fanns få observationer av sådana trakter. För att hantera detta inkluderades alla observationer med en underväxttätet över 8000 st/ha i en enda kategori. Tyvärr ledde det till att inga prediktioner kunde göras för underväxttäteter över 8000 st/ha, vilket begränsade studiens förmåga att bedöma effekterna av högre underväxttäteter. Således kunde studien enbart prediktera hur underväxttäteter mellan 0-8000 st/ha påverkar drivningsarbetet och underväxtröjningens lönsamhet, vilket utgör en begränsning och nackdel med studien.

Att skapa fler kategorier med mindre intervall av underväxttäteter var praktiskt svårt att genomföra på grund av den ojämna fördelningen av observationer, vilket är ytterligare en indikation på att SCA:s notering eller inventering av underväxttätet inte var korrekt utfört. En korrekt notering och inventering borde ha resulterat i en jämnare och kontinuerlig fördelning av observationerna av underväxttätet.

Ursprungligen var uppgifterna om respektive trakts gran-, löv- och tall andel uttryckt som procentandelen av volymen för respektive trädslag i förhållande till den totala volymen för hela trakten. Att ha trädslagsandelen i en kontinuerlig skala bedömdes dock svårtolkat och det hade underlättat förståelsen av data om trädslagsandelen var uppdelad i olika kategorier baserade på ett intervall av procentandelar. Av denna anledning fattades beslutet att ändra trädslagsandelen från kontinuerlig till kategorisk skala med 11 olika kategorier, (Bilaga 2). Denna

kategorisering innebar också att variablerna för gran-, löv- och tall andel uppfyllde antagandena för OLS-regressionen och kunde därmed användas i analyserna. Att kategorisera trädslagsandelarna bedömdes inte ha några negativa konsekvenser på resultatet, utan det gjorde endast analyserna mer begripliga och tillämpningsbara i verkligheten.

4.3 Betydelse för praktisk verksamhet

Resultatet från denna studie syftar framför allt till att bidra till SCA:s framtida strategi för hantering av underväxt, men resultatet är även tillämpbart för andra aktörer. Trots att underväxtröjningar inte var ekonomiskt lönsamma enligt denna studie, måste en god arbetsmiljö för maskinförarna säkerställas. SCA rekommenderas därför att förändra sitt synsätt kring underväxtröjningar, från att betrakta det som en kostnadsbesparing till att istället utföra underväxtröjningar för att förbättra maskinförarnas arbetsmiljö. Det kräver att SCA identifierar vad maskinförarna upplever som ”för hög” underväxttäthet och utifrån det kan beslut om nya röjningsgränser tas.

Om underväxtens effekter på förarnas arbetsmiljö bortses från finns det ingen anledningen att utföra en underväxtröjning, då det inte är ekonomiskt lönsamt och att behålla underväxten främjar den biologiska mångfalden. Det finns därmed starka incitament att utforska alternativa metoder som kan förbättra arbetsmiljön för förarna och eventuellt eliminera behovet av att utföra totala underväxtröjningar. Exempel på sådana alternativa metoder kan vara mer selektiva röjningstekniker eller beslutsstöd baserade på LIDAR-teknik (Andersson et al. 2023).

Det kan finnas en möjlig besparingspotential för SCA genom att undvika underväxtröjning som utförs för nära inpå eller efter genomförd gallring, då maskinförarna menar att dessa är onödiga. Dock krävs ytterligare forskning för att undersöka om det faktiskt finns en besparingspotential, samt för att bedöma om en majoritet av maskinförarna anser att sådana underväxtröjningar är onödiga.

Att vidare undersöka kvalitén i AUT är också av betydelse för SCA, då en felaktigt registrerad underväxttäthet kan medföra både ekonomiska och ekologiska nackdelar för företaget.

4.4 Framtida studier

På grund av begränsad arbetstid och att vissa delar därför utfördes i begränsad skala, är ytterligare forskning nödvändig för att uppnå statistiskt signifikanta resultat inom dessa områden. Dessutom tillkom nya frågor under studiens gång som behöver besvaras. Det innebär att fyra specifika ämnen identifierades för fortsatta studier.

1. En noggrann inventering och utvärdering av tillförlitligheten i tidigare utförda inventeringar hos SCA över underväxttäthet, samt kör- och stamskador. Det finns också ett behov att undersöka vilka potentiella fördelar som kan uppnås av noggrannare inventeringar och om detta innebär ökade kostnader.
2. En utökad intervjustudie med maskinförare för att bättre förstå hur SCA i framtiden ska hantera underväxtröjningar, och för att fastställa vid vilken nivå av underväxttäthet som maskinförarnas arbetsmiljö påverkas för mycket.
3. Om SCA eftersträvar att förstå de verkliga ekonomiska konsekvenserna av underväxttätheten, krävs ytterligare studier med ett dataunderlag där underväxtens trädslag och höjd är känd. Det nya datamaterialet måste även säkerställa en högre tillförlitlighet vad gäller mängden underväxttäthet samt kör- och stamskador. Det är dock sannolikt att resultatet från en sådan studie indikerar att det inte är lönsamt att utföra en underväxtröjning.
4. På grund av underväxtens negativa påverkan på maskinförarnas arbetsmiljö är det nödvändigt att hantera underväxten på något sätt. Det är dock oftast inte ekonomiskt lönsamt att underväxtröja, och kvarlämnad underväxt främjar den biologiska mångfalden. Det finns därmed goda argument till varför mängden utförda totala underväxtröjningar bör minimeras. Det blir därför relevant att i vidare forskning undersöka möjligheten till användning av alternativa metoder för att förbättra maskinförarnas arbetsmiljö, såsom beslutstöd eller andra mer selektiva röjningstekniker.

4.5 Slutsatser

Slutsatserna från studiens resultat är följande:

- En ökning av underväxttätheten med 1000 st/ha innebär en sänkning i skördarproduktivitet med 0,014 m³fub/G₀-h. För skotarproduktiviteten innebär motsvarande ökning av underväxttätheten en produktivitetsökning med 0,007 m³fub/G₀-h. För kör- och stamskador samt avbrott återfanns inget signifikant samband med underväxttäthet.
- En ökning av underväxttätheten med 1000 st/ha innebär en ökning i drivningskostnad med 0,076 kr/m³fub (0,058%).
- Kostnaden för en underväxtröjning varierar mellan som lägst 19,16 och som mest 101,29 kr/m³fub och är beroende på underväxtens höjd samt underväxttäthet.
- Den lägsta möjliga underväxtröjningskostnaden var som minst 15,47 kr/m³fub dyrare än den högsta ökningen i drivningskostnad som underväxttätheten orsakade.
- Underväxt anses påverka maskinförarnas arbetsmiljö och arbetsmotivation negativt, samt anses försvåra entreprenörernas möjligheter till rekrytering.
- Givet studiens antaganden och resultat är det aldrig ekonomiskt lönsamt att underväxtröja den generella trakten. Däremot kan det finnas ekonomi i att underväxtröja trakter med hög underväxthöjd och/eller underväxt av gran, vilket tidigare studier har visat. Underväxtröjningar behöver även utföras för att möjliggöra en hanterbar arbetsmiljö för maskinförarna. Därmed krävs någon form underväxtröjning eller annan form av beslutsstöd för att underlätta deras arbete och rekrytering.

Utöver studiens syften drogs följande generella slutsatser:

- Eftersom underväxt har fördelar för biologisk mångfald och att röja bort den inte är ekonomiskt lönsamt blir det relevant att undersöka om det finns andra metoder/beslutsstöd som kan förbättra maskinförarnas arbetsmiljö i hög underväxttäthet.
- SCA bör se över sina inventeringsinstruktioner för underväxt samt kör- och stamskador.
- Det finns ett behov och potentiella fördelar i att registrera underväxt inte bara efter dess underväxttäthet utan även utifrån trädslag samt höjd.

Referenser

- Ager, B. (2017). *Nedslag i skogsbrukets teknikhistoria*. Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2017:11. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Agestam, E. (2015). *Skogsskötselserien Nr 7 - Gallring*. 2 uppl. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotselserien--gallring/> [2023-09-06]
- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselserien Nr 1 - Skogsskötselns grunder och samband*. 2 uppl. Skogsstyrelsen. (Skogsskötselserien; 1)
- Andersson, G., Davidsson, A., Jonsson, R., Möller, J. & Thor, M. (2022). *Inga skogliga åtgärder under häckningsperioden?* Arbetsrapport, 2022:1109. Skogforsk. https://www.skogforsk.se/cd_20220217133357/contentassets/f101e0791aa4c81acc478e246458488/arbetsrapport_1109-2022.pdf [2023-12-20]
- Andersson, M., Berthold, S., Goodhe, M., Lind, C. & Moström, O. (2023). *LIDAR-baserat stödsystem för operatörsbaserad navigering av skördaraggregat i gallringsskog med sikthindrade underväxt*. LTU-Rapport, januari 2023. Institutionen för teknikvetenskap och matematik, Luleå Tekniska Universitet (LTU). [2023-08-29]
- Andersson, Å. (2016). *Förröjningsstrategier vid förstagallring*. Examensarbete vid Institutionen för Skog- och träteknik, Maj 2016. Institutionen för skog- och träteknik, Linné universitetet. [2023-12-19]
- Baskerville, G.L. (1972). Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2 (1), 49–53. <https://doi.org/10.1139/x72-009>
- Bergkvist, I. & Nordén, B. (2002). *Maskinell underväxtröjning med Timberjack 770/720 innan slutavverkning*. Arbetsrapport, 2002:506. Skogforsk. [2023-11-22]
- Bergquist, J., Edlund, S., Fries, C., Gunnarsson, S., Hazell, P., Karlsson, L., Lomander, A., Näslund, B.-Å., Rosell, S. & Stendahl, J. (2016). *Kunskapsplattform för skogsproduktion - Tillståndet i skogen, problem och tänkbara insatser och åtgärder*. Skogsstyrelsen. (1). [2023-11-22]
- Biau, D.J., Kernéis, S. & Porcher, R. (2008). Statistics in Brief: The Importance of Sample Size in the Planning and Interpretation of Medical Research. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 466 (9), 2282–2288. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0346-9>
- Brunberg, T. & Lundström, H. (2010). *Rätt maskinval i gallring – studie vid SCA Skog*. Resultat, 2010:6. Skogforsk. [2023-09-13]
- Brus, S. (2023). *Utveckling av barrträdsföryngringar markberedda med grävmarkberedning kontra harvning på blockrik skogsmark*. Examensarbete vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2023:5. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT), Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/18775/> [2023-12-20]
- 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*, 25 (3), 179–200.
<https://doi.org/10.1080/14942119.2014.974309>
- Forsberg, M. & Lodén, H. (2020). *Förröjning i Sverige*. Kandidatarbeten i Skogsvetenskap, 2020:13. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT), Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/15935/> [2023-08-29]
- Frank, N. (2006). *Underröjning i förstagallring*. Examensarbete i skogshushållning, 2006:64. Institutionen för skogens produkter och marknader, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/11239/> [2023-12-10]
- Grandin, W. & Karlsson, S. (2023). *Underväxtens påverkan på skördarförarens prestation*. Kandidatarbeten i Skogsvetenskap, 2023:9. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/19107/> [2023-09-06]
- Gustavsson, H. (2016). *Tidsåtgång och kostnader för försenad röjning*. Kandidatarbeten i Skogsvetenskap, 2016:10. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT), Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/8771/> [2024-04-23]
- Hannerz, M., Nordin, A. & Saksa, T. (2017). *Hyggesfritt skogsbruk - Erfarenheter från Sverige och Finland*. Future forests rapportserie, 2017:1. Sveriges lantbruksuniversitet. <https://res.slu.se/id/publ/93654> [2023-12-10]
- Holm, S. (2012). *Inventeringsteori*. Internt material. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Jansson, E. (2011). *Prestationspåverkan av flerträdshantering i klena gallringar*. Examensarbete i skogshushållning, 2011:21. Skogsmästarskolan, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/3367/> [2023-09-11]
- Johansson, L. (2021). *Röjningsinstruktioner SCA*. Internt material. SCA Skog AB. [2023-09-07]
- Johansson, T.E. (2020). *Tillämpningsinstruktioner för prestationsnormer daterade jan 2020*. Internt material. SCA. [2023-09-01]
- Jonsson, F. (2015). *Hur påverkar avlövad underväxt kvaliteten och drivningskostnaden i gallring?* Examensarbete vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2015:8. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT). <https://stud.epsilon.slu.se/7867/> [2023-12-19]
- Jonsson, R. (2013). *Simulering av gallring med noll, ett eller två beståndsstråk mellan stickvägarna och jämförelse av drivningskostnader*. Examensarbete vid Institutionen för skoglig resurshushållning, 2014:416. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/6849/> [2023-12-20]
- Klein, J. (2020). The forgotten forest : on thinning, retention, and biodiversity in the boreal forest. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*, 2020 (2020:50), 66
- Kärhä, K. (2006). Effect of undergrowth on the harvesting of first-thinning wood. *Forestry Studies Metsanduslikud Uurimused*, (45), 101–117
- Kärhä, K. & Bergström, D. (2020). Assessing the Guidelines for Pre-Harvest Clearing Operations of Understory in First Thinnings: Preliminary Results from Stora Enso in Finland. *European Journal of Forest Engineering*, (6), 14–22
- Lundqvist, L., Cedergren, J. & Eliasson, L. (2014). *Skogsskötselserien Nr 11 - Blädningsbruk*. 2 uppl. Skogsstyrelsen. Skogsskötselserien; 11. [2023-12-10]
- Meijer, Å. (2021). Brist på skogsmaskinsförare – många slutar de närmaste åren. *Sveriges Radio*. <https://sverigesradio.se/artikel/brist-pa-skogsmaskinsforare-manga-slutar-de-narmaste-aren> [2023-09-06]

- Merry, K. & Bettinger, P. (2019). Smartphone GPS accuracy study in an urban environment. *PLOS ONE*, 14 (7), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219890>
- Myhrman, D. (1993). *Terrängmaskinen del 1*. Skogforsk.
- Nordfjell, T. (2006). *Kalkylmodell för skogsmaskiner*. Internt material. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet. [2023-12-04]
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40 (2), 335–363. <https://doi.org/10.14214/sf.346>
- Phillips, H. (2004). Thinning to improve stand quality. *Cofor connects*, Vol 10 (10), 4
- Poulsen, B.O. (2002). Avian richness and abundance in temperate Danish forests: tree variables important to birds and their conservation. *Biodiversity & Conservation*, 11 (9), 1551–1566. <https://doi.org/10.1023/A:1016839518172>
- Pålsson, M. (2013). *Behovsgrad av förröjning i förstagallring av konfliktbestånd, avverkad med flerträdshantering*. Examensarbete vid Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, 2013:206. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/5346/> [2023-12-19]
- Riksskogstaxeringen (2023a). Fältinstruktioner 2023. Riksskogstaxeringen, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/riksskogstaxeringen/om-riksskogstaxeringen/om-inventeringen/faltinstruktioner/> [2023-12-11]
- Riksskogstaxeringen (2023b). *Skogsdata 2023*. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges lantbruksuniversitet.
- SCA skog (2010). *Så här ska du gallra*. Internt material. SCA Skog AB.
- SCA skog (2023). *Om SCA Skog*. SCA. <https://www.sca.com/sv/skog/sca-skog/> [2023-11-20]
- SCB (2023). *Marken i Sverige. Statistiska Centralbyrån*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/marken-i-sverige/> [2023-11-22]
- Sjöqvist, M. & Olofsson, V. (2018). *Förröjningens påverkan på avverkning med förstagallringsskördare*. Examensarbete SLU, Skogsmästarprogrammet, 2018:19. Skogsmästarskolan, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/14133/> [2023-11-22]
- Skogelid, O. (2019). *Underväxtens påverkan på produktiviteten och gallringskvalitén hos två gallringsskördare*. Examensarbete SLU, Skogsmästarprogrammet, 2019:02. Skogsmästarskolan, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/14242/> [2023-08-29]
- Skogsencyklopedin (2023). Underväxt. *Skogsencyklopedin*. Skogskunskap. <https://www.skogskunskap.se:443/ordlista/u/undervaxt/> [2023-09-06]
- Skogskunskap (2022). *Gallring för självverksamma*. <https://www.skogskunskap.se:443/skota-barrskog/gallra/gallring-for-sjalvverksamma/> [2023-12-10]
- Skogsstyrelsen (2023a). *Kostnader i det storskaliga skogsbruket*. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/kostnader-i-det-storskaliga-skogsbruket/> [2023-11-22]
- Skogsstyrelsen (2023b). *Rundvirkespriser*. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/rundvirkespriser/> [2023-11-22]
- SLA Norr (1991). *Prognosunderlag – Motormanuell röjning och förrensning*. Centrala tryckeriet. <https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/ekonomi/kostnader-och-prestationer-i-rojning/prestationer-i-rojning-fran-sla/> [2023-12-03]

- Sohil, F., Sohali, M.U. & Shabbir, J. (2022). An introduction to statistical learning with applications in R. *Statistical Theory and Related Fields*, 6 (1), 87–87. <https://doi.org/10.1080/24754269.2021.1980261>
- Wiklund, H. (2019). *Effekten av underväxtröjning och gallringsintensitet på skördarens effektivitet i förstagallring*. Examensarbete vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2019:3. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (SBT). <https://stud.epsilon.slu.se/14993/> [2023-09-11]
- Zeng, W.S. & Tang, S.Z. (2011). Bias Correction in Logarithmic Regression and Comparison with Weighted Regression for Nonlinear Models. *Nature Precedings*, 11. <https://doi.org/10.1038/npre.2011.6708.1>

Bilaga 1 – SCA:s inventeringsinstruktion för underväxt

SCA:s inventeringsinstruktioner säger att underväxt ska mätas inom cirkelytor jämnt fördelade över arealen, där både storleken på cirkelytor samt antalet ytor är ospecificerat. Inom varje cirkelyta ska alla stammar som är högre än 1,3 m i höjd och med en brösthöjdsdiameter <8 cm räknas oavsett om de bedöms hindrande eller inte. Underväxtstammar med klyka räknas som en stam, oberoende klykans höjd. Inventeringsinstruktionerna anger att justeringar av underväxttätheten som faller inom ± 500 st/ha ska undvikas då det bedöms som bortkastat arbete (Johansson 2020).

Bilaga 2 – Värden samt gränser för kategorisk data

Kategori	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kategorier 1-10 för underväxttäthet vid samtliga modeller (st/ha)											
Värde	X<1	≥1 X ≤ 1000	>1000 X ≤2000	>2000 X ≤3000	>3000 X ≤4000	>4000 X ≤5000	>5000 X ≤6000	>6000 X ≤7000	>7000 X ≤8000	X>8000	-
Kategorier för gran-, löv- och tall andel vid samtliga modeller (%)											
Värde	=0	>0 X ≤10	>10 X ≤20	>20 X ≤30	>30 X ≤40	>40 X ≤50	>50 X ≤60	>60 X ≤70	>70 X ≤80	>80 X ≤90	>90 X ≤100

Bilaga 3 – SCA:s inventeringsinstruktion för kör- och stamskador

SCA:s inventeringsinstruktioner för bedömning av kör- och stamskador säger att inom trakten ska fyra stycken skadeuppföljningsytor, av ospecificerad storlek, placeras ut längs stickvägarna. För att avgöra mängden stamskador inom varje yta ska 25 träd inventeras för förekomst av stamskada och av dessa ska samtliga träd med stamskador noteras. För att ett en skada ska räknas som stamskada krävs det att ved är synligt på en yta större än 15 cm².

Förekomsten av körskador bedöms i samma fyra ytor som stamskador och i dessa mäts förekomsten av spårbildning djupare än 10 cm. Överskrider den sammanlagda längden spårbildning, djupare än 10 cm, 20 m/ha har trakten en körskada.

Bilaga 4 – Inventeringsinstruktion fältinventering

Fältinventeringarna utfördes som en objektiv stickprovsinventering, där provytor i form av cirkelytor med en radie på 2,82 m (area=25 m²) placerades ut i ett ruttmönster. Provytornas placering i trakten gjordes digitalt i programmet Q-GIS, och gick till på följande sätt för varje enskild trakt:

1. En shape-fil över traktens gränser laddades in i Q-GIS.
2. En startkoordinat lottades slumpmässigt ut i trakten.
3. Utifrån startkoordinaten placerades ett ruttmönster över trakten och varje ruta som hamnade inom traktens gränser utgjorde en provyta.
4. Storleken på ruttmönstret (avståndet mellan rutorna) justerades så att varje trakt hade minst fem eller max 20 provytor. Det innebar i praktiken att avståndet mellan provytorna varierade mellan 50 till 100 m.
5. Efter att provytorna placerats ut skapades ett kartlager. Detta exporterades sedan till IOS-appen Guru Maps PRO. Provytorna lokaliserades i fält genom Guru Maps Pro nedladdad på en Iphone 12.

När provytorna hade lokaliserats i fält så mättes de ut med en så kallad ”röjpinne” som var 2,82 m lång. Vid utförandet av inventeringarna placerades röjpinnen mot inventerarens bröst och denne roterade sedan 360 grader, vilket skapade en cirkelprovyta med arean 25 m². Inom vardera cirkelprovyta räknades samtliga underväxtstammar med en höjd över 1,3 m och med en brösthöjdsdiameter <8 cm. Underväxtstammar med klyka räknas som en stam, oberoende klykans höjd. De underväxtstammar som befann sig nära ytterkanten av provytan inkluderades om bakkanten av underväxtens stam var ≤2,82 m från provytecetrum i 1,3 m höjd.

Bilaga 5 – Intervjusvar från gallringsentreprenörerna

Sammanfattade intervjusvar:

Frågor om underväxtröjning:

1. Vad utgör de största problemen som underväxt orsakar för dig som skotar- respektive skördarförare?

- För skördaren:
 - **Nord:** Tar längre tid att ansätta aggregat, mer "kedjehopp" och ökad risk för stamskador.
 - **Mitt:** Försämrad sikt, svårt att planera var stickvägar ska dras, ökad andel stamskador och sämre kvalitet i gallringen.
 - **Syd:** Sänkt produktivitet och mer psykiskt tungt att arbeta.
- För skotaren:
 - **Nord:** Mycket ris (underväxt) följer med i lassen och måste sorteras bort, risken att få med stenar och andra orenheter i lassen ökar också.
 - **Mitt:** Underväxt följer med i lassen och måste sorteras bort och en ökad risk för skada på slangar och däck i bestånd där skördaren har tryckt ner underväxten. I bestånd som är underväxtröjda för nära inpå gallring ökar problemet med att skotaren får med sig underväxt i lassen.
 - **Syd:** Underväxt följer med i lassen och måste sorteras bort. Problemet blir värre om det är röjt för nära inpå gallring.

2. På vilket sätt påverkar underväxten din produktivitet som skotar- respektive skördarförare? Dvs vad anser du är den/de största orsakerna till att produktiviteten minskar med ökad underväxt?

- För skördaren:
 - **Nord:** Ansättning av aggregat tar längre tid, klen underväxt runt träden leder till "tjorv" med aggregatet och onödiga avbrott, fler dubbelkap och skördaren måste även röja underväxt alternativt trycka ner de för att skotaren ska komma fram.
 - **Mitt:** Försämrad sikt, träden faller fel och ökad mängd kedjehopp.
 - **Syd:** Att göra bra trädval blir svårare på grund av sämre sikt. Blir även svårare att planera var stickvägar ska dras. Är det mycket underväxt blir det lätt att man stöter på oförutsedda hinder, som stora stenar eller gropar/stup.
- För skotaren:
 - **Nord:** Ris måste sorteras ut från lassen.
 - **Mitt:** Ris följer med och måste sorteras ur lassen.
 - **Syd:** Ris följer med och måste sorteras ur lassen.

- 3. Vad utgör de största fördelarna för ditt arbete om ett bestånd är underväxtröjt?**
- *Nord:* Det leder till en högre produktivitet jämfört med att jobba i mycket underväxt, speciellt för ovana skördarförare. Kan man uppnå en högre produktivitet minskar även arbetsbelastningen då man inte behöver stressa lika mycket för att uppnå prestationskraven. Anställda vittnar även om en betydande sänkning i arbetsmotivationen när underväxt förekommer, något som i sin tur beror på att prestationskraven i underväxt känns för tuffa.
 - *Mitt:* Produktiviteten ökar och gallringskvalitén blir bättre.
 - *Syd:* Sikten blir bättre, planerande av stickvägar blir enklare och flerträdshanteringen blir både enklare samt effektivare då stammar av samma dimensioner enklare kan hittas. Även andelen stamskador minskar.
- 4. Finns det enligt dig några fördelar för ditt arbete om ett bestånd inte är underväxtröjt?**
- *Nord:* Nej!
 - *Mitt:* Möjligen att underväxt kan höja bärligheten på trakter med svag bärlighet, men annars nej.
 - *Syd:* Nej!
- 5. Har du någon gång upplevt att trakter underväxtröjs i onödan? När förekommer det i så fall?**
- *Nord:* Nej det har jag aldrig upplevt!
 - *Mitt:* Ja om gallring sker för tätt inpå att underväxtröjning har skett är det i regel onödigt att underväxtröja, då problemen som underväxten orsakar fortfarande finns kvar.
 - *Syd:* Nej det har aldrig hänt. Det förekommer dock att det utförs total röjningar på trakter med bara bitvis mycket underväxt, något som är onödigt. Här hade mer precision önskats i röjningarna, så att inget röjs i onödan.
- 6. På vilket sätt (tex total röjning, röjning runt huvudstammar, mm) samt när hade du önskat att underväxtröjning utförs eller eventuellt inte utförs?
Kan exempelvis underväxtröjning undvikas under vissa förutsättningar eller finns det andra förutsättningar där bestånd alltid bör röjjas?**
- *Nord:* Stor fördel om underväxtröjning utförs gärna ett år/en vinter innan gallring, då det garanterar att riset hinner lägga sig och inte orsakar problem för skördaren eller skotaren. Underväxtröjning efter gallring förekommer i vissa fall, vilket entreprenören inte ser några fördelar med.
 - *Mitt:* Finns det behov av underväxtröjning bör den aldrig undvikas om den kan ske i god tid innan gallring, gärna ett år före.
 - *Syd:* Förekommer det mycket underväxt på hela trakten är det bäst om hela trakten röjs. Är det däremot så att det bara förekommer mycket låg och tät underväxt kan det räcka att bara röja runt stammarna. Helst hade entreprenören önskat om underväxtröjning utfördes tre år innan gallring då det garanterar att den röjda underväxten ej orsakar problem.
- 7. Hur påverkar underväxt din arbetsmotivation?**
- *Nord:* Bara negativt! Speciellt påverkad blir skördarförarens arbetsmotivation, då dennes arbete blir mer tråkigt och stressigt när underväxten ökar. För skotarföraren är det inte lika jobbigt, men att ständigt sortera ut ris ur lassen blir även det påfrestande.
 - *Mitt:* Det sänker den betydligt. Arbetet blir jobbigare, tråkigare, motivationen minskar och hela drivet försvinner. Desto större trakten är desto jobbigare blir det att gallra med mycket underväxt. Oftast går en vecka bra att köra i mycket underväxt, men två-tre veckor i underväxt är inte kul. Är det mycket underväxt blir det även svårare att göra ett bra arbete och skapa en gallring med bra kvalitet. Stor risk att träd med skador eller törskate blir kvar i de gallringar där underväxten är hög. Även detta sänker arbetsmotivationen då det inte är kul att känna att man gör

ett dåligt jobb varje dag. De produktionskraven som finns när underväxten ökar gör det även omöjligt att lämna bra kvalitet i dessa gallringar.

- **Syd:** Mer underväxt leder till att arbetet blir psykiskt tyngre då den begränsade sikten gör att det blir svårt att nå upp till de prestationskraven som finns vid mycket underväxt. Överlag uppfattas även dessa prestationskrav som för tuffa och bidrar till att gallringsarbetet i underväxt blir än tyngre. Hur psykiskt tung en trakt med mycket underväxt blir beror även i stor grad på traktens storlek, en vecka med gallring i mycket underväxt går bra men ju längre trakten går desto tyngre blir det.

Frågor om skogsbolagens hantering av underväxt:

1. Vad är dina åsikter om SCAs nuvarande ställning till underväxtröjning, anser du att något bör förändras?

- **Nord:** Förändringar behövs! Framförallt en högre ersättningsnivå vid högre stamantal av underväxt, det upplevs som att ersättningen vid underväxt över 5 000 st/ha inte väger upp för den produktivitetssänkning som underväxten orsakar. Att fler trakter röjs hade även det varit önskvärt då entreprenören upplever att inte ens de trakter som överstiger 5 000 st/ha underväxtröjs.
- **Mitt:** SCA borde röja lite oftare och speciellt få privata skogsägare att röja oftare. Upplevelsen är också att om en underväxtröjning utförs eller ej beror mer på den lokala ledningen än på de riktlinjer som SCA har. Det borde även läggas mer fokus på inventeringen av underväxt inför gallring då den ganska ofta ej stämmer med verkligheten och tenderar att vara underskattad, men det kan också skilja sig från planerare till planerare. Det är inte heller alltid som gallringsgruppen hinner eller ids kontrollmäta underväxten vilket innebär att de inte blir korrekt ersatta för dessa fel.
- **Syd:** Det har blivit bättre de senaste åren, de trakter som är över 5 000 st/ha röjs i regel. Dock upplevs 5 000 st/ha som en för hög gräns. Entreprenören menar dock att om en underväxtröjning utförs eller inte i större grad beror på om ledningen i området anser att det behövs och den gräns som SCA har spelar mindre roll.

2. Finns det skogsbolag som har bättre tillvägagångssätt angående när de väljer att utföra underväxtröjning? Hur ser i så fall det tillvägagångssättet ut?

- **Nord:** Samtliga konkurrerande skogsbolag i regionen underväxtröjer oftare och vid lägre stamantal av underväxt än SCA.
- **Mitt:** Finns inga skillnader mellan andra aktörer i området, de flesta jobbar likadant.
- **Syd:** Nej inget som entreprenören känner till. Många bolag säger dock att de röjer oftare, men i verkligheten blir det inte så. Generellt råder även ett problem att röjningsfirmorna inte hinner röja gallringarna i tid och underväxtröjningen sker istället för nära inpå gallringen.

3. Olika skogsbolag har som bekant olika synpunkter över när underväxtröjning ska utföras, där SCA har en väldigt hög tröskel på 5 000 röjstammar/ha medan andra bolag har lägre. Är ett skogsbolags benägenhet till underväxtröjning något som styr i ditt val av arbetsgivare, om ja till vilken grad?

- **Nord:** Ja, eftersom SCA knappt röjer någon trakt i entreprenörens region så blir SCA:s inställning till underväxt något som har fått entreprenören att fundera på att byta arbetsgivare. Att så få trakter underväxtröjs, även fast de enligt SCA:s riktlinjer skulle ha röjts, gör det svårt att rekrytera samt behålla personal, vilket i sin tur gör det svårt att få företaget att gå runt.
- **Mitt:** Nej inte direkt. En bra ersättning och bra bemötande påverkar betydligt mer i valet av arbetsgivare.
- **Syd:** Nej. Hur ledningen är och hur ersättningen ser ut är vad som huvudsakligen påverkar valet av arbetsgivare.

4. **Hade du personligen sett att ni entreprenörer kompenseras mer ekonomiskt när ni gallrar i underväxt eller att uppdragsgivaren (SCA) hade underväxtröjt oftare?**
- *Nord: Hellre att SCA röjer oftare än att de betalar mer i ersättning, men det finns även ett behov att höja ersättningsnivån för underväxt >5 000 röststammar/ha.*
 - *Mitt: Hellre mer underväxtröjning än högre ersättning, då det leder till bättre resultat och trevligare arbetsmiljö.*
 - *Syd: Mer underväxtröjning är att föredra framför en högre ersättning, då mer underväxtröjning leder till en bättre arbetsmiljö.*
5. **Hade det underlättat för dig med rekryteringen av ny personal om underväxtröjning utfördes oftare, det vill säga blir underväxt ett större problem för oerfaren personal?**
- *Nord: Ja absolut! Oerfaren personal påverkas mer av underväxt och det är omöjligt att lära upp ny personal i bestånd med mycket underväxt. Det är även svårt att få personal att stanna kvar hos en arbetsgivare som nästan uteslutande gallrar i mycket underväxt, då byter de istället till maskinlag som jobbar åt andra skogsbolag.*
 - *Mitt: Underväxtröjning blir visserligen ett större problem för nya förare, med fler skador och sämre produktivitet. Däremot innebär inte underväxt ett problem i själva rekryteringen, men hur mycket underväxt som ett gallringsgrupp måste gallra i kan vara avgörande i hur länge en nyanställd stannar kvar. Förarna ledsnar helt enkelt och söker sig till andra arbetsgivare som erbjuder bättre arbetsmiljö.*
 - *Syd: Ja definitivt. Gallrar maskinlaget ofta i mycket underväxt blir det svårt att få personal att börja och även att få de att stanna kvar. Speciellt nya och oerfarna förare har svårt att nå upp till produktionskraven som finns vid mycket underväxt. Det gör i sin tur att de känner sig värdelösa och arbetet blir än mer psykiskt jobbigt. Att gallringar underväxtröjs är också en förutsättning för att kunna träna upp ny personal, då det är mycket enklare att lära upp någon i skogar med bra sikt och goda förutsättningar för hög produktivitet. Det hade också underlättat om ny personal inte har lika höga prestationskrav i början, speciellt i bestånd med mycket underväxt.*
6. **Kan underväxt under 1,3m i höjd utgöra ett problem vid gallring, på vilket sätt?**
- **Om ja, anser du att SCA även borde inräkna denna typ av underväxt när de bedömer underväxtenstäthet?**
 - o *Nord: Ja den bör inräknas om den finns omkring stammarna. Underväxt under 1,3m utgör även ett stort problem när det är upplegda då de försämrar sikten betydligt i dessa förhållanden.*
 - o *Mitt: 1,3m känns som en bra gräns. Är det dock extremt mycket underväxt under 1,3m kan den orsaka problem och bör i dessa fall medräknas när underväxtenstäthet bedöms.*
 - o *Syd: Ja den borde oftast inräknas. Underväxt under 1,3m orsakar egna typer av problem och det bästa vore därför om underväxt över samt under 1,3m registrerades separata och att ersättningsnivån var olika för de olika höjderna. Underväxt under 1,3m behöver dock inte registreras på alla trakter, men åtminstone på de trakter där det förekommer mycket av den typen av underväxt.*

Övriga frågor kopplade till studien:

1. I min studie har jag undersökt hur underväxt påverkar den totala kostnaden för gallringsarbetet genom att kolla på följande parametrar:
 - Maskinproduktivitet
 - Stamskador
 - Tidsutnyjande
 - Stillestånd (andelen avbrott pga haverier, kedjebrott/hopp, mm)
 - Körskador

Anser du att det finns några parametrar som påverkar gallrings som jag bör titta på utöver dessa ovan nämnda?

- *Nord:* Hur underväxten påverkar skogsmaskinförarens arbetsmiljö borde vara något som väger tungt när SCA bedömer när underväxtröjning ska utföras, speciellt då det råder förarbrist i branschen.
- *Mitt:* Hur bra kvalitén i gallringen blir. Lyckas man i samma utsträckning gallra bort skadade träd eller träd med törskate i de bestånden med mycket underväxt? Troligen är svaret nej. Hur bra kvalitén är borde vara relevant att bry sig om speciellt för markägaren, då skador som lämnas kvar i gallringen påverkar nettot negativt i efterföljande slutavverkning.
- *Syd:* Arbetsmotivationen är en viktig parameter att kolla på. Oftast jämför människor som tänker sig att bli skogsmaskinförare skogsbranschen mot entreprenadbranschen. Kör man exempelvis grävmaskin så utförs arbetet varje dag i bra sikt, oftast utan prestationskrav, man har en närhet till samhällen och lönen är även oftast högre. Kör man istället skogsmaskin så finns inte dessa fördelar och då borde det vara självklart att skogsbolagen ska göra så mycket som möjligt för att förbättra arbetsförhållandena genom att exempelvis underväxtröja oftare. Hade det utförts så hade det definitivt inte blivit svårare att rekrytera.

Övriga synpunkter:

- *Nord:* SCA bör börja notera höjd och typ av underväxt som förekommer på en trakt och också basera maskinlagens ersättning på detta. Då det kan vara en betydande skillnad i hur mycket underväxten påverkar beroende på om det är gran- eller björkunderväxt i olika höjder och också beroende på vilken årstid som gallringen utförs i.
Kvalitén i inventeringen av hur mycket underväxt en trakt har upplevs ofta som dålig och är ofta fel. Mer noggranna inventeringar hade varit önskvärt och SCA hade troligen även tjänat på det.
- *Mitt:* SCA betalar idag inte ut någon ersättning för de träd som är under 8 cm i brösthöjd, då de menar på att det inte är ekonomiskt lönsamt att ta ut dessa. På trakter som inte är underväxtröjda så är det dock ett måste att hantera dessa stammar. Väljer man då att inte skörda och aptera de så tvingas skördaren att trycka ner de vilket kan orsaka skador på omkringliggande huvudstammar eller orsaka skador på skördaren eller skotaren. Apterar skördarföraren istället dessa stammar så slipper man de problemen och får även ut mer volym, vilket bör vara mer lönsamt i längden.
På de trakter som ska gallras i närtid, inom mindre än ett år, och är väldigt täta är det i regel inte värt att underväxtröja. Då den röjda underväxten inte hinner lägga sig innan gallring ska utföras. Det innebär att skördaren och skotaren ändå får "slås" med underväxten fast den redan är röjd och då entreprenörerna inte får någon ersättning för den påverkan som den röjda underväxten innebär så gör de en ekonomisk förlust på sådana bestånd.
SCA:s virkesköpare borde bli bättre på att få privata skogsägare att underväxtröjda

då skogsägarna hade tjänat på det genom lägre gallringskostnader och bättre resultat.

- **Syd:** Förekommer att gallringar på privat mark underväxtröjs efter gallring, vilket är helt onödigt och troligen ett resultat av att virkesköparna släpper igenom sådana önskemål från markägarna.

Entreprenören upplever även att köparna/planerarna inte alltid följer de riktlinjer som SCA har kring underväxtröjning och dess utförande.

En annan upplevelse är att de som planerar gallringen i stor grad styr hur stor ersättningen blir för entreprenörerna, men planerarna har oftast dålig koll på vad deras beslut innebär för entreprenörens ersättning. Det innebär att planerarna ofta inte förstår var deras bitvis dåliga planeringsunderlag faktiskt innebär i det stora hela. Hade varit önskvärt om mer tid lades på planeringen av gallringarna och att man verkligen ser till att allt blir rätt.

Fullständiga intervjuvar:

Frågor om underväxtröjning:

1. Vad utgör de största problemen som underväxt orsakar för dig som skotar- respektive skördarförare?

- **Nord:** Överlag så är upplevelsen att allt blir negativt, underväxt bidrar inte med något positivt för varken skotar- eller skördarföraren.
Största problemet med underväxt för skotaren är att mycket ris/underväxt följer med från skördarens virkeshögar och hänger med i lasset till avlägg. Det innebär att skotaren får mycket mer krankörning för att sortera bort riset från gagnvirket. Mer underväxt leder även till att skotaren riskerar att få med sig stubbar eller andra föroreningar i lasset, vilket måste sorteras bort på avlägg.
Största problemet för skördaren är att det tar längre tid att ansätta aggregatet på stammen, det leder till mer kedjehopp och en ökad risk för skador på kvarvarande bestånd, speciellt blir det ett problem för nya förare.
- **Mitt:** Skördaren: Framförallt försämrad sikt och sämre ersättning på grund av sänkt produktivitet. Är det dålig sikt blir det svårt att hålla avståndet mellan stickvägar och det blir svårt att planera hur dessa ska dras. Andelen skador ökar och överlag blir jobbet sämre utfört genom att gallringskvaliteten blir sämre. Ett annat problem är att SCA inte betalar entreprenörerna för de träd som avverkas som är under 8 centimeter i brösthöjd. På trakter med mycket grov underväxt blir det ett problem för ska entreprenören bara ta de träden som ger ersättning så kommer träd under 8 centimeter att lämnas och bara köras över. Det leder till en lägre gallringskvalitet. Underväxten kan även styra träd till att falla mot befintliga stammar och orsaka släp-/fällskador
Gallras träden under 8 centimeter bort och tas som volym så ökar visserligen volymen i gallringen, men då dessa träd ej räknas med i totala antalet träd så blir medelstamsvolymen i dessa bestånd högre, vilket minskar ersättningen till entreprenören.
- **Skotaren:** Framförallt handlar problemen om att skotarföraren får med sig mycket underväxt i lasset, vilket antingen måste sorteras bort vid skotningen eller framme vid avlägg. Ett annat problem är att om skotaren ska köra efter skördaren och denna lämnar träd med diameter under 8 centimeter ökar risken för att skotaren ska få skador på däck, slangar och lampor.
Problemen är större för skotaren i de bestånd som är underväxtröjda för tätt in på gallring. I dessa bestånd är underväxten inte nedtryckt vilket ökar risken att få med de i lasset. Fördel om bestånd underväxtröjs så att en vinter hinner passeras innan gallringen ska utföras.
- **Syd:** Skördaren: Produktionen sänks markant och det blir mer psykiskt tungt att gallra i mycket underväxt. Helst undviker man även att ta klena träd då detta inte ger

någon betalning, men att undvika dessa leder till svårare gallring.

Skotaren: Produktionen minskar då mycket ris riskerar att följa med i gripen in i lasset, riset måste sen sorteras bort vilket skapar produktionssänkningar. Detta blir speciellt ett problem om det är röjt för nära inpå gallringen.

2. På vilket sätt påverkar underväxten din produktivitet som skotar- respektive skördarförare? Dvs vad anser du är den/de största orsakerna till att produktiviteten minskar med ökad underväxt?

- **Nord:** För skördaren tar ansättning av aggregat mot stam längre tid, vilket sänker produktiviteten. Mycket underväxt kring stammen kräver även att röjning utförs med aggregatet, gäller speciellt på klen underväxt (det under 1,3m) som kan "slingra" sig och allmänt "tjorvar" i aggregatet. Mer underväxt runt stammen leder även till mer dubbelkap, vilket sänker produktivitet.

Skördaren måste trycka ner mycket underväxt för att kunna utföra sitt jobb, men även för att underlätta för skotarens arbete. Annars får skotaren svårare att plocka upp virkeshögarna i skogen och större risk att underväxt följer med.

- **Mitt:** Genom att sikten försämras, ökad mängd kedjehopp, träden faller fel, underväxt följer med lassen.
- **Syd:** Skördaren: Att göra trädval blir svårare på grund av sämre sikt. Att planera var stickvägar ska dras blir även svårare med mer underväxt, speciellt blir det ett problem i kuperad terräng där det är lätt att stöta på sten eller stup om sikten är dålig. Skotaren: Främst handlar det om att ris följer med i lassen

3. Vad utgör de största fördelarna för ditt arbete om ett bestånd är underväxtröjt?

- **Nord:** Primärt att det leder till en högre produktivitet speciellt för mer ovana skördarförare. Det leder i sin tur leder till att arbetsbelastningen minskar då man kan upprätthålla en hög produktivitet utan att behövas stressa lika mycket. Generellt är även anställda mer missnöjda med mycket underväxt och det leder till en markant sänkning av deras arbetsmotivation. Dessutom upplevs produktionskraven som finns vid mycket underväxt som för höga, vilket skapar en stress. Entreprenören tillägger även att hen jobbar uteslutande med mycket underväxt och får sällan/aldrig köra i bestånd som är underväxtröjda oavsett stamantalet.

- **Mitt:** Är bestånden underväxtröjda blir produktionen bättre och gallringskvalitén ökar.

- **Syd:** Sikten blir betydligt bättre och planerande av stickvägar blir enklare. Det blir även lättare att flerträdshantera om det är underväxtröjt. Detta för att effektiv flerträdshantering kräver lika långa träd och samma dimensioner för att det ska fungera bra, vilka blir enklare att välja ut om det är underväxtröjt. Är skogen underväxtröjd kan även många onödiga stamskador undvikas.

4. Finns det enligt dig några fördelar för ditt arbete om ett bestånd inte är underväxtröjt?

- **Nord:** Nej, inte rent arbetsmässigt. Däremot i område med mycket luckor kan det vara bra att inte underväxtröja för att på sikt kunna skapa ett tätare bestånd med högre grundyta.

- **Mitt:** Nej, skulle möjligen kunna vara en fördel om bärigheten är dålig för då kan underväxt användas som ris för att höja bärigheten.

Dock på de bestånden som ska gallras i närtid och där underväxten är hög är det inte värt att göra en underröjning. Detta för underväxten i dessa bestånd oavsett orsaka problem även om den är röjd. Därför är det bättre att inte röja och istället betala entreprenörerna ersättningen. Att istället underväxtröja hade varit att kasta pengar i sjön då det inte underlättar för entreprenören. Bättre är istället att underväxtröja en vinter före gallring.

- **Syd:** - Nej, finns inga fördelar.

Ibland förekommer det dock att en underväxtröjning utförs efter att gallring har utförts, vilket är helt onödigt och borde inte förekomma. Att detta förekommer beror

troligen på att virkesköparen är för svag som släpper igenom sådana åsikter från markägaren. Entreprenörens upplevelse är även att köparna/planerarna inte alltid följer de riktlinjer som SCA har om underväxtröjningens utförande.

5. Har du någon gång upplevt att trakter underväxtröjs i onödan? När förekommer det i så fall?

- *Nord:* Nej det har aldrig hänt, entreprenören har knappt sett de röjda.
- *Mitt:* Typ sådant fall som i fråga 4, där entreprenören inte får någon ersättning men stammarna står kvar, bättre i så fall att entreprenören får ersättning och ingen underväxtröjning utförs.
- *Syd:* Nej aldrig hänt. Dock förekommer det ibland att bestånd med bara bitvis mycket underväxt röjs i sin helhet, vilket är onödigt då vissa delar av området ej hade behövt röjas. Mer precision av vad som ska röjas kan vara bra på trakter med fläckvis mycket underväxt. Förekommer även att det fuskas åt andra hållet och fläckar med mycket röjstammar lämnas oröjda.

6. På vilket sätt (tex total röjning, röjning runt huvudstammar, mm) samt när hade du önskat att underväxtröjning utförs eller eventuellt inte utförs?

Kan exempelvis underväxtröjning undvikas under vissa förutsättningar eller finns det andra förutsättningar där bestånd alltid bör förröjas?

- *Nord:* Det är att föredra om röjningen utförs i god tid före gallring, gärna ett år före så att riset hinner lägga sig. I vissa fall har trakter underväxtröjts efter gallring, vilket enligt entreprenören är meningslöst. Underväxtröjningen kan med fördel undvikas där det är dåligt med huvudstammar, för underväxten har inte lika stor påverkan på produktiviteten i dessa områden. Klenta uttag innebär att underväxtröjningen inte behöver utföras i samma utsträckning, dvs mer underväxt kan tolereras. Att alltid röja när det finns behov är bättre och det finns inga förutsättningar där oröjt är bättre. När underväxten börjar bli för hög, över 5 000 st/ha, är även compensationen från SCA för dålig sett till hur stort produktivitetstappet blir.
- *Mitt:* Om det finns ett behov av underväxtröjning är det aldrig ett bra alternativ att inte utföra den. Underväxtröjning sker sällan på privatskog, oftare på SCA-skog. Det är ett problem då privata skogsägare ofta hade tjänat på att underväxtröja då gallringskostnaderna hade minskat och röjningen hade på så sätt tjänats igen. Kostnaden för en gallring ska också vara extrem för att en gallring med underväxtröjning inte ska löna sig. Andra skogsbolag som entreprenören också kör åt är inte bättre på underröjning. Mellan olika regioner kan det dock skilja i vad ledningen anser är "för mycket underväxt".
- *Syd:* Bäst om hela trakten röjs då det är svårt för röjarna att veta vilka som är huvudstammar. Är det dock bara mycket låg underväxt kan det räcka om man bara röjer runt stammarna. Det är även bra om man undviker att röja där det inte behövs, då det bara kostar pengar i onödan. Helst ser entreprenören att röjning görs tre år innan gallring då det säkerställer att röjda stammar ej utgör problem, men även två år innan fungerar.

7. Hur påverkar underväxt din arbetsmotivation?

- *Nord:* Bara negativt, kraftigt minskad motivation om mycket underväxt förekommer. Speciellt påverkar det motivationen för skördarföraren då skördarbetet blir tråkigare och stressigare. För skotarföraren är det inte lika illa, men det blir ändå en viss sänkning i arbetsmotivationen. Det är även svårt att rekrytera folk som vill jobba med att köra skördare om de vet att de kommer jobba med mycket underväxt. För just denna entreprenör blir det extra påtagligt då hen enbart jobbar med uteslutande oröjda bestånd med mycket underväxt. Underväxten kan dessutom förstöra hur en trakt upplevs, en bra trakt med hög

medelstamsvolym och bra GYL upplevs betydligt sämre och tråkigare om det förekommer mycket underväxt.

Det är även svårt att lära upp nya maskinförare i skog med underväxt, och få vill arbeta i sådan skog.

- **Mitt:** Förekomst av underväxt sänker den betydligt. Arbetet blir både jobbigare, tråkigare, motivationen minskar och hela drivet försvinner. Desto större trakten är desto jobbigare blir det att gallra med mycket underväxt. Oftast går en vecka bra att köra i mycket underväxt, men två-tre veckor i underväxt är inte kul. Är det mycket underväxt blir det även svårare att göra ett bra arbete och skapa en gallring med bra kvalitet. Stor risk att träd med skador eller törskate blir kvar i de gallringar där underväxten är hög. Även detta sänker arbetsmotivationen då det inte är kul att känna att man gör ett dåligt jobb varje dag. De produktionskraven som finns när underväxten ökar gör det även omöjligt att lämna bra kvalitet i dessa gallringar.
- **Syd:** Mer underväxt leder till att arbetet blir tyngre psykiskt och de prestationskrav som finns vid mycket underväxt blir väldigt påfrestande. Det upplevs även väldigt svårt att nå upp till de prestationskrav som finns vid högre antal underväxtstammar. Hur jobbig en trakt blir psykiskt påverkas även av hur stor trakten är då den psykiska påfrestningen blir jobbigare ju längre trakten går. Oftast går en vecka av gallring med mycket underväxt bra, men längre blir tungt

Frågor om skogsbolagens hantering av underväxt:

1. Vad är dina åsikter om SCAs nuvarande ställning till underväxtröjning, anser du att något bör förändras?

- **Nord:** Definitivt bör saker förändras, framförallt ersättningsnivå bör förändras så att den blir mer anpassad efter verkligheten. Det gäller speciellt på de trakter där underväxten är mer än 5 000 st/ha. En ökad ersättningsnivå skulle även innebära att SCA:s gräns för när röjning ska utföras sänks, vilket är en vinst för entreprenörerna. Överlag borde en mer detaljstyrd ersättning antas där trakter med speciella förutsättningar får mer i ersättning. Entreprenören misstänker även att det förekommer dålig statistik(antalet poster med dessa förutsättningar är för få totalt) för poster med mycket underväxt, vilket är anledningen till varför ersättningen är för låg på högre nivåer av underväxt. Entreprenören upplever att gallringar där underväxten överstiger 4 000 st/ha har en för låg beräknad påverkan på produktiviteten. Självt upplever entreprenören att gallringar där underväxten överstiger 6 000 st/ha får en minskning på över 50% i produktivitet.
- **Mitt:** SCA borde röja lite oftare, speciellt uppmana privata skogsägare att röja oftare. Entreprenören upplever att om det underväxtröjs eller inte beror till stor grad på den lokala ledningens åsikter, inte nödvändigtvis så mycket på SCA:s direktiv. Hur väl den rapporterade underväxten stämmer varierar också mycket från planerare till planerare. Ofta upplevs det som att underväxten är underskattad, men på homogena bestånd kan den däremot överskattas. Trots att underväxten inte stämmer hinner eller ids inte gallringsgrupperna alltid korrigera den.
- **Syd:** Det har blivit bättre de senaste åren, mer röjning förekommer idag. Där behov har förekommit för röjning har det oftast röjts. Entreprenören anser dock att den gräns på 5 000 st/ha som idag finns är för hög och borde vara lägre. Entreprenören tycker även att om det underväxtröjs eller inte till stor grad beror på ledning och region oberoende vad SCA:s interna riktlinjer säger.

2. Finns det skogsbolag som har bättre tillvägagångssätt angående när de väljer att utföra underväxtröjning? Hur ser i så fall det tillvägagångssättet ut?

- **Nord:** Samtliga andra bolag verksamma i entreprenörens område röjer oftare och tidigare än SCA och upplevs därmed som bättre.

- *Mitt:* Finns inga stora skillnader mellan SCA och andra aktörer i området, de flera skogsbolagen gör ungefär likadant.
 - *Syd:* Nej ingen som entreprenören känner till. Många bolag kan dock säga att de röjer oftare, men oftast stämmer det inte i verkligheten. Generellt verkar det även råda ett problem att röjningsfirmorna inte hinner röja i tid och röjningarna sker för tätt inpå gallringen, vilket orsakar problem.
- 3. Olika skogsbolag har som bekant olika synpunkter över när underväxtröjning ska utföras, där SCA har en väldigt hög tröskel på 5 000 röststammar/ha medan andra bolag har lägre. Är ett skogsbolags benägenhet till underväxtröjning något som styr i ditt val av arbetsgivare, om ja till vilken grad?**
- *Nord:* Hade SCA röjt vi 5 000 st/ha som de ska göra hade entreprenören varit röjd, men det utförs inte idag utan nästan samtliga gallringar utförs med underväxt. Av denna anledning har entreprenören funderat på att byta arbetsgivare. Det finns utöver det många andra nackdelar med SCA som liten traktbank och stort område, men största problemet är att trakter ej underväxtröjs. Denna entreprenör utför endast gallringar och får därför inget avbrott från underväxten, som hen hade fått om hen även utfört slutavverkningar. Det leder i sin tur till att arbetsbelastning upplevs högre och motivationen sämre. Rekryteringen av nya förare blir av denna anledning väldigt svår och anställda säger upp sig.
 - *Mitt:* Nej inte direkt, bra ersättning och bemötande är betydligt viktigare än om det underväxtröjs eller inte.
Syd: Nej, om underväxtröjning utförs påverkar inte entreprenörens val av arbetsgivare. Ersättning och hur ledningen är påverkar i mycket större grad. Arbetsgivare som inte har så hög personalomsättning på produktionsledare är också att föredra.
- 4. Hade du personligen sett att ni entreprenörer kompenseras mer ekonomiskt när ni gallrar i underväxt eller att uppdragsgivaren (SCA) hade underväxtröjt oftare?**
- *Nord:* Det hade varit bättre att SCA röjer oftare än att de betalar mer, men en viss höjning på bortsättning är i stort behov då den är för låg, speciellt när antalet underväxtstammar är över 5 000 st/ha. Högre ersättning leder även till att man kan hålla ett lägre tempo och bibehålla en större arbetsmotivation. Hade ersättningen höjts hade det även blivit lönsammare för SCA att underväxtröja fler trakter och att så troligen hade skett.
 - *Mitt:* Hellre mer underväxtröjning än högre ersättning. Är bestånden underväxtröjda blir jobbet bättre och man blir nöjdare som förare. Mer pengar är visserligen bra, men bättre arbetsmiljö överväger. Högre ersättning skulle även leda till fler underväxtröjningar då det i så fall blir billigare att underväxtröja istället för att betala mer i ersättning.
 - *Syd:* Att underväxtröjning utförs oftare hade varit mer uppskattat än att ersättningen för att arbeta i underväxt höjs. Detta för att fler underväxtröjda gallringar innebär bättre arbetsmiljö.
- 5. Hade det underlättat för dig med rekryteringen av ny personal om underväxtröjning utfördes oftare, det vill säga blir underväxt ett större problem för oerfaren personal?**
- *Nord:* Ja, absolut! Är det underväxtröjt så upplevs det som om man kör i bättre skog. Produktionstappet blir stort om oerfaren personal ska köra i mycket underväxt och utförandet blir även sämre. Nya förare är mer osäkra och ryckiga i sitt arbete, vilket leder till mer skador speciellt om antalet underväxtstammar är hög. Konsekvenserna av att oerfaren personal gör ett dåligt jobb blir att entreprenörens och SCAs rykte i området blir sämre, vilket gör det svårare att få köpa trakter. Bra poster med lite underväxt är nödvändiga för att kunna träna upp ny personal i, men bra poster är sällan förekommande vilket gör rekryteringen svår.
 - *Mitt:* Underväxt blir definitivt ett större problem för nya förare, bland annat blir det mer skador och går långsammare för oerfarna förare att gallra i underväxt. Även

svårt att träna upp förare i mycket underväxt, de behöver bra bestånd att träna i. Underväxten innebär inte ett problem i rekryteringen, saker som avstånd till jobbet, lön, mycket ansvar, ensamarbete och skiftgång påverkar rekryteringen mycket mer än underväxten. Däremot kan mycket underväxt leda till att personal inte stannar så länge. Gallrar maskingruppen alltid i mycket underväxt så ledsnar förare till slut. Framförallt påverkar det skördarförarna, de som kör skotare har inte lika stora problem.

Överlag är det svårt att rekrytera förare till gallring då det ställer större krav på förarna och de måste tänka mer.

- **Syd:** Ja definitivt då rekryteringen av folk blir betydligt svårare om man oftare gallrar där det är mycket underväxt. Många förare, speciellt nya och oerfarna, känner sig värdelösa när de kör i underväxt och underpresterar mot prestationsnormerna, vilket inte är kul i längden. Det leder i sin tur till att ny personal slutar om de för ofta tvingas gallra i mycket underväxt.

För att kunna lära upp ny personal är det även viktigt att de får gallra i röjda skogar också, då det är enklare att lära sig där. Underväxt utgör även ett större problem för ny personal. När ny personal börjar köra hade det även varit bra om prestationskraven inte var lika höga i början.

6. Kan underväxt under 1,3m i höjd utgöra ett problem vid gallring, på vilket sätt?

- **Om ja, anser du att SCA även borde inräkna denna typ av underväxt när de bedömer underväxtenstäthet?**
 - o **Nord:** Ja den borde räknas in om den är kring stammar. Buketter av björk kan även utgöra problem om de är <1,3m höjd. Underväxt <1,3m utgör även ett stort problem på vintern och vid upplega, svårt att ansätta aggregat, mm.
 - o **Mitt:** Är underväxten mycket tät så stör den även om den är under 1,3m. Blir bland annat svårt att se virkeshögar och kedjehopp blir vanligare, men det är i extremfall. Överlag känns 1,3m som en bra gräns med viss reservation för att extremfall av låg underväxt påverkar gallringsarbetet negativt.
 - o **Syd:** Ja det borde de oftast. Underväxt lägre än 1,3m kan behöva en egen gräns då de orsakar andra typer av problem. Det hade varit bättre att särskilja underväxt under och över 1,3m på de trakter där det är aktuellt och göra en bedömning separat på båda typerna av underväxt.

Övriga frågor kopplade till min studie:

1. I min studie har jag undersökt hur underväxt påverkar den totala kostnaden för gallringsarbetet genom att kolla på följande parametrar:

- Maskinproduktivitet
- Stamskador
- Tidsutnyttjande
- Stillestånd (andelen avbrott pga haverier, kedjebrott/hopp, mm)
- Körskador

Anser du att det finns några parametrar som påverkar gallrings som jag bör titta på utöver dessa ovan nämnda?

- **Nord:** Arbetsbelastning på föraren borde väga upp tungt för att röjning ska utföras oftare, speciellt när det finns få förare. Entreprenören har under en lång tid sökt skördarförare men ingen vill byta även om de får fördelar som kortare pendlingsavstånd och högre lön. Kan inte entreprenören hitta nya skördarförare som får skördaren att producera bra så bär sig inte gallringsgruppen. I regel så är även SCA:s prestationskrav i skog med mycket underväxt för höga, för stort krav på att prestera fast det inte är möjligt.

- **Mitt:** Hur bra resultatet blir. Minskade underväxt leder till bättre kvalitet med mindre andel törskate och stamskador i bestånden. Detta följer sedan med till slutavverkningen och bör generera mer pengar i slutändan.
- **Syd:** Arbetsmotivationen är en viktig parameter att kolla på. Oftast jämför människor som tänker sig att bli skogsmaskinförare skogsbranschen mot entreprenadmaskiner. Kör man exempelvis grävmaskin så utförs arbetet varje dag i bra siktförhållanden, oftast utan prestationskrav, man har en närhet till samhällen och kollegor och lönen är även oftast högre. Kör man istället skogsmaskin så finns inte dessa fördelar och då borde det vara självklart att skogsbolagen ska göra så mycket som möjligt för att förbättra arbetsförhållandena genom att exempelvis underväxtröja oftare. Hade det utförts så hade det definitivt inte blivit svårare att rekrytera.

Övriga synpunkter:

- **Nord:** SCA bör även anteckna vilken höjd och typ av underväxt en trakt har. Exempelvis utgör björk under lövfrisäsosong, fram till dess att snön kommer, inte ett stort problem, medan mycket björkunderväxt under sommaren är ett stort problem. Granunderväxt utgör som störst problem under vinterhalvåret. Bestånd med mycket grov underväxt utgör inte ett lika stort problem om de är oröjda, då underväxt kan tas ut som gagnvirke i dessa bestånd vilket minskar stressen över att uppnå produktivitetskraven.
- **Mitt:** Överlag borde gallring undvikas att utföras i december till januari då upplegan gör det svårt att skapa kvalitet i gallringarna. Dessutom innebär gallring i låga temperaturer att risken ökar för att mer kvist knäcks på kvarvarande träd i beståndet.
- **Syd:** En upplevelse är också att de som planerar gallringen i stor grad styr hur stor ersättningen blir för entreprenörerna, men de har oftast ganska dålig koll på vad deras beslut innebär för entreprenörens ersättning. Det innebär att planerarna ofta inte förstår var deras bitvis dåliga planeringsunderlag faktiskt innebär i det stora hela. Hade varit önskvärt om mer tid lades på planeringen av gallringarna och att man verkligen ser till att allt blir rätt.

Bilaga 6 – Bestånd och maskinvariabler

Tabell 21. Samtliga bestånds- och maskinvariabler som testades, i respektive modell, som oberoende variabler vid framtagandet av modellerna för bedömning av underväxtens påverkan på produktivitet, avbrott, kör- och stamskador

Table 21. All stand and machine variables tested, in each model, as independent variables in the development of the models for assessing undergrowth impact on productivity, machine interruptions, soil- and stem damages

Variabel	Enhet	Medelvärde	SD	Min	Max
Tillämpande på modellering av stamskador (n=120)					
Antal sortiment	Styck	3,658	0,7938	1,0	6,0
Träd uttag totalt	Stammar/trakt	8659	7442	333,0	42953
Träd uttag	Stammar/hektar	610,0	264,8	142,7	1795
Volymuttag	m ³ fub/hektar	54,30	22,59	10,73	142,9
Medelstamsvolym	m ³ fub	0,0983	0,0455	0,0443	0,2929
Skördad volym	m ³ fub	746,0	641,7	85,33	3399
Traktareal	Hektar	15,73	15,40	1,000	83,00
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	71,26	66,55	5,280	395,2
Lutning	1-5	1,687	0,5038	1,0	3,3
Ytstruktur	1-5	1,953	0,5523	1,0	3,6
Andel gran	1-11	2,925	2,009	1	10
Andel löv	1-11	2,017	1,402	1	7
Andel tall	1-11	8,058	2,799	1	11
Underväxttäthet	1-10	2,600	1,399	1	10
Flerträd	0/1	0,6750	-	0	1
Snö	0/1	0,1667	-	0	1
Skadeandel	%	5,325	3,381	1,000	17,00
Tillämpande på modellering av produktivitet och avbrott för skördaren vid V≤0,15 (n=12701)					
Antal sortiment	Styck	3,580	0,9075	1,0	7,0
Träd uttag	Stammar/hektar	611,7	288,2	71,42	1992
Träd uttag totalt	Stammar/hektar	8028	8837	131,0	123479
Volymuttag	m ³ fub/hektar	53,41	24,19	10,01	199,9
Medelstamsvolym	m ³ fub	0,0924	0,0263	0,0302	0,1500
Skördad volym	m ³ fub	706,2	770,4	11,63	9486

Traktareal	Hektar	14,71	16,22	1,000	252,0
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	65,91	70,87	1,210	813,4
Lutning	1-5	1,743	0,5372	1,0	4,6
Ytstruktur	1-5	1,843	0,5461	1,0	5,0
Andel gran	1-11	3,266	2,418	1	11
Andel löv	1-11	2,181	1,587	1	11
Andel tall	1-11	7,554	3,184	1	11
Underväxttäthet	1-10	2,453	1,218	1	10
Flerträd	0/1	0,8087	-	0	1
Snö	0/1	0,1549	-	0	1

Tillämpande på modellering av produktivitet och avbrott för skördaren vid $V > 0,15$ (n=3051)

Antal sortiment	Styck	3,527	0,8167	1,0	8,0
Träd uttag totalt	Stammar/trakt	3696	4558	59,00	62501
Träd uttag	Stammar/hektar	326,4	193,8	50,09	1290
Volymuttag	m ³ fub/hektar	62,42	36,46	10,05	199,8
Medelstamsvolym	m ³ fub	0,1969	0,0376	0,1500	0,2999
Skördad volym	m ³ fub	695,6	829,4	10,60	10428
Traktareal	Hektar	13,84	16,92	1,000	176,0
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	43,82	53,50	1,050	674,7
Lutning	1-5	1,748	0,5295	1,0	4,0
Ytstruktur	1-5	1,820	0,5487	1,0	12,0
Andel gran	1-11	3,093	2,763	1	11
Andel löv	1-11	1,453	1,019	1	10
Andel tall	1-11	8,450	3,099	1	11
Underväxttäthet	1-10	1,957	0,7915	1	10
Flerträd	0/1	0,7908	-	0	1
Snö	0/1	0,0736	-	0	1

Tillämpande på modellering av produktivitet och avbrott för skotaren vid $V \leq 0,15$ (n=11090)

Antal sortiment	Styck	4,201	1,101	1,0	15,0
Totalt antal lass	Styck	65,75	66,98	1,0	724,0
Träd uttag totalt	Stammar/trakt	8801	9283	131,0	123479
Uttag träd	Stammar/hektar	621,4	288,9	50,80	1979
Skotningsavstånd	Meter	450,0	270,3	50,00	2725
Genomsnittlig lassvolym	m ³ fub/lass	11,81	2,002	5,082	24,10
Volymuttag	m ³ fub/hektar	54,34	24,08	10,01	199,9
Medelstamsvolym	m ³ fub	0,0925	0,0262	0,0303	0,1500
Skördad volym	m ³ fub	775,4	805,0	11,71	9486
Traktareal	Hektar	15,98	16,92	1,000	252,0
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	63,85	67,53	1,120	834,0
Lutning	1-5	1,760	0,5346	1,0	4,6
Ytstruktur	1-5	1,860	0,5404	1,0	4,5

Andel gran	1-11	3,301	2,428	1	11
Andel löv	1-11	2,163	11,556	1	11
Andel tall	1-11	7,536	3,197	1	11
Underväxttäthet	1-10	2,465	1,208	1	10
Snö	0/1	0,1524	-	0	1
Tillämpande på modellering av produktivitet och avbrott för skotaren vid $V > 0,15$ (n=2600)					
Antal sortiment	Styck	4,291	1,068	1,0	10,0
Totalt antal lass	Styck	57,94	65,77	2,0	858,0
Träd uttag totalt	Stammar/trakt	3985	4801	108,0	62501
Träd uttag	Stammar/hektar	332,7	195,5	50,09	1290
Skotningsavstånd	Meter	391,3	256,7	40,00	2719
Genomsnittlig lassvolym	m ³ fub/lass	12,92	2,406	5,158	24,86
Volymuttag	m ³ fub/hektar	63,26	36,40	10,05	199,35
Medelstamsvolym	m ³ fub	0,1958	0,0373	0,1500	0,2999
Skördad volym	m ³ fub	746,1	865,3	25,97	10429
Traktareal	Hektar	14,68	17,65	1,000	176,0
Effektiv arbetstid	G ₀ -h	51,94	63,30	1,010	759,7
Lutning	1-5	1,757	0,5205	1,0	4,0
Ytstruktur	1-5	1,825	0,5154	1,0	4,0
Andel gran	1-11	3,127	2,790	1	11
Andel löv	1-11	1,441	0,9999	1	10
Andel tall	1-11	8,433	3,112	1	11
Underväxttäthet	1-10	1,969	0,8026	1	11
Snö	0/1	0,0706	-	0	1

Bilaga 7 – Tabeller av resultatet från de statistiska analyserna

Maskin	Modell	Beroende variabel	Oberoende variabel	Koefficient	SE	p-värde	p-värde			
							(Hela modellen)	R ² -adj (%)	SD	VIF
Skördare	Produktivitet (V≤0,15)	ln(Produktivitet)	Intercept	3,4145	0,028	<0,0001	<0,0001	44,36	0,226	1,086
			Underväxttäthet	-0,0137	0,002	<0,0001				
			ln(Medelstamsvolym)	0,6209	0,007	<0,0001				
			ln(Uttag/ha)	0,0719	0,004	<0,0001				
	Produktivitet (V>0,15)	ln(Produktivitet)	Intercept	2,6930	0,054	<0,0001	<0,0001	19,25	0,269	1,045
			Underväxttäthet	0,0458	0,006	<0,0001				
			ln(Medelstamsvolym)	0,1691	0,008	<0,0001				
			ln(Uttag/ha)	0,3200	0,027	<0,0001				
	Skötselavbrott (V≤0,15)	ln(Skötselavbrott)	Intercept	-4,8732	0,120	<0,0001	Underväxt ej signifikant			
			Underväxttäthet	-0,0620	0,022	0,0053				
			ln(Uttag/ha)	0,8307	0,029	<0,0001				
			ln(Effektiv arbetstid)	-0,0479	0,005	<0,0001				
Skötselavbrott (V>0,15)	ln(Skötselavbrott)	Intercept	-4,8732	0,120	<0,0001	Underväxt ej signifikant				
		Underväxttäthet	-0,0620	0,022	0,0053					
		ln(Uttag/ha)	0,8307	0,029	<0,0001					
		ln(Reparationsavbrott)								
Reparationsavbrott (V≤0,15)	ln(Reparationsavbrott)	Intercept	-3,2106	0,265	<0,0001	<0,0001	17,76	1,210	1,074	
		Underväxttäthet	-0,0991	0,041	0,0164					
		ln(Reparationsavbrott)								
		ln(Uttag/ha)								

		ln(Uttag/ha)	0,8868	0,050	<0,0001					
		ln(Skördad volym)	-0,3190	0,034	<0,0001					
	Små-avbrott (V≤0,15)	ln(Små-avbrott)				Underväxt ej signifikant				
		Intercept	-5,0832	0,091	<0,0001					
	Små-avbrott (V>0,15)	ln(Små-avbrott)	Underväxttäthet	-0,0896	0,017	<0,0001	<0,0001	34,18	0,701	1,007
			ln(Uttag/ha)	0,8113	0,021	<0,0001				
			Flerträd	-0,2004	0,032	<0,0001				
	TU (V≤0,15)	TU	Intercept	-0,2819	0,009	<0,0001				
			Underväxttäthet	0,0023	0,001	0,0075	<0,0001	1,18	0,118	1,024
			ln(Antal träd)	0,0122	0,001	<0,0001				
	TU (V>0,15)	TU	Intercept	-0,3435	0,018	<0,0001				
			Underväxttäthet	0,0068	0,003	0,0288	<0,0001	2,18	0,134	1,021
			ln(Antal träd)	0,0176	0,002	<0,0001				
			Intercept	2,2279	0,047	<0,0001				
			Underväxttäthet	0,0073	0,002	<0,0001				
	Produktivitet (V≤0,15)	ln(Produktivitet)	ln(Skotningsavstånd)	-0,1887	0,004	<0,0001	<0,0001	36,48	0,235	1,207
			ln(Medellass)	0,6466	0,014	<0,0001				
			ln(Medelstamsvolym)	0,1487	0,008	<0,0001				
			ln(Effektiv arbetstid)	-0,0523	0,002	<0,0001				
			ln(Uttag/ha)	0,0911	0,005	<0,0001				
Skotare			Intercept	1,9703	0,075	<0,0001				
			Underväxttäthet	0,0221	0,006	<0,0001				
	Produktivitet (V>0,15)	ln(Produktivitet)	ln(Skotningsavstånd)	-0,1974	0,008	<0,0001	<0,0001	40,65	0,242	1,182
			ln(Medellass)	0,6192	0,027	<0,0001				
			ln(Uttag/ha)	0,1189	0,008	<0,0001				
			ln(Effektiv arbetstid)	-0,0631	0,005	<0,0001				
	Skötselavbrott (V≤0,15)	ln(Skötselavbrott)	Intercept	-4,1791	0,153	<0,0001	<0,0001	19,54	0,891	1,104
			Underväxttäthet	-0,0235	0,007	0,0015				

		ln(Uttag/ha)	0,9359	0,020	<0,0001				
		ln(Medellass)	-0,9917	0,055	<0,0001				
		ln(Skotningsavstånd)	0,1929	0,016	<0,0001				
		Intercept	-3,7784	0,283	<0,0001				
		Underväxttäthet	-0,0823	0,023	0,0004				
Skötselavbrott (V>0,15)	ln(Skötselavbrott)	ln(Uttag/ha)	0,8426	0,034	<0,0001	<0,0001	27,05	0,901	1,163
		ln(Effektiv arbetstid)	0,0892	0,019	<0,0001				
		Tall andel	-0,0394	0,006	<0,0001				
		ln(Medellass)	-0,5307	0,104	<0,0001				
Reparationsavbrott (V≤0,15)	ln(Reparations- avbrott)					Underväxt ej signifikant			
		Intercept	-2,6822	0,347	<0,0001				
Reparationsavbrott (V>0,15)	ln(Reparations- avbrott)	Underväxttäthet	-0,1658	0,046	0,0004	<0,0001	19,72	1,240	1,252
		ln(Traktareal)	-0,4531	0,042	<0,0001				
		ln(Uttag/ha)	-0,4615	0,070	<0,0001				
Små-avbrott (V≤0,15)	ln(Små-avbrott)					Underväxt ej signifikant			
		Intercept	-5,8588	0,169	<0,0001				
Små-avbrott (V>0,15)	ln(Små-avbrott)	Underväxttäthet	-0,1082	0,019	<0,0001				
		ln(Uttag/ha)	0,8041	0,026	<0,0001	<0,0001	31,85	0,756	1,181
		ln(Medelstamsvolym)	0,7117	0,088	<0,0001				
		ln(Gran andel)	0,0319	0,006	<0,0001				
TU (V≤0,15)	TU					Underväxt ej signifikant			
		Intercept	-0,4471	0,030	<0,0001				
TU (V>0,15)	TU	Underväxttäthet	0,0095	0,004	0,0169	<0,0001	7,63	0,104	1,015
		Ln(Totalt uttag träd)	0,0322	0,003	<0,0001				
Skördare och skotare	Stamskador	Stamskador				Underväxt ej signifikant			

