



Vilken effekt har specialsortiment på skördares produktivitet och bränsleförbrukning?

What effect do special assortments have on single-grip harvester productivity and fuel consumption?

Johanna Abrahamsson

Examensarbete • 30hp

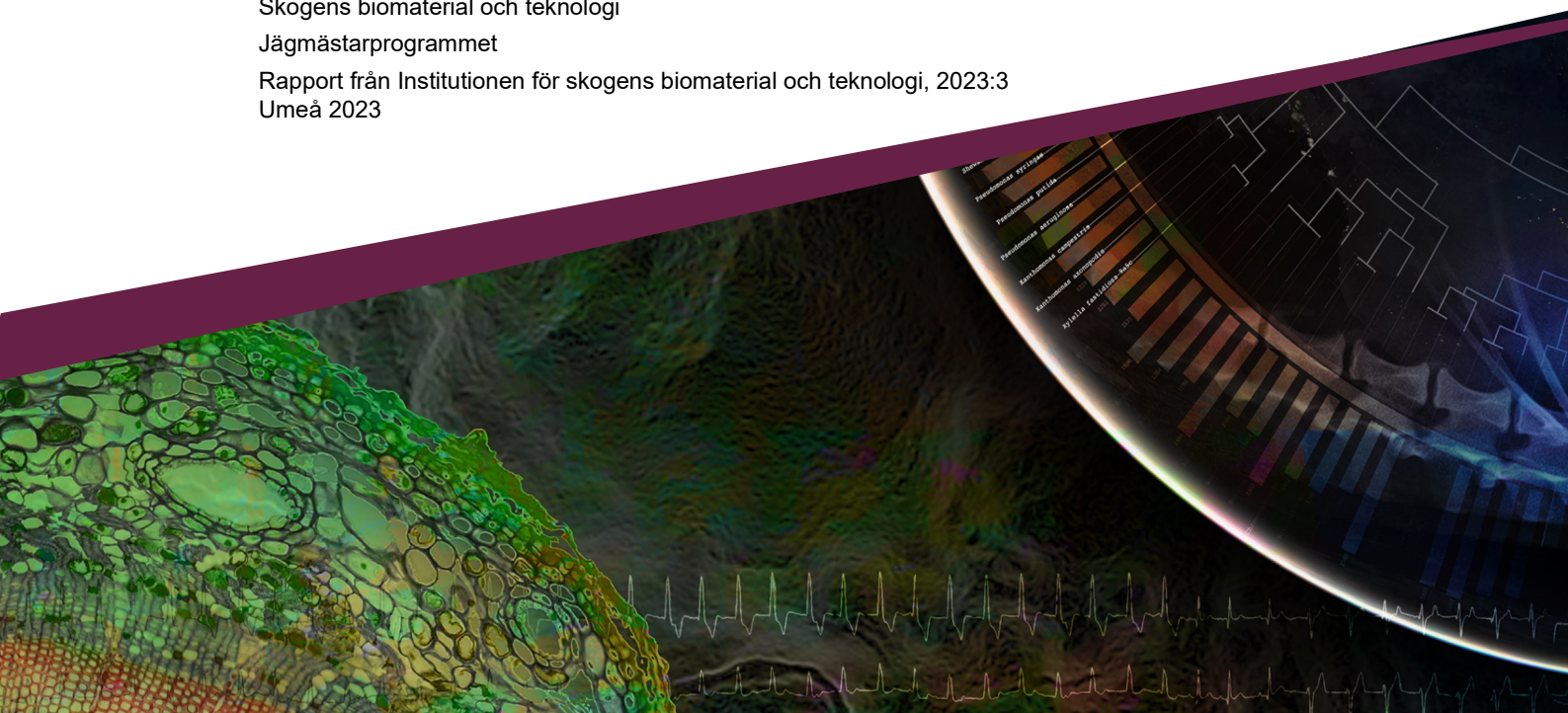
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2023:3

Umeå 2023



Vilken effekt har specialsortiment på skördares produktivitet och bränsleförbrukning?

What effect do special assortments have on single-grip harvester productivity and fuel consumption?

Johanna Abrahamsson

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

Extern kontaktperson: Anna Bylund, SCA Skog

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

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, AE2

Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap, A2E - Skogens biomaterial och teknologi

Kurskod: EX0956

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2023

Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Delnummer i serien: 2023:3

Nyckelord: Kortvirkesmetoden, Apterling, Slutavverkning, Stocklängder, Antal sortiment

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institution för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Det svenska skogsbruket är uppbyggt kring att skördare apterar träd till önskade stocklängder i skogen. Vilken längd som apteras fram beror på flertalet faktorer, bl.a.; industriernas önskemål, val av apteringsberäkning och skogsbeståndets egenskaper. Skogsföretaget SCA apterar idag fram tre olika gransortiment till sågverket Gällö Timber AB; Gällö kort (GE), Gällö lång (GJ) och Gällö gran (GG). På trakter med grantimmer så apteras endera endast GG, eller så apteras både GE och GJ. Apterar GE och GJ så särhålls de två sortimenten ända fram till industri. För ett kostnadseffektivt skogsbruk är det viktigt att skördaren håller hög produktivitet och låg bränsleförbrukning. Syftet med den genomförda studien var att undersöka hur specialsортiment påverkar skördares produktivitet och bränsleförbrukning vid slutavverkning, genom en fallstudie av SCA:s gransortiment till Gällö Timber AB. Materialet till studien bestod av tre datakällor; skördardata, simulatorkörning med skördare och teoretiska beräkningar baserat på litteratur. Empiriska studier och statistiska analyser genomfördes i Excel respektive Minitab.

Resultatet påvisar att aptering av GE/GJ, som kan likställas med ett specialsортiment, har negativ påverkan på skördarens produktivitet och bränsleförbrukning. Analys av skördardata indikerar att aptering av GG i genomsnitt ger 4,6% högre produktivitet än GE/GJ-aptering, sett till avverkad $m^3\text{fub}/G_0\text{-timme}$. Det innebär i sin tur att GE/GJ-aptering kostar 6,14 kr/ $m^3\text{fub}$ mer att avverka än GG-aptering utifrån SCA:s ersättningsmodell. Att GE/GJ-aptering påverkar skördarens produktivitet och bränsleförbrukning negativt bedöms bero på att GE/GJ-aptering leder till kortare medellängder för timmerstockar och således fler kap. Särhållandet av GE- och GJ-timmer i skogen bidrar också till större andel kranrörelser för skördare, vilket också sänker produktiviteten. Eventuellt bidrar även GE/GJ-aptering till mer tidsåtgång för skördardatorns beslutsfattande eftersom denna aptering måste jämföra två apteringsinstruktioner.

Nyckelord: Kortvirkesmetoden, Aptering, Slutavverkning, Stocklängder, Antal sortiment

Abstract

The Swedish forestry is structured around the Cut-To-Length method with single-grip harvester. Choice of log lengths that are bucked depends on several factors: the demands from the industries, the choice of bucking calculation and the characteristics of the forest stand. The forest company SCA is currently bucking three different spruce assortments for the sawmill Gällö Timber AB; Gällö short (GE), Gällö long (GJ) and Gällö spruce (GG). GE and GJ are harvested side-by-side in the same areas but are kept separate throughout the supply chain. GG, on the other hand, is harvested in other areas. For cost-effective forestry, it is important that the harvester maintains high productivity and low fuel consumption. The purpose of this study was to investigate how the special assortment affects harvesters' productivity and fuel consumption during final felling, through a case study of SCA's spruce assortment for Gällö Timber AB. The material for the study consisted of three different data sources; harvester follow-up data, data from harvester machine-simulator trials and theoretical calculations based on data in literature. The empirical studies and statistical analyses were carried out in Excel and Minitab, respectively.

The result shows that bucking of GE/GJ, which can be considered equivalent with a special assortment, has a negative impact on the harvester's productivity and fuel consumption. Analysis of harvester follow-up data indicates that the productivity was on average 4.6% higher when bucking GG compared to bucking GE/GJ, in terms of harvested solid m^3 under bark (m^3_{sub}) per productive machine hour. This result indicates that GE/GJ bucking costs 6.14 SEK/ m^3_{sub} more to harvest than GG-bucking based on SCA's costing model. The negative influence on productivity and fuel consumption when bucking GE/GJ is likely to be the effect of shorter average log lengths and thus more cross-cuttings. To keep GE and GJ timber separated in the forest also contributes to a higher proportion of crane movements, which also lowers the productivity. The bucking of GE/GJ might also require more time for the harvest computer's decision-making, because two bucking instructions have to be considered simultaneously.

Keywords: Cut-to-length, Bucking, Final felling, Log length, Number of assortments

Förord

Detta examensarbete har initierats av och utförts i samarbete med SCA Skog. Det har genomförts vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Examensarbetet omfattar 30 högskolepoäng och har utförts inom jägmästarprogrammet.

Jag vill rikta ett stort tack till Anna Bylund, Andreas Eriksson, Henrik Sjölander och Tomas Johansson på SCA för att de delat med sig av datamaterial, sin kunskap och gett goda råd. Jag vill också tacka Lars Pettersson och Markus Näsman på SCA för hjälpen med genomförandet av simulatorkörning av skördare. Avslutningsvis vill jag tacka till min handledare, Dan Bergström på SLU, för sitt engagemang och all värdefull respons.

Umeå, januari 2023

Johanna Abrahamsson

Innehållsförteckning

1. Inledning	9
1.1. Apterling och virkesvärde	9
1.2. Skördares produktivitet vid slutavverkning	11
1.2.1. Metoder för att analysera produktivitet	12
1.2.2. Prestationsprognos och bortsättning i SCA:s verksamhet	15
1.3. Bränsleförbrukning hos skördare	16
1.4. Specialsortiment i allmänhet	17
1.5. Gransortiment till Gällö Timber AB	17
1.6. Syfte	19
1.6.1. Frågeställningar	19
1.6.2. Hypoteser	19
2. Material & metod	20
2.1. Datamaterial till empiriska studier	20
2.1.1. Skördardata	20
2.1.2. Simulatorkörning med skördare	22
2.2. Bearbetning av data och teoretiska beräkningar	23
2.2.1. Explorativa analyser	23
2.2.2. Statistiska analyser	25
2.2.3. Teoretiska beräkningar	25
3. Resultat	28
3.1. Skördardata	28
3.2. Simulatorkörning med skördare	34
3.3. Teoretiska beräkningar	36
4. Diskussion	37
4.1. Utvärdering av resultat	37
4.1.1. Skördardata	37
4.1.2. Simulatorkörning med skördare	38
4.1.3. Teoretiska beräkningar	39
4.1.4. Sammanställning	41

4.2.	Jämförelse med andra studier	42
4.3.	Styrkor och svagheter i studien	42
4.4.	Praktisk tillämpning.....	43
4.5.	Slutsatser	44
5.	Referenser	45

1. Inledning

1.1. Aptering och virkesvärde

Det svenska skogsbruket är starkt präglad av den så kallade kortvirkesmetoden, som också är känt på engelska som cut-to-length (Sennblad & Andersson 2008). Det innebär att trädstammar fälls, kvistas och kapas till önskade längder samtidigt som sortimenten systematiskt sorteras i olika högar. Uppdelning av stammen kallas aptering. Apteringen är ett mycket viktigt moment eftersom det påverkar virkets ekonomiska värde och det slutliga användningsområdet. Det finns flertalet olika aspekter som påverkar vad som är en optimal aptering. Kvalitetskrav, industrins efterfrågan av stockar med specifika längder och dimensioner samt priser för olika sortiment är exempel på tre stora drivkrafter. De egenskaper som skogsbeståndet har påverkar också vilka sortiment som är möjliga och lämpliga att ta ut. Lundberg och Tarre (1993) samt Fuentealba et al. (2019) poängterar sågverkens roll i avgörandet vad som är en optimal aptering. Sågverken köper timmer och vidareförädlar det till plank och bräder som kunder på marknaden efterfrågar. Apteringen i skogen är därmed starten för en lång råvaru- och förädlingskedja.

Idag sker avverkning med moderna skördare med avancerade tekniska hjälpmedel för aptering (Labelle et al. 2017). Aggregatet mäter automatisk diameter och längd för trädstammarna i samband med fällning, vilket i sin tur styr apteringen. Skördardatorer möjliggör optimeringsberäkningar som tar hänsyn till mätinformation om trädstammen samt ingående apteringsinstruktioner. Aptering är dock avancerat eftersom inget träd är det andra likt och därför hade det egentligen varit bäst om skördare först kunde mäta hela trädet innan aptering utfördes. Det är dock inte ekonomisk hållbart att processa en trädstam två gånger och därför måste skördardatorer göra prognoser för hur resten av trädstammen troligen kommer se ut. Skördardatorer har även en inlärningsförmåga, så kallad adaptiv stamprognos (Arlinger & Möller 2007). När skördare arbetar i ett bestånd blir de därmed succesivt bättre på att uppskatta varje träd, eftersom de tar hänsyn till hur redan avverkade stammar har sett ut. Murphy et al. (2004) visar att adaptiv inlärning hos skördare är positivt för apteringsoptimeringen och möjligheten till att möta kundernas beställningar.

I skördardatorer finns olika metoder för den praktiska apteringsberäkningen, varav principen automatisk värdeoptimering är ett alternativ (Sennblad & Andersson 2008). Värdeoptimering innebär att skördarens dator utgår från angivna prislistor och kapar trädet till de stockar som ger högsta sammanlagda värde. En annan metod är principen om fördelningsaptering och det innebär att resultatet ska spegla önskad fördelning av dimensioner och längder. Det är alltså tillåtet att frångå optimalt värde för enskilda träd för att kunna möta industriernas krav. Ofta adderas en funktion som gör att värdet inte får avvika mer än en viss procentsats, i likhet med en värdeoptimering. Skördarförare måste dock alltid vara uppmärksamma på skador, krökar och andra negativa kvalitetsaspekter, eftersom mätutrustningen och därmed optimeringsberäkningarna inte tar hänsyn till det. Skog med hög skadeandel kräver således fler beslut av skördarföraren, oavsett prislista. Kemmerer och Labelle (2021) sammanfattar olika studier för att kartlägga hur skördardata används för att optimera aptering. Det blir tydligt att det finns många olika metoder och algoritmer för att utföra den praktiska apteringsberäkningen. Gemensamt är dock att optimeringen ska uppfylla specifika mål oavsett om det handlar om intäkter, längdfördelning, produktivitet eller andra aspekter.

För att skördardatorer ska få rätt förutsättningar att lyckas med aptering krävs stora informationsmängder (Arlinger et al. 2012). StanForD är en branschgemensam standard för hantering av data till och från skogsmaskiner. Informationsflödet organiseras genom filtyper med olika funktioner. Filtypen produktinstruktion (.pin) anger exempelvis hur skördaren ska aptera trädstammar. Det anges information angående diametrar, längder, prismatriser, eventuella längdfördelningsmatriser med mera. Produktinstruktionen har därmed en styrande funktion, medan andra filer exempelvis kan ha en uppföljande funktion.

Lundberg och Tarre (1993) redogör för trädens avsmalning och dess inverkan på apteringen. Skördardatorerna försöker kapa där koniciteten för stockarna blir som minst, för att kunna maximera sågutbytet vid industrin. Toppformtalet är en beräkning som anger förhållandet mellan stockens fasta volym under bark (m^3_{fub}) och stockens toppmätta fasta volym under bark ($m^3_{to, ub}$). Möjligt intervall för toppformtalet är större eller lika med 1, där 1 innebär att stocken är helt cylindrisk (Sennblad & Andersson 2008). Desto högre toppformtalet är, ju högre avsmalning har stocken. Avsmalning kan även uttryckas som minskande diameter hos en stock och det anges med enheten millimeter per meter. Det går att dela in stockar i tre olika kategorier beroende på dess avsmalning (Tabell 1).

Tabell 1. Kategorisering utifrån stockars avsmalning enligt Sennblad och Andersson (2008)
Tabel 1. Categorization based on the taper of the logs according to Sennblad and Andersson (2008)

Kategori	Avsmalning (mm/m)
Låg avsmalning	<8
Normal avsmalning	8–12
Hög avsmalning	>12

1.2. Skördares produktivitet vid slutavverkning

Produktiviteten hos skördare vid slutavverkning är i genomsnitt 23,8 m³ per produktiv timme utan avbrott (G₀-tim, se Fig. 1 för definitioner) enligt Eriksson & Lindroos (2014). Resultatet var baserat på en studie vid normala, svenska avverkningsförhållanden mellan 2009 och 2012 med datamaterial från SCA. Skördarens arbete konstateras bero av flertalet faktorer, varav medelstamsvolym är en viktig faktor. Trakter med grövre medelstamsvolym ger signifikant högre produktivitet, jämfört med trakter med klenare medelstamsvolym. Därefter påverkas även produktiviteten av traktens storlek samt virkeskoncentrationen, dvs mängd m³/ha. Faktorer som har negativ påverkan på skördarens produktivitet är andelen svåra träd, svår terräng, samt försvårande underväxt och snöförhållanden. I SCA:s praktiska prognostisering och uppföljning av skördararbete så tas det hänsyn till de påverkande faktorerna som finns med i deras egna prestationsnormer (SCA 2020, Tabell 2).

Eriksson och Lindroos (2014) visar även att med ökat antal sortiment så minskar produktiviteten. Brunberg (2001) visar med tidsstudier och produktivitetsnormer att varje nytt sortiment sänker skördarens produktivitet med 1 %. Skotarens produktivitet sänktes med 3–4 % för varje nytt sortiment. Gingras och Favreau (2005) påvisar istället att ett extra sortiment kan sänka skördares produktivitet med 4 % och 4–6 % sänkning för skotaren. Virkeslängder vid aptering påverkar också skördares produktivitet. Gingras & Favreau (2005) undersökte hur längder mellan 2,8 m och 7,3 m påverkade skördares produktivitet. Produktiviteten ökade med ökad stocklängd, av längder upp till 7,3 m. Sett till både skördare och skotare var längder vid 5 m optimalt för total drivningsproduktivitet och kostnadseffektivitet.

Skördarproduktiviteten påverkas även av förarens erfarenhet och skicklighet (Pagnussat et al. 2021). I den Brasilianska studien utvärderades produktiviteten för 30 nya förare under 11 månader samtidigt som maskintillgängligheten undersöktes. Produktiviteten undersöktes genom producerad volym (m³/G₀-tim). Maskintillgänglighet definierades som den andel tid som maskinerna var tillgängliga för arbete utifrån schemalagd arbetstid. Haverier eller andra störningar

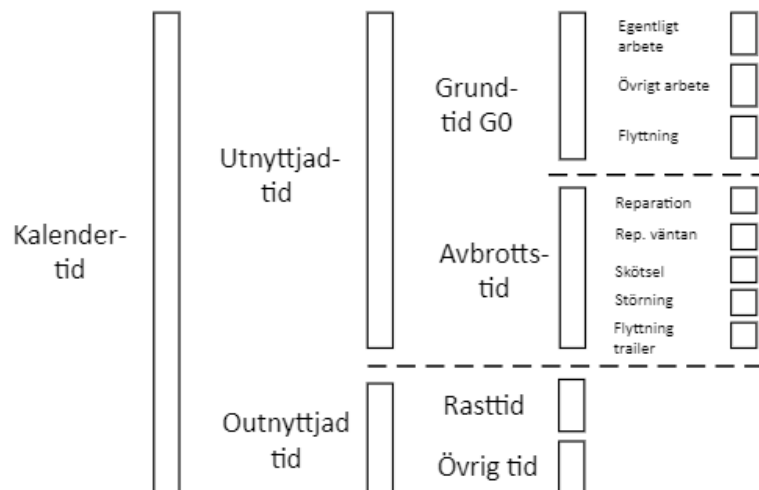
föranledde att maskiner inte var tillgängliga. I studien uppnådde förarna maximal produktivitet efter 7 månader och därefter skedde en marginell sänkning innan produktiviteten stabiliserade sig. Resultatet visar även att maskintillgängligheten ökade desto bättre förarna blev, bland annat på grund av färre haverier. Hög produktivitet kräver att skördaren är tillgänglig och fungerar. Maskintillgängligheten påverkas utöver oplanerade stopp även av planerad tid för tankning, tvätt, underhåll och smörjning. Pagnussat et al. (2021) påpekar även att produktiviteten också påverkas av yttre faktorer, som exempelvis väder.

Purfürst & Erler (2011) påvisar att skördarproduktiviteten kan variera mycket mellan rutinerade förare. De bästa förarna hade 122 % högre produktivitet i relation till gruppens medelvärde. Den sämsta föraren producerade endast 69 % av gruppens medelvärde. Studien filtrerade bort de 180 första dagarna för orutinerade förare samt för förare där erfarenheten var okänd, för att korrigera för inlärningsperiod. Under inlärningsperioden förbättrar nya förarna sin produktivitet markant, för att därefter stabilisera sig kring sin egen maximala produktivitet. Resultatet påvisade att 37 % av produktivitetsvariationerna förklarades av förarens skicklighet. Studien använde sig av tre olika skördarmodeller, men det hade ingen signifikant påverkan på förarnas prestationer. Även Purfürst & Erler (2011) indikerar att medelstamsvolymen har allra störst betydelse genom att förklara cirka 46 % av produktivitetsvariationen. Sammanlagt förklaras därmed produktivitetsvariationen till 83 % av förarens skicklighet och medelstamsvolym, medan resterade 17 % förklaras av övriga faktorer.

1.2.1. Metoder för att analysera produktivitet

Genom StanForD standarden är driftsuppföljning möjligt och det kan användas för att följa upp och utvärdera produktivitet (Arlinger et al. 2012). Tidsmåttan är centrala i uppföljningarna, och delas upp i olika tider (Fig. 1). Kalendertid definieras som tillgänglig tid inom en period, och för exempelvis ett dygn är kalendertiden 24 timmar (Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 1969; Arlinger et al. 2020). Kalendertid delas in i utnyttjad- och outnyttjad tid. Den outnyttjade tiden definieras som skillnaden mellan kalendertid och utnyttjad tid. Här ingår tider för rast samt tiden före och efter att arbetet påbörjas. Den utnyttjade tiden delas upp i grundtid eller avbrottsid. Definitionen för grundtid är arbete som utförs inom ramen för de huvudsakliga arbetsuppgifterna, vilket för skördaren är att fälla och processa timmer samt förflyttning i terrängen. Till grundtid ingår också övrigt arbete som exempelvis kan vara byggande av bro över dike eller bogsering av annan maskin. Flyttning när maskinen rör sig för egen motor ingår också i grundtid. Avbrottsid är summan av tidsåtgång för reparation, väntan på reparation, skötsel, störning och flyttning med trailer. Störningstid definieras som avbrott som sker på grund av fastkörning, väntande på hindrande fordon, planering eller övriga

anledningar. Skötsel definieras som tid för normal tillsyn, skötsel och service. Det kan exempelvis innefatta smörjning, oljebyte eller varmkörning. Reparationstid inkluderar övrig tid för reparation eller större översyn som inte ingår i normal skötsel. Väntan på reparation inkluderar väntetid på reservdelar, tid för flyttning till reparation eller väntan på servicetekniker. Produktiv tid avser vanligtvis grundtid, med olika mängd avbrott som ingår. I den så kallade G₀-tiden så ingår inga avbrott, medan det i tex G₁₅-tid ingår avbrott som är kortare än 15 minuter.



Figur 1. Schematisk bild över hur SCA delar in schemalagd arbetstid. Indelningen bygger på StanForD 2010 standarden för driftsuppföljning (Arlinger et al. 2012).

Figure 1. A schematic view of how SCA divides scheduled working time. The division is based on the StanForD 2010 standard for operational monitoring (Arlinger 2012).

Vid teoretiska studier av skördarens produktivitet delas arbetscykler vanligen in i olika arbetsmoment (Brunberg 2007). Tre arbetsmoment kan exempelvis vara; tidsåtgång för körning (T_k), tidsåtgång för fällning och upparbetning (processtid) (T_p) samt övrig tid (T_δ). Enligt Brunberg (2007) kan skördarens tidsåtgång per träd för körning, T_k , beräknas enligt Ekvation 1.

$$T_k = \frac{1\ 000\ 000}{S \times U \times K \times \left(1 + \left(\frac{50}{U}\right) - (0,1 \times Y) - (0,1 \times L)\right)} \text{ [cmin/träd]} \quad (\text{Ekv. 1})$$

Där S är stråkbredd (m), U är uttagna stammar (antal/ha), K är maskinens förflytnings/körhastighet (m/min), Y är ytstrukturklass (1–5, Berg 1995) och L är lutningsklass (1–5, Berg 1995). Brunberg (2007) använder sig av enheten "cmin" vilket innebär centiminuter (Sörensen et al. 2019). En minut består av 60 sekunder, medan en centiminut är en hundraedels minut. Körtiden påverkas av en konstant K som beskriver den hastighet som skördaren kan flytta sig med vid ytstruktur- och

lutningsklass 1. Konstanten K är inget reellt tal utan endast en räknefaktor som ska anpassa studiematerialet till prestationsnormen. Utifrån studiematerialet som Brunberg (2007) analyserade blev $k=31$ m/min. Stråkbredden S påverkar skördarens körtid, det vill säga om fällning görs enkel- eller dubbelsidigt. I den genomförda studien undersöktes båda metoderna. Enkelsidig fällning används normalt i medelgrov till grov skog, medan dubbelsidig fällning anses vara mer bränsleeffektiv. Stråkbredden var i genomsnitt 14 m vid enkelsidig och 19 m vid dubbelsidig avverkning. Därutöver så påverkar antalet uttagna stammar/ha, ytstruktur samt lutning skördarens tidsåtgång för körning.

Arbetsmomentet ”fällning och upparbetning” kan även i sin tur delas in i delmoment. Brunberg (2007) har studerat momenten kran ut, fällning, kvistning/kapning och kran in. Denna cykel beskriver således tidsåtgången för skördaren att processa ett träd (T_p) och beräknas enligt Ekvation 2. Tidsåtgången för fällning och upparbetning beror till stor del av medelstamsvolymen ($m^3\text{fub}$).

$$T_p = 24 + 35 \times M \text{ [cmin/träd]} \quad (\text{Ekv. 2})$$

Där M är medelstamsvolymen ($m^3\text{fub}$) och konstanten 24 avser den genomsnittliga fasta tidsåtgången per träd, oavsett storlek (Brunberg 2007). Konstanten 35 avser lutningskoefficienten för hur mycket tidsåtgången ökar beroende av medelstamsvolym ($m^3\text{fub}$). Slutligen anger det sista arbetsmomentet ”övrig tid” (T_o) faktorer så som risrensning, tillrättaläggning av virke och bortkapning av spjälkningsrester. För att beskriva dessa övriga arbetsmoment beräknades min-, max- och medeltal per träd fram. Minimal tid var 0,5 cmin/träd, maximaltid var 0,9 cmin/träd och medeltid var 0,7 cmin/träd. Den övriga tiden konstaterades till stor del bero på föraren och därför kunde stora variationer observeras. Total tidsåtgång för skördaren per avverkat träd (T_{tot}) beräknas enligt Ekvation 3.

$$T_{tot} = T_k + T_p + T_o \text{ [cmin/träd]} \quad (\text{Ekv. 3})$$

Gingras & Favreau (2005) redovisar en tidsfunktion för skördarens produktivitet som beskrivs av medelstamsvolym, antal sortiment och timrets medellängd, vilket beräknas enligt Ekvation 4.

$$P = 50,2 * M^{0,68} * p^{-0,09} * t^{0,22} * l^{0,34} \text{ [m}^3\text{fub/G}_0\text{h]} \quad (\text{Ekv. 4})$$

Där P är produktivitet ($m^3\text{fub/G}_0\text{-tim}$), M är medelstamsvolym ($m^3\text{fub/träd}$), p är antal sortiment, t är antal träd vid flerträdshantering ($t=1$ när flerträdshantering inte används) och l är stockarnas medellängd (m). Skördarens produktivitet påverkas också av antal kap samt tidsåtgång för varje kap (Hannrup et al. 2015).

1.2.2. Prestationsprognos och bortsättning i SCA:s verksamhet

För att uppskatta förväntad produktivitet för skördaren utgår SCA från en skördarnorm som skapar en grundproduktivitet med enheten avverkade träd per G₀-tim (SCA 2020). Grundproduktiviteten korrigeras därefter utifrån den förekomst av försvårande faktorer (Tabell 2) som finns i den aktuella trakten. Grundproduktiviteten i enheten träd/G₀-tim kan sedan beräknas om till enheten m³fub/G₀-tim genom att multiplicera träd/G₀-tim med angiven medelstamsvolym (m³fub/träd). SCA:s nuvarande prestationsprognoser är baserade på underlag från medelmaskin och medelförare i SCA:s maskinstatistik från 2014–2016 (SCA 2020). Materialet är även verifierat med statistik från 2011–2018. SCA framhäver att medelstamsvolym är den faktor som påverkar skördares prestation allra mest.

Tabell 2. Förenklad tillämningsinstruktion för de faktorer som SCA korrigerar sina prestationsnormer för skördare med (SCA 2020). Grundproduktiviteten korrigeras utifrån förekomsten av försvårande faktorer på den aktuella trakten. Tabellen anger vissa, men inte alla, korrigeringsvärden som SCA använder

Table 2. Simplified application instruction for the factors for which SCA corrects the performance standards for harvesters (SCA 2020). Basic productivity is corrected based on the presence of aggravating factors in the stand in question. The table lists some, but not all, correction values that SCA uses

Faktor	Enhet	Definition
Avverkad medelstamsvolym	m ³ fub	$= \frac{\text{Tot. uttagen volym (m}^3\text{fub)}}{\text{Tot. antal stammar med dbh} > 8\text{cm}}$
Terrängfaktorer		Klass 1–5 för ytstruktur och lutning (Berg 1995).
Stamtäthet, uttag	Stammar/ha	Antal stammar som kommer avverkas med dbh > 8 cm
Underväxt	Antal/ha	Antal stammar med h > 1,3 m och dbh < 8 cm
Svåra träd, uttag	%	Enligt definitionen har ”svåra träd” upparbetnings- och/eller ansättningshinder. Upparbetningshinder kan bero på klykor som har en stamdiameter > 15 cm ovan klykan eller träd med krökar. En stam som inte kan passera igenom en 70 cm bred och 150 cm lång cylinder har för mycket krök och skall klassas som ett svårt träd. Träd med ansättningshinder räknas som ett halvt svårt träd och kan bero på grepphinderande kvist.

Snöhinder	Utifrån snöförhållanden kan prestationen korrigeras med 0–10 %. Vid mycket dåliga förhållanden är snödjupet stort, grovkornig snö, skare som försvårar ansättning av aggregat samt dålig sikt på grund av snörök.
Antal avläggs-sortiment	Ett sortiment måste utgöra 2 % av totalvolymen och sortering ska ske utifrån gällande instruktion.
Traktens geometri	Geometrisk hänsyn tas genom att beräkna traktens ytterkant i förhållande till dess areal
Avstånd till avlägg	I normalfall detsamma som skotningsavstånd. Vid längre avstånd än 700 m till avlägg sker en prestationskorrigering för skördaren.
Övriga korrektions-faktorer	Traktspecifika faktorer som påverkar prestation

*dbh=diameter i brösthöjd

SCA använder också nyckeltalet produktivitetsindex (PI) för att utvärdera produktivitet. PI är en kombination av fart och tid enligt Ekvation 5. Fart kan beskrivas som en produktionstakt jämfört mot prognos, exempelvis att en maskin har producerat 90 % av förväntad prognos. Tid beskrivs i form av utnyttjade timmar.

$$PI = \frac{(\text{Utnyttjade timmar} * \text{utfall mot grundtabell} * TU)}{\text{Utnyttjade timmar}} \quad [\text{enhetslös}] \quad (\text{Ekv. 5})$$

1.3. Bränsleförbrukning hos skördare

För att skördare ska kunna utföra sitt arbete krävs stora mängder drivmedel och i dagsläget står diesel för en stor del av kostnaderna för avverkningsarbetet (Brunberg 2012). Det ligger därför i maskinägares intresse att hålla nere bränsleförbrukningen för att således minska utgifterna. Förbränning av drivmedel leder också till utsläpp av växthusgaser, vilket bidrar till den globala uppvärmningen (Haavikko et al. 2022). Minskad bränsleförbrukning är därför positivt ur både ekonomiska och hållbarhetsmässiga aspekter. Faktorer som

påverkar skördares bränsleförbrukning är bland annat maskinstorlek och därför bör maskinstorlek anpassas efter respektive bestånd.

Andra faktorer som påverkar bränsleförbrukning är hur kraftfulla maskinernas motorer är, snöförhållanden under vintern samt om maskinen använder band (Brunberg 2012). Band är tunga och kräver mer kraft av maskinen, vilket i sin tur bidrar till ökad bränsleförbrukning. Skotare som är utrustade med band på alla hjul kan få en ökad bränsleförbrukning med 2,9 l/G₁₅-tim. Vid stor snömängd eller körning på marker med dålig bärighet är band däremot nödvändigt för att öka framkomligheten och minska markskador. Medelstamsvolym är en av de faktorer som påverkar skördares bränsleförbrukning mest. Det sker en exponentiell minskning av bränsleförbrukningen desto större medelstamsvolymen blir, dvs. i mängd diesel per avverkad volym. De allra minsta medelstamsvolymerna kräver därmed mycket bränsle. En hög produktivitet och en hög bränsleförbrukning kan fortfarande ge en relativt låg bränsleförbrukning sett till liter per avverkad m³fub (Brunberg 2006). Vid val av skördares storlek skall därför bränsleförbrukning per m³fub alltid jämföras. Vid studie av skördarens arbetsmoment förbrukade körning 12 %, kranarbete 33 %, matning 36 % och kapning 19 % av total bränsleförbrukning (Brunberg 2005). Siffrorna anger relativa vikter vid beräkning av bränsletal.

1.4. Specialsortiment i allmänhet

Definitionen av specialsortiment kan variera beroende på sammanhang, men det kan tolkas som virke som avviker från riktlinjerna för sågtimmer, massaved eller skogsbränslesortiment (Sennblad & Andersson 2008). Vanligen utgör specialsortiment kring 5–10 % av den totala avverkade volymen, samtidigt som ekonomiska värdet ofta utgör en större andel än så. Nackdelen med specialsortiment är att omkostnaderna ofta är högre pga. att det är små partier och som behöver särskiljas separat från andra sortiment, vilket ger högre logistik- och avverkningskostnader. Bland annat kan arbetstiden för aptering påverkas, vilket är att betrakta som en kostnad. I kortvirkessystemet krävs alltid aptering, men olika apteringar kan vara mer eller mindre arbetsintensiva.

1.5. Gransortiment till Gällö Timber AB

SCA tar i dagsläget ut timmersortimenten "Gällö kort" & "Gällö lång" av trädslaget gran (*Picea abies*) enligt Andreas Eriksson¹. Gällö kort betecknas med GE och Gällö lång med GJ. Det som är speciellt med GE och GJ är att de apteras fram

¹ Andreas Eriksson – Virkesspecialist SCA, personlig kommunikation, 2022-11-24.

samtidigt och att de är två sortiment som konkurrerar med varandra när en enskild stock ska apteras. Samtidigt särhålls produkterna på avlägget som två olika handelssortiment. SCA apterar även fram vanlig Gällö gran, vilket betecknas GG. I ett enskilt bestånd apteras det endera fram bara GG eller GE och GJ. Trots att GE respektive GJ apteras fram på samma trakter används två olika styrfiler i skördardatorn, jämfört med GG-aptering som endast innehåller en styrfil för skördaren. Gällö apteringarna levereras till Gällö Timber AB, vilket är ett sågverk beläget 50 km sydost om Östersund (Gällö Skog AB u.å).

Ursprungliga syftet med GE/GJ-aptering var att maximera utbytet av sågtimmer i typskogen "fjällgranskog" enligt Eriksson¹. Träden i dessa miljöer var nämligen korta och hade hög avsmalning, dvs hade relativt högt toppformtal. Ur dessa träd blev det ofta optimalt att ta ut en lång samt en kort stock. Med tiden har typskogen för GE/GJ-aptering blivit mer generell och det apteras numera fram inom ett geografiskt lämpligt område, sett till transportavstånd, mot Gällö Timber AB. Hos SCA är idag målsättningen att aptera fram GE/GJ med en inbördes fördelning av 20 % kort och 80 % lång, sett till volym (m³fub). GE-stockar har längden 312 cm, medan GJ-stockar tillåts i längderna 431, 491 och 551 cm. Målet är också att leverera jämn dimeterspridning inom de båda apteringarna. Nedre diametergränsen för GE är 140 mm och övre gräns 300 mm. GJ har en minimidiameter på 130 mm och övre gräns på 600 mm. Gränsdiametrarna är toppmätta fast under bark, det vill säga att de mäts vid stockens topp. GG apteras fram i 5 olika längder från 371 cm till 550 cm och har samma diametergränsvärden som GJ-apteringen (Tabell 3). Vid aptering av GE/GJ och GG används SCA:s standardvärden för kapfönster och maximal värdeavvikelse per träd.

Tabell 3. Information kring apteringarna Gällö kort (GE), Gällö lång (GJ) och Gällö gran (GG)
Table 3. Information about the assortments Gällö short (GE), Gällö long (GJ) and Gällö spruce (GG)

Sortiment	Längd (cm)	Min diameter (mm*)	Max diameter (mm*)
Gällö Kort (GE)	312	140	300
Gällö Lång (GJ)	431 / 491 / 551	130	600
Gällö Gran (GG)	371/431/491/521/551	130	600

*Diametern mäts fast under bark (Fub)

1.6. Syfte

Syftet var att undersöka hur specialsортiment påverkar skördares produktivitet och bränsleförbrukning vid slutavverkning, genom en fallstudie av SCA:s gransortiment till Gällö Timber AB.

1.6.1. Frågeställningar

- Vilken effekt har apteringen av GE/GJ på skördares produktivitet och bränsleförbrukning jämfört med GG-aptering?
- Varför uppstår eventuella skillnader i produktivitet mellan aptering av GE/GJ och GG?
- Vad blir skördarens sammanlagda driftskostnad vid aptering mot specialsортiment kontra vanliga sortiment?

1.6.2. Hypoteser

Utifrån tidigare studier samt SCA:s skördarförarens erfarenheter är hypotesen att aptering av GE/GJ sänker skördares produktivitet, jämfört med GG-aptering. För det första borde GE/GJ-apteringen medföra fler kap och mer tid för sortering av sortiment i skogen. För det andra borde GE/GJ-aptering kräva högre prestanda av skördardatorn, eftersom två styrfiler ska jämföras mot varandra. Det riskerar att tidsåtgången för skördardatorns beslutsfattande blir högre vid GE/GJ-aptering, eftersom skördardatorn potentiellt kan få problem att bestämma var kapen ska ske. Vid GG-aptering finns endast en styrfil för timmerapteringen och således kan troligen skördardatorn ta snabbare beslut. Skillnaden mellan GG- samt GE/GJ-aptering förväntas i sin helhet vara kring 2–3 % lägre produktivitet för GE/GJ-aptering. Bränsleförbrukningen bedöms också öka vid aptering av GE/GJ till följd av mer tidskrävande arbete.

2. Material & metod

2.1. Datamaterial till empiriska studier

2.1.1. Skördardata

I studien användes skördardata från 81 avverkningslag. Datamaterialet bestod både av data från SCA:s egna lag samt från entreprenörer som har avverkat gran till Gällö Timber AB. SCA plockade ut data från det interna systemet MAST och exporterade materialet till Excel. I utsökningen filtrerades alla trakter fram där det hade avverkats gran till Gällö Timber AB, från första januari 2021 och till sista augusti 2022. Utsökningen resulterade i 1700 trakter med data som avverkats med GG-aptering och 274 trakter som avverkats med GE/GJ-aptering.

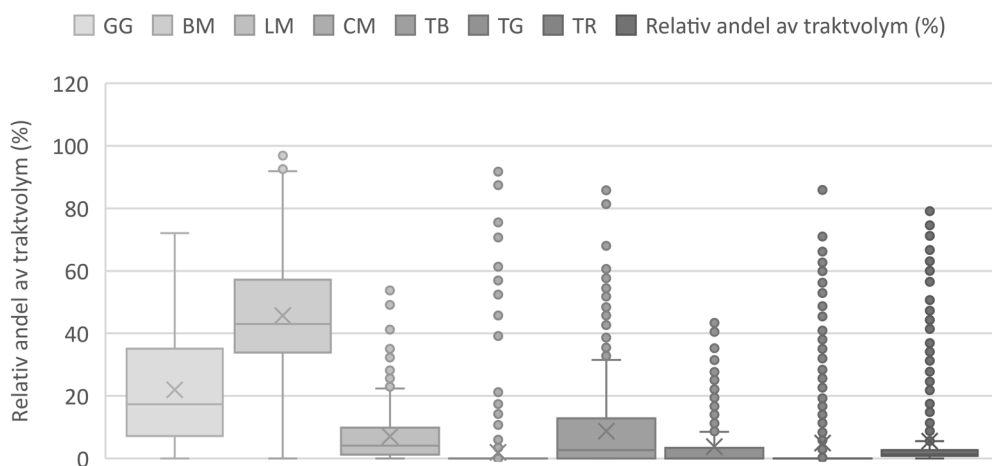
All information i skördardatamaterialet var fördelat på traktnivå. Det inkluderade information om trakterna i form areal (ha), medelstamsvolym (m^3 fub), träd/trakt, antal trakter och vilket avverkningslag som avverkat vilken trakt. Det ingick även information om hur stor volym som avverkats av respektive sortiment på varje trakt. Skördardatamaterialet inkluderade också information för att kunna analysera skördares produktivitet. Exempelvis antal utförda G_0 -tim per trakt för skördaren, flertalet avbrottstider samt nyckeltal för att kunna analysera produktivitet. Av den totala volymen grantimmer som apterats till Gällö Timber AB utgjordes 76 % av GG, 20 % av GJ samt 4 % av GE. Trakter som avverkats med GE/GJ-aptering hade i medeltal 14 % större medelstamsvolym och 26 % större medelvolym per hektar än GG-aptering (Tabell 4). Medelarealen var större för trakter avverkade med GG-aptering, jämfört med GE/GJ-aptering.

Tabell 4. Sammanställd information för de trakter som avverkats med GG- respektive GE/GJ- aptering under 2021 och 2022

Table 4. Compiled information about the areas harvested with GG and GE/GJ bucking in 2021 and 2022

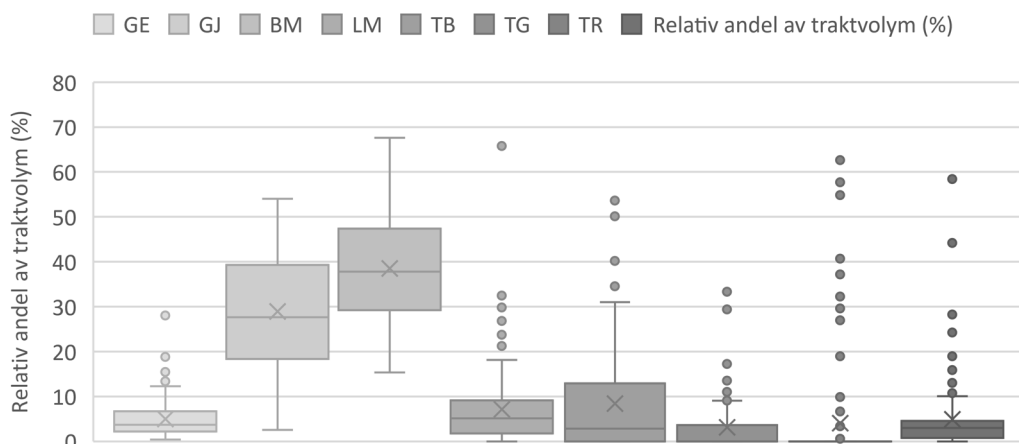
	GG			GE/GJ		
	Min.	Medel	Max.	Min.	Medel	Max.
Medelstamsvolym (m ³ fub)	0,03	0,18	1,68	0,04	0,21	0,56
Medelareal/trakt (ha)	1,0	9,4	110,0	1,0	7,8	49,0
Medelvolym/trakt (m ³ fub/ha)	2,83	136,3	994,3	38,5	185,1	578,1
Tid (G ₀ -tim/trakt)	0,21	54,16	50982,03	1,24	64,58	13607,58

Trakter avverkade med GG-aptering hade i medeltal 22 % (standardavvikelse (SA) 17 %) GG och 46 % (SA 18 %) barrmassa av total avverkad volym (m³fub) per trakt (Fig. 2). Trakter avverkade med GE/GJ-aptering hade i medelvärde 5 % (SA 4,2 %) GE, 29 % (SA 14 %) GJ samt 39 % (SA 12%) barrmassa per trakt (Fig. 3). Vid både aptering av GE/GJ och GG fanns också inslag av löv och tall på trakterna.



Figur 2. Relativ trädslags- och sortimentsfördelning per trakt, för trakter avverkade med GG- aptering under 2021. Förkortningarna beskriver Gällö gran (GG), barrmassa (BM), lövmassa (LM), contortamassa (CM), Bollstatall (TB), Gällö tall (TG) och Rödinstall (TR).

Figure 2. Relative distribution of tree species and assortments per area, for areas harvested with GG bucking in 2021. The abbreviations describe Gällö spruce (GG), coniferous pulp (BM), leaf pulp (LM), contorta pulp (CM), Bollsta pine (TB), Gällö pine (TG) and Rödins pine (TR).



Figur 3. Relativ trädslags- och sortimentsfördelning per trakt, för trakter avverkade med GE/GJ-aptering under 2021. Förkortningarna beskriver Gällö kort (GE), Gällö lång (GJ), barrmassa (BM), lövmassa (LM), Bollstatal (TB), Gällö tall (TG) och Rödinstall (TR).

Figure 3. Relative distribution of tree species and assortments per area, for areas harvested with GE/GJ bucking in 2021. The abbreviations describe Gällö short (GE), Gällö long (GJ), coniferous pulp (BM), leaf pulp (LM), Bollsta pine (TB), Gällö pine (TG) and Rödins pine (TR).

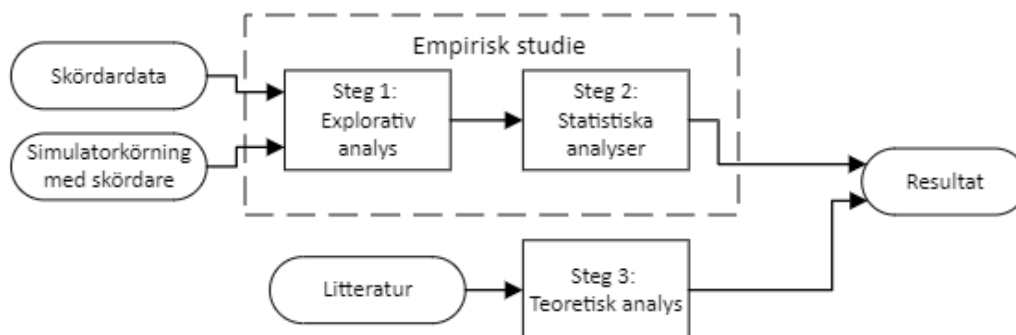
2.1.2. Simulatorkörning med skördare

Det genomfördes simulatorkörning med skördare med SCA:s simulator och operatör var en av SCA:s metodinstruktörer. Skördarmodellen som användes i maskinsimulatoren var en Komatsu 931-3 och programvaran som användes var MaxiXT 1.5.X.42935 D. Det genomfördes totalt sex simulatorkörningar (1-6) i två olika bestånd (A & B). Körningarna 1-6 utfördes i turordning, där körning 1 genomfördes först och körning 6 sist. Körning 1, 3 och 5 avverkades med GE/GJ-aptering, medan körning 2, 4 och 6 avverkades med GG-aptering. Först avverkades samma 20 träd ur bestånd A ”slutavverkning” med både GE/GJ- samt GG-apteringen (körning 1 & 2). Därefter avverkades samma 20 träd ur bestånd B ”naturligt område” med både GE/GJ- samt GG-aptering (körning 3 & 4). Slutligen avverkades samma 30 träd återigen från bestånd A med båda apteringsinstruktionerna (körning 5 & 6).

Under simulatorkörningen med skördare genomfördes varje körning (1-6) separat. Efter varje körning fotograferades produktionsöversikten, vilket innehöll medeltal för stockvolym, stocklängder, bränsleförbrukning, kranrörelser och antal stockar per sortiment. Körningarna genererade också avverkad volym per minut. Genomgående under simulatorkörningen klassificerade operatören alla trädslag som gran, oavsett egentligt trädslag. Anledningen till detta var att det inte fanns en renodlad granskog i simulatorns förinställda skogar. Vid aptering av GE/GJ sorterade operatören GE- respektive GJ-timmer som två olika sortiment, samtidigt som barrmassa sorterades för sig. Vid aptering av GG sårhölls GG-timmer och barrmassa.

2.2. Bearbetning av data och teoretiska beräkningar

Analysprocessen delades in i två delar; en empirisk studie och en teoretisk analys baserat på litteratur (Fig. 4). Den empiriska studien inleddes med att explorativa analyser genomfördes i Excel av de två datakällorna; skördardata och simulatorkörning med skördare. Målsättningen med dessa analyser var att hitta trender i datamaterialet samt konstatera skillnader mellan GE/GJ- och GG-aptering. Därefter utfördes statistiska analyser. Slutligen utfördes teoretiska analyser för att kartlägga varför skillnader uppstår mellan GE/GJ- och GG-aptering.



Figur 4. Ingående datamaterial samt den översiktliga arbetsgången under studien.

Figure 4. The included data material as well as the overall workflow during the study.

2.2.1. Explorativa analyser

Skördardata användes för att kunna analysera nyckeltal och trender på traktnivå. De explorativa analyserna utfördes i Microsoft Excel. Värdena för respektive nyckeltal analyserades först genom visuell överblick i spridningsdiagram. Ifall enstaka trakter avvek orimligt mycket betraktades det som extremvärden. Två trakter filterades bort i GG-aptering 2021, eftersom avvikelserna från prognostiserad produktivitet ($\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$) var 561 % respektive 694 %. Två trakter filterades också bort från GE/GJ-aptering, en från 2021 och en från 2022, eftersom trakterna uppmätta en produktivitet på $120 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$ respektive $151 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$. I övrigt behölls alla trakter som ingick i skördardatamaterialet.

Genomgående i analyserna har volymvägning använts och det beräknades en vikt för varje trakt utifrån avverkad volym (m^3fub). Trakter med mer volym fick således större inverkan på resultatet än trakter med lägre volym. Det beräknades även viktade medelvärden för produktivitet ($\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$ & $\text{träd}/\text{G}_0\text{-tim}$), PI samt TU, för respektive aptering (GG, GE/GJ) och för respektive år (2021, 2022). Värden för 2021 och 2022 viktades samman eftersom liknande resultat visades. Alla viktade medelvärden (\bar{Y}_W) beräknades utifrån Ekvation 6.

$$\bar{Y}_W = \sum_{i=1}^N Y_i * W_i \quad (\text{Ekv. 6})$$

Där W_i är vikten för trakt i , Y_i är värdet för trakt i och N betecknar antalet trakter. Det beräknades också en viktad medelstamsvolym för GG- respektive GE/GJ-aptering. Den viktade medelstamsvolymen användes i SCA:s ersättningsmodell, för att jämföras mot en medelstamsvolym av 0,2 m³fub. Ersättningsmodellen beräknade då fram korrigeringsstal för produktiviteten (träd/G₀-tim & m³fub/G₀-tim), som därefter kunde adderas eller subtraheras från ursprungliga viktade medelvärde för GE/GJ- respektive GG-aptering. Korrigering utifrån ersättningsmodellen resulterade i att värdena blev normerade till en medelstamsvolym av 0,2 m³fub. För att följa upp avverkningens utfall mot grundproduktivitet (träd/G₀-tim) samt förväntat produktivitet i form av avverkad volym (m³fub/G₀-tim) beräknades procentuella avvikelser för GE/GJ- respektive GG-aptering. Beräkningarna genomfördes genom att ta skillnaden mellan förväntad och faktisk produktivitet, delat med förväntad produktivitet. Avbrottstider för GE/GJ- och GG-apteringarna studerades. De avbrott som studerades var total avbrottstid, tid för reparation, tid för skötsel, avbrott på grund av störning samt småavbrott mindre än 5 minuter. Det beräknades ett medelvärde för respektive avbrottyp (i min/G₀-tim) genom att summera alla tracters avbrottstid för den aktuella avbrottkategorin och dividera med antalet trakter.

Fyra avverkningslag valdes slumpvis ut för att genomföra en kartläggning av enskilda avverkningslag och de benämndes med A, B, C respektive D. Det slumpvisa urvalet skedde genom att sortera ut alla avverkningslag som hade avverkat minst 7 trakter med GE/GJ-aptering och minst 7 trakter med GG-aptering under 2021. Den totala avverkade volymen skulle sammanlagt också vara minst 5000 m³fub för GE/GJ- respektive GG-aptering. Analysen bidrog till att resultaten för GE/GJ- respektive GG-aptering kunde jämföras för samma operatörer. Det antogs därmed att avverkningslag A-D har haft samma operatörer för trakter avverkade med GE/GJ- respektive GG-aptering. För avverkningslag A-D beräknades därefter produktivitet (m³fub/G₀-tim & träd/G₀-tim), PI och TU för respektive aptering (GG, GE/GJ). Viktade och normerade värden användes, varav viktade värden beräknades enligt Ekvation 6. Värdena normerades utifrån SCA:s ersättningsmodell. Förhållandet mellan medelstamsvolym (m³fub) och produktivitet (m³fub/G₀-tim) studerades genom att göra spridningsdiagram för GE/GJ- respektive GG-aptering i Minitab för avverkningslag A-D. Rådata användes för trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2021-12-12.

Indata från simulatorkörningen med skördare sammanställdes i Excel. Medelvärden för GE/GJ- respektive GG-aptering beräknades för de analyserade nyckeltalen (Tabell 6) och värdena viktades efter antal träd per körning. Därefter beräknades en differens mellan de två apteringsinstruktionernas viktade produktivetsmedelvärden, och GG-aptering används som referens mot GE/GJ-aptering. Antalet kap beräknades för såväl timmer- och barmassastockar, genom att summera antalet stockar och lägga till ett extra kap för varje träd för att räkna med kapet som behövs för att avlägsna toppen. Genomgående har de relativa skillnaderna mellan GE/GJ- och GG-aptering beräknades genom att använda GG som referens enligt Ekvation 7.

$$\text{Relativ skillnad} = \frac{(\text{Värde GG} - \text{Värde GE/GJ})}{\text{Värde GG}} * 100 [\%] \quad (\text{Ekv. 7})$$

2.2.2. Statistiska analyser

För de statistiska analyserna användes programvaran Minitab version 19.2020.1. Skördardatamaterialet omfattade 1698 trakter med GG-aptering och 272 trakter med GE/GJ-aptering. Skillnader mellan apteringarna analyserades med hjälp av tvåsidiga T-tester för respektive variabel (produktivitet, PI & TU). För alla variabler antogs det att varianserna inte var likadana mellan grupperna. För simulatorkörning med skördare genomfördes parade T-test för produktivitet ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$). Under analysen jämfördes körning 1–2, 3–4 och 5–6 mot varandra. Tröskelvärdet för signifikans sattes till $p=0,05$ i alla statistiska analyser.

2.2.3. Teoretiska beräkningar

De teoretiska analyserna inleddes med litteraturstudier för att kartlägga och definiera parametrar som behövdes i de teoretiska beräkningarna. Därefter undersöktes den extra tidsåtgången som krävs för skördare att särhålla GE- från GJ-timmer vid GE/GJ-aptering (T_s) (Ekv. 8). Vid aptering av GG kan det i första hand bli maximalt två sortiment ur varje gran (barmassa & GG). Vid aptering av GE/GJ kan det istället bli maximalt tre sortiment ur varje gran (barmassa, GE & GJ). Skördarens kran ska således förflytta sig mellan två olika högar vid särhållandet av GE- respektive GJ-timmer.

$$T_s = \frac{s * 2}{v} [\text{m/s}] \quad (\text{Ekv. 8})$$

Det antogs att högarna ligger sträckan $s=2$ meter ifrån varandra samt att varje GE-stock medför att skördarens kran måste flytta sig till en annan hög (*2). Det antogs även att kranen förflyttar sig med hastigheten $v=2$ meter per sekund enligt Gellerstedt (2002). Därefter kartlades hur antal kap skiljer sig mellan GE/GJ- och GG-aptering. Först undersöktes medellängder utifrån skördardata och dessa siffror

genererades med hjälp av muntlig information från Eriksson². Medellängd för GJ-respektive GG-aptering togs från Biometrias system ”PRINS”. Perioden som undersöktes var 2021-01-01 till 2021-12-31. Det beräknades en volymviktad medellängd för GE/GJ-aptering utifrån antagande att GJ-timmer utgör 80% av grantimmervolymer (Ekvation 9).

$$\text{Medellängd GE/GJ} = (0,2 * \text{medellängd GE}) + (0,8 * \text{medellängd GJ}) \text{ [cm]} \text{ (Ekv. 9)}$$

Genom data från SCA:s system ”Stenkoll” insamlades antal manuella kap för GE-, GJ- och GG-aptering under perioden 2021-01-01 till 2022-05-31. För att uppskatta tidsåtgången för varje kap användes Hannrup et al. (2015) funktion (Ekv. 10).

$$K = 0,0845 + 0,00089 * k \text{ [sekunder]} \quad \text{(Ekv. 10)}$$

Där K är kaptid (s) och k är kaparea (cm²). Det antogs en genomsnittlig diameter på 20 cm och således en genomsnittlig kaparea på 63 cm². Målsättningen i studien var att undersöka tidsåtgången för skördardatorns beslutsfattande, men det kunde inte kartläggas med faktiska siffror. För att analysera en potentiell möjlig påverkan genomfördes beräkningar där total tidsåtgång undersöktes utifrån tidsåtgång per kap (s/kap) och antal kap. Bränsleförbrukning skattades enligt Brunberg (2012) teoretiska beräkning (Ekv. 11) och i studien antogs det motsvara bränsleförbrukning vid GG-aptering.

$$\text{Bränsleförbrukning} = 0,4 + \frac{0,1}{\text{Medelstamsvolym}} \text{ [l/m}^3\text{fub]} \quad \text{(Ekv. 11)}$$

I beräkningen antogs en medelstamsvolym på 0,2 m³fub. I Brunberg (2012) tas ingen hänsyn till hur olika apteringar påverkar bränsleförbrukningen och för att uppskatta hur GE/GJ-aptering påverkar bränsleförbrukning gjordes därför ett antal antaganden. För det första antogs det att kranrörelsen ökar proportionellt mot GE-apteringens andel av timmervolymer, det vill säga 20 %. Enligt Brunberg (2005) står kranrörelsen för 33 % av den totala bränsleförbrukningen. De ökade kranrörelserna för GE/GJ borde således påverka bränsleförbrukningen med 6,6 % (100 × 0,2 × 0,33 = 6,6%). För att uppskatta hur antalet kap skiljer sig mellan GG-respektive GE/GJ-aptering användes resultatet från simulatorkörningen med skördare, där aptering av GE/GJ resulterade i 3 % mer kap. Enligt Brunberg (2005) står kapning för 19 % av den totala bränsleförbrukningen. Enligt den teoretiska beräkningen bör antalet extra kap öka bränsleförbrukningen med 0,57 % (100 × 0,03 × 0,19 = 0,57 %). Således borde den totala bränsleförbrukningen öka med cirka 7,17 % (6,6 % + 0,57 %). Bränsleförbrukningen vid GE/GJ-aptering beräknades

² Andreas Eriksson – Virkesspecialist SCA, personlig kommunikation 2022-11-24.

genom att multiplicera bränsleförbrukningen för GG-aptering (Ekv. 11) med bedömd relativ ökning (7,17 %).

För att beräkna total produktivetspåverkan användes Brunberg (2007) produktivetsnormer. Tidsåtgång för körning hölls konstant oavsett aptering av GE/GJ eller GG (Ekv. 1). Tiden för fällning och upparbetning påverkas däremot av vald aptering eftersom kapning samt kranrörelser bedöms öka med GE/GJ-aptering. I beräkningarna antogs medelstamsvolymen 0,2 m³fub vid beräkning av tidsåtgång för fällning och upparbetning (Ekv. 2). Övrig tid bedömdes ej påverkas av de två olika apteringarna och därför antogs medelvärdet 0,7 cmin/träd (Brunberg 2007). Vid beräkning med Ekvation 1 antogs att det utfördes en enkelsidig avverkning med 11 m stråkbredd, enligt Lundqvist et al. (2014) teori. Det antogs även att marken har en medelmåttig bonitet och således att det avverkas 700 stammar per hektar (Skogskunskap 2020). K=31 för körhastighet antogs enligt Brunbergs (2007) prestationsnorm. För ytstruktur och lutning antogs värde 1 (Berg 1995). Tidsåtgång i cmin räknades om till minuter enligt Ekvation 12 (Sörensen et al. 2019).

$$\text{Minuter/träd} = \frac{\text{cmin/träd}}{100} \quad (\text{Ekv. 12})$$

I de teoretiska beräkningarna antogs Brunberg (2007) prestationsnorm motsvara GG-aptering. Hur GE/GJ-aptering påverkas är däremot svårt att uppskatta med beräkningen. Det antogs därför att GE/GJ-aptering medför extra tid för sortering och kap. Det antagna tidstillägget blev 2,14 s/träd (2 s +0,14 s) utifrån Ekvation 8 respektive Ekvation 10. Tidstillägget omvandlades till minuter och adderades till produktivetsnormen (Ekv. 3), efter det att cmin omvandlats till min. Tidsåtgång per träd omvandlades till produktivitet i enheten träd per G₀-tim genom Ekvation 13.

$$\text{Träd/G}_0 - \text{tim} = \frac{60}{\text{min/träd}} \quad (\text{Ekv. 13})$$

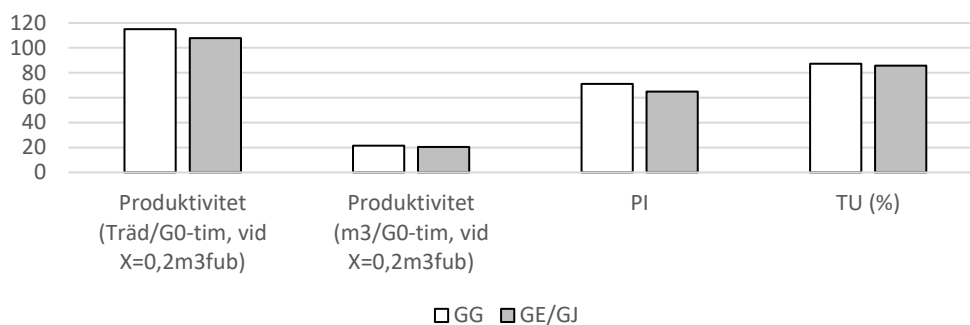
Slutligen användes Gingras & Favreau (2005) beräkning (Ekv. 4). Antagen medelstamsvolym (M) var 0,2 m³fub. För GE/GJ-aptering antogs 3 sortiment (barrmassa, GE & GJ) och för GG antogs 2 sortiment (barrmassa & GG). Ingen flerträdshantering antogs, t=1. Den medellängd som Eriksson³ sökte ut i PRINS användes för GG-aptering och viktad medellängd för GE/GJ-aptering beräknades med Ekvation 9. Brunberg (2007) respektive Gingras och Favreau (2005) beräkningar användes för att erhålla produktivitet på två alternativa sätt.

³ Andreas Eriksson – Virkesspecialist SCA, personlig kommunikation, 2022-11-24.

3. Resultat

3.1. Skördardata

Resultatet påvisade att aptering av GG resulterade i cirka 7 fler avverkade träd per G_0 -timme, jämfört med GE/GJ-aptering (Fig. 5). Den relativa skillnaden motsvarar 6,3 % fler träd/ G_0 -tim vid aptering av GG. Skillnaden mellan GG- och GE/GJ-aptering sett till avverkad volym blev $1 \text{ m}^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$, till fördel för GG-aptering. Den relativa skillnaden motsvarar 4,6 % mer avverkad volym (m^3fub) per G_0 -tim med GG-aptering. Produktivitetsindexet var 6,31 enheter högre för GG-aptering och det motsvarar en relativ skillnad på 8,9 %. TU var 1,51 procentenheter högre för GG- än GE/GJ-aptering. Statistisk signifikant skillnad påvisades för produktiviteten (träd/ G_0 -tim & $\text{m}^3\text{fub}/G_0$ -tim) mellan GG- respektive GE/GJ-aptering, PI samt TU (Tabell 5). För alla nyckeltal var även T-värdet större än 1 eller mindre än -1. För samtliga nyckeltal var standardavvikelsen större för GG- än GE/GJ-aptering.



Figur 5. Viktade medelvärden för produktivitet (träd/ G_0 -tim & $\text{m}^3\text{fub}/G_0$ -tim), produktivitetsindex (PI) samt tekniskt utnyttjande (TU) för GG- respektive GE/GJ-aptering. Enheter visas under respektive stapel, PI är enhetslös. Träd/ G_0 -tim samt $\text{m}^3\text{fub}/G_0$ -tim normerades kring medelstamsvolym (X) $0,2 \text{ m}^3\text{fub}$. Värdena viktades efter avverkad volym per trakt och inkluderade trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2022-08-31.

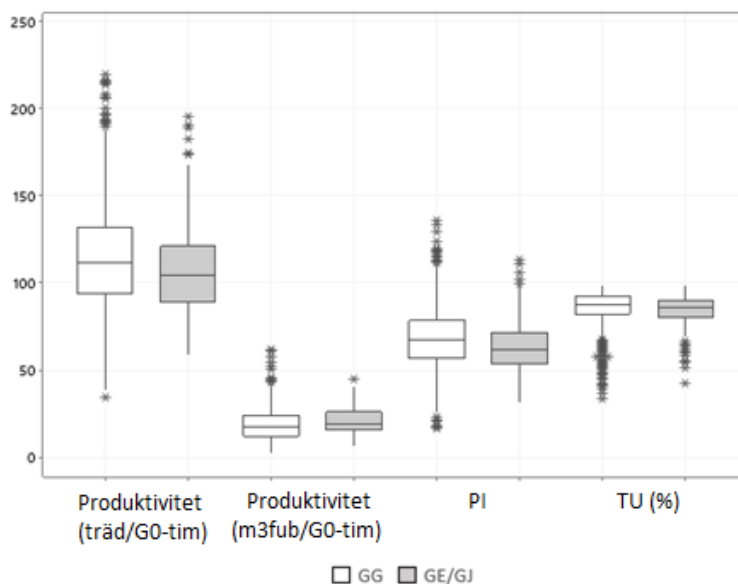
Figure 5. Weighted average values for productivity (trees/ G_0h & $\text{m}^3\text{fub}/G_0h$), productivity index (PI) and technical utilization (TU) for the assortments GG and GE/GJ. Units are showed under respective stack, PI is unitless. Trees/ G_0h and $\text{m}^3\text{fub}/G_0h$ are standardized for the mean stem volume (X) $0.2 \text{ m}^3\text{fub}$. The values are weighted according to harvested volume per area and includes areas final felled between 2021-01-01 and 2022-08-31.

Tabell 5. P-värde, T-värde och standardavvikelse (SA) för produktivitet (träd/G₀-tim & m³fub/G₀-tim), PI samt TU

Tabel 5. P-values, T-values and standard deviation (SA) for the productivity (tree/G₀h, m³fub/G₀h), PI and TU

Faktor	P-värde	T-värde	SA GE/GJ	SA GG
Produktivitet (Träd/G ₀ -tim)	0,000011	4,46	25,2	29,0
Produktivitet (m ³ fub/G ₀ -tim)	0,000077	-3,99	7,25	8,83
PI	0,000010	4,47	14,5	17,3
TU (%)	0,007038	2,71	8,19	9,51

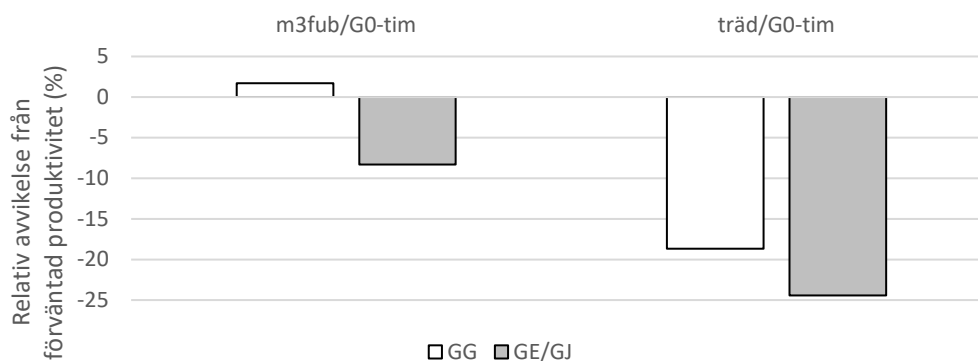
Vid studie av det obearbetade datamaterialets kunde större spridning observeras för trakter avverkade med GG-aptering, jämfört med GE/GJ-aptering (Fig. 6). Produktiviteten var högre för GG-aptering med ett medelvärde på 113 träd/G₀-tim. GE/GJ-aptering hade ett medelvärde på 106 träd/G₀-tim. När produktiviteten istället uttrycktes i m³fub/G₀-tim så var den högre för GE/GJ- än GG-aptering. GE/GJ-apteringen hade ett medelvärde på 20,9 m³fub/G₀-tim, medelvärdet för GG-aptering var 18,9 m³fub/G₀-tim. Både PI och TU var högre för GG-aptering. Medelvärde för PI var 67,7 för GG-aptering och 63,5 för GE/GJ-aptering. Medelvärdet för TU var 85,8 % för GG-aptering och 84,4 % för GE/GJ-aptering.



Figur 6. Spridning för produktivitet (träd/G₀-tim & m³fub/G₀-tim), PI och TU (%) för GG-respektive GE/GJ-aptering utan korrigering för avverkad volym/trakt eller normering. Enhet för respektive nyckeltal visas under staplarna, PI är enhetslös. Linjen i mitten av lådorna visar medianvärde. Värdena inkluderar trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2022-08-31.

Figure 6. Scatter for productivity (tree/G₀h & m³fub/G₀h), PI and TU (%) for GG and GE/GJ bucking, without correction for harvested volume/area or standardization. Units for the respective key figures are shown below the stacks, PI is unitless. The line in the middle of the boxes shows the median value. The values include areas final felled between 2021-01-01 and 2022-08-31.

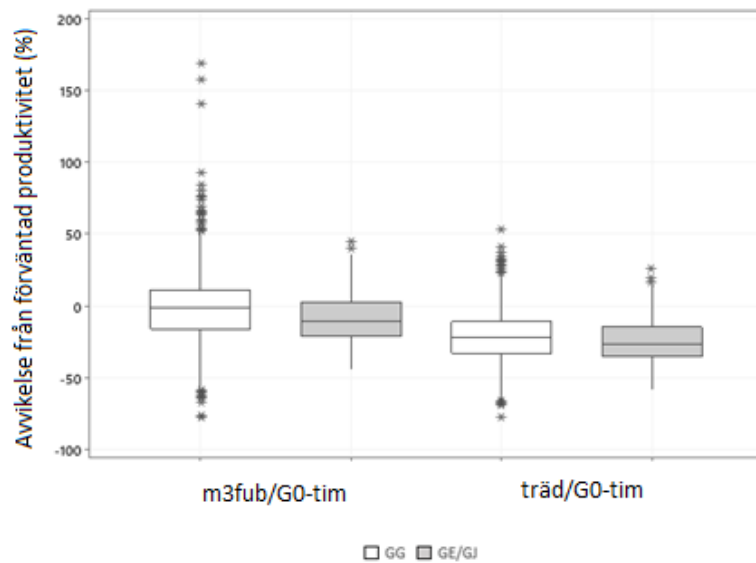
Resultatet från de viktade medelvärdena påvisade att GE/GJ-aptering i medeltal avvek mer än GG-aptering från förväntad produktivitet (Fig. 7). GE/GJ-aptering avvek -8,33 % från prognostiserad $m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$, medan GG-aptering hade en positiv avvikelse på 1,71 % från förväntad $m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$. Avvikelse från beräknad grundproduktivitet (träd/ $G_0\text{-tim}$) var 5,74 procentenheter större för GE/GJ-aptering jämfört med GG-aptering.



Figur 7. Viktade medelvärden för relativ skillnad mellan förväntad och faktisk produktivitet ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ & träd/ $G_0\text{-tim}$) för GG- respektive GE/GJ-aptering. Värdena viktades efter avverkad volym per trakt och inkluderade trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2022-08-31.

Figure 7. Weighted mean values of relative difference between expected and actual productivity ($m^3\text{fub}/G_0h$ & tree/ G_0h) for GG and GE/GJ bucking respectively. The values were weighted according to harvested volume per area and includes areas harvested between 2021-01-01 and 2022-08-31.

Vid studie av spridning mellan trakter, sett till relativ avvikelse från förväntad produktivitet ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ & träd/ $G_0\text{-tim}$), kunde större spridning observeras för GG-aptering (Fig. 8). Medelvärdet för relativ avvikelse från förväntad produktivitet ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$) var -1,4 % för GG-aptering och -8,5 % för GE/GJ-aptering. Avvikelsen från grundproduktivitet (träd/ $G_0\text{-tim}$) var i medelvärde -21,4 % för GG-aptering och -24,8 % för GE/GJ-aptering.



Figur 8. Relativ skillnad mellan förväntad och faktisk produktivitet ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$ & $\text{träd}/G_0\text{-tim}$) för GG- respektive GE/GJ-aptering. Värdena är inte korrigerade för avverkad volym/trakt. Linjen i mitten av lådorna visar medianvärde. Enhet för respektive nyckeltal visas under staplarna, PI är enhetslös. Värdena inkluderar trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2022-08-31.

Figure 8. Relative difference between expected and actual productivity ($m^3\text{fub}/G_0h$ & tree/G_0h) for GG and GE/GJ bucking respectively. The values are not corrected for harvested volume/area. The line in the middle of the boxes shows the median value. Units for the respective key figures are shown below the stacks, PI is unitless. The values include areas final felled between 2021-01-01 and 2022-08-31.

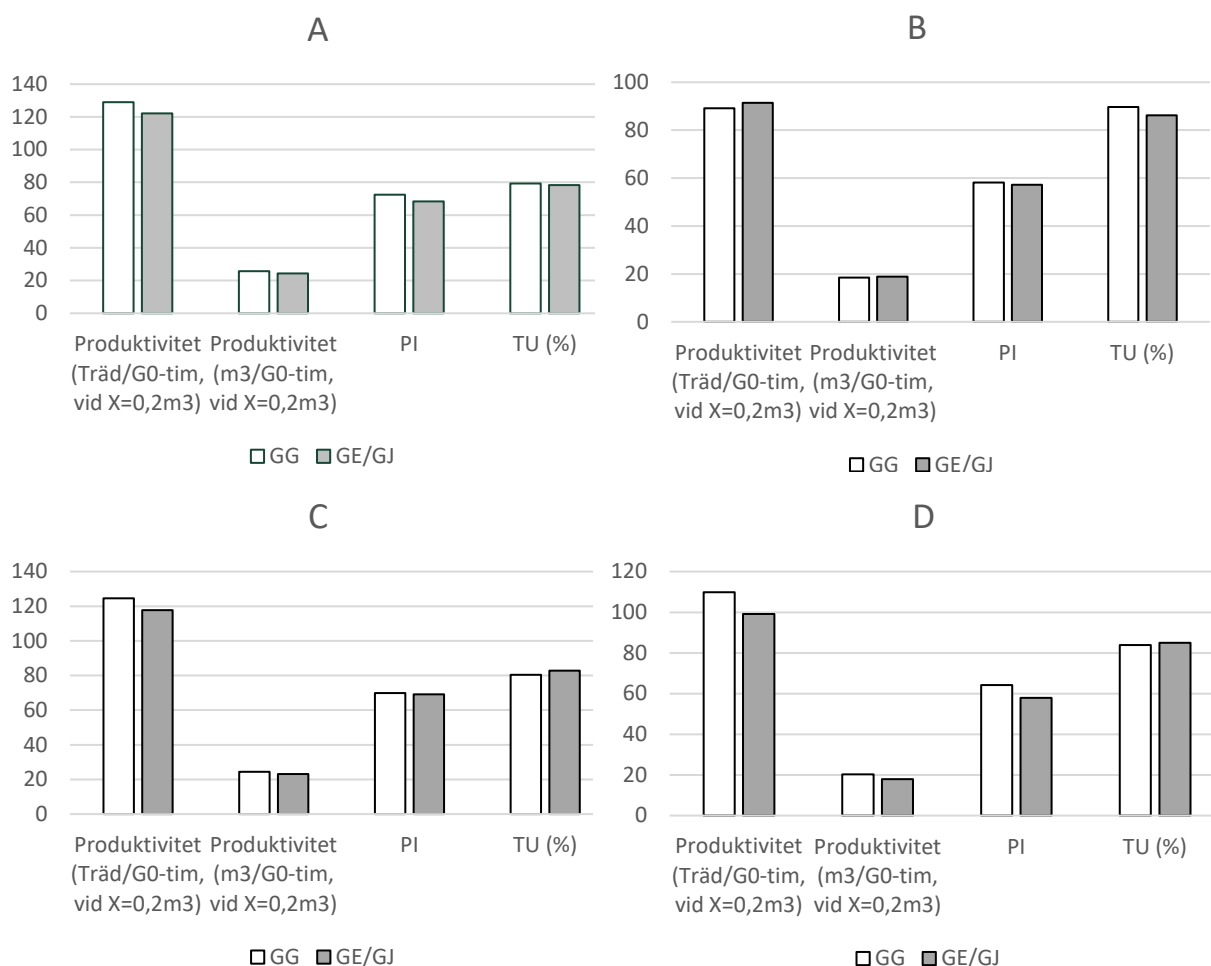
GE/GJ-aptering genererade i medeltal totalt 12,6 min avbrott per timme (Fig. 9). GG-aptering hade i genomsnitt 11,5 min avbrott per timme. Det motsvarar -9% mindre avbrott totalt för GG-aptering. De avbrott som studerades ytterligare var reparation, skötsel, störning samt småavbrott under 5 min. Avbrott till följd av störning var den faktor där tiden skiljde sig mest mellan GE/GJ- och GG-aptering. GE/GJ-aptering hade 2,2 min/tim mer avbrott på grund av störning än GG-aptering. Således har GG-aptering -71 % färre avbrott på grund av störning.



Figur 9. Totala avbrottstid för GG- respektive GE/GJ-aptering. Avbrottstiden för reparation, skötsel, störningar och den sammanlagda summan av småavbrott mindre än 5 minuter är också redovisad. Värdena är inte viktade och inkluderar trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2022-08-31.

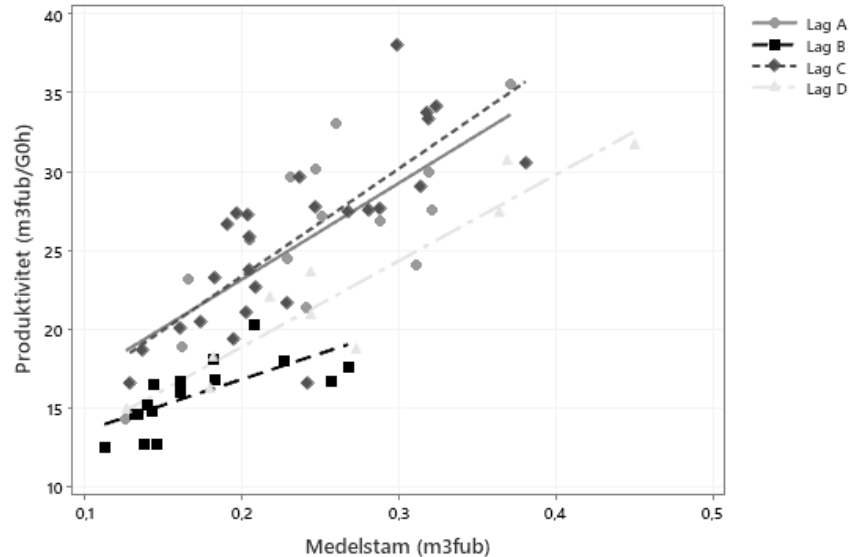
Figure 9. The total interruption time for GG and GE/GJ bucking. The interruption time for repair, maintenance, disturbances and the total sum of small interruptions less than 5 minutes are also presented. The values are not weighted and include areas harvested between 2021-01-01 and 2022-08-31.

Vid analys av avverkningslag A-D gick det också att observera skillnader i produktivitet mellan GG- och GE/GJ-aptering (Fig. 10). Generellt sett var produktiviteten (träd/G₀-tim & m³fub/G₀-tim) högre vid aptering av GG, jämfört med GE/GJ-aptering. Avverkningslag B hade dock högre produktivitet, dvs. avverkat fler träd/G₀-tim samt en större avverkad volym (m³fub/G₀-tim) vid aptering av GE/GJ. För alla avverkningslag (A-D) var PI högre vid aptering av GG. TU var högre vid aptering av GG för avverkningslag A och B. Däremot hade avverkningslag C och D högre TU vid aptering av GE/GJ. Figur 11 och 12 visualiserar spridningen mellan olika avverkningslag beroende av medelstamsvolym.



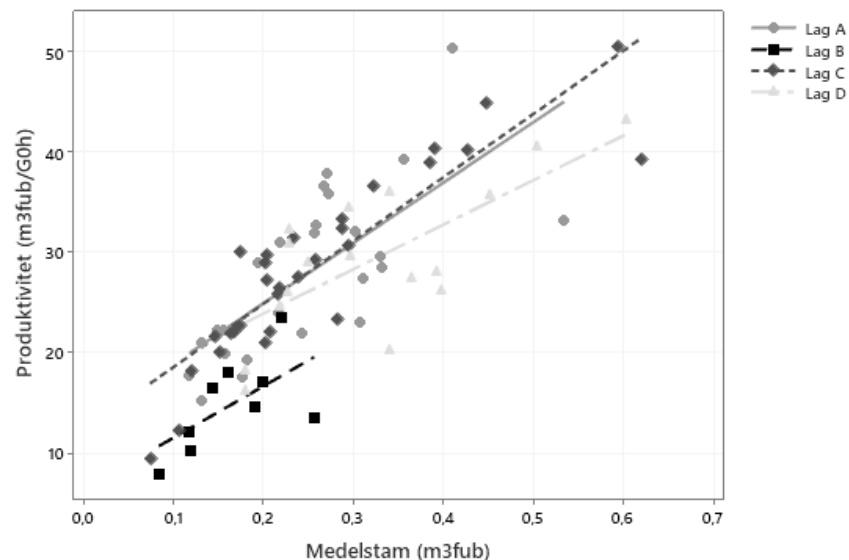
Figur 10. Analys över fyra avverkningslag (A-D) som avverkat med både GE/GJ- och GG-aptering. Bilderna visar viktade medelvärden för produktivitet (träd/G₀-tim & m³fub/G₀-tim), produktivitetsindex (PI) samt tekniskt utnyttjande (TU). Träd/G₀-tim samt m³fub/G₀-tim är normerat kring en medelstamsvolym (X) 0,2 m³fub. Värdena är viktade efter avverkad volym per trakt och inkluderar trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2021-12-12.

Figure 10. Analysis of four logging teams (A-D) that have harvested with both GE/GJ and GG bucking. The pictures show weighted average values for productivity (trees/G_{0h} & m³fub/G_{0h}), productivity index (PI) and technical utilization (TU). Trees/G_{0h} and m³fub/G_{0h} are standardized around a mean stem volume (X) of 0.2 m³fub. The values are weighted according to harvested volume per area and include areas harvested between 2021-01-01 and 2021-12-12.



Figur 11. Produktivitet (m³fub/G₀-tim) i förhållande till medelstamsvolym (m³fub) för avverkningslag A-D vid aptering av GE/GJ. Värdena är inte viktade och inkluderar trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2021-01-01.

Figure 11. Productivity (m³fub/G_{0h}) in relation to the mean stem volume (m³fub) for logging teams A-D when bucking towards GE/GJ. The values are not weighted and include areas harvested between 2021-01-01 and 2021-12-12.



Figur 12. Produktivitet (m³fub/G₀-tim) i förhållande till medelstamsvolym (m³fub) för avverkningslag A-D vid aptering av GG. Värdena är inte viktade och inkluderar trakter avverkade mellan 2021-01-01 och 2021-12-12.

Figure 12. Productivity (m³fub/G_{0h}) in relation to the mean stem volume (m³fub) for logging teams A-D when bucking towards GG. The values are not weighted and include areas harvested between 2021-01-01 and 2021-12-12.

GG-aptering resulterade i genomsnitt till 114,98 träd/G₀-tim och GE/GJ-aptering resulterade i 107,74 träd/G₀-tim (Fig. 5). När de värdena placerades i SCA:s ersättningsmodell erhöles att GG-aptering är 6,41 kr/m³fub billigare att avverka än GE/GJ-aptering. Det motsvarar en relativ skillnad på 7 %. I analysen antogs samma kalkylkostnad för skördaren (kr/G₀-tim), medelstamsvolym (m³fub) samt korrektionsfaktorer (%) i prestationsnormen för både GE/GJ- och GG-aptering.

3.2. Simulatorkörning med skördare

Simulatorkörningen med skördare resulterade i att aptering av GE/GJ gav 16 fler timmerstockar samt fyra fler kap än GG-aptering vid avverkning av 70 träd (Tabell 6). För antal kap motsvarar det en relativ skillnad med 3 %. Medellängden för GJ-stockar blev längre i samtliga fall, jämfört med aptering av GG. Aptering av GE resulterade alltid i 312 cm längd i enlighet med apteringsinstruktionen. Medelvolymen per stock vid aptering av GE blev lägre jämfört med GG-aptering. I första och femte körningen blev även medelvolymen per stock för GJ-aptering lägre än medelvolymen per stock för GG-aptering i motsvarande körning. I tredje körningen fick däremot GJ-aptering en större medelvolym per stock. För körning 1-6 gav GG-aptering 5,7 m³fub/G₀-tim mer avverkad volym än GE/GJ-aptering och det motsvarade en relativ skillnad på 3,9 %. De totala värdena har viktats efter antalet avverkade träd/körning. Resultatet för högre produktivitet (m³fub/G₀-tim) var dock inte statistiskt signifikant (p=0,135). T-värdet för analysen blev 2,43 och den parade differensen resulterade i en standardavvikelse på 3,99 m³fub/G₀-tim.

Skördarens kran förflyttade sig i samtliga simulatorkörningar längre sträckor per avverkad volym (m³fub) för GE/GJ-aptering, jämfört med GG-aptering (tabell 6). Mellan körning 1 och 2 skiljde det 5 m, mellan körning 3 och 4 skiljde det 7 m och mellan körning 5 och 6 skiljde det 3 m per avverkad kubikmeter. Körning 1-6 gav GG-aptering 18 % kortare krändistans än GE/GJ-aptering, efter att resultatet viktats efter antalet avverkade träd/körning. I alla simulatorkörningar resulterade GE/GJ-aptering i högre bränsleförbrukning. Sammanlagt resulterade GE/GJ-aptering i 0,03 liter mer bränsle per avverkad m³fub, jämfört med GG-aptering. Det motsvarar 10 % mer bränsleförbrukning för GE/GJ-aptering, med resultat viktat efter antal avverkade träd/körning.

Tabell 6. Resultatet från simulatorkörning med skördare vid aptering av GE/GJ respektive GG. För GE/GJ-aptering finns två värden redovisade; första värdet representerar GE och andra värden representerar GJ. Värden från respektive körning (1–6) finns redovisade. Samtidigt finns vägda medelvärde utifrån träd/körning för GE/GJ- och GG-aptering. I sista kolumnen finns beräknad differens genom att värden för GG-aptering har subtraherats med värden för GE/GJ-aptering

Table 6. The result from the harvester machine-simulator trials when bucking GE/GJ and GG respectively. For GE/GJ, two values are reported; first value represents GE and second value represents GJ. Values from each trial (1–6) are presented. At the same time, there is a weighted average value based on tree/drive for GE/GJ and GG. In the last column there are calculated difference and GG values have been subtracted with values for GE/GJ

	GG, simulatorkörning				GE/GJ, simulatorkörning				Tot. diff. (GG- GE/GJ)
	2	4	6	Medel GG	1	3	5	Medel GE/GJ	
Bestånd	A	B	A	-	A	B	A	-	-
Antal träd	20	20	30	-	20	20	30	-	0
Antal timmer- stockar	40	47	61	51	38/ 19	22/ 28	53/ 32	67	-16
Antal barmassa- stockar	36	23	54	40	23	23	33	27	13
Antal kap totalt	96	90	145	115	100	93	148	119	-4
Medellängd timmer (cm)	467	426	469	456	312/ 500	312/ 492	312/ 479	385	71
Medelvolym per stock (m ³ fub)	0,2	0,25	0,20	0,21	0,16/ 0,13	0,17/ 0,27	0,16/ 0,13	0,17	0,05
Kranför- flyttning (m/m ³ fub)	26,6	27,0	29,1	27,7	31,9	34,2	32,2	32,7	-4,9

Bränsle- förbrukning (l/m ³)	0,26	0,25	0,27	0,26	0,29	0,30	0,30	0,29	-0,03
Produktivitet (m ³ /G ₀ -tim)	71,0	83,8	75,1	76,4	69,6	74,5	68,9	70,7	5,7

3.3. Teoretiska beräkningar

De teoretiska beräkningarna resulterade i ett tidstillägg på 2 s för sortering för varje GE-stock. I ”PRINS” hade GG-aptering en medellängd på 455 cm, GJ-aptering 478 cm och GE-aptering hade alltid längden 312 cm. Medellängden för GE/GJ-aptering blev utifrån detta 445 cm. På grund av kortare medellängd kommer GE/GJ-aptering leda till fler kap över tid. Andelen manuella kap var 9 % med GG-aptering, 12 % för GJ-aptering och 7 % för GE-aptering. Sammanvägt blev andelen manuella kap för GE/GJ-aptering 10 %. I beräkningarna medförde varje kap en tidsåtgång på 0,14 s. Beräkningarna resulterade i en bränsleförbrukning på 0,9 l/m³fub för GG-aptering vid avverkning av 0,2 m³fub medelstamsvolym. Bränsleförbrukningen för GE/GJ-aptering blev 0,96 l/m³fub. Ökningen jämfört med GG-aptering blev således 0,06 l/m³fub.

Vid beräkning av total produktivetspåverkan blev tidsåtgången för körning 4,81 cmin/träd och det motsvarade 0,05 min/träd. För fällning och upparbetning vid medelstamsvolym 0,2 m³fub blev tidsåtgången 0,29 min/träd. Den sammanlagda teoretiskt uppskattade tiden för körning, fällning och upparbetning samt övrig tid blev 0,348 min/träd. Det motsvarar i sin tur en produktivitet på 173 träd/G₀-tim och 34,5 m³fub/G₀-tim vid GG-aptering. För GE/GJ-aptering resulterade den sammanlagda teoretiskt uppskattade tiden i 0,351 min/träd och det resulterade i att produktiviteten sjönk till 171 träd/G₀-tim och 34,2 m³fub/G₀-tim. Sett till avverkad volym ger det GG-aptering 0,3 m³fub/G₀-tim högre produktivitet, vilket motsvarar 0,9 % relativ skillnad. Vid beräkning utifrån Gingras & Favreau (2005) funktion blev produktiviteten för GE/GJ-aptering 25,3 m³fub/G₀-tim. GG-aptering resulterade i en produktivitet på 26,42 m³fub/G₀-tim och det motsvarar en relativ skillnad på 4,3 %, till fördel för GG.

4. Diskussion

4.1. Utvärdering av resultat

4.1.1. Skördardata

Analys av viktat och normerat skördardata påvisade att GG i genomsnitt gav 4,6 % högre produktivitet jämfört med GE/GJ-aptering, sett till avverkad volym ($\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$) (Fig. 5). När datamaterialet inte hade viktats eller normerats var produktiviteten istället högre för GE/GJ-aptering med 20,9 $\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$ jämfört med 18,9 $\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$ för GG-aptering (Fig. 6). I datamaterialet hade GE/GJ-aptering en större oviktad medelstamsvolym på 0,21 m^3fub jämfört med GG-aptering på 0,18 m^3fub (Tabell 4). Det är därför rimligt att de oviktade värdena ger en högre produktivitet för GE/GJ-aptering. I den genomförda studien bedöms de viktade och normerade värdena vara mer rättvisande. För det första är det rimligt att större trakter får mer inverkan på resultatet, eftersom skördarna har spenderat fler G_0 -timmar på stora trakter jämfört med små. För det andra bidrar normeringen till att produktiviteten jämförs vid samma skogliga förhållande sett till beståndets medelstamsvolym. Medelstamsvolym bedöms trots allt vara den enskilt viktigast faktorn för skördares produktivitet (Eriksson & Lindroos 2014; Purfürst & Erler 2011; SCA 2020).

För produktivitet (träd/ G_0 -tim), PI och TU påvisade både viktade och inte viktade resultat att GG-aptering hade högre produktivitet och tekniskt utnyttjade jämfört med GE/GJ-aptering (Fig. 5 & 6). Vid studie av avvikelse från förväntad produktivitet ($\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$ & träd/ $\text{G}_0\text{-tim}$) kunde större avvikelse observeras för GE/GJ- än GG-aptering (Fig. 7 & 8). Det indikerar att SCA:s prestationsnormer underskattar den negativa effekten som GE/GJ-aptering har på skördares produktivitet i högre utsträckning. Avvikelse från grundproduktivitet var visserligen stor för både GE/GJ- och GG-aptering. Vid de statistiska analyserna av skördardata genomfördes tväsidiga T-tester och resultatet påvisade att det var statistisk signifikanta skillnader i produktivitet (träd/ G_0 -tim & $\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$), PI och TU mellan GE/GJ- och GG-aptering (Tabell 5). Därför kunde antagen nollhypotes förkastas. Vid studie av standardavvikelser gick det i samtliga fall att

observera högre värden för GG- än GE/GJ-aptering. I och med att antalet trakter var cirka sex gånger större för GG- än GE/GJ-aptering är det också rimligt med en större spridning.

Vid studie av avbrottstider i skördardatat gick det att observera en 1,1 min/G₀-tim högre total avbrottstid för GE/GJ-aptering, jämfört med GG-aptering. Det var främst avbrott på grund av störning som bidrog till resultatet. Det bör undersökas noggrannare vilka avbrott som inkluderas i avbrott pga. störning, eftersom det potentiellt skulle kunna vara faktorer som inte är apteringsberoende som drar upp avbrottstiden för GE/GJ-aptering. Även småavbrott <5 min var marginellt högre för GE/GJ-aptering. Avbrottstider för skötsel och reparation var istället marginellt högre för GG-aptering. Att totala avbrottstiden är högre för GE/GJ-aptering indikerar att denna aptering medför fler problem för skördaren än GG-aptering. För en skördare som arbetar åtta G₀-tim/skift och två skift per dygn blir den extra avbrottstiden per dygn för GE/GJ-aptering 17,6 minuter (1,1*8*2) mer än vid GG-aptering.

Vid studie av avverkningslag A-D kunde i sin helhet samma trender observeras inom avverkningslagen som påvisades i hela datamaterialet (Fig. 10). För avverkningslag B var dock produktiviteten, sett till träd/G₀-tim och m³fub/G₀-tim, högre för GE/GJ-aptering. Således är det ingen självklarhet att GE/GJ-aptering alltid ger lägre produktivitet. Det finns fler faktorer som påverkar skördares produktivitet, exempelvis trakt-specifika terrängegenskaper (Eriksson & Lindroos 2014). I skördardatat ingick dock inga uppgifter om trakternas terrängegenskaper, vilket gör att enskilda trakter inte har kunnat analyseras utifrån sina terrängegenskaper. Att avverkningslag B hade högre produktivitet när de avverkat GE/GJ-aptering kan således lika gärna bero på att dessa trakter hade mer gynnsamma förutsättningar, än de trakter de avverkat med GG-aptering. Det gick även att observera något större spridning mellan avverkningslagen när medelstamsvolymen ökade, speciellt vid GE/GJ-aptering (Fig. 11 & 12). Det kan möjligtvis förklaras med att ökad komplexitet brukar generera större spridning.

4.1.2. Simulatorkörning med skördare

Simulatorkörning med skördare påvisade en 3,9 % högre produktivitet, sett till avverkad m³fub/G₀-tim, med aptering av GG (Tabell 6). Det parade T-testet visade dock att resultatet inte var statistiskt signifikant. T-värden för analysen var större än 1 och således var åtminstone signalen starkare än bruset i studien. Standardavvikelsen för produktiviteten (m³fub/G₀-tim) vid simulatorkörning med skördare var lägre än standardavvikelsena för produktiviteten i skördardatat. Det är rimligt eftersom datamängden var betydligt mindre i simulatorkörningen samtidigt som variationerna mellan simulatorkörningarna var begränsade jämfört

med avverkning i verklig miljö. Produktiviteten ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$) blev också väldigt hög och det beror troligen på att simulatormiljön är mycket enklare än verkliga förutsättningar.

Under simulatorkörningen resulterade GE/GJ-aptering i fler stockar samt fler kap. Vid körning innebär varje extra stock mer hantering i form av kranrörelser samtidigt som varje extra kap medför större tidsåtgång för skördaren. Under simulatorkörningen blev kranrörelsen i genomsnitt $4,9 m^3\text{fub}$ längre vid GE/GJ-aptering. Anledningen till att det bildades fler stockar och således även mer kap är för att medellängden för GE/GJ-aptering blev 71 cm kortare än för GG-aptering. Under simulatorkörningen apterades dock väldigt mycket GE-timmer fram i förhållande till GJ-timmer. I praktiken vill SCA ha en fördelning med 20 % GE-timmer och 80 % GJ-timmer. Om längderna för GE och GJ viktades enligt denna fördelning blev istället resultatet 453 cm för GE/GJ-aptering, jämfört med 456 cm för GG-aptering. Utifrån simulatorkörning med skördare blir det trots allt tydligt att trenden pekar på att kortare medellängd medför lägre produktivitet, längre kranrörelser och mer bränsleförbrukning.

4.1.3. Teoretiska beräkningar

De teoretiska beräkningarna indikerar att kortare medellängd för GE/GJ-timmer ger fler kap över tid. Däremot leder fler timmerstockar till färre barmassa stockar för GE/GJ-aptering. GG-aptering ger istället färre timmerstockar och fler barmassastockar. Antalet kap för GE/GJ- och GG-aptering jämnas därför ut över tid, men det är svårt att säga i exakt vilken proportion utifrån de teoretiska beräkningarna. Djupare analyser i skördardatat hade behövts för att kunna kartlägga de verkliga förhållandena sett till antalet kap. Medellängd för GG- samt GJ-timmer beror också på skogsbeståndets egenskaper eftersom trädets diameter styr fördelningsapteringen. Det är ytterligare en orsak till att medellängder och antal kap är svårt att uppskatta teoretiskt. Teorin påvisar också att kranrörelserna ökar marginellt för skördaren vid särhållande av GE- och GJ-timmer, vilket sänker produktiviteten för GE/GJ-aptering. Skillnaderna kändes dock orimligt låga med tanke på det extra arbete som krävs och troligen motsvarar teorin inte verkliga förhållanden. För varje GE-stock skulle ett potentiellt tidstillägg kunna vara 2 s, men tidstillägget beror dock på flertalet faktorer. För det första beror sorteringen på vilken ordning skördardatorn väljer att aptera. Om det apteras varannan GE- och varannan GJ-stock blir arbetsintensiteten högre jämfört med exempelvis två GE-stockar efter varandra. Skördardatorn tar dock ingen hänsyn till detta utan endast trädets specifika egenskaper samt fördelnings- och värdeaptering (Sennblad & Andersson 2008). Det är också svårt att uppskatta exakt tidstillägg för kranrörelser eftersom viss del av kranrörelserna kan utföras samtidigt som trädet fälls och upparbetas.

Eventuell extra tid för skördardatorns beslutsfattande gör också att produktiviteten minskar ytterligare, även om tiden inte kunde kartläggas med faktiska siffror. En genomsnittlig tid för beslutsfattande på 1 s/kap kommer ge betydligt högre produktivitet jämfört med exempelvis 3 s/kap. Anledningen till att tiden för beslutsfattande eventuellt skulle öka för GE/GJ-aptering är faktumet att apteringarna konkurrerar med varandra på den enskilda stocken enligt Eriksson⁴. Potentiellt skulle skördardatorn kunna få svårigheter att bestämma om den ska välja att aptera en GE- eller GJ-stock. Denna aspekt hade varit intressant att undersöka vidare. Faktorer som kan påverka skördardatorns beslutsfattande är datorns prestanda och dess förmåga att utföra adaptiv stamprognos (Arlinger & Möller 2007). Således skulle en viss skördardator kunna ha större svårigheter med GE/GJ-aptering än en annan skördardator. Enskilda skördardatorer skulle således behöva undersökas ifall processtiden upplevs som problematisk. Skördardatorer som genomför bra adaptiva stamprognoser lämpar sig sannolikt bättre vid GE/GJ-aptering, eftersom apteringsinstruktionerna är mer komplicerade än vid GG-aptering. Andelen manuella kap kan också innebära en påverkan för apteringsberäkningarna och det bör vara kring 10 % för att generera optimalt virkesvärde (Arlinger 2017). GE/GJ-aptering hade endast marginellt större andel manuella kap, jämfört med GG-aptering och således borde inte detta ha någon större inverkan på tidsåtgången för beslutsfattande.

Den totala produktivitetsskillnaden mellan GE/GJ- och GG-aptering är svår att uppskatta med Brunberg (2007) prestationsnormer, eftersom ingen hänsyn tas till olika apteringars påverkan. Vid en beräkning av ett potentiellt tidstillägg blir det i vilket fall tydligt att enstaka sekunder får en påverkan på producerad volym per timme. Produktiviteten i beräkningen blev hög eftersom endast lätta trakter, med ytstruktur och lutning 1, antogs. Gingras & Favreau (2005) ekvation tar istället större hänsyn till hur olika apteringar påverkar produktiviteten, om än mindre hänsyn till traktspecifika förutsättningar. Beräkningen påvisar att GG-aptering ger 4,3 % högre produktivitet än GE/GJ-aptering. I beräkningen är det bara antalet sortiment och medellängd som skiljer sig. Bränsleförbrukningen för GE/GJ- och GG-aptering skulle behövt uppmätas i verkliga förhållanden för att kunna säkerställas korrekt, men de teoretiska antagandena tyder i vilket fall på att GE/GJ-aptering ökar bränsleförbrukningen.

⁴ Andreas Eriksson – Virkesspecialist SCA, personlig kommunikation 2022-11-24.

4.1.4. Sammanställning

Sammantaget visar de tre datakällorna att GE/GJ-aptering har en negativ påverkan på skördares produktivitet och bränsleförbrukning. Skördardatat påvisar att GG-aptering har 4,6 % högre produktivitet sett till avverkad volym ($\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$). Simulatorkörning med skördare påvisar liknande siffror med 3,9 % högre produktivitet för GG utifrån avverkad volym ($\text{m}^3\text{fub}/\text{G}_0\text{-tim}$). De teoretiska beräkningarna påvisar en 0,9 % respektive 4,3 % högre produktivitet för GG utifrån beräkningar baserat på Brunberg (2007) samt Gingras & Favreau (2005) antaganden. Studiens resultat indikerar sammantaget att GG-aptering har cirka 4% högre produktivitet än GE/GJ-aptering. Bränsleförbrukningen var 0,03 $\text{l}/\text{m}^3\text{fub}$ högre för GE/GJ-aptering under simulatorkörningen och den teoretiska beräkningen visar på en 0,06 $\text{l}/\text{m}^3\text{fub}$ ökning. Övriga för- och nackdelar har sammanställts i en matris (Tabell 7).

Tabell 7. Sammanställande matris över för- respektive nackdelar med GE/GJ- respektive GG-aptering. Resultat som framkommit i den genomförda studien är kursiverade
Tabell 7. Composite matrix of the pros and cons with GE/GJ respective GG-bucking. Results that have been discovered in the completed study are italicized

GE/GJ		GG	
Fördelar	Nackdelar	Fördelar	Nackdelar
Gällö Timber AB efterfrågar dessa apteringar	<i>Medför mer kranrörelser pga. sortering av två timmersortiment i skogen</i>	Endast ett timmersortiment, kräver ingen extra sortering av skördaren	Lägre timmerandel
Möjligt med högre timmerandel	<i>Kortare medellängd</i>		
Bra för Gällö Timber AB att sortering sker i skogen och inte vid industri	<i>Medför fler kap Mer kranrörelser och fler kap medför högre bränsleförbrukning</i>		
	GE och GJ har två olika apteringsinstruktioner, vilket kan medföra mer tidsåtgång för skördardatorns beslutsfattande		

4.2. Jämförelse med andra studier

Den genomförda studien påvisar att GE/GJ-aptering ger lägre produktivitet och således högre kostnader. Tidigare studier har i likhet med detta poängterat att specialsortiment kan medföra högre kostnader för skördare, eftersom apteringen kan bli mer arbetsintensiv (Sennblad & Andersson 2008). Vid aptering av GE/GJ är det antalet avläggssortiment och dess längder som ändras gentemot GG-aptering. Tidigare studier har påvisat att fler avläggssortiment sänker skördares produktivitet, varav Brunberg & Arlinger (2001) påvisade att varje extra sortiment sänker produktiviteten med 1 %. Gingras & Favreau (2005) indikerar däremot att extra sortiment sänker skördares produktivitet med 4 %. Den genomförda studien går således mer i linje med Gingras & Favreau (2005) resonemang. Teorin om att apteringarnas längder påverkar produktiviteten stämmer också överens med Gingras & Favreau (2005) studie.

4.3. Styrkor och svagheter i studien

Den genomförda studien inkluderade tre datakällor; skördardata, simulatorkörning med skördare och teoretiska beräkningar baserat på litteratur. Den ursprungliga planen var däremot att undersöka skördardata, simulatorkörning med skördare samt detaljerade maskinutsökningar från ett av SCA:s egna lag. Olyckligtvis var det tomt på data i systemet för det egna laget. De detaljerade maskinutsökningarna hade kunnat bidra med nyckeltal för olika arbetsmoment samt verklig bränsleförbrukning. Resultaten hade således blivit mer verklighetsbaserade och säkrare med denna datakälla. Till följd av det uteblivna datamaterialet utfördes teoretiska beräkningar istället. I sin helhet är de teoretiska beräkningarna baserade på många antaganden och slutsatser kring dessa bör beaktas med försiktighet. Ursprungliga planen var också att simulatorkörning med skördare skulle kunna utföras på trädnivå och således generera nyckeltal per stock. Det var tyvärr inte möjligt, utan det genererades istället medeltal utifrån det bestämda antalet avverkade träd per körning. Frågan varför produktiviteten skiljer sig mellan GE/GJ- och GG-aptering har därför varit svår att besvara; till följd av både uteblivna maskinutsökningar och att simulatorkörningen inte kunde konstrueras som önskat.

Det som är positivt med analyserna av skördardata och simulatorkörning med skördare är källorna är oberoende av varandra och därför stärks resultat ifall trender pekar åt samma håll. De teoretiska beräkningarna är baserat på litteratur men har inslag av resultat från både skördardata och simulatorkörningen i form av antaganden. Därför är inte de teoretiska beräkningarna oberoende från de två andra datakällorna, vilket är en nackdel. Studiens främsta styrka är att skördardata analyserna har haft ett heltäckande datamaterial för avverkning av GE/GJ- och GG-

aptering från 2021-01-01 till 2022-08-31. Trender som kan observeras i skördardatamaterialet representerar till stor del den genomsnittliga påverkan aptering av GE/GJ får på skördares produktivitet vid verkliga förhållanden. Avvikelser på grund av enskilda förare, skördarmodeller eller traktspecifika förhållanden bör inte påverka förhållandet mellan GE/GJ- och GG-aptering. En nackdel med studien av skördardatat är att datamaterialet eventuellt skulle behövt filtrerats ytterligare beroende på vad som var rimliga värden. I den genomförda analysen filtrerades enbart fyra trakter med extremvärden bort utifrån godtyckliga antaganden. Ur ett vetenskapligt perspektiv hade det varit bättre att filtrera bort trakter som avvek mer än en viss procent från ett medelvärde. I den genomförda studien är däremot förhållandena åtminstone lika för GE/GJ- och GG-aptering, därmed bör differenser mellan apteringarna i slutändan bli korrekta. Fördelar med simulatorkörningen är att GE/GJ- och GG-aptering kunde jämföras mot varandra vid samma skogliga förhållanden och därför kunde yttre faktorer uteslutas. Nackdelen med simulatorkörningen var att endast 70 träd avverkades med respektive aptering. Ett större antal träd hade gett säkrare resultat.

Ytterligare en felkälla är att datamaterialet i de teoretiska beräkningarna viktades efter 20 % GE-timmer och 80 % GJ-timmer, både för volym ($m^3\text{fub}$) och antal stockar. SCA hade som målsättning att aptera 20 % GE-timmer sett till volym, men eftersom GE-stockarna är kortare medför det att antalet GE-stockar blir procentuellt större. Vid analys av andelen manuella kap visade antalet avverkade stockar mellan 2021-01-01 till 2022-05-31 att GE-stockar står för cirka 30 % och GJ-stockar för cirka 70 %. Ifall dessa siffror skulle ha använts skulle produktiviteten blivit ännu lägre för GE/GJ-aptering och om studien skulle upprepas hade detta tagits hänsyn till.

4.4. Praktisk tillämpning

I dagsläget korrigerar inte SCA sin prestationsnorm för skördaren när antalet avläggssortiment är ett eller två (SCA 2020). Vid fler än två och upp till sex avläggssortiment sänker SCA skördares prestationsnorm med 1 % per sortiment. Vid fler än sex sortiment sänks prestationsnormen med 0,5 % per tillagt sortiment. Prestationsnormen utgör grunden till bortsättningen och ackordspriset för entreprenörerna som ska avverka trakten. Denna studie visar på att aptering av GG i genomsnitt har 4,6 % högre produktivitet än GE/GJ-aptering vid analys av avverkad volym ($m^3\text{fub}/G_0\text{-tim}$) i skördardatat (Fig. 5). Det indikerar att skördare som avverkar GE/GJ-aptering inte får tillräckligt med ersättning för att täcka upp för det extra arbete den speciella apteringen medför. En rekommendation till SCA är således att fortsätta undersöka varför GE/GJ-aptering sänker skördares produktivitet. I första hand hade det varit positivt om produktivitetssänkningen vid

aptering av GE/GJ gick att avhjälpa. Om produktivitetssänkningen inte kan påverkas borde SCA korrigera bortsättningen mer när det gäller aptering av specialsortiment som exempelvis GE/GJ-aptering. För att aptering av GE/GJ ska vara ekonomiskt hållbart för entreprenörer är det viktigt att ersättningsnivån återspeglar verkliga förhållanden. Om en industri efterfrågar apteringar med speciella längder och sorteringar borde de dessutom vara beredda att ersätta entreprenörer för de merkostnader som uppstår.

I praktiken är det dessutom inte bara skördarens arbete som påverkas av antal sortiment och dess längder, utan även skotare och timmerbilar. Variationen av skotares produktivitet i slutavverkning påverkas till 35,2 % av faktorerna medelstamsvolym, skotningsavstånd och lastkapacitet (Eriksson & Lindroos 2014). Lastkapaciteten kan regleras genom att använda sig av anpassningsbara lastutrymmen. De anpassningsbara lastutrymmena hade dock liten påverkan för den totala produktiviteten i Eriksson & Lindroos (2014) studie. Proto et al. (2018) konstaterar också att lastkapacitet är en avgörande faktor för skotares produktivitet. Faktorer som i sin tur påverkar lassfyllnaden är hur väl stockarnas längder är anpassade till lastutrymmet (Strandgard et al. 2017). Korta stockar riskerar att vara sämre anpassade och därmed minska lassfyllnadsgraden för skotaren. Dessutom påverkar fler sortiment skotarens produktivitet negativt, eftersom sortimenten ska särhållas på avlägget (Strandgard et al. 2017; Gingras & Favreau 2005; Brunberg & Arlinger 2001). Samma principer gäller för timmerbilar (Väättäin et al. 2020).

4.5. Slutsatser

I den genomförda studien har det studerats hur GE/GJ-aptering, som kan likställas med ett specialsortiment, påverkar skördarens produktivitet jämfört med GG-aptering. Genomgående har GE/GJ-aptering resulterat i ca 4% lägre produktivitet och 0,03-0,06 l/m³fub högre bränsleförbrukning jämfört med GG-aptering. Studien indikerar att skillnaderna i produktivitet beror på att GE/GJ-aptering ökar skördarens kranrörelser vid särhållandet av GE- och GJ-timmer samt ökar antalet kap. Eventuellt medför GE/GJ-aptering också högre tidsåtgång för skördardatorns beslutsfattande, men detta har inte kunnat kartläggas med faktiska siffror och bör således undersökas djupare. När GE/GJ- och GG-aptering avverkas under samma förutsättningar indikerar teoretisk beräkning av driftskostnaden att GE/GJ-aptering i snitt är 6,41 kr/m³fub (7 %) dyrare att aptera fram, än GG-aptering för skördare.

5. Referenser

- Arlinger, J. (2017). Minska de manuella kapen – öka virkesvärdet. *Skogforsk*, (Vision nr. 1).
<https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2017/oka-virkesvardet-med-mindre-manuella-kap/> [2022-12-15]
- Arlinger, J., Bergek, S., Hult, L., Larsson-Snygg, B., Morenius, B. & Sondell, J. (2020). Introduction to StanForD 2010. *Skogforsk*, (Version 3.0).
<https://www.skogforsk.se/contentassets/1a68cdce4af1462ead048b7a5ef1cc06/stanford-2010-introduction-150826.pdf> [2022-12-15]
- Arlinger, J. & Möller, J.J. (2007). Virkesvärdestest 2006 – Skördardatorer. *Skogforsk*, (Resultat nr. 6).
<https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2007/Virkesvardestest-2006--Skordardatorer/> [2022-12-15]
- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. (2012). StanForD 2010: modern kommunikation med skogsmaskiner. *Skogforsk*, (Arbetsrapport nr. 784-2012).
<https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2012/StanForD-2010--Modern-kommunikation-med-skogsmaskiner/> [2022-11-28]
- Berg, S. (1995). Terrängtypschema. *Skogforsk*,.
<https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/1995/terrangtypschema/> [2022-11-16]
- Brunberg, T. (2005). Standardiserad bränslemätning för skotare och skördare. *Skogforsk*, (Resultat nr. 10).
<https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2005/Standardiserad-branslematning-for-skotare-och-skordare/> [2022-11-28]
- Brunberg, T. (2006). Bränsleförbrukning hos skördare och skotare 2006. *Skogforsk*, (Resultat nr. 22).
<https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2006/Bransleforbrukning-hos-skordare-och-skotare-2006/> [2022-11-28]
- Brunberg, T. (2007). Underlag för produktionsnormer för extra stora engreppsskördare i slutavverkning. *Skogforsk*, (Redogörelse nr. 2). [2022-09-23]
- Brunberg, T. (2012). Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. *Skogforsk*, (Arbetsrapport 789-2013).
<https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2013/Bransleforbrukningen-hos-skogsmaskiner-201211/> [2022-11-17]
- Brunberg, T. & Arlinger, J. (2001). Vad kostar det att sortera virket i skogen? *Skogforsk*, (Resultat nr. 3). [2022-09-13]
- 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>
- Forskningsstiftelsen Skogsarbeten (1969). *Tidsbegrepp för maskinarbeten: en handledning utgiven av Forskningsstiftelsen Skogsarbeten*. Stockholm: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.

- Fuentealba, S., Pradenas, L., Linfati, R. & Ferland, J.A. (2019). Forest harvest and sawmills: An integrated tactical planning model. *Computers and electronics in agriculture*, 156, 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.011>
- Gellerstedt, S. (2002). Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work. *International journal of forest engineering*, 13 (2), 35–47. <https://doi.org/10.1080/14942119.2002.10702461>
- Gingras, J.-F. & Favreau, J. (2005). Effect of log length and number of products on the productivity of cut-to-length harvesting in the boreal forest. *Restricted to FERIC Members and Partners*, (Vol. 6 No. 10), 8
- Gällö Skog AB (u.å). Om oss. *Gällö Skog*. <https://www.galloskog.se/om-oss/> [2022-12-07]
- Haavikko, H., Kärhä, K., Poikela, A., Korvenranta, M. & Palander, T. (2022). Fuel Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Energy Efficiency of Wood-Harvesting Operations: A Case Study of Stora Enso in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 43 (1), 79–97. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2022.1101>
- Hannrup, B., Henriksen, F., Jönsson, P., Andersson, M., Högdahl, A. & Löfgren, B. (2015). Utvärdering av V-Cut – ett sågsvärd som kan minska förekomsten av kapsprickor. *Skogforsk*, (Arbetsrapport 884-2015). <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2015/utvardering-av-v-cut--en-innovation-med-potential-att-minska-forekomsten-av-kapsprickor/> [2022-12-01]
- Kemmerer, J. & Labelle, E.R. (2021). Using harvester data from on-board computers: a review of key findings, opportunities and challenges. *European journal of forest research*, 140 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01313-4>
- Labelle, E.R., Bergen, M. & Windisch, J. (2017). The effect of quality bucking and automatic bucking on harvesting productivity and product recovery in a pine-dominated stand. *European journal of forest research*, 136 (4), 639–652. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1061-4>
- Lundberg, H. & Tarre, E. (1993). *Vinnande aptering - hur anpassa timret efter produktionsförutsättningar och kundkrav*. Stockholm: Träteck. (Rapport - Träteck, no. I 9301003)
- Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C. (2014). Slutavverkning. *Skogsstyrelsen*. <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogsskotselserien/slutavverkning/> [2023-02-19]
- Murphy, G., Bolding, C. & Marshall, H. (2004). Adaptive control of bucking on harvesters to meet order book constraints. *Forest Products Journal*, 54
- Pagnussat, M.B., Silva Lopes, E. da & Robert, R.C. (2021). Machine availability and productivity during timber harvester machine operator training. *Canadian journal of forest research*, 51 (3), 433–438. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0164>
- Proto, A.R., Macri, G., Visser, R., Harrill, H., Russo, D. & Zimbalatti, G. (2018). Factors affecting forwarder productivity. *European journal of forest research*, 137 (2), 143–151. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1088-6>
- Purfürst, F.T. & Erler, J. (2011). Human Influence on Productivity in Harvester Operations. *International journal of forest engineering*, 22 (2), 15–22. <https://doi.org/10.1080/14942119.2011.10702606>
- SCA (2020). Tillämpningsinstruktion för prestationsnormer daterade jan 2020 – Gäller from 10 jan 2020. [2022-11-16]
- Sennblad, G. & Andersson, M. (2008). *Aptering och virkeskännedom III*. [3., omarb. utg.]. Hedemora: Firma Småskog.

- Skogskunskap (2020). *Hur hårt ska jag gallra?*
<https://www.skogskunskap.se:443/skota-barrskog/gallra/gallringsprogram-och-stamval/hur-hart-ska-jag-gallra/> [2022-12-06]
- Strandgard, M., Mitchell, R. & Acuna, M. (2017). Time consumption and productivity of a forwarder operating on a slope in a cut-to-length harvest system in a *Pinus radiata* D. Don pine plantation. *Journal of forest science (Praha)*, 63 (No. 7), 324–330. <https://doi.org/10.17221/10/2017-JFS>
- Sörensen, R., Johannesson, T. & Johansson, F. (2019). Utvärdering av markberedningsmetoden pytsning. *Skogforsk*, (Arbetsrapport 1011-2019). <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2019/utvardering-av-markberedningsmetoden-pytsning/> [2022-11-29]
- Väätäinen, K., Laitila, J., Anttila, P., Kilpeläinen, A. & Asikainen, A. (2020). The influence of gross vehicle weight (GVW) and transport distance on timber trucking performance indicators - Discrete event simulation case study in Central Finland. *International journal of forest engineering*, 31 (2), 156–170. <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1757324>