



# Drönanvändning i gallringsskog

Flygande gallring – en teoretisk analys av  
drönarens potential

---

*Drone usage in thinning forests*

Kristina Häggström & Lukas Svängård

Kandidatarbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
Jägmästarprogrammet  
Kandidatarbeten i skogsvetenskap • Nr 2022:04  
Umeå 2022



# Drönanvändning i gallringsskog. Flygande gallring – en teoretisk analys av drönares potential

*Drone usage in thinning forests*

Kristina Häggström & Lukas Svängård

**Handledare:** Ola Lindroos, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogens biomaterial och teknologi.  
**Examinator:** Nils Henriksson, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för Skogens ekologi och skötsel.

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt kandidatarbete i skogsvetenskap  
**Kurskod:** EX0911  
**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens ekologi och skötsel  
**Utgivningsort:** Umeå  
**Utgivningsår:** 2022  
**Serietitel:** Kandidatarbeten i skogsvetenskap  
**Delnummer i serien:** 2022:04

**Nyckelord:** Drönare, gallringsdrönare, skogsbruk, gallring

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

## Sammanfattning

Det finns inga drönare på marknaden idag som utför gallringsarbete, den tekniken existerar enbart i ett tidigt utvecklingsstadium. Därmed finns det begränsad information samt en hel del obesvarade frågeställningar kring ämnet. Denna rapport syftade till att besvara hur väl en gallringsdrönare stod sig i produktivitet samt kostnad gentemot en- och tvåmaskinsystem. Tidsstudier för en- samt tvåmaskinsystem användes för att skapa modeller för dessa. En del antaganden gjordes gällande gallringsdrönarens arbetssätt vilka sedan delades in i arbetsmoment och en drönarmodell skapades. Beräkningar, simuleringar samt analyser genomfördes i kalkylprogrammet Excel.

Rapporten resulterade i att en ensam gallringsdrönare hade svårt att konkurrera med en- samt tvåmaskinsystem vid varierande medelstam och skotningsavstånd. Gallringsdrönaren var lågproduktiv och därmed krävdes en låg timkostnad. Det kunde däremot konstateras att gallring med drönare har en potential att vara ett alternativ till konventionella metoder givet att skogsägaren accepterar låg produktivitet.

*Nyckelord:* Drönare, gallringsdrönare, skogsbruk, gallring

## Abstract

Today no drones suitable for thinning work are available on the market, these only exist in an early development stage. Therefore, limited information is available about the machine system and many questions around the subject are still unanswered. This report aims to clarify if the productivity and costs of a drone can compete with those of a harwarder and CTL-machine systems. Time studies for harwarder and CTL-machine systems were used as a base to create models for the two types of machine systems. To do the same for the thinning-drone some assumptions about the work methods had to be made, after that a drone-model could be created. Calculations, simulations, and analyses were performed in the calculation program excel.

The report concluded that a single thinning-drone had a hard time to compete with harwarder and CTL-machine systems, in a broad range of average stem volumes and forwarding distances. The thinning-drone is a very low productive machine system, and it is therefore demanded that the hourly cost also need to be low. However, thinning with drones have a potential to in the future be an alternative to conventional thinning methods, given that the forestry owner accepts the lower productivity.

*Keywords:* Drone, thinning-drone, forestry, thinning

# Innehållsförteckning

<b>TABELLFÖRTECKNING .....</b>	<b>1</b>
<b>FIGURFÖRTECKNING.....</b>	<b>2</b>
<b>FÖRKORTNINGAR .....</b>	<b>3</b>
<b>1 INLEDNING .....</b>	<b>4</b>
1.1 PROBLEMBAKGRUND .....	5
1.2 GALLRING OCH OLIKA GALLRINGSMETODER .....	5
1.2.1 <i>Konventionella gallringsmetoder</i> .....	5
1.2.2 <i>Beståndsgående gallring</i> .....	6
1.2.3 <i>Stickvägar, tillväxtförluster och kolinbindning</i> .....	6
1.2.4 <i>Risker vid upptag av stickvägar</i> .....	7
1.3 DRÖNARE SOM UTFÖR GALLRINGSARBETE .....	8
1.4 DAGENS MASKINER FÖR GALLRINGSARBETE .....	9
1.4.1 <i>Skördare och skotare</i> .....	9
1.4.2 <i>Drivare</i> .....	9
1.5 SYFTE OCH AVGRÄNSNING.....	9
<b>2 METOD.....</b>	<b>10</b>
2.1 SYSTEMANALYS.....	10
2.2 VAL AV STUDERAD MEDELSTAMSVOLYM .....	10
2.3 MASKINMODELLERING .....	10
2.3.1 <i>Skördare</i> .....	11
2.3.2 <i>Skotare</i> .....	11
2.4 MODELLERING DRIVARE .....	12
2.5 TERRÄNGTRANSPORTKORREKTION .....	14
2.6 ARBETSSÄTT GDR.....	14
2.7 MODELL FÖR GALLRINGSDRÖNAREN .....	15
2.8 GALLRINGSDRÖNARENS ARBETSMOMENT.....	16
2.8.1 <i>Arbetsmoment 1 – Flygning tom</i> .....	16
2.8.2 <i>Arbetsmoment 2 – Positionering</i> .....	16
2.8.3 <i>Arbetsmoment 3 – Upparbetning</i> .....	16

2.8.4	Arbetsmoment 4 – Bortlyft.....	17
2.8.5	Arbetsmoment 5 – Flygning lastad .....	18
2.8.6	Arbetsmoment 6 – Lossning.....	18
2.9	VAL AV VARIABLER.....	19
2.10	GENOMFÖRDA ANALYSER .....	19
2.11	TIMKOSTNAD FÖR GALLRINGSDRÖNARE .....	20
<b>3</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>22</b>
3.1	ARBETSMOMENTENS PÅVERKAN PÅ TOTAL TIDSÅTGÅNG VID OLIKA FÖRUTSÄTTNINGAR .....	22
3.2	PRODUKTIVITET MED OLIKA ANTAGANDEN .....	24
3.3	JÄMFÖRELSE MELLAN MASKINSYSTEMEN.....	25
3.4	JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA SCENARION FÖR GALLRINGSDRÖNAREN OCH ÖVRIGA MASKINSYSTEM .....	26
3.5	PRODUKTIVITET VID ANVÄNDNING AV FLERA GALLRINGSDRÖNARE.....	27
3.6	KOSTNADER FÖR GALLRINGSDRÖNARE .....	29
<b>4</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>30</b>
4.1	SVÅRIGHETER MED ANVÄNDNING AV NURMINENS MODELLER FÖR EN DRÖNARES ARBETSMOMENT ..	31
4.2	GENERELLT ANGÅENDE EN- SAMT TVÅMASKINSYSTEMETS MODELLER.....	31
4.3	UTFALL AV EKONOMISKA BERÄKNINGAR.....	32
4.4	DRÖNARE I EFTERFÖLJANDE GALLRING.....	33
4.5	POTENTIELLA PROBLEM MED UTTAG AV HELSTAM VID DRÖNARGALLRING.....	33
4.6	FRAMTIDA STUDIER .....	33
<b>5</b>	<b>SLUTSATS .....</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>35</b>

# Tabellförteckning

<i>Tabell 1. Skördarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.</i>	11
<i>Tabell 2. Skotarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.</i>	12
<i>Tabell 3. Drivarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.</i>	13
<i>Tabell 4. Beskrivning av gallringsdrönarens (GDR) potentiella arbetsmoment</i>	15
<i>Tabell 5. Använda variabler i gallringsdrönarens grundmodell.</i>	19
<i>Tabell 6. Investeringskostnader för EMS och TMS exklusive moms (Berggren &amp; Öhrman 2018; Komatsu Forest AB 2022)</i>	20
<i>Tabell 7. Investeringskostnad samt maskinkostnadskalkyl för EMS och TMS (Berggren &amp; Öhrman 2017; Komatsu Forest AB 2022)</i>	21
<i>Tabell 8. Känslighetsanalys över olika parametrar i GDR-modellen, samt påverkan på produktivitet vid olika skotningsavstånd. (Fetstil markerar parametrarna för gallringsdrönarens grundmodell)</i>	24
<i>Tabell 9. Antal GDR som krävs för att uppnå samma produktivitet som TMS samt EMS (inom parentes), vid varierande medelstamsvolym och skotningsavstånd.</i>	28
<i>Tabell 10. Kostnader för EMS och TMS</i>	29
<i>Tabell 11. Visar maximal timkostnad per GDR för att uppnå samma kubikmeterkostnad som en- och tvåmaskinsystem, vid varierande medelstam och skotningsavstånd.</i>	29

## Figurförteckning

<i>Figur 1. Enskilda momentens påverkan på total tidsåtgång, skotningsavstånd 100 meter.</i>	22
<i>Figur 2. Enskilda momentens påverkan på total tidsåtgång, skotningsavstånd 400 meter.</i>	23
<i>Figur 3. Enskilda momentens påverkan på total tidsåtgång, skotningsavstånd 700 meter.</i>	23
<i>Figur 4. Maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd med en medelstamsvolym på 0,05 m<sup>3</sup>fub.</i>	25
<i>Figur 5. De olika maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd med medelstamsvolym på 0,15 m<sup>3</sup>fub.</i>	25
<i>Figur 6. Maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd och olika scenarion, med medelstamsvolym på 0,05 m<sup>3</sup>fub.</i>	26
<i>Figur 7. Maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd och olika scenarion, med medelstamsvolym på 0,15 m<sup>3</sup>fub.</i>	26
<i>Figur 8. De olika maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd samt varierande antal GDR, med medelstamsvolym på 0,05 m<sup>3</sup>fub.</i>	27
<i>Figur 9. De olika maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd samt varierande antal GDR, med medelstamsvolym om 0,15 m<sup>3</sup>fub.</i>	28



## Förkortningar

SI	Ståndortsindex
CD	Crown Density - kronslutenhet
GY	Grundyta
EMS	Enmaskinsystem, drivare
TMS	Tvåmaskinsystem, skördare och skotare
GDR	Gallringsdrönare
$m^3$	Kubikmeter
$m^3 fub$	Kubikmeter fast virkesvolym under bark
CTL	Cut-To-Length, kortvirkesmetod
G <sub>0</sub> -timme	G <sub>0</sub> står för grundtiden utan produktionsavbrott i enheten timmar
UAV	Unmanned aerial vehicle, obemannad flygfarkost

# 1 Inledning

Sverige är ett skogsrikt land där 68 procent av landarealen är skogsbeklädd och av dessa är cirka 57 procent produktiv skogsmark (Fridman & Wulff 2018). I skogsvårdslagens (lag 1979:429) allmänna bestämmelser (första paragrafen) står det att skogen är en förnybar resurs och en nationell tillgång. Därefter anges att den ska skötas för att uthålligt ge god avkastning, samtidigt som biologisk mångfald främjas och hänsyn tas till andra allmänna intressen (Riksdagsförvaltningen 1993). Mycket av den produktiva skogsmarken sköts utifrån framtagna skötselprogram, där gallring är en beståndsvårdande utglesning (Albrektson et al. 2012). En eller flera gallringar genomförs under en omloppstid för att skapa bättre förutsättningar för kvarvarande träd i beståndet, samtidigt som gagnvirke tas tillvara och ger inkomst till skogsägaren. En möjlighet ges till att forma beståndet efter skogsägarens preferenser, däribland trädslagsval och kvalitet genom att gynna vissa trädslag eller gallra ut träd med lägre kvalitet (Lagergren & Lindroth 2001). Den direkta effekten av gallring är tillfälligt lägre tillväxt, detta då träden står glesare i beståndet. Trädkronorna byggs sedan ut för att fylla tomrummet som gallringen medfört och som en effekt av detta bildas grövre stammar för att bära upp den större kronan (Agestam 2015). Grövre träd innebär högre andel sågtimmer i slutavverkning, som ger ett bättre ekonomiskt utfall då sågverken betalar mer för sågtimmer än vad massabruken betalar för massaved (Skogsstyrelsen 2022).

Gallring med konventionella maskinsystem bestående av skotare och skördare har varit en branschnorm sedan tidigt 80-tal (Thor 2012). De konventionella maskinsystemen är associerade med ett antal risker och svårigheter, där samtliga beror på att maskinsystemen är markgående (Agestam 2015). En gallring med markgående maskiner är i olika grad beroende av stickvägar för att färdas i. Stickvägarna bidrar till minskad skogsbeklädd areal och sämre virkeskvalitet (Agestam 2015). I Sverige utförs gallring på cirka 301 000 hektar årligen, vilket gör åtgärden till den näst vanligaste efter röjning, sett till areal (Nilsson et al. 2021).

En svårighet med gallring utförd av konventionella maskiner är behovet av goda markförhållanden för att maskinen inte ska sjunka ner och orsaka markskador. Skogsbruket är beroende av råvara året runt, vilket är särskild problematiskt under perioder med tjällossning. I framtiden förväntas dessa perioder bli längre och mer besvärliga i takt med att klimatet förändras. Det finns därmed ett behov av forskning kring och utveckling av nya skonsamma gallringssystem (Södergren 2014). Kan

skadefrekvensen minskas i gallringsskogen skulle det i hög grad påverka hela det svenska skogsbruket. På lång sikt ger en högre kvalitet i gallring en högre kvalitet i slutavverkning (Agestam 2015).

Drönare eller UAV (Unmanned Aerial Vehicle) är en obemannad flygande farkost som vanligen drivs med ett antal rotorblad. Farkosten styrs antingen av en förare med radiokontroll eller autonomt. Inom skogsbruket är det primära användningsområdet olika tillsynsarbeten (Tang & Shao 2015). Ett nytt potentiellt arbetsområde för drönare är att utföra gallringsarbete som ett alternativ till konventionell gallring. Denna teknik existerar endast i ett tidigt forskningsstadium, men tycks ändå vara ett lovande system i teorin.

## 1.1 Problembakgrund

Det finns väldigt lite publicerad forskning vad gäller drönare som utför gallringsarbete. Inga tillgängliga data finns angående förväntad produktivitet, kostnader eller begränsningar för maskinsystemet. Det är därmed oklart om det finns potential för att en drönare kan vara mer produktiv än övriga maskinsystem på marknaden. Finns det en potential för att systemet kan vara mer effektivt än andra maskinsystem skulle det vara ett motiv för skogsbruket att utveckla systemet.

## 1.2 Gallring och olika gallringsmetoder

En förstagallring utförs normalt när träden i bestånden är mellan 10-15 meter höga. Beslut om efterföljande gallringar görs utifrån beståndets Ståndortsindex (SI), kronslutenhet (CD), grundyta (GY), ekonomi samt risker. Markens bördighet avgör omloppstiden samt hur många gallringar som bör utföras. Gallringsstyrkan ligger normalt mellan 20-40%, där en lägre procentandel i praktiken i normalfallet inte ger något större ekonomiskt netto (Agestam 2015).

### 1.2.1 Konventionella gallringsmetoder

Den dominerande metoden för gallring i Sverige utgörs av ett stickvägsgående tvåmaskinsystem, med skördare och skotare i viktclassen 11-20 ton (Björnheden 2018). Systemet innebär att skördaren hugger upp stickvägar, fäller, kvistar och apterar träden i önskade längder. Därefter kör en skotare i stickvägarna, hämtar upp de avverkade stockarna och transporterar dem till avlägg. För att maskinerna ska kunna komma fram är ett upptag av stickvägar nödvändigt. Dessa skapas i förstagallringen och återanvänds i kommande gallringar (Agestam 2015). Eftersom upptaget av stickvägar är ett schematiskt uttag tas ingen hänsyn till virkeskvalitet i

detta moment. Vid förstagallring kan uttaget av virke från stickvägar utgöra det enda volymuttaget i åtgärden. Möjligheten att göra ett uttag utifrån kvalitet uteblir. (Nilssen Klinga 2020).

De konventionella maskinerna kräver en genomsnittlig stickvägsbredd om ca 4 meter för effektiv framfart i ett bestånd (Agestam 2015). Stickvägarna läggs normalt så att skördaren kan nå träden mellan stickvägarna. Maximalt stickvägsavstånd beror då på avverkningsmaskinens kranräckvidd multiplicerat med två. De gallringsmaskinerna på marknaden med längst räckvidd når cirka 11 meter, vilket innebär att det teoretiskt längsta stickvägsavståndet blir 22 meter (Agestam 2015). En stickvägsbredd på 4 meter och stickvägsavstånd på 22 meter innebär att stickvägarna i genomsnitt utgör ca 18% av den totala arealen. Att andelen stickväg är så pass hög i en förstagallring bidrar till en tillväxtminskning (Agestam 2015). Risk för skador på det kvarvarande beståndet och rötter samt tillväxtminskning är faktorer som gjort många skogsägare skeptiska till gallring med stora maskiner. Dessa efterfrågar därför andra typer av gallringslösningar, i form av beståndsgående maskinsystem. (Nilssen Klinga 2020).

### 1.2.2 Beståndsgående gallring

Den något mer ovanliga metoden beståndsgående gallring innebär små maskiner i storleksklassen 4-8 ton. Dessa maskiner slingrar sig mellan träden i beståndet, vilket medför att regelbundna stickvägar inte behövs (Grönesjö 2016). Skördaren nyttjar de naturliga luckorna i beståndet, skotaren följer sedan efter skördaren i samma spår (Jonsson 2014). Metoden innebär en minskad risk för storm- och snöskador (Agestam 2015). De lättare maskinerna innebär också en lägre markpåverkan än vid användning av tyngre konventionella maskiner. Tidigare studier har även visat på att mindre maskinsystem innebär en lägre risk för stamskador under gallringsarbetet (Edlund 2015).

Kvaliteten blir ur många avseenden bättre vid beståndsgående gallring, då en större möjlighet finns att påverka urvalet av gallringsträd. Beståndsgående gallring innebär dock lägre produktivitet, då maskinerna tvingas röra sig mellan de kvarvarande träden (Agestam 2015). Minskad skaderisk och lägre markpåverkan är faktorer som i högre grad eftertraktas av markägare än hög produktivitet. (Sundström 2019). Tidigare studier inom ämnet har visat att privata skogsägare i snitt är beredda att betala 18 kronor mer per m<sup>3</sup>fub för gallringar utförda med små maskiner (Sundström 2019).

### 1.2.3 Stickvägar, tillväxtförluster och kolinbindning

Vid upptag av stickvägar skapas kalytor och andelen trädbevuxen mark minskar, vilket innebär tillväxtförluster i beståndet. Tillväxtförlusten är dock inte proportionell mot den upptagna kalytan, utan beror på flera faktorer. Arealen

stickvägar samt hur väl kantträden växer har störst inverkan (Agestam 2015). Till stor del kompenserar kantträdens högre tillväxt för uttaget i stickvägarna, i förhållande till arealen stickväg blir minskningen i volymtillväxt låg. De studier som genomförts i Norden och Central-Europa har påvisat tillväxtminskningar mellan 5 -10 procent under en 15-20 årsperiod efter att stickvägarna tagits upp (Agestam 2015).

Tillväxtförlusten uteblir om stickvägar undviks vid gallring, vilket innebär att beståndets högre tillväxt ger högre inbindning av koldioxid än ett bestånd som gallrats med konventionella metoder. En kubik biomassa binder i genomsnitt mellan 700 till 900 kilo koldioxid, beroende på densitet (Lundmark et al. 2014). Det innebär att ett bestånd med volymen 100 m<sup>3</sup>fub/ha som gallrats utan stickvägar kan producera mellan 5 - 10 m<sup>3</sup>fub mer än för skog gallrad med stickvägar. Omräknat till koldioxid motsvarar detta 3,5 - 9 ton ökad inbindning under en 15-20 årsperiod.

#### 1.2.4 Risker vid upptag av stickvägar

I huvudsak finns tre typer av risker när stickvägar tas upp i en gallring; skador i kvarvarande bestånd, snö- och stormskador samt försämrade urvalsmöjligheter.

##### *1.2.4.1 Maskinrelaterade skador i kvarvarande bestånd*

Det finns alltid en risk för skador på rötter och kvarvarande träd när maskiner färdas i bestånden under gallringsarbete. Stamskador kan uppstå på grund av att aggregatet eller maskinen stöter i de kvarvarande träden, men även när träd fälls mot andra träd (Agestam 2015).

Körskador orsakade av konventionella gallringsmaskiner kan orsaka bland annat föroreningar i omkringliggande vattendrag samt stam- och rotskador (Södergren 2014). Där skadade rötter leder till en minskning av trädens tillväxt och djupa körspår kan i extrema fall göra stickvägen oåtkomlig för trädens rotsystem, vilket ytterligare begränsar tillväxten. Skador på kvarstående träd och rötter är dessutom en inkörsport för olika typer av rötsvampar, vilket försämrar kvaliteten och medför att gallringens positiva effekt i vissa fall helt eller delvis uteblir (Agestam 2015).

##### *1.2.4.2 Snö- och stormskador*

Risken för snö- och stormskador ökar vid upptag av stickvägar, speciellt för träd i kanten av en stickväg (Fransson 2008; Agestam 2015). Snö- och stormskador kan orsaka stora tillväxtförluster i bestånd samt att det är väldigt tidskrävande att ta vara på skadade träd (Agestam 2015). Om träden i stickvägskanterna skadas, minskar den positiva effekten av gallring. Ökar avståndet mellan stickvägarna minskar

riskerna för stormskador på tall, med upp till 18 procent redan 10 meter in i beståndet (Fransson 2008). Granar kräver betydligt längre stickvägsavstånd för att bli mer stormfasta, vilket inte tidigare bedömts praktiskt möjligt med konventionella metoder (Fransson 2008).

#### *1.2.4.3 Försämrade urvalsmöjligheter*

Vid upptag av stickvägar kan inget urval göras utifrån kvalitet, detta då uttaget av stickvägar är ett schematiskt gallringsuttag där alla träd tas ut (Agestam 2015). Upptaget av stickvägar innebär även en stor risk för skador på kanträden, och dessa blir sedan i princip fredade vid nästa gallring. När skadade kanträd lämnas kvar sänks kvaliteten i beståndet och bidrar till ett sämre ekonomiskt resultat vid slutavverkning. En större areal stickvägar innebär sämre möjlighet att höja kvaliteten i beståndet genom urval (Agestam 2015).

### 1.3 Drönare som utför gallringsarbete

I dagens skogsbruk används drönare primärt för olika typer av tillsynsarbeten, vilket främst handlar om små drönare utrustade med kameror (Söderlind & Tjärnström 2017). Gallring med hjälp av drönare är en ny teknik som är ett tidigt utvecklingsstadium. Vad som menas med gallringsdrönare (GDR) i denna rapport är en stor eldriven drönare med tillkopplat kombinerat skördar- och skotaraggregat som utför gallringsarbetet. I princip är det en flygande drivare som fäller, kvistar samt transporterar ett träd åt gången till avlägg. Det finns idag inga stora drönare på marknaden som utför gallringsarbete, varför denna rapport bygger på en teoretisk potential.

Gallring med drönare har flera potentiella fördelar jämfört med markgående maskinsystem. Till fördelarna hör mindre risk för körskador, att de inte är beroende av stickvägar samt att maskinen kan färdas över dålig terräng och vattendrag. Detta beror på att en GDR flyger ut till gallringsbeståndet, i stället för att färdas i terrängen. Gallringsdrönaren är inte heller begränsad av tjällossning utan kan arbeta året runt. Av samma anledning blir det även möjligt att gallra myrholmar sommartid utan att göra en väg till trakten. Dock kan drönaren begränsas av exempelvis regn, snöfall och vind.

## 1.4 Dagens maskiner för gallringsarbete

### 1.4.1 Skördare och skotare

I dagens skogsbruk används ofta tvåmaskinsystem (TMS), vilket innebär att en skördare utför avverkningsarbete och skotaren utför transport till avlägg. Varför TMS används beror på att kortvirkesmetoden (CTL) tillämpas. Det är en metod där skördaren fäller, kvistar och apterar träden utifrån en given prislista. Stockarna sorteras sortimentvis i olika högar i anslutning till stickvägar. Dessa hämtas sedan upp av skotaren som fraktar ut sortimenten till avlägg (Nurminen et al. 2006).

### 1.4.2 Drivare

Det betydligt ovanligare, men förekommande enmaskinsystemet (EMS) består av en drivare som utför både skördaren och skotarens arbete. Maskinen kör ut i beståndet, fäller träden och apterar dessa på lastbäraren. Då maskinen är utrustad med lastbärare läggs aldrig de apterade stockarna på marken, utan direkt på drivaren. Därefter transporteras de avverkade stockarna till avlägg (Vesterlund 2016). Systemet var mer aktuellt i början av 2000-talet, men förekommer med viss omfattning i slutavverkning idag, där tanken är att systemet i framtiden kan användas i gallring (Berggren & Öhrman 2017).

## 1.5 Syfte och avgränsning

Denna rapportens huvudsyfte är att besvara hur väl en drönare står sig i produktivitet samt kostnadsmässigt jämfört med dagens en- och tvåmaskinsystem.

Arbetet avsåg inte att besvara frågor kring gallringsdrönarens tekniska detaljer.

## 2 Metod

### 2.1 Systemanalys

En systemanalys är studier av olika system där för- och nackdelar jämförs. För att analysen ska bli rättvis är det viktigt att samtliga system har samma grundförutsättningar. De olika systemen ska kunna analyseras, modelleras och ett logiskt alternativ ska kunna urskiljas. En systemanalys genomförs för att inom det studerade området, lösa problem, hitta nya möjligheter samt ge nya inriktningar (Barrier 2003).

För att jämföra en GDR med andra typer av maskinsystem på marknaden, gjordes systemanalyser av produktiviteten för respektive system. Analyserna utfördes med samma medelstamvolym och skotningsavstånd för samtliga maskinsystem.

### 2.2 Val av studerad medelstamsvolym

Vid genomförda analyser användes en medelstamsvolym mellan 0,05 – 0,15 m<sup>3</sup>fub, vilket för tall motsvarar en vikt av 24 till 71 kg (SvensktTrä 2022). Detta intervall inkluderar både den låga stamvolymen, som är vanligt i förstagallring, samt en grövre stamvolym som är vanligare i efterföljande gallring (Agestam 2015).

Det bedömdes mest sannolikt att en GDR kommer användas i bestånd där medelstamsvolymen är omkring 0,05 – 0,15 m<sup>3</sup>fub, varför inga analyser genomfördes för grövre medelstam.

### 2.3 Maskinmodellering

För att möjliggöra jämförelser mellan de olika maskinsystemen krävdes att modeller sammanställdes för de olika maskintyperna. Modellen för GDR är byggd på antaganden, då ingen variant finns tillgänglig på marknaden. EMS-modellen är uppbyggd efter Ljungdahls (2004) tidsstudier på en drivare som arbetat i



förstagallring av tall. TMS-modellen är skapad efter Nurminen et al. (2006) modeller baserade på tidsstudier i olika gallringsbestånd.

För samtliga tre modeller har ett generellt medelavstånd fram till gallringsbeståndet använts, vilket motsvarar skotningsavståndet för att komma fram till beståndet och inte ett exakt avstånd till varje aktuellt gallringsområde.

### 2.3.1 Skördare

Modellen för skördaren är baserad på Nurminen et al. (2006) analys av tidsstudier. Medelstamsvolymen för tall var den variabel som ingick i modellerna. I Tabell 1 redovisas skördarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.

Tabell 1. Skördarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.

Arbetsmoment	Förklaring	Tidsåtgång (min/m <sup>3</sup> fub)
Förflyttning (t1)	Startar då maskinen rör sig och slutar då maskinen stannar för att utföra ett annat moment.	0,100
Positionering för fällning (t2)	Kran förs ut och aggregatet greppar trädet.	0,100
Fällning (t3)	Trädet kapas, momentet slutar då valsarna börjar mata trädet.	0,093+0,101* medelstamsvolym
Upparbetning (t4)	Valsarna börjar mata trädet, apterar och sorterar efter sortiment.	0,0359+1,1368* medelstamsvolym
Kranrörelse in(t5)	Kranen tas in, momentet slutar då kranen är framför maskinen och redo för att positionera sig för nästa träd.	0,0490
Underväxtröjning (t6)	Röjning av underväxt som är i vägen för gallringsträden.	0,0170
Flytta toppar och grenar (t7)	Flytta toppar och grenar från sortimentshögar till bas- och stickvägar.	0,0070

### 2.3.2 Skotare

Modellen för skotaren är baserad på Nurminen et al. (2006) analys av tidsstudier. De faktorer som påverkar tidsåtgången är timmervolym i stickvägar, skotningsavstånd (enkel väg), lastkapacitet, sortiment samt operatören. I Tabell 2 redovisas skotarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.

Tabell 2. Skotarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.

Arbetsmoment	Förklaring	Tidsåtgång (min/m <sup>3</sup> fub)
Körning tom (t1)	Maskinens förflyttning från avlägg fram till att lastning påbörjas.	(0,7123+0,0149* skotningsavstånd)/lastvoly m
Körning lastad (t2)	Maskinens förflyttning från det att sista stocken lastats och maskinen kör fram till avlägg.	(0,9347+0,0185* skotningsavstånd)/lastvoly m
Körning samtidigt som lastning (t3)	Den maskinförflyttning som sker i samband med lastning.	0,3367
Lastning (t4)	Kranarbete för lastning. Kran ut , gripa tag om stockar, kran in, lägga på lastbärare.	(2,022+(0,211/lastvoly m))+0,755
Lossning + körning samtidigt som lossning (t4)	Kranarbete för att lossa lasten samt den maskinförflyttning som krävs vid välta för att tömma lastbärare.	0,522+0,041+0,008

## 2.4 Modellerings drivare

Drivarmodellen baserades på Ljungdahls (2004) tidsstudier av en Valmet 801 combi. Denna var utrustad med ett 330 Duo drivaraggregat och hade en medelstamvoly om 7,7 m<sup>3</sup>fub. Försöksbeståndet hade en medelstamvoly på 0,058 m<sup>3</sup>fub. Arbetsmetoden denna drivare använde sig av var en så kallad "Fäll-metod". Drivaren körde först in i gallringsbeståndet och samtliga träd fälldes samt upparbetades till högar på marken. När maskinen nått slutet av stickvägen vände den och körde tillbaka efter samma stickväg och lastade på de tidigare avverkade stockarna. Samtidigt avverkade den träd i mellanzonen och upparbetade dessa direkt i lastbäraren. Just "fäll-metoden" valdes som grund för drivar-modellen eftersom den visade sig vara mest effektiv i Ljungdahls studier.

Tidsstudierna omarbetades till en EMS-modell där slutprodukten var antal m<sup>3</sup>fub per G<sub>0</sub>-timme, med stamvoly och skotningsavstånd (enkel väg) som de enda variablerna (

Tabell 3). Detta gjordes för att detta maskinsystem enkelt skulle kunna jämföras med GDR och TMS.

Tabell 3. Drivarens arbetsmoment samt tidsåtgång för dessa.

<b>Ordning</b>	<b>Moment</b>	<b>Förklaring</b>	<b>Tidsåtgång</b>	<b>Enheter</b>
1	Förflyttning tom	Körning olastad från avlägg till bestånd och första träd för avverkning.	0,06302* skotnings- avstånd	s/m <sup>3</sup>
2	Kran ut avverkning	Aggregat förflyttas och placeras på trädstammen.	8,13	s/träd
4	Fällning och upparbetning	Trädet kvistas, apteras och stockarna sorteras i sortiment på lastbäraren eller på marken.	13,17	s/träd
5	Kran in avverkning	Aggregatet förs tillbaka efter upparbetning och är redo för att föras mot nästa träd.	3,05	s/träd
6	Rotera/tilta/förflytta lastbäraren	Lastbäraren förflyttas för aggregatet ska kunna direktlasta/lasta.	3	s/m <sup>3</sup>
7	Förflyttning under avverkning	Drivaren förflyttar sig för att nå nya träd	5,64	s/träd
8	Ordna lass (sker kontinuerligt)	Eventuell justering av lass.	6	s/m <sup>3</sup>
9	Röjning (sker kontinuerligt)	Röjning av mindre träd för att komma åt gallringsträd eller för att få bättre sikt.	0,073	s/träd
10	Förflyttning med lass	Förflyttning med lass sker från det att den sista stocken lagts på	0,086* skotnings- avstånd	s/m <sup>3</sup>

lastbäraren och maskinen  
förflyttas till avlägg.

<b>Ordning</b>	<b>Moment</b>	<b>Förklaring</b>	<b>Tidsåtgång</b>	<b>Enheter</b>
11	Kran ut lossning	Kranen fälls ut, lossar lass och lägger denna på avlägg.	22,2	s/m <sup>3</sup>
12	Kran in lossning	Sker från att gripen lossat lass på avlägg och kranen fälls in för att gripa tag om last.	15,6	s/m <sup>3</sup>
13	Förflyttning på avlägg	Maskinens förflyttning på avlägget vid lossning.	0,06	s/m <sup>3</sup>
14	Ordna välta	Kranarbete för att skapa en bra välta.	1,8	s/m <sup>3</sup>
15	Övrigt	Övriga tidspåverkande faktorer.	1,2	s/m <sup>3</sup>

## 2.5 Terrängtransportkorrektion

När markgående maskiner färdas i terräng kan de sällan köra raka vägen, då de tvingas undvika olika typer av hinder. Det faktiska avståndet som en markgående maskin färdas, även kallat terrängtransportavståndet (skotningsavstånd), alltid blir längre än raka vägen. För att korrigera avståndet användes en terrängtransportskorrektion, även kallat "slingertillägg". Korrektionen beräknades som den kvot mellan den faktiska körsträckan och den linjära sträckan (Tiger 2012). Vid beräkning av tidsåtgången för skotning med EMS och TMS användes en terrängtransportskorrektion på 1,35 som grundar sig på studier gjorda av von Segebaden (1964). Eftersom en GDR kan flyga fågelvägen/raka vägen till beståndet ansågs terrängtransportskorrektion vara överflödigt för det maskinsystemet.

## 2.6 Arbetssätt GDR

Då ingen GDR fanns tillgänglig på marknaden för gallring vid rapportskrivningen krävdes flera antaganden om arbetssätt innan en momentindelning kunde genomföras. De antaganden som gjordes om gallringsdrönarens arbetssätt var att den flyger ut, väljer ett träd som ska gallras ut och positioneras ovanför det. Valet av träd utförs antingen efter manuellt förvalda träd, eller med någon form av kamerateknik. Gallringsdrönaren antas använda ett speciellt aggregat som fattar tag i toppen av trädet, en gripklo fästs och trädet kvistas uppifrån och ned. Ytterligare en gripklo fästs vid roten varefter trädet kapas. Gallringsdrönaren lyfter sedan upp den kvistade stammen ur beståndet i ett vertikalt läge. Innan transport till avlägg påbörjas vrids denna till ett horisontellt läge för att sedan flygas bort. Gallringsdrönaren lastar sist av stammen i helstamslängd vid avlägg och flyger tillbaka till beståndet för fortsatt gallring.

## 2.7 Modell för gallringsdrönaren

För att ta fram en modell som kunde användas vid beräkning av tidsåtgång samt produktivitet för en GDR, krävdes flera olika antaganden om hur arbetsmetodiken kan se ut i framtiden. Gallringsdrönarens potentiella arbetssätt delades upp i olika arbetsmoment, likt hur traditionella arbetsmomentindelningar ser ut för en- och tvåmaskinsystem (Ljungdahl 2004; Dahlin 2008; Nordin 2011), se Tabell 4.

Tabell 4. Beskrivning av gallringsdrönarens (GDR) potentiella arbetsmoment

Ordning	Arbetsmoment	Förklaring
1	Flygning tom	Flygning från avlägg till trakt, utan last.
2	Positionering	Positionering av GDR ovanför träd, samt placering av aggregat på träd.
3	Upparbetning	Kvistning av trädet samt rotkapning/fällning.
4	Bortlyft	Upplyft av rotkapad och kvistad stam från beståndet.
5	Flygning lastad	Uttransport av stam, från trakt till avlägg.
6	Lossning	Avlastning av stam vid avlägg.

## 2.8 Gallringsdrönarens arbetsmoment

### 2.8.1 Arbetsmoment 1 – Flygning tom

Momentet flygning tom påbörjas alltid vid avlägg, antingen vid start av arbetsdag eller efter att transporterade stammar har lossats. Avslut för momentet sker när gallringsdrönaren har kommit fram till det området i trakten som ska gallras. Momentet är i modellen endast beroende av två variabler, skotningsavstånd i enheten meter och flyghastighet i enheten meter per sekund (m/s). Slutprodukten är en tidsåtgång för momentet som beskrivs i tidsenheten sekunder (s).

$$\textit{Flygning tom} = \frac{\textit{Skotningsavstånd}}{\textit{flyghastighet}}$$

### 2.8.2 Arbetsmoment 2 – Positionering

Positioneringsmomentet startar när gallringsdrönaren kommit fram till det område i trakten som står på tur att gallras och ska välja ut samt placerar sig över valt träd. Momentet avslutas när gallringsdrönaren har positionerat sig ovan trädet och placerat skördaraggregatet på trädet. Detta moment är endast en konstant tidsåtgång per träd, som i analysen inte är beroende av några variabler. Tidsåtgången för momentet presenteras i antal sekunder per träd (s/träd).

### 2.8.3 Arbetsmoment 3 – Upparbetning

Upparbetningen omfattar kvistning samt fällning av trädet. Momentet startar när gallringsdrönaren placerat skördaraggregatet på trädet och slutar då det rotkapats och drönaren stabiliserats inför flygning. Momentet delades upp i två delmoment, kvistning och fällning vardera beroende av olika variabler.

#### 2.8.3.1 Delmoment 1 – Kvistning

Beräkningen av tidsåtgången av kvistningen för GDR grundades på tidsstudier gjorda av Nurminen et al. (2006) där en regressionsmodell för tidsåtgång för upparbetning av tall i gallring användes. Tidsåtgången för momentet påverkas av medelstamsvolymen, i enheten  $m^3$ ub. Produkten av beräkningen inom parenteserna gav tidsåtgången för kvistning i enheten minuter per träd. Denna multiplicerades sedan med 60 för att ge slutprodukten av beräkningen som var tidsåtgången för kvistning i enheten sekunder per träd (s/träd).

$$Kvistning = (0,0359 + 1.1368 * Medelstamvolym) * 60$$

Kvistningen med GDR modellen sker från topp till rot, aggregatet fästs i toppen av trädet för att sedan kvista på vägen ned. Detta är tvärtemot hur konventionella skördare kvistar. Detta bedömdes dock som den enklaste lösningen för denna maskintyp då den är luftgående, samt att det kan bli problematiskt att fästa aggregatet i trädets botten på grund av skylande grenverk.

#### 2.8.3.2 Delmoment 2 – Fällning

Fällningen innefattar endast själva rotkapningen av trädet. Beräkningen av tidsåtgången av fällningen för GDR är grundad på tidsstudier gjorda av Nurminen, et al. (2006), där regressionsmodellen för tidsåtgång för fällning användes. Tidsåtgången för detta moment påverkas av variation i medelstamsvolym i enheten m<sup>3</sup>fub. Produkten av beräkningen inom parenteserna ger tidsåtgången för fällning i enheten minuter per träd. Denna multiplicerades sedan med 60 för att ge slutprodukten av beräkningen som var tidsåtgången för fällning i enheten sekunder per träd (s/träd).

$$Fällning = (0,093 + 0,101 * Medelstamvolym) * 60$$

Att notera är att Nurminen et al. (2006) regressionsmodell även medräknar tiden det tar för trädet att falla till marken, vilket aldrig kommer vara aktuellt för GDR då denna kommer lyfta upp den kvistade stammen stående ur beståndet. Däremot tillkommer en tid efter att trädet kapats där gallringsdrönaren behöver stabiliseras innan arbetsmomentet bortlyft kan påbörjas. Eftersom även stabiliseringen är beroende av tyngden av trädet, är medelstamsvolymen något som påverkar denna del av momentet. Därmed antogs att motsvarande tid som det tar för trädet att falla är densamma som tiden det tar för gallringsdrönaren att stabilisera trädet, givet samma medelstamsvolym. På detta vis kan även stabiliseringen vara beroende av medelstamsvolymen i modellen, på ett liknande sätt som i verkligheten.

#### 2.8.4 Arbetsmoment 4 – Bortlyft

Momentet startar när gallringsdrönaren kapat trädet vid roten, stabiliserats och lyfter det från beståndet. Trädet vinklas till horisontellt läge i samband med att det lyfts. Avslut för momentet sker när stammen är upplyft ur beståndet, vinklat horisontellt läge och redo att skotas ut till avlägg. Detta moment består av två variabler, fast tidsåtgång för bortlyft i sekunder per träd (s/träd) samt stamvolym i m<sup>3</sup>fub. Produkten av dessa variabler är total tidsåtgång för bortlyftsmomentet i sekunder (s).

$$Total\ tidsåtgång\ bortlyft = Fast\ tidsåtgång\ bortlyft * (1 + medelstamvolym)$$

En högre medelstamsvolym kommer innebära högre vikt, vilket i sin tur innebär en högre tidsåtgång för bortlyftsmomentet. Beräkningen tar hänsyn till detta genom en större medelstamsvolym ger en linjär påverkan på den totala tidsåtgången för bortlyft. Den fasta tidsåtgången för bortlyft är en konstant som innebär den tid det tar för gallringsdrönaren att lyfta upp och vinkla den minsta studerade stammen till horisontellt läge.

### 2.8.5 Arbetsmoment 5 – Flygning lastad

Momentet påbörjas när gallringsdrönaren är redo att flyga med en stam från trakten och avslutas när denna når avlägget. Det innefattar alltså endast flygning med last från trakt till avlägg. Variablerna för detta moment är skotningsavståndet i meter, grundhastigheten (dvs flyghastigheten tom) i meter per sekund (m/s), lastpåverkan i procent (%) och medelstamsvolym i m<sup>3</sup>fub. Slutprodukten är den totala tidsåtgången för flygning lastad i sekunder.

$$\begin{aligned} & \textit{Flygning lastad} \\ & = \textit{skotningsavstånd} / (\textit{Grundhastighet} * (1 - (\textit{lastpåverkan} * (0,95 \\ & + \textit{medelstamsvolym}))) \end{aligned}$$

Lastpåverkan är den procentuella minskningen som den lägsta studerade medelstamsvolymen (0,05 m<sup>3</sup>fub) har på flyghastigheten tom. Lastpåverkan på 30 procent innebär alltså att flyghastigheten blir 30 procent lägre lastad jämfört med flygning tom. För att modellen skulle ta hänsyn till att en större och tyngre stam sannolikt begränsar flyghastigheten ytterligare, är medelstamsvolymen en påverkande faktor. Det innebär att om medelstamsvolymen ökar kommer även lastpåverkan öka, vilket gör att flyghastigheten lastad minskar.

### 2.8.6 Arbetsmoment 6 – Lossning

Lossningsmomentet startar när maskinen anländer med stammen till avlägget och avslutas när denna är avlastad och gallringsdrönaren är redo att flyga tillbaka till trakten.

Aptering ingår inte i momentet utan antas utföras med en extern maskin. Tidsåtgången modelleras med hjälp av två variabler, tidsåtgång för lossningen (s/stam) som justeras utifrån stamvolym (i m<sup>3</sup>fub). Produkten av dessa variabler är total tidsåtgång för lossningsmomentet i sekunder (s).

$$\begin{aligned} & \textit{Total tidsåtgång lossning} \\ & = \textit{Fast tidsåtgång lossning} * (0,95 + \textit{medelstamsvolym}) \end{aligned}$$

Den fasta tidsåtgången för lossningen är en konstant som innebär den tid det tar för gallringsdrönaren att lasta av den lägsta studerade medelstamsvolymen (0,05 m<sup>3</sup>fub) på avlägget.



## 2.9 Val av variabler

För att skapa en grundmodell som de andra maskinsystemen kunde jämföras med krävdes att ett antal variabler för gallringsdrönarens olika momenten bestämdes. Variablerna togs fram utifrån egna uppskattningar över vad som är en trolig och rimlig tidsåtgång/påverkan för de olika momenten. De bygger därmed inte på några studerade maskinsystem eller praktiska försök. Anledningen till detta är att det inte finns något färdigutvecklat system och därmed finns inte heller någon möjlighet att få fram tidsåtgång för de olika momenten.

För att komplettera de uppskattade variablerna utfördes en känslighetsanalys som undersökte hur förändring påverkade den totala tidsåtgången vid andra variabler än de som anges i Tabell 5.

Tabell 5. Använda variabler i gallringsdrönarens grundmodell.

Variabel i gallringsdrönarmodellen	Vald nivå
Grundhastighet (Flyghastighet tom)	5 m/s
Positionering	25 s/träd
Lyft	13 s/träd
Lastpåverkan	30%
Lossning	30 s/träd

## 2.10 Genomförda analyser

Olika diagram skapades för att visa hur de olika arbetsmomenten påverkade den totala tidsåtgången för gallringsdrönare vid varierande skotningsavstånd. Arbetsmomenten visades som procentuell andel av den totala tidsåtgången. En medelstam på 0,05 m<sup>3</sup>fub samt skotningsavstånd 100, 400 samt 700 meter användes. För att avgöra hur stor påverkan stamvolym, grundhastigheten, positionering, lyft, lastpåverkan respektive lossning hade på produktiviteten per Go-timme (m<sup>3</sup>fub / GoH), genomfördes ett antal känslighetsanalyser. De enskilda parametrarnas ingångsvärden varierades, vilket gav ett mått för hur viktiga dessa var för resultatet.

Utifrån de framtagna modellerna för maskinsystemen EMS, TMS samt GDR kunde produktiviteten för systemen jämföras över olika skotningsavstånd. Jämförelsen gjordes med grundmodellen för GDR, beskriven i Tabell 5, och en fast medelstamsvolym om 0,05 samt 0,15 m<sup>3</sup>fub. För att analysera hur förändring i gallringsdrönarens olika parametrar påverkade produktiviteten togs tre scenarion fram; bästa-, grund- samt sämsta scenario. Produktiviteten jämfördes vid varierande medelstamsvolym och skotningsavstånd.

Fler analyser genomfördes, där produktiviteten för flera GDR summerades. Produktionsutfallet visade hur många GDR som krävdes för uppnå samma produktivitet som EMS samt TMS vid samma medelstamsvolym och skotningsavstånd.

## 2.11 Timkostnad för gallringsdrönare

En jämförelse gjordes för de olika maskinsystemens kostnader. Amorteringsfaktor, restvärdets nuvärde, kapitalkostnad, fasta kostnader samt rörlig kostnad togs fram, Tabell 6. Därefter beräknades kostnaden per producerad volymenhet (kr/m<sup>3</sup>fub) för en- samt tvåmaskinsystem, vid varierande medelstamsvolym och skotningsavstånd. Därefter multiplicerades denna kostnad med produktiviteten för GDR vid samma förhållanden för att få fram max tillåtna kostnad per timme för GDR gentemot de övriga systemen, Tabell 7.

Exemplmaskinen för EMS var en Komatsu X19 drivare, med en investeringskostnad på 6 000 000 kronor (Berggren & Öhrman 2017). För TMS valdes en Komatsu 825 TX skotare och en Komatsu 901 skördare med investeringskostnader på 2 500 000 kronor respektive 4 000 000 kronor (Komatsu Forest AB 2022). Samtliga priser är exklusive moms.

Anledningen till att en Komatsu X19 drivare användes som kostnadsunderlag istället för maskinen som används i Ljungdahls (2004) drivarförsök är på grund av att den studien genomfördes år 2004. Det har hänt mycket rent kostnadsmässigt på cirka 20 år och att använda en maskinkostnad från 2004 skulle inte ge en rättvis jämförelse mot dagens prisnivåer (SCB 2021). Valet föll på Komatsu X19 som är en förhållandevis ny maskin och den idag enda tillgängliga drivaren på marknaden.

Valet av Komatsu 825 TX och 901 gjordes utifrån att dessa två maskiner är utvecklade för arbete i gallringsskog och inte slutavverkning. Därmed är dessa ett bra exempel på investeringskostnad för ett tvåmaskinsystem i gallringsskog.

Tabell 6. Investeringskostnader för EMS och TMS exklusive moms (Berggren & Öhrman 2018; Komatsu Forest AB 2022)

Maskintyp	Investeringskostnad
Drivare (Komatsu X19)	6 000 000 kr
<b>Totalt enmaskinsystem</b>	<b>6 000 000 kr</b>
Skotare (Komatsu 825TX)	2 500 000 kr
Skördare (Komatsu 901)	4 000 000 kr
<b>Totalt tvåmaskinsystem</b>	<b>6 500 000 kr</b>

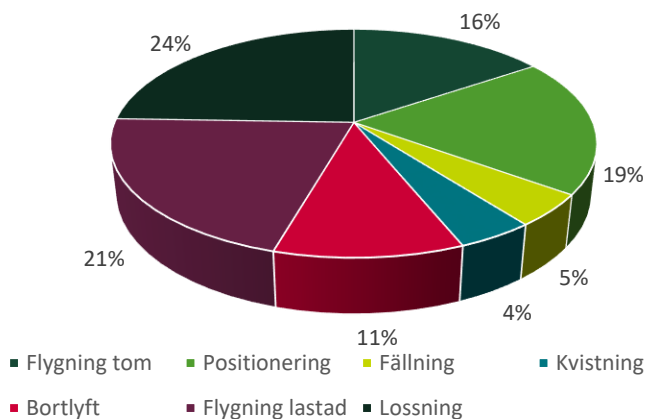
Tabell 7. Investeringskostnad samt maskinkostnads kalkyl för EMS och TMS (Berggren & Öhrman 2017; Komatsu Forest AB 2022)

	<b>Skördare</b>	<b>Skotare</b>	<b>Drivare</b>
	Komatsu	Komatsu	Komatsu
	901	825TX	X19
Maskinkostnad (kr)	4 000 000	2 500 000	6 000 000
Restvärde (% av investering)	600 000	375 000	900 000
Kalkylränta (% av realräntan)	0,07	0,07	0,07
Ekonomisk livslängd (år)	5	5	5
Arbetstid per maskin (h/år)	2800	2800	2800
Personalkostnad (kr/h)	300	300	300
Fast underhållskostnad (kr/år)	155 000	105 000	105 000
Rörlig underhållskostnad (kr/h)	200	160	190
Drivmedelskostnad (kr/h)	196	185	194

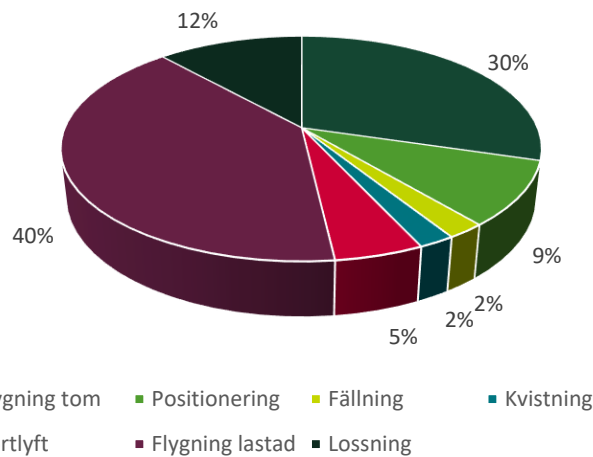
## 3 Resultat

### 3.1 Arbetsmomentens påverkan på total tidsåtgång vid olika förutsättningar

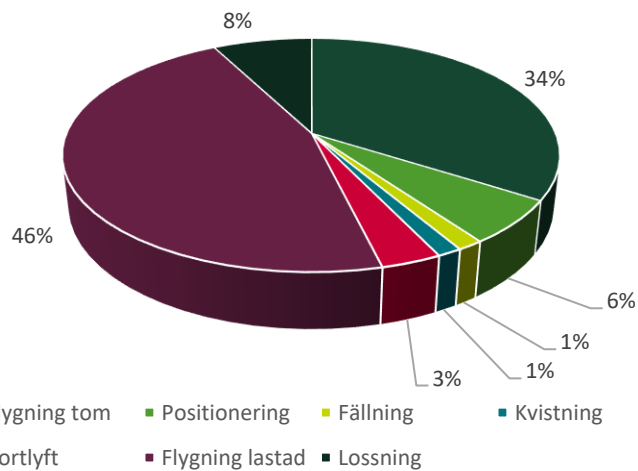
Vid en medelstamsvolym av 0,1 m<sup>3</sup>fub och ett skotningsavstånd på 100 m beräknas gallringen ta 2,1 min/per träd för GDR. Det motsvarar en tidsåtgång på 42 min/m<sup>3</sup>fub, och en produktivitet på 1,4 m<sup>3</sup>/tim. Motsvarande värden för samma medelstamsvolym men 400 meter skotningsavstånd var 4,5 min/per träd, 90 min/m<sup>3</sup>fub och 0,7 m<sup>3</sup>/tim. Vid 700 meter i skotningsavstånd så var det 6,9 min/per träd, 137,1 min/m<sup>3</sup>fub och 0,4 m<sup>3</sup>/tim. De olika avstånden påverkade arbetsmomentens relativa fördelning, vilket visas i Figur 1- 3.



Figur 1. Enskilda momentens påverkan på total tidsåtgång, skotningsavstånd 100 meter.



Figur 2. Enskilda momentens påverkan på total tidsåtgång, skotningsavstånd 400 meter.



Figur 3. Enskilda momentens påverkan på total tidsåtgång, skotningsavstånd 700 meter.

Resultatet visar att flygning tom och lastad utgör en liten andel av tidsåtgången vid korta skotningsavstånd, men en större vid längre avstånd. Den visar även att positionering, bortlyft och lossning utgör en stor andel av tidsåtgången vid korta skotningsavstånd, men en mindre andel vid längre avstånd. Lägst andel av tidsåtgången har fällning och kvistning vid korta skotningsavstånd, där andelen blir närmast obefintlig vid längre avstånd.

## 3.2 Produktivitet med olika antaganden

Känslighetsanalysen visade att variation i parametrarna stamvolym, flyghastighet tom samt lastpåverkan har en stor betydelse för produktionsvolymen. Lyft, lossning samt positionering har en mindre betydelse för produktionsvolymen.

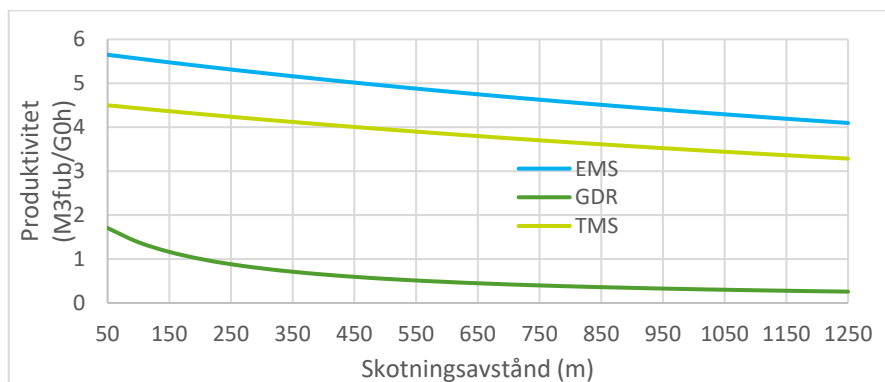
Stamvolym hade en stor påverkan på produktiviteten, men var beroende av traktens egenskaper. Därmed hade stamvolym inget att göra med gallringsdrönarens tekniska egenskaper. Denna var i stället en indikation för i vilka bestånd en gallringsdrönare var som mest produktiv. Bortsett från stamvolymen hade grundhastigheten den största påverkan på produktiviteten, vilket blir tydligare ju längre skotningsavståndet blir, se Tabell 8.

Tabell 8. Känslighetsanalys över olika parametrar i GDR-modellen, samt påverkan på produktivitet vid olika skotningsavstånd. (Fetstil markerar parametrarna för gallringsdrönarens grundmodell)

Analys Nummer	Variabel	Nivå	Produktivitet vid tre olika skotningsavstånd (m <sup>3</sup> fub / G <sub>0</sub> h)		
			100 meter	400 meter	700 meter
1	Stamvolym (m <sup>3</sup> fub)	0,05	1.38	0,65	0,42
2		<b>0,10</b>	<b>2.62</b>	<b>1.25</b>	<b>0,82</b>
3		0,15	3.75	1.83	1.21
4	Grundhastigheten (m/s)	1	1.07	0,33	0,20
5		3	2.11	0,86	0,54
6		<b>5</b>	<b>2.62</b>	<b>1.25</b>	<b>0,82</b>
7		7	2.93	1.57	1.07
8		9	3.13	1.82	1.28
9	Positionering (s/träd)	10	2.94	1.32	0,85
10		<b>25</b>	<b>2.62</b>	<b>1.25</b>	<b>0,82</b>
11		40	2.36	1.19	0,80
12	Lyft (s/träd)	5	2.80	1.29	0,84
13		9	2.71	1.27	0,83
14		<b>13</b>	<b>2.62</b>	<b>1.25</b>	<b>0,82</b>
15		17	2.54	1.24	0,82
16		21	2.46	1.22	0,81
17	Lastpåverkan på flyghastighet (%)	10%	2.77	1.40	0,94
18		20%	2.70	1.33	0,88
19		<b>30%</b>	<b>2.62</b>	<b>1.25</b>	<b>0,82</b>
20		40%	2.51	1.16	0,75
21		50%	2.37	1.04	0,67
22	Lossning (s/träd)	10	3.12	1.36	0,87
23		20	2.85	1.30	0,85
24		<b>30</b>	<b>2.62</b>	<b>1.25</b>	<b>0,82</b>
25		40	2.43	1.21	0,80
26		50	2.26	1.17	0,79

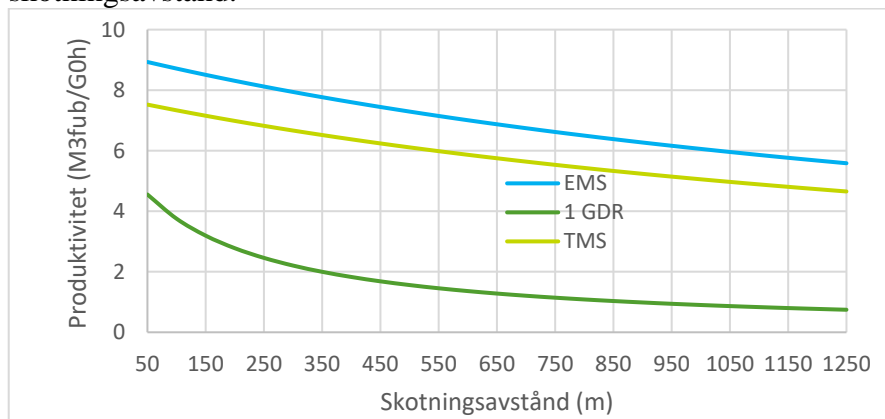
### 3.3 Jämförelse mellan maskinsystemen

Resultatet av jämförelsen mellan maskinsystemen visar att EMS och TMS båda har en avsevärt högre produktivitet än GDR vid samtliga studerade skotningsavstånd, se Figur 4. Generellt är GDR mer produktiv på kortare skotningsavstånd, men produktiviteten sjunker snabbt när skotningsavståndet blir längre. Både EMS och TMS har en högre produktivitet vid samtliga undersökta skotningsavstånd än GDR. Alla system får lägre produktivitet vid längre skotningsavstånd.



Figur 4. Maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd med en medelstamsvolym på 0,05 m<sup>3</sup>fub.

Vid medelstamsvolym 0,15 m<sup>3</sup>fub är EMS och TMS mer produktiva än GDR vid samtliga skotningsavstånd, se Figur 5. Skillnaden mellan EMS, TMS och GDR är mindre på väldigt korta skotningsavstånd, men blir tydligare med ökande skotningsavstånd.



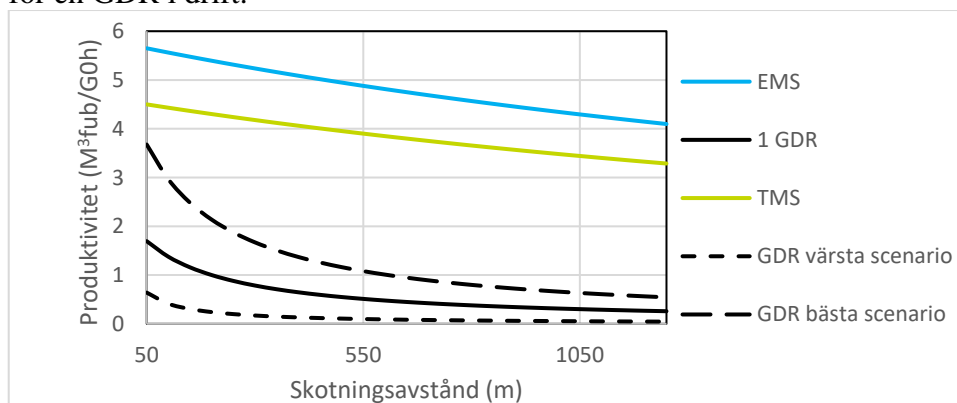
Figur 5. De olika maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd med medelstamsvolym på 0,15 m<sup>3</sup>fub.

En ensam GDR kan inte konkurrera i produktivitet med övriga studerade maskinsystem vid medelstamsvolym 0,05 och 0,15 m<sup>3</sup>fub.

### 3.4 Jämförelse mellan olika scenarion för gallringsdrönaren och övriga maskinsystem

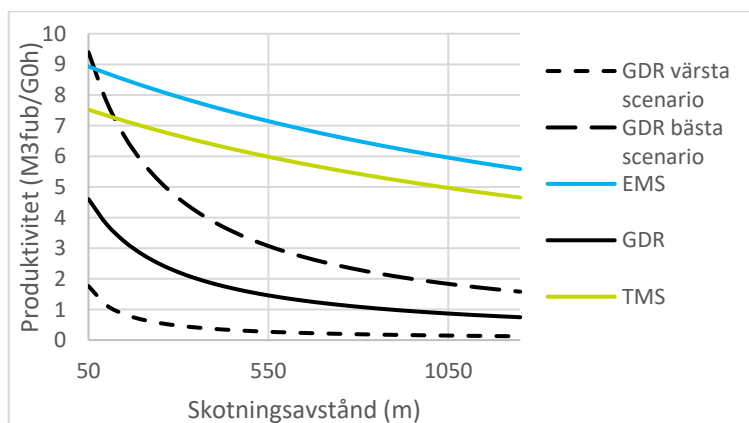
Vid en medelstamsvolym på  $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$  kunde GDR inte vid något av de tre scenariona matcha produktiviteten hos EMS eller TMS vid något skotningsavstånd, se Figur 6.

Resultatet visar även på stora skillnader mellan de olika scenariona sett till produktivitet per Go-timme. De största skillnaderna återfinns vid korta skotningsavstånd, men minskar ju längre avståndet blir. Grundscenariot (benämnd GDR) ovan använder sig av de variabler som tidigare valdes ut till grundmodellen i Tabell 5. Grundscenariot representerar de teoretiskt möjliga produktivitetensvärdena för en GDR i drift.



Figur 6. Maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd och olika scenarion, med medelstamsvolym på  $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$ .

Vid medelstamsvolymen  $0,15 \text{ m}^3\text{fub}$  hade det bästa scenariot för GDR en högre produktivitet än TMS upp till 125 m skotningsavstånd och upp till 75 m för EMS, se Figur 7.

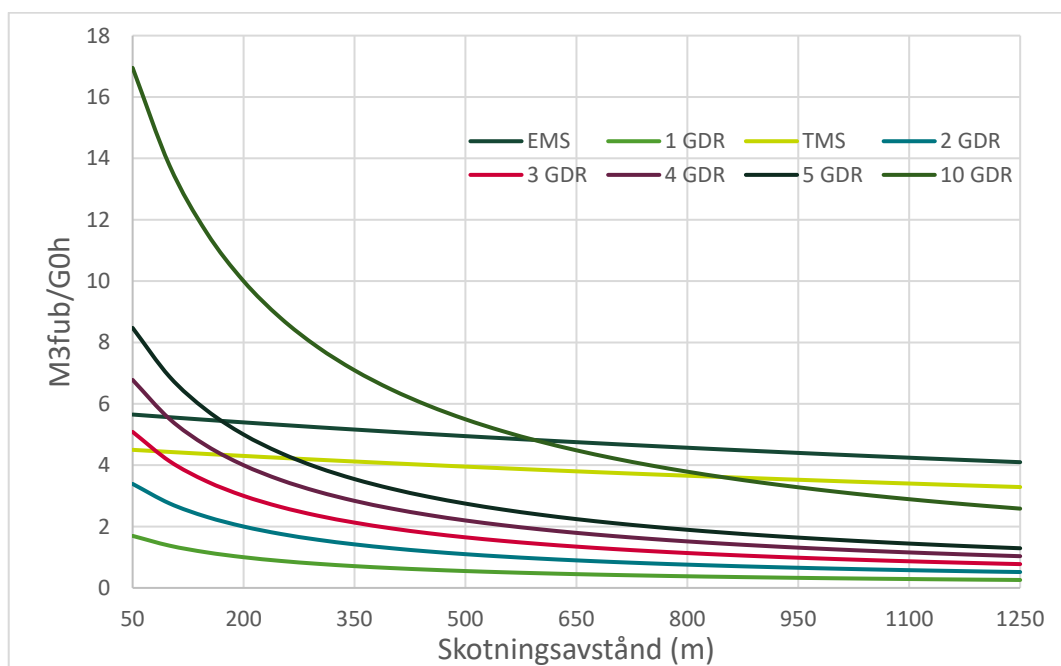


Figur 7. Maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd och olika scenarion, med medelstamsvolym på  $0,15 \text{ m}^3\text{fub}$ .



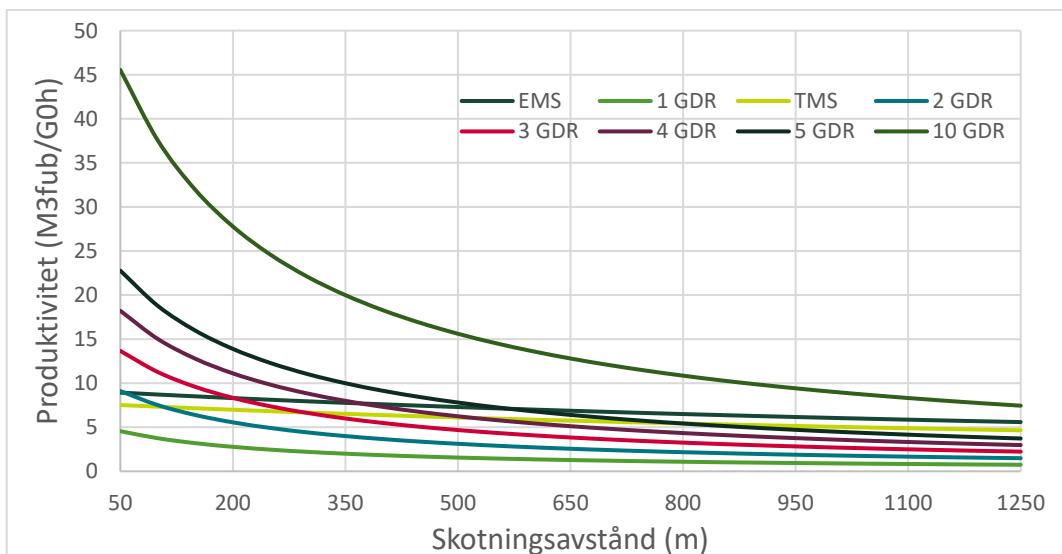
### 3.5 Produktivitet vid användning av flera gallringsdrönare

Vid medelstamsvolymen  $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$  krävdes minst fyra GDR för att nå upp till samma produktivitet som EMS, se Figur 8. Dessa kunde dock bara konkurrera upp till 100 meters skotningsavstånd. Fem GDR överträffade EMS i produktivitet upp till 175 meter, men kunde därefter inte konkurrera. För att uppnå samma produktivitet som TMS krävdes tre GDR och dessa kunde då matcha produktiviteten upp till ca 75 m. Fem GDR var mer produktiva än TMS upp till 250 m. Tio GDR var mer produktiva än EMS upp till 600 m och TMS upp till skotningsavstånd på 850 m.



Figur 8. De olika maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd samt varierande antal GDR, med medelstamsvolym på  $0,05 \text{ m}^3\text{fub}$ .

När medelstamsvolymen för analysen ökade till  $0,15 \text{ m}^3\text{fub}$  kunde två gallringsdrönare matcha produktiviteten av EMS och TMS på korta avstånd, se Figur 9. Fem GDR var mer produktiva än EMS upp till skotningsavstånd på 575 meter, där samma brytpunkt för TMS var 775 meter. Användningen av tio GDR vid en medelstamsvolym på  $0,15 \text{ m}^3\text{fub}$  hade en produktivitet som översteg både EMS och TMS på samtliga studerade skotningsavstånd. Effektiviteten av att använda tio GDR avtar snabbt. Produktiviteten vid skotningsavstånd 50 meter vid  $46 \text{ m}^3\text{fub}/\text{G0h}$  halveras efter 275 meter. Detta är något som inte sker för EMS eller TMS där produktiviteten avtar närmast linjärt när skotningsavståndet ökar.



Figur 9. De olika maskinsystemens produktivitet vid varierande skotningsavstånd samt varierande antal GDR, med medelstamsvolym om 0,15 m³fub.

Vid korta avstånd och hög medelstamsvolym krävs färre antal GDR för att produktiviteten ska vara densamma som hos EMS samt TMS än vid längre avstånd och lägre medelstamsvolym, se Tabell 9. Det krävs fler GDR för att hålla samma produktivitet som EMS än TMS. Vid högre medelstamsvolym krävs färre antal GDR, även vid längre skotningsavstånd.

Tabell 9. Antal GDR som krävs för att uppnå samma produktivitet som TMS samt EMS (inom parentes), vid varierande medelstamsvolym och skotningsavstånd.

Stamvolym (m³fub)	Skotningsavstånd (m)					
	50 m		100 m		500 m	
	TMS	EMS	TMS	EMS	TMS	EMS
0,05	3	4	4	5	8	10
0,10	3	3	3	3	6	7
0,15	2	2	2	3	4	5

### 3.6 Kostnader för gallringsdrönare

Kostnaden per timme för TMS systemet blev 1939 kr och för EMS 1189 kr, se Tabell 10.

Tabell 10. Kostnader för EMS och TMS

Variabel	Skördare	Skotare	Drivare
Amorteringsfaktor (A)	0,24	0,24	0,24
Restvärdets nuvärde (Rn)	427 792	267 370	641 688
Kapitalkostnad (Kkap)	871 228	544 518	1 306 843
Fasta kostnader (Kfast)	367	232	504
Rörlig kostnad (Krörl)	696	645	684
Kostnad per timme (kr/h)	1062	877	1189

De beräkningar som gjordes för kostnaderna gällande GDR, EMS och TMS resulterade i att drönaren får kosta mer per timme ju grövre medelstammen är, men mindre med längre skotningsavstånd, se Tabell 11.

Tabell 11. Visar maximal timkostnad per GDR för att uppnå samma kubikmeterkostnad som en- och tvåmaskinsystem, vid varierande medelstam och skotningsavstånd.

Skotningsavstånd 50 m		
Medelstamsvolym m <sup>3</sup> fub	Maximal timkostnad GDR gentemot EMS Kr/h	Maximal timkostnad GDR gentemot TMS Kr/h
0,05	358	380
0,10	486	490
0,15	608	589
Skotningsavstånd 100m		
Medelstamsvolym m <sup>3</sup> fub	Maximal timkostnad GDR gentemot EMS Kr/h	Maximal timkostnad GDR gentemot TMS. Kr/h
0,05	296	313
0,10	410	409
0,15	515	497
Skotningsavstånd 500m		
Medelstamsvolym m <sup>3</sup> fub	Maximal timkostnad GDR gentemot EMS Kr/h	Maximal timkostnad GDR gentemot TMS Kr/h
0,05	133	251
0,10	197	194
0,15	257	245

## 4 Diskussion

Givet de analyser som genomförts är inte en ensam GDR lika effektiv i gallring jämfört med TMS och EMS. Produktiviteten hos en GDR motsvarade vid de kortaste studerade skotningsavstånden cirka 40 procent av en- och tvåmaskinsystemens produktivitet, vid en medelstamsvolym på 0,05 m<sup>3</sup>fub. Vid en medelstamsvolym på 0,15 m<sup>3</sup>fub var produktiviteten för GDR 55 procent av den för en- och tvåmaskinsystemen.

Trots låg produktivitet kan det finnas andra aspekter för att tillämpa drönargallring. Målgruppen kan komma att spela roll, exempelvis för en enskild skogsägare där andra värden kan väga tyngre än högsta möjliga produktivitet (Sundström 2019). Några värden kan vara mindre kalyta och högre tillväxt. Drönargallring innebär mindre kalyta och tidigare studier har påvisat att gallring utan stickvägar leder till högre tillväxt (Agestam 2015).

Exakt hur apteringen i praktiken ska gå till i ett gallringsdrönarsystem är däremot osäkert, vilket är anledningen varför denna rapport inte behandlat ämnet mer ingående. Aptering av stammen antas utföras av en separat maskin antingen direkt på avlägget eller framme vid industrin. Det innebär att kostnaderna ökar ytterligare för GDR-systemet och timkostnadsutrymmet minskar, givet att denna ska vara jämförbar med EMS och TMS. Däremot öppnar aptering vid avlägg upp möjligheten för mer avancerad aptering med exempelvis en datortomograf, vilket kan höja utbytet och värdet i stocken (Kihlgren 2020).

Användningen av en drivare i gallring är idag väldigt begränsad, vilket huvudsakligen beror på att ingen drivare anpassad för gallring finns tillgänglig på marknaden. Under tidigt 2000-tal hade dåvarande Valmet, numera Komatsu, en maskin (Valmet 801 Combi) lämpad för detta ändamål (Gyllin 2014). Försök utförda med denna maskin är också vad den använda EMS-modellen är byggd på.

Anledningen till att en drivare användes som jämförelse mot GDR-systemet var för att EMS och GDR är ganska lika i arbetssätt. Båda maskinsystemen utför själva avverkningsarbetet och skotningen ut till avlägg.

## 4.1 Svårigheter med användning av Nurminens modeller för en drönarens arbetsmoment

Ett problem med användningen av Nurminen et al. (2006) regressionsmodell är att den medräknar tidsåtgången för aptering i kvistningsmomentet. Något som inte är aktuellt för gallringsdrönare som i stället för att aptera i skogen kommer flyga ut träden i helstamlängd. Detta bidrar till att användandet av denna modell för tidsåtgång för kvistning inte helt speglar verkligheten för en GDR, utan därför skulle kunna innebära en överskattning av tidsåtgången. Det är möjligt att kvistningen i praktiken kommer gå snabbare än vad denna modell antar. Ett annat möjligt utfall är att kvistningen från topp och nedåt inte är lika effektiv som det omvända, vilket skulle innebära att tidsåtgången för kvistningsmomentet i stället är underskattad. Trots dessa osäkerheter kring modellen bedömdes denna ändå vara tillämpbar eftersom användandet gör tidsåtgången för kvistning beroende av medelstamsvolym.

## 4.2 Generellt angående en- samt tvåmaskinsystemets modeller

Att en- och tvåmaskinsystemmodellerna är baserade på olika studier gör att jämförelsen av produktivitet mellan dessa inte blir helt rättvis. Det beror på att EMS-modellen bygger på försök utförda i ett bestånd med lågmedelstamsvolym (0,058 m<sup>3</sup>fub), medan TMS-modellen bygger på försök utförda i många olika typer av bestånd. Det finns tidigare studier som undersökt hur produktivitet mellan en- och tvåmaskinsystem skiljer sig, dit vidare funderingar inom detta ämne hänvisas (Berggren & Öhrman 2017). Modellerna för en- och tvåmaskinsystemen kan agera riktmärken för vilken produktivitet som är att förvänta i användning av dessa i gallringar med låg medelstamsvolym. Modellerna kan sedan jämföras med produktiviteten för GDR och ge en generell bild över hur denna presterar gentemot en- och tvåmaskinsystem, vid samma skotningsavstånd och medelstamsvolym.

EMS-modellen i arbetet använder sig av en så kallad "fäll-metod", som innebär mycket tidsåtgång för upparbetning och mindre för skotningen. Det innebär att EMS-modellen inte är lika känslig för längre skotningsavstånd och kunde hålla en jämnare produktivitet. Den stora tidsåtgången för upparbetning ledde däremot till att redan på korta avstånd var produktiviteten relativt låg, men minskade inte mycket på längre avstånd. EMS-modellen var av samma anledning som ovan känsligare för låg respektive hög stamvolym och denna hade en stor påverkan på produktivitet. Ett problem som noterades med EMS-modellen var att denna byggde mycket på studerad tidsåtgång för olika moment i enheten sekunder per träd (s/träd). Momenten i modellen tog inte någon hänsyn till träd med grövre

medelstamsvolym, dvs är tyngre, tar längre tid att hantera. Det är ett samband tidigare studier har visat på (Nurminen et al. 2006). Eftersom EMS-modellen är konstruerad efter studier gjorda vid medelstamsvolym 0,058 m<sup>3</sup>fub blir tidsåtgången och produktiviteten någorlunda korrekt vid medelstamsvolym 0,05 m<sup>3</sup>fub. Därmed kommer EMS-modellen alltid underskatta tidsåtgången för hanteringen av grövre medelstamsvolym, något som i sin tur även innebär en överskattad produktivitet för EMS. Bedömningen är dock att detta inte nämnvärt påverkar resultatet av analyserna, då EMS-modellen trots allt tar hänsyn till medelstamsvolymen i andra aspekter. Då EMS-modellen jämförs med TMS-modellen är produktivitetsökningen för de två systemen likvärdiga i takt med grövre medelstamsvolym. Det tyder på att EMS-modellen, trots den kända underskattningen, ändå speglar en relevant beskrivning av produktiviteten.

### 4.3 Utfall av ekonomiska beräkningar

Utfallet av de ekonomiska beräkningarna visade att om produktiviteten för GDR minskar så måste också timkostnaden vara lägre för att uppnå samma kubikmeterkostnad för gallring som både en- och tvåmaskinsystem. Ökar produktiviteten tillåts en högre timkostnad för GDR, vilket medför att systemet kan antas vara mer tillämpbar i de förutsättningarna där produktiviteten är högre.

Beräkningarna utfördes med en livslängd för samtliga maskinsystem på 5 år, skulle livslängden vara längre hade timkostnaden sjunkit. Vice versa om livslängden skulle minska så skulle timkostnaden öka. Drönargallring kommer troligtvis påverkas av barnsjukdomar under utvecklingen och livslängden blir antagligen kort, vilket talar för hög timkostnad. För att konkurrera med en- och tvåmaskinsystem krävs att timkostnaden är låg.

Vid användandet av flertalet gallringsdrönare så förblir timkostnaden för systemet densamma även om fler drönare används för arbetet. Anledningen till detta är exempelvis då två drönare används så dubblas kostnaden, men även produktiviteten. Det innebär att även fast systemet blir dubbelt så dyrt, så kommer produktiviteten att öka lika mycket, vilket medför att kostnadsökningen som fler drönare innebär tas ut av den ökade produktiviteten. Timkostnaden för GDR-systemet att uppnå samma produktivitet som en- och tvåmaskinsystemet kommer därmed att vara densamma för en drönare som för tio. Den enda skillnaden som användningen av fler GDR innebär är att tidsåtgången för att utföra gallringen kommer minska linjärt utifrån hur många drönare som används. Det innebär att använda sig av flera drönare är positivt ur ett tidsperspektiv, men har ingen påverkan på kostnaden.

## 4.4 Drönare i efterföljande gallring

Något som kan bli en avgörande faktor för om drönare ska gallra skogar i framtiden är hur mycket en ensam drönare kan lyfta. När skogen växer och medelstamsvolymen ökar blir också träden tyngre, vilket gör att kraven på gallringsdrönaren ökar om denna också ska utföra efterföljande gallringar. Värt att notera är att den exakta lastpåverkan är väldigt svår att modellera på ett bra sätt. Att faktorer som vikt, trädlängd och vind kommer ha en påverkan på flyghastigheten är självklart, men hur stor påverkan är däremot svår att veta utan verklighetsbaserade test. En drönare med avverkningsutrustning kanske skulle passa jättebra i en blädningsskog, men då måste drönaren kunna lyfta väldigt stora träd.

Det som är viktigt att väga in är om det är tekniskt möjligt att utföra efterföljande gallringar med GDR. Om inte måste andra maskinsystem som EMS eller TMS användas i stället. Om den totala kalytan minskar vid en förstagallring med drönare så kommer avsaknaden av fullstora stickvägar innebära att dessa måste tas upp vid en andragallring. Det innebär att många av de fördelar som en förstagallring utan stickvägar skapade, varit förgäves (Agestam 2015).

## 4.5 Potentiella problem med uttag av helstam vid drönargallring

Uttag av helstam vid drönargallring kan innebära både svårigheter och fördelar. I svenskt skogsbruk är kortvirkesmetoden standard och det är det systemet industrierna är uppbyggda kring. Därmed kan det bli svårt att få någon att köpa helstam vilket medför att stammarna måste apteras vid avlägg för att kunna säljas till industrin. Detta kan komma att bidra till ökade kostnader för GDR-systemet. Det finns dock fördelar med att göra apteringen vid avlägget. Mer avancerade apteringstekniker kan nyttjas så som aptering utifrån trädets inre egenskaper, vilket har potential att höja värdet av träden.

## 4.6 Framtida studier

Det finns många möjliga frågeställningar som kan tillämpas i framtida studier. Några exempel är hur trädval kan komma att se ut med välutvecklad artificiell intelligens, hur energiförbrukningen kan komma att se ut samt hur laddning/batteribyte ska gå till. Hur olika väder påverkar drönaren och dess tidsåtgång, främst påverkan av vind och nederbörd som regn och snö, men också kyla i de norra delarna av landet. Ytterligare frågeställning kopplat till ekonomiska aspekter är hur kostnaderna kan komma att påverkas av operatörskostnader.

## 5 Slutsats

Gallringsdrönaren kunde inte konkurrera, varken produktivitetmässigt eller kostnadsmässigt med en- och tvåmaskinsystem utifrån de givna förutsättningarna. Systemets produktivitet och kostnad påverkades mycket av låg medelstamsvolym och långa skotningsavstånd. Det finns dock fördelar med tekniken, bland annat kan den minskade risken för skador i beståndet samt den ökade kolinbindningen vara anledningar till att markägaren ändå väljer gallringsdrönaren framför andra maskinsystem. Markägares önskan att prioritera kvalitet och miljömässiga fördelar framför produktivitet och låga kostnader är en stor bidragande faktor till att drönare i framtiden kan komma att gallra våra skogar.



## 6 Referenser

- Agestam, E. (2015). *Skogsskötselserien Nr 7 - Gallring*. Andra upplagan. <https://www.skogsstyrelsen.se/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotselserien--gallring/> [2022-02-22]
- Albrektson, A., Elfving, B., Lundqvist, L. & Valinger, E. (2012). *Skogsskötselns grunder och samband. Skogsskötselserien*. Andra upplagan. Uppsala: Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-1-skogsskotselns-grunder-och-samband.pdf> [2022-03-30]
- Barrier, T. (2003). Systems Analysis. I: Bidgoli, H. (red.) *Encyclopedia of Information Systems*. New York: Elsevier, 345–349. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227240-4/00177-5>
- Berggren, P. & Öhrman, P. (2017). *Jämförelse av tvåmaskinsystem med drivaren Komatsu X19*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/13278/> [2022-03-30]
- Björnheden, R. (2018). *Utvärdering av maskinsystemet MALWA för tidig gallring*. Uppsala: Skogsforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/82a4696935a34522a13fad49f42ba42/arbetsrapport-972-2018.pdf> [2022-02-22]
- Dahlin, A. (2008). *Produktiviteten och kvaliteten vid stickvägs- respektive beståndsgående förstagallring*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. <https://stud.epsilon.slu.se/12103/> [2022-02-22]
- Edlund, L. (2015). *Uttagsnivån i förstagallring och dess inverkan på framtida tillväxt och avkastningspotential i talldominerade bestånd*. [Avancerad nivå, A2E]. <https://stud.epsilon.slu.se/7825/> [2022-04-04]
- Fransson, A. (2008). *Vindskador vid stickväg i 1:a och 2:a gallring i Boxholm, Östergötland*. Alnarp: Sydsvensk skogsvetenskap. <https://stud.epsilon.slu.se/11421/> [2022-02-22]
- Fridman, J. & Wulff, S. (2018). *Skogsdata 2018*. (2018). Umeå. <https://pub.epsilon.slu.se/15496/> [2022-03-04]
- Grönesjö, R. (2016). *Viktiga faktorer för skogsägare vid gallring*. Skinnskatteberg: Skogsmästarskolan. <https://stud.epsilon.slu.se/9664/> [2022-02-22]
- Gyllin, P. (2014). Gallringsdrivare ännu avlägset. *Skogsaktuellt*, 2014 (2). <https://www.skogsaktuellt.se/artikel/44221/gallringsdrivare-nu-avlagset.html> [2022-04-06]
- Jonsson, M. (2014). *En jämförelse avseende beståndsgående-och stickvägs-gående gallringsmaskiner*. Skinnskatteberg: Skogsmästarskolan. <https://stud.epsilon.slu.se/7547/> [2022-04-05]
- Kihlgren, I. (2020). *Optimerad aptering av sågtimmer efter skanning av trädstammar i datortomograf*. Umeå: Skogens biomaterial och teknologi. <https://stud.epsilon.slu.se/15647/> [2022-04-06]
- Komatsu Forest AB (2022). *Prisuppgifter skotare och skördare Komatsu forest AB utifrån intervju med säljare*. [2022-03-30]

- Lagergren, F. & Lindroth, A. (2001). Variation in sapflow and stem growth in relation to tree size, competition and thinning in a mixed forest of pine and spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management*. 188. uppl. Lund: Lunds universitet, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.018>
- Lemardele, C., Estrada, M., Pages, L. & Bachofner, M. (2021). *Potentialities of drones and ground autonomous delivery devices for last-mile logistics*. Oxford: Pergamon-Elsevier Science Ltd. <https://bit.ly/3ucodbC> [2022-02-17]
- Ljungdahl, S.-G. (2004). Drivare i gallring: en jämförande studie av tre arbetsmetoder = Harwarder in thinning : a comparative study of three work methods. Umeå: Sveriges lantbruksuniv.
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B.C., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F. (2014). Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, 5 (4), 557–578. <https://doi.org/10.3390/f5040557>
- Nilssen Klinga, M. (2020). *Små beståndsgående skördares förutsättningar och potential i Sveriges gallringsskogar*. [Avancerad nivå, A2E]. <https://stud.epsilon.slu.se/16281/> [2022-02-22]
- Nilsson, P., Roberge, C. & Fridman, J. (2021). *Skogsdata 2021*. Umeå: Skoglig resurshushållning. [https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata\\_2021\\_webb.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2021_webb.pdf) [2022-03-30]
- Nordin, L. (2011). *Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag i klena gallringar*. [Avancerad nivå, A1E]. <https://stud.epsilon.slu.se/2469/> [2022-02-18]
- Nurminen, T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica*, 40 (2). <https://doi.org/10.14214/sf.346>
- Riksdagsförvaltningen (1993). *Skogsvårdslag (1979:429) Svensk författningssamling 1979:1979:429 t.o.m. SFS 2018:1413 - Riksdagen*. [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/skogsvardslag-1979429\\_sfs-1979-429](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/skogsvardslag-1979429_sfs-1979-429) [2022-03-17]
- SCB (2021). *Priserna i Sverige – Konsumentprisindex (KPI)*. Statistiska Centralbyrån. <http://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/samhallets-ekonomi/kpi/> [2022-03-30]
- Segebaden, G. von (1964). *Studies of cross-country transport distances and road net extension*. (18). Stockholm. <https://pub.epsilon.slu.se/12770/> [2022-03-03]
- Skogsstyrelsen (2022). *Rundvirkespriser 2021*. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/rundvirkespriser/>
- Sundström, L. (2019). *Privata skogsägares preferenser och betalningsvilja vid val av maskinstorlek i gallring*. Umeå: Skogens biomaterial och teknologi. <https://stud.epsilon.slu.se/15002/> [2022-02-22]
- SvensktTrä (2022). *Egenskaper hos barrträ*. Svenskt Trä. <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/egenskaper-hos-barrtra/> [2022-04-04]
- Södergren, O. (2014). *Markskadefri avverkning - från traktplanering till plantering*. Skinnskatteberg: SLU, Skogsmästarskolan. <https://stud.epsilon.slu.se/6877/> [2022-03-30]
- Söderlind, M. & Tjärnström, I. (2017). *Drönare i skogsbruket*. Umeå: SLU, Institutionen för skogens ekologi och skötsel. <https://stud.epsilon.slu.se/9995/> [2022-02-22]

- Tang, L. & Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26 (4), 791–797. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y>
- Thor, M. (2012). Forskning och innovation för produktiv och skonsam skogsteknik - en strategisk fråga för hela den svenska skogsnäringen. *Kungliga skogs- och Lantbruksakademin*, [2022-03-30]
- Tiger, K. (2012). *Jämförelse av skattat och kört skotningsavstånd*. Umeå: Skoglig resurshushållning. <https://stud.epsilon.slu.se/4928/> [2022-02-24]
- Vesterlund, F. (2016). *Kartläggning av överlappande arbetsmoment vid slutavverkning med drivarprototypen Komatsu X19*. Umeå: Skogens biomaterial och teknologi.

## 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. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. 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.