



Kranspetsstyrning på skördare – en tidsstudie på nybörjarförare

*Boom-tip control on harvesters – a time study
on novice operators*

ELIAS MÖRNBERG



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2025:14

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

Kranspetsstyrning på skördare – en tidsstudie på nybörjarförare

Boom-tip control on harvester – a time study on novice operators

Elias Mörnberg

Handledare: Back Tomas Ersson, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2025

Omslagsbild: Komatsu 911 på försöksplatsen som griper om träd 13 i försöket. Foto: Elias Mörnberg.

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2025:14

Nyckelord: skogsmaskin, Komatsu, gymnasieelever, oerfarna förare, kran



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

Drivningskostnaderna ökar inom det svenska skogsbruket. Effektivt drivningsarbete, där ibland skördningsarbetet, är ett sätt att minska drivningskostnaderna. Kranspetsstyrning är ett system som funnits i tio år på marknaden och som sägs effektivisera drivningen. Om kranspetsstyrning verkligen leder till en tidsbesparing och därmed också till en produktivitetsökning är dock inte tidigare studerat i någon större utsträckning.

Syftet med detta examensarbete var att jämföra tidsåtgången vid användandet av kranspetsstyrning kontra konventionell kranstyrning. Studien utfördes på oerfarna skördarförare. Ett av arbetets delsyften var att undersöka om tidigare erfarenhet av skogsmaskinsarbete eller ålder har betydelse för en eventuell tidsbesparing.

En försöksbana upprättades med 13 uppmärskade träd, där en jämförande tidsstudie genomfördes. Försöksbanan kördes tre gånger för respektive behandling. Skördaren som användes var en Komatsu 911 utrustad med Smart Crane. Skördarförarna bestod av 18 elever med varierande ålder och erfarenhet från skogsinriktningen på Uppsala yrkesgymnasium, Jälla. Utifrån de registrerade tidsåtgångarna gjordes två produktivetsberäkningar för respektive behandling.

Resultatet blev en tidsbesparing för kranspetsstyrning i intervallet 5,5 till 12,4 procent, vilket var ett signifikant resultat. Tidsbesparingen var i medeltal 9,5 procent för kranspetsstyrningen. Varken skördar- eller skotningserfarenhet eller ålder hade i studien någon signifikant betydelse på hur stor tidsbesparingen var. Produktiviteten beräknades öka i intervallet 1,6 till 4,7 procent med kranspetsstyrning, där produktiviteten i medeltal ökade med 3,3 procent.

Slutsatser från studien är att tidsåtgången för oerfarna förare minskar vid användandet av kranspetsstyrning i jämförelse med att använda en konventionell kranstyrning. Tidsbesparingens storlek verkar inte ha något samband med ålder eller tidigare erfarenhet av kranhantering för oerfarna förare. Studien visar på en ökad produktivitet med kranspetsstyrning varför denna borde implementeras fullt ut vid maskinförarutbildningar.

Nyckelord: skogsmaskin, Komatsu, gymnasieelever, oerfarna förare, kran

Abstract

Harvesting costs are increasing within Swedish forestry. Efficient logging operations, including harvesting, offer one way to mitigate these costs. Boom-tip control is a crane control system that has been available on the market for a decade and is claimed to enhance operational efficiency. However, whether boom-tip control leads to time savings and increased productivity has not been extensively studied.

The objective of this bachelor's thesis was to compare time consumption when using boom-tip control versus conventional crane control. The study was conducted with inexperienced harvester operators. A secondary aim was to investigate whether previous experience with forestry machinery or the operator's age influenced potential time savings.

A test area with 13 marked trees was established for a comparative time study. Each treatment method was tested three times. The harvester used was a Komatsu 911 equipped with Smart Crane. The participants consisted of 18 students of varying ages and levels of experience from the forestry program at Uppsala Vocational High School, Jälla. Based on the recorded time data, productivity was calculated for each treatment.

Results showed a significant time saving with boom-tip control ranging from 5,5 to 12,4 percent, with an average of 9,5 percent. Neither previous experience in harvesting or forwarding, nor age had a significant impact on the time savings. By using boom-tip control, productivity was calculated to increase by 1,6 to 4,7 percent, with an average increase of 3,3 percent.

In conclusion, inexperienced operators can work faster when using boom-tip control compared to conventional crane control. Moreover, among novice operators, the size of time savings appears unrelated to age or experience. Given the observed increase in productivity, the implementation of boom-tip control should be considered in operator training programs.

Keywords: forest machine, Komatsu, high school students, crane

Förord

Detta är mitt examensarbete omfattande 15 högskolepoäng på Skogsmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet, SLU. Arbetet utfördes under vårterminen 2025. Det har varit särskilt roligt att träffa engagerade och duktiga elever som är framtidens skogsmaskinsförare.

I första hand vill jag tacka Back Tomas Ersson för handledning, sakkunnighet och engagemang genom hela arbetets gång. Hans stöd och råd har varit väldigt värdefullt genom hela processen.

Jag vill också rikta ett stort tack till lärarna på skogsinriktningen på Uppsala yrkesgymnasium, Jälla som tog emot mig med öppna armar när jag föreslog min idé. Ni ställde upp med elever, skördare och er tid och utan er hade inte mitt arbete blivit av. Jag vill även tacka alla engagerade och duktiga elever som varit med i min studie, utan er hade inte detta arbete heller blivit av. Tack till Jussi Manner på Skogforsk som kommit med värdefull input under arbetets gång.

Norrtälje, juli 2025

Elias Mörnberg

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 DRIVNING INOM DET SVENSKA SKOGSBRUKET	1
1.2 PRODUKTIONSPÅVERKANDE FAKTORER FÖR SKÖRDARE	1
1.2.1 SKÖRDARFÖRAREN	1
1.3 MASKINTILLBEHÖR	2
1.3.1 FLERTRÄDSHANTERING	2
1.3.2 KRANSPESTSSTYRNING PÅ SKOTARE OCH SKÖRDARE	3
1.4 SYFTE	6
2. MATERIAL OCH METOD	7
2.1 FÖRSÖKSLOKAL	7
2.2 MASKIN OCH FÖRARE	8
2.3 FÖRBEREDELSE INFÖR STUDIEN	11
2.3.1 IORDNINGSTÄLLANDE AV FÖRSÖKSPLATSEN	11
2.3.2 INMÄTNING AV FÖRSÖKSPLATSEN	13
2.4 FÖRSÖKSDESIGN	14
2.5 UPPSTÄLLNINGSPLATSEN	15
2.6 TIDSSTUDIEN	17
2.7 MATERIALLISTA	19
2.8 DATAANALYS	20
2.9 PRODUKTIVITETSBERÄKNING	21
3. RESULTAT	23
3.1 TIDSÅTGÅNG	23
3.2 TIDSÅTGÅNGSPÅVERKANDE FAKTORER	24
3.3 PRODUKTIVITETSMODELLERING	25
4. DISKUSSION	26
4.1 HUVUDRESULTAT	26
4.2 RESULTATET JÄMFÖRT MOT TIDIGARE KUNSKAP	26
4.3 TOLKNING AV RESULTATET	27
4.4 STYRKOR OCH SVAGHETER MED STUDIEN	30
4.5 REKOMMENDATIONER	31
4.6 SLUTSATSER	32
5. REFERENSER	33
BILAGOR	37

1. Inledning

1.1 Drivning inom det svenska skogsbruket

I det svenska skogsbruket idag utgör drivningskostnaden cirka 50 procent av den totala skogsbrukskostnaden (Eliasson 2024). Skogsbrukskostnaden innefattar drivning, skogsvård, vägar, administration och övriga kostnader.

Drivningskostnaden i föryngringsavverkning var 134 kr/m³fub och i gallring på 265 kr/m³fub (Skogsstyrelsen 2023), vilket ger ett volymvägt medel på 168 kr/m³fub. Den totala drivningskostnaden summeras till 13 miljarder kronor per år. Att drivningen sker med hög effektivitet och produktion, är väsentligt för att kunna hålla kostnaderna nere. Därför är det viktigt att effektivisera den uppgift som skördaren utför mest i ett kortvirkessystem, nämligen krankörning. Mellan 80 till 90 procent av den produktiva tiden för en skördare ägnas åt krankörning, då inkluderat förflyttning av maskin (Ovaskainen et al. 2004; Nurminen et al. 2006; Pohjala et al. 2024).

1.2 Produktionspåverkande faktorer för skördare

Skördarens produktivitet påverkas av en mängd olika faktorer (Ovaskainen et al. 2004; Eriksson & Lindroos 2014; Pohjala et al. 2024). De påverkande faktorerna kan vara varierande förhållanden i skogen, förare, arbetsmetodik, tekniker, beskaftenhet på maskinen och organisatoriska faktorer. Ett verktyg för att kunna bestämma produktiviteten utifrån de varierande förhållandena i skogen är att nyttja en bortsättningsmall (Larsson 2020).

Den allra största prestationspåverkande faktorn i både gallringar och föryngringsavverkningar är stamvolymen (Eriksson & Lindroos 2014). Med en ökad stamvolym ökar produktiviteten till ett visst optimum, vid optimum börjar produktiviteten minska (Visser & Spinelli 2011). Följt av stamvolymen är föraren den näst största prestationspåverkande faktorn (Ovaskainen et al. 2004; Purfürst & Erler 2011; Pagnussat et al. 2021). Det kan variera upp till 40 procent mellan olika förare trots liknande förutsättningar (Ovaskainen et al. 2004).

1.2.1 Skördarföraren

En av de största prestationspåverkande faktorerna för skördaren är hur erfaren föraren är (Pagnussat et al. 2021). Pagnussat et al. (2021) undersökte 30 oerfarna skördarförare som sammanlagt hade 240 timmars träning, som enskilt körde 11 månader i slutavverkning. Resultatet visade att vid nio månaders körning hade produktiviteten stabiliserats samt kommit upp i den bestämda målproduktiviteten. Den maskinella tillgängligheten sjönk de första fem månaderna för att därefter öka månad sex. (Maskinella tillgängligheten (Lindroos et al. 2022) är hur stor procentuell andel av den nyttjade tiden som maskinen är tillgänglig för praktisk drift.) En av orsakerna enligt författarna till låg maskintillgänglighet var förarvana och bristande motorik i hanteringen av kranen. Skadade hydraulslangar och böjda sågssvärd var ytterligare faktorer som påverkade maskintillgängligheten.

En tysk studie från 2011 (Purfürst & Erler) undersökte hur stor den mänskliga påverkan är på skördarproduktiviteten. Studien undersökte 32 skördarförare med varierande erfarenhet under en treårsperiod. Undersökningen genomfördes i

första- och andragallringar. För att sälla bort upplärningsfasen exkluderades data från de första 180 dagarna. Resultatet visade att förarens prestation är den största påverkande faktorn efter medelstamsvolymen. Produktiviteten påverkades främst av två faktorer; medelstamsvolymen med 45,9 procent och föraren med 37,3 procent. Mellan de 32 förarna fanns en variation i produktivitet (Purfürst & Erler 2011). Den som producerade mest hade en produktivitet på 122 procent av medelvärdet. Föraren som producerade minst hade en produktivitet på 69 procent av medelvärdet. Slutligen skriver Purfürst & Erler (2011) att den mänskliga påverkan troligtvis är större om terrängen skulle vara mer besvärlig, eftersom studien genomfördes i skog som inte hade särskilt besvärlig terräng.

I Finland 2018 (Malinen et al. 2018) undersöktes förarens erfarenhet och ålder i relation till produktiviteten. Studien genomfördes under fem år med 25 olika förare som tillsammans avverkade 462 320 m³ i gallring och slutavverkning. I undersökningen användes olika skördarmodeller från Komatsu och John Deere. Resultatet visade att förare som var 45 år hade 17,8 procent högre produktivitet i slutavverkning, jämfört med förare som var 25 år. I gallring hade förare som var 45 år 14,9 procents högre produktivitet än 25-åringarna. Orsakerna var att ålder och erfarenheten hos förarna var starkt korrelerad. Mellan 40 – 45 år var produktiviteten som högst (Malinen et al. 2018). Ett förvånande resultat var att det krävdes 8,8 års erfarenhet i slutavverkning för att uppnå medelproduktiviteten. I gallring krävdes enbart 7,2 års erfarenhet av gallring för att uppnå genomsnittlig produktivitet.

1.3 Maskintillbehör

Beskaffenheten och utrustningsnivån på maskinen har en påverkan på hur produktiv maskinen är. Flerträdshanterare är ett exempel på tillbehör som visat sig höja produktiviteten (Bergqvist 2003; Gingras 2013; Brunnberg & Iwarsson-Wide 2013). Kranspetsstyrning är ytterligare maskintillbehör som i ett antal studier visat en produktivitetsökning och minskad tidsåtgång för skotare och skördare (Manner et al. 2017; Manner et al. 2019; Zemánek & Fil'o 2022; Hartsch 2024; Manner & Lundström 2025).

1.3.1 Flerträdshantering

Flerträdshantering är något som diskuterats som idé sedan 1980-talet (Skogsaktuellt 2006). Kommersialisering kom dock först år 2002 när Timberjack introducerade sitt nya 745-aggregat som kunde utrustas med flerträdshantering (Bergqvist 2003). Flerträdshantering är ett maskintillbehör som höjer produktiviteten (Bergqvist 2003; Gingras 2013; Brunnberg & Iwarsson-Wide 2013). Orsaken till produktivitetsökningen är att krantiden minskar med upp till 40 procent vid flerträdshantering av klena stammar (Johansson & Gullberg 2002). Flerträdshanteraren är en extrautrustning som monteras på skördaraggregatet, mer specifikt två ackumuleringsarmar som fästs på aggregatet (Logmax 2025). Ändamålet är att föraren kan hantera flera klena stammar samtidigt i aggregatet.

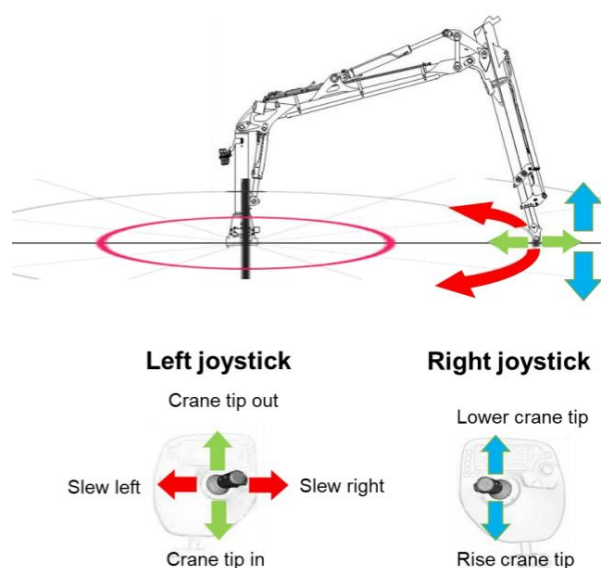
Bergqvist (2003) beräknade en högre prestation på 18 procent i G_{15h}. Prestationsökningen för flerträdshantering berodde på en minskad tidsåtgång per stam. Tidsbesparingen var 31 procent vid hantering av två träd i stället för ett

träd. Flerträdshanteringen genererade en kostnadsminskning för drivningen. Gingras (2013) undersökte flerträdshantering i kanadensiska skogar och fick ett liknande resultat som Berqvist (2003). Resultatet var en produktivitetsökning mellan 21 och 33 procent när två stammar hanterades i stället för individuell hantering (Gingras 2013). Fördelarna med flerträdshantering visade sig minska med ökande brösthöjdsdiameter. Vid omkring 20 cm är flerträdshantering lika effektivt som enträdshantering eftersom det blir svårt att hantera fler än en stam åt gången. Vid hantering av stammar med en medelstam mellan 0,02 och 0,07 m³fub sker den stora tidsbesparingen, vilket leder till en ökad produktivitet (Brunnberg & Iwarsson-Wide 2013). Optimala förhållanden är bestånd med en medelstam mellan 0,02 – 0,05 m³fub samt ett högt stamantal per hektar (Brunnberg & Iwarsson-Wide 2013).

1.3.2 Kranspetsstyrning på skotare och skördare

Kranspetsstyrning togs fram redan på slutet av 1980-talet (Löfgren 1989; Löfgren et al. 1994). Det var forskningsstiftelsen Skogsarbeten (idag Skogforsk) som utvecklade ett datorprogram för styrningen av kranpetsen på en ÖSA vikarmskran 373 som monterades på en ÖSA 260 skotare.

Grundfunktionerna i kranpetsstyrningen är att med den vänstra joysticken styrs rörelsen i horisontalplanet (Grabbe 2024; Kindlund; Hammar 2024) (Figur 1), med den högra joysticken styrs kranpetsen in och ut. Gripen/skördaraggregatet styrs separat. En dator samordnar sedan joystickrörelserna så att önskad förflyttning sker av kranpetsen. Skillnaden mellan kranpetsstyrning och konventionell styrning är att vid konventionell styrning styr föraren själv varje kranled (Englund 2016). Föraren måste själv samordna olika spakrörelser för att få önskad förflyttning.



Figur 1. Komatsu:s principskiss över hur deras kranpetsstyrningssystem (Smart Crane) fungerar på deras skotare och skördare. Smart Crane styr lyftarm, vipparm och teleskopfunktion och föraren styr rörelsen i horisontalplanet med en spak och höjd med den andra (Daniel Grabbe, Komatsu Forest, produktchef, pers. komm. 2024-12-16).

Systemet kranspetsstyrning är något som funnits på marknaden under cirka 10 år (Parker et al. 2016). Först ut var John Deere att lansera det till sina skotare år 2013 för att sedan lansera det till sina skördare år 2017 (Tabell 1). Därefter har andra maskintillverkare följt efter såsom Ponsse, Komatsu, Rottne och Ecolog. Att utrusta sin skördare eller skotare med kranspetsstyrning är något som är vanligt på den svenska marknaden. Ecolog är den tillverkare som ännu inte har kranspetsstyrning till sina skördarmodeller.

Tabell 1. Fem skogsmaskintillverkares lanseringsår av kranspetsstyrning till skotare, skördare, samt namnet på deras kranspetsstyrningssystem. Det är en stor spridning på vad tillverkarna har döpt sina kranspetsstyrningssystem till. Däremot finns det likheter mellan de olika namnen, för att de innehåller ord som kan kopplas till någon krandel eller ordet ”crane”. Källorna är pers. komm. under december 2024.

Maskintillverkare	Introduktions- år skotare	Introduktions- år skördare	Namn på kranspetsstyrning	Källa
John Deere	2013	2017	Intelligent Boom Control (IBC)	Kindlund (2024)
Ponsse	2018	2021	Active Crane	Hammar (2024)
Komatsu	2021	2021	Smart Crane	Grabbe (2024)
Rottne	2022	2022	Rottne Crane Assistance (RCA)	Paulsson (2024)
EcoLog	2023	-	Ecolog TipControl (ETC)	Forsblom (2024)

Produktivitetsökning med kranspetsstyrning är något som fyra av fem tillverkare uppger (Tabell 2). John Deere nämner att kranspetsstyrning medför en produktivitetsökning på skotningen och skördningen med mellan 5 och 20 procent, där ökningen är något lägre för skotaren. Produktivitetsökningen gäller oavsett om föraren är erfaren- eller oerfaren (Kindlund 2024). Största fördelen med kranspetsstyrning är den hjälp oerfarna förare får med att hantera kranen (Tabell 2). Kranspetsstyrning hjälper inte enbart oerfarna förare utan avlastar alla förare mentalt (Tabell 2). Nyttan med avlastningen är en piggare förare som orkar hålla ett jämnare arbetstempo under hela arbetsdagen.

Tabell 2. De enligt tillverkarna huvudsakliga positiva effekterna av kranspetsstyrning på skogsmaskiner. Källorna är pers. komm. under december 2024.

Huvudeffekt	Beskrivning	Källa
Produktivitetsökning	Ökar produktiviteten för föraren	(Forsblom 2024; Hammar; 2024; Grabbe 2024; Kindlund 2024)
Hjälp för oerfarna förare	Hjälper den oerfarna föraren att hantera kranen	Grabbe 2024; Hammar 2024; Paulsson 2024)
Avlastar föraren	Avlastar föraren, som gör att de orkar hålla ett jämnt arbetstempo	(Forsblom 2024; Hammar 2024; Grabbe; 2024; Kindlund 2024; Paulsson 2024)
Bränslebesparing	Kranen arbetar mer effektivt då kranen körs kortare sträcka samt används utskjutet på ett bättre sätt	(Forsblom 2024; Hammar 2024; Grabbe 2024; Paulsson 2024)

Kunskapsläget om kranspetsstyrning ger en tidsbesparing eller produktivitetsförbättring på skotningen är begränsad till ett fåtal publicerade artiklar (Manner et al. 2017; Manner et al. 2019; Zemánek & Fiľo 2022; Hartsch et al. 2024; Manner & Lundström 2025). Manner et al. (2017) undersökte på 17 gymnasieelever om kranspetsstyrning på skotare genererade en tidsbesparing. Resultatet blev en minskad tidsåtgång med 26,4 procent. Kranspetsstyrningen resulterade även i en mindre körd kransträcka.

Erfarna skotarförare har också påvisats bli signifikant snabbare med kranspetsstyrning (Manner et al. 2019). De erfarna förarna sparade 5,2 procent av produktiv maskintid och vid lossning 7,9 procent av maskinens produktiva tid. Zemánek och Fiľo (2022) visade att med kranspetsstyrning på skotaren ökar nybörjarförarens produktivitet med 25 procent. Studiens resultat ska tolkas med viss försiktighet eftersom den genomfördes i en simulerad PC-miljö med kranspetsstyrning. Harsch et al. (2024) undersökte en förare med 12 års erfarenhet av skotning. Maskinen i studien var en John Deere 1210G. När kranspetsstyrningen (IBC) var aktiverad resulterade det i en 2 sekunders tidsbesparing per lastningscykel.

Kranspetsstyrningens tidsbesparings- eller produktivitetsökning vid skördning har endast undersökts i en studie (Manner & Lundström 2025). Manner och Lundström (2025) undersökte kranspetsstyrning på två erfarna förare med olika erfarenhet i två olika slutavverkningsbestånd. Förare A respektive B hade 40 respektive 15 års erfarenhet av skördning. Maskinen i undersökningen var en John Deere 1470G utrustad med kranspetsstyrning (IBC). Tidsstudien delade upp skördarens arbete i två moment; kran-ut och fällning-upparbetning. Resultatet visade att med kranspetsstyrning sparade förare A 10 procent av tidsåtgången, medan förare B varken sparade eller förlorade tid. Tidsbesparingen för förare A uppkom under arbetsmomentet fällning-upparbetning. En av slutsatserna från studien är att alla erfarna förare inte får fördel av de tidsbesparingar som kranspetsstyrning kan ge. Trots att resultaten visade att stamvolym inte påverkar

tidsbesparing, diskuterar författarna att den största potentialen för kranspetsstyrning bör finnas i gallringar. Manner och Lundström (2025) rekommenderar ytterligare undersökningar på flertalet maskinfabrikat, på fler förare samt i såväl gallringar som i slutavverkningar.

Om kranspetsstyrning på skördare leder till tidsbesparing eller en produktivitetsförbättring på oerfarna förare är inte studerat. Utifrån tidigare studier (Manner et al. 2017; Manner et al. 2019; Hartsch et al. 2024; Manner & Lundström 2025) kan tidsbesparingen med kranspetsstyrning antas vara mellan 5 och 26,4 procent. Ålder och maskinerfarenhet är ytterligare faktorer som antas påverka hur stor tidsbesparingen är (Pagnussat et al. 2021; Purfürst & Erler 2011; Malinen et al. 2018).

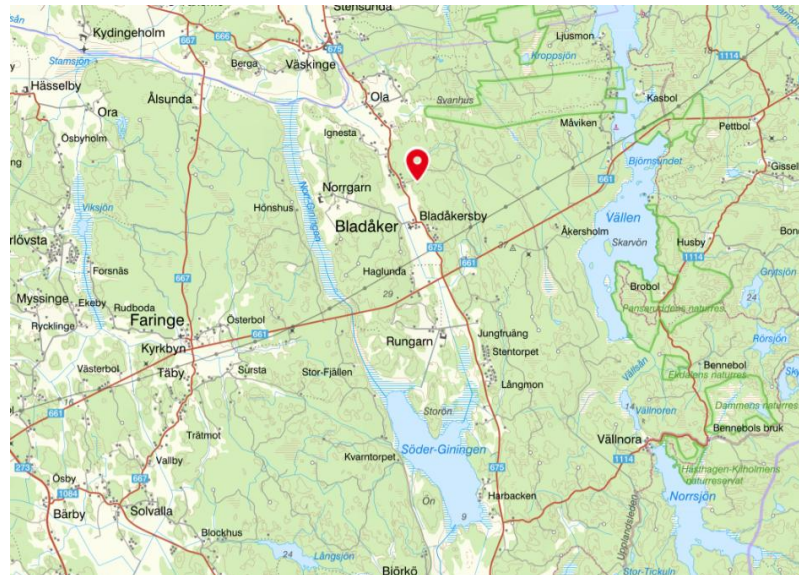
1.4 Syfte

Syftet med examensarbetet var att jämföra tidsåtgången vid användandet av kranspetsstyrning kontra konventionell kranstyrning för oerfarna skördarförare. Ett delsyfte var att undersöka om tidigare erfarenhet av skogsmaskinsarbete eller ålder har någon betydelse på eventuell tidsbesparing.

2. Material och metod

2.1 Försökslokal

Studien genomfördes i Bladåker, Uppland, 35 km nordöst om Uppsala under fyra dagar i mars månad 2025 (Figur 2). Markägare var Billerud. Försöket genomfördes i en förstagallrad granskog, på fuktig mark som uppskattningsvis var mellan 40 – 50 år (Figur 3).



Figur 2. Karta över närliggande område till Bladåker, röda punkten är platsen för försöket (Lantmäteriet 2025).

Skogen var fläckvis angripen av granbarkborre och hade små stormluckor med vindfällan och toppbrott (Figur 3). Gran var det dominerande trädslaget i beståndet men det fanns även enstaka lövträd. Vädret där studien genomfördes var plusgrader, halvklart till soligt.



Figur 3. Beståndet var en förstagallrad granskog som var angripen av granbarkborre med vindfällan och toppbrott, fotot är taget från vägen och in i beståndet.

2.2 Maskin och förare

Maskinen som användes i studien är en Komatsu 911 av årsmodell 2024 (Figur 4A) utrustad med ett S92 aggregat (Figur 4B; C). Skördaren hade en maximal kranlängd på 11 meter (Tabell 3), utrustad med Smart Crane vilket är Komatsu:s version av kranspetsstyrning.

Tabell 3. Tekniska data för skördaren i studien.

Tillverkare	Komatsu
Modell	911
Tillverkningsår	2024
Tjänstevikt (kg)	20 620
Timmar (h)	350
Motoreffekt (kw)	155
Kran	C6
Kranlängd (m)	11
Aggregat	S92

Skördaren används till vardags som skolmaskin på Uppsala yrkesgymnasium Jälla. Maskinen nyttjas av elever och lärare på skogsinriktningen i syfte att lära sig köra skördare. Kranens hastighet i olika kranleder kan anpassas efter egna preferenser och önskemål. I studien användes inställningarna som rekommenderades av lärarna på Jälla, alltså 40 procents kranhastighet. Kranhastigheten ändrades inte mellan varje elev, utan hölls konstant under hela försöket. Innan försöket påbörjades plockades sågsvärd och kedja bort från skördaren, i syfte att eliminera risken att någon elev av misstag skulle fälla ett träd. Flerträdshanteringen stängdes av för de sista fyra eleverna eftersom det under körning med årskurs 3 och 2 noterades att flerträdshanteringen gick in automatisk vid vissa tillfällen. Flerträdshanteringen resulterade i ett störande moment för vissa elever och omgångar fick tas om på grund av detta. Innan det första försöket startades för dagen varmkördes maskinen i både motor och hydraulik.



Figur 4. (A) Maskinen som användes i försöket var en 6-hjulig Komatsu 911 av årsmodell 2024 utrustat med ett S92 aggregat på en C6 kran. Skördaren var utrustad med band på fram boggin och med kedjor på bakhjulen. (B, C) Aggregatet har en aggregatöppning på 530 mm (Komatsu 2025).

Föraren styr kranen med två joysticks samt med knappar som sitter på joysticksen (Figur 5). Maskininformation samt kartor erhålls på skärmen som sitter rakt framför föraren (Figur 5).



Figur 5. Förarvyn inne i hytten, där det finns två joysticks med tillhörande knappaletter. På baksidan av varje joystick sitter fyra knappar, där ena knappen för att tilla ner aggregatet sitter. I hytten finns en skärm där både kartor och maskinens instrumentering kan visas.

Förarna av maskinen bestod av nio elever från årskurs 3, sex elever från årskurs 2 och tre elever från årskurs 1 (Tabell 4) från skogsinriktningen på Uppsala yrkesgymnasium, Jälla. Orsaken till att förarna valdes från Uppsala yrkesgymnasium, Jälla är att författaren sen tidigare utbildning på skolan har kontakt med lärare på skogsinriktningen. Den tidigare kontakten med lärarna på skolan underlättade på så vis planeringen och utförandet av studien. Av de 18 medverkande eleverna var 1 kvinna och resterande 17 var män. Mellan årskurserna fanns det en variation i erfarenhet av skogsmaskinskörning. Detta är naturligt eftersom de kommit olika långt i sin utbildning. Erfarenheten inom årskursen varierade också eftersom vissa elever har med sig erfarenhet av maskinkörning innan utbildningen, samt haft olika mycket maskinkörning vid sina praktiktillfällen.

Tabell 4. Översikt över hur många elever som deltog i försöket under de fyra försöksdagarna i mars månad 2025. Totalt deltog 18 elever av 25 möjliga från skogsinriktningen på Uppsala yrkesgymnasium Jälla i undersökningen vilket gav ett 72 procentig deltagande i undersökningen.

Årskurs	Antal elever i årskursen	Antal deltagande elever	Deltagande (%)
3	10	9	90
2	8	6	75
1	7	3	43
Totalt:	25	18	72

2.3 Förberedelser inför studien

2.3.1 Iordningställande av försöksplatsen

Innan försöket kunde utföras krävdes en del förberedelser. Det första steget var att identifiera en lämplig uppställningsplats (Figur 6). Platsen för försöket skulle ha en så plan terräng som möjligt med få hinder, såsom sten, som kunde hindra krankörningen. Även lägen som kunde innebära att föraren fick arbeta i motljus försökte undvikas.



Figur 6. Hur beståndet såg ut på försöksplatsen innan iordningställning.

När platsen hade valts ut påbörjades arbetet med att välja ut de stammar som skulle vara med i försöket. 13 stammar valdes ut som skulle greppas med aggregatet. Stammarna var olika svåra att nå, men kravet när dessa valdes ut var att stammen kunde nås av aggregatet. För att säkerställa att stammarna kunde nås gjordes en provomgång innan testet. När det säkerstälts att de 13 utvalda stammarna kunde nås med aggregatet markerades dessa upp med sprayfärg i den ordning som de skulle greppas med aggregatet (Figur 7).



Figur 7. Ett urval av de träd som var med i försöket. (A) Är träd 3 och 4 båda som var två friska granar. (B) Är träd 7 som var en frisk asp. (C) Vilket är träd 13 som var det sista trädet som eleverna griper om med aggregatet. Träd 13 gjordes till högstubbe på grund av angrepp från granbarkborre.

I försöket fanns det stammar som blivit angripna av barkborre, vilket gjorde att de utgjorde en säkerhetsrisk för eleverna. Beslut togs på platsen att kapa dessa till högstubbar, för att minimera risken att något träd skulle brista och falla okontrollerat under någon försöksomgång (Figur 8).



Figur 8. Pågående arbete med att göra högstubbar av de träd som var angripna av granbarkborre. Maskinen som nyttjades var den Komatsu 911 som var med i försöket. Höjden på högstubbarna var cirka 4 m.

På platsen togs även vindfällan bort för att underlätta krankörningen för eleverna. Ett stående träd togs bort på platsen. Detta för att möjliggöra åtkomst till träd 10 i försöket. I övrigt behövdes ingen ytterligare gallring göras eftersom försöksplatsen låg i en gammal stickväg från tidigare gallring av beståndet. Alla 13 träd kvistades även en bit upp på stammen, detta för att förbättra sikten för eleverna.



Figur 9. En del av det upparbetade virket som blev vid skapandet av högstubbar och de upparbetade vindfällena.

Allt upparbetat virke skotades bort för att inte utgöra något hinder eller skapa förvirring för eleverna (Figur 9). Riset som blev flyttades bort samt gjordes en viss städning av försöksplatsen. Allt uppställningsarbete utfördes med en skotare.

2.3.2 Inmätning av försöksplatsen

Alla 13 träd i försöket klavades i brösthöjd, dessutom mättes trädets höjd med hjälp av Arboreal (Tabell 6). Arboreal är en applikation för smartphones som använder AR-teknik för att kunna mäta höjden på träd (Arboreal 2024). Avstånd till träden mättes utifrån den simulerade apteringspunkten (Figur 10). På platsen bedömdes ytstruktur och lutning, med hjälp av Skogsforsks terrängtypschema för skogsarbete (1995). Ytterligare beståndsfaktorer som samlades in efter den utförda gallringen var, antal stammar per hektar, grundyta och trädslagsfördelning (TGL). Antal stammar per hektar bedömdes genom tre provytor inom uppställningsplatsen, radien på provytorna var 7,98 m (avståndet varierade från 4,7 till 11,8 m från simulerade apteringspunkten). Grundytan bedömdes genom tre relaskopsmätningar inom uppställningsplatsen. Trädslagsfördelningen bedömdes subjektivt.

Tabell 5. Brandels (1994) volymfunktioner för gran och tall för södra Sverige i m³pb (fastkubikmeter på bark), där D = diametern på bark och H = trädets höjd.

Trädslag	Volymformel
Gran	$10^{-1,02039} \times D^{2,00128} \times (D+20,0)^{-0,47473} \times H^{2,87138} \times (H-1,3)^{-1,61803}$
Björk	$10^{-0,84627} \times D^{2,23818} \times (D+20,0)^{-1,06930} \times H^{6,02015} \times (H-1,3)^{-4,51472}$

För att beräkna trädens volym användes Brandels (1994) volymfunktioner för södra Sverige (Tabell 5). Försöket är precis på den 60:e breddgraden därför valdes funktionerna för södra Sverige eftersom det hade blivit missvisande att ta funktioner för norra Sverige. Björkfunktionen fick representera volymen för lövträden.

Tabell 6. Uppgifter om de 13 träden på försöksplatsen. Trädens avstånd är uppmätt från den simulerade apteringspunkten samt trädslag, diameter i brösthöjd samt höjd. En höjduppskattning gjordes för träd 12, eftersom trädet hade ett toppbrott. Detta gjordes utifrån en funktion som byggde på diameter och höjd från de andra inmätta träden av trädslaget gran.

Trädnummer	Avstånd (m)	Trädslag	Diameter (cm)	Höjd (m)	Volym (m ³ pb)
1	4,43	Gran	21	20,5	0,355
2	11,3	Gran	29	22,8	0,703
3	9,1	Gran	23	22,2	0,398
4	7,65	Gran	27	21	0,566
5	6,15	Björk	15,5	15	0,128
6	5,95	Gran	25,5	20,3	0,493
7	4,4	Asp	31,5	24	0,860
8	5,65	Gran	19,8	17,1	0,261
9	3,9	Gran	25,5	21,2	0,518
10	6,45	Gran	24	20,9	0,458
11	4,9	Gran	23,5	21,9	0,457
12	6,68	Gran	19,7	18,3	0,279
13	10,5	Gran	27,1	22,1	0,604

Försöksplatsen och det intilliggande området hade en grundyta på 18 m²/ha. Stamantalet på platsen var cirka 550 stam/ha, trädslagsfördelningen var 90 procent gran och 10 procent löv. Ytstrukturen bedömdes till 2 och lutningen bedömdes till 1.

2.4 Försöksdesign

Eftersom arbetet syftade till att jämföra kranspetsstyrning med konventionell kranstyrning upprättades en jämförandestudie. Studien utfördes genom en kontinuerlig tidsstudie i realtid med ett studieobjekt. Studieobjektet för undersökningen var att genomföra en omgång där samtliga 13 träd greppats om med aggregatet.

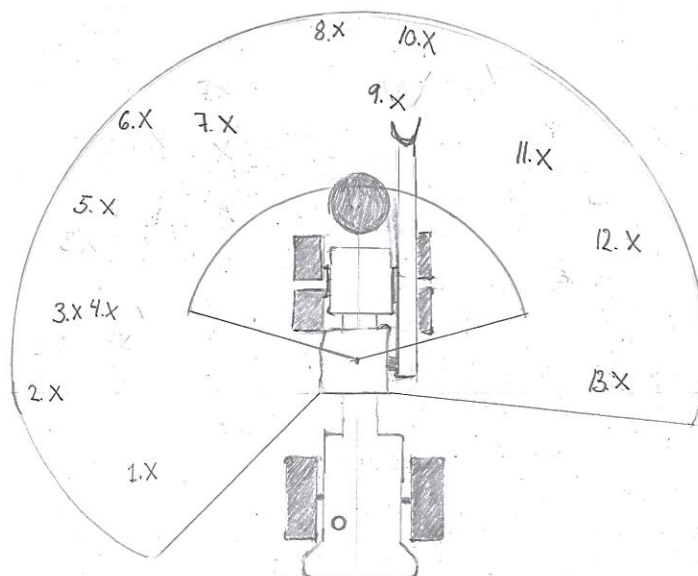
Tre strategier nyttjades vid konstruerandet av jämförandestudien, konstanthållning, upprepning och randomisering (Lindroos & Häggström 2023). Konstanthållningen i försöket innebar att inga träd avverkades utan varje elev besökte samma träd i samma ordning. Ingen förflyttning av skördaren gjordes under en försöksomgång. En förflyttning gjordes av skördaren mellan dag tre och dag fyra. Platsen markerades upp ordentligt, vilket möjliggjorde att skördaren kunde ställas tillbaka på exakt samma plats som tidigare. Konstanthållningen möjliggjorde en upprepning av försöket för varje elev. I det här fallet betydde det att varje elev kunde köra exakt samma bana oavsett om Smart Crane var aktiverad eller inte. Det hade ingen betydelse om man var elev ett eller elev 18 utan varje elev körde exakt samma bana. Randomiseringen genomfördes genom att varannan

elev fick börja med Smart Crane eller konventionell kranstyrning. Resultatet blev att nio elever började med Smart Crane och nio elever med konventionell kranstyrning (i fortsättningen benämnd Konventionell).

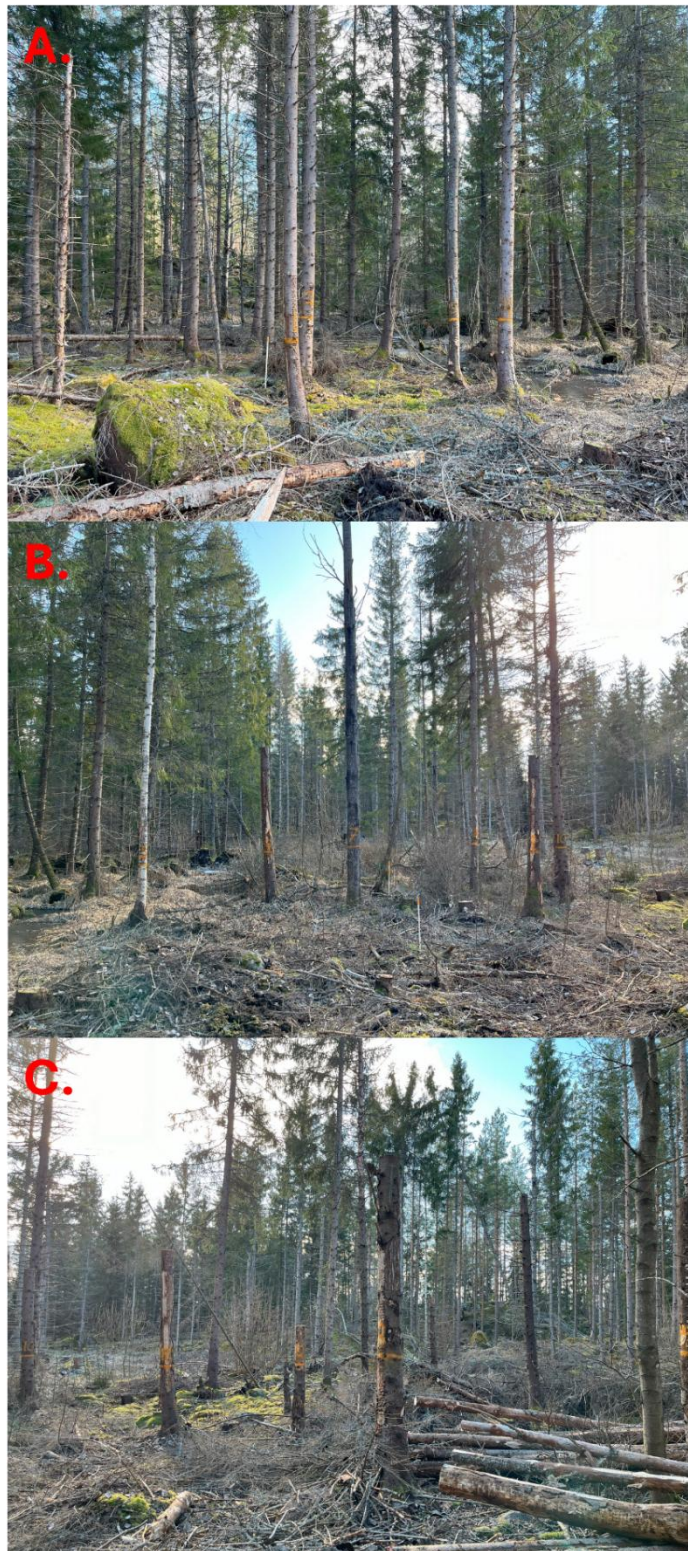
Eftersom tidsåtgången oftast inte utgör tillräckligt underlag för analyser (Lindroos & Häggström 2023) samlades ytterligare parametrar in. Eleven fick bland annat uppge sin ålder i månader. Dessutom uppgav eleven hur många veckor denne bedömde sig ha erfarenhet av skotar- samt skördarkörning.

2.5 Uppställningsplatsen

Varje träd som aggregatet greppade i försöket befann sig inom den stora cirkelsektorn men utanför den lilla cirkelsektorn (Figur 10). Den stora cirkelsektorn visar på kranens maximala längd och den lilla cirkelsektorn illustrerar ett område på cirka 4 meter som man normalt inte arbetar inom. Dessutom antogs att arbetsområdet är inom cirka 240 grader i förhållande till hytten. Den skuggade cirkeln framför maskinen (Figur 10) är den simulerade apteringspunkten. Stammarna på platsen markerades tydligt och fick en siffra (Figur 11). Se Bilaga 1 för ytterligare bilder på uppställningsplatsen.



Figur 10. En ungefärlig skiss (ej skalenlig) över försöksplatsen i Bladåker, Uppsala 2025. Den gråa cirkeln framför maskinen utgör den simulerade apteringspunkten i försöket. X = ungefärlig position av träd. Skissen är gjord av författaren.



Figur 11. Alla träd på uppställningsplatsen, där varje träd har fått ett tilldelat nummer. (A) Den vänstra delen av uppställningsplatsen där träd 1, 2, 3 och 4 syns. (B) Den mittersta delen av uppställningsplatsen där träd 5, 6, 7, 8, 9 och 10 står. I (B) syns den simulerade apteringsplatsen som utgörs av den främre stakkäppen som är markerad med orangefärg. (C) Den högra delen av uppställningsplatsen. I (C) syns träd 11, 12, 13 och 14 som står längst till höger i bild. Träd 14 exkluderades från försöket eftersom det gick av under den första körningen med den första eleven.

2.6 Tidsstudien

Varje årskurs fick inför försöket en teoretisk genomgång av syftet och metodiken som kompletterades med en praktisk demonstration av försöket. I hytten fick den enskilda eleven repetition av tidigare instruktioner till hur försöket skulle gå till. Här fick eleven möjlighet att ställa frågor om något var oklart kring försöksupplägget. För årskurs 2 och 1 var skördarerfarenheten begränsad, vilket gjorde att individuella instruktioner fick ges av författaren till eleven var respektive funktion satt på joystick. De elever som behövde och önskade fick även prova att greppa om några träd för att veta var funktionerna på respektive joystick var placerade.

Definitionen av en försöksomgång:

1. Eleven startar med aggregatet i den simulerade apteringspunkten (Figur 12A; Figur 13A). Tidtagning påbörjas när aggregatet lämnar apteringspunkten.
2. Eleven kör aggregatet mot träd 1.
3. Eleven sätter an mot trädet och matar ner till fälläget (Figur 12B; Figur 13B). Vid fälläget säger eleven ”kap”. Därefter släpper eleven aggregatet om trädet.
4. Därefter kör eleven aggregatet mot den simulerade apteringspunkten.
5. När aggregatet är inne i den simulerade apteringspunkten säger eleven ”apterat” (Figur 12A; Figur 13A).
6. Därefter kör eleven aggregatet mot träd 2 och samma moment upprepas igen.

Tidtagningen startade när eleven fick klartecken av författaren att börja köra. När alla 13 träd hade besökts och aggregatet var tillbaka i den simulerade apteringspunkten avslutades tidtagningen och en försöksomgång var klar (Figur 12A; Figur 13A).

Varje elev genomförde tre körningar med Smart Crane och tre körningar med konventionell kranstyrning. I årskurs 2 och 3 började den första eleven med Smart Crane, den andra med konventionell styrning, den tredje med Smart Crane och så vidare. För årskurs 3 körde eleverna 2 till 6 varannan omgång med Smart Crane kontra konventionell kranstyrning. För årskurs 1 började första eleven med konventionell kranstyrning.

När varje elev kört sina omgångar fick eleven inte reda på sin tid. Detta för att minimera risken att det skulle bli en tävling mellan eleverna och att aggregatet kördes ovanligt fort. Om en elev blev störd eller att förhinder uppstod startades försöksomgången om. En anteckning gjordes att eleven fått börja om, eftersom eleven fått mer krantid än andra elever. Vid två av omgångarna avbröt författaren körningen på grund av att två förare inte uppmärksammat att slangarna trasslat in sig i aggregatet.



Figur 12. De två momenten som gjordes i försöket (A; B). Den simulerade apteringsplatsen (A) visar platsen där aggregatet skulle hållas över den stakkäpp som är under aggregatet. Här skulle eleven säga "apterat". (B) Visar läget när eleven gripit om trädet inför kapning. Här skulle eleven säga "kap" innan denne fick släppa taget om trädet.

- Terrängtypschema för skogsarbete
- Blanketter
- Stakkäppar
- Arboreal höjdmätare

2.8 Dataanalys

För dataanalysen användes MS Excel och Minitab. I Excel gjordes en omvandling och förenkling av skotar- och skördarerfarenheten. För skotarerfarenheten angav vissa elever ett intervall på bedömd skotarerfarenhet. Skotarerfarenheten förenklades till medianvärdet för intervallet som eleven angivit. Årskurs 2 och 1 angav skördarerfarenheten i timmar i stället för veckor, som omvandlades till veckor. Omvandlingen gjordes genom att dividera angiven erfarenhet i timmar på 40 timmar (Ekv. 1). I omvandlingen antogs en förare ha en körtid på åtta timmar per dag och en arbetsvecka utgörs av fem dagar. Ytterligare beräkningar gjordes i Excel för att beräkna ett medelvärde för de tre körda gångerna för Smart Crane och Konventionell. Detta för att sälla bort en eventuell inlärningseffekt. När alla rådata sorterats upp exporterades den till Minitab.

$$\text{bedömd erfarenhet (veckor)} = \frac{\text{bedömd erfarenhet (h)}}{40} \quad (\text{Ekv. 1})$$

I Minitab genomfördes huvudsakligen hypotesprövningar för att undersöka om resultaten var statistiskt signifikanta. Minitab är ett statistikprogram som bland annat används för att göra statistiska analyser (Minitab 2025). Hypotesprövningen för tidsåtgången genomfördes med ett tvåsidigt parat t-test med ett konfidensintervall på 95 procent.

För att undersöka om tidsbesparingen var beroende av erfarenheten eller ålder krävdes ytterligare bearbetning av alla tider. Differensen beräknades mellan total tidsåtgång för Konventionell och Smart Crane. Differenstiden analyserades genom tre individuella regressionsanalyser där ålder och erfarenhet av skotning eller skördning behandlades som kontinuerliga variabler. För regressionsanalysen gjordes en dubbelsidig hypotesprövning samt för riktningskoefficienten med ett konfidensintervall på 95 procent.

En multipel regressionsanalys genomfördes där tidsdifferensen fick vara svarsvariabel och ålder, skördarerfarenhet samt skotarerfarenhet fick vara kontinuerliga variabler. För den multipla regressionsanalysen gjordes en tvåsidig hypotesprövning med ett konfidensintervall på 95 procent.

Ett konfidensintervall beräknades för den procentuella skillnaden i medelvärde mellan Smart Crane och Konventionell. Beräkningen genomfördes med ett ensidigt 1-sampel test vilket resulterade i två separata 95 procentiga konfidensintervall. De separata konfidensintervallen kombinerades till ett 95 procentigt konfidensintervall uttryckt som procentuellt förändring (Ekv. 2).

$$\text{procentuellförändring tidsåtgång} = 1 - \frac{\text{tidsåtgång Smart Crane}}{\text{tidsåtgång konventionell}} \quad (\text{Ekv. 2})$$

2.9 Produktivitetsberäkning

Baserat på tidsstudien gjordes en produktivitetsberäkning utifrån Nurminen et al. (2006) tidsåtgångsberäkningar och produktivitetsberäkningar. För att kunna göra beräkningarna enligt Nurminen et al. (2006) krävs en medelstam. Denna beräknades genom att först bestämma den individuella volymen för de 13 försöksträden (Tabell 6). För volymsberäkningen användes Brandels volymfunktioner för södra Sverige (1994). Volymfunktionen för björk fick representera samtliga träslag. Därefter beräknades en medelstamsvolym på 0,4676 m³pb (fastkubikmeter på bark), baserat på de 13 träd som ingick i försöket.

Nurminen et al. (2006) tidsåtgångsberäkningar särskiljer gallring och slutavverkning. Beräkningarna i detta kandidatarbete baserades på antagandet om slutavverkning, därav nyttjades de formler och värden för slutavverkning (Tabell 7).

Tabell 7. Arbetsmomenten som skördaren utför vid fällning och aptering av ett träd (Nurminen et al. 2006), där formler och konstanter valts för slutavverkning. För att beräkna tidsåtgången, där x är medelstammen i m³pb. Här antogs också att formeln för upparbetning (t₄) björk fick representera björk och asp vilka var de lövträd av de 13 träden.

Arbetsmoment	Tidsåtgång (min/stam)
Förflyttning (t ₁)	0,077
Positionering för fällning (t ₂)	0,1
Fällning (t ₃)	0,068+0,142x
Upparbetning, Gran (t ₄)	0,071+0,616x-0,180x ²
Upparbetning, Björk (t ₄)	0,079+0,655x+0,174x ²
Kran-in (t ₅)	0,047
Rensning av underväxt (t ₆)	0,022
Flytt av stockar, toppar, grenar (utanför aptering) (t ₇)	0,012

Positionering för fällning (t₂) samt kran-in (t₅) (Tabell 5) antogs utgöra tidsskillnaden för konfidensintervallen, Smart Crane och Konventionell. Tidsskillnaden delades upp på tre nivåer: lägre kvartilen, medelvärde och övre kvartilen, som fick utgöra total tidsåtgång. För att få enheten min/stam dividerades tidsskillnaden med 13 träd (Ekv. 3). Fällningstiden samt upparbetningstiden beräknades enligt Tabell 5, där x var den beräknade medelstammen i m³pb (fastkubikmeter på bark).

$$t_2+t_5 = \frac{\text{total tidsåtgång}}{13} \quad (\text{Ekv. 3})$$

där

t₂+t₅ = registrerad medeltidsåtgång i försöket per stam, min/stam
13 = antal träd i försöket

Därefter summerades tidsåtgången för de sju olika arbetsmomenten (Nurminen et al. 2006) (Ekv. 4).

$$t_{tot} = t_1 + (t_2 + t_5) + t_3 + t_4 + t_6 + t_7 \quad (\text{Ekv. 4})$$

där

t_{tot} = total effektiv tid för ett träd, min/stam

(t_2+t_5) = registrerad medeltidsåtgång i försöket per stam, min/stam

Den totala tidsåtgången beräknades för varje elev. Därefter kunde en avbrottsfri produktivitet beräknas (Ekv. 5) (Nurminen et al 2006).

$$P_e = \frac{60x}{t_{tot}} \quad (\text{Ekv. 5})$$

där

P_e = produktivitet, $\text{m}^3\text{pb}/\text{h}_{G0}$

t_{tot} = total effektiv tid för ett träd, min/stam

x = medelstam, m^3pb

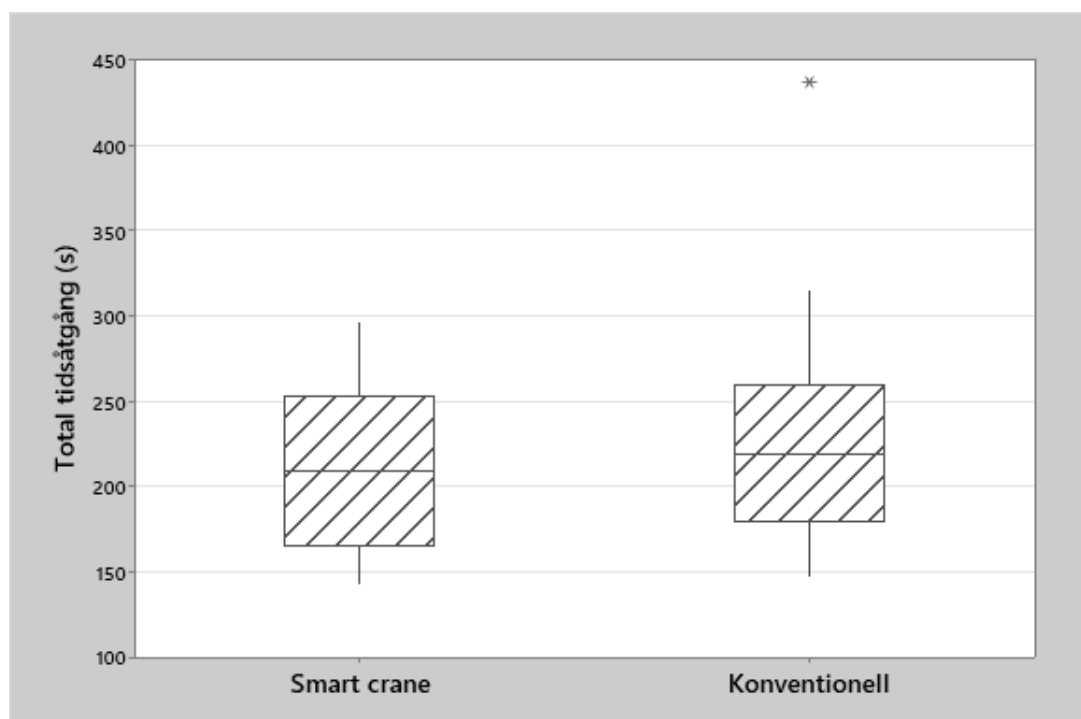
Baserat på erfarenhetstal från skogsmaskinsentreprenörer antogs varje skift utgöras av 6,5 h_{G0} /skift, och grundtiden för ett år med ett enkelskift mellan 1 500 och 1 600 h_{G0} /år. Ett medeltal användes på 1 550 h_{G0} .

3. Resultat

3.1 Tidsåtgång

Medelvärde för den totala tidsåtgången för Smart Crane respektive Konventionell var 210 respektive 232 sekunder (Figur 14). Smart Crane var alltså 9,5 procent snabbare än den konventionella kranstyrningsmetoden. Denna skillnad var signifikant ($P=0,019$). Tidsbesparingen med Smart Crane var i medeltal 1,7 sekunder per träd.

Standardavvikelsen för Smart Crane var 49 sekunder och för Konventionell 72 sekunder. Medianen för Smart Crane var 209 sekunder, medan medianen för Konventionell var 218 sekunder.

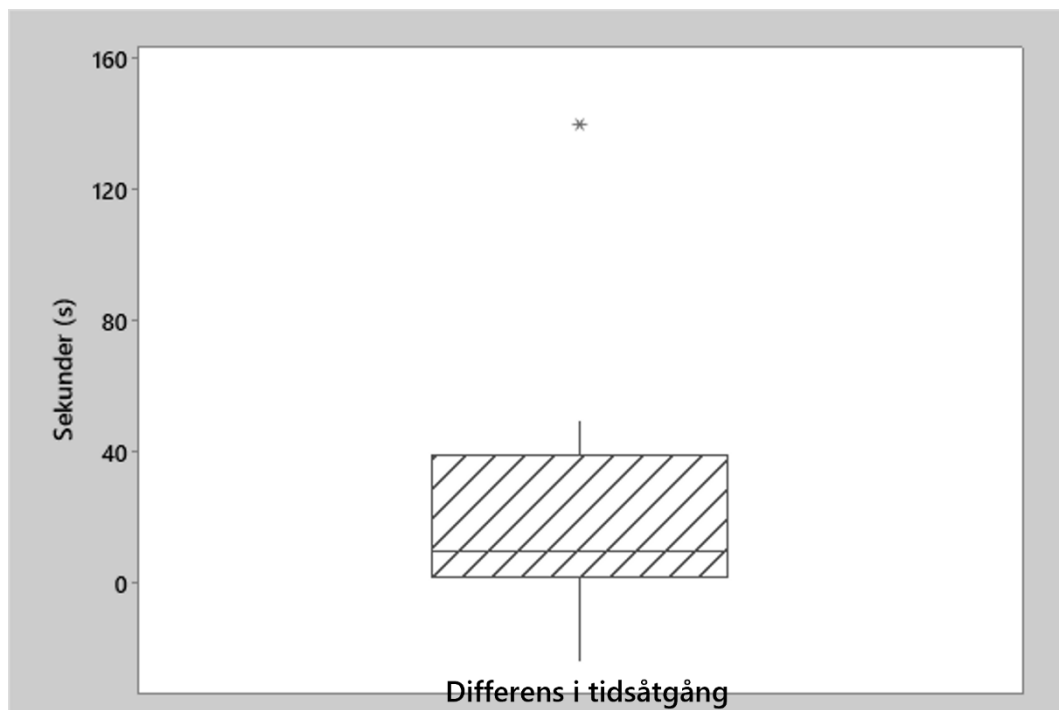


Figur 14. Tidsåtgång vid användandet av kranpetsstyrning (Smart Crane) och konventionell kranstyrning (Konventionell) i en försöksbana med 18 gymnasieelever i Uppland år 2025. Medianer var 209 sekunder för Smart Crane och 218 sekunder för Konventionell. 25:e och 75:e percentil för Smart Crane var 165 respektive 253 sekunder. 10:e och 90:e percentiler för Smart Crane var 142 och 297 sekunder. 25:e och 75:e percentil för Konventionell var 179 respektive 259 sekunder. 10:e och 90:e percentiler för Konventionell var 146 respektive 315 sekunder. För Konventionell fanns ett extremvärde på 437 sekunder.

Det 95-procentiga konfidensintervallet för Konventionell var mellan 196 och 267 sekunder. För Smart Crane var konfidensintervallet mellan 185 och 234 sekunder. Denna skillnad ger en minsta tidsbesparing på 5,5 procent vid användandet av Smart Crane och en maximal tidsbesparing på 12,4 procent vid ett 95-procentigt konfidensintervall. Tidsbesparingen per stam var mellan 0,8 och 2,5 sekunder vid ett 95-procentigt konfidensintervall.

3.2 Tidsåtgångspåverkande faktorer

Tidsbesparingsens spridning (Konventionell-Smart Crane) var mellan -24 och 50 sekunder (Figur 15). Ett extremvärde på 140 sekunder observerades också, vilket låg utanför det generella spridningsintervallet. Medelvärdet för tidsbesparingen var 22 sekunder. Medianen för tidsbesparingen var 10 sekunder (Figur 15).



Figur 15: Differens i tidsåtgång vid användandet av kranspetsstyrning (Smart Crane) och konventionell kranstyrning (Konventionell) i en försöksbana med 18 gymnasieelever i Uppland år 2025. 25:e och 75:e percentilen för tidsbesparingen var 2 respektive 9 sekunder. 10:e och 90:e percentilen var -24 respektive 50 sekunder, med ett extremvärde på 140 sekunder.

Skördar- eller skotarerfarenhet eller ålder hade ingen signifikant betydelse för hur stor tidsbesparingen blev (Bilaga 3; 4; 5). Signifikansen uteblev oavsett om varje variabel togs individuellt eller om en multipel regressionsmodell gjordes med alla tre variabler (Tabell 8).

Tabell 8. De tre olika variablerna för en multipelregressionsmodell för tidsåtgången för krankörning i en försöksbana med 18 gymnasieelever i Uppland år 2025. Vid en multipel regressionsmodell erhöles ett r^2 värdet för modellen på 0,0891. Inget utav faktorvärdet blev signifikant, $P > 0,05$. Funktionen är: $y = 86 - 2,28(\text{Skördarerfarenhet}) - 0,318(\text{Skotarerfarenhet}) - 0,250(\text{Ålder})$.

Faktor	Värde	P-värde
Konstant	86	0,662
Skördarerfarenhet	-2,28	0,696
Skotarerfarenhet	-0,318	0,611
Ålder	-0,25	0,791

3.3 Produktivitetsmodellering

Produktivitetsökningen med Smart Crane var mellan 0,56 och 1,51 m³pb/h_{G0} (Tabell 9). Ökningen i produktivitet motsvarar en ökning mellan 1,6 och 4,7 procent. Den procentuella produktivitetsökningen på medelvärdet var 3,3 procent. På medelvärdestiden ligger produktivitetsökningen strax över 1 m³pb/h_{G0} (Tabell 9). På ett skift (6,5 h_{G0}/skift) blir produktivitetsökningen mellan 3,6 och 9,8 m³pb (fastkubikmeter på bark). Sett till ett arbetsår (1550 h_{G0}/år) blir produktivitetsökningen mellan 868 och 2 341 m³pb per år. I medeltal är produktivitetsökningen 1 690 m³pb per år.

Tabell 9. Den beräknade produktiviteten för tre olika tider för respektive behandling. Produktiviteten är beräknad i avbrottsfri produktivitet per timme (m³pb/h_{G0}). Produktivitetsökningen med Smart Crane är mellan 0,564 och 1,511 m³pb/h_{G0}. På medelvärdets tiden ger Smart Crane en beräknad produktivitetsökning på strax över 1 m³pb/h_{G0}.

Behandling	Lägre kvartilen (m³pb/h_{G0})	Medelvärdet (m³pb/h_{G0})	Övre kvartilen (m³pb/h_{G0})
Smart Crane	34,90	33,59	32,37
Konventionell	34,34	32,50	30,86
Skillnad	0,56	1,09	1,51
Procentuellökning (%)	1,6	3,3	4,7

4. Diskussion

4.1 Huvudresultat

Smart Crane ger en signifikant ($p = 0,019$) tidsbesparing mellan 5,5 och 12,4 procent. Tidsbesparingen gäller för oerfarna förare med olika nivåer av skogsmaskinserfarenhet på gymnasiet. Erfarenhet av skördning (0 – 6 veckor) eller skotning (3,5 – 60 veckor) hade ingen statistiskt signifikant inverkan på tidsbesparingen. Inom åldersintervallet 16,5 till 21,5 år hade ålder ingen signifikant inverkan på tidsbesparingen.

Enligt produktivitätsberäkningarna genererade tidsbesparingen en ökad produktivitet mellan 0,56 och 1,51 $\text{m}^3\text{pb}/\text{h}_{\text{G0}}$. Den procentuella produktivitätsökningen var i intervallet 1,6 till 4,7 procent. I medeltal ökade produktiviteten med cirka 1 $\text{m}^3\text{pb}/\text{h}_{\text{G0}}$ med Smart Crane.

4.2 Resultatet jämfört mot tidigare kunskap

Resultaten från detta kandidatarbete stödjer tidigare studiers slutsatser om att kranspetsstyrning medför en tidsbesparing (Manner et al. 2017; Manner et al. 2019; Zemánek & Filo 2022; Hartsch et al. 2024; Manner & Lundström 2025). Tidsbesparingen som i medeltal är 9,5 procent är avsevärt högre än Manner & Lundströms (2025) resultat där endast en av två förare sparade tid med kranspetsstyrning. Manner & Lundström (2025) resultat för förare A med 40 års erfarenhet hade en tidsbesparing på 10 procent, medan förare B med 15 års erfarenhet varken förlorade eller sparade tid med kranspetsstyrning.

Tidsbesparingen i detta kandidatarbete var högre än det som observerades i Manner & Lundströms studie (2025). Urvalet här bestod av oerfarna förare med avsevärt mindre erfarenhet. I detta kandidatarbete undersöktes endast en del av krancykeln, medan Manner & Lundström (2025) studerade hela skördararbetet (inkl. kranarbete och maskinflyttningar). Hade hela krancykeln för skördning studerats i föreliggande kandidatarbetet hade sannolikt tidsbesparingen blivit större.

Tidsbesparingen var större här än när kranspetsstyrning undersöktes på erfarna skotarförare (Manner et al. 2019), vilket får ses som ett förväntat resultat. Däremot är inte tidsbesparingen densamma gentemot när kranspetsstyrning undersöktes på gymnasieelever med skotare (Manner et al. 2017). Denna upptäckt var oväntad eftersom såväl denna studies sampel som Manner et al. (2017) bestod av gymnasieelever, alltså oerfarna förare. En viktig skillnad mellan studierna var att Manner et al. (2017) studerade en *skotare* (John Deere 1510E) medan kandidatarbetet här studerade en *skördare* (Komatsu 911). Kandidatarbetet visade en tidsbesparing som var 16 procentenheter lägre än tidigare resultat (Manner et al. 2017). Möjligen kan det finnas en skillnad i hur stor tidsbesparingen är för skotare respektive skördare.

Resultatet för produktivitätsberäkningen har inte kunnat bekräfta tidigare studiers resultat (Zemánek & Filo 2022) gällande produktivitätsförbättringar med

kranspetsstyrning. En viktig skillnad mellan kandidatarbetet och tidigare studie (Zemánek & Fiřo 2022) är att den bygger på simuleringar i PC-miljö för skotare. Kandidatarbetets resultat är cirka 20 procentenheter lägre än tidigare studie (Zemánek & Fiřo 2022). John Deeres intervall på en produktivitetsförbättring mellan 5 och 20 procent (Kindlund 2024) kan inte bekräftas utifrån kandidatarbetets beräknade produktivitetsförbättring mellan 1,6 och 4,7 procent.

Varken ålder, skördar- eller skotarerfarenhet hade inte någon signifikant inverkan på tidsbesparingen, ett resultat som går emot tidigare studier (Purfürst & Erler 2011; Malinen et al. 2018; Pagnussat et al. 2021). Den troliga orsaken till utfallet kan förklaras med den dåliga spridningen av erfarenhet och ålder i samplet, jämfört med tidigare studier

4.3 Tolkning av resultatet

Användningen av Smart Crane resulterade i en tidsbesparing mellan 5,46 och 12,38 procent när cirka 20 procent av krancykeln undersöktes (Tabell 10). Antagandet för detta gäller slutavverkning och att den registrerade tidsåtgången utgjordes av positionering för fällning samt kran-in. Tidsbesparingen väntas öka marginellt med antalet stam/ha (tidsbesparing på 1,7 sekunder/stam) eftersom maskinflyttar utgör en mindre andel av arbetstiden i gallringar. Tidsbesparingen kommer därför rent teoretiskt att vara högre i gallrings- än i slutavverkningsbestånd.

Den sannolika orsaken till utebliven statistisk signifikans för tidsbesparing i relation till ålder samt av skördar- och skotningserfarenhet är den begränsade variationen inom samplet. En större spridning i ålder och erfarenhet hade sannolikt ökat möjligheten att påvisa signifikanta samband.

I resultatet finns ett extremvärde för elev 7 där tidsbesparingen var 140 sekunder. Denna elev fick börja med konventionell styrning och eleven hade endast tre timmars skördarerfarenhet. Generellt för eleven var att det gick snabbare för varje omgång. En orsak till extremvärdet kan vara den låga skördarerfarenheten. Däremot fanns det elever med betydligt lägre eller ingen skördarerfarenhet som fick snabbare tider. Ytterligare förklaring till extremvärdet skulle kunna vara nervositet hos eleven samt närvaron av författaren i hytten under försökets gång.

Tabell 10. Den procentuella fördelningen av skördarens arbetsmoment vid slutavverkning respektive gallring (Nurminen et al. 2006). Där medeltidsåtgången för varje arbetsmoment är satt i proportion till den totala effektiva tiden.

Arbetsmoment	Slutavverkning (%)	Gallring (%)
Förflyttning	13	20
Positionering för fällning	14	20
Fällning	17	18
Upparbetning	45	27
Kran-in	6	10
Clearing	3	3
Flytt av stockar, toppar, grenar (utanför aptering)	2	1
Total:	100	100

Smart Crane bidrar inte enbart till tidsbesparing och ökad produktivitet utan indikerar på en förbättrad kranhantering, vilket märktes när vissa elever körde Konventionellt. Vid användning av konventionell kranstyrning upplevdes kranens rörelser som mer ryckiga och vissa elever glömde att dra in utskjutet mellan träden (Figur 16). I kontrast till den konventionella kranstyrningen upplevdes kranens rörelser som mjukare och mer kontrollerade vid användningen av Smart Crane. När Smart Crane var aktiverat användes utskjutet mer aktivt i krankörningen.

Utöver den procentuella förbättringen i tidsåtgång verkar det finnas en förbättring i mentalbelastning (Elev 1; 5; 7; 12). Vissa elever angav att de kändes ”skönare” att köra med Smart Crane. Elevernas påståenden bekräftas av tidigare studier (Kymäläinen et al. 2024). Kymäläinen et al. (2024) undersökte vilka system som idag hjälper föraren och vad för system som önskas i framtiden. Ett resultat från studien var att förare som hade tillgång till kranpetsstyrning upplevde en högre grad av nöjdhet än förare utan tillgång till kranpetsstyrning. Förarna kände sig inte heller lika trötta efter en arbetsdag.

Citat från eleverna:

”Mer att tänka på när man kör konventionell kran”

(Elev 1)

”Blandade ihop grip- och utskjuts funktionen vid konventionell, man behöver tänka till mer när man inte använder Smart Crane, vid Smart Crane behöver man inte det”

(Elev 5)

”Kör nu på praktiken en 911 utan Smart Crane därav är jag van att köra utan Smart Crane, men tycker dock att det är avlastande med Smart Crane”

(Elev 7)

”Är van att köra med John Deeres IBC och jag kör med IBC på”

(Elev 8)

”Skönare med Smart Crane, behöver knappt tänka och slipper använda vänster joystick lika mycket”

(Elev 12)

”Van vid att köra konventionell kranstyrning”

(Elev 14)

Vid konventionell kranstyrning upptäcktes att vissa elever glömde eller förbisåg att dra in utskjutet mellan varje träd (Figur 16). Dessa elever valde i stället att lyfta kranen med den stora hydraulcylindern på huvudbommen. När eleven skulle sträcka sig efter nästa träd, var redan utskjutet delvis ute vilket gjorde att eleven snabbt kunde nå trädet. Om eleverna i stället hade tvingats dra in utskjutet mellan varje träd, hade tidsbesparingen med kranpetsstyrning sannolikt blivit större. Den konventionella kranstyrningen hade då sannolikt tagit längre tid. Detta arbetssätt

hade troligtvis gjort jämförelsen mer jämlik eftersom Smart Crane drog in utskjutet mellan varje träd. En möjlig lösning hade varit att ge eleverna ytterligare en instruktion att dra in utskjutet mellan varje träd. Dock finns en risk med att ge eleverna ytterligare instruktioner som kan göra det svårt för dem att komma ihåg alla steg i instruktionen.



Figur 16. Ett problem som noterades under försökets gång var att eleverna antingen glömde bort eller förbisåg att dra in utskjutet mellan varje träd. (A) Här är utskjutet nästa max utskjutet. (B) Här är utskjutet ungefär till hälften utskjutet. Bilderna är inte tagna under en faktisk försöksomgång, utan tagna i efterhand.

I och med att Smart Crane visat sig minska tidsåtgången och öka produktiviteten för oerfarna förare, bör utrustningsnivån för en ny skördarförare beaktas. När nya förare börjar arbeta efter studierna kan det vara viktigt att använda en skördare med kranspetsstyrning, eftersom det minskar produktionsbortfallet. Det kan vara mer fördelaktigt att placera oerfaren förare i en nyare maskin med kranspetsstyrning snarare än i en äldre maskin utan kranspetsstyrning. Potentiellt kan det leda till en mindre förlust att lära upp en oerfaren förare för en entreprenör.

Smart Crane som tillval kostar omkring 100 000 kr extra. Investeringen möjliggör en produktivitetsökning i medeltal på 1 690 m³pb/år för en oerfaren skördarförare. Smart Crane möjliggör en extra intäkt på 84 500 kr/år (minus vissa rörliga kostnader som bränsle och smörjmedel), beräknat på en oerfaren skördarförare. Antagandet för beräkningen är den medelstam i försöket (0,4676 m³pb) med en skördningskostnad på 50 kr/m³fub (Bogghed 2024), skillnaden mellan m³pb (fastkubikmeter på bark) och m³fub (fastkubikmeter under bark) antogs vara försumbar. Efter ett och ett halvt år har investeringen med Smart Crane och en oerfaren förare återbetalt sig.

4.4 Styrkor och svagheter med studien

En av studiens främsta styrka är den jämförande studie som gjorts på lika villkor där konstanthållning, upprepning och randomisering uppnåts, vilket är en förutsättning för en jämförande studie (Lindroos & Häggström 2023). Exempelvis har onödigt brus tagits bort såsom förflyttning av maskin, alla elever har kört exakt samma bana. Ytterligare brus som att välja träd har eliminerats, eftersom det fanns en fast ordning som träden skulle besökas. Brus som att välja körväg osv. har tagits bort. Studien har genomförts med samma maskin och samma inställningar, vilket gör att varje elev har haft exakt samma förutsättningar. Alla har fått köra tre gånger med respektive behandling, vilket gjort att eventuell inlärningseffekt sållats bort. Eventuell Hawthorn effekt bör ha haft lika stor effekt oavsett om Smart Crane eller konventionell kranstyrning studerades. Randomiseringen utgjordes av att nio elever började med Smart Crane och nio elever började med konventionell kranstyrning, vilket är en styrka med studien.

Mångfald skapades genom att inkludera tre årskurser med ett deltagande på 75 procent. Antalet medverkande i studien är en fler än när kranpetsstyrning undersöktes på en likande elevsammansättning 2017 (Manner et al.). Träden har varit på varierat avstånd från den simulerade apteringspunkten (4,7 till 11,8 m från den simulerade apteringspunkten), vilket har skapat mångfald. Träden har funnits inom hela den ”normala” arbetszonen (>180 grader).

Fördelningen medverkande kvinnor i studien är låg, då endast en kvinna var med i studien (5,6 %). Studiens sampel får därmed ses som mansdominerad (SCB 2024). Jämförs 5,6 procent mot hur fördelningen ser ut i hela Sverige är det 49,7 procent kvinnor och 50,3 procent män (SCB 2025), vilket gör att studiens könsfördelning inte är representativ. Jämförs 5,6 procent med hur könsfördelningen ser ut i skogsmaskinsbranschen får dock samplet ses som representativt. Antalet kvinnor i skogsmaskinsbranschen var 2018 1,7 procent (Björheden 2018).

En svaghet i studien är elevers bedömning av sin skördar- och skotarerfarenhet, eftersom den bedömdes subjektivt av eleven och skulle kunna vara en bit ifrån den verkliga erfarenheten. Exempelvis inom årskurs 3 hade vissa 60 veckor medan andra hade 10 veckors erfarenhet av skotning och trots att de haft i stort sett samma mängd praktik. En elev kommenterade att: *”Va, är det någon som sagt 60 veckor till dig?! Det är ju helt gale!”*. Om erfarenheten hade varit underskattad eller överskattad borde ett samband funnits mellan ålder och tidsbesparing,

eftersom äldre generellt hade mer erfarenhet än de yngre eleverna. Detta samband kan ha uteblivit på grund av att årkurs 1 och årskurs 2 hade ett lägre procentuellt deltagande än i årkurs 3.

Ytterligare svaghet med studien är att enbart 20 procent av arbetsmomenten vid skördning undersöktes med antagandet om slutavverkning (Tabell 10). Antas att studien gjordes i gallring undersöktes i studien 30 procent av de totala arbetsmomenten vid skördning. Den registrerade tidsåtgången antas utgöras av positionering för fällning samt kran-in. De ostuderade arbetsmomenten för slutavverkning respektive gallring uppgår till 67 respektive 49 procent, exklusive maskinförflyttning.

Produktivitetsberäkningarna i arbetet ska enbart ses som en fingervisning på vad förbättringspotentialen kan vara. Orsaken är dels att formler och värden är snart 20 år gamla (Nuurminen et al. 2006), mycket har hänt med drivningen de senaste 20 åren. Delar i produktivitets-beräkningen antas den registrerade tiden enbart utgöras av 20 procent, resterande 80 procent är framräknade tidsåtgångar (Tabell 10).

4.5 Rekommendationer

Om framtida tidsstudier görs på kranspetsstyrning rekommenderas att studierna görs på personer med större variation i ålder och erfarenhet. Ett stort sampel rekommenderas. Ytterligare rekommendation är att tidsstudera alla arbetsmoment för skördning för att se i vilket arbetsmoment kranspetsstyrning ger störst tidsbesparing. Det skulle också vara bra att involvera fler maskinmärken och modeller i framtida studier. Att jämföra kranspetsstyrning i gallrings- och slutavverkningsbestånd är ett viktigt ämne för framtida undersökningar, eftersom den största potentialen bör finnas i gallringsbestånd. Orsaken är att fler krancykler körs per timme i gallring än i slutavverkning. Ett lämpligt delsyfte skulle vara att studera hur stor betydelse trädets avstånd till maskinen har för tidsbesparingen.

För att kunna beräkna hur stor produktivitetsförbättring kranspetsstyrning ger krävs simulatortester. Genom simulatortester får varje försöksperson samma förutsättningar, eftersom det brus som fältstudier kan uppbringa elimineras. Upplägget för simulatortesterna bör vara att försökspersonerna får fälla och aptera flertalet träd i en angiven bana. Lämplig försöksgrupp skulle kunna vara gymnasieelever från skogsinriktningen, alternativt en grupp erfarna skördarförare med varierande ålder och erfarenhet.

För framtida studier föreslås undersökningar på kranspetsstyrningens inverkan på förarens mentala belastning, i och med att ett arbetsmoment elimineras. Föraren kan i stället koncentrera sig på aptering, välja rätt träd eller välja rätt väg i skogen, vilket möjliggör en bättre utförd drivning.

Kranspetsstyrning borde implementeras fullt ut på skogliga maskinutbildningar. Systemet möjliggör att eleverna kan fokusera mer på att göra bättre val när de kör maskinen. Effekten blir en bättre drivning med mindre körskador, bättre stamval i gallringar, färre skadade stammar osv, eftersom en del av förarens fokus har tagits

bort från krankörningen. Nackdelen är att det finns en risk för att elevernas förmåga i krankörning utan kranspetsstyrning blir bristfällig. Det finns en betydande sannolikhet att elever efter avslutade studier kommer att arbeta med skogsmaskiner utan kranspetsstyrning. Äldre maskinmodeller utan kranspetsstyrning är fortfarande vanliga inom skogsbruket.

4.6 Slutsatser

Slutsatserna som dras från arbetet är följande:

- För oerfarna förare verkar kranspetsstyrning (Smart Crane) vid krankörning leda till tidsbesparingar på 9,5 procent i medeltal. För unga oerfarna förare påverkar varken ålder eller skördar- eller skotarerfarenhet tidsbesparingens storlek.
- Enligt beräkningar baserade på registrerad tidsåtgång tyder resultaten på att kranspetsstyrning ökar produktiviteten. För att bekräfta detta ytterligare krävs simulatortester alternativt tester i ett homogent bestånd.
- Kranspetsstyrning bör integreras fullt ut i maskinförarutbildningar på gymnasieskolor. Tekniken möjliggör att eleverna kan fokusera mer på planerandet av effektivt skördararbete, exempelvis välja rätt stammar vid gallring, välja rätt vägar som undviker körsador, koncentrera sig mer på att aptera rätt i stället för hur man genomför själva krankörningen.

5. Referenser

- Arboreal (2024). *Arboreal trädhöjd*. <https://arboreal.se/sv/tree-height> [2025-02-21]
- Bergqvist, I. (2003). *Flerträdshantering höjer prestationen och ökar nettot i klen gallring*. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 5.
- Björheden, R. (2018). *Maskinföraryrket fortfarande inte attraktivt för kvinnor*. Skogforsk.
<https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2018/maskinforaryrket-fortfarande-inte-attraktivt-for-kvinnor/> [2025-05-07]
- Brandell, G. (1990). *Nya volymfunktioner för tall, gran och björk*. SLU, institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Skogsfakta nr 11, flik 13.
- Brunberg, T. & Iwarsson Wide, M. (2013). *Underlag för prestationshöjning vid flerträdshantering i gallring*. Skogforsk, Arbetsrapport: 796–2013.
- Bogghed, A. (2024). *Skogsbrukets kostnader 2023; Norra, mellersta och södra Sverige*. Lantmäteriet (Rapport 2024:1). <https://www.lantmateriet.se/sv/Om-Lantmateriet/diariet-och-informationsredovisning/rapporter/>
- Eliasson, L. (2024). *Skogsbrukets intäkter och kostnader 2023*. Skogforsk.
<https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2024/skogsbrukets-kostnader-och-intakter-2023/> [2025-01-22]
- Englund M. (2016). *Kranspetsstyrning ger bra förarstart*. Skogforsk.
www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2016/kranspetsstyrning-ger-bra-forarstart31/ [2025-02-10]
- Eriksson, M. & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large followup datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25:3, s.179-200, doi:10.1080/14942119.2014.9743097
- Gingras, J.-F. (2004). Early Studies of Multi-Tree Handling in Eastern Canada. *International Journal of Forest Engineering*, 15(2), s. 18–22. doi: 10.1080/14942119.2004.10702493.
- Hartsch, F. Schönauer, M. Pohle, C. Breinig, L. Wagner, T. & Jaeger, D. (2024). Effects of boom-tip control and a rotating cabin on loading efficiency of a forwarder: a pilot study. *Croat J For Eng*, 45, s- 71–84.
<https://doi.org/10.5552/crojfe.2024.2179>.

Johansson, J. & Gullberg, T. (2002). Multiple Tree Handling in the Selective Felling and Bunching of Small Trees in Dense Stands. *International Journal of Forest Engineering*, 13(2), s. 25–34. doi: 10.1080/14942119.2002.10702460.

Komatsu (2025). *Komatsu S92*.

<https://www.komatsuforest.se/skogsmaskiner/vara-skordaraggregat/s92> [2025-04-01]

Kuitto, P.J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. (1994). *Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Sammanfattning: Mechanized cutting and forest haulage*. Metsäteho Report 410. 38 p.

Kymäläinen, H., Häggström, C., Hujala, T., Torssonen, P. & Malinen, J. (2024). Ergonomics in CTL harvesting – assisting systems and future visions, *International Journal of Forest Engineering*, 36:2, s. 133–146. DOI: 10.1080/14942119.2024.2438500

Lantmäteriet (2025). *Min karta*. <https://minkarta.lantmateriet.se/> [2025-04-01]

Larsson, R. (2020). *PRESTATIONSPROGNOS - BORTSÄTTNING*. Kursmaterial. Skogsmästarprogrammet. Sveriges Lantbruksuniversitet. Skinnskatteberg.

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

Logmax (2025). *Flerträdshantering*. <https://www.logmax.com/flertradshantering/> [2025-01-22]

Löfgren, B. (1989). Kranspetsstyrning. Skogforsk. Meddelande No. 18.

Löfgren B., Attebrant M., Landström M., Nordén B. & Petersson N.F. (1994). *Kranspetsstyrning – en utvärdering*. Skogforsk. Redogörelse nr 1.

Manner, J., Gelin, O., Mörk, A. & Englund, M. (2017). Forwarder crane's boom tip control system and beginner-level operators. *Silva Fennica*, 51 (2). <https://doi.org/10.14214/sf.1717>

Malinen, J., Taskinen, J. & Tolppa, T. (2018). Productivity of Cut-to-Length Harvesting by Operators' Age and Experience. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 39, s. 15-22. <https://hrcak.srce.hr/193546>

Manner J., Mörk A., Englund M. (2019). Comparing forwarder boom-control systems based on an automatically recorded follow-up dataset. *Silva Fennica*, 53 (2). <https://doi.org/10.14214/sf.10161>

Manner J., Lundström H. (2025). The effect of boom-tip control on harvester time consumption in *Picea abies* dominated final-felling stands: case study. *Silva Fennica* vol. 59 no. 1 article id 24062. <https://doi.org/10.14214/sf.24062>

Minitab (2025). *Minitab Statistical Software*. <https://www.minitab.com/en-us/products/minitab/> [2025-05-20]

Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40(2), s. 335–363. doi: 10.14214/sf.346

Ovaskainen, H., Uusitalo, J. & Väätäinen, K. (2004). Characteristics and significance of a harvester operator's working technique in thinnings. *Int J For Eng* 15, s. 67–77. doi: 10.1080/14942119.2004.10702498

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), s. 433–438. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0164>

Parker, R., Bayne, K., & Clinton, P. W. (2016). Robotics in forestry. *NZ Journal of Forestry*, 60(4), s. 8-14.

Pohjala, J., Vahtila, M., Ovaskainen, H., Kankare, V., Hyypä J. & Kärhä, K. (2024). Effect of prior tree marking on cutting productivity and harvesting quality. *Croat J For Eng*, 45, s. 25–42. doi: 10.5552/crojfe.2024.2213

Purfürst, F.T. & Erler, J. (2011). The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. *International journal of forest engineering*, 22 (2), s. 15–22. <https://doi.org/10.1080/14942119.2011.10702606>

SCB. (2024). *Vad innebär en jämn könsfördelning*. <https://www.scb.se/webbapparporter/le0201/lathund2024/> [2025-05-07]

SCB. (2025) *Sveriges befolkning*. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/sveriges-befolkning/> [2025-05-07]

Skogsaktuellt. (2006). *Flerträdshantering ger lönsammare förstagallring*. <https://www.skogsaktuellt.se/artikel/25078/flertradshantering-ger-lonsammare-forstagallring.html> [2025-05-12]

Skogforsk (1995). *Terrängtypschema för skogsarbete*.

Skogskunskap (2024). *Aptering och virkessortiment*. <https://www.skogskunskap.se/skota-barrskog/gallra/gallring-for-sjalvverksamma/aptering/> [2025-01-22]

Skogsstyrelsen (2023). *Statistik om kostnader i det storskaliga skogsbruket*. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/kostnader-i-det-storskaliga-skogsbruket/> [2025-01-22]

Zemánek, T. & Fiřo, P. (2022). Influence of Intelligent Boom Control in Forwarders on Performance of Operators. *Croatian Journal of Forest Engineering* 43, s. 47–67. doi: 10.5552/crojfe.2022.965

Visser, R. & Spinelli, R. (2011). Determining the shape of the productivity function for mechanized felling and felling-processing. *Journal of Forest Research*, 17(5), s. 397–402. doi: 10.1007/s10310-011-0313-2.

Personlig kommunikation

Forsblom, Emil. Utvecklingschef. Ecolog. Mejlkonversation. 2024-12-16.

Grabbe, Daniel. Produktchef. Komatsu Forest. Mejlkonversation. 2024-12-16.

Hammar, Carl-Henrik. Sverigechef. Ponsse. Mejlkonversation. 2024-12-03.

Kindlund, Erik. Produktspecialist. John Deere. Mejlkonversation. 2024-12-17.

Paulsson, Mathias. Produktchef. Rottne. Mejlkonversation. 2024-12-16.

Bilagor

Bilaga 1: Bilder från uppställningsplatsen

Bilaga 2: Punktdiagram över alla datapunkter

Bilaga 3: Skördarerfarenheten, regressionsanalys

Bilaga 4: Skotarerfarenheten, regressionsanalys

Bilaga 5: Ålder, regressionsanalys

Bilaga 1: Bilder från uppställningsplatsen

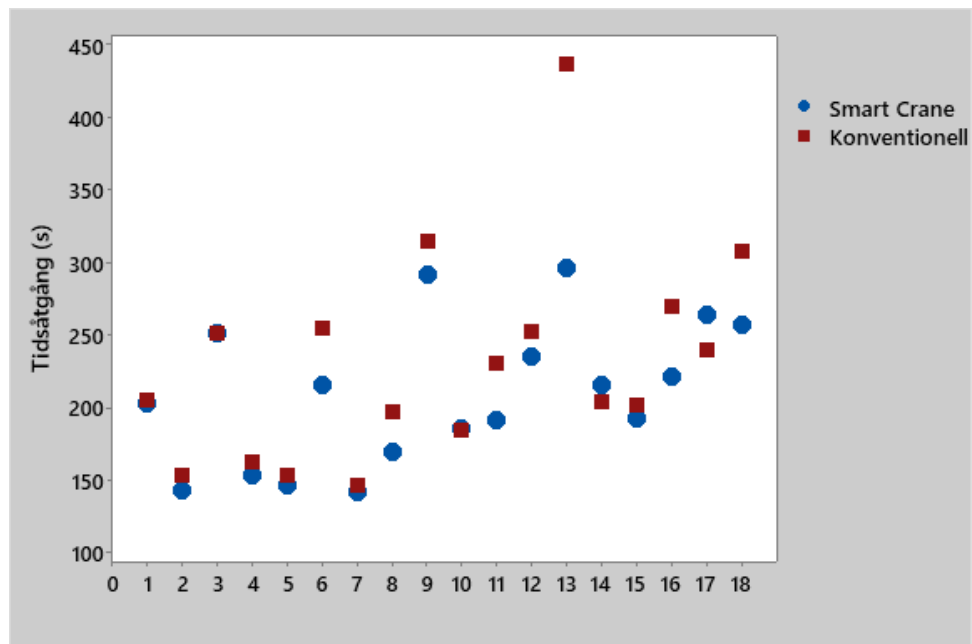


Figur 17. Uppställningsplatsen för försöket där främst träd 7 till träd 13 syns.



Figur 18. Uppställningsplatsen för försöket där träd 1 till träd 7 syns.

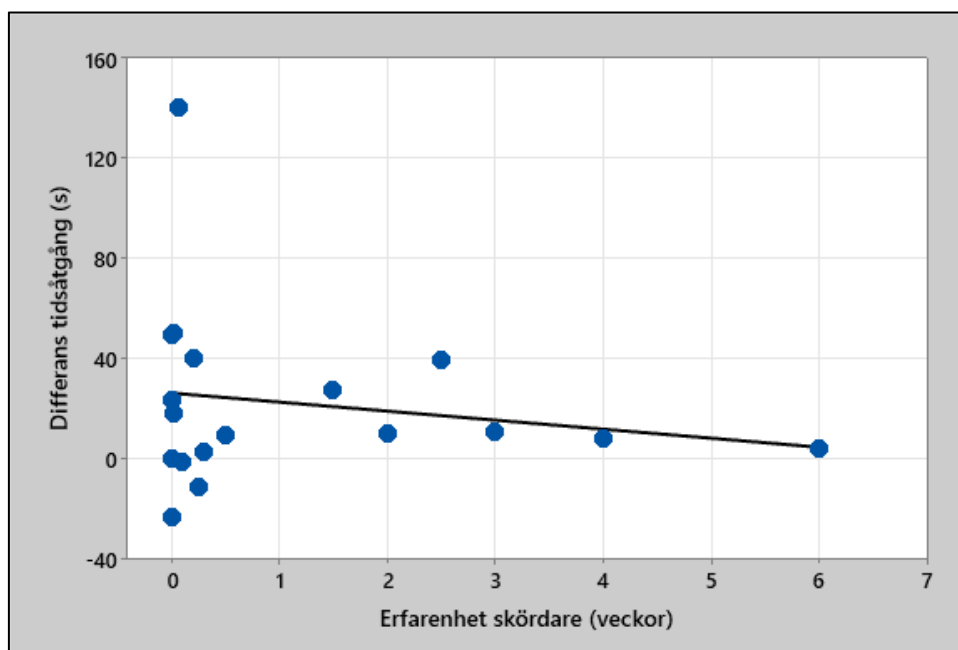
Bilaga 2: Punktdiagram över alla datapunkter



Figur 19. Punktdiagram över alla 18 elevers medeltidsåtgång för Smart Crane och för Konventionell. Elev 1–9 är årskurs 3, elev 10–15 är årskurs 2 och elev 16–18 är årskurs 1.

Bilaga 3: Skördarerfarenhet, regressionsanalys

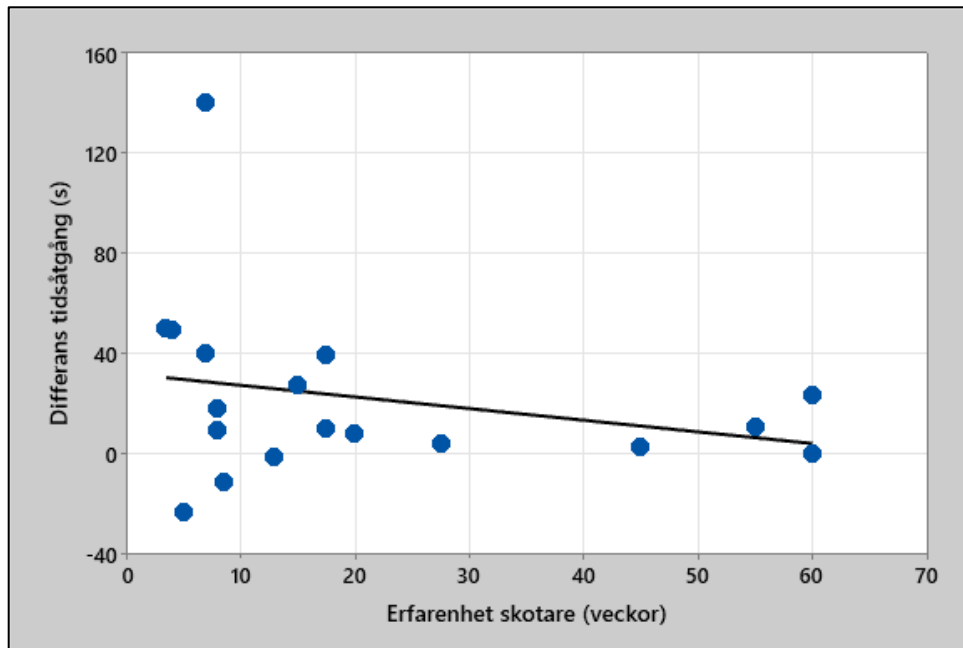
Skördarerfarenheten hade inte någon signifikant betydelse ($P = 0,489$) på hur stor tidsbesparingen var (Figur 20). R^2 -värdet för grafen var 0,0304. M-värdet för linjens ekvation 26,00, hade ett p-värde på 0,023, konstanten för linjens ekvation hade ett p-värde på 0,489.



Figur 20. Förhållandet mellan differensen i tidsåtgång och erfarenhet av skördare i veckor. Grafens ekvation är $y = 26,00 - 3,613x$, r^2 för denna graf är 0,03604.

Bilaga 4: Skotarerfarenhet, regressionsanalys

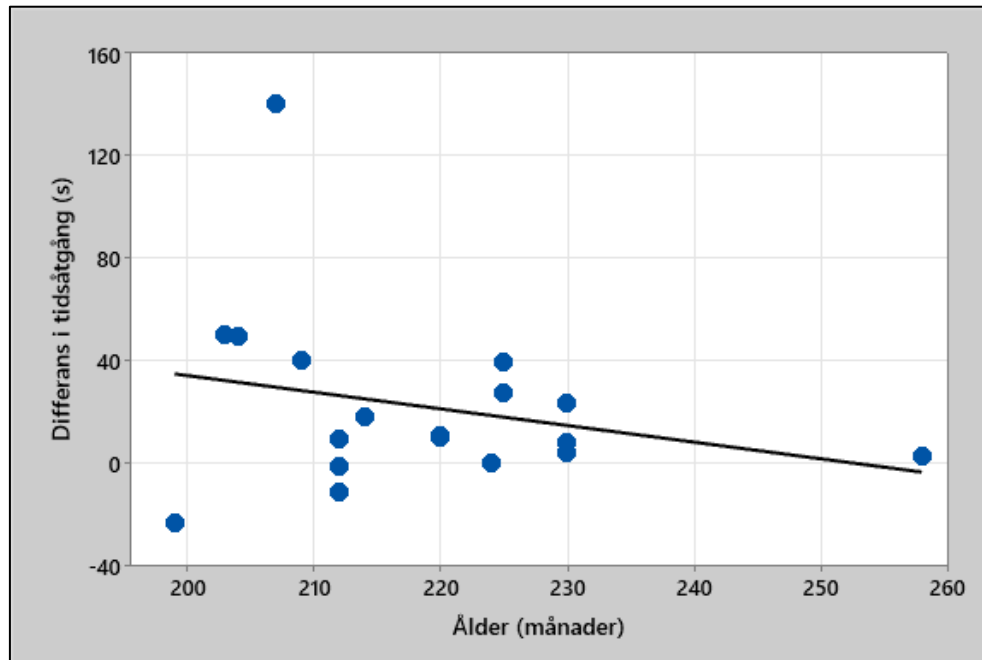
Skotarerfarenheten hade inte någon signifikant betydelse ($P = 0,301$) på hur stor tidsbesparingen var (Figur 21). R^2 -värdet för grafen var 0,0666. M-värdet för linjens ekvation 31,8, hade ett p-värde på 0,022, konstanten för linjens ekvation hade ett p-värde på 0,301.



Figur 21. Förhållandet mellan differensen i tidsåtgång och erfarenhet av skotare i veckor. Grafens ekvation är $y = 31,8 - 0,466x$, r^2 för denna graf är 0,0666.

Bilaga 5: Ålder, regressionsanalys

Åldern hade inte någon signifikant betydelse ($P = 0,312$) på hur stor tidsbesparingen var (Figur 22). R^2 -värdet för grafen var 0,0637. M-värdet för linjens ekvation 164,1 hade ett p-värde på 0,247, konstanten för linjens ekvation hade ett p-värde på 0,312.



Figur 22. Förhållandet mellan differensen i tidsåtgång och ålder i månader. Grafens ekvation är $y = 164 - 0,650x$, r^2 för denna graf är 0,0637.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

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