



Lönsamhetsanalys av lossningsmetoder vid skotning

Tidsåtgång och lönsamhet vid enkelsidig och dubbelsidig lossning

Elias Åhman

Examensarbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2024:6

Umeå 2024



Lönsamhetsanalys av lossningsmetoder vid skotning

Tidsåtgång och lönsamhet vid enkelsidig och dubbelsidig lossning

Profitability analysis of unloading methods when forwarding timber
Time consumption and profitability for single-sided and double-sided unloading

Elias Åhman

Handledare: Ola Lindroos, SLU, Skogens biomaterial och teknologi
Bitr. handledare: Tomas Nordfjell, SLU, Skogens biomaterial och teknologi
Extern kontaktperson: Adam Burström, Stora Enso Skog
Extern kontaktperson: Emil Svensson, Stora Enso Skog
Examinator: Dag Fjeld, SLU, Skogens biomaterial och Teknologi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Mastersarbete i skogsvetenskap
Kurskod: EX0956
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Thomas Kronholm
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 2024
Omslagsbild: Elias Åhman
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien: 2024:6

Nyckelord: Lossning, tidsstudie skotare, lossningsmetod, vägavlägg, skogsavlägg, dubbelsidig lossning, enkelsidig lossning, lönsamhetsanalys, nettonuvärdesförlust

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet: Fakulteten för skogsvetenskap

Institution: Skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Produktivitetsutveckling inom det svenska skogsbruket har stagnerat. För att bibehålla konkurrenskraft krävs vidareutveckling av befintliga metoder. Inom ramen av examensarbetet jämförs lönsamheten och tidsåtgången mellan två olika metoder för lossning av virke vid virkesavlägg med skotare. Det huvudsakliga tillvägagångssättet – enkelsidig lossning från skogssidan, jämförs med det tillvägagångssätt som i litteraturen beskrivs som mer effektivt – dubbelsidig lossning från vägen. Varje lossningsmetod har för- och nackdelar, vilka beskrivs och kvantifieras i den mån det är möjligt för att genomföra en lönsamhetsanalys av metoderna. Skillnaden i tidsåtgång har uppmätts genom tidsstudie och visar att den dubbelsidiga lossningen kan utföras ungefär 3,6 minuter snabbare per lass. Lönsamhetsanalysen visar att kostnaden för grusning av väg för att öka dess bärighet redan efter 10 cm grus överstiger besparingar av den reducerade tidsåtgången.

Nyckelord: Lossning, tidsstudie, tidsstudie skotare, lossningsmetod, vägavlägg, skogsavlägg, dubbelsidig lossning, enkelsidig lossning, lönsamhetsanalys, nettonuvärdesförlust

Abstract

Productivity development within Swedish forestry has declined. In order to maintain competitiveness, further development of existing methods is needed. Within the framework of this thesis, the profitability and time consumption are compared between two different methods of unloading timber at the roadside landing when forwarding. The main approach – single-sided unloading from the forest, is compared with the approach described in the literature as more effective – double-sided unloading from the road. Each unloading method has advantages and disadvantages, which are described and quantified as good as possible to execute a profitability analysis of the methods. Differences in time consumption has been measured through a time study and shows that the double-sided unloading can be performed approximately 3.6 minutes faster per load. The profitability analysis shows that the costs of graveling the road to increase its load-bearing capacity already after 10 cm of gravel exceeds the savings by the reduced time consumption.

Keywords: Unloading, time study, time study forwarder, unloading method, roadside landing, double-sided roadside landing, single-sided roadside landing, profitability analysis, net present value loss

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
Termer och förkortningar	9
1. Inledning	10
1.1 Den svenska skogsnäringen	10
1.2 Drivning	10
1.2.1 Studier av skotning	11
1.2.2 Avlägg och lossning	11
1.3 Terrängkörning, körskador och produktionsförluster	13
1.4 Nuvärdesmetoden	14
1.5 Skogsbilvägar	14
1.6 Arbetsstudier	15
1.7 Tidigare studier av lossningsarbete	15
1.8 Motivation till studien	16
1.9 Syfte	16
2. Material och metod	17
2.1 Tidsstudie	17
2.1.1 Försöksdesign	19
2.1.2 Tekniska specifikationer skotare	21
2.2 Lönsamhetsanalys lossning	22
2.3 Databearbetning, statistik och normering	25
2.4 Övrigt	26
3. Resultat	27
3.1 Avläggsstorlek och vägskador	27
3.2 Tidsstudie	29
3.3 Lönsamhetsanalys dubbelsidig lossning	37
3.3.1 Scenarios för grusbehov	39
3.3.2 Formel för skogsavläggets kostnad	42
3.4 Normering	42
3.5 Känslighetsanalys	43
4. Diskussion	44
4.1 Resultat	44
4.2 Brister i metod	47
4.2.1 Bias	48
4.3 Framtida studier	48
4.4 Slutsatser	50
Referenser	51
Tack 55	
Bilaga 1	56
Bilaga 2	58
Bilaga 3	65

Tabellförteckning

Tabell 1. Arbetsmoment, dess prioritering och beskrivning	18
Tabell 2. Övriga parametrar som dokumenterats i tidsstudien	19
Tabell 3. Traktegenskaper för trakten där tidsstudien genomfördes	21
Tabell 4. Tekniska specifikationer för skotaren i tidsstudien	21
Tabell 5. Ingångsdata för beräkning av nettonuvärdesförlust	23
Tabell 6. Scenarios för grusbehov	25
Tabell 7. Medelhastighet för olika delmoment, för respektive lossningsmetod, ej normerade lass	35
Tabell 8. Tidsåtgång per arbetsmoment (s), volym per lass (m^3_{fub}), volym per tidsenhet (m^3_{fub}/G_0h), antal krancykler och körda meter enkel väg för respektive förare och lossningsmetod då lassen ej normerats	36
Tabell 9. Regressionsekvationer som nyttjats för normering av de arbetsmoment och parameter där tidsåtgång/antal med statistisk signifikans ($p < 0,05$) påverkas av lastfyllnaden.	42

Figurförteckning

Figur 1. Körsträcka vid olika avlägg (Anon, u.å.-a).....	13
Figur 2. Flödesschema för tidsstudien.	19
Figur 3. Traktkarta över traktdelar och avlägg för trakten där tidsstudien genomfördes. .	20
Figur 4. Avstånd (m) från basvägens anslutningspunkt till sortimentsvältor, där den streckade linjen är sträckan som skotaren kör under dubbelsidig lossning.	27
Figur 5. Bild av det dubbelsidiga avlägget efter 16 lass, pilen indikerar var vägskada uppstått.	28
Figur 6. Avstånd (m) till sortimentsvältor från basvägens anslutningspunkt, där den streckade linjen är sträckan som skotaren kör under enkelsidig lossning.....	28
Figur 7. Bild av det enkelsidiga avlägget efter ungefär 20 lass, pilen indikerar var djupaste körskadan uppstått.....	29
Figur 8. Medeltidsåtgång per lass (sekunder), fördelat på arbetsmoment för respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till 20 m ³ fub.....	30
Figur 9. Total tidsåtgång per lass (sekunder) för alla arbetsmoment och respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till 20 m ³ fub.....	30
Figur 10. Volym (m ³ fub) per tidsenhet (Go _h) för respektive lossningsmetod och förare...31	
Figur 11. Volym (m ³ fub) per tidsenhet (Go _h) för respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till 20 m ³ fub.	32
Figur 12. Körsträcka (m) enkel väg under lossning för respektive lossningsmetod och förare.....	32
Figur 13. Körsträcka (m) enkel väg per samlastat sortiment, för respektive lossningsmetod.....	33
Figur 14. Krancykler per lass i relation till samlastade sortiment, för respektive lossningmetod då lass är normerade till 20 m ³ fub.....	33
Figur 15. Tidsåtgång (s) för arbetsmomentet Körning under lossning i relation till samlastade sortiment, för respektive lossningsmetod.....	34
Figur 16. Total tidsåtgång (s) för lossning i relation till samlastade sortiment, för respektive lossningsmetod.	34
Figur 17. Totalmedelnetto av nyttjandet av dubbelsidigt avlägg från väg med olika grusningsalternativ då avläggsytan tillreds i beståndåldrar (2 – 91 år) och för olika volymer (250 – 4 000 m ³ fub).	37
Figur 18. Totalmedelnetto av nyttjandet av dubbelsidigt avlägg från vägen för olika grusningsalternativ för då avläggsytan tillreds för olika volymer (250 – 4 000 m ³ fub) och i olika beståndåldrar (2 – 91 år).....	38
Figur 19. Grusningskostnad för vägavlägg av olika längd.	38
Figur 20. Nettonuvärdesförlust och intäkter från slutavverkning för bestånd där stickvägsytan måste tillredas i åldrarna 2 – 91 år.....	39

Figur 21. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 1, då ingen grusning krävs oavsett lossad volym för olika åldrar på beståndet där stickvägsytan tillreds.....	40
Figur 22. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 2, då 5 cm grus krävs och volymen som lossas är <math><1000\text{ m}^3\text{fub}</math>.....	40
Figur 23. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 3, då 10 cm grus krävs och volymen som lossas är <math><2000\text{ m}^3\text{fub}</math>.....	41
Figur 24. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 4, då 15 cm grus krävs.	41

Termer och förkortningar

m ³	Kubikmeter
m ³ sk	Skogskubikmeter
m ³ fub	Kubikmeter fast under bark
m ³ f	Kubikmeter fastvolym
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
G ₀ - tid	Grundtid utan stop och pauser
G ₁₅ - tid	Grundtid inklusive stop och pauser kortare än 15 minuter
TTN	Grövre talltimmer
TTK	Klenare talltimmer
BMB	Barrmassaved
GTN	Grövre grantimmer
GTK	Klenare grantimmer
GM	Granmassaved
LMV	Lövmassaved
Sa	Slutavverkning
Ga	Gallring
T	Tall
G	Gran
B	Barr
L	Löv
F1	Förare 1
F2	Förare 2
GROT	Grenar och toppar

1. Inledning

1.1 Den svenska skogsnäringen

Skogsnäringen är en av grundpelarna i den svenska ekonomin och är särskilt viktig i kontext till den biobaserade ekonomi som krävs för en hållbar utveckling av samhället. Näringen står inför en rad möjligheter, bland annat nya konsumentbehov, värdekedjor och produkter. Dock har skogsnäringen en rad utmaningar, bland annat konkurrenskraftiga alternativ till produkter från skogen som betong, plast och stål. En annan utmaning är att den globala marknaden karakteriseras av hård konkurrens från producenter nära växande marknader och i en kostnadsmässigt fördelaktig position, samtidigt som det svenska skogsbrukets produktivitet utveckling stagnerat. Öka produktivitet och därigenom konkurrenskraft måste därför prioriteras högt genom hela skogsbruket, från skogsvård till avverkning och transport. (Rådström & Thor, 2014)

Stora Enso Skog är ett företag inom den svenska skogsnäringen som försörjer industrier och samhället med förnyelsebar råvara och produkter. De yrkar för att stärka skogsbrukets konkurrenskraft, bland annat genom nya innovationer och vidare utveckling av befintliga metoder. (Anon, u.å.-c, u.å.-d)

1.2 Drivning

Virke avverkas och transporteras ut ur skogen till bilväg i den process som kallas drivning (Lindroos, 2018). Avverkning i Norden utförs företrädesvis efter kortvirkesmetoden i ett fullt mekaniserat drivningssystem (Lundbäck et al., 2021). Systemet utförs oftast med ett kombinerat maskinsystem bestående av skördare och skotare, vilket kräver hög utnyttjandegrad och produktivitet för att vara ekonomisk försvarbart (Talbot et al., 2003). Kortvirkesmetoden innebär att trädstammarna kvistas och apteras (kapas) till olika sortiment av skördaren som sedan sorterar virket i högar redo att transporteras genom terrängen av skotaren till avlägg vid bilväg (Häggström, 2015). Terrängtransporten anses sluta vid avlägget, vilket är där virket levereras av skotaren för vidaretransport via väg, med lastbil. Där placeras skotaren virket i olika välter (högar för varje sortiment) (Lundqvist et al., 2014).

1.2.1 Studier av skotning

Produktivitet eller prestation är ett mått av hur mycket som produceras under en tidsenhet, det kan till exempel vara kubikmeter per timme (Lindroos, 2018). Produktiviteten för skotare beror till hög grad på hur snabbt den kan köra då en stor del av skotningen består av körning (Häggström, 2015). Antalet sortiment och hur sortimenten sorteras under terrängtransport påverkar också produktiviteten (Häggström, 2015). Dessutom beror körtiden (och därmed produktiviteten) för skotaren, utöver körhastighet, på det körda avståndet (terrängtransportavstånd) (Manner et al., 2020).

Manner et al. (2013) fann att delmomenten körning under lossning och lossning tog desto längre tid desto fler sortiment som fanns i skotarens lass. Även Nurminen et al. (2006) redovisar en lägre produktivitet för skotaren vid ökat antal sortiment, när rena timmersortiment skotades var produktiviteten 7% högre än vid samlastning av flera timmersortiment. Brunberg and Arlinger (2001) beskriver att skotarens produktivitet sänks med 3 – 4 procent per nytt sortiment som apteras vid slutavverkning. För effektiv skotning och kortare transportavstånd bör det största volymmässiga sortimentet på trakten placeras närmast trakten på avlägget (Eriksson, 1999). Eriksson and Lindroos (2014) studerade produktivitet utifrån uppföljningsdata från ett skogsföretag i norra Sverige 2009 – 2012, det genomsnittliga antalet sortiment var 4,9 men varierade mellan 1 – 10. I samma studie rapporterades att produktiviteten sänks vid svårare terräng och med ökande antal sortiment. Kuitto (1994) studerade produktiviteten genom tidsstudier i Finland, efter stickprov på 76 skotarlass rapporterades att 14% av lassen var rena sortimentslass, 44% var två sortiment, 26% var tre sortiment och resterande var mer än tre sortiment per lass.

Edlund (2009); Fernandez-Lacruz et al. (2021) gjorde produktivetsstudier för skogsbränsleuttag längs med skogsbilvägar, i båda studierna uppmättes skotarens körhastighet, lastad som olastad, till 7 – 8 km/h vid transport längs skogsbilväg. Berg et al. (2019) studerade skotningsavstånd och körhastighet vid skotning, i studien redovisas medelhastigheten vid skotning lastad och olastad till 2,74 respektive 3,29 km/h vid terrängtransport. Hastigheterna överensstämmer bra med de i studien av Nurminen et al. (2006). Skotarens körhastighet kan uttryckas som en funktion av ytstruktur och lutning, enligt Brunberg (2004) varierar skotarens körhastighet från 23 till 65 m/G₁₅ min när ytstruktur och lutning går från 4 till 1. Körhastigheten tenderar att vara högre vid längre skotningsavstånd respektive lägre för kortare skotningsavstånd (Kuitto, 1994; Nurminen et al., 2006). Då körskador eller fördjupningar i körspår uppstår ökar skotarens bränslekonsumtion (Wästerlund & Andersson, 2011).

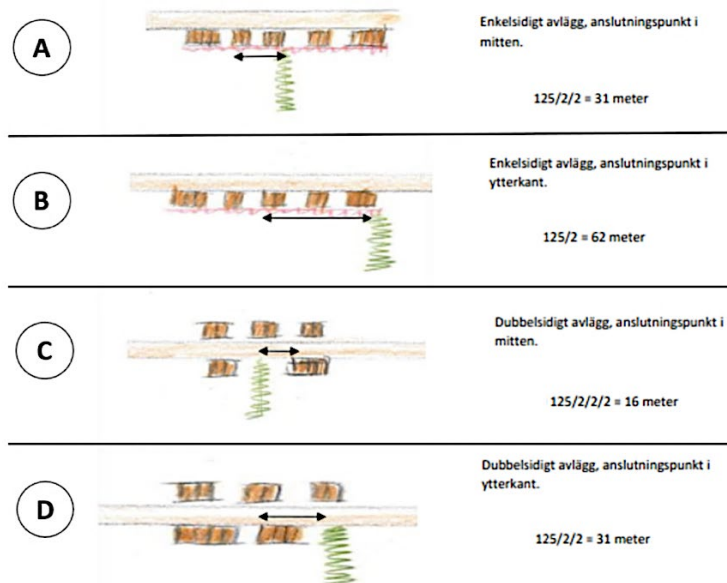
1.2.2 Avlägg och lossning

Enligt Trafikverket (2017) lagras virke vid någon typ av väg innan transport till konsument (sågverk, massabruk osv), vilket resulterat i drygt 200 000 avlägg årligen. För att uppnå en ändamålsenlig och välfungerande skotning är det viktigt att placera avlägget i närhet till den avverkade trakten (Flisberg et al., 2022). Avlägget ska placeras innanför vägens dike, på ett avstånd som inte förhindrar

plogning eller lastbilstransport, dessutom ska det vara trädritt och ordentligt tilltaget (Eriksson, 1999; Löfroth, 2014). Avlägget bör även placeras där det inte hindrar övrig trafik, lämpliga platser är till exempel intill mötesplats eller vändplan medans olämpliga platser till exempel är vid kurva, krön eller backar (Löfroth, 2014). Under avverkningsplanering föreslår skogliga planerare en lämplig plats för avlägg (Andersson, 2020). I Trafikverkets instruktioner ”*Upplag av virke och skogsbränsle vid allmän och enskild väg*” framgår att avlägget bör placeras där lossning kan ske från skogssidan för att spara på vägen och undvika störning av annan trafik (Trafikverket, 2017). Stora Enso Skogs planeringsrutin liknar de från Trafikverket, avlägget ska placeras där lossning kan utföras riskfritt och effektivt, där lossning från skogen främst förespråkas för att spara på vägen (Andersson, 2020). Avlägget bör dimensioneras efter volymen virke och antalet sortiment, uppskattning av avläggets storlek kan göras enligt formel 1. Denna formel utgår ifrån att varje löpmeter välta utgör ungefär 10 m³f och att varje sortiment kräver ungefär 5 extra löpmeter (Svensson, 2013).

$$\text{Avläggets längd (m)} = \frac{\text{virkesvolymen (m}^3\text{f)}}{10} + 5 \text{ löpmeter per sortiment (1)}$$

Lundqvist et al. (2014) beskriver att skotaren oftast undviker lossning från väg då band och kedjor är monterade och att den resulterande lossningen från skogen medför betydande körning i terrängen längs med vägen. Om skotaren kan lossa virke åt två håll, så kallat dubbelsidigt avlägg, ökar effektiviteten. Dubbelsidigt avlägg är vanligen möjligt då skotaren lossar från väg. Vid skoglig avverkning där avläggets placering inte är intill det område som ska avverkas måste terrängtransport utföras längs det som kallas basväg (Lundqvist et al., 2014). Sträckan som skotaren kör längs med avlägget beror utöver avläggets längd på avläggets utformning, alltså om avlägget är enkelsidigt eller dubbelsidigt och vart basvägen ansluter till avlägget. En enkel beräkning av körsträckan vid avlägget beroende på dessa faktorer kan utläsas i Figur 1 och är den metod Stora Enso Skog använder vid bortsättning. Det vanligaste utformningen av avlägg har i tidigare examensarbetet som skrivits i samarbete med Stora Enso Skog antagits till enkelsidigt avlägg med lossning från skogen med anslutningspunkt i mitten och med 5 sortiment (Arkegrim & Appelbring, 2023; Wessmark, 2019). Antalet sortiment och sortimentslaster påverkar körning på avlägget under lossning då skotaren måste köra mer mellan vältor desto fler sortiment som finns vid avlägg och desto fler som samlas (Manner et al., 2020).



Figur 1. Körsträcka vid olika avlägg (Anon, u.å.-a).

Figure 1. Driving distance of different roadside landings (Anon, u.å.-a)

1.3 Terrängkörning, körskador och produktionsförluster

Oberoende av hur många avlägg som används kommer betydande körning ske längs med basvägen och avlägget, enbart ett avlägg innebär dock att all virkestransport kommer gå via samma basväg och längs med samma avlägg (Lundqvist et al., 2014). För att upprätthålla hög produktivitet bör skotaren hålla hög hastighet och lastfyllnad, vilket medför problematik då virket som skotas under en avverkning ofta väger flera hundra ton (Lindroos et al., 2017). Tunga skogsmaskiner innebär oundviklig påverkan på marken i det avverkade beståndet, vanligen i form av komprimering eller körskador (Horn et al., 2004). Denna påverkan resulterar i permanenta skador som hämmar återväxt och etablering av ny skog (Horn et al., 2004). Dessa skador kan till exempel vara kvalitetstänkande egenskaper som stamskador eller röta (Agestam, 2009). Under gallring tar skogsmaskinerna upp stickvägar för att kunna utföra drivningen. Stickvägar sänker den produktiva arealen då alla träd i stickvägen avverkas, den totala tillväxtförlusten kompenseras till stor del av ökad tillväxt för träden intill stickvägen, förutsatt att kanträdens stammar och rötter inte tar skada under avverkning (Agestam, 2009). Av dessa anledningar rekommenderar Horn et al. (2004) etablering av permanenta körspår för att minimera markens påverkan över tid vid avverkning med skogsmaskiner. Undvikandet av körskador är högst relevant ur ett ekonomiskt perspektiv, eftersom de leder till långsammare körning, ökad bränslekonsumtion och risk för skador på skogsmaskinen (Lindroos et al., 2017).

Markens trafikbarhet är den kapacitet som marken har att bära ett givet fordon bra nog att fordonet kan förflytta sig. Bedömning av trafikbarheten för ett fordon är

svårt, men det finns verktyg i form av fältutrustning för att utföra en enkel prognos, till exempel kon – penetrometern, medan det för att bedöma exakt trafikbarhet krävs mycket tid och modellering. Trafikbarheten beror dels på fordonets beskaffenheter, till exempel om den har band, dels på markens beskaffenheter, till exempel material och fukthalt (Yong et al., 1984)

1.4 Nuvärdesmetoden

Nuvärdesmetoden är en värderingsmetod som kan användas för att värdera en marknadsprissatt vara, till exempel virkesproduktionens värde på ett skogsbestånd. Olika skogsskötselåtgärder påverkar nuvärdet på olika sätt eftersom de kan påverka tillväxten på olika sätt. Nuvärdet kan användas för att ta beslut om vilken åtgärd eller investering som är mest lönsam genom en nuvärdeskalkyl, normalt uttrycks formeln i en nuvärdeskalkyl likt formel 2. Nuvärdeskalkylen möjliggör jämförande av åtgärder från olika tidpunkter. Kalkylräntan är den variabel som associeras högst till påverkan på nuvärdeskalkylen, vilket beror på ränta på ränta effekten eftersom räntan i en nuvärdeskalkyl antas vara konstant över tid. För skogliga kalkyler brukar kalkylräntan på 2 – 5% nyttjas. (Ekvall et al., 2009)

$$\text{Nuvärde} = \sum_{t=0}^{\infty} ((\text{Intäkter}_t - \text{Kostnader}_t) \times (1 + i)^{-t}) \quad (2)$$

Där:

$\sum_{t=0}^{\infty}$ är summan av alla framtida inkomster och kostnader

t är tidpunkt

i är kalkylränta

$(1 + i)^{-t}$ är diskonteringen från tidpunkt t till tidpunkt 0 med ränta i

1.5 Skogsbilvägar

Skogsbilvägar har en vital funktion i det svenska skogsbruket, utan dem kan inte transport av virke, utrustning och personal ske. För att upprätthålla funktionerna krävs driftåtgärder som upprustning och underhåll. Underhåll syftar till att upprätthålla vägens standard, till exempel genom grusning, medan upprustning syftar till att höja vägens standard, till exempel öka bärigheten. I princip alla enskilda skogsbilvägar byggs för att ha en bärighet för ett fordon som väger 60 ton. Skogsbilvägarna klassas efter tillgänglighet och geometrisk standard, tillgängligheten klassas från A – D och avgörs utifrån när på året vägen kan nyttjas. Den geometriska standarden klassas från 1 – 4 och beskriver den hastighet säker framförelse av fordon kan ske på vägen. Bärigheten på en väg avgörs av undergrunden (markmaterialet på lokalen), överbyggnaden (översta delen av vägen, ofta bär- och slitlager) och dränering. Då undergrunden inte kan regleras är överbyggnad och dränering de faktorer som är möjliga att påverka. Materialet i undergrunden avgör hur mycket bärlager som krävs för den efterfrågade bärigheten. Om gröve stenfraktioner nyttjas i överbyggnaden (till exempel 0 – 100 mm) sprids trycket av fordon som belastar vägen bättre, vilket resulterar i en högre bärighet.

För att ge högre åkkomfort på vägen används ofta ett slitlager, bestående av grus av finare fraktioner. Grusning för att förstärka bärighet kan begränsas till hjulspåren på en skogsbilväg. (Löfroth, 2014)

1.6 Arbetsstudier

För att studera maskiner, arbetsmetoder och prestation där biomassa hanteras är det lämpligt att utföra det som inom arbetsvetenskap kallas arbetsstudier (Acuna et al., 2012; Apel et al., 1995). Arbetsstudier syftar till att fastställa eller optimera effektiviteten eller produktiviteten av ett arbete eller en arbetsmetod genom att systematisk utvärdera tekniska, fysiska och psykiska parametrar, vilket görs genom analys av objektiva data (Acuna et al., 2012; Apel et al., 1995). Arbetsstudier kan utföras som organisationsstudie, metodstudie eller arbetsmätning vilka ofta inkluderar tidsstudie eller röreslesstudie (Apel et al., 1995). En organisationsstudie syftar till att analysera organisatoriska strukturer, en metodstudie syftar till att analysera arbetsmetoder och arbetsmätning syftar till att mäta insatser, metoder och produktion (Apel et al., 1995). I arbetsmätning där arbetet utförs med maskiner ingår ofta mått på tidsåtgång, moment, rörelser och energikonsumtion (Apel et al., 1995). Utöver detta beskrivs vanligtvis i arbetsstudier: arbetsobjektet (till exempel trädstorlek), väderförhållanden, kvalitet på det utförda arbetet och kvantitet (producerad mängd) (Apel et al., 1995). En tidsstudie syftar till att identifiera och utesluta onödiga och effektivitetstänkande tidsåtgång genom analys av tidsåtgången av arbetet (Acuna et al., 2012; Apel et al., 1995). Tidsstudier kan genomföras som jämförande eller modellerande studier, eller som en blandning av båda (Acuna et al., 2012). Arbetsstudier utförs på människors arbetsplats och ofta på hur individer presterar, det är därför viktigt att följa god etik (till exempel genom anonymitet) och föra dialog med de individer som ingår i studien om vad studien syftar till (Acuna et al., 2012). En annan viktig aspekt av arbetsstudier är den så kallade Hawthorne effekten, vilket innebär att individers prestation kan ändras av det faktum att de studeras (Acuna et al., 2012).

1.7 Tidigare studier av lossningsarbete

Ström (2008) studerade tidsåtgång och produktivitet vid enkelsidigt och dubbelsidigt lossningsarbete för drivaren Valmet 801 och fann en statistiskt signifikant högre produktivitet vid dubbelsidig lossning. Den ökade produktiviteten förklarades av mindre förflyttning mellan vältor vid lossning och möjligheten att förflytta sig snabbare på bilväg. Studien studerade tre och fyra samlastade sortiment och inkluderade kostnader för vägåtgärder vid dubbelsidig lossning, i form av en engångskostnad på 3000 kr. Ström fann att enkelsidig lossning var lönsammast upp till 1300 m³ fub vid ett kalkylpris för drivaren på 750kr/timme.

Haugerud (2013) studerade vägstyrkostnaderna för att reparera väg efter att skotare lossat från väg under otjälad barmarksäsong i Norge. I studien beskrivs att skotare utan problem kan nyttja vägen vid lossning då vägen är tjälad. Skogsbilvägarna i

studien hade en motsvarighet till svensk vägklass C, 13 avlägg studerades med varierande lossad volym (275 – 3400 m³) och varierande längd (60 – 300 m). Alla vägar skadades i en sådan grad att de behövde repareras, inflationsjusterat till 2024 och omräknat till svenska kronor var snittkostnaden för reparation 33 700 kr. Trots att en del reparationer utfördes innan lastbilstransport av virket uppstod ogynnsamma och försvårande förhållanden för lastbilarna. Haugerud drar slutsatsen att förebyggande åtgärder, som att förstärka vägen med grövre fraktioner där lossningen ska utföras, troligen är mer lönsamt än att reparera vägen i efterhand. I studien framkommer även att de största skadorna sker redan efter de första lassen och att reparationskostnaderna sedan ökar någorlunda konstant med ökad volym. Baserat på avläggens längd i relation till volymen som lossats utfördes troligen lossningen enkelsidigt från vägen i studien.

1.8 Motivation till studien

Det finns motstridiga uppgifter i litteraturen och mellan vad olika parter inom värdföretaget, Stora Enso Skog, anser vara den mest effektiva metoden vid lossning. Företagets planeringsrutiner förespråkar lossning från skogssidan för att spara på vägen medan somliga förespråkar lossning från väg och hänvisar till ökad produktivitet och bättre arbetsmiljö. Det mest effektiva sättet för utförelse av virke ur skogen är enligt litteraturen att lossa virket från väg (Lundqvist et al., 2014), men metoden är i konflikt med rådande föreskrifter som förespråkar lossning från skogen (Trafikverket, 2017). Lossning från väg innefattar ofta vägstäckor, därför behöver dessa räknas in i den totala kostnaden. Vägavlägg innebär också kortare terrängtransportavstånd då dubbelsidig lossning är möjligt, vilket resulterar i kortare lossningssträcka (figur 1) och mindre körning mellan vältorna. Lossning från skogen medför betydande körning i terräng, vilket innebär att det inte går att köra lika fort, uppstår dessutom spårbildning ökar bränsleförbrukning (Lindroos et al., 2017). Lossning från skogen innebär också att en stickvägsbred yta intill avlägget måste avverkas för att utföra lossningen, dessa faktorer måste vägas in i en lönsamhetsanalys av de två lossningsmetoderna. Den faktiska skillnaden i tidsåtgång mellan dubbelsidig och enkelsidig lossning förefaller tämligen ostuderad. Förhoppningen är att en studie som jämför dessa lossningsalternativ kan bistå med nya insikter om lossning och avlägg, vilket kan bidra till ökad lönsamhet inom skogsbruket.

1.9 Syfte

Studien syftar till att jämföra tidsåtgång och kostnader av enkelsidig lossning från skogen och dubbelsidig lossning från väg.

Hypoteser:

- Tidsåtgången är lägre då lossningen kan genomföras dubbelsidigt
- Lossning från skogen är företrädesvis mer lönsamt då någon form av grusning krävs för att möjliggöra lossningen från vägen

2. Material och metod

För att identifiera vilka faktorer som kan påverka den totala lönsamheten för lossning från skogen och lossning från väg genomfördes omfattande litteratursökning efter liknande studier, tidsstudier av skotare, arbetsmetodik vid arbetsstudier och associerade kostnader till lossningsmetoderna.

Syftet uppnås genom modellering av:

- Skillnad i tidsåtgång för lossningsmetoderna, vilket mäts i tidsstudie av lossningsarbetet.
- Lönsamhetsanalys av grusningskostnad för dubbelsidig lossning, nettonuvärdesförlust för ytan intill det enkelsidiga avlägget och merkostnad för ökad tidsåtgång.

2.1 Tidsstudie

Inom ramen för detta examensarbete genomfördes en arbetsstudie i form av arbetsmätning och tidsstudie av lossningsarbetet för två olika lossningsmetoder. Tidsstudien utfördes som en sambandsstudie, där de prestationspåverkande faktorerna är enkelsidig och dubbelsidig lossning. Studien har kontinuerlig karaktär då studieobjektet, lossning, totalinventerades med målet att synkront dokumentera tidsåtgången och körsträckan för de olika lossningsalternativen. En synkron tidsstudie innebär att dokumenterad tidsåtgång är färdigställd direkt efter tidsstudiens genomförande, vilket var fördelaktigt för att färdigställa resterande delar av studien inom den satta tidsramen. Designen av tidsstudien var av experimentell karaktär då begränsningar sattes för lossningen för att skapa likartade förhållanden för de båda lossningsmetoderna. Tidsåtgång för lossning dokumenterades på arbetsmomentsnivå, vilket medför ett högt detaljerat data och möjligheten att i hög grad förklara vad skillnader i prestation beror på (Acuna et al., 2012). Mätning av tidsåtgången började då skotaren vrider hjulen för att svänga av från basvägen in på avlägget och avslutades då skotaren vrider hjulen för att svänga av från avlägget in på basvägen. Vid det tillfälle flera moment pågår samtidigt sker en prioritering och momentet dokumenteras som det med högst prioritet. En detaljerad beskrivning av arbetsmomenten som ingår i arbetscykeln och dess prioritering definieras i tabell 1. I tidsstudien dokumenterades även en rad kvalitativa och kvantitativa parametrar, vilka kan utläsas i tabell 2. Tidsåtgången dokumenterades i G_0 tid, vilket innebär att raster och andra pauser inte räknas in i tidsåtgången. Avståndet mättes med avståndsmätare av märket Range 600, vilken kan mäta avstånd med 1 meters noggrannhet på 15 – 600 meter. För tidmätning

nyttjades tidsstudieprogram på smarttelefon i form av applikation framtagen för tidsstudier inom skogsbruk av Anon (u.å.-b). Författaren hade tidigare erfarenhet av tidmätning på inspelat material av skogsmaskiner från kurs på grundnivå vid SLU, innan tidsstudiens genomförande övades även tidtagning av lossning på inspelat material. Två förare inkluderas i studien vilka informerades om syftet och behålls anonyma. Båda förarna är mycket erfarna, med 13 (förare 1) respektive 9 (förare 2) års erfarenhet av att köra skogsmaskin. Förarna arbetade två – skift och tidsstudien genomförs under åtta timmar varje dag (fyra timmar per skift för varje förare) tills dess att totalt 32 lass studerats. Studien begränsades till 32 lass av praktiska skäl och då urvalet bedömdes utgöra tillräckligt urval för statistik analys av lossningsmetod, förare, arbetsmoment och övriga parametrar. Förarna lossade åtta lass vardera, både dubbelsidigt och enkelsidigt. Tidsstudien genomfördes under tre dagar, 26 – 28 februari 2024. I figur 3 kan ett flödesschema över dagarna och hur de 32 lassen fördelats utläsas. Data insamlad under studien är ämnat för forskningsändamål.

Tabell 1. Arbetsmoment, dess prioritering och beskrivning

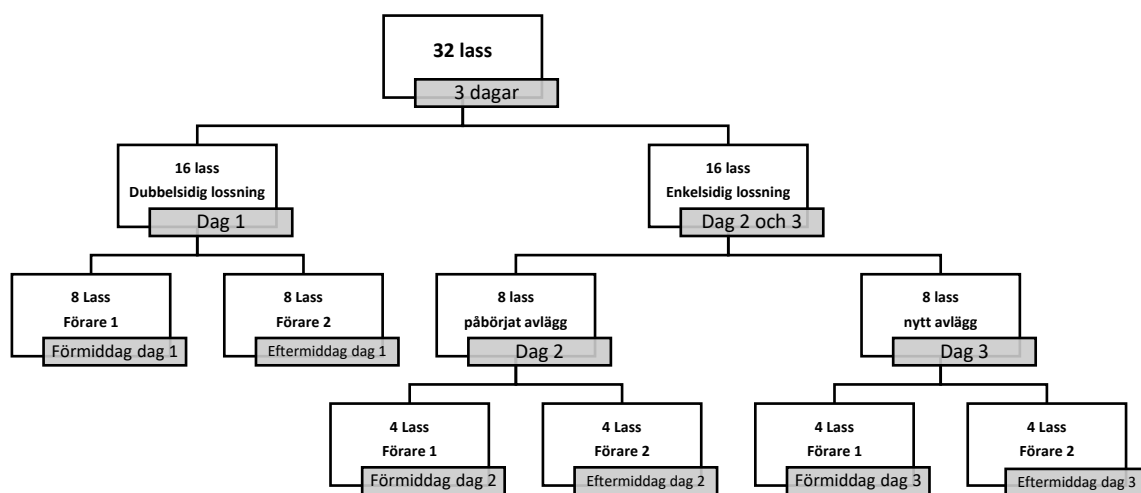
Table 1. Work elements, their priority and description

Arbetsmoment	Prioritet	Beskrivning	Källa
Körning innan lossning	1	Börjar då skotaren vrider hjulen för att svänga av från basvägen in på avlägget, slutar vid första krancykeln	Författarens formulering
Körning efter lossning	1	Börjar då lasset är tomt och hjulen börjar rotera, slutar då skotaren vrider hjulen för att lämna avlägget	Författarens formulering
Kran ut	1	Då gripen griper tag om virke i lasset och lyfter till välta	Nurminen et al. (2006)
Kran in	1	Tom grip in mot lass för att ta nytt griptag virke	Nurminen et al. (2006)
Körning under lossning	2	Då hjulen börjar rotera tills dess att hjulen stannar, exklusive arbetsmomenten Körning innan och Körning efter lossning	Nurminen et al. (2006)
Sortering last	3	Sortering av virket i lasset	Nurminen et al. (2006)
Sortering välta	3	Sortering av virket i vältan	Nurminen et al. (2006)
Övrig tid	3	Till exempel rekognosering/planering av lossning från förarhytten	Nurminen et al. (2006)
Avbrott	4	Till exempel reparation, räknas inte in i verktiden	Nurminen et al. (2006)

Tabell 2. Övriga parametrar som dokumenterats i tidsstudien

Table 2. Other parameters documented during the time study

Parameter	Beskrivning
Producerad mängd per lass	1 m ³ fub, utlästes från MaxiFleet.
Sortiment i lasset	Antalet sortiment i varje lass, antecknades.
Körsträcka under lossning	Börjar och avslutas vid infarten från basväg till avlägg, mättes med avståndsmätare.
Avläggets längd	Längden på avlägget efter tidsstudien, från basvägens anslutningspunkt vid avlägg till änden av den bortersta vältan, mättes med avståndsmätare.
Antal krancykler	Antalet krancykler för varje lass, beräknades under databearbetning genom att räkna arbetsmomenten kran in och kran ut.
Vägsador/körskador	Spårbildning och skador som uppstår under lossningsarbetet, dokumenterades genom fotografering och anteckningar
Stickvägsbredd intill avlägg	Bredden på den stickväg som upptagits för att möjliggöra lossning från skogen, mättes från bestandsgräns till närmsta vältan



Figur 2. Flödesschema för tidsstudien.

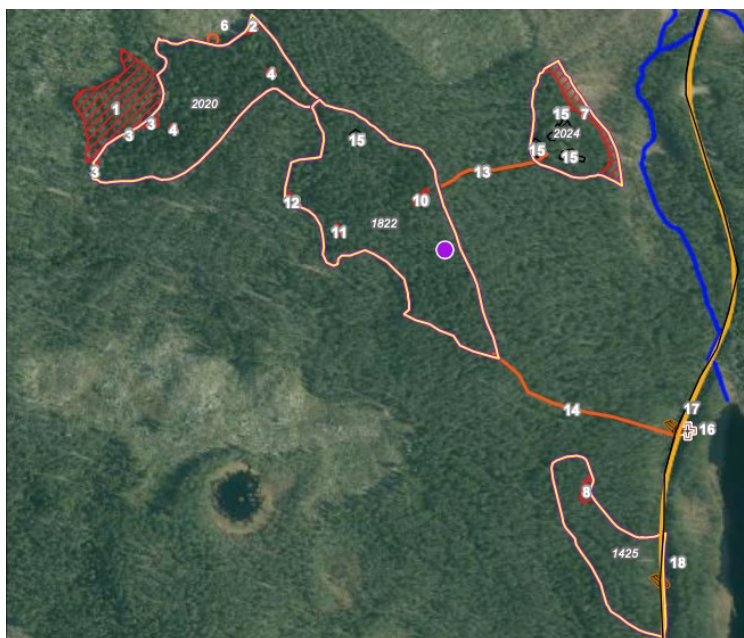
Figure 2. Flowchart of the time study.

2.1.1 Försöksdesign

En lämplig trakt i avverkningsplanen, att genomföra tidsstudien på, valdes ut i dialog med Stora Enso Skog, varefter en slutavverkning inom Stora Ensos innehav, 35 km norr om Falun, valdes. Trakten består av fyra trakt delar (figur 2), den södra (ID 1425) med tillhörande avlägg (punkt 18) var lämpligt för dubbelsidig lossning. De resterande tre trakt delarna (ID 1822, 2020 och 2024) skotades till ett tidigare tillrätt skogsavlägg (punkt 17) och passade för enkelsidig lossning. Inmätningen för den dubbelsidiga lossningen påbörjades på ett tomt avlägg, varvid det beslutades att tillreda ett nytt skogsavlägg intill det redan existerande skogsavlägget. Åtgärden utfördes då den enkelsidiga lossningen redan var påbörjad innan tidsstudien inleddes och en volym på ungefär 300 m³fub hade lossats. De första fyra lasen dag två lossades för respektive förare på det påbörjade avlägget för den enkelsidiga lossningen, eftersom det nya avlägget först kunde tillredas till dag tre (figur 2). Tillredningen av ett nytt enkelsidigt avlägg syftade till att göra

lossningsalternativen mer jämförbara. Tidsåtgången och körsträckan då skotaren passerade det påbörjade avlägget exkluderades för lassen som lossats på det nya avlägget. Genom tillredningen kunde åtta lass på ett påbörjat och åtta lass på ett nytt avlägg dokumenteras, vilket gav en bra balans som liknade de 16 lass lossade dubbelsidigt. Ett tomt avlägg innebär längre krancykler dels då virket måste föras längre ner jämfört med ett påbörjat avlägg, dels då mer av arbetsmomentet sortering av vältor sker för de första lassen.

Sortimenten skiljde sig mellan de olika traktdelarna, den södra trakt delen hade fem sortiment medan de norra hade 7 (tabell 3). De norra trakt delarna hade dessutom betydligt längre transportavstånd (700 – 1000 m), vilket efter dialog med förare innebar att dessa trakt delar skulle samlas med i alla fall två sortiment per lass. Den södra trakt delen med kort skotningsavstånd skulle i hög grad lastas sortimentsrent. Därefter infördes begränsningen att de sortimentsrena lassen för den dubbelsidiga lossningen skulle lossas åt två håll. Begränsningen syftade till att simulera fler sortiment per lass och skapa fler sortimentsvältor, vilka blev åtta i stället för fem. Åtta vältor är mer jämförbart med de sju som tillredes för den enkelsidiga lossningen. Begränsningen för det dubbelsidiga lossningsarbetet syftade till att kontrollera brus och systematiska fel, skapa likartade förhållanden och säkerställa att ett lossningsalternativ inte gynnas. Utan begränsning hade den dubbelsidiga lossningen gynnats då färre sortiment innebär högre produktivitet vid lossning (Manner et al., 2013). Utöver ovanstående begränsning instruerades förarna att genomföra skotningsarbetet helt enligt vanlig regi, även avläggen läts utformas helt enligt förarnas normala arbetsmetodik.



Figur 3. Traktkarta över trakt delar och avlägg för trakten där tidsstudien genomfördes.

Figure 3. Site map which includes the separate harvested sites and the roadside landings of the site where the time study was conducted.

I tabell 3 presenteras traktdelarnas egenskaper så som medelstamsvolym, sortiment och ålder.

Tabell 3. Traktegenskaper för trakten där tidsstudien genomfördes

Table 3. Site parameters for the harvested site in the time study

Trakt ID	Ålder	Ståndortsindex	Medelstam	Antal sortiment	Grundyta
2024	68	T24	0,32	7	32
1425	68	T24	0,40	5	32
2020	67	G24	0,32	7	34
1822	68	T24	0,32	7	33

2.1.2 Tekniska specifikationer skotare

Skotaren som nyttjades för lossningsarbetet i tidsstudien var en Komatsu 895 av 2023 års modell, dess tekniska specifikationer kan utläsas i Tabell 3. Skotarens prestationer rapporterades till Komatsus rapporteringssystem MaxiFleet, där producerad mängd per lass kunde utläsas.

Tabell 4. Tekniska specifikationer för skotaren i tidsstudien

Table 4. Technical specification of the forwarder in the time study

Detalj	Specifikation
Dimensioner	Längd: 10 790 mm, Bredd: 3 160 mm, Höjd: 4 050 mm
Hjul och däck	8 hjul, Däck: 780/50x28,5
Band	Olofsfors EVO M – 2 200 kg
Vikt	23 600 kg + 4 band á 2 200 kg = totalt 32 400 kg
Max lastvikt	20 000 kg
Motor	6 cylindrig dieselmotor med turbo, AGCO Power
Effekt	214 kW – 1 800 r/min
Vridmoment	1 280 Nm – 1 500 r/min
Dragkraft	262 kN
Lastarea	7,2 m ²
Kran	10 m med Smart Crane kranstyrning och kranvåg
Grip	Komatsu G40
Lastutrymme	LoadFlex flexibla stöttor

2.2 Lönsamhetsanalys lossning

För att beräkna en total kostnad för enkelsidig lossning från skogen vägs, utöver den produktivitet som uppmätts under tidsstudien, nettonuvärdesförluster in i total kostnaden. Dessa nuvärdesförluster antas uppstå då avlägget inte ligger i direkt anslutning till trakten, då en yta tillreds på skogssidan intill avlägget för att möjliggöra lossningsarbetet för skotaren. Ytans storlek är en funktion av meter avlägg enligt formel 3. För att beräkna avläggets längd för olika virkesvolymen nyttjas formel 1. Stickvägsbredden sattes till 6 meter i nettonuvärdesanalyserna.

$$\text{area nuvärdesförlust (m}^2\text{)} = \text{avlägg (m)} \times \text{stickvägsbredd (m)} \quad (3)$$

Nuvärdesförlusten modelleras för olika beståndsåldrar (2 – 91 år), då den genomsnittliga avverkningsåldern i Svealand 2019 var strax över 90 år och har en bonitet på 6,4 (Roberge et al., 2023). Om trakten ligger i anslutning till avlägget innebär det att ytan intill avlägg troligtvis blir föryngrad och nuvärdesförlusten blir i princip 0. Kalkylräntan som nyttjades i kalkylerna var 4%. För nettonuvärdeskalkylerna användes rundvirkespriser för kvartal 4 2023 i Svealand från Skogsstyrelsen (2024b) för att kvantifiera värdet av virkesvolymen vid olika beståndsåldrar. Modellerings av nuvärdesförlusten utgår ifrån att bestånden sköts enligt trakthyggesbruk med 1 röjning i ungskogsfasen, 2 gallringar med 30% styrka vid 35 respektive 51 år och att beståndet slutavverkas vid 91 års ålder. Kostnader för drivning förankras i löpande priser från 2022 från Skogsstyrelsen (2023). Skillnaden i produktivitet som uppmätts under tidsstudien kvantifieras till en merkostnad för det enkelsidiga avlägget med ett kalkylrimpris på 1400 kr/G₁₅ – timme för skotaren, vilket baseras på riktvärden från Skogsstyrelsen (2024a). G₀ – tiden omvandlas till G₁₅ – tid (grundtid inklusive stopp kortare än 15 minuter) där den tekniska utnyttjandegraden (TU) sattes till 90% (Lindroos, 2012). Skogsdata och rundvirkespriser från Svealand används då värdföretagets huvudsakliga verksamhetsområde ligger inom denna landsdel.

I tabell 5 redovisas ingångsdata för modellering av nettonuvärdesförluster för olika åldrar (2 – 91 år). I kolumn 2 (volym) redovisas volymen för respektive beståndsålder från Roberge et al. (2023). Kolumn 3 (volymen per sortiment) utgår ifrån trädslagsfördelning från Roberge et al. (2023) samt omvandlingar från m³sk till m³fub från Skogskunskap (u.å.) där T står för tall, G för gran, B för barr och L för löv. I kolumn 4 (kostnad röjning) redovisas kostnader för att tillreda skogsavlägget vid 7 och 15 års ålder och utgår från antagandet att det vid 2 års ålder samt vid 25 – 91 års ålder inte krävs någon röjning för att tillreda ytan intill avlägg. I kolumn 5 redovisas drivningskostnader för att tillreda skogsavlägg och utgår från antagandet att det för 25 – 91 års ålder går att utföra med skogsmaskin. I kolumn 6 (kostnad gallring) anges kostnaderna för de gallringar som utförs vid 35 respektive 51 års ålder. Nettonuvärdesförlusten beräknades genom att diskontera framtida inkomster för ytan intill avlägget till ett värde för åldrarna 2 – 91 år. Den förlorade inkomsten (kostnaden) av ytan intill avlägg är en nettonuvärdesförlust som funktion av ytans storlek, beståndets ålder, drivnings/röjningskostnad, sortimentsfördelning, volym, virkespris, och kalkylränta.

Exempel:

Kostnaden för att tillreda ett skogsavlägg i ett bestånd som är 25 år är den diskonterade inkomsten från ytan intill avlägget från slutavverkning vid 91 år med en drivningskostnad på 119 kr/m³fub. Därtill ingår den diskonterade kostnaden/inkomsten för gallringarna vid 35 och 51 års ålder med drivningskostnad på 250 respektive 200 kr/m³fub. Efter att de beståndsrelaterade kostnaderna beräknats subtraheras eventuella inkomster från ytan och sist adderas merkostnaden för den enkelsidiga lossningen.

Tabell 5. Ingångsdata för beräkning av nettonuvärdesförlust

Table 5. Input data for net present value loss calculations

Ålder (år)	Volym ¹ (m ³ sk/ha)	Volym per sortiment ² (m ³ fub/ha)				Kostnad röjning ³ (kr/ha)	Kostnad drivning ⁴ (kr/m ³ fub)	Kostnad Gallring ⁴ (kr/m ³ fub)
		Timmer		Massa				
		T	G	B	L			
2	-	0	0	0	0			
7	-	0	0	0	0	3000		
15	-	0	0	0	0	5000		
25	88	0	0	52	11		300	
35	137	0	0	81	17		234	
51	195	9	8	81	24		171,5	
71	255	37	32	103	36		140	
91	284	61	53	76	40		119	

¹: Roberge et al. (2023)

²: Författarens antagande utifrån Roberge et al. (2023); Skogskunskap (u.å.)

³: Författarens antagande

⁴: Författarens antagande grundad i värden från Skogskunskap (2023)

Beräkning av totalkostnad för dubbelsidig lossning från vägen utgår ifrån en vägkostnad, eftersom vägen ofta behöver förberedas eller lagas då lossning utförs från väg. Kvantifiering av kostnader för insatser som krävs för att skogsbilvägen ska vara trafikbar för en skotare och för att sedan kunna nyttjas för virkestransport och persontrafik är svårt. Vägkostnaderna formuleras därför som 4 olika scenarios (tabell 6) utifrån grusmängd per meter vägavlägg, tidsåtgång och timpris för tiptrailer som utför grusning. Dessa scenarios utgår från att vägåtgärder kan genomföras proaktivt för att förebygga skador på vägen och att olika höjd (se tabell 6) på grusning krävs för att höja bärigheten på vägen. Kostnadsscenarios utgår ifrån att olika årstider och avverkade volymer kräver olika stora insatser. Tjällossning och ihållande regnperioder anses vara opassande förhållanden att utföra lossning från väg då vägens bärighet är avsevärt försämrade under dessa förhållanden. Även vägklass D anses vara opassande för lossning från väg. Tjälad skogsbilväg av vägklass C eller högre antas kunna nyttjas utan att insatser krävs, även då höga

volymer ska lossas. Scenarios för grusåtgång baseras delvis på de samband i avverkad volym och reparationskostnad som kunnat utläsas i Haugerud (2013).

Nordic Construction Company (NCC) är ett av företagen som erbjuder grus- och krossprodukter inom Stora Enso Skogs verksamhetsområde (NCC, 2024b). De erbjuder även ett räkneverktyg för att beräkna grusåtgång i ton och kubikmeter som utgår ifrån längd, bredd och djup (NCC, 2024c). För bergskross 0-90 är tonpriset i Falun, exklusive moms och leverans, 144 kr/ton och omräkningstalet från m^3 till ton är 1,6 (NCC, 2024a). MaserFrakt är ett av åkerierna som erbjuder transporter inom Stora Ensos verksamhetsområde, i deras prislista från 2022 är timpriser för tipptrailer 1300-1500 kr/timme (MaserFrakt, 2022). Timpriset för tipptrailer som nyttjas i totalkostnaden är 1400 kr/timme och gruspriset 144 kr/ton. För varje lass grus som körs ut antas det ta 2 timmar för tipptrailer och tiptrailern antas ha en lastkapacitet på 38 ton. I totalkostnaden nyttjades en grusningsbredd på 4 meter (vägbredd).

Exempel

Kostnaden att tillreda ett dubbelsidigt avlägg från vägen under en ihållande torrperiod där $800 m^3$ fub och 5 sortiment skall lossas är:

- Grusningskostnad som utgår från grusåtgång (formel 4) efter avläggslängden (formel 1 och figur 1), omvandlingstal till ton, tidsåtgång och timpris för tipptrailer

Nettot för dubbelsidig lossning från väg under ovanstående beskrivning är kostnaden för att tillreda dubbelsidigt avlägg subtraherat med kostnaden att tillreda enkelsidigt avlägg från skogen.

Tabell 6. Scenarios för grusbehov

Table 6. Scenarios for gravel requirement

Scenario	Beskrivning	Grusbehov (cm)
1 - Vägens bärighet är mycket bra	Väglklassen är C eller högre då vägen är tjälad eller andra väl gynnsamma väderförhållanden råder	0
2 - Vägens bärighet är god	Väglklass är C eller högre under ihållande torrperiod <i>och</i> Volymen som skall lossas är mindre än 1000 m ³ fub	5
3 - Vägens bärighet är okej	Väglklass är C eller högre under normala väderförhållanden <i>och</i> Volymen som skall lossas är mindre än 1000 m ³ fub <i>eller</i> Väglklass är C eller högre under ihållande torrperiod <i>och</i> Volymen som skall lossas är 1000 – 2000 m ³ fub	10
4 - Vägens bärighet är dålig	Väglklass är C eller högre under regniga/fuktiga förhållanden <i>och</i> Volymen som skall lossas är mindre än 1000 m ³ fub <i>eller</i> Väglklass är C eller högre under normala väderförhållanden <i>och</i> Volymen som skall lossas är 1000 – 2000 m ³ fub <i>eller</i> Väglklass är C eller högre under ihållande torrperiod <i>och</i> Volymen som skall lossas är mer än 2000 m ³ fub	15

Grusåtgång beräknas med formel 4

$$m^3 = \text{längd (m)} \times \text{bredd (m)} \times \text{höjd (m)} \quad (4)$$

Där:

Längd är avläggets läng (formel 1 och figur 1)

Bredd är den bredd som ska grusas, till exempel vägbredd

Höjd är den efterfrågade grusbehovets tjocklek, till exempel 5 cm

2.3 Databearbetning, statistik och normering

Databearbetning och beräkningar är utförda i Microsoft Excel och statistisk analys i Minitab. Tidsåtgången sammanställdes automatiskt i en CSV fil från tidsstudieapplikationen, som sedan importerats och korrigerats i Excel. För att analysera statistiska skillnader mellan förare och lossningsmetoder nyttjades

tvåsidigt t-test, medan regressionsanalyser nyttjades för att studera vad tidsåtgång av arbetsmoment, parametrar och totalkostnader beror av och för att formulera linjära modeller för dessa. Då lassens lastfyllnad varierat mycket under tidsstudien genomfördes regressionsanalyser för att analysera vilka parametrar och tidsåtgången av vilka arbetsmoment som påverkas av lastfyllnaden, dessa presenteras i bilaga 2. Tidsåtgången normerades för arbetsmoment och parametrar som statistiskt signifikant beror av lastfyllnaden, till en lastfyllnad på 20 m³fub, utifrån de regressionsekvationer som formulerats (bilaga 2). Normeringen genomfördes för varje enskilt arbetsmoment för varje lass, för att fortsatt visa på variationer och spridningar mellan lassen i resultatet. Syftet med normeringen var att göra resultatet mer jämförbart och framställa en korrekt merkostnad för det enkelsidiga avlägget i beräkningarna av totalkostnaden, då lastfyllnaden har stor inverkan på tidsåtgången per m³fub och därigenom kostnaden per m³fub. Lastfyllnaden sattes till 20 m³fub då det är medelvolymer lastad för alla lass, vilket är en rimlig medellossningsvolym för skotaren i studien, baserat på maxlastkapacitet och lossade lass inom det senaste året (utläst från MaxiFleet). Normering är en beprövad metod som ofta används i produktivitet och tidsstudier inom skogsbruket (till exempel: Jonsson, 2015; MoDo & Thor, 1996; Wide & Fogdestam, 2011) för att jämföra prestation och tidsåtgång även då förutsättningar så som lastfyllnad skiljer sig.

2.4 Övrigt

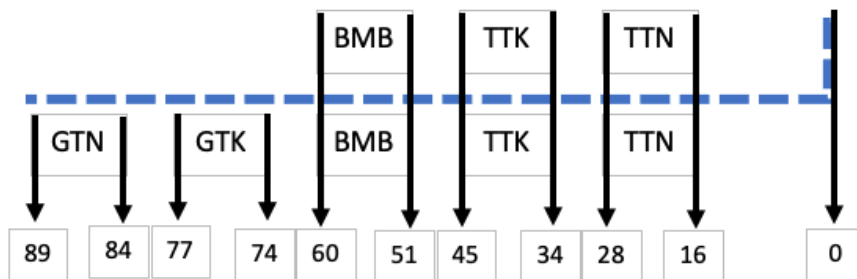
Studenter vid fakulteten för skogsvetenskap (S-fakulteten) på SLU har skyldighet att efterfölja de säkerhetsrutiner som är satta för fältarbete för S-fakulteten (2022). Eftersom studien genomförs i samarbete med Stora Enso skog var det även viktigt att efterfölja deras säkerhetsföreskrifter. En analys av risker genomfördes i förväg för att mitigera dessa, varefter ett antal säkerhetsrisker identifierats och åtgärder vidtagits. Bland annat genomfördes studien iklädd varselväst, skyddshjälm och kängor med stålhatta.

Eftersom totalkostnaderna för de båda lossningsalternativen baseras på en rad olika ingångsvariabler med varierande underlag genomfördes en känslighetsanalys. I känslighetsanalysen ändrades värdet på alla ingångsvariabler en efter en med en minskning och ökning på 10, 20 och 50%, en utförlig tabell med alla värden redovisas i bilaga 3. För varje ändrad variabel ändrades även volymen lossad vid avlägget till 1000, 2000 och 3000 m³fub. Datat sammanställdes i ett separat dokument varefter regressionsanalyser genomfördes för att studera vilka variationer i ingångsvariabler som med statistisk säkerhet bidrar till modellerna för nettot för respektive grusningsalternativ (bilaga 3). Data framtaget i känslighetsanalysen kunde även analyseras för att undersöka om variationerna i ingångsvariablerna leder till signifikanta skillnader i resultatet.

3. Resultat

3.1 Avläggsstorlek och vägskador

Till det södra avlägget där lossningen genomfördes dubbelsidigt skotades 286 m³fub till 8 olika vältor. Den längd som krävs för avlägget, enligt formel 1, är 37,5 m. Avläggets faktiska längd mättes från basvägens anslutningspunkt till vägen till änden av den sista vältan (GTN) och var 89 m, utformning kan observeras i figur 4. Under tidsstudien dokumenterades en vägskada med djupet 35 cm (som djupast), bredden 80 cm och längden 150 cm. Trots skadan behöll vägen full funktionalitet. Skadan uppstod vid ytterkanten av vägen, på motsatt sida från trakten som avverkades och indikeras med pilen i figur 5. I figur 5 syns även sprängmattor som nyttjats vid överfarten från basväg till skogsbilväg. Vägen var vid lossningen inte tjälad då det tidiga snöfallet 2023 isolerat under vintern och vägen först plogades ett par dagar innan tidsstudien.



Figur 4. Avstånd (m) från basvägens anslutningspunkt till sortimentsvältor, där den streckade linjen är sträckan som skotaren kör under dubbelsidig lossning.

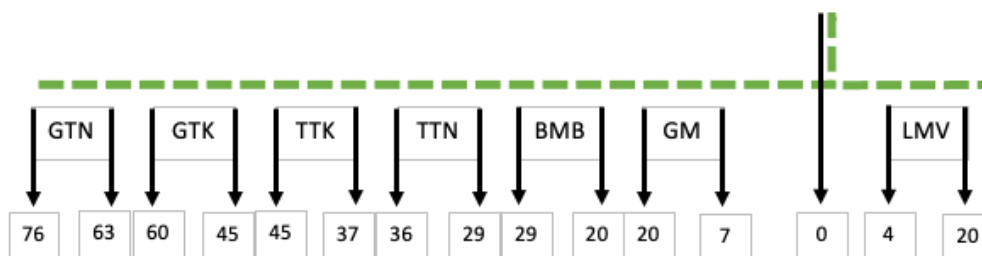
Figure 4. Distance (m) from the access point of the logging road to roadside landing assortment piles, where the dotted line is the distance that the forwarder drives during double-sided unloading.



Figur 5. Bild av det dubbelsidiga avlägget efter 16 lass, pilen indikerar var vägskada uppstått.

Figure 5. picture of the double-sided roadside landing after 16 loads, where the arrow indicates where damage has occurred.

Till det norra avlägget där lossningen genomfördes enkelsidigt skotades totalt 353 m³fub till 7 vältor, det påbörjade avlägget fick en total längd på 96 meter och det nya 92 meter. I figur 6 kan utformningen av det påbörjade enkelsidiga avlägget med avstånd till vältorna utläsas, det nya enkelsidiga avlägget kan utläsas i bilaga 1. Ett avlägg med 353 m³fub och 7 sortiment ska enligt formel 1 dimensioneras till 70,3 m. Under tidsstudien noterades ett antal körskador, där den djupaste var 65 cm och övriga 20 – 40 cm djupa. Den djupaste körskadan är markerad med pil i figur 7, där även en överblick över det enkelsidiga avlägget redovisas. Under tidsstudien mättes avståndet från vältan till ytterkanten av hjulspåret till 6 meter och från vältan till närmsta lämnade träd till 10 meter.



Figur 6. Avstånd (m) till sortimentsvältor från basvägens anslutningspunkt, där den streckade linjen är sträckan som skotaren kör under enkelsidig lossning.

Figure 6. Distance (m) from the access point of the logging road to roadside landing assortment piles, where the dotted line is the distance that the forwarder drives during unloading.

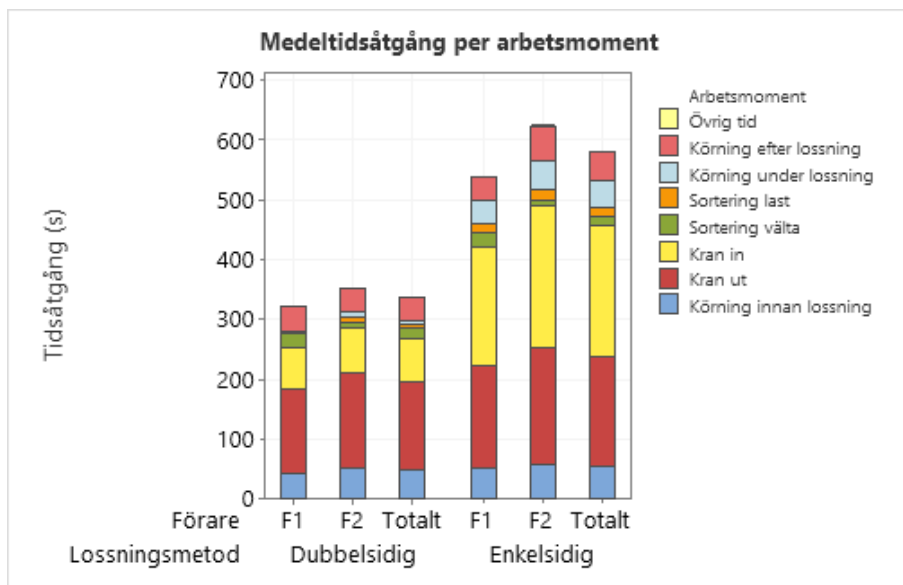


Figur 7. Bild av det enkelsidiga avlägget efter ungefär 20 lass, pilen indikerar var djupaste körskadan uppstått.

Figure 7. Picture of the single-sided roadside landing after around 20 loads, where the arrow indicates where the deepest damage has occurred.

3.2 Tidsstudie

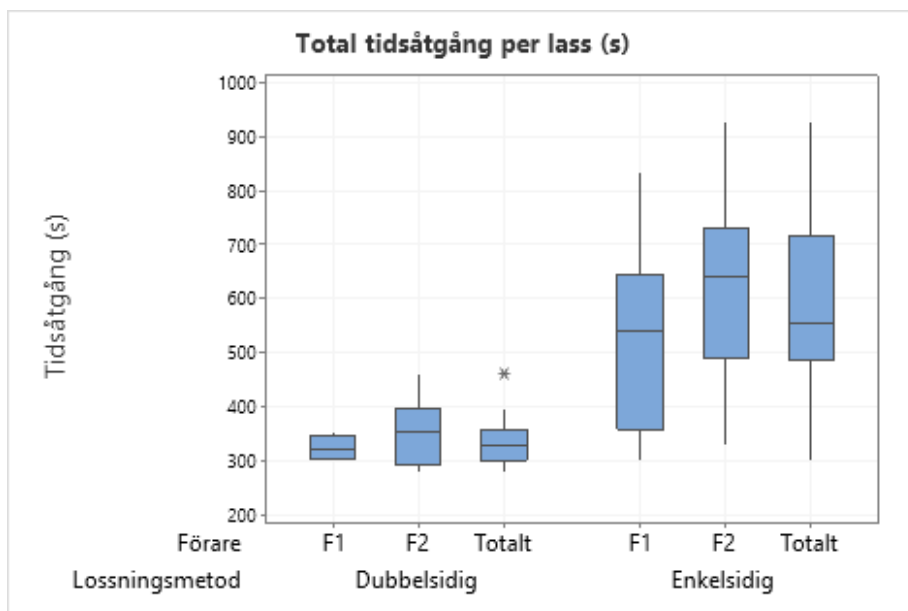
Tidsåtgången skiljer sig signifikant mellan lossningsmetoderna (tvåsidigt t-test $p < 0,05$). Signifikanta skillnader (tvåsidigt t-test) mellan förare och lossningsmetod på arbetsmoment- och parameternivå kan utläsas i tabell 8. Medeltidsåtgången för den dubbelsidiga och enkelsidiga lossningen, normerat för lass med 20 m³fub, var 335,3 sekunder respektive 552,2 sekunder. I figur 8 kan medeltidsåtgången per lass för samtliga arbetsmoment och summan av dem utläsas för respektive förare och lossningsmetod, då lassen normerats till 20 m³fub. Tidsåtgången för arbetsmomentet kran in sticker ut då det är avsevärt högre vid enkelsidig lossning.



Figur 8. Medeltidsåtgång per lass (sekunder), fördelat på arbetsmoment för respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till 20 m³fub.

Figure 8. Mean time consumption (seconds) divided into work elements for both unloading methods and drivers for loads standardized to 20 m³fub.

I figur 9 redovisas medelvärdet och spridning av totala tidsåtgången i sekunder per lass, för alla arbetsmoment och respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till 20 m³fub. Både medelvärdet och spridningen är högre för den enkelsidiga lossningen.



Figur 9. Total tidsåtgång per lass (sekunder) för alla arbetsmoment och respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till 20 m³fub.

Figure 9. Total time consumption per load (seconds) for all work elements and both unloading methods and drivers for loads standardized to 20 m³fub.

Figur 10 redovisar volymen per tidsenhet för alla lass fördelat på båda lossningsmetoder och förare. Figur 11 visar detsamma för lass normerade till 20 m³fub per lass. Volymen per tidsenhet skiljer sig med statistisk signifikans (tvåsidigt t-test p<0,05) mellan lossningsmetoderna och för de ej normerade lassen skiljer sig volymen i lassen med statistisk signifikans (tvåsidigt t-test p<0,05) mellan förare 1 och förare 2 för dubbelsidig lossning. Medelvärdet för de normerade lassen är 214,7 m³fub/G₀h för den dubbelsidiga och 130,4 m³fub/G₀h för den enkelsidiga. Volymen per tidsenhet är alltså 39,3% lägre för den enkelsidiga lossningen. För de ej normerade lassen är medelvärdet för dubbelsidig lossning 205,6 m³fub/G₀h för den dubbelsidiga lossningen och 166,1 m³fub/G₀h för den enkelsidiga lossningen (19,2% lägre). Figurerna tydliggör varför normering var nödvändig.

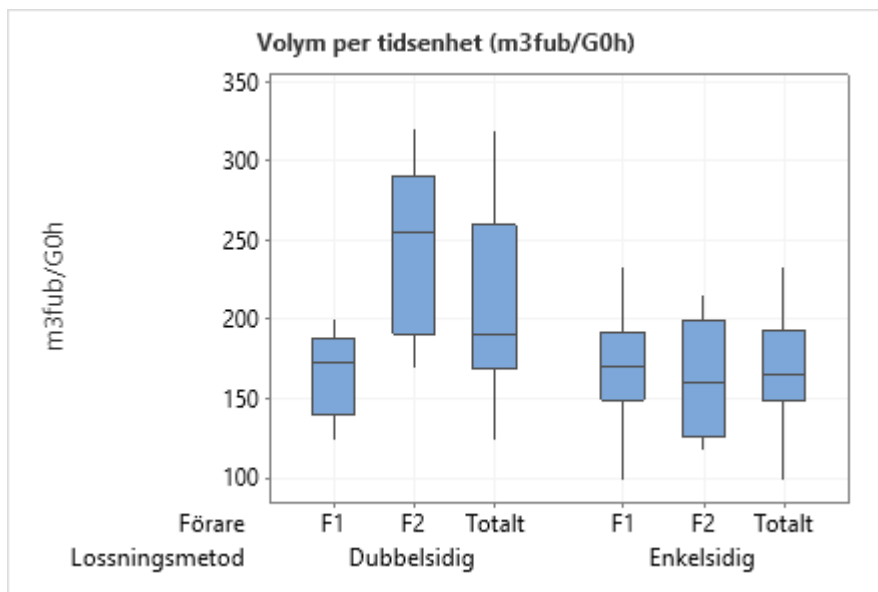
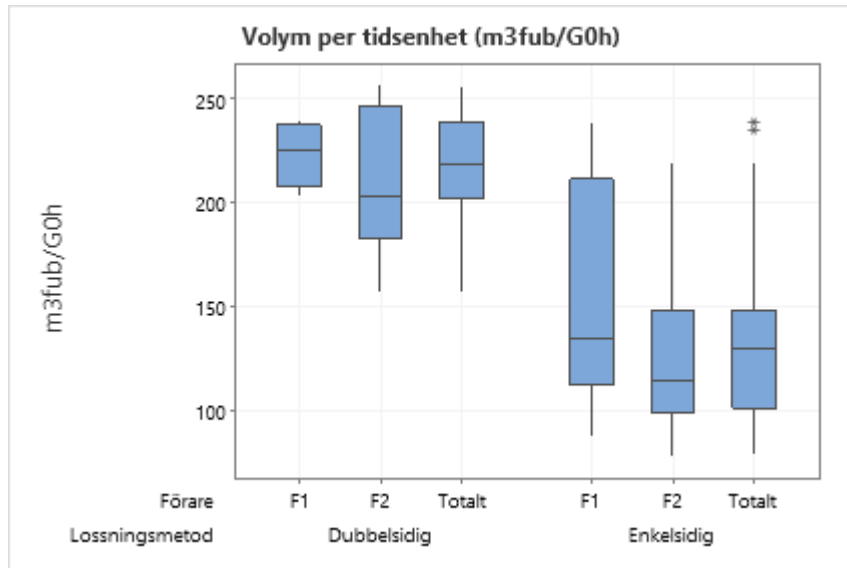


Figure 10. Volym (m³fub) per tidsenhet (G₀h) för respektive lossningsmetod och förare.

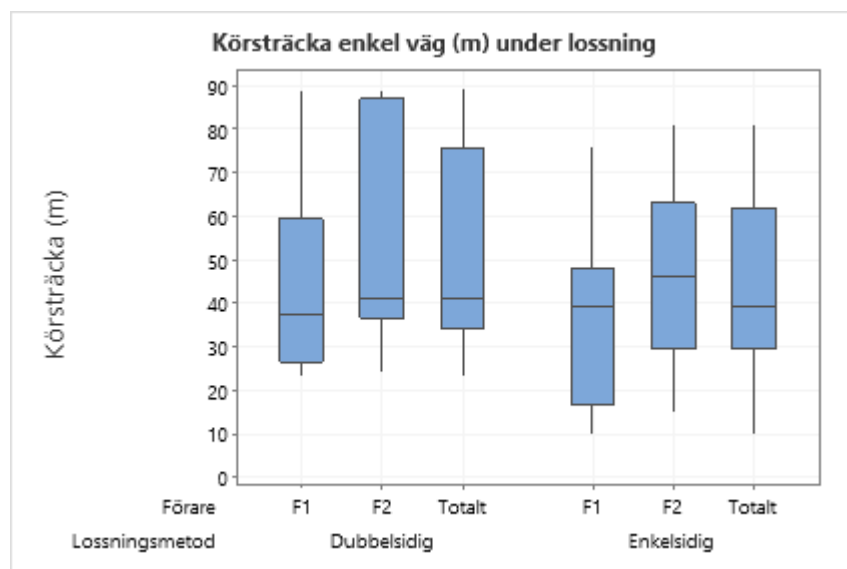
Figure 10. Volume (m³fub) per time unit (G₀h) for both unloading methods and drivers.



Figur 11. Volym (m^3fub) per tidsenhet ($G0h$) för respektive lossningsmetod och förare då lassen normerats till $20 m^3fub$.

Figure 11. Volume (m^3fub) per time unit ($G0h$) for both drivers and unloading methods for loads standardized to $20 m^3fub$.

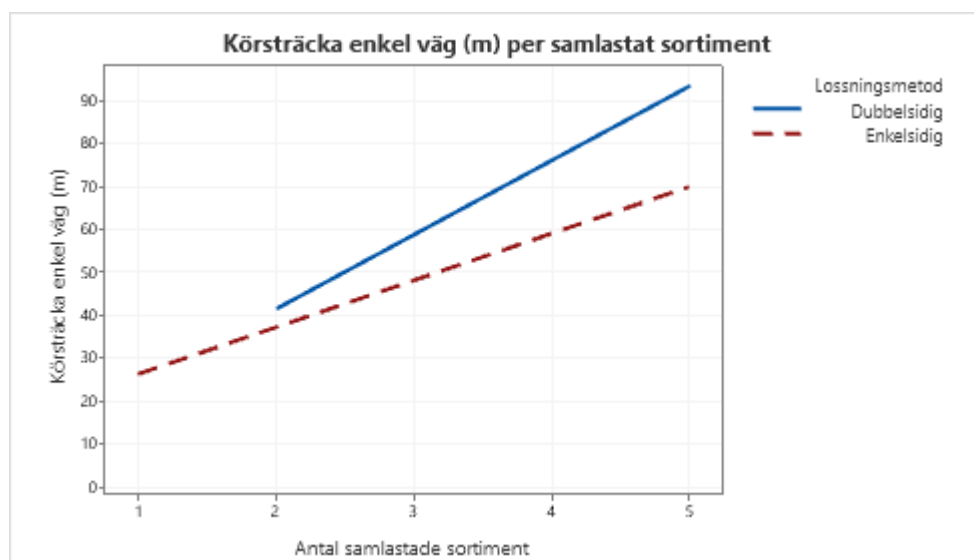
Figur 12 redovisar körd sträcka för respektive lossningsmetod och förare enkel väg, den faktiska körda sträckan under lossning är den dubbla. Körsträckan skiljer sig inte med statistiskt signifikans mellan förare eller lossningsmetod, det totala medelvärdet är högre för den dubbelsidiga lossningen.



Figur 12. Körsträcka (m) enkel väg under lossning för respektive lossningsmetod och förare.

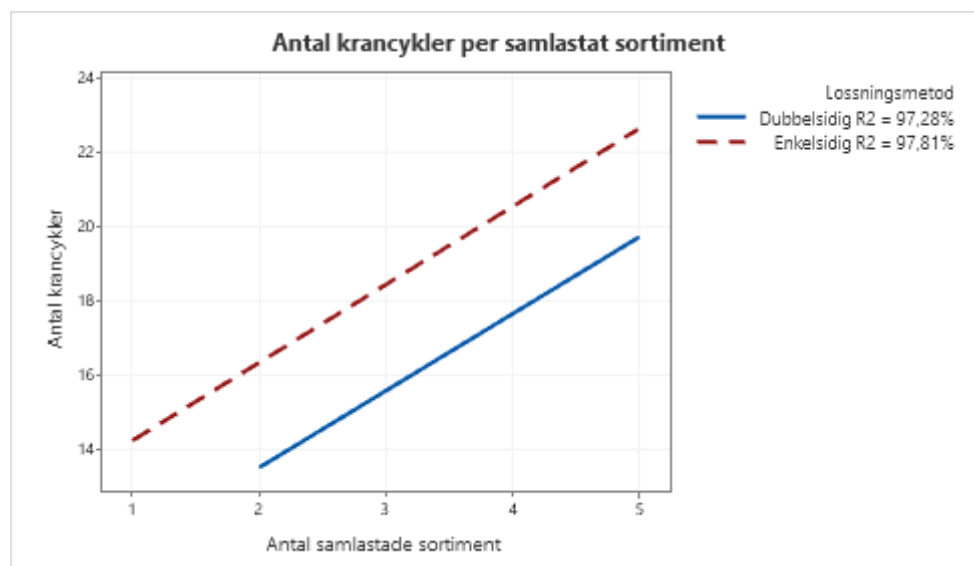
Figure 12. Driving distance (m) one-way during unloading for both unloading methods and drivers.

Figur 13 redovisar körsträckan i relation till samlastade sortiment i lasset, antalet sortiment i lasset har en statistiskt signifikant inverkan (regressionsanalys) på antalet körda meter ($p < 0,001$) och indikerar att fler samlastade sortiment innebär längre körsträcka vid lossning. Figur 14 redovisar antalet krancykler per lass och samlastat sortiment för lass normerade till $20 \text{ m}^3 \text{ fub}$. Antalet krancykler påverkas med statistisk signifikans (regressionsanalys) av volymen i lasset ($p < 0,001$), sortiment i lasset ($p < 0,001$) och lossningsmetod ($p = 0,001$).



Figur 13. Körsträcka (m) enkel väg per samlastat sortiment, för respektive lossningsmetod.

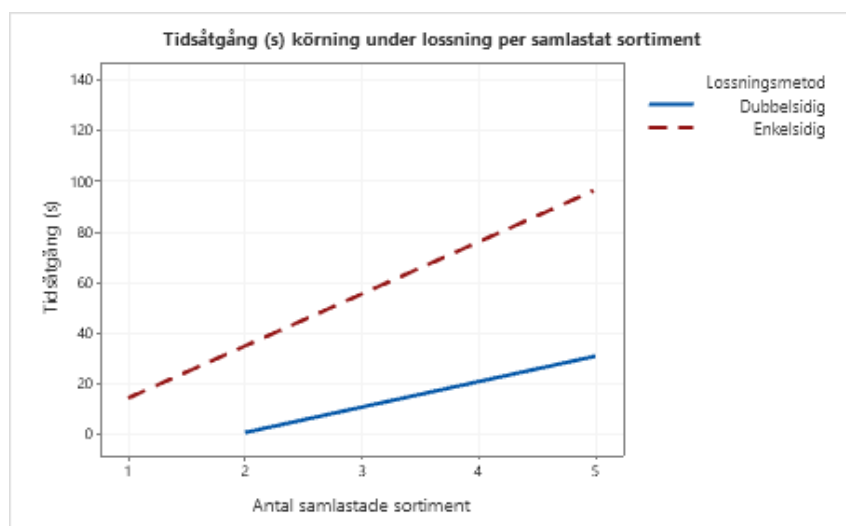
Figure 13. Driving distance (m) one-way for each assortment in the load and unloading method.



Figur 14. Krancykler per lass i relation till samlastade sortiment, för respektive lossningmetod då lass är normerade till $20 \text{ m}^3 \text{ fub}$.

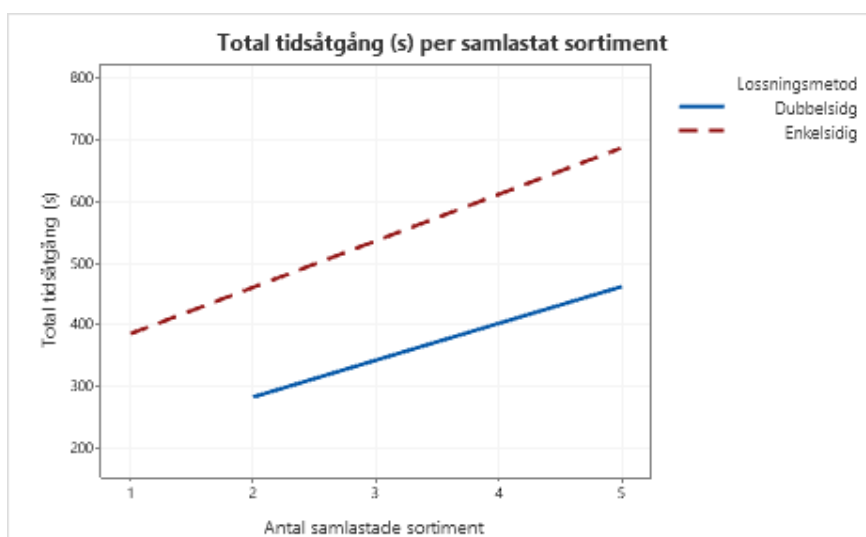
Figure 14. Crane cycles per load in relation to assortments in the load for each unloading method when loads are standardized to $20 \text{ m}^3 \text{ fub}$.

Tidsåtgång för arbetsmomentet Körning under lossning i relation till samlastade sortiment redovisas i figur 15 och kan med statistiskt säkerhet (regressionsanalys $p < 0,001$) uttryckas som en funktion av antalet sortiment i lasset och lossningsmetod. Figur 16 visar sambandet mellan total tidsåtgång och sortiment i lasset, vilket med statistiskt signifikans (regressionsanalys $p < 0,001$), beror av antalet samlastade sortiment och skiljer sig mellan lossningsmetoderna.



Figur 15. Tidsåtgång (s) för arbetsmomentet Körning under lossning i relation till samlastade sortiment, för respektive lossningsmetod.

Figure 15. Time consumption (s) of the work element Driving during unloading in relation to assortments in the load, for each unloading method.



Figur 16. Total tidsåtgång (s) för lossning i relation till samlastade sortiment, för respektive lossningsmetod.

Figure 16. Total time consumption (s) for unloading in relation to assortments in the load for each unloading method.

I tabell 7 kan den totala medelhastigheten och medelhastigheten för körningen innan lossning för respektive avlägg utläsas. Skillnaden i hastighet för körningen innan lossning är inte statistiskt signifikant mellan lossningsmetoderna (tvåsidigt t-test $p=0,069$) medans skillnaden i total hastighet är statistisk signifikant (tvåsidigt t-test $p<0,001$). Både den totala medelhastigheten och medelhastigheten för körning innan lossning är högre för den dubbelsidiga lossningen.

Tabell 7. Medelhastighet för olika delmoment, för respektive lossningsmetod, ej normerade lass

Table 7. Mean driving speeds for unloading, for both unloading methods, non-standardized loads

Delmoment	Dubbelsidig	SD	Enkelsidig	SD
Total medelhastighet (m/G ₀ min)	61,1	23,87	25,7	10,70
Medelhastighet körning innan lossning (m/G ₀ min)	61,3	17,81	47,5	21,56

Tabell 8 redovisar tidsåtgång per arbetsmoment och parametrar fördelat på förare och lossningsmetod. Då lastfyllnaden skiljer sig mycket för förare 1 dubbelsidiga lass inkluderas även genomsnittliga värden av de två lass som har en mer jämförbar lastfyllnad under rubriken Förare 1*. I tabellen kan även de värden som statistiskt skiljer sig från varandra (tvåsidigt t-test) utläsas enligt beskrivningen under tabellen. Skillnad i tidsåtgång mellan förare 1 och 2 för dubbelsidig lossning är inte statistisk signifikant (tvåsidigt t-test $p = 0,064$). All data presenterat i tabell 8 är för ej normerade lass.

Tabell 8. Tidsåtgång per arbetsmoment (s), volym per lass (m³fub), volym per tidsenhet (m³fub/G₀h), antal krancykler och körda meter enkel väg för respektive förare och lossningsmetod då lassen ej normerats

Table 8. Time consumption for work elements (s), volume per load (m³fub), volume per time unit (m³fub/G₀h), number of crane cycles and driving distance (m) one-way for each driver and unloading method, non-standardized values

Arbetsmoment/ parameter	Dubbelsidig lossning						Enkelsidig lossning			
	Förare 1	Förare 1*	Förare 2	Båda	SD	Båda*	Förare 1	Förare 2	Båda	SD
Körning innan lossning	44,3	52,2	51,8	48,0	10,0	51,8	53,4	58,7	56,1	23,8
Kran ut	106,3 ^{F2D; F1E}	163,8	163,2 ^{F1D}	134,7 ^E	49,2	163,3 ^E	199,5 ^{F1D}	207,1	203,3 ^{D;D*}	37,6
Kran in	63,1 ^{F1E}	87,1	72,9 ^{F2E}	68,0 ^E	20,0	75,7 ^E	98,6 ^{F1D}	113,6	106,1 ^{D;D*}	24,7
Sortering välta	16,4	18,7	6,4	11,4 ^E	10,7	8,8 ^E	24,8	13,3	19,1 ^{D;D*}	14,5
Sortering last	1,0	1,2	7,8	4,4 ^E	9,9	6,5	10,0	29,8	19,9 ^D	27,7
Körning under lossning	1,2 ^{F2D; F1E}	0,00	10,5 ^{F1D;F2E}	5,8 ^E	9,3	8,4 ^E	40,7 ^{F1D}	49,3 ^{F2D}	45,0 ^{D;D*}	40,2
Körning efter lossning	40,6	43,65	39,8	40,2	10,7	40,6	39,1	54,7	46,9	22,8
Övrig tid	1,7	4,92 ^{F2D; F1E}	0,0 ^{F1D*}	0,9	2,2	1,0	0,0 ^{F1D*}	3,4	1,7	5,0
Total tidsåtgång	274,6 ^{F1E}	371,49	352,3 ^{F2E}	313,4 ^E	84,2	356,1 ^E	466,1 ^{F1D}	529,8 ^{F2D}	498,0 ^{D;D*}	117,4
m³fub/lass	13,0 ^{F2D;F1E}	19,65	22,8 ^{F1D}	17,9 ^E	6,3	22,2	21,2 ^{F1D}	22,1	21,6 ^D	2,9
m³fub/G₀h	166,4 ^{F2D}	190,99	243,1 ^{F1D;F2E}	205,6 ^E	57,4	232,7 ^E	168,6	163,6 ^{F2D}	166,1 ^{D;D*}	36,8
s/m³fub	21,1	18,9	15,4	17,5	4,9	16,1	22,0	24,0	23,0	5,5
Körda meter enkel väg	45,3	47	54,9	50,1	24,3	53,3	38,4	46,8	42,6	21,7
Antal krancykler	10,8 ^{F2D;F1E}	16,5	15,8 ^{F1D; F2E}	13,3 ^E	4,3	15,9 ^E	17,6 ^{F1D}	19,3	18,4 ^{D;D*}	2,9
Sortiment/lass	2,125	2	2,875	2,5	0,8	2,7	2	3	2,5	1,3
Antal lass	8	2	8	16	0	10	8	8	16	0

^{F1D} : statistisk säkerställd skillnad mot Förare 1 dubbelsidig lossning (p < 0,05)

^{F1D*} : statistisk säkerställd skillnad mot Förare 1* dubbelsidig lossning (p < 0,05)

^{F2D} : statistisk säkerställd skillnad mot Förare 2 dubbelsidig lossning (p < 0,05)

^{F1E} : statistisk säkerställd skillnad mot Förare 1 enkelsidig lossning (p < 0,05)

^{F2E} : statistisk säkerställd skillnad mot Förare 2 enkelsidig lossning (p < 0,05)

^D : statistisk säkerställd skillnad mot dubbelsidig lossning (p < 0,05)

^{D*} : statistisk säkerställd skillnad mot dubbelsidig lossning* (p < 0,05)

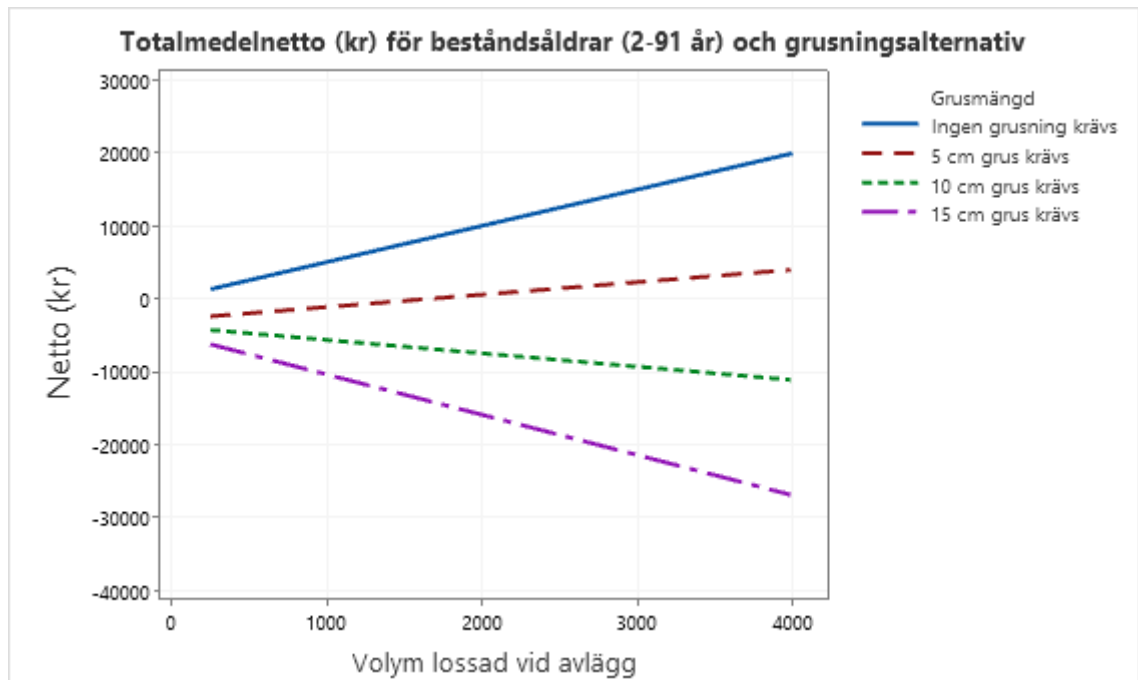
^E : statistisk säkerställd skillnad mot enkelsidig lossning (p < 0,05)

Förare 1* : värden för två dubbelsidiga lass av Förare 1 som hade liknande volym i lassen som de för Förare 2, samt för de enkelsidiga lassen

3.3 Lönsamhetsanalys dubbelsidig lossning

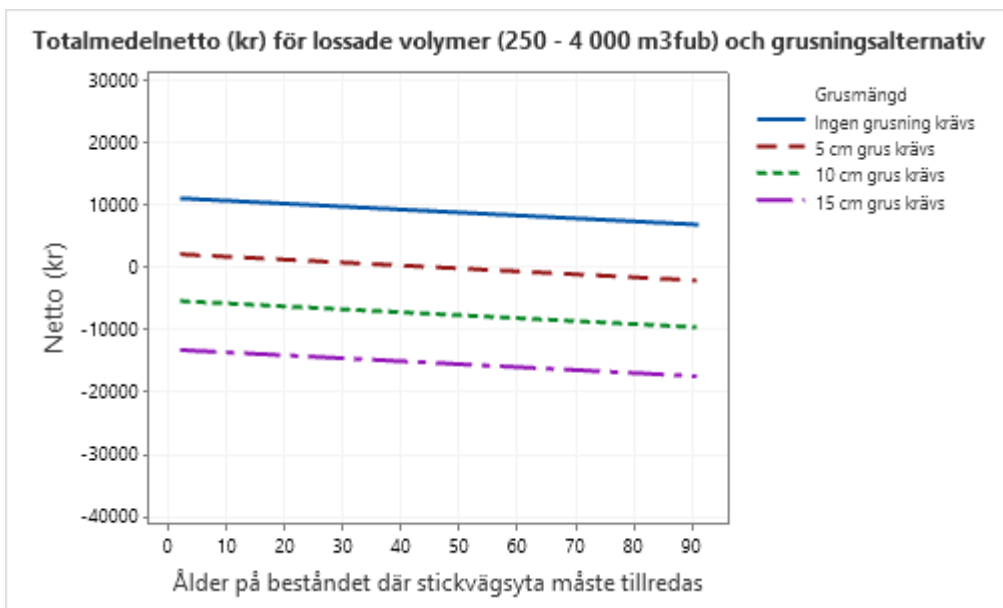
Kostnaden för lossning, med ett kalkyltimpris på 1400 kr/G₁₅-timme och en TU på 90% är 7,245 kr/m³fub för den dubbelsidiga lossningen och 11,931 kr/m³fub för den enkelsidiga lossningen. Merkostnad för den enkelsidiga lossningen är således 4,686 kr/m³fub.

I figur 17 och 18 visar regressionslinjerna medelvärdet i kronor för totalkostnad av att nyttja dubbelsidig lossning från väg, för åldrarna 2 – 91 år då volymerna 250 – 4 000 m³fub ska lossas, för olika grusningsalternativ 0, 5, 10 och 15 cm grus. Då ingen grusning krävs är nettot positivt för alla åldrar och volymer, då 5 cm grusning krävs är nettot positivt för yngre åldrar (<30 år) och höga volymer (>1000 m³). För grusning med 10 och 15 cm är nettot negativt för alla åldrar och volymer.



Figur 17. Totalmedelnetto av nyttjandet av dubbelsidigt avlägg från väg med olika grusningsalternativ då avläggssytan tillreds i beståndsåldrar (2 – 91 år) och för olika volymer (250 – 4 000 m³fub).

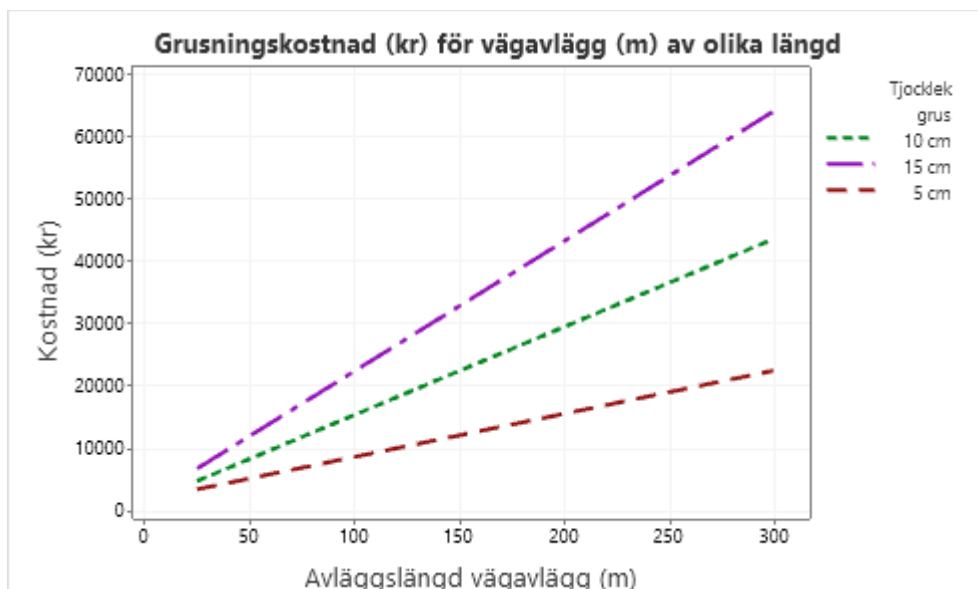
Figure 17. Total mean net for different graveling alternatives for double-sided roadside landing when the landing area is prepared in different stand ages (2-91 years) and for different volumes (250 – 4 000 m³fub).



Figur 18. Totalmedelnetto av nyttjandet av dubbelsidigt avlägg från vägen för olika grusningsalternativ för då avläggytan tillreds för olika volymer (250 – 4 000 m³) och i olika beståndsåldrar (2 – 91 år).

Figure 18. Total mean net for different graveling alternatives for double-sided roadside landing when the landing area is prepared for different volumes (250 – 4 000 m³) and at different stand ages (2-91 years).

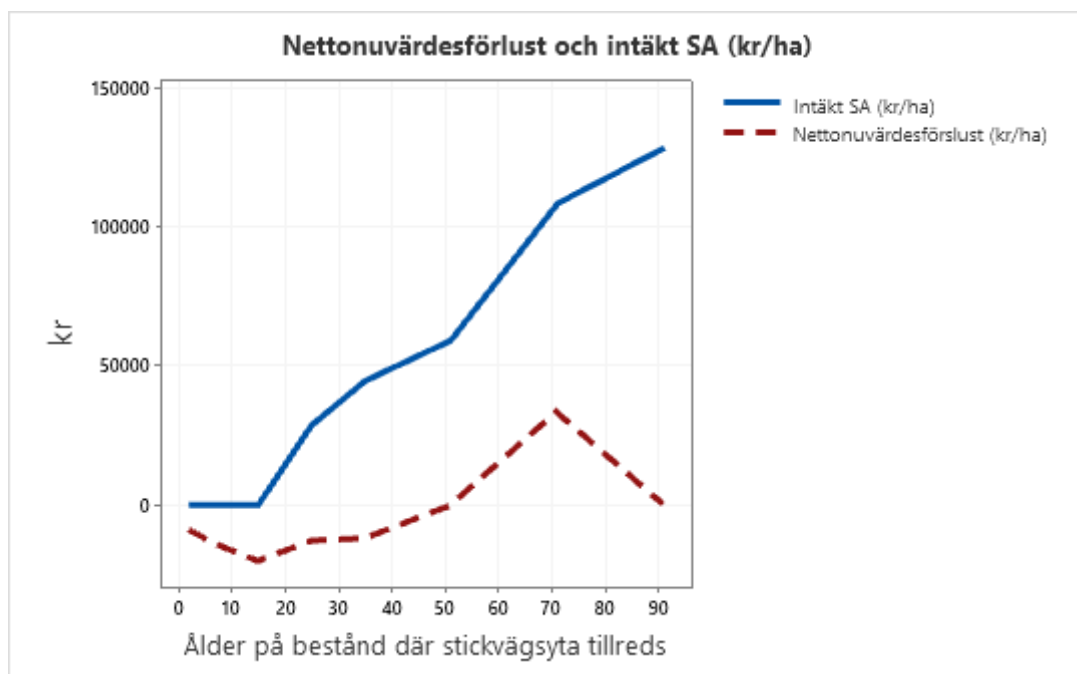
Figur 19 visar relationen mellan avläggslängd och grusningskostnad för olika grusbehov (5 – 15 cm). Ökad avläggsläng innebär ökad grusningskostnad.



Figur 19. Grusningskostnad för vägavlägg av olika längd.

Figure 19. Graveling costs for double-sided roadside landings of different lengths.

I figur 20 redovisas nettonuvärdesförlusten i bestånd där stickvägsytan måste tillredas för att möjliggöra enkelsidig lossning från skogen. Figuren visar även intäkter från slutavverkning vid olika beståndsåldrar. Nettonuvärdet är högst vid 71 års ålder medan intäkterna är högst vid 91 års ålder.

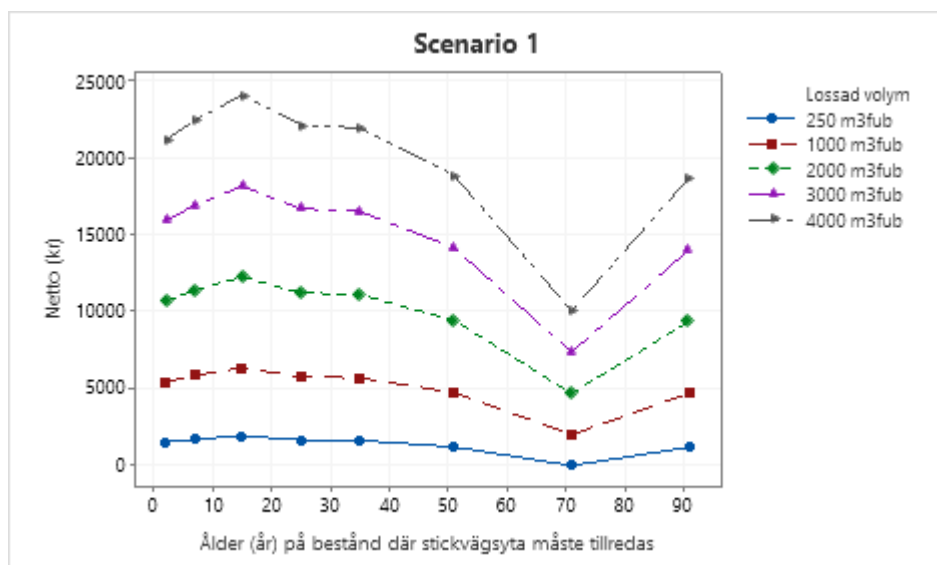


Figur 20. Nettonuvärdesförlust och intäkter från slutavverkning för bestånd där stickvägsytan måste tillredas i åldrarna 2 – 91 år.

Figure 20. Net present value loss and income from final felling for stands where roadside landing area must be prepared for stand ages 2 – 91 years.

3.3.1 Scenarios för grusbehov

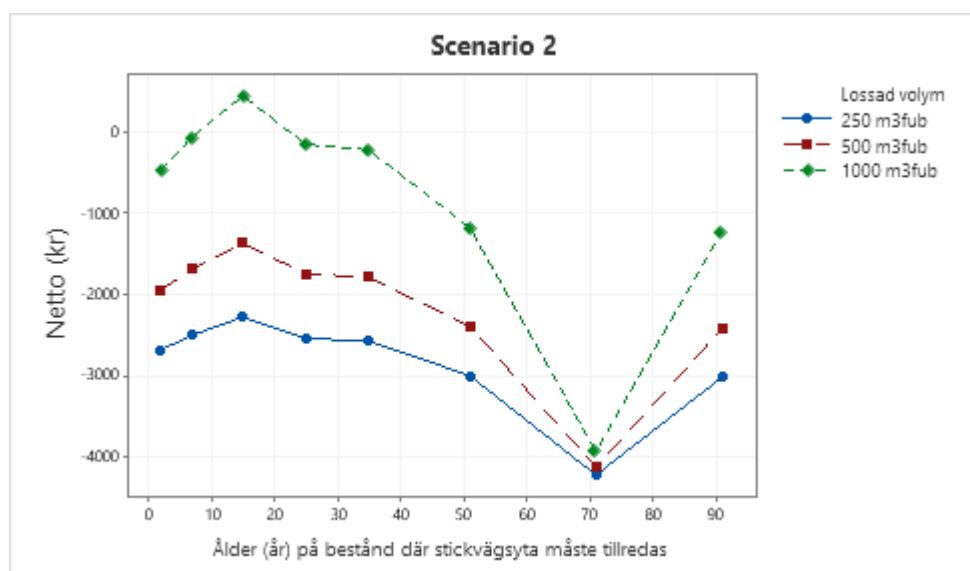
I figur 21 – 24 representerar trendlinjerna nettot för dubbelsidig lossning från vägen då olika volymer ska lossas vid olika beståndsåldrar där stickvägsyta intill skogsavlägg måste tillredas. Vid 71 års ålder är nuvärdet högst, vilket innebär att nettot för den dubbelsidiga lossningen blir lägst vid denna ålder, eftersom det är mest lönsamt att avverka ytan intill avlägget för att tillreda skogsavlägg vid 71 års ålder. Figur 21 synliggör relationen mellan ålder och nettot för scenario 1, då lossning utförs dubbelsidigt för avlägg då volymer 250 – 4 000 m³ fub lossas. Nettot är positivt för alla volymer med en tydlig trend i att större volym ger högre netto.



Figur 21. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 1, då ingen grusning krävs oavsett lossad volym för olika åldrar på beståndet där stickvägsytan tillreds.

Figure 21. Net income (kr) when utilizing double-sided roadside landing for scenario 1, when no gravel is needed no matter the volume to be unloaded for different ages of the stand where the logging trail is prepared.

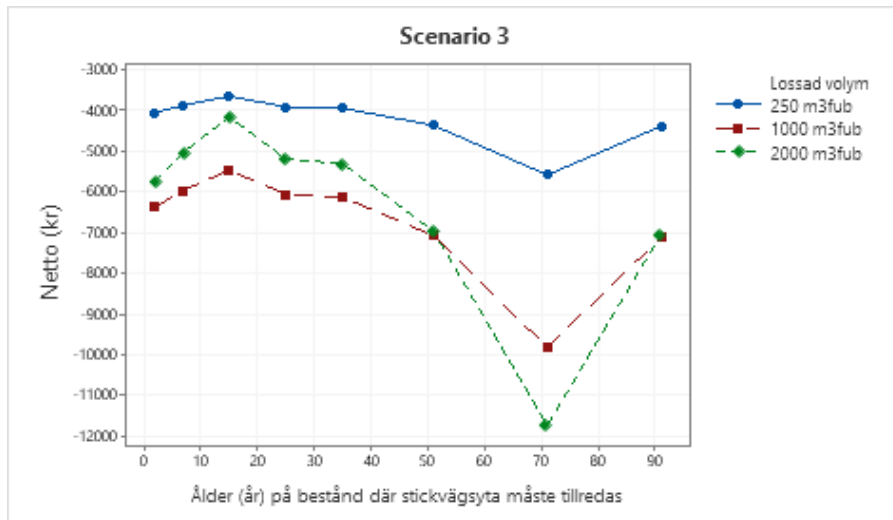
Figur 22 synliggör relationen mellan ålder och nettot för lossning för scenario 2, vilket innebär att 5 cm grus krävs och volymen som skall lossas är mindre än 1 000 m³fub. Nettot är endast positivt då beståndet har ung ålder <25 år och volym skall lossas är 1 000 m³fub. Trenden är fortsatt positiv vid högre volymer, men dessa ingår inte i scenario 2.



Figur 22. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 2, då 5 cm grus krävs och volymen som lossas är <1000 m³fub.

Figure 22. Net income (kr) when utilizing double-sided roadside landing for scenario 2, when 5 cm of gravel is needed and the volume to be unloaded is $1000\text{ m}^3\text{fub}$.

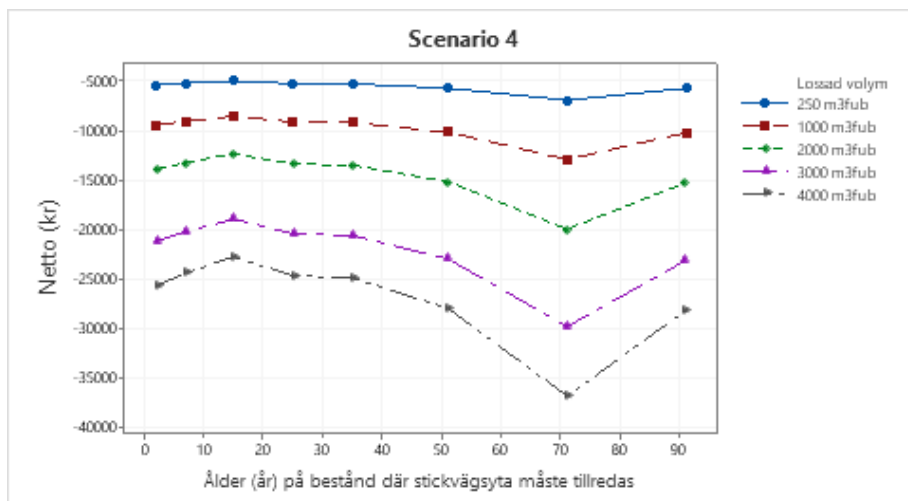
Figur 23 visar nettot under förutsättningarna för scenario 3, vilket innebär att mindre än $2000\text{ m}^3\text{fub}$ skall lossas och 10 cm grus krävs. Nettot är alltid negativt, trenden är densamma även för högre volymer än $2000\text{ m}^3\text{fub}$.



Figur 23. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 3, då 10 cm grus krävs och volymen som lossas är $2000\text{ m}^3\text{fub}$.

Figure 23. Net income (kr) when utilizing double-sided roadside landing for scenario 3, when 10 cm of gravel is needed and the volume to be unloaded is $2000\text{ m}^3\text{fub}$.

Figur 24 redovisar nettot för dubbelsidig lossning för scenario 4, då 15 cm grus krävs, oavsett volym som lossas. Nettot är negativt för alla åldrar och volymer.



Figur 24. Netto (kr) av att nyttja dubbelsidig lossning för scenario 4, då 15 cm grus krävs.

Figure 24. Net income (kr) when utilizing double-sided roadside landing for scenario 4, when 15 cm of gravel is needed.

3.3.2 Formel för skogsavläggets kostnad

Kostnaden för enkelsidig lossning från skog (skogsavlägg) för en genomsnittstrakt i Svealand då trakten som skall avverkas har 7 sortiment och åldern på beståndet där skogsavlägget tillreds är 2 – 91 år kan beskrivas enligt formel 5. Kostnaden baseras på den nettonuvärdesförlust som uppstår då ytan intill avlägget tillreds för att möjliggöra lossningen. Formeln har en förklaringsgrad (R^2) på 91,25% där både volymen och ålder är statistisk signifikanta (Regressionsanalys $p < 0,001$).

$$KS = 1850 + 4,964 * V - 47,21 * T \quad \text{Formel (5)}$$

Där

KS = Kostnad skogsavlägg

V = volym som skall lossas på avlägg

T = Ålder i år på beståndet där skogsavlägget tillreds

3.4 Normering

Tidsåtgången av arbetsmoment som med statistisk säkerhet påverkades av lastfyllnaden ($p < 0,05$ regressionsanalys) normerades enligt de regressionsekvationer som presenteras i tabell 9. Fullständiga modeller samt p-värde för statistiskt signifikanta variabler i modellerna kan utläsas i bilaga 2. För att fortsatt visa på variationer mellan lassan normerades tidsåtgång separat för alla lass, vilket innebär att tidsåtgång för arbetsmoment som inte statistiskt signifikant påverkas av lastfyllnad inte modifierades. Då antalet krancykler till stor del kan förklaras av lastfyllnad, lossningsmetod och antal sortiment i lasset ($R^2 = 83,46\%$) nyttjades antalet krancykler i stället för lastfyllnad i en del av regressionsekvationerna. Antalet krancykler normerades alltså först per lass efter lastfyllnad (20 m³fub), lossningsmetod (enkelsidig eller dubbelsidig) och antal samlastade sortiment (1-5) för att sedan kunna nyttjas i normeringen av arbetsmomentens tidsåtgång.

Tabell 9. Regressionsekvationer som nyttjats för normering av de arbetsmoment och parameter där tidsåtgång/antal med statistisk signifikans ($p < 0,05$) påverkas av lastfyllnaden.

Table 9. Regression equations used for normalization of the work elements and parameter where time consumption/amount with statistical significance ($p < 0,05$) is affected by load size.

Arbetsmoment/parameter	Regressionsekvation
Kran ut (sekunder)	-18,9 + 11,860 Antal krancykler
Kran in (sekunder)	Vid dubbelsidig lossning: 7,3 + 4,582 Antal krancykler Vid enkelsidig lossning: 21,6 + 4,582 Antal krancykler
Sortering last (sekunder)	-37,3 + 3,118 Antal krancykler
Sortering välta (sekunder)	Förare 1: 2,36 + 1,069 m ³ fub i lass Förare 2: -14,6 + 1,069 m ³ fub i lass
Antal krancykler (antal)	Kan i sin helhet utläsas i bilaga 2

3.5 Känslighetsanalys

Nettot för de olika grusningsalternativ sammanställdes och analyserades med regressionsanalyser. För alla regressionsmodeller av nettot är ålder för beståndet som måste avverkas för att tillreda stickvägsytan intill avlägget och volymen som ska lossas vid avlägg de variabler som ger högst förklaringsgrad. Men en rad av de andra ingångsvariablerna bidrar även med statistisk säkerhet ($p < 0,05$) till regressionsmodellerna för nettot. Fullständiga modeller samt p-värde för statistiskt signifikanta variabler i modellerna kan utläsas i Bilaga 3. Sammantaget visar känslighetsanalysen på liknande resultat som det för ursprungsvariablerna, det vill säga att då 10 cm grus eller mer krävs finns i princip inga förutsättningar för lönsamhet för dubbelsidig lossning. De variabler som hade högst inverkan på lönsamheten (utöver ålder och lossad volym) var merkostnad, grusbredd, gruspris och kalkylränta. Nettots variationer för respektive grusningsalternativ då dessa variabler justeras kan utläsas i bilaga 3.

4. Diskussion

4.1 Resultat

Resultatet styrker hypotesen uttryckt i denna studie och påståendet av Lundqvist et al. (2014), att dubbelsidig lossning är en mer effektiv lossningsmetod då den totala tidsåtgången är lägre. Även hypotesen formulerad för lönsamhet styrks av resultatet, potentiella besparingar i tidsåtgång uppvägs av väggkostnader redan vid låg grusåtgång för bärighetsförstärkning av väg.

Den uppmätta längden på avläggen avviker mycket mot den teoretiska avläggslängden. Avvikelsen kan delvis förklaras med att avläggen dimensionerats för större volymer än de som mätts in under tidsstudien. Den främsta förklaringen varför det dubbelsidiga avläggets längd avviker ligger troligen i avståndet mellan vältorna och att de sista två vältorna inte placerats på motsatt sida om varandra. Om vältorna hade legat lika tätt för det dubbelsidiga som för det enkelsidiga och om de sista vältorna placerats mitt emot varandra hade avlägget varit 45 meter långt. Ingen normering gjordes på antalet meter, även om körsträckan i teorin ska vara ungefär halva längden, vilket var en avvägning då tidsåtgång för vissa arbetsmoments med statistisk säkerhet beror av antalet körda meter. Studiens data hade blivit mer osäkert om de justerats, då det inte går att förutspå med säkerhet hur tidsåtgången för arbetsmomenten interagerar. Till exempel kan kortare lossningssträcka innebära mindre körning innan/under/efter lossning, men öka tidsåtgången av arbetsmomentet sortering vältor. Eftersom dessa arbetsmoments relation till varandra är okänd gjordes ingen normering för sträckan körd. Körsträckan påverkas inte heller statistiskt signifikant av m^3 fub i lasset, utan av lossningsmetod och sortiment, vilket betyder att de meter som kördes under lossning inte ändrats vid normeringen till 20 m^3 fub per lass. Normering av lassens lastfyllnad var passande då lastvolymen varierat mycket mellan förarna och lossningsmetoderna.

Markpåverkan var större i terräng än på skogsbilvägen. Fler och djupare skador kunde noteras för den enkelsidiga lossningen, dock efter att något fler lass lossats. Den föreslagna metoden att etablera permanenta körspår för att minimera markpåverkan från Horn et al. (2004) vidimeras av observationerna då skogsbilvägen är ett permanent körspår. Påverkan på skogsbilvägen efter dubbelsidig lossning var inget som störde funktionen, det började dock uppstå skador redan efter 16 lass, vilket hänvisas till att ingen förebyggande grusning genomförts samt att vägen inte var tjälad. Liknande samband har dokumenterats av

Haugerud (2013), det vill säga att skador på bilvägen sker redan efter de första lasset.

Tidsåtgången för arbetsmomenten kran in och kran ut var lägre för den dubbelsidiga lossningen. En variation som delvis kan hänföras till skillnaden i medelstamsvolym mellan lossningsmetoderna, därtill kan en del av tidsåtgången för sortering välta och sortering last återfinnas i arbetsmomenten kran in och kran ut. Eftersom studien genomfördes synkront inträffade emellanåt felregistreringar, där det vanligaste troligen var att gripen gick in mot last, grep tag om virke och tidsåtgång för kran ut dokumenterades, varefter det visade sig att föraren sorterade lasten och tog en ny grip virke. Det var heller inte ovanligt att gripen släppte taget om virket i vältan, varefter tidsåtgång för kran in dokumenterades och föraren sedan tog ett nytt griptag om virket i vältan för att sortera vältan. En del av dessa felregistreringar kunde korrigeras i databehandlingen efter att tidsstudien genomfördes. Möjligen kan tidsåtgången för kran ut och kran in vara högre för den enkelsidiga lossningen eftersom gripen måste föras längre bort från vältan för att gripa tag om virket som ligger längst bort i lasset, från vältan sett. Underlaget var inte heller lika plant för skogsavlägget, och därför mindre optimalt för att nyttja justerbara stöttor. Då skotaren står närmare bestandsgränsen för den enkelsidiga lossningen kan även tillfällen då förare behöver hantera kranen med virke mer varsamt för att inte stöta i träd i intilliggande bestånd uppstå. Genom att utföra tidsstudien synkront kunde tidsåtgången per arbetsmoment färdigställas snart efter tidsstudiens genomförande vilket var gynnsamt. En asynkron tidsstudie hade emellertid medfört goda möjligheter att förklara och studera skillnader, därtill hade tidsåtgången för arbetsmomenten varit mer exakt.

Körhastigheten för den dubbelsidiga lossningen, både innan lossning och total medelhastighet, är något högre än terrängtransportshastigheter uppmätta av Berg et al. (2019) och Nurminen et al. (2006), medan de är ungefär hälften av körhastigheter uppmätta för skotare på skogsbilväg i studierna av Edlund (2009); Fernandez-Lacruz et al. (2021). Skillnaden kan troligen förklaras av de relativt korta körsträckorna som kördes under tidsstudien, transporthastighet stabiliseras vid längre skotningsavstånd eftersom en viss sträcka krävs för skotaren att accelerera till optimal hastighet (Kuitto, 1994; Nurminen et al., 2006). Den dubbelsidiga lossningens hastigheter liknar den för ytstruktur och lutning 1 medan hastigheten för körning innan lossning för den enkelsidiga lossningen är mer jämförbar med körhastigheten för ytstruktur och lutning 4 som beskrivs av Brunberg (2004). Båda körhastigheterna för den enkelsidiga lossningen är betydligt lägre än de värden som beskrivs av Edlund (2009); Fernandez-Lacruz et al. (2021). Skillnaden är även stor mellan körningen innan lossning och den totala medelhastigheten för den enkelsidiga lossningen. Skillnaden kan troligen förklaras av den försiktiga körning som krävs när den fullastade skotaren svänger in till avlägg och kör den första sträckan av avlägget som är mest påverkad/sönderkörd. Dessutom krävdes mer körning under lossning för den enkelsidiga lossningen, vilket förklarar varför den totala medelhastigheten är betydligt högre.

Hur många sortiment som samlastades påverkade hur mycket skotaren körde under lossning och hur lång tid lossningen tar, vilket stämmer överens med tidigare

studier (Manner et al., 2013; Nurminen et al., 2006). Tidsåtgången och körningen under lossning påverkas mindre för den dubbelsidiga lossningen, vilket troligen kan härledas till möjligheten att kunna lossa sortiment åt två håll utan att förflytta sig.

Lönsamhetsanalysen visar att dubbelsidig lossning är mer lönsam om den kan utföras utan att grusning krävs. I analysen ingår nettonuvärdesförluster som ett positivt netto för vägavlägget, då nettonuvärdesförlusten inte uppstår eftersom skogen står kvar och växer, vilket ökar värdet tills att nuvärdet når sin kulmen. Med det ingångsdata som användes för lönsamhetsanalysen var den optimala rotationsperioden 71 år, inte 91 år som är snittåldern för slutavverkning i Svealand. Nettot för vägavlägg är alltid lägst vid denna ålder, det är alltså mest lönsamt att avverka skogen vid 71 års ålder, vilket innebär att nettot för att avstå att avverka skogen blir lägre. Ett alternativt tillvägagångssätt för att utvärdera vilken lossningsmetod som är mest lönsam är att nyttja kostnaden för skogsavlägg som beskrivs enligt formel 5 som budget för grusning. Ett annat alternativ, vilket är mindre nischat än formel 5, är att nyttja merkostnaden för den enkelsidiga lossningen som budget för grusning. Om kostnaden av det bedömda grusbehovet överstiger de potentiella besparingarna för ökad produktivitet vid dubbelsidig lossning är enkelsidig lossning mer lönsamt, och vice versa. Merkostnaden, 4,69 kr/m³fub, kan alltså nyttjas för att jämföra direkta skillnader i drivningskostnad. I relation till den genomsnittliga avverkningskostnaden i Sverige 2022, vilka i norr var 117 kr/m³fub och i söder 109 kr/ m³fub enligt Skogskunskap (2023), förekommer således en potentiell sänkning av avverkningskostnaden med 4 – 4,3 %. Sänkningen är i relation till merkostnad beräknad med ett kalkylrimpris på 1400 kr/G₁₅ – timme, men kan justeras efter andra kalkyltimpris genom beräkningar av 39,3% lägre tidsåtgång per G₀ - timme för lossning då den kan utföras dubbelsidigt. Lönsamheten av respektive lossningsmetod styrks av känslighetsanalyserna, vilka påvisar att även om en av de variabler som påverkar lönsamheten mest justeras blir resultatet i lönsamhet för varje grusningsalternativ i princip densamma. Det vill säga att det inte är lönsamt att lossa dubbelsidigt då 10 cm eller mer grus krävs. Känslighetsanalyserna påvisar också att fokus bör läggas på lägre gruspriser och smalare grusbredd då lönsamhet i dubbelsidig lossning efterfrågas.

Sammantaget är endast lossning från väg lönsamt för scenario 1 och i unga beståndsåldrar med höga lossningsvolym för scenario 2. Scenario 1 innebar att lossning från väg begränsas till tjälad väg, vilket delvis dementeras då vägen i tidsstudien inte var tjälad men trots det behöll full funktionalitet. Samtidigt är det troligt att stora volymer kräver grusning för att vägen ska behålla funktionalitet och om grusning med 10 cm eller mer krävs finns det inga förutsättningar för att vägavlägg ska vara lönsamt. De scenarios som formulerats kan inte nyttjas som regler för grusning innan lossning på grund av lokala variationer inom vägnätets bärighet och bärighetens påverkan av väderförhållanden. Nyttjandet av scenarios var ämnat till att sätta lönsamheten i relation till handfasta exempel, medan det inom det operativa skogsbruket finns många fler än 4 scenarios av väggkostnader som kräver lösningar anpassat till lokala förutsättningar.

Då studien påvisar skillnader mellan lossningsmetoderna går det att hitta nya lösningar med redan existerande metoder. Den dubbelsidiga lossningen kräver

mindre tidsåtgång vilket innebär en möjlighet att nyttja dubbelsidig lossning från vägen då produktiviteten behöver höjas. Om till exempel skogslagret är för högt kan kanske vägavlägg nyttjas som ett sätt att på kort sikt öka produktiviteten och få ut volymer snabbare.

4.2 Brister i metod

Tidsstudiens utförande kunde varit mer optimalt, förutsättningarna för respektive lossningsalternativ var inte helt densamma. Den ursprungliga designen var att det enkelsidiga och dubbelsidiga avlägget skulle placeras intill varandra (bilaga 1) och att vartannat lass skulle lossas enkelsidigt och vartannat dubbelsidigt. På så sätt hade variation i sortimentsfördelning och medelstamsvolym på trakten spridits jämt på båda avläggen. Begränsningen att lossa sortimentsrena lass som två sortiment för den dubbelsidiga lossningen var en bra lösning för att simulera fler sortiment, men medför en risk att tidsåtgången för vissa arbetsmoment är missvisande. Ett exempel på detta är arbetsmomentet sortering last som i princip inte sker då lassen är sortimentsrena, även om sortimentsrena lass lossades som 2 sortiment blir tidsåtgången något lägre. Då vältorna var åtta för det dubbelsidiga avlägget och sju för det enkelsidiga missgynnades troligen den dubbelsidiga lossningen, optimalt hade även varit om de sista två sortimenten legat mitt emot varandra på varsin sida om vägen. Den enkelsidiga lossningen hade dessutom ett sortiment som låg nedanför basvägen (LMV), vilket troligen kortar ner den genomsnittliga körsträckan. Etablering av ett nytt avlägg intill det påbörjade skogsavlägget var en bra metod för att inkludera tillredningen av ett enkelsidigt avlägg men medför en risk för felmätning av körsträcka och tidsåtgång. Sammantaget har den dubbelsidiga lossningen missgynnats genom begränsningen men gynnats av den högre medelstamsvolymen och den exakta relationen mellan vilken lossningsmetod som gynnats mest under tidsstudien är svår att kvantifiera.

Troligt ökar inte bränslekonsumtionen linjärt med tidsåtgång, vilket det gör i lönsamhetsanalysen då bränslekostnaden ingår i kalkyltimpriset. Troligare är att den enkelsidiga lossningen kräver högre bränslekonsumtion då terrängkörningen och körskador orsakar högre bränslekonsumtion (Lindroos et al., 2017; Wästerlund & Andersson, 2011). Dessutom beror bränslekonsumtionen på köravståndet, vilket teoretiskt är lägre för den dubbelsidiga lossningen. Lönsamhetsanalysen beaktar inte heller möjligheten att återanvända ett skogsavlägg. En nettonuvärdesförlust uppstår för tillredningen av ett skogsavlägg, men om skogsavlägget sedan kan nyttjas för ett antal andra avverkningar och om alternativet är att grusa inför varje avverkning kan tillredningen av skogsavlägg vara mer lönsamt. Om grenar och toppar (GROT) tillreds på trakten kan ett liknande problem uppstå då trakten avverkats, skotats och lossats från vägen då vägen är tjälad och GROT – skotare anländer då vägen är otjälad och ej trafikbar för skotare. En annan brist i lönsamhetsanalysen är att endast inkomsten för en omloppstid diskonteras till en kostnad då ytan intill avlägg behöver tas upp, vilket är rätt under antagandet att ytan tas i bruk när intilliggande bestånd föryngringsavverkas. Huruvida det är rimligt eller ej har inte kunnat utläsas i litteraturen, ytan är dock associerad med betydande körning, vilket försvårar föryngring. Återanvänds ytan som avläggsplats kan det

antas att virkesproduktion inte förekommer på ytan inom en överskådlig framtid. Intelligande bestånd kan därtill påverkas negativt av körningen på skogssidan intill avlägg på ett liknande sätt som för stickvägar i ett gallrat bestånd. Ingen hänsyn till detta togs i lönsamhetsanalysen av anledningen att kvantifiera en kostnad av produktionssänkningen är mycket svår. Stickvägars totala produktionssänkning beror på en rad olika faktorer som beståndsålder, stickvägsbredd och markens bördighet (Agestam, 2009). Ett annat utfall, vilket inte beaktats i denna analys av lossning, är i det fall en yta som inte används för virkesproduktion kan nyttjas för lossning. Ett sådant exempel kan vara en kraftledningsgata, vilket inte resulterar i en nettonuvärdesförlust då lossning utförs från skogssidan. Om det finns en alternativ yta att utföra lossning på, eller om trakten som skotas ligger i direkt anslutning till vägen, och alternativen är dubbelsidig lossning där någon form av grusning krävs eller lossning från skogen, är troligtvis lossning från skogen mer lönsamt.

4.2.1 Bias

Studien utgör endast ett stickprov av enkelsidig och dubbelsidig lossning, vilket innebär att generaliserbarheten och nyttjandet av resultatet kring tidsåtgång och merkostnad i det operativa skogsbruket kan ifrågasättas. Detsamma gäller nettonuvärdeskalkylerna och kostnaderna för grusning då de är nischade, eftersom de baseras på ingångsdata av medelvärden och antaganden för Svealand och Dalarna. För att säkerställa att beräkningar och antaganden är rimliga för nuvärdeskalkylerna hade någon form av valideringsdata varit gynnsam, källor för relevant valideringsdata har inte påträffats. Observatörens relativa oerfarenhet av tidtagning i fält och möjlig Hawthorne effekt på förarna kan även orsaka bias och är således potentiella felkällor. Studien styrks dock av känslighetsanalyserna, som påvisar liknande resultat även vid justerade ingångsvariabler.

4.3 Framtida studier

För att få en mer holistisk överblick över långsiktiga kostnader, besparingar och lönsamheten för respektive lossningsalternativ rekommenderas vidare, mer omfattande, analyser av lossning, dess tidsåtgång och associerade kostnader. Till exempel liknande studier med andra maskinalternativ så som drivare eller mindre skotare. Inkludering av nettonuvärdesförlustkalkyleringar och andra associerade kostnader i framtida studier för drivare kan potentiellt förskjuta den volym då drivaren är lönsam dubbelsidigt till lägre volymer än de som rapporterats av Ström (2008). För att säkerställa skillnader i produktivitet, tidsåtgång och bränslekonsumtion för skotare krävs mer data. Nyttjandet av uppföljningsdata som samlas in till de rapporteringssystem som skotare har idag, så som MaxiFleet, hade troligen fungerat bra om det var möjligt att rapportera in/sortera ut lass som lossats dubbelsidigt eller enkelsidigt. Om det sedan är möjligt att länka dessa till vägätgärder och dess kostnader kan en högupplöst bild över vilken lossningsmetod som i längden är mest lönsam skapas.

En mer omfattande studie bör studera hur körbekvämligheten och arbetsmiljön påverkas för förarna beroende på vilken lossningsmetod som nyttjas. Detsamma gäller maskinernas livslängd som kan vägas in som en potentiell kostnad, sannolikt sker mindre slitage då lossningen utförs från vägen. Kvantifiering av kostnaden för körskador eller estetik torde också göras. Eftersom avlägget ligger precis intill vägen är potentiella körskador vid skogsavlägg synliga för förbipasserande, vilka rimligen inte uppskattar vare sig estetiken eller de negativa effekterna som körskador medför. Liknande problem uppstår för vägavlägget, även om vägen är fortsatt trafikbar kommer körbekvämligheten i personbil sänkas, antingen av att skotaren har kört där eller av det grövre grus som tillförts. Detta kan även försvåra vidaretransport av virket med lastbil. Nyttjande av existerande (till exempel kon – pentrometer) eller utveckling av ny fältutrustning för att bedöma vägens trafikbarhet för skotare skulle sannolikt bidra till högre säkerhet i operativa beslut. Vägsäkerheten bör även studeras vidare, att skotaren trafikerar skogsbilväg är inte helt riskfritt om det förekommer personbils- och lastbilstrafik. Författarens uppfattning är dock att vältorna var bättre jämndragna mot vägen och säkrare utformade när lossningen utförts från vägen, medan vältorna lossade från skogen var mer jämndragna mot skogen och lutade ut mot vägen. För att ge nettonuvärdesförlusterna ett mer rättvist värde skulle virkets totala förädlingsvärde kunna nyttjas i stället för virkespris.

Utredande av andra grusningsalternativ än det som inkluderats i denna studie rekommenderas. Bland annat möjligheten att nyttja hjulspårgrusning, vilket är relevant då bredden på grusning har en signifikant inverkan på modellerna för nettot där grus krävs och är en av de ingångsvariabler som påverkar nettot mest (bilaga 3). Detsamma gäller utvärdering av billigare grusalternativ, då även gruspriset har statistiskt signifikant inverkan och är en av de variabler som påverkar nettot mest. Nyttjandet av grus från egen täkt eller alternativa material kan sänka kostnaden och leda till nya förutsättningar för lönsamheten vid dubbelsidig lossning. En utförligare studie bör utreda om ett slitlager behöver tillföras efter lossning från väg för att tillreda vägen för personbil och virkestransport, denna studie beaktar inte nyttjandet av slitlager. Endast priset för grovt bärlager nyttjas till att kvantifiera kostnaden av vägåtgärder, vilket kan lämna vägen i trafikbart skick efter lossning under antagandet att tyngden av skotaren resulterar i att det grövre bärlagret trycks ned i slitlagret.

4.4 Slutsatser

Medeltidsåtgången för den dubbelsidiga och enkelsidiga lossningen, normerat för lass med 20 m³fub var 335,3 sekunder respektive 552,2 sekunder, vilket innebär att den dubbelsidiga lossningen hade 39,3% lägre tidsåtgång (3,62 minuter snabbare per lass). Medeltidsåtgången per m³fub är således 16,8 s/m³fub för den dubbelsidiga lossningen och 27,6 s/m³fub för den enkelsidiga lossningen. Kostnaden för lossning, med ett kalkyltimpris på 1400 kr/G₁₅-timme och en TU på 90% var 7,25 kr/m³fub för den dubbelsidiga lossningen och 11,93 kr/m³fub för den enkelsidiga lossningen, vilket resulterar i en merkostnad på 4,69 kr/m³fub för enkelsidig lossning.

Dubbelsidig lossning är mer effektiv än enkelsidig lossning, vilket innebär att det är mer lönsamt att lossa dubbelsidigt om lossningen kan genomföras utan att vägen behöver grusas. Då 5 cm grus krävs är det lönsamt att utföra lossningen dubbelsidigt från väg då bestånden där skogsavlägget etableras i är ungt (<30 år) och då volymen som skall lossas är hög (>1 000 m³fub). Då 10 cm grus eller mer krävs är det mer lönsamt att lossa enkelsidigt från skogen. Känslighetsanalysen påvisar samma trender i lönsamhet även då ingångsvariablerna manipuleras upp och ned med 50%. Om bristerna som adresserats i denna studie och djupare analyser av lossning genomförs kan holistiska slutsatser om lossningsmetodernas långsiktiga lönsamhet formuleras.

Referenser

- Acuna, M., Bigot, M., Guerra, S., Hartsough, B., Kanzian, C., Kärhä, K., Lindroos, O., Magagnotti, N., Roux, S., & Spinelli, R. (2012). *Good practice guidelines for biomass production studies*.
- Agestam, E. (2009). *Skogsskötselserien: Gallring*. Skogsstyrelsen.
- Andersson, P.-J. (2020). Basvägar och basstråk, maskinförarens åsikter om planerade förslag.
- Anon. (u.å.-a). *Bortsättningshandboken*. Stora Enso Skog.
- Anon. (u.å.-b). *Forest Operations Research*. Forest Operations Research. Retrieved 13 februari from <https://www.forestproductivity.co.za>
- Anon. (u.å.-c). *Forskning och innovation*. Stora Enso. Retrieved 13 februari from <https://forest.storaenso.com/sv-se/stora-enso-skog/forskning-och-innovation>
- Anon. (u.å.-d). *Om Stora Enso Skog*. Stora Enso. Retrieved 13 februari from <https://forest.storaenso.com/sv-se/stora-enso-skog/om-oss>
- Apel, K., Shiba, M., & Thompson, M. (1995). IUFRO forest work study nomenclature. *Swedish University of Agricultural Science, Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg*.
- Arkegrim, E., & Appelbring, A. (2023). Jämförelse av uppskattat terrängtransportavstånd mellan beslutstödet Timbertrail och Stora Enso Skogs bortsättningshandbok.
- Berg, S., Ersson, B. T., & Manner, J. (2019). Distance driven and driving speed when forwarding during final felling in Central Sweden. *Journal of Forest Science*, 65(5), 183-194.
- Brunberg, T. (2004). *Underlag till produktionsnormer för skotare: productivity-norm data for forwarders*. Skogforsk.
- Brunberg, T., & Arlinger, J. (2001). *Vad kostar det att sortera virket i skogen?* Skogforsk.
- Edlund, M. (2009). Produktivitet och lönsamhet vid skogsbränsleuttag längs skogsbilvägar.
- Ekvall, H., Bostedt, G., Redaktör, S., Johansson, L., & i Söderköping, M. (2009). *Skogsskötselserien: Skogsskötselns ekonomi*. Skogsstyrelsen.
- Eriksson, M., & Lindroos, O. (2014). Productivity of harvesters and forwarders in CTL operations in northern Sweden based on large follow-up datasets. *International Journal of Forest Engineering*, 25(3), 179-200.
- Eriksson, P. (1999). *Skotning* (G. Frumerie, Ed.) [Handledningsmaterial]. SkogForsk.
https://www.skogforsk.se/cd_20190114162131/contentassets/e7f5fe3dd2204c8f906f17a9350b4d79/skotning.pdf

- Fernandez-Lacruz, R., Edlund, M., Bergström, D., & Lindroos, O. (2021). Productivity and profitability of harvesting overgrown roadside verges—a Swedish case study. *International Journal of Forest Engineering*, 32(1), 19-28. <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1822664>
- Flisberg, P., Rönnqvist, M., Willén, E., Forsmark, V., & Davidsson, A. (2022). Optimized locations of landings in forest operations. *Canadian Journal of Forest Research*, 52(1), 59-69.
- Haugerud, Ø. (2013). *Hva koster det å bruke skogsbilvei som anleggsplass?*
- Horn, R., Vossbrink, J., & Becker, S. (2004). Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 79(2), 207-219.
- Häggström, C. (2015). *Human factors in mechanized cut-to-length forest operations*. Department of Forest Biomaterials and Technology, Swedish University of ...
- Jonsson, R. (2015). Prestation och kostnader i blädning med skördare och skotare. *Arbetsrapport från Skogforsk*(863-2015), 28.
- Kuitto, J. (1994). Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsakuljetus [Mechanized cutting and forest haulage]. *Metsäteho report*, 410, 1-30. https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/tiedotus-1994_410-compressed.pdf
- Lindroos, O. (2012). Evaluation of technical and organizational approaches for directly loading logs in mechanized cut-to-length harvesting. *Forest Science*, 58(4), 326-341.
- Lindroos, O. (2018). *Introduktion till skogliga arbetsstudier*. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, SLU.
- Lindroos, O., La Hera, P., & Häggström, C. (2017). Drivers of advances in mechanized timber harvesting—a selective review of technological innovation. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 38(2), 243-258.
- Lundbäck, M., Häggström, C., & Nordfjell, T. (2021). Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood. *International Journal of Forest Engineering*, 32(3), 202-215.
- Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G., Fries, C., & Redaktör, S. (2014). *Skogsskötselserien: Slutavverkning*. Skogsstyrelsen.
- Löfroth, C. (2014). *Skogsbilvägar service, underhåll och upprustning* (M. Hannerz, Ed.). SkogForsk. https://www.skogforsk.se/cd_20231030141847/contentassets/66e5dca629cf43978d5dd425c78d5d8a/skogsbilvagar.pdf
- Manner, J., Berg, S., & Ersson, B. T. (2020). Forwarding during final felling: work element-specific distributions of driving distances at the stand level. *International Journal of Forest Engineering*, 31(1), 51-69.
- Manner, J., Nordfjell, T., & Lindroos, O. (2013). Effects of the number of assortments and log concentration on time consumption for forwarding. *Silva Fennica*, 47(4).
- MaserFrakt. (2022). *Transporter*. MaserFrakt. Retrieved 7 februari from <https://www.maserfrakt.se/anlaggning/maskintjanster/>
- MoDo, S. A., & Thor, M. (1996). Stråkkörning med mellanstor engreppsskördare.

- NCC. (2024a). *Bergkross 0/90*. NCC. Retrieved 7 februari from <https://sten.ncc.se/material/produkt/bergkross-0-90/>
- NCC. (2024b). *Hitta till NCC Ballast*. NCC. Retrieved 2024 from <https://www.ncc.se/ballast/hitta/>
- NCC. (2024c). *Räkna ut materialåtgång*. NCC. Retrieved 7 februari from <https://www.ncc.se/ballast/vara-produkter/rakna/>
- Nurminen, T., Korpunen, H., & Uusitalo, J. (2006). Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system.
- Roberge, C., Nilsson, P., Wikberg, P., & Fridman, J. (2023). Skogsdata: aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen 2023 Tema: Gammal skog enligt miljömålsdefinitionen: vad kännetecknar den och var finns den. In: Skogsdata.
- Rådström, L., & Thor, M. (2014). *Skogsnäringens värdekedjor: definition, dagsläge och angelägna utvecklingsområden*. Kungl. Skogs- och lantbruksakademien.
- S-fakulteten. (2022). Säkerhetsrutiner för fältarbete vid fakulteten för skogsvetenskap. In: Svergies lantbruksuniversitet, SLU.
- Skogskunskap. (2023). *Kostnader för avverkning*. skogskunskap. <https://www.skogskunskap.se/aga-skog/priser--kostnader/kostnader-for-avverkning/>
- Skogskunskap. (u.å.). *Måttenheter - Omräkningstal*. Retrieved 3 april from <https://www.skogskunskap.se/rakna-med-verktyg/mata-skogen/mattenheter---omrakningstal/>
- Skogsstyrelsen. (2023). *Kostnader i det storskaliga skogsbruket*. Skogsstyrelsen. Retrieved 3 april from <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/kostnader-i-det-storskaliga-skogsbruket/>
- Skogsstyrelsen. (2024a). *Fasta kostnader och riktvärden för stöd till Nokås*. Skogsstyrelsen. Retrieved 12 mars from <https://www.skogsstyrelsen.se/aga-skog/stod-och-bidrag/nokas/riktvarden/>
- Skogsstyrelsen. (2024b). *Rundvirkespriser*. Skogsstyrelsen Retrieved from http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas__Rundvirkespriser/JO0303_3ny.px/table/tableViewLayout2/
- Ström, P. (2008). Drivarens produktivitet vid lossningsarbete.
- Svensson, G. (2013). *Hur stort behöver avlagget vara?* Skogforsk. Retrieved 18 januari from <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2013/hur-stort-behoover-avlagget-vara/>
- Talbot, B., Nordfjell, T., & Suadicani, K. (2003). Assessing the utility of two integrated harvester-forwarder machine concepts through stand-level simulation. *International Journal of Forest Engineering*, 14(2), 31-43.
- Trafikverket. (2017). *Upplag av virke och skogsbränsle vid allmän och enskild väg*. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1389814/FULLTEXT04.pdf>
- Wessmark, N. (2019). Bortsättning av skotningsavstånd på ett svenskt skogsbolag.
- Wide, M. I., & Fogdestam, N. (2011). Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring.

https://www.skogforsk.se/cd_20190114161517/contentassets/e8b92b3fbca24bed9058ed12032c73c8/arbetsrapport-740-2011.pdf

- Wästerlund, I., & Andersson, E. (2011). Increased harvesting operation using adapted ground pressure to soil conditions. 17th International Conference of the International Society for Terrain Vehicle Systems. Blacksburg, VA, ISTVS,
- Yong, R. N., Fattah, E. A., & Skiadas, N. (1984). *Vehicle traction mechanics*. Elsevier.

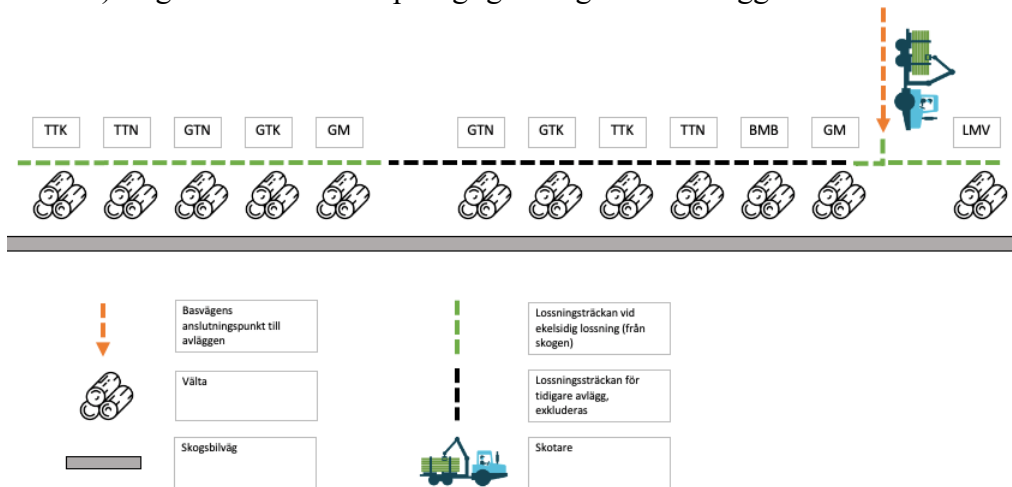
Tack

Ett stort tack riktas till handledare och externa kontaktpersoner som tillhandahållit och bidragit med insiktsfull kunskap och feedback under arbetets gång.

Ett speciellt tack riktas till förarna i maskinslaget som ställt upp i tidsstudien, eran samarbetsvilja och villighet att dela med er av tid, erfarenheter och kunskap har varit värdefullt och möjliggjort genomförandet av studien.

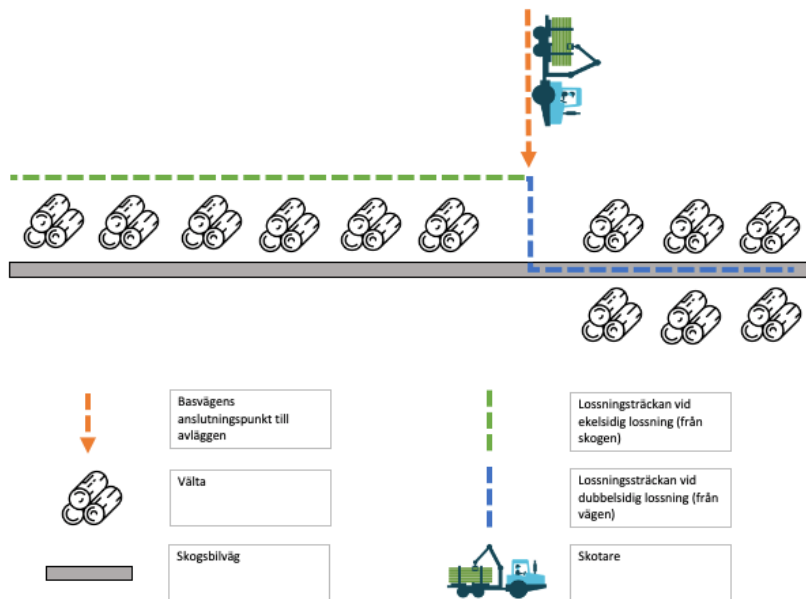
Bilaga 1

Figur 1 visar utformningen av det nya enkelsidiga avlägget, med dess anslutningspunkt, körsträcka och exkluderade körsträcka (då även tidsåtgång pausades). Figur 2 visar den ursprungliga designen av avlägget för tidsstudien.



Figur 1. Nya enkelsidiga avlägget.

Figure 1. New single-sided roadside landing.



Figur 2. Ursprunglig avläggsdesign för tidsstudien.

Figure 2. Original design of roadside landing for the time study.

Bilaga 2

I tabell 1 redovisas de arbetsmoment och parametrar som med statistisk säkerhet (regressionsanalys) påverkas av lastfyllnad. För tidsåtgången av kran ut, kran in och sortering last nyttjades normerade antalet krancyklerna.

Tabell 1. Arbetsmoment och parametrar som påverkas av lastfyllnaden (m³fub)

Table 1. Work elements and parameters that are affected by the volume in the load (m³fub)

Tidsåtgång för arbetsmoment /kvantitet av parameter	Påverkas med statistiskt säkerhet (p<0,05) av lastfyllnaden (m³fub)
Körning innan lossning	Nej
Körning efter lossning	Nej
Kran ut	Ja
Kran in	Ja
Körning under lossning	Nej
Sortering last	Ja
Sortering välta	Ja
Övrig tid	Nej
Producerad mängd	Nej
Sortiment i lasset	Nej
Körsträcka under lossning	Nej
Avläggets längd	Nej
Antal krancykler	Ja
Vägskador/körskador	Nej
Stickvägsbredd	Nej

Tabell 2 – 6 presenterar de modeller som nyttjats för att normera tidsåtgången till 20 m³fub per lass.

Tabell 2. Modell för tidsåtgång (s) av arbetsmomentet kran ut.

Table 2. Model for time consumption (s) of the work element crane out.

Regression Equation

Kran ut = -18,9 + 11,860 Antal krancykler

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
15,941	91,99%	91,72%	90,97%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-18,9	10,5	-1,8	0,082	
Antal krancykler	11,86	0,639	18,56	0	1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	87517	87517	344,39	0
Antal krancykler	1	87517	87517	344,39	0
Error	30	7624	254,1		
Lack-of-Fit	13	4264	328	1,66	0,162
Pure Error	17	3360	197,7		
Total	31	95141			

Tabell 3. Modell för tidsåtgång (s) av arbetsmomentet kran in

Table 3. Model for time consumption (s) of the work element crane in

Regression Equation

Lossningsmetod

Dubbelsidig lossning Kran in = $7,3 + 4,582 \text{ Antal krancykler}$

Enkelsidig lossning Kran in = $21,6 + 4,582 \text{ Antal krancykler}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	7,3	10,6	0,69	0,498	
Antal krancykler	4,582	0,749	6,12	0	1,53
Lossningsmetod					
Enkel	14,31	6,6	2,17	0,039	1,53

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
15,106	75,27%	73,57%	69,78%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	20147	10073	44,14	0
Antal krancykler	1	8545	8545,3	37,45	0
Lossningsmetod	1	1071	1071,3	4,69	0,039
Error	29	6618	228,2		
Lack-of-Fit	16	3680	230	1,02	0,494
Pure Error	13	2937	226		
Total	31	26764			

Tabell 4. Modell för tidsåtgång (s) av arbetsmomentet sortering last

Table 4. Model for time consumption (s) of the work element sorting of load

Regression Equation

Sortering last = -37,3 + 3,118 Antal krancykler

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-37,3	11,3	-3,29	0,003	
Antal krancykler	3,118	0,688	4,53	0	1

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
17,166	40,63%	38,65%	22,22%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	6049	6049,5	20,53	0
Antal krancykler	1	6049	6049,5	20,53	0
Error	30	8841	294,68		
Lack-of-Fit	13	7529	579,19	7,51	0
Pure Error	17	1311	77,12		
Total	31	14890			

Tabell 5. Modell för tidsåtgång (s) av arbetsmomentet sortering vältta

Table 5. Model for time consumption (s) of the work element sorting of assortment pile

Regression Equation

Förare

F1 Sortering
vältta = 2,36 + 1,069 m³fub i lass

F2 Sortering
vältta = -14,6 + 1,069 m³fub i lass

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	2,36	8,35	0,28	0,78	
m ³ fub i lass	1,069	0,46	2,33	0,027	1,44
Förare					
F2	-16,97	4,79	-3,54	0,001	1,44

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11,293	30,54%	25,75%	15,28%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	1626,1	813,1	6,37	0,005
m ³ fub i lass	1	689,8	689,8	5,41	0,027
Förare	1	1601,3	1601,3	12,56	0,001
Error	29	3698,7	127,5		
Total	31	5324,8			

Tabell 6. Modell för antalet krancykler

Table 6. Model for amount of crane cycles

Regression Equation

Antal

sortiment Lossningsmetod

1	Dubbel	Antal krancykler	=	$4,71 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
1	Enkel	Antal krancykler	=	$7,76 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
2	Dubbel	Antal krancykler	=	$4,38 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
2	Enkel	Antal krancykler	=	$7,43 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
3	Dubbel	Antal krancykler	=	$6,93 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
3	Enkel	Antal krancykler	=	$9,98 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
4	Dubbel	Antal krancykler	=	$8,18 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
4	Enkel	Antal krancykler	=	$11,23 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
5	Dubbel	Antal krancykler	=	$10,08 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$
5	Enkel	Antal krancykler	=	$13,13 + 0,4312 \text{ m}^3\text{fub i lass}$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4,71	1,9	2,47	0,02	
m ³ fub i lass	0,4312	0,078	5,53	0	1,29
Antal sortiment					
2	-0,33	1,35	-0,24	0,81	3,54
3	2,22	1,48	1,51	0,145	3,18
4	3,47	2,35	1,48	0,152	1,3
5	5,37	1,7	3,16	0,004	1,91
Lossningsmetod					
Enkel	3,053	0,855	3,57	0,001	1,42

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,0289	83,46%	79,49%	*

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	519,31	86,551	21,03	0
m ³ fub i lass	1	125,75	125,75	30,55	0
Antal sortiment	4	100,69	25,173	6,12	0,001
Lossningsmetod	1	52,49	52,487	12,75	0,001
Error	25	102,91	4,116		
Total	31	622,22			

Bilaga 3

Tabell 1. Ursprungliga och förändrade värden som inkluderats i känslighetsanalysen

Table 1. Original and modified values that were included in the sensitivity analysis

Variabel	Förändring från ursprungsvärde						
	-50%	-20%	-10%	0%	10%	20%	50%
Sortiment	4	5	6	7	8	9	11
Kalkyltimpris skotare (kr/h)	700	1120	1260	1400	1540	1680	2100
Grusning bredd (m)	2	3,2	3,6	4	4,4	4,8	6
Stickvägsbredd (m)	3	4,8	5,4	6	6,6	7,2	9
Gruspris (kr/ton)	72	115,2	129,6	144	158,4	172,8	216
Timpris tiptrailer (kr/h)	700	1120	1260	1400	1540	1680	2100
Kalkylränta	2,0%	3,2%	3,6%	4,0%	4,4%	4,8%	6,0%
TT (kr/m ³ fub)	322,5	516	580,5	645	709,5	774	967,5
GT (kr/m ³ fub)	333,5	533,6	600,3	667	733,7	800,4	1000,5
BM (kr/m ³ fub)	227	363,2	408,6	454	499,4	544,8	681
LM (kr/m ³ fub)	233	372,8	419,4	466	512,6	559,2	699
Tidsåtgång per gruslass (h)	1	1,6	1,8	2	2,2	2,4	3
Maxkapacitet tiptrail (ton)	19	30,4	34,2	38	41,8	45,6	57
Röjningskostnad vid 7 års ålder	1500	2400	2700	3000	3300	3600	4500
Röjningskostnad vid 15 års ålder	2500	4000	4500	5000	5500	6000	7500
Kostnad Ga 35 års ålder	125	200	225	250	275	300	375
Kostnad Ga 55 års ålder	100	160	180	200	220	240	300
Andel tall	22%	35%	40%	44%	48%	53%	66%
Andel gran	19%	30%	34%	38%	42%	46%	57%
Andel löv	9%	14%	16%	18%	20%	22%	27%
Total volym vid 25 års ålder (m ³ sk/ha)	44	70,4	79,2	88	96,8	105,6	132
Total volym vid 35 års ålder (m ³ sk/ha)	68,5	109,6	123,3	137	150,7	164,4	205,5
Total volym vid 51 års ålder (m ³ sk/ha)	97,5	156	175,5	195	214,5	234	292,5
Total volym vid 71 års ålder (m ³ sk/ha)	127,5	204	229,5	255	280,5	306	382,5
Total volym vid 91 års ålder (m ³ sk/ha)	142	227,2	255,6	284	312,4	340,8	426
Drivningskostnad 25 års ålder (kr/m ³ fub)	150	240	270	300	330	360	450
Drivningskostnad 35 års ålder (kr/m ³ fub)	117	187,2	210,6	234	257,4	280,8	351
Drivningskostnad 51 års ålder (kr/m ³ fub)	85,75	137,2	154,35	171,5	188,65	205,8	257,25
Drivningskostnad 71 års ålder (kr/m ³ fub)	70	112	126	140	154	168	210
Drivningskostnad 91 års ålder (kr/m ³ fub)	59,5	95,2	107,1	119	130,9	142,8	178,5

Tabell 2 – 5 nedan presenterar regressionsekvationerna och statistisk signifikans då ingångsvariablerna justerats och sammanställts för de olika modellerna av grusning.

Tabell 2. Modell för netto då ingen grusning krävs

Table 2. Model for net when no graveling is needed

Regression Equation

Ingen grusning krävs netto = -2827 + 189,49 År + 4,9696 Volym som lossas vid avlägg + 6,694 Timpris skotare - 99977 kalkylränta - 2,049 BM (kr/m³fub) - 74,54 m³sk/ha + 9,562 Kostnad Ga + 3,905 Kostnad drivning

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1387,05	91,48%	91,46%	91,38%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	83556825987	10444603248	5428,85	0,000
År	1	3302587261	3302587261	1716,60	0,000
Volym som lossas vid avlägg	1	66781205707	66781205707	34711,22	0,000
Timpris skotare	1	1264834436	1264834436	657,43	0,000
kalkylränta	1	230292893	230292893	119,70	0,000
BM (kr/m ³ fub)	1	12459970	12459970	6,48	0,011
m ³ sk/ha	1	5570556495	5570556495	2895,44	0,000
Kostnad Ga	1	2308175971	2308175971	1199,73	0,000
Kostnad drivning	1	464063488	464063488	241,21	0,000
Error	4047	7786056956	1923908		
Lack-of-Fit	714	7686354430	10765202	359,87	0,000
Pure Error	3333	99702526	29914		
Total	4055	91342882943			

Tabell 3. Modell för netto då 5 cm grusning krävs

Table 3. Model for net when 5 cm of gravel is needed

Regression Equation

5 cm grus = 11569 + 189,49 År + 2,6977 Volym som ska lossas vid avlägg - 97,4 Antal sortiment som skall krävs lossas vid avlägg + 6,694 Timpris skotare - 1337,5 Grusning bredd (m) - 37,60 Gruspris / ton netto - 2,667 Pris tiptrailer / h - 99977 kalkylränta - 2,049 BM (kr/m³fub) - 1432,3 Tidsåtgång för tiptrailer - 74,54 m³sk/ha + 9,562 Kostnad Ga + 3,905 Kostnad drivning

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1399,06	76,18%	76,10%	75,85%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	13	25298412629	1946031741	994,21	0,000
År	1	3302584494	3302584494	1687,26	0,000
Volym	1	6114411093	6114411093	3123,80	0,000
Antal sortiment som skall lossas vid avlägg	1	7875904	7875904	4,02	0,045
Timpris skotare	1	1264834436	1264834436	646,19	0,000
Grusning bredd (m)	1	393333106	393333106	200,95	0,000
Gruspris / ton	1	422146474	422146474	215,67	0,000
Pris tiptrailer / h	1	200704000	200704000	102,54	0,000
kalkylränta	1	230292893	230292893	117,65	0,000
BM (kr/m ³ fub)	1	12459970	12459970	6,37	0,012
Tidsåtgång för tiptrailer	1	2470927292	2470927292	1262,38	0,000
m ³ sk/ha	1	5570553368	5570553368	2845,95	0,000
Kostnad Ga	1	2308177598	2308177598	1179,23	0,000
Kostnad Sa	1	464064167	464064167	237,09	0,000
Error	4042	7911659847	1957363		
Lack-of-Fit	1445	7813991964	5407607	143,79	0,000
Pure Error	2597	97667883	37608		
Total	4055	33210072476			

Tabell 4. Modell för netto då 10 cm grusning krävs

Table 4. Model for net when 10 cm of gravel is needed

Regression Equation

10 cm grus krävs netto = 24229 + 189,49 År + 0,4072 Volym som skall lossas vid avlägg - 211,2 Antal sortiment som skall lossas vid avlägg + 6,694 Timpris skotare - 2661,8 Grusning bredd (m) - 75,20 Gruspris / ton - 4,667 Pris tiptrailer / h - 99977 kalkylränta - 1443,0 Tidsåtgång grus 10 cm - 74,54 m³sk/ha + 9,562 Kostnad Ga + 3,905 Kostnad Sa

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1426,53	78,89%	78,82%	78,59%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	12	30740405177	2561700431	1258,82	0,000
År	1	3302583073	3302583073	1622,89	0,000
Volym som skall lossas vid avlägg	1	176557774	176557774	86,76	0,000
Antal sortiment som skall lossas vid avlägg	1	37191844	37191844	18,28	0,000
Timpris skotare	1	1264834436	1264834436	621,54	0,000
Grusning bredd (m)	1	1444317358	1444317358	709,74	0,000
Gruspris / ton	1	1688585896	1688585896	829,77	0,000
Pris tiptrailer / h	1	614656000	614656000	302,04	0,000
kalkylränta	1	230292893	230292893	113,17	0,000
Tidsåtgång grus 10 cm	1	4104010200	4104010200	2016,72	0,000
m ³ sk/ha	1	5570550472	5570550472	2737,38	0,000
Kostnad Ga	1	2308172890	2308172890	1134,24	0,000
Kostnad drivning	1	464062595	464062595	228,04	0,000
Error	4043	8227490190	2034996		
Lack-of-Fit	1318	8057280382	6113263	97,87	0,000
Pure Error	2725	170209808	62462		
Total	4055	38967895367			

Tabell 5. Modell för netto då 15 cm grusning krävs

Table 5. Model for net when 15 cm of gravel is needed

Regression Equation

15 cm = 38586 + 189,49 År - 1,7943 Volym som skall lossas vid avlägg - 325,5 Antal sortiment
 grus som skall lossas vid avlägg + 6,694 Timpris skotare - 3985 Grusning bredd (m)
 krävs - 112,80 Gruspris / ton
 netto - 6,667 Pris tiptrailer / h - 99977 kalkylränta - 2,049 BM (kr/m³fub)
 - 1449,7 Tidsåtgång grus 15 cm - 74,54 m³sk/ha + 9,562 Kostnad Ga
 + 3,905 Kostnad drivning

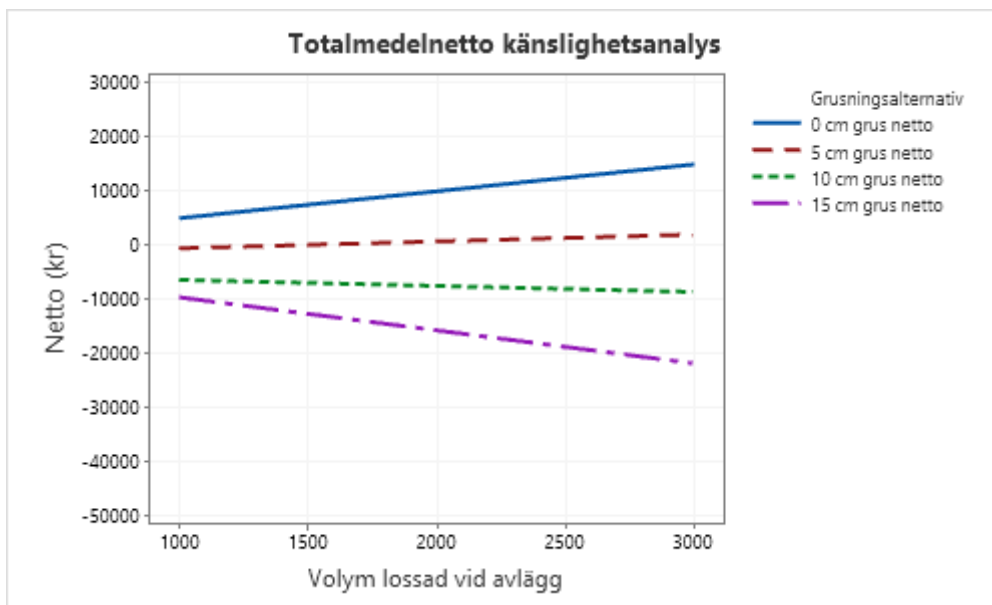
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1481,50	93,96%	93,94%	93,86%

Analysis of Variance

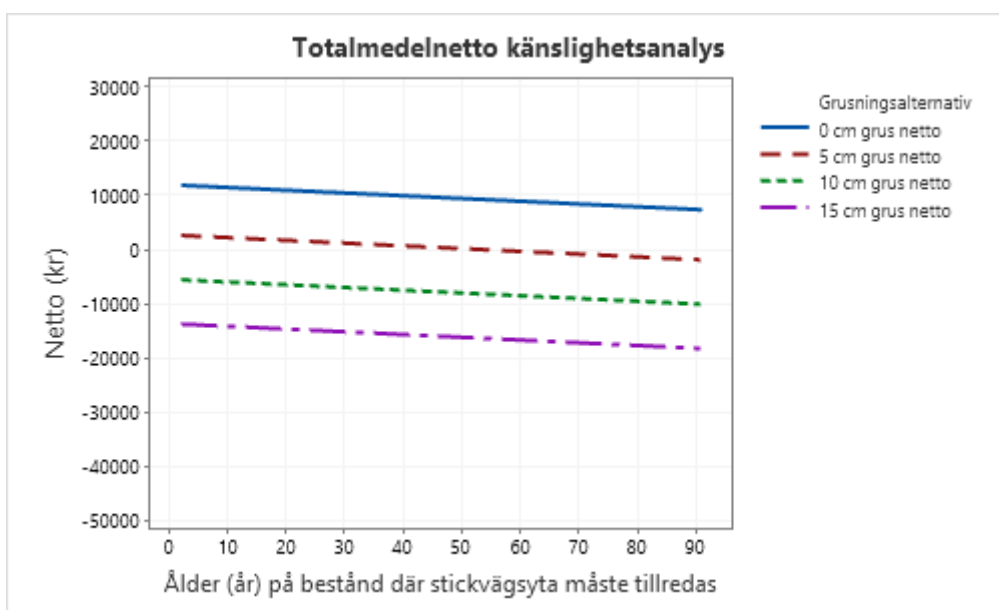
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	13	1,38013E+11	10616421004	4837,00	0,000
År	1	3302583923	3302583923	1504,71	0,000
Volym som skall lossas vid avlägg	1	952289264	952289264	433,88	0,000
Antal sortiment som skall lossas vid avlägg	1	88566212	88566212	40,35	0,000
Timpris skotare	1	1264834436	1264834436	576,28	0,000
Grusning bredd (m)	1	3093051200	3093051200	1409,24	0,000
Gruspris / ton	1	3799318266	3799318266	1731,03	0,000
Pris tiptrailer / h	1	1254400000	1254400000	571,52	0,000
kalkylränta	1	230292893	230292893	104,92	0,000
BM (kr/m ³ fub)	1	12459970	12459970	5,68	0,017
Tidsåtgång grus 15 cm	1	6183423360	6183423360	2817,26	0,000
m ³ sk/ha	1	5570551340	5570551340	2538,03	0,000
Kostnad Ga	1	2308176320	2308176320	1051,64	0,000
Kostnad drivning	1	464059988	464059988	211,43	0,000
Error	4042	8871529902	2194837		
Lack-of-Fit	1477	8773862878	5940327	156,01	0,000
Pure Error	2565	97667024	38077		
Total	4055	1,46885E+11			

Figur 1 och 2 illustrerar nettot för olika grusningsalternativ med sammanställt data från känslighetsanalysen, då ingångsvariablerna justerats upp och ner med 10, 20 & 50%. Nettot visar liknande trender som det som presenteras i resultatet med ursprungsvariablerna.



Figur 1. Totalmedelnetto (kr) för olika grusningsalternativ för dubbelsidigt avlägg vid olika beståndåldrar (2 – 91 år) och för olika volymer (1 000 – 3 000 m³fub) med ingångsdata från känslighetsanalysen.

Figure 1. Total mean net (kr) for different graveling alternatives for double-sided roadside landing at different stand ages (2-91 years) and for different volumes (1 000 – 3 000 m³fub) with data from the sensitivity analysis.



Figur 2. Totalmedelnetto (kr) för olika grusningsalternativ för dubbelsidigt avlägg vid olika beståndåldrar (2 – 91 år) och för olika volymer (1 000 – 3 000 m³fub) med ingångsdata från känslighetsanalysen.

Figure 2. Total mean net (kr) for different graveling alternatives for double-sided roadside landing at different stand ages (2-91 years) and for different volumes (1 000 – 3 000 m³fub) with data taken from the sensitivity analysis.

Figur 3 – 6 redovisar nettot för dubbelsidig lossning för respektive grusningsalternativ då de ingångsvariablerna som har störst inverkan på lönsamheten för dubbelsidig lossning (merkostnad, grusbredd, gruspris och kalkylränta) justerats upp och ned 10, 20 och 50%.

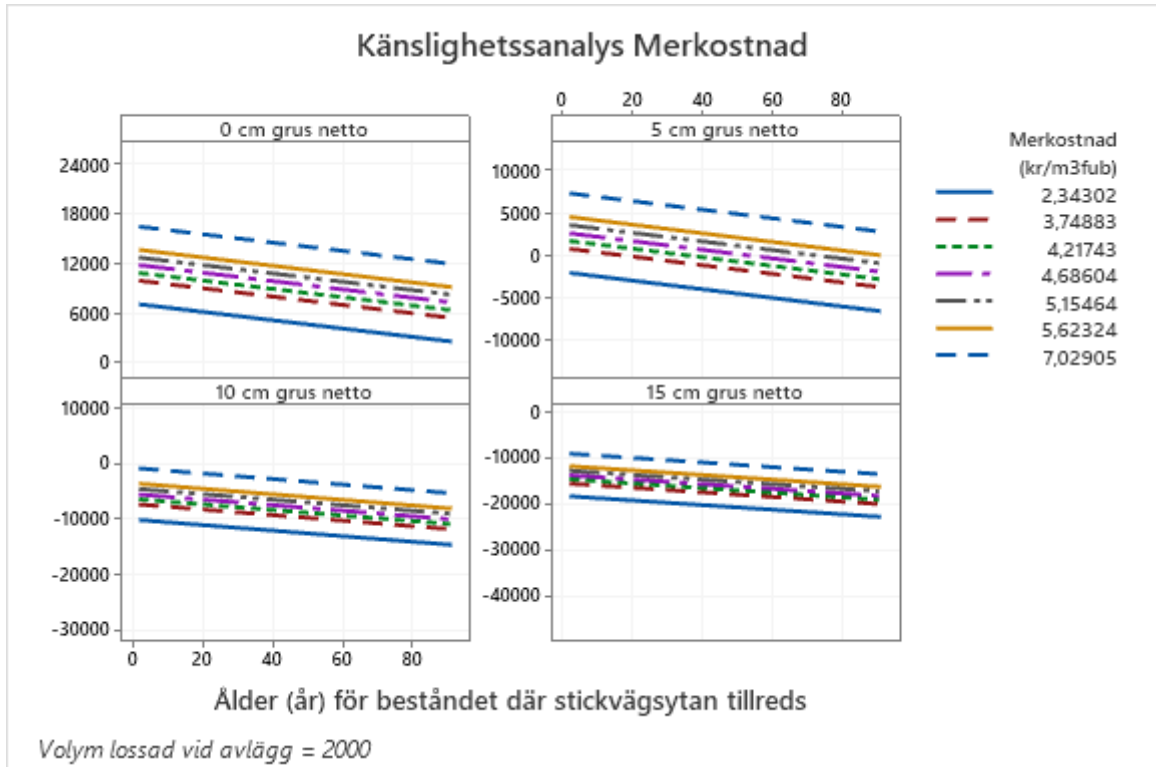


Figure 3. Nettot (kr) för olika grusningsalternativ vid dubbelsidig lossning, då volymen som lossas är 2000 m³fub och merkostnaden (kr/m³fub) för enkelsidig lossning justerats upp och ned med 10, 20 och 50%.

Figure 3. Net (kr) for different graveling alternatives of double-sided unloading, when the volume to be unloaded is 2000 m³fub and the additional cost (kr/m³fub) for single-sided unloading is adjusted up and down 10, 20 and 50%.

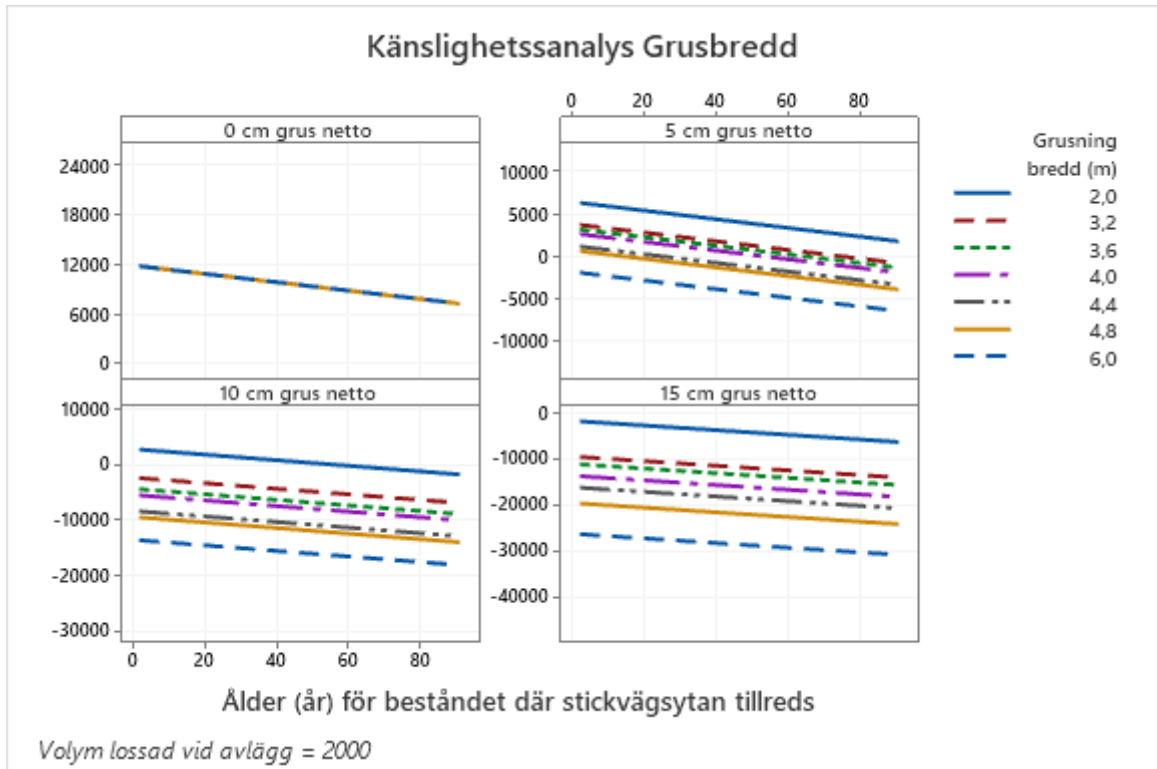


Figure 4. Nettot (kr) för olika grusningsalternativ vid dubbelsidig lossning, då volymen som lossas är 2000 m³fub och grusningsbredden (m) för att möjliggöra dubbelsidig lossningen justerats upp och ned med 10, 20 och 50%.

Figure 4. Net (kr) for different graveling alternatives of double-sided unloading, when the volume to be unloaded is 2000 m³fub and the width (m) to be graveled to facilitate the double-sided unloading is adjusted up and down 10, 20 and 50%.

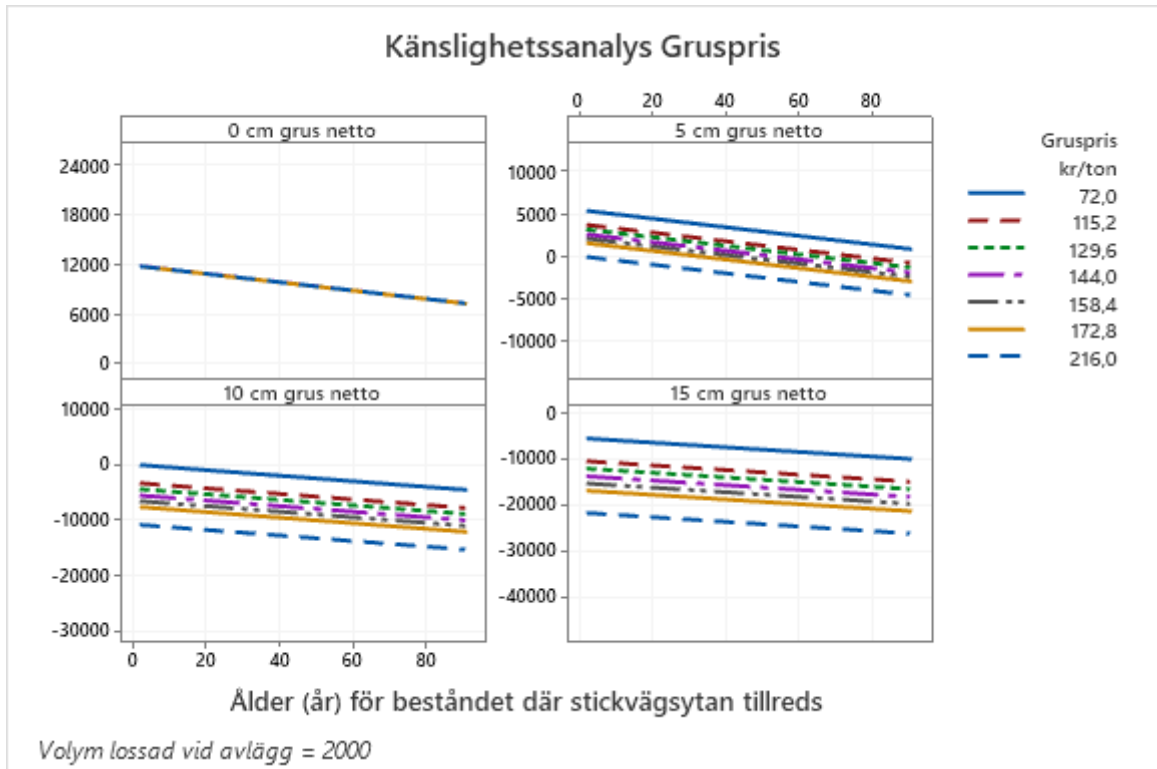


Figure 5. Nettot (kr) för olika grusningsalternativ vid dubbelsidig lossning, då volymen som lossas är 2000 m³fub och gruspriset (kr/ton) för gruset som krävs för att möjliggöra dubbelsidig lossningen justerats upp och ned med 10, 20 och 50%.

Figure 5. Net (kr) for different graveling alternatives of double-sided unloading, when the volume to be unloaded is 2000 m³fub and the cost of gravel (kr/ton) for the gravel needed to facilitate the double-sided unloading is adjusted up and down 10, 20 and 50%.

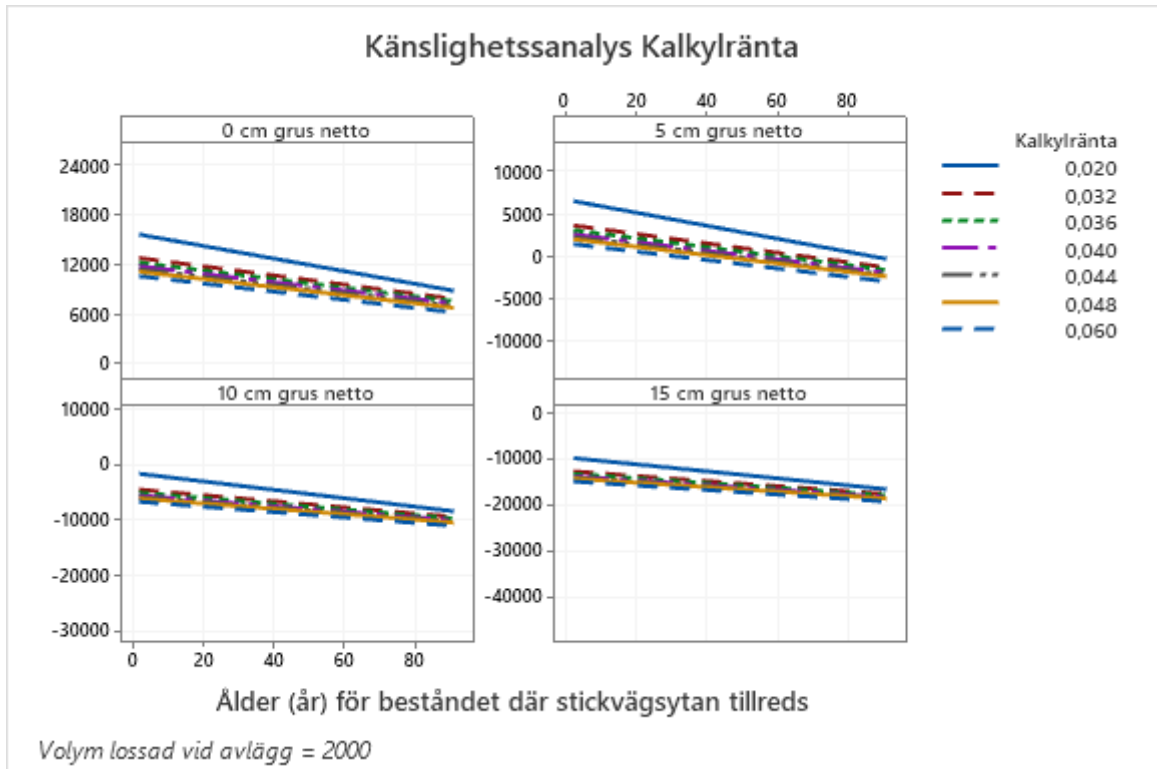


Figure 6. Nettot (kr) för olika grusningsalternativ vid dubbelsidig lossning då volymen som lossas är 2000 m³fub och kalkylräntan justerats upp och ned med 10, 20 och 50%.

Figure 6. Net (kr) for different graveling alternatives of double-sided unloading, when the volume to be unloaded is 2000 m³fub and the discount rate is adjusted up and down 10, 20 and 50%.

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.