



Resurseffektivitet vid naturvårdsåtgärden katning

Utvärdering av olika katningsutföranden

Eric Nystrand

Självständigt kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2024:05
Umeå 2024



Resurseffektivitet vid naturvårdsåtgärden katning:

Utvärdering av olika katningsutföranden

Eric Nystrand

Handledare: Ola Lindroos, SLU, Skogens biomaterial och teknologi (SBT)
Extern Kontaktperson: Viktoria Tegenfelt, Sveaskog, Natur och miljöspecialist
Examinator: Torgny Lind, SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: G2E
Kurstitel: **Självständigt arbete i Skogsbruksvetenskap**
Kurskod: **EX1015**
Program/utbildning: Skogsvetarprogrammet
Kursansvarig inst.: **Institutionen för skogens ekologi och skötsel**
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2024
Serietitel: Kandidatarbeten i Skogsvetenskap
Delnummer i serien: 2024:05

Nyckelord: Katning, tidsstudie, arbetsmoment, veteranisering, kostnadseffektivitet, tidseffektivitet

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Resurseffektiviteten för den brandefterliknade naturvårdsåtgärden katning studerades för tre metoder; Mekaniserad (Skördare), Motormanuell (Motorsåg) och Manuell (Yxa) med tre standardiserade katningsintensiteter. Tidsåtgångsdata samlades in vid Skatan Ekopark i Västerbotten, fördelat på olika arbetsmoment. Tidsåtgången för arbetsmomentet katning minskade med ökad mekanisering och ökade med ökad katningsintensitet. Kostnadsskillnaden mellan metoderna minskade när tre schablontimkostnader användes för att översätta tidsåtgången för katning per träd till en kostnad per träd. Resultatet visade att det inte fanns någon signifikant skillnad i kostnad för katning med skördare eller motorsåg givet samma katningsintensitet.

Vidare forskning behövs eftersom effektivitetsstudier för naturvårdsåtgärder är ovanliga: både med avseende på resurs- och resultateffektivitet. Studier av fler metoder, katningsintensiteter, samt tidpunkter är av intresse för resurseffektivitet. Framförallt behöver framtida studier fokusera på resultateffektivitet kring katningens effekter på vedkemi, nyckelstrukturer och ekologi för att kombinera resurs- och resultateffektivitet.

Nyckelord: Resurseffektivitet, Naturvårdsåtgärd, Tidseffektivitet, Kostnadseffektivitet, Katning, Katningsintensitet, Mekanisering, Effektivitetsstudier, Resultateffektivitet

Abstract

The resource efficiency of the fire-mimicking conservation action of partial girdling (known as “katning” in Swedish) was studied for three methods; Mechanical (Harvester), Motor-manual (Chainsaw) and Manual (Axe) over three standardized girdling intensities. Time data was collected at Ekopark Skatan in Västerbotten, for different work elements. The time required for the “katning” work element decreased with increased mechanization and increased with increased girdling intensity. The difference between the methods decreased when standard hourly costs were used to translate the time required for girdling per tree into a cost per tree. The results showed that there was no significant difference in cost to girdle with a harvester or chainsaw, assuming the same level of intensity in execution.

Further research is needed as efficiency studies for conservation actions are rare. More studies on methods, girdling intensities, and times are of interest for resource efficiency. Above all, future studies need to focus on result effectiveness in terms of the girdling effects on wood chemistry, key structures, and ecology to combine resource efficiency and result effectiveness.

Keywords: Resource efficiency, Conservation action, Time efficiency, Cost efficiency, Partial girdling (katning), Methods, Girdling intensity, Skatan Eco Park, Work steps, Mechanization, Cost, Efficiency studies, Result efficiency.

Förord

Detta arbete har utförts på kandidatnivå inom huvudområdet skogsbruksvetenskap. Mer än själva arbetet vill jag framhäva den underliggande filosofin: att göra mer med mindre. Detta gäller inte bara inom skogsbruket utan även i samverkan mellan skogsbruk och naturvård. Dessutom uppmuntrar jag fortsatt brobyggande mellan forskning och praktik. Det finns en otrolig kompetens men också ett behov av att studera de åtgärder som utförs i skogsbruket idag. Mycket är nytt och ostuderat, vilket är en fantastisk möjlighet för både utövare och forskare att samarbeta.

Ett särskilt tack riktas till Sveaskog och representanterna Viktoria Tegenfelt och Claes Kindblom, vars samarbete har varit ovärderligt. Tack vare er har den bakomliggande datainsamlingen kunnat genomföras. Jag vill även uttrycka min tacksamhet till alla entreprenörer som generöst låtit sig studeras. Hilda Edlund förtjänar ett stort tack för all hjälp och råd kring den statistiska analysen och programmering i R, som resulterat i korrekta och visuellt tilltalande grafer och tabeller.

Vidare har ett stort antal personer tillfrågats att komma med input och råd längst arbetets gång. Ni vet vilka ni är och jag hade aldrig orkat genomföra arbetet utan att bolla idéer och tankar med er.

Till sist vill jag rikta ett stort tack till min handledare, Ola Lindroos, som trots ett fullspäckt schema alltid har funnits där för att stötta och vägleda mig på ett konstruktivt sätt.

Utan er alla hade denna rapport aldrig blivit verklighet!

Innehållsförteckning

1. Introduktion	6
1.1 Syfte	8
2. Metod och Metodik	9
2.1 Studielokal.....	9
2.2 Behandlingar	11
2.2.1 Metoder.....	11
2.2.2 Katningsintensitet	13
2.2.3 Katningsintensiteter: Svag, Mellan och Hård.....	14
2.3 Försöksdesign.....	15
2.3.1 Block	16
2.3.2 Yta	16
2.3.3 Datainsamling	18
2.3.4 Arbetsmomentindelning.....	18
2.3.5 Överväganden	21
2.3.6 Instruktioner till utförarna	23
2.4 Kostnad	23
2.5 Statistisk analys	23
3. Resultat	24
3.1 Tidsåtgång	24
3.1.1 Alla moment.....	24
3.2 Tidsåtgång för Katning.....	25
3.2.1 ANOVA resultat för tidsåtgång katning.....	26
3.3 Kostnad för Katning	28
3.3.1 ANOVA resultat för kostnad för katning.....	28
3.4 Katningens höjd över marken	30
4. Diskussion	31
4.1.1 Kostnadseffektivitet och metodval	31
4.1.2 Flexibilitet och praktiska överväganden.....	31
4.1.3 Statistisk analys av signifikans	31
4.1.4 Höjd på katningen och årstidsberoende	31
4.1.5 Diskussion kring resurs- och resultateffektivitet	32
4.2 Styrkor och svagheter	33
4.3 Framtida forskning	35
5. Slutsats	36
Referenser.....	37
Bilaga 1.....	39

1. Introduktion

Det svenska skogsbruket har genomgått betydande förändringar, där policy-, metod- och teknikutveckling har varit centrala för utvecklingen av åtgärder som syftar till att maximera produktionen av vedråvara (Lindahl et al. 2017; Magnus Thor & Åke Thorsén 2014). Denna utveckling har dock inte passerat utan konsekvenser, då det råvaruinriktade skogsbruket har påverkat skogssammansättningen till den grad att andra kvalitéer har blivit lidande (Ericsson et al. 2000). Däribland en minskning av strukturer som är avgörande för biologisk mångfald (Ericsson et al. 2000). I kontrast till det råvaruinriktade skogsbruket står naturvården, där åtgärder för att främja biologisk mångfald sällan har undergått samma rigorösa utvärdering, med avseende på resurs- och kostnadseffektivitet (Lindahl et al. 2017; Lindroos et al. 2021; Angelstam et al. 2023).

År 1993 markerade en vändpunkt i svensk skogspolitik i och med införandet av den nya Skogsvårdslagen (*Skogsvårdslag 1979:429*). Lagen betonade vikten av att bevara både produktions- och miljövärden, vilket innebar en strävan efter att bevara dessa värden i lika mått. Denna lagändring kan tolkas som en reflektion av samhällets växande förståelse för skogens mångsidiga roll och behovet av att integrera flera värden i skogsbruket.

Död ved är särskilt värdefull för biologisk mångfald och erbjuder födosök, bostad, skydd och andra livsnödvändiga funktioner för hotade och vanliga arter av bland annat mossor, lavar, svampar, insekter och fåglar (Fridman & Walheim 1997). Silverved, även kallad silverfura och ”kelo” (torraka på finska), är en form av stående död solbelyst ved som är rik på kåda och har en lång livslängd (Larsson Ekström et al. 2023). Silverveden är motståndskraftig mot förmultning och erbjuder livsmiljöer för många arter under lång tid vilket ger kontinuitet i skogsekosystemen (Sandström et al. 2019; Larsson Ekström et al. 2023).

Historiskt sett har skogsbränder varit en naturlig störning av Sveriges skogsekosystem. Av den svenska skogen brann ca en procent varje år (Niklasson & Granström 2000). Från forntid till mitten av 1600-talet var skogsbränder frekvent förekommande men mänsklig aktivitet som bland annat genom svedjebbruk ökade antalet bränder mellan mitten av 1600-talet och mitten av 1800-talet. När skogen fick ett ökat ekonomiskt värde och brandbekämpningen blev mer effektiv, minskade storleken på bränderna kraftigt (Niklasson & Granström 2000). Idag är den största bidragande orsaken till skogsbränder mänsklig aktivitet men bränderna är mindre och andelen bränd areal skogsmark är idag ca 0,006 % per år (Niklasson & Granström 2000; Ramberg 2014)

Det finns en mängd *pyrofila* arter som är beroende eller starkt gynnas av brand (Larsson Ekström et al. 2023). Enligt Natur- och miljöspecialist Viktoria Tegenfelt på Sveaskog finns det exempel på naturvårdsåtgärder där man försöker efterlikna brand för att stimulera nybildning av olika kvaliteter död ved. Skador kan uppkomma från brand, och kallas då *brandljud*, vilket är en stamskada på ett träd orsakad av värme. När ett träd utsätts för brand, dör de levande cellerna i kambiet och barken faller av och veden blir blottad. Om trädet överlever branden börjar skadan övervallas. Brandljud återfinns främst på tallar, som tack vare sin tjocka bark kan överleva bränder.

För att återskapa strukturen som skogbränder skapar nyttjar Sveaskog tre olika brandefterliknande naturvårdsåtgärder. *Naturvårdsbränning*, innebär att ett större förutbestämt område bränns för att skapa en miljö som liknar efter en skogsbrand. *Punktbränning* är en annan åtgärd där små brasor placeras nära träd för att orsaka lokala skador, dvs brandljud. En tredje åtgärd är *katning*, där bark avlägsnas från trädets rot i en specifik längd och bredd för att framkalla en skada som liknar ett brandljud. Dessa metoder stimulerar trädens naturliga försvarsmekanismer, vilket leder till ökad kådproduktion och impregnering av veden (Gustafsson et al. 2003).

I ljuset av den observerade minskningen av naturliga bränder, har certifieringsorganet Forest Stewardship Council (FSC) i Sverige vidtagit specifika åtgärder. Enligt avsnitt 6.8.4 i FSC:s standard för skogsbruk från 2019, är det obligatoriskt för markägare som förvaltar mer än 5000 hektar att genomföra kontrollerade bränningar. Dessa bränningar ska motsvara 5% av den totala avverkade arealen och utföras på frisk och fuktig mark, med syftet att främja naturvården (FSC Sverige 2019).

Trots att bränning gynnar vissa arter som tall (*Pinus sylvestris*) och andra pyrofila arter, finns det utmaningar för Sveaskog, särskilt när det gäller brandens påverkan på marklav och samernas renbetesmarker. Markägaren Sveaskog har samråd flera samebyar och Tegenfelt menar att i praktiken är metoderna områdesbränning eller ens punktbränning inte tillämpbar överallt. Eftersom det finns en rädsla för att branden ska påverka marklaven negativt. Därför har den alternativa metoden katning blivit alltmer intressant.

Historiskt har katning använts för att skapa *fetved*, en värdefull resurs som haft en mängd olika användningsområden, allt från fönsterbleck och byggandet av stavkyrkor till framställning av tjära. Denna traditionella metod har visat sig öka rötbeständigheten hos konstruktioner, vilket har bidragit till att byggnader från så tidigt som 1100-talet har överlevt till idag (Land.se, 2024). Fetved, som är extra

kådrigt ved hos tall, kan uppstå genom olika naturliga störningar, inklusive förskatesvamp, blixtnedslag, skogsbrand (Skogskunskap).

Katning resulterar i en impregnering av splintveden. Detta sker när kådkanalerna i veden skadas och läcker ut sitt innehåll, vilket leder till en ökning av hartssyror, oxiderade hartssyror, fettsyror och pinosylvinerder i veden. Samtidigt observeras en markant minskning av lösliga sockerarter och lipider i vedstrukturen (Gustafsson et al. 2003).

Även om forskning kring sambandsstudier inom skogsbruket är väletablerad, är studier som fokuserar på resurseffektivitet för naturvårdsåtgärder fortfarande sällsynta (Lindroos et al. 2021). Många åtgärder, som katning, utförs utan god uppfattning om dess tidsåtgång och kostnader. I denna studie introduceras begreppet 'katningsintensitet', definierat som arean av katad bark dividerat med mantelytan bark på ett katat träd, för att beskriva omfattningen av barkavtagningen och tre kategoriska intensiteter.

1.1 Syfte

Det övergripande målet med denna studie var att bidra till en ökad förståelse för resurseffektiviteten vid utförande av naturvårdsåtgärden katning. Mer specifikt var syftet med studien att undersöka och jämföra tidsåtgången och kostnaden för utförandet med avseende på vald av metod och intensitet.

Forskningsfrågor

1. Hur påverkar olika metoder för katning resurseffektiviteten?
2. Hur påverkar olika katningsintensiteter tidsåtgången och kostnaden för katning?

2. Metod och Metodik

De tre metoderna för katning som studerades var *mekaniserad* med skördare, *motormanuell* med motorsåg och *manuell* med yxa. Motorsåg och yxa studerades för tre katningsintensiteter *svag*, *mellan* och *hård* medan skördare endast studerades över svag och hård, eftersom mellan inte gick att återskapa med aggregatet på skördaren. Varje metod och intensitet resulterade i en unik *behandling*. Behandlingarna tilldelades *ytor* och upprepades i ett så kallat *block* inom en homogen tallhed. Försöket genomfördes under två direkt efterföljande dagar och för att förstå de underliggande faktorerna som påverkar katningstiden kategoriserades tidsåtgången i *arbetsmoment*.

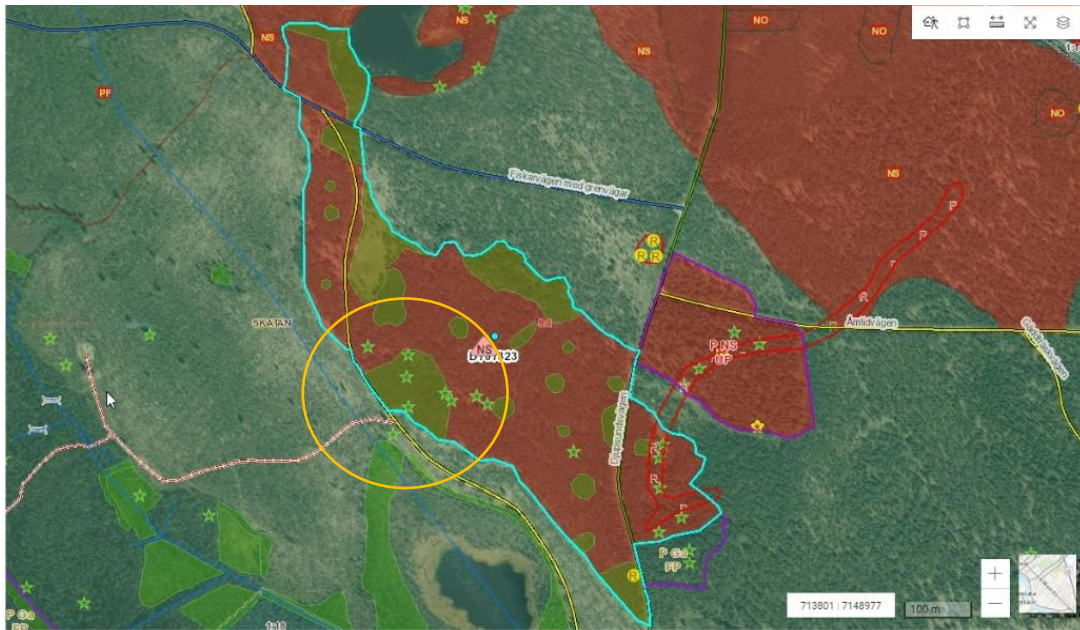
2.1 Studielokal

Studien utfördes i Skatan Ekopark, belägen i Vindelns kommun, Västerbotten, med koordinaterna SweRef 99 TM: 7149105N, 714583E. Parken, som ägs av Sveaskog, ligger cirka 9 mil nordväst om Umeå. På grund av praktiska skäl delades datainsamlingen upp i två delar: *Mekaniserad* och *Semimanuell*, båda utförda inom samma område för att säkerställa jämförbara förhållanden. Den mekaniserade katningen genomfördes i ett NS-bestånd i samband med en naturvårdsgallring. Det semimanuella försöket, utförd med yxa och motorsåg, genomfördes i ett angränsande bestånd med liknande egenskaper, utan annan åtgärd

Området var en tallhed med nästan uteslutande tall, en grundyta på 30 m² och ett virkesförråd på 220 m³sk. Bestånden var cirka 78 år gamla med ett ståndortsindex på T18. Antalet stammar per hektar var cirka 1237 st, varav ca hälften togs bort vid gallringen. Medelstamsvolymen i området var 0,15 m³fub. Grundförhållandena klassificerades som 2, ytstrukturen som 1 och lutningen som 1, enligt avverkningsdirektiven. Skördardata från gallringen visar på att medelstamsvolymen för de utgallrade träden var 0,120 m³sk.

Förhållanden vid Mekaniserad-datainsamling

Datainsamlingen för den mekaniserade delen utfördes den 21 mars 2024, mellan klockan 10:30 och 16:00. Under denna dag var vädret klart med strålande solsken, få moln och ingen vind. Snödjupet uppmättes till cirka 40 cm, och temperaturen varierade från -4°C i början av dagen till $+2^{\circ}\text{C}$ vid dagens slut, med en genomsnittstemperatur på -2°C .



Figur 1. Mekaniserade försöksytans position i objektet NS Djupsundsv.

Förhållanden vid semimanuell datainsamling

Den semimanuella datainsamlingen, för metoderna motorsåg och yxa, ägde rum den 22 mars 2024, mellan 09:30 och 15:30. Under dagen tilltog vinden till ca 6 m/s och med lätt snöfall under förmiddagen, medan både blåst och vind upphörde under eftermiddagen. Snödjupet var ca 40 cm med god skare som bar för både snöskor och skidor. Temperaturen var i dygnsmedeltemperatur ca -4°C .

2.2 Behandlingar

En behandling är en kombination av metod och intensitet. I denna studie fanns det tre metoder och tre intensiteter, vilket resulterade i nio möjliga behandlingar. Alla var dock inte möjliga att nyttja, så studien omfattar totalt åtta behandlingar.

2.2.1 Metoder

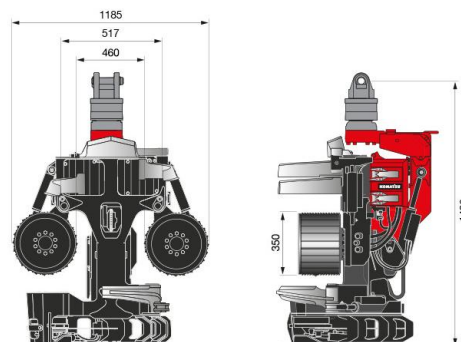
Studien undersökte tre olika metoder för katning: Manuell (med yxa), Motormanuell (med motorsåg) och Mekaniserad (med skördare). Två personer deltog i studien: en skogsarbetare för manuella metoderna och en skördarförare. Skogsarbetaren var 58 år gammal med eget företag sedan ca 40 år tillbaka där motorsåg och yxa regelbundet används. Skördarföraren var 61 år gammal med 30 års erfarenhet av att köra skördare. Båda bedömdes ha stor erfarenhet av redskap som användes i studien.

Tabell 1. Undersökta metoder och utförare

	Metod		
	Manuell	Motormanuell	Mekaniserad
Utförare	Skogsarbetare	Skogsarbetare	Skördarförare
Verktyg	Gränsfors Vildmarksyxa	Motorsåg Stihl MS 170	Skördare Komatsu 901
Vikt (kg)	0,6	3,9	829

Val av Skördare och aggregat

För studien användes en Komatsu 901 från år 2015, en skördare lämplig för både

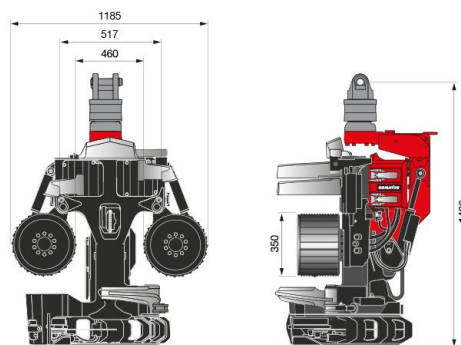


gallring och slutavverkning

Figur 1. Den mekaniserade utrustningen: En Komatsu 901 skördare, med S82 aggregat. Notera nedre kvistkniven och matarvalsarna på aggregatet (källa: Komatsu Forest).

Den var utrustad med ett Komatsu S82-aggregat från 2023, vilket är lämpligt för träd med en diameter upp till 580 mm men enligt tillverkaren rekommenderade

spannet för användning i spannet 100 och 350 mm i brösthöjds diameter (DBH). Detta gör aggregatet lämpat för gallringar.



Figur 1. Den mekaniserade utrustningen: En Komatsu 901 skördare, med S82 aggregat. Notera nedre kvistkniven och matarvalsarna på aggregatet (källa: Komatsu Forest).

Val av Yxa och Motorsåg

I anslutning till studien genomfördes test på några träd för att välja den mest lämpade modellen av yxa och motorsåg av de som fanns tillgängliga. Resultatet visade att den minsta yxan och motorsågen var mest lämpliga för ändamålet. Enligt skogsarbetaren övervägde fördelarna med ett lättare redskap. Förflyttning mellan träden påverkas negativt av ett tungt redskap och gav endast marginell ökad effektivitet i katningsmomentet. Barken lossnade relativt enkelt från veden och därför valdes de minsta redskapen som fanns att tillgå.

Snöskor och Spade

Eftersom studien genomfördes med snö på marken ingick även snöskor och spade i materialet. Dessa användes för att förflytta sig mellan träden och skotta fram dem.



Figur 2. Den semimanuella utrusningen. Valet landande på den närmaste yxan (Gränsfors Vildmarksyxan) och den närmaste motorsågen (Stihl MS 170). Bakom sågen längst bort syns spaden och till höger snöskorna.

2.2.2 Katningsintensitet

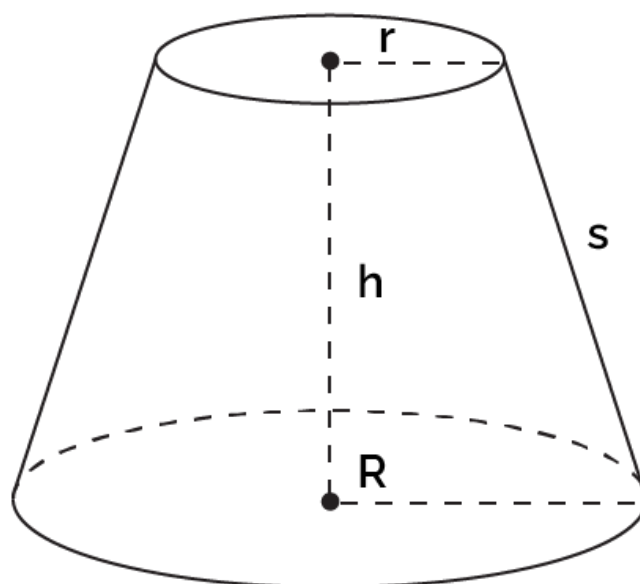
Katningsintensiteten är centralt för att objektivet jämföra effektiviteten hos de olika katningsmetoderna. Katningsintensitet (funktion 1) är ett kvantitativt mått som uttrycker den procentuella andelen katad yta (funktion 2), i förhållande till trädets mantelyta (funktion 3).

$$\text{Kantingsintensiet} = \left(\frac{\text{Katad yta}}{\text{Mantelyta}} \right) \quad (1)$$

$$\text{Katad yta} = b * h \quad (2)$$

$$\text{Mantelyta} = s \times \pi \times (R + r) \quad (3)$$

Mantelytan approximeras genom formeln för en stympad kon, vilket är en vanligt förekommande modell för att på ett enkelt sätt representera en trädstams form. Mantelytan beräknas då enligt där s är sluttningens längd, R är radien vid basen och r är radien vid toppen och h är katningens höjd. I de fall h är kort och/eller stammens avsmalning liten så kan s och h antas ha samma värde. I dessa fall kan även r och R antas ha samma värde utan att skattningen av katningsintensiteten påverkas i hög grad.



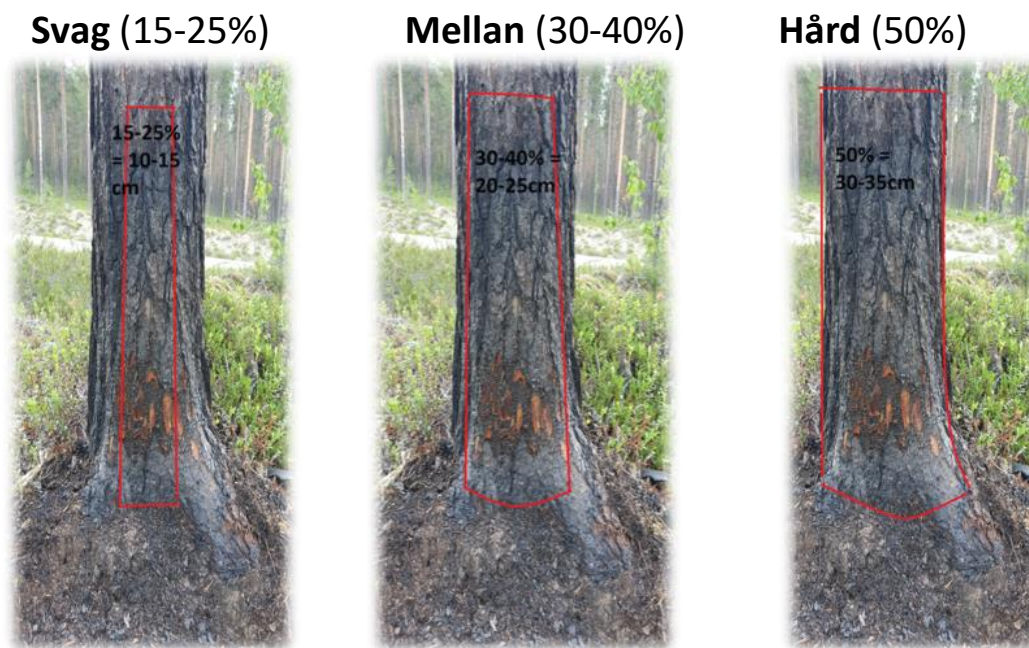
Figur 3. Stympad kon (Formelsamlingen.se)

2.2.3 Katningsintensiteter: Svag, Mellan och Hård

I samarbete med Sveaskog fastställdes tre katningsintensiteter för studien: *Hård* (50%), *Mellan* (30–40%) och *Svag* (15–30%) där procentandelen motsvarar area katad yta dividerat med mantelytan. Dessa kategorier användes för att standardisera och jämföra katningsmetodernas effektivitet vid olika intensiteter. För att standardisera mätningen och jämförelsen sattes höjden (h) till 1,3 meter för samtliga metoder. Detta eftersom anvisningar för säker motorsågshandling begränsar användningen av sågen till brösthöjd. För att tydliggöra dessa nivåer för utförarna, utvecklades och användes visuella representationer av varje målbild.

Dessa illustrationer användes som instruktioner för att utförarna skulle ha en tydlig förståelse för de önskade intensiteterna under studiens gång.

Katningsintensiteten beräknades utifrån en brösthöjds diameter om 20 cm och ingen avsmalning, dvs $R = r = 10$ cm, vilket resulterar i en omkrets på ca 62,83 cm givet perfekt cirkelform. Formen av katad yta ska efterlikna en rektangel som är 1,3 m lång. *Hård* katning innebar att 50% av trädets mantelyta katas bort vilket motsvarar en ca 30–35 cm bred rektangel. *Mellan* 30–40% motsvarar en 20–25 cm bred rektangel och sist *Svag* 15–25% motsvarar 10–15 cm bred rektangel.



Figur 4. Grafisk representation av katningsintensitet: Svag (15–25%), Mellan (30–40%) och Hård (50%) på ett punktbränt exempelträd.

Katningsintensitet: mekaniserad metod

Skördare katade träden med den nedre kvistkniven på aggregatet. Detta skapade en sammanhängande barkflaga som centrerade katningen på en yta. En knivbredd motsvarade en svag katning och två knivbredder motsvarade en hård katning.



(a)

(b)

(c)

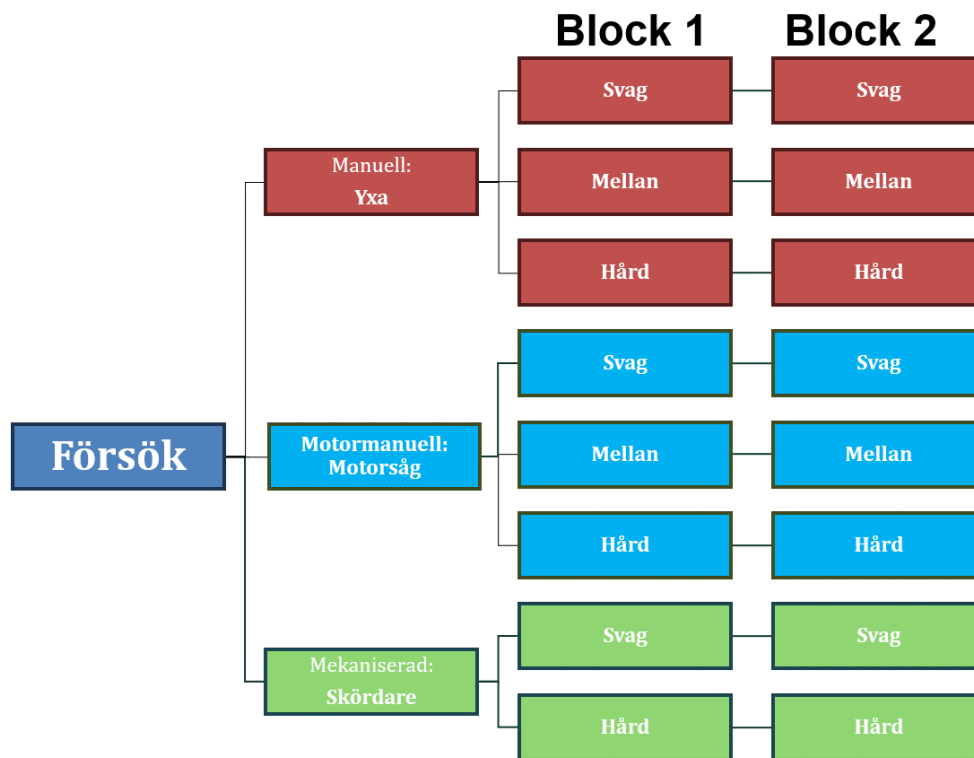
Figur 5. Grafiskt resultat för Skördare för svag (a) och hård katningsintensitet (b) samt aggregatets position i relation till trädet vid åtgärden (c).

Aggregatet greppade trädet så långt ner som möjligt med endast kvistkniven. Därefter drogs aggregatet något i sidled så att kniven skar in under barken samtidigt som aggregatet lyftes till den angivna höjden på trädet, vilket motsvarade en svag katning. För att utföra en hård katning sänktes aggregatet igen, utan att släppa trädet, och katningen upprepades kant i kant med den föregående.

Denna teknik var dock bara tillämpbar över svag och hård katningsintensitet. Därför finns inte mellan intensiteten med för skördare i studien.

2.3 Försöksdesign

Studien delades in i två delstudier: en mekaniserad med skördare och en semimanuell med yxa och motorsåg. Båda delstudier har block och ytor som tilldelades olika behandlingar.



Figur 6. Försöksdesign med metoder och katningsintensiteter samt block

2.3.1 Block

Ett block är en grupp av experimentella enheter som är mer homogena än hela populationen som används i experimentell design. I detta fall var blocket specifika grupper av träd som behandlades under liknande förhållanden. Skördaren la upp stickvägar där den gallrade och katade träd inom räckhåll för kranen på båda sidor. Det första blocket definierades som ett område med träd längs två parallellt gående stickvägar som låg närmare varandra än till det andra blocket med två parallellt gående stickvägar och behandlades närmare varandra i tid. För den semimanuella delstudien utgjordes blocken av två olika områden inom det aktuella beståndet med 6 ytor i varje som också låg närmare varandra inom blocket samt behandlades närmare i tid med varandra än mellan blocken.

2.3.2 Yta

Yta är också ett sätt att dela in en population i en delmängd inom experimentell design. I den mekaniserade delstudien definierades yta som träden som katades längst med en stickväg. För den semimanuella delstudien definierades yta som en grupp om fem närstående träd. Försöket var blockat i två och därför fanns det två ytor som fick samma behandling, vilket resulterade i 10 träd per behandling. Träden i samma yta fick behandlingen mycket nära varandra i tid och stod även geografiskt mycket nära varandra

Delstudie 1: Mekaniserad metod med skördare

I den mekaniserade delstudien utfördes katning med svag och hård katningsintensitet fördelade på två block, vilket resulterade i två behandlingar och fyra ytor. Skördaren utförde gallring längst med stickvägar med ett uttag på 50% och genomförde katning på hälften av de återstående träden. Antalet träd per yta varierade på grund av stickvägens längd. Ordningen på utförandet gick efter ytans nummerordning. Totalt katades 134 träd med skördaren (Tabell 2.)

Tabell 2. Mekaniserade metodens design

Metod	Block	Yta	Intensitet	n
Skördare	1	1	Svag	32
		2	Hård	47
	2	3	Hård	32
		4	Svag	23

Delstudie 2: Semimanuell delstudie med Yxa och Motorsåg

Den semimanuella delstudien omfattade användning av både yxa och motorsåg och tre intensiteter: *Svag*, *Mellan* och *Hård*. Dessa applicerades på två block, vilket ledde till sex behandlingar per block. Varje behandling gjordes på en yta med fem träd inom varje block, vilket innebär att totalt katades 60 träd. Ordningen på utförandet gick efter Ytans nummerordning.

Tabell 3. Semimanuella försökets design. Antal katade träd 5 per yta

Metod	Block	Yta	Intensitet
Yxa	1	1	Svag
		2	Mellan
		3	Hård
	2	7	Svag
		8	Mellan
		9	Hård
Motorsåg	1	4	Svag
		5	Mellan
		6	Hård
	2	10	Svag
		11	Mellan
		12	Hård

2.3.3 Datainsamling

Studien har observerat tidsåtgången för arbetet kontinuerligt under hela arbetspasset med undantag för avbrott (se definition i Tabell 4 och Tabell 5). Tidmätningen för motorsåg och yxa hade ett synkront förfarande där tidsåtgången noterades i fältblanketter och tiden mättes med tidtagarur samtidigt som arbetet utfördes. För skördaren var det ett asynkront förfarande med videoinspelning från skördarhytten som sedan registrerades genom att spela upp videon i efterhand och manuellt notera tidsåtgången i programmet Excel.

2.3.4 Arbetsmomentindelning

Manuell katning med yxa

Arbetet med katning med yxa innefattar flera arbetsmoment. Förflyttning avsåg den tid det tog att gå från ett träd till ett annat, där även avståndet noteras när förflyttningen skedde mellan två försöksytor. Förberedelse var den tid som tog att skotta bort snön runt träden samt förbereda för katning. Katning var själva huggningen av bark, och tiden mättes från det att yxan först träffar stammen tills yxan lämnade trädet för sista gången. Avvikande moment inkluderade sällsynta handlingar som inte är upprepades för varje träd, så som av och påtagning av snöskor, medan avbrott var oförutsedda händelser som inte direkt relaterade till arbetsmomenten, såsom samtal och frågor.

Motormanuell katning med motorsåg

När det gäller arbetsmomentindelningen för motorsågen, började det med förflyttning där tid noterades för att förflytta sig mellan träden med motorsågen. Förberedelse var den tid som gick åt att skotta bort snön runt träden samt förbereda för katning. Katning är processen att såga av bark från trädet, och tiden räknas från det att sågen först berör trädet till det att sågningen var avslutad. Precis som med yxan, inkluderar avvikande moment sällsynta aktiviteter som inte förekom för alla träd så som start av motorsåg samt av och påtagning av snöskor. Avbrott stod för tiden som inte kunde kopplas till något specifikt arbetsmoment.

Mekaniserad katning med skördare

Arbetsmomentindelningen för skördaren börjar med förflyttning, vilket var den tid då skördaren förflyttar sig. Förberedelse var tiden det tar för skördaren att flytta kranen till den greppar nästa träd. Eftersom skördaren genomförde en naturvårdsgallring kan den välja mellan två alternativ per greppat träd:

Katning: aggregatet greppar trädet och katar trädet till önskad katningsintensitet.

Fällning: aggregatet greppar trädet och gallrar bort trädet. All tid för fällning, kvistning och aptering samlas i denna kategori.

Avvikande moment innefattade tiden för moment som behövs men som förekommer sällan. Så som planering av rutt och kontroll av uttag medan avbrott är tid som inte kan hänföras till någon av de tidigare momenten, tex felmeddelande.

Tabell 4. Arbetsmomentindelning för manuell- och motormanuella metoder.

Arbetsmoment	Definition	Momentgränser
Förflyttning	Förflyttning från ett träd till ett annat.	Start vid förflyttning till träd sker och stop när träd nås.
Förberedelse	Förberedelse av åtgärd såsom skottning av snö och borttag av eventuella kvistar kring trädet	Start efter träd nås och stop vid första kontakt med trädet.
Katning	Tiden det tar avlägsna barken på trädet, enligt katningsintensitetsmålet.	Start vid första kontakten med trädet, stop efter sista kontakten med trädet.
Övrigt	Arbete som kan anses ingå till arbetet, men som är ovanligt och inte del av den repetitiva arbetscykeln.	Exempel: Av eller påtagning av kläder. Tankning av motorsåg etc,
Avbrott	Tiden som inte kan hänföras till något arbetsmoment	Exempel: Samtal, frågor om studien.

Inget av moment överlappade med något annat moment i den semimanuella delstudien, därför har alla samma prioritet.



Figur 7. Arbetsmomentet Förberedelse för den semimanuella delstudien

Tabell 5. Arbetsmomentindelning för mekaniserad metod.

Arbetsmoment	Definition	Momentgränser	Prioritet
Förflyttning	Flytt av skördare	Start när hjul rullar, stopp när hjulen står still.	2
Förberedelse	Flytt av aggregat	Start när kran rör sig stopp vid första aggregatkontakten.	3
Katning	Katning av träd	Start vid första aggregatkontakten. Stopp vid sista kontaktens slut.	1
Fällning och upparbetning	Gallring av träd	Start vid första aggregatkontakten. Stopp vid sista kontaktens slut.	1
Övrigt	Stödarbete som kan anses ingå i arbetet, men som är ovanligt och inte del av den repetitiva arbetscykeln.	Exempel: Kontroll av gallringuttag, planering, ect.	4
Avbrott	Moment som inte kan hänföras till något av de andra arbetsmomenten	Exempel: Driftstörningar, rast, frågor om studien.	5

I den mekaniserade delstudiens momentindelning skapades en prioriteringsordning för att hantera situationer där flera arbetsmoment inträffar samtidigt. Värde 1 är högst och 5 är lägst prioritering. Istället för att logga multipla tider eller kategorisera dem som överlappande, prioriterades vissa moment över andra. Detta innebar tex att transportmomentet prioriterades över förberedelsemomentet. Tex om förflyttning och förberedelse inträffade samtidigt, registrerades tiden som förflyttning. Om katning och fällning inträffar samtidigt med andra moment, prioriterades dessa högst.

2.3.5 Överväganden

I planeringen för tidsstudien gjordes flera metodmässiga överväganden.

Kontinuerlig- vs Frekvensstudie

Tidsstudier kan utföras antingen som kontinuerliga eller frekvensstudier. Kontinuerliga tidsstudier innebär att man observerar och registrerar tidsåtgången för varje arbetsmoment under hela arbetspasset. Frekvensstudier fokuserar på antalet gånger ett visst arbetsmoment upprepas under en given tidsperiod. I denna studie valdes kontinuerliga tidsstudier för att få en detaljerad bild av tidsåtgången för varje arbetsmoment.

Synkront vs Asynkront förfarande

Synkrona studier innebär att alla aktiviteter och mätningar sker samtidigt och i samma takt, vilket ger en omedelbar och kontinuerlig bild av arbetsprocessen. Asynkrona studier tillåter att observationer och mätningar ska ske vid olika tillfällen, vilket kan vara fördelaktigt när aktiviteterna inte lämpar sig för samtidig mätning. I denna studie användes ett synkront förfarande för den semimanuella delstudien eftersom det minimerar datamängden i form av videofiler och ett asynkront förfarande för den mekaniserade delstudien. Detta val baserades på att skördarens arbetsmoment är mycket kortare än för motorsågen och yxan och bedömdes som ett mer effektivt förfarande att analysera i efterhand.

Integrerad vs Separat Katning

Ett centralt beslut var att välja mellan att utföra katning som en integrerad del av andra arbetsmoment eller som en separat process. I den mekaniserade delstudien genomfördes katningen i samband med en gallring. Men den semimanuella delstudien genomfördes separat utan annan åtgärd.

Katningsintensiteter för den mekaniserade metoden

För den mekaniserade katningen med skördare utfördes flera tester med olika varianter av katningsmetoder. Flera erfarna yrkesutövare konsulterades med ambitionen att konstruera utförande som möjliggjorde tre olika intensiteter.

Två generella alternativ testades, katning med matarvalsar eller katning med den nedre kvistkniven. Matarvalsarna skapade ett trubbigt våld som visserligen skadade kambiet och resulterade i att barken föll av. Dock liknade inte skadan det naturliga brandljudet, och katningsintensiteten var svår att mäta eftersom skadan sker på flera sidor av stammen samtidigt. Kvistkniven skapade en sammanhängande barkflaga

som centrerade katningen på en yta. En knivbredd motsvarade en svag katning och två knivbredder motsvarade en hård katning vilket gjorde det svårt att återskapa mellan katningsintensitet. För matarvalsarna var skadan i sig inte jämförbar med skadan vare sig yxan eller motorsågen skapade.

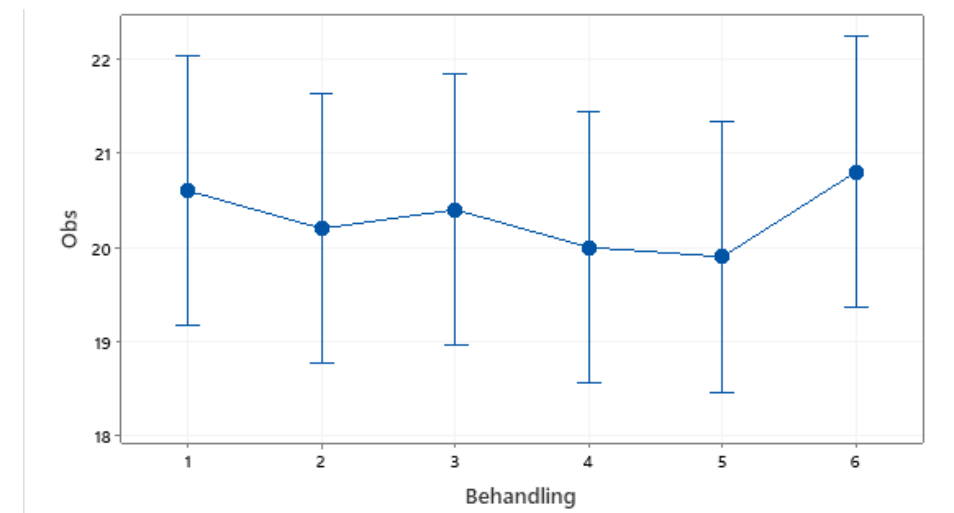
Trots att endast två katningsintensiteter var praktiskt genomförbara valdes tekniken med kvistkniven, eftersom den skapade en katning som Sveaskog bedömde som eftersträvansvärd. Dessutom var arbetsflödet naturligt och rationellt, och resultatet jämförbart med både yxan och motorsågen.

Markering av Träd

En annan viktig aspekt var huruvida träden skulle markeras i förväg eller om utföraren skulle göra detta vid utförandet. Valet föll på att inte markera träden i förväg för den mekaniserade delstudien, vilket gav utföraren friheten att välja vilka träd som skulle katas under gallringsprocessen. Dock var ytan förutbestämd. För den semimanuella delstudien markerades träden i förväg och grupperna tilldelades en blockning, metod och intensitet var.

Diameter som påverkansvariabel

När träden för den semimanuella delstudien valdes ut så mättes även diameterspridningen på alla markerade träd. Resultatet visade att diameterspridningen mellan ytorna var mycket liten, speciellt vid jämförelse med närmsta granne.



Figur 8. Spridning av diameter (cm) för träd utvalda för det semimanuella försöket, med närmsta granne och 95% konfidensintervall

2.3.6 Instruktioner till utförarna

Instruktionerna för skördarföraren specificerade att hälften av de återstående träden efter gallringen skulle katas, och att katningen skulle utföras så långt ner som möjligt på träden. Skogsarbetaren fick samma instruktion att kata så långt ner som möjligt. Eftersom det fanns risk att påverka utförandet under studiens gång och på så sätt färga resultatet så undveks tillägg och ytterligare instruktioner.

2.4 Kostnad

Kostnaderna per timme sattes till 1550 kr/timme för skördare, 440 kr/timme för motorsåg och 380 kr/timme för yxa, vilket är schablonsiffror som tillhandahölls av Sveaskog. För att jämföra dessa kostnader med katningstiden, som mättes i sekunder, omvandlades timkostnaderna till sekundkostnader. Detta gjordes för alla tre metoder och värdena användes sedan för att beräkna kostnaden för att kata ett träd för respektive behandling.

2.5 Statistisk analys

Analys av den insamlade datan bearbetades i Excel för att sedan föras över till statistikprogrammet R. Först användes deskriptiv statistik för att undersöka datan och jämföra tidsåtgången för alla moment samt med speciellt fokus på katningstiden för de olika metoderna och intensiteterna. ANOVA, eller analys av varians, är en statistisk metod som används för att identifiera skillnader i medelvärde mellan grupper och bestämma om dessa skillnader är statistiskt signifikanta. ANOVA genomfördes först separat för skördaren och sedan för motorsågen och yxan för att studera hur olika faktorer påverkat tiden att genomföra katningsmomentet. Sedan gjordes en ANOVA för alla metoder med avseende på metod och intensitetens inverkan på katningstiden. Efter det gjordes en liknande undersökning för att se om det fanns en skillnad mellan de olika metoderna och intensiteterna i avseende på kostnad, först genom ANOVA och sedan för alla kombinationer av metod och katningsintensitet genom ett Tukey-test. Det är även känt som Tukeys ärliga signifikanta skillnadstest (Tukey's Honestly Significant Difference, HSD), och är ett post-hoc-test som används efter en ANOVA (analys av varians) för att bestämma vilka medelvärden som är signifikant skilda från varandra.

3. Resultat

Resultaten av studien redovisas i följande avsnitt. Först presenteras tidsåtgången för samtliga arbetsmoment. Därefter redovisas tidsåtgången för endast katningsmomentet, följt av en statistisk analys som utförts med ANOVA för att isolera påverkande faktorer. Slutligen redovisas katningskostnaden per träd, där behandlingarnas medelvärden jämförs med hjälp av ANOVA och sist ett Tukey-test.

3.1 Tidsåtgång

Nedan presenteras sammanställda tidsdata för samtliga behandlingar sorterat efter faktorerna Metod, Intensitet samt sitt respektive arbetsmoment enligt arbetsmomentindelning för respektive metod.

3.1.1 Alla moment

Tidsåtgången för alla arbetsmoment visar att katningsmomentet är det mest tidkrävande. Fördelningen för tidsåtgången skiljer sig mellan den mekaniserade och de manuell- och motormanuella metoderna, där förflyttning och förberedelse har minst tidsåtgång följt av avvikande och katning. För den mekaniserade metoden är förberedelse minst tidskrävande följt av förflyttning, övrigt och katning. Avbrott noterades endast för den mekaniserade metoden.

Tabell 6. Arbetsmomentens tidsåtgång (sekunder/träd) för de olika behandlingarna . n = antal träd, och SD = standardavvikelse

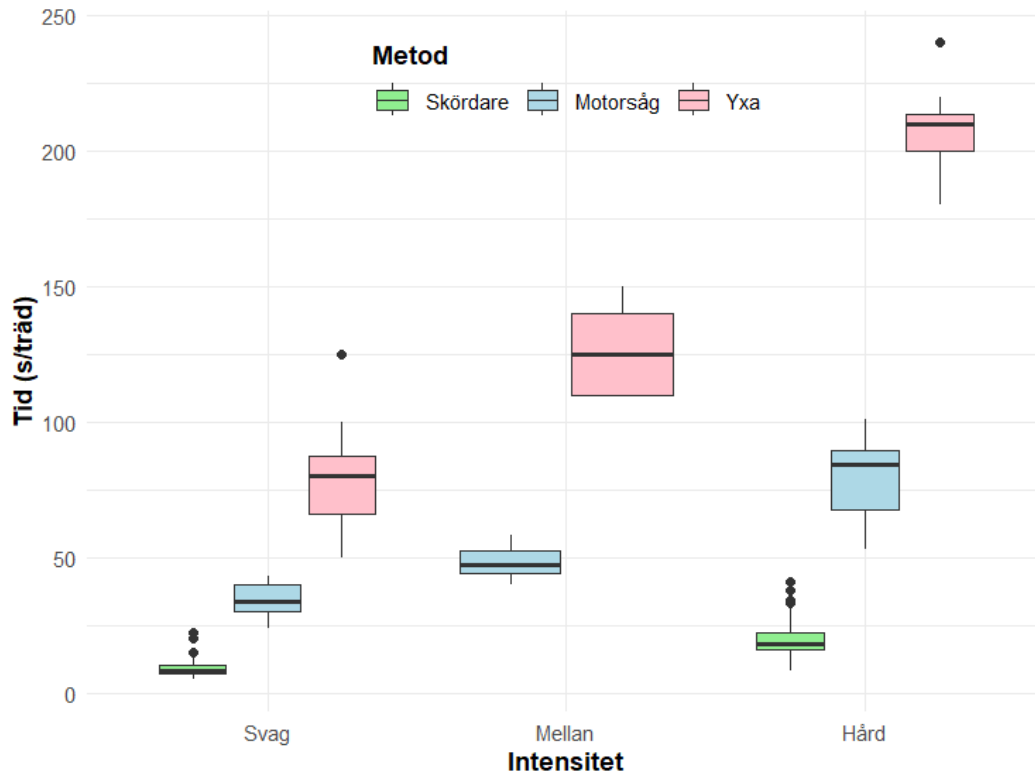
Metod	Intensitet	n	Förflyttning		Förberedelse		Katning		Övrigt	
			Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD	Medel	SD
Skördare	Svag	55	7,67	10,30	7,60	4,06	8,84	3,36	8,38	6,05
	Hård	79	8,42	16,70	6,42	3,48	19,40	6,30	6,36	1,43
Motorsåg	Svag	10	13,60	10,30	19,60	6,15	34,10	6,95	14,00	18,40
	Mellan	10	9,00	5,78	23,00	5,85	48,10	5,61	15,00	19,60
	Hård	10	13,10	14,00	31,90	7,48	79,10	15,70	13,00	17,00
Yxa	Svag	10	5,56	3,05	23,20	12,50	80,00	21,50	13,00	17,00
	Mellan	10	7,75	4,23	26,50	16,40	126,00	15,80	12,00	15,50
	Hård	10	9,75	3,85	32,50	7,55	207,00	16,90	12,00	15,50



Figur 9. Arbetsmomentens tidsåtgång för de olika behandlingarna, sekunder per träd

3.2 Tidsåtgång för Katning

Tidsåtgången för endast arbetsmomentet katning följer ett mönster där metoden skördare generellt är snabbast per träd följt av motorsåg och sist yxa. En ökad katningsintensitet ökar tidsåtgången för alla metoder.



Figur 10. Tidsåtgång för katningsmomentet per metod och intensitet

3.2.1 ANOVA resultat för tidsåtgång katning

ANOVA-test för tidsåtgången gjordes först för skördaren sedan för motorsåg och yxa samt sist alla metoderna tillsammans.

ANOVA för katningstiden för skördare

För den mekaniserade delen av tidsstudien med skördare utfördes en ANOVA-analys för att undersöka effekten av tre faktorer: Intensitet, Block och Yta. Analysen visade att faktorn Block inte hade signifikant effekt på tidsåtgången för katning ($p = 0,703$). Yta hade inte heller någon signifikant inverkan på katningstiden ($p = 0,405$). ANOVA-analysen, där endast Intensitet inkluderades som faktor, bekräftade att Intensitet har en mycket stark effekt på tidsåtgången för katning för skördare ($R^2 = 0,49$).

Tabell 7. ANOVA resultat för skördare med katningsintensitet

Källa	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-värde	Pr(>F)	Multipel R ²	Justerad R ²
Intensitet	1	3587	3587	127.7	< 0,001	0,4917	0,4879
Residualer	132	3708	28				

ANOVA för katningstiden med motorsåg och yxa

För motorsåg och yxa visade en ANOVA-analys att varken faktorn Block ($p = 0,703$) eller faktorn Yta ($p = 0,464$) hade en signifikant inverkan på tidsåtgången för katning. Den förenklade ANOVA-analysen visade att intensitetsnivån signifikant påverkar tidsåtgången för katning ($p < 0,001$). På grund av att det finns två metoder: Yxa och Motorsåg så inkluderades även denna faktor vilket innebar en signifikant påverkan på katningstiden ($p < 0,001$). Även interaktionseffekten med metod och intensitet hade en signifikant påverkan ($p < 0,001$). Förklaringsgraden för faktorerna Metod och Intensitet var $R^2 = 0,94$.

Tabell 8. ANOVA resultat för motorsåg och yxa med katningsintensitet och interaktionseffekt

Källa	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-värde	p-värde	Multipel R ²	Justerad R ²
Intensitet	2	76,403	38,201	173,522	<0,001	0,939	0,944
Metod	1	105,756	105,756	480,374	<0,001		
Intensitet:Metod	2	17,168	8,584	38,991	<0,001		
Residualer	54	11,888	220				

ANOVA för samtliga metoder och intensiteter

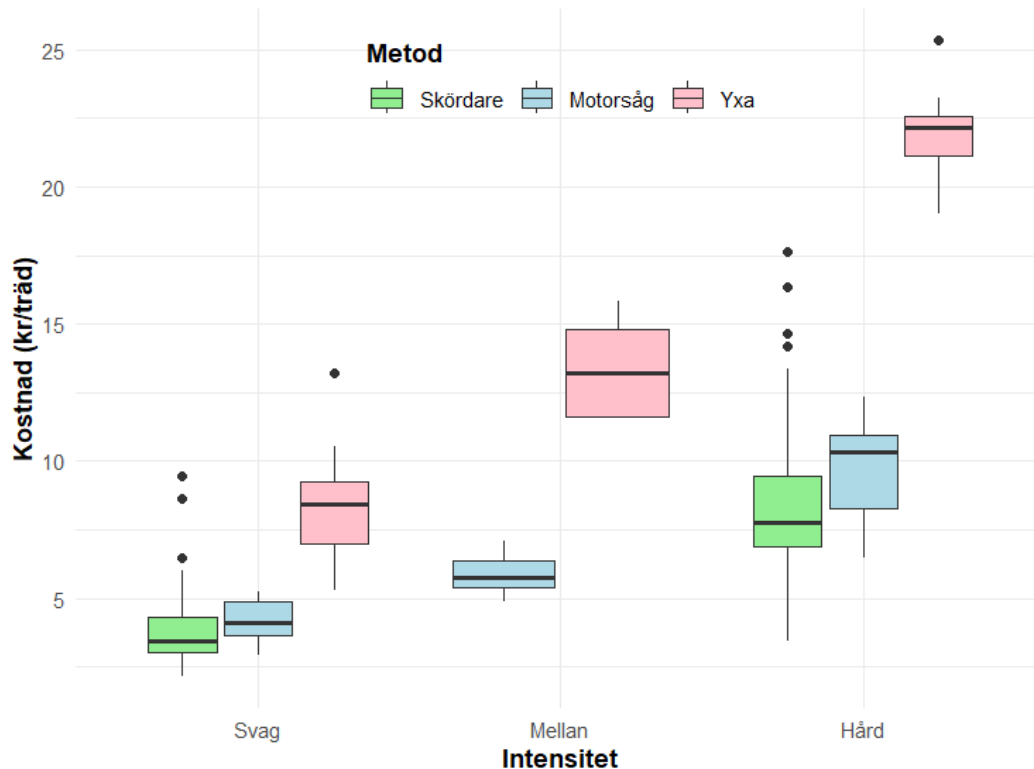
ANOVA-analysen för alla metoder visar att både valet av Metod ($p < 0,001$) och Intensitet ($p < 0,001$) signifikant påverkar tidsåtgången för katning. Interaktionseffekten mellan Metod och Intensitet är också signifikant ($p < 0,001$). Förklaringsgraden för Metod och Intensitet var $R^2 = 0,98$.

Tabell 9. ANOVA resultat för alla metoder och katningsintensiteter samt interaktionseffekt

Källa	Df	Sum Sq	Mean Sq	F-värde	p-värde	Multipel R ²	Justerad R ²
Metod	2	375 740	187 870	2240,6	<0,001	0,968	0,967
Intensitet	2	36 329	18 164	216,6	<0,001		
Metod:Intensitet	3	60 829	20 276	241,8	<0,001		
Residualer	186	15 596	84				

3.3 Kostnad för Katning

Kostnaden för metoderna är lägst för skördare följt av motorsåg och högst för yxa samt ökar med katningsintensitet.



Figur 11. Kostnaden för katning per metod och intensitet, kr per träd.

3.3.1 ANOVA resultat för kostnad för katning

ANOVA-analysen för alla metoder och intensiteter visar att både valet av Metod ($p < 0,001$) och Intensitet ($p < 0,001$) signifikant påverkar kostnaden för katning. Interaktionseffekten mellan Metod och Intensitet är också signifikant ($p < 0,001$).

Tabell 10. ANOVA av kostnad för katning per metod och intensitet

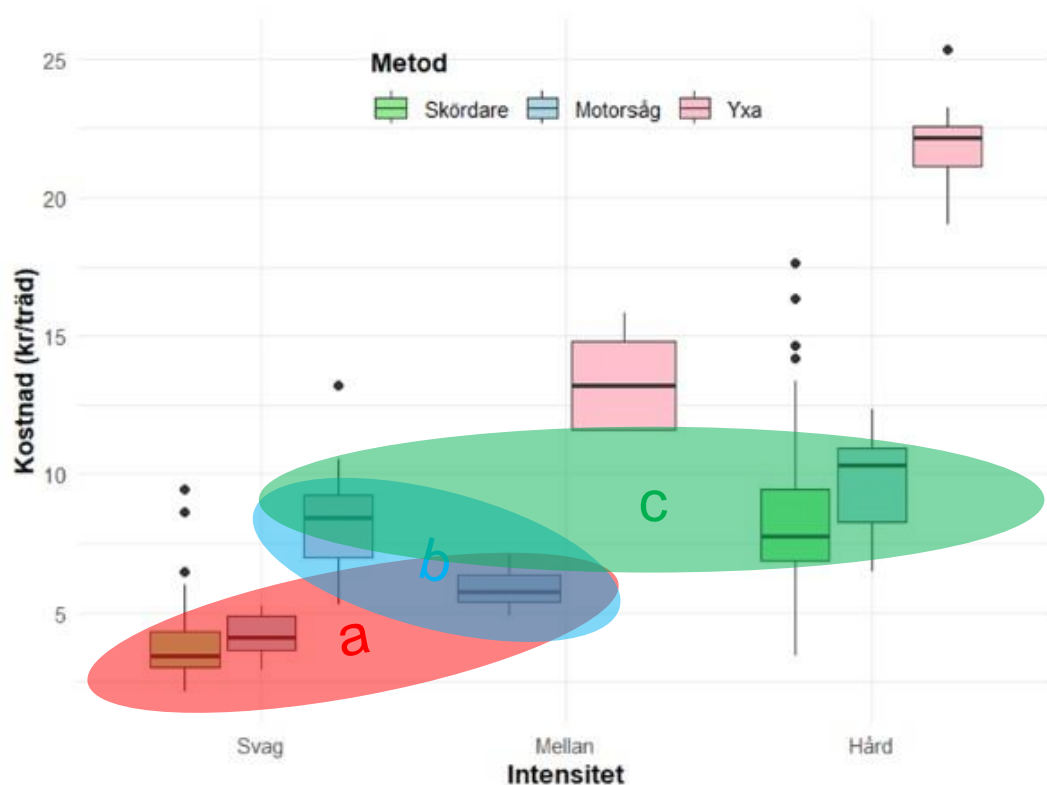
Källa	Df	Sum Sq	Mean Sq	F värde	Pr(>F)
Metod	2	1642,2	821,1	183,81	<0,001
Intensitet	2	1402,4	701,2	156,97	<0,001
Metod: Intensitet	3	345,4	115,1	25,78	<0,001
Residualer	186	830,9	4,5		

Resultaten från Tukey-testet visar att när man betraktar kostnad istället för tidsåtgång, så uppvisar alla metoder och intensitetsnivåer inte statistiskt signifikanta skillnader. Jämförelsen visar att kostnaderna för behandlingarna Motorsåg: Svag

och Skördare: Svag, samt Motorsåg: Hård och Skördare: Hård, inte skiljer sig åt (Tabell 11. och Figur 11). Detta visar att kostnadseffektiviteten för dessa metoder är likvärdig, oberoende av om de tillämpas med svag eller hård katningsintensitet.

Tabell 11. Kostnaden för katning per metod och intensitet, n = antal, SD = standardavvikelse samt signifikanta parvisa skillnader av medelvärde från Tukey test angivet med a , b , c , d och e .

Intensitet	Skördare			Motorsåg			Yxa		
	n	Medelvärde (Kr)	SD	n	Medelvärde (Kr)	SD	n	Medelvärde (Kr)	SD
Svag	55	3,80 ^a	3,80	10	4,17 ^a	0,85	10	8,44 ^{bc}	2,27
Mellan	-	-	-	10	5,88 ^{ab}	0,69	10	13,3 ^d	1,67
Hård	79	8,33 ^c	2,71	10	9,67 ^c	1,91	10	21,9 ^e	1,80



Figur 12. Kostnaden för katning per metod och intensitet med grafisk representation av ej signifikanta skillnader från Tukey testet. Värderna som är inom samma elips är inte signifikant skilda.

Resultatet visar att den billigaste behandlingen för att utföra en katning utan stödjande arbetsmoment är Skördare: Svag med ett medelvärde på 3,8 kr/träd, som dock inte är signifikant skilt mot Motorsåg: Svag, 4,17 kr/träd. Dessutom hade

Motorsåg: Mellan inte en signifikant skillnad i medelpris (5,88 kr/träd) mot Motorsåg: Svag (4,17 kr/träd). Däremot kostar Yxa: Svag 8,44 kr/träd vilket är signifikant mer än de två andra metoderna givet svag intensitet. Yxan kostar ungefär dubbelt så mycket per träd vid jämförelser med de två andra metoderna, vid samma katningsintensitet.

3.4 Katningens höjd över marken

Skördarens aggregat tillät inte att påbörja katningen lägre än ca 2 dm från marken, dessutom uppskattas avståndet det tog för kvistkniven att skära in under barken vara ca 2 dm. Därför uppskattas den genomsnittliga katningen med skördare börja ca 4 dm från marken medan katningen för de manuella metoderna påbörjas jämns med marken.

4. Diskussion

4.1.1 Kostnadseffektivitet och metodval

När man tittar på kostnaderna, var det ingen signifikant skillnad mellan den långsammare men billigare motorsågen och den snabba men dyrare skördaren. Yxan var däremot både långsammare och ungefär dubbelt så dyr per träd jämt emot både motorsågen och skördaren. Ur ett kostnadseffektivitetsperspektiv är det likvärdigt att utföra katning med skördare jämfört med att använda en motorsåg. Detta innebär att det inte finns någon ekonomisk fördel med att välja en metod framför den andra under dessa förhållanden.

4.1.2 Flexibilitet och praktiska överväganden

Vilken metod som bör väljas beror snarare på vilken som är enklast eftersom kostnaden var jämförbar. Det är fullt möjligt att skicka ut en operatör med en motorsåg vid ett separat tillfälle om det är mer praktiskt, om till exempel det finns begräsningar för skördaren. Likväl kan skördaren kata träd när den genomför andra åtgärder. Detta understryker metodernas flexibilitet och möjligheten att välja metod efter specifika omständigheter och krav.

4.1.3 Statistisk analys av signifikans

Resultatet från ANOVA-analyserna visade att faktorerna Block och Yta inte hade signifikant inverkan på tidsåtgången för katning, vilket tyder på att försöket hade försumbara skillnader i förutsättningar inom ytorna och blocken (

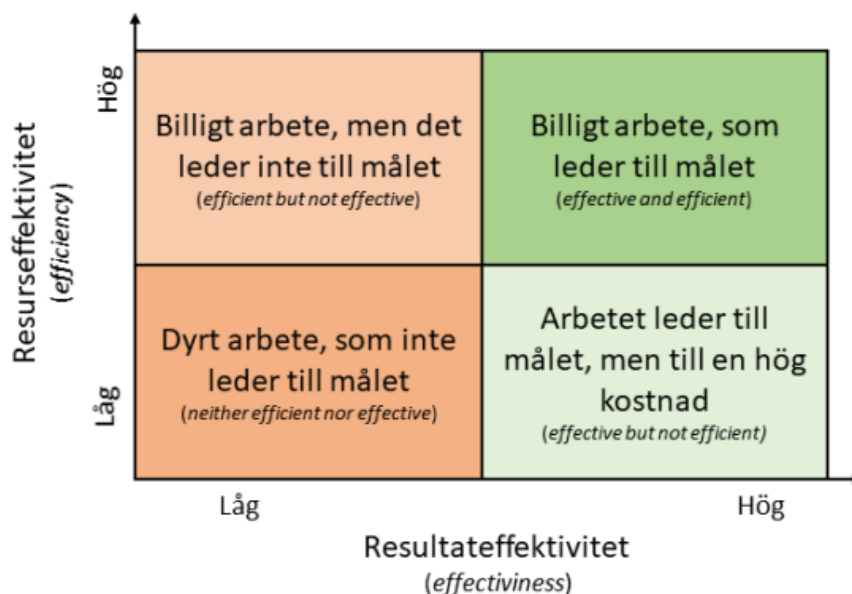
Tabell 7 och Tabell 8). Katningsintensiteten visade sig ha en stark effekt på tidsåtgången. Till den grad att när intensiteten ökar eller minskar, gör även tidsåtgången det i en signifikant omfattning. Metod och Intensitetsnivå är de avgörande faktorerna för att förklara katningstidens längd i denna studie. Däremot varierar effekten metoden har på tidsåtgången för katning beroende på vilken katningsintensitet som används. En metod kan vara tidseffektiv vid låg intensitet men mindre effektiv vid hög intensitet, eller tvärtom. Det finns en statistiskt säkerställd skillnad i tidsåtgång för katning beroende på vilken metod och intensitetsnivå som använd, men inte för alla kostnader.

4.1.4 Höjd på katningen och årstidsberoende

En instruktion från Sveaskog var att katningen skall ske så långt ner på stammen som möjligt. Katning tros leda till en lokal kådimpregnering vid skadan och Sveaskogs mål var att skapa stående död inkodad ved. Därför ville man att roten speciellt ska kådas in för att minska risken för att trädet ska falla omkull. Där visade sig att yxan och motorsågen prestera bättre än skördaren. Ytterligare påverkade tidpunkten både motorsågen och yxan mer än skördaren då det krävdes både snöskor för förflyttning samt spade för att skotta fram träden vilket i praktiken är mycket tidsödslande. Vilket inte är ett hinder på samma sätt för skördaren. Högre nivå av mekanisering leder till mindre variation i tidsåtgång och kostnad när man jämför flera tidpunkter på året.

4.1.5 Diskussion kring resurs- och resultateffektivitet

Denna studie studerar kostnadseffektivitet och är en mycket ovanlig typ av studie för naturvårdsåtgärder. Det finns dock undantag såsom (Söderlind 2018) som studerar kostnadseffektiviteten vid ekologisk kompensation. Det är dock slående ovanligt när företag med vinstsyfte spenderar mycket tid och pengar för att utföra naturvårdsåtgärder. Denna studie saknar en kartläggning av metodernas och intensiteterna resultateffektivitet. Det finns fyra extremkombinationer av utfall och av dessa är bara två som är eftersträvansvärda (Figur 11).



Figur 13. Möjliga extrem-kombinationer med resurs och resultateffektivitet (Källa: Lindroos 2024)

Resultateffektivitet är något som denna studie skulle kunna kompletteras med. I from av en konsekvensstudie där man återvänder till området för att på medellång sikt studera de olika kantningarnas inverkan på vedstrukturen samt på lång sikt studera de ekologiska effekterna.

4.2 Styrkor och svagheter

Styrkor

En av de främsta styrkorna med studien är ovanlig och liknande studier saknas då undersökningar kring resurseffektiviteten vid naturvårdsåtgärder är mycket ovanligt. Ytterligare styrkor inkluderar den experimentella designen, där ytor och block användes för att minimera antalet påverkansfaktorer. Andra påverkansfaktorer minimerades genom exempelvis:

1. Arbetsmomentindelning: Katningsarbetet delades upp i moment för att kartlägga hur mycket tid som gick åt till katning samt andra stödjande arbetsmoment som kan öka eller minska beroende på faktorer som snömängd, avstånd mellan träd och ytor, etc.
2. Stödmätningar: För att minimera antalet påverkansvariabler så som diameter på träd mättes brösthöjdsdiameten. Resultatet visade att var

mycket liten skillnad i medeldiameter samt spridning och därför ansågs den försumbar för den totala tidsåtgången för katningen och togs bort.

3. Statistiska test: Ytans och blockens inverkan på katningstiden testades statistiskt och uteslöts. Detta gjorde att metoden och katningsintensitetens påverkan på tidsåtgången kunde isoleras.
4. Erfarna utförare: Erfarna utförare som känner till metoderna producerar ett jämnare och mer rättvist resultat för hur metoderna används professionellt. Samtidigt som det var samma utförare på de manuella metoderna minimerades skillnaden som uppstår vid olika utförare.
5. Fastställande av katningsintensiteter som tar hänsyn till att olika utförande av metoderna kan påverka tidsåtgången och följaktligen kostnaden. Vilket även gav utförarna tydliga instruktioner vilket båda uppgav som viktigt.
6. Lokal och tidpunkt: Alla försöksytorna är belagda inom Sveaskogs Ekopark Skatan. Försöksområdet mycket homogent och genomfördes under mycket lika förhållanden.
7. Uppföljningsbart: Dessutom finns det möjligt att besöka och bevara försöket för framtida intressen.

Svagheter

Trots studiens noggranna design och genomförande finns det vissa svagheter som bör beaktas för att ge en mer komplett bild av resultaten. Dessa inkluderar:

1. Metodernas natur: En stor svaghet är svårigheten att skapa en perfekt försöksdesign då metoderna i sin natur skiljer sig åt mellan den mekaniserade och de manuell- och motormanuella. Detta kan påverka jämförbarheten mellan de olika metoderna. Där yxa och motorsåg var mer lika i sitt utförande än skördaren.
2. Försöksdesign: Försöket inte perfekt balanserat eftersom behandling Skördare-Mellan inte var tillämpbar, samtidigt som blockning och ytor i mekaniserade försöket inte helt motsvarar det semimanuella försöket. Det är därför inte helt korrekt att använda ANOVA för att beskriva variationen för alla metoder.
3. Långsiktiga effekter: Det kan ta lång tid att se de fulla effekterna av naturvårdsåtgärder. Detta innebär att de initiala resultaten kanske inte fullt ut reflekterar de långsiktiga effekterna.
4. Utrustning: Skördarföraren framförde att utrustningen inte är anpassad för att användas på detta sätt. Detta kan leda till högre slitage av aggregat och därmed högre kostnader än det som angavs.
5. Tidpunkt: Tidpunkten för katningen var inoptimal enligt skogsarbetaren. Detta kan ha påverkat tidsåtgången och effektiviteten i katningen för yxan.
6. Katningsmomentet: Katningsmomentet jämfördes exklusive stöttande arbetsmoment för att göra jämförelsen mellan de olika metoderna mer rättvis. Detta kan dock ses som missvisande för både tidsåtgång och kostnad, eftersom det inte tar hänsyn till tiden det tar att förflytta sig till träden och andra förberedande moment.

4.3 Framtida forskning

Naturvårdsåtgärder och dess resultateffektivitet är fortfarande ett outforskat område. Det finns stor potential för framtida forskning. Fler metoder, som barkspade och barkkniv, kan studeras för att identifiera den mest effektiva manuella metoden. Det finns också en mängd olika modeller av yxor, motorsågar och skördare som kan undersökas för att identifiera den mest effektiva modellen. Fler lokaler än Ekopark Skatan med andra betingelser skulle också kunna studeras.

Effektiviteten hos olika utförare kan studeras. Det kan också vara intressant att se hur olika tidpunkter på året och olika platser påverkar effektiviteten. Antagandet att brösthöjdsdiametern inte påverkar resultatet bör testas. Detta gäller även för barktjocklek.

Att inkludera alla arbetsmoment, inte bara katningsmomentet, kan ge en bättre bild av total tidsåtgång och kostnad. Detta kan modelleras för att räkna ut kostnaden per åtgärd. För skördaren kan en produktivetsmodell skapas. Detta kan visa hur olika grader av katning påverkar den totala produktiviteten i både gallring och föryngringsavverkning.

En notering av skördarföraren var att det var svårare än väntat att lägga till katning i det invanda arbetsflödet för gallring. Hur påverkas effektiviteten och den mentala belastningen på föraren av olika arbetsflöden?

Framtida forskning kan också koppla samman resultateffektivitet med effektivitet över tid. Detta kan göras genom att följa upp de olika behandlingarnas effekt. Det är intressant att studera behandlingarnas effekt på vedstrukturen och överlevnadsgraden för träden efter åtgärd. Ekologiska effekter, som hur olika grader av katning attraherar arter, kan också studeras. Även vilka träd som är lämpliga att utföra åtgärden på med avseende på ålder, diameter och ståndort etc. Slutligen är det såklart intressant att jämföra katning med andra brandefterliknande naturvårdsåtgärder som punktbränning och naturvårdsbränning för att hitta den mest effektiva åtgärden.

5. Slutsats

Ökad grad av mekanisering leder till snabbare och billigare arbete. En lägre katningsintensitet var generellt snabbare och billigare än en högre. Däremot fanns det inte någon signifikant skillnad i kostnad för motorsåg över katningsintensitet svag och mellan.

Skördare och motorsåg kan därför användas som komplement till varandra, vilket optimerar effektiviteten och kostnaden för naturvårdsåtgärder. Yxan kan vara mer jämförbar om tidpunkten för användning väljs väl.

Användningen av den nedre kvistkniven på aggregatet för skördaren kan ses som en metodutveckling. Denna innovation kan potentiellt förbättra effektiviteten av mekaniserad-katning.

Indexet för katningsintensitet kan vara ett värdefullt verktyg för framtida studier. Det kan göra jämförelser mellan olika studier lättare och mer exakta. Dessutom kan katningsintensiteten användas som ett verktyg för att ge instruktioner till entreprenörer för att uppnå önskad effekt.

Resurseffektivitetsstudier för naturvårdsåtgärder är ovanligt men behovet är stort. I framtiden är det viktigt att fortsätta studera resurseffektiviteten för att göra så mycket som möjligt med så effektiva åtgärder som möjligt. Dessutom behöver resultat effektiviteten också kartläggas, för leder inte åtgärderna till målen så är hela förfarandet ett slöseri.

Referenser

- Angelstam, P., Bush, T. & Manton, M. (2023). Challenges and Solutions for Forest Biodiversity Conservation in Sweden: Assessment of Policy, Implementation Outputs, and Consequences. *Land*, 12 (5), 1098. <https://doi.org/10.3390/land12051098>
- Effektivt skogsbruk - ett långsiktigt miljöarbete* (2014). <https://www.skogforsk.se:443/kunskap/kunskapsbanken/2014/effektivt-skogsbruk---ett-langsiktigt-miljoarbete/> [2024-05-13]
- Ericsson, S., Östlund, L. & Axelsson, A.-L. (2000). A forest of grazing and logging: Deforestation and reforestation history of a boreal landscape in central Sweden. *New Forests*, 19 (3), 227–240. <https://doi.org/10.1023/A:1006673312465>
- Fridman, J. & Walheim, M. (1997). Död ved i Sverige. *Arbetsrapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning*. <https://res.slu.se/id/publ/125896> [2024-05-16]
- FSC-standard för skogsbruk i Sverige FSC-STD-SWE-03-2019.pdf (2019). <https://se.fsc.org/sites/default/files/2021-10/FSC-standard%20fo%CC%88r%20skogsbruk%20i%20Sverige%20FSC-STD-SWE-03-2019.pdf> [2024-05-20]
- Gustafsson, G., Bergström, B., Gref, R. & Ericsson, A. (2003). Changes in chemical constituents in the sapwood of *pinus sylvestris* due to debarking. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18 (1), 90–96. <https://doi.org/10.1080/02827581.2003.10383141>
- Larsson Ekström, A., Sjögren, J., Djupström, L.B., Thor, G. & Löfroth, T. (2023). Reinventory of permanent plots show that kelo lichens face an extinction debt. *Biological Conservation*, 288, 110363. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110363>

- Lindahl, K.B., Sténs, A., Sandström, C., Johansson, J., Lidskog, R., Ranius, T. & Roberge, J.-M. (2017). The Swedish forestry model: More of everything? *Forest Policy and Economics*, 77, 44–55.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.10.012>
- Lindroos, O., Söderlind, M., Jensen, J. & Hjältén, J. (2021). Cost Analysis of a Novel Method for Ecological Compensation—A Study of the Translocation of Dead Wood. *Sustainability*, 13 (11), 6075.
<https://doi.org/10.3390/su13116075>
- Niklasson, M. & Granström, A. (2000). Numbers and Sizes of Fires: Long-Term Spatially Explicit Fire History in a Swedish Boreal Landscape. *Ecology*, 81 (6), 1484–1499.
[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[1484:NASOFL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[1484:NASOFL]2.0.CO;2)
- Ramberg, E. (u.å.). Bränder på skogsmark i Sverige.
- Sandström, J., Bernes, C., Junninen, K., Löhmus, A., Macdonald, E., Müller, J. & Jonsson, B.G. (2019). Impacts of dead wood manipulation on the biodiversity of temperate and boreal forests. A systematic review. *Journal of Applied Ecology*, 56 (7), 1770–1781.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13395>
- Skogsvårdslag (1979:429)* (1993).
https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/skogsvardslag-1979429_sfs-1979-429/ [2024-04-29]
- Söderlind, M. (2018). *Kostnadsanalys av ekologisk kompensation*. [Second cycle, A2E]. <https://stud.epsilon.slu.se/13935/> [2024-04-03]

Bilaga 1

Tabeller för Tukey test

Tukey test Kostnad mellan Metod och Intensitet A= signifikant skillnad, B = ingen signifikant skillnad.

Jämförelse	Skillnad	Nedre	Övre	P-adj	Signifikans
Yxa: Hård-Skördare: Svag	18,067	15,786	20,347	0,000	A
Yxa: Hård-Motorsåg: Svag	17,703	14,737	20,670	0,000	A
Yxa: Hård-Yxa: Svag	13,427	10,460	16,393	0,000	A
Yxa: Hård-Motorsåg: Mellan	15,992	13,026	18,959	0,000	A
Yxa: Hård-Skördare: Hård	13,538	11,311	15,765	0,000	A
Yxa: Mellan-Skördare: Svag	9,495	7,215	11,776	0,000	A
Yxa: Hård-Motorsåg: Hård	12,203	9,237	15,170	0,000	A
Skördare: Hård-Skördare: Svag	4,529	3,364	5,694	0,000	A
Yxa: Mellan-Motorsåg: Svag	9,132	6,166	12,099	0,000	A
Yxa: Hård-Yxa: Mellan	8,571	5,604	11,538	0,000	A
Motorsåg: Hård-Skördare: Svag	5,863	3,583	8,144	0,000	A
Yxa: Mellan-Motorsåg: Mellan	7,421	4,454	10,388	0,000	A
Skördare: Hård-Yxa: Mellan	-4,967	-7,193	-2,740	0,000	A
Yxa: Svag-Skördare: Svag	4,640	2,359	6,920	0,000	A
Skördare: Hård-Motorsåg: Svag	4,165	1,939	6,392	0,000	A
Motorsåg: Hård-Motorsåg: Svag	5,500	2,533	8,467	0,000	A
Yxa: Mellan-Yxa: Svag	4,856	1,889	7,822	0,000	A
Yxa: Svag-Motorsåg: Svag	4,277	1,310	7,243	0,000	A
Motorsåg: Hård-Motorsåg: Mellan	3,789	0,822	6,756	0,003	A
Motorsåg: Hård-Yxa: Mellan	-3,632	-6,599	-0,666	0,005	A
Skördare: Hård-Motorsåg: Mellan	2,454	0,228	4,681	0,019	A
Motorsåg: Mellan-Skördare: Svag	2,074	-0,206	4,355	0,107	B
Motorsåg: Mellan-Yxa: Svag	-2,566	-5,532	0,401	0,150	B
Motorsåg: Hård-Skördare: Hård	1,335	-0,892	3,561	0,627	B
Motorsåg: Mellan-Motorsåg: Svag	1,711	-1,256	4,678	0,675	B
Motorsåg: Hård-Yxa: Svag	1,223	-1,743	4,190	0,932	B
Motorsåg: Svag-Skördare: Svag	0,363	-1,917	2,644	0,999	B
Skördare: Hård-Yxa: Svag	-0,111	-2,338	2,115	1,000	B

Tukey test endast jämförelse mellan Metod givet Intensitet

Intensitet	Metod Jämförelse	Skillnad	Nedre	Övre	P-adj	Signifikans
Svag	Yxa vs. Motorsåg	4,277	1,310	7,243	0,000	A
	Yxa vs. Skördare	4,640	2,359	6,920	0,000	A
	Motorsåg vs. Skördare	0,363	-1,917	2,644	0,999	B
Mellan	Yxa vs. Motorsåg	7,421	4,454	10,388	0,000	A
Hård	Yxa vs. Motorsåg	12,203	9,237	15,170	0,000	A
	Yxa vs. Skördare	13,538	11,311	15,765	0,000	A
	Motorsåg vs. Skördare	1,335	-0,892	3,561	0,627	B

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. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

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.