Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

**Institutionen för skogens biomaterial och teknologi**

# Analys av två olika lastningstekniker med 74-tons ST - rundvirkeslastbilar

## – Ekonomisk analys på effekten av transportavstånd och lastfyllnadsgrad

*Analysis of two different loading procedures with 74-ton HCT - timber trucks.*

*- Economic analysis of the effect on transport distance and load fill rate.*

Arvid Boberg

Foto: Arvid Boberg

Examensarbete • 30 hp
Jägmästarprogrammet
Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2019:8
Umeå 2019

# Analys av två olika lastningstekniker med 74-tons ST – rundvirkeslastbilar - Ekonomisk analys på effekten av transportavstånd och lastfyllnadsgrad

*Analysis of two different loading procedures with 74-ton HCT - timber trucks. - Economic analysis of the effect on transport distance and load fill rate.*

Arvid Boberg

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

**Examinator:** Dimitris Athanassiadis, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Omfattning:** **30 hp**
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A2E
**Kurstitel:** Master thesis in Forest science
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
**Kurskod:** EX0832
**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet

**Utgivningsort:** Umeå
**Utgivningsår:** 2019
**Omslagsbild:** Arvid Boberg
**Serietitel:** Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
**Delnummer i serien:** 2019:8
**Elektronisk publicering:** https://stud.epsilon.slu.se

**Nyckelord:** Lastningsteknik, lastningstid, lastfyllnadsgrad, rundvirkesfordon, transportkostnad.

**Sveriges lantbruksuniversitet**
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi 2019

# Sammanfattning

Transporter av träråvara och skogsindustriprodukter med lastbil och järnväg står för ca 22 % av totala inrikestransporterna i Sverige. High Capacity Transports (HCT) har idag fått ökat intresse då dessa innovativa fordon har tagits fram i syfte att minska miljöpåverkan och reducera transportkostnader. Den typ av HCT fordon som används i studien är en s.k. ST-kranbil, ST är en förkortning av ”Större Travar”. Den är utvecklad för rundvirkestransporter och har en bruttovikt på 74-ton vilket är ca 18 % mer än de konventionella 64-tons lastbilarna.

Syftet med detta examensarbete var att undersöka om det finns en skillnad i tidsåtgång och lastvikt mellan två olika lastningstekniker: vanlig lastningsteknik och noggrann lastningsteknik. Ett delsyfte var att göra en kostnadsanalys för att visa potentialen till transportkostnadsreducering av de två lastningsteknikerna.

Datainsamlingen genomfördes som en tidsstudie i fält på lastningsarbetet vid avlägg i skogen. Ett fordonsekipage med två olika förare studerades vid lastning av massavedssortiment. Därefter analyserades datamaterialet utifrån t-tester och regressionsanalyser, för att förtydliga skillnader i tid och lastvikt mellan de olika lastningsteknikerna. Sist genomfördes kostnadsberäkningar i analysverktyget SkogforskFLIS4.0, för att beräkna transportkostnadsreduceringen.

Analyserna visade, utifrån syftet, inte på någon signifikant skillnad i lastvikt mellan noggrann- och vanlig lastningsteknik. Däremot fanns en tydlig skillnad i lastningstid mellan lastningsteknikerna där noggrann lastningsteknik i medel tog 31 % längre tid per lastat ton rundvirke. Kostnadsanalysen visade dock att noggrann lastningsteknik kan potentiellt ge lägre transportkostnad vid transportavstånd över ca 80km, enligt Södra skogsägarnas transporttaxa.

*Nyckelord: Lastningsteknik, lastningstid, lastfyllnadsgrad, rundvirkesfordon, transportkostnad*

# Abstract

Transport of wood raw materials and forest industry products by truck and rail accounts for about 22% of total domestic transport in Sweden. High Capacity Transports (HCT) has today gained increased interest as these innovative vehicles have been developed in order to reduce the environmental impact and reduce transport costs. The type of HCT vehicle used in the study is a so-called ST crane truck, ST is an abbreviation of "Greater Tracks". ST crane trucks have been developed for round wood transport and have a gross weight of 74 tonnes, which is about 18% more than the conventional 64-ton trucks.

The purpose of this thesis was to investigate whether there is a difference in time and load weight between two different loading techniques: standard loading technology and careful loading technology. A sub-purpose is to make a cost analysis to show the potential for transport cost reduction of the two loading techniques.

The data collection was carried out in the field as a time study of loading work in the forest. An ST crane truck with two different drivers was studied when loading pulpwood assortment. Subsequently, the data material was analyzed based on t-tests and regression analyzes, in order to clarify differences in time and load weight between the different loading techniques. Lastly, cost calculations were carried out using the SkogforskFLIS4.0 analysis tool, to calculate the transport cost reduction.

The analyzes showed, based on the purpose, no significant difference in load weight between accurate and standard loading technology. On the other hand, there was a clear difference in loading time between the loading techniques where accurate loading technology in the medium took 31% longer per loaded tons of round wood. The cost analysis, however, showed that accurate loading technology can potentially give lower transport costs at transport distance over about 80km, according to the Swedish Forest Owners' transport tariff.


*Keywords: Loading technology, loading time, loading capacity, roundwood vehicles, transport cost.*

# Förord

Denna studie är ett examensarbete på 30 hp i huvudämnet skogsvetenskap med inriktning mot rundvirkestransporter utfört vid institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå.

Jag vill rikta ett stort tack till Skogforsk, som anförtrott mig, med att genomföra denna studie.

Ett särskilt stort tack till min handledare på SLU, Dan Bergström och min handledare på Skogforsk, Henrik von Hofsten, vilka med stort engagemang och god kunskap stöttat mig under studietiden.

Jag vill även tacka Södra skogsägarna och deras anställda chaufförer, Henrik och Stefan, som ställt upp med lastbil och nödvändig information vid genomförandet av studien.

Umeå, Mars 2018

Arvid Boberg

# Innehållsförteckning


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Inledning** | **7** |
| 1.1 | Bakgrund | 7 |
| 1.2 | Problembeskrivning | 10 |
| 1.3 | Syfte | 13 |
| 1.4 | Frågeställningar | 13 |
| 1.5 | Begränsningar | 13 |
| **2** | **Material och metoder** | **14** |
| 2.1 | Om tidsstudier | 14 |
| 2.2 | Studiedesign | 14 |
| 2.3 | Förutsättningar | 15 |
| 2.4 | Försökslokal | 16 |
| 2.5 | Beskrivning av lastbilsekipaget | 17 |
| 2.6 | Arbetsmomentbeskrivning av lastnings- och transportarbetet | 18 |
| | 2.6.1 Beskrivning av tidsstudien, samt de varierande och konstanta faktorerna | 19 |
| 2.7 | Analyser | 19 |
| | 2.7.1 Statistiska analyser | 20 |
| | 2.7.2 Kostnadsanalyser | 22 |
| **3** | **Resultat** | **28** |
| 3.1 | Tidsåtgång för respektive lastningsteknik | 28 |
| 3.2 | Lastviktskillnader mellan lastningsteknikerna | 29 |
| 3.3 | Påverkan av lastningsavstånd och råvolymvikt. | 30 |
| 3.4 | Kostnadsanalyser | 31 |
| **4** | **Diskussion** | **32** |
| 4.1 | Granskning av material och metod | 32 |
| 4.2 | Studiens resultat jämfört med liknande studier | 33 |
| 4.3 | Kritik av studien | 35 |
| 4.4 | Framtida studier | 36 |
| 4.5 | Slutsatser | 37 |
| **5** | **Referenser** | **38** |
| 5.1 | Personlig kommunikation | 44 |
| 5.2 | Bilder & Figurer | 44 |
| **6** | **Bilagor** | **45** |

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

År 2012 stod transporter av skogsråvara och skogsindustriprodukter med lastbil och tåg för 22 % av hela landets inrikestransporter. Den totala mängd rundvirke som transporterades, inrikes och utrikes, med lastbil uppgick till 36,8 miljoner ton och transportarbetet uppgick till totalt 3 241 miljoner ton-km (Skogsstyrelsen, 2014).

Europeiska unionen (EU) har uppsatta mål om att minska utsläppen av växthusgaser med 70 % till år 2030 jämfört med 2010 års nivåer (Miljömål 2017). Idag står inrikestransporter för en tredjedel av totala koldioxidutsläppen i Sverige (Naturvårdsverket 2017). Där rundvirke på lastbilar stod för 11,2 % av totala transportarbetet år 2012 (Trafikanalys, 2015). Rundvirke är näst efter sten, grus, sand och jord den enskilt största varugruppen som transporteras via lastbil (Trafikanalys, 2015). Enligt Lumsden (2012) har det tidigare varit miljöstörningar från enskilda punktkällor, som exempelvis fabriker och kraftverk som legat i fokus för miljöförebyggande åtgärder. Det miljömedvetna samhället vi har idag, uppmärksammar och rangordnar de fossilbaserade transporterna som används inom logistikbranschen som ett av de största miljöproblemen. Detta har lett till att logistikbranschen måste ta hänsyn till koldioxidutsläppen, vilket har fordrat nya innovativa tekniker och lösningar. I boken Logistik skriven av Jonsson och Matsson (2016), beskrivs att det inte finns någon definition på miljöanpassad logistik, resurssnål logistik eller grön logistik. Begreppet beskrivs däremot i en studie av Blinge och Matsson (2006) som att tillgänglig teknik och resurser utnyttjas till fullo, så att naturresurser och miljöpåverkan från logistikföretagen blir så liten som möjligt, detta då genom t.ex. bättre fordonsutnyttjande, körsätt, teknik etcetera.

Skogforsk startade projektet ”ETT-modulsystem för virkestransporter”, år 2006 med syfte att minska det totala antalet virkestransporter i Sverige med hjälp av s.k. HCT-lastbilar (High Capacity Transport). ETT står för ”En Trave Till”, vilket är ett fordonsekipage som kan lasta en extra virkestrave och uppnå 90 ton i bruttovikt. Bruttovikt är vikten av fordonsekipaget vid ett visst tillfälle, exempelvis vid inmätningen på virkesmätningscentralen. Sex månader efter ETT-projektet slutförts, kompletterades det med ett delprojekt, ”Större Travar” (ST). Här utrustas lastbil och släp med ytterligare axlar för att öka den transporterade nyttolasten och samtidigt klara kraven på rådande bestämmelser gällande axeltryck och fordonslängder. Dessa ST-fordonsekipage kan lastas till 74 ton bruttovikt och är max 25,25 meter långa. De flesta konventionella lastbilar har samma längd som ST-lastbilarna men har en bruttovikt på 64-ton. Därför kräver ST fordonen dispens för att brukas på allmän väg (Löfroth & Svenson, 2010).

Granqvist (2012) hävdar att om bränsleförbrukningen minskas, belastas också företaget av mindre transportkostnader. HCT-fordonsekipage har högre lastkapacitet och behöver köra färre turer än vad en vanlig konventionell lastbil behöver, vilket leder till lägre bränslekostnader och koldioxidutsläpp under transporterna. Lastkapacitet är mängden virke som ett lastbilsekipage kan transportera.

Virkets råvolymvikt (virke+bark+föroreningar) ges i enheten kg/m3fub och beräknas efter avverkning, vilket är avgörande för hur mycket vikt ett fordonsekipage kan lasta (Wilhelmsson & Moberg 2004), inom ramarna för vad som är lagligt vilket i detta fall är 74 ton inklusive fordonets vikt (Transportstyrelsen, 2017). Oavsett om det är 64-tons eller 74-tons ST-lastbilar så är antalet travar på fordonsekipaget lika. De konventionella 64-tons lastbilarna har sällan problem att uppnå maximal bruttovikt. Dock är densitetsvariationer i virket, krokigt virke, och slarvigt lastade fordonsekipage också avgörande faktorer, huruvida det går att uppfylla 74-tons bruttovikt (Hofsten, von. H. & Funck, J., 2015). Enligt Hamner (2014) behöver HCT-fordonen längre lastningstid per kubikmeter virke, för att uppnå maximal lastfyllnadsgrad och vara mer ekonomiskt fördelaktigt att använda. Lastfyllnadsgraden beskriver hur stor del av maximal lastkapacitet som är utnyttjad.

Björheden (1991) beskriver tidsstudier som en av de vanligaste arbetsmetoderna för att studera arbetsrutiner. De används ofta för att bestämma tidens inverkan på produktionsprocessen, mäta tidsåtgång för olika arbetsmoment och rationalisera produktionen. När observationer från tidsstudier används för att rationalisera produktion är det ofta kopplat till ett eller flera av dessa mål:

- Förbättring av organisation och arbetsplanering
- Kontroll och uppföljning av arbete.
- Förbättra och jämföra arbetssätt, verktyg eller maskineri.
- Att samla datainformation till prestation och kostnadskalkyler.

Berggren (2018) visar i en tidsstudie att lastningstiden påverkas i olika grad av hur avståndet mellan virkestraven och lastbilsekipaget varierar, vilket sedermera påverkar transportekonomin. I en finsk studie (Savolainen, 1977) menar författaren att det är tidsmässigt optimalt att lasta när lastningsavståndet, avståndet mellan vältan och lastbilsekipaget, är mellan två till fyra meter. Dock visar resultatet i Berggrens studie att tidsbehovet ökar drastiskt vid fyra meter och kan även vid tre meters avstånd ge ökad lastningstid (Berggren, 2018). Med Skogforsks Excel-ark ”SkogforskFLIS4.0” (von Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B., & Thor, M. 2005) kan transportkostnader enkelt beräknas. Om lastbilsekipaget har en medelhastighet på 60 km/h, transportavståndet är 50km och en vända mellan avlägg och industri tar fyra timmar och fyrtio minuter att transportera. Så står lastningsmomentet för cirka 27% av transportkostnaden om kostnaden för lastningsmomentet per timme (701,5 kr) divideras med totala transportkostnaden (2556 kr).

Mäkinen (1993, 1997, 2001) har gjort studier där han jämfört och analyserat lönsamheten för ett antal finska rundvirkesåkerier. Han delade in åkerierna i strategiska grupper, för att senare undersöka sambandet mellan strategisk position och grad av lönsamhet för varje grupp. Strategisk position beskrevs som framgång nu och i framtiden (Mäkinen, 2001). Lönsamhet mättes utifrån årsredovisningar där sex variabler användes: Omsättning, marginaler, nettointäkt, avkastning på investerat kapital, soliditet, total andel skuld av omsättning (Mäkinen, 1993). Slutsatser från studierna Mäkinen genomförde, visade att åkerier som lyckades optimera nivån av kapacitetsutnyttjande hade den mest framgångsrika strategin. Dessa åkerier karaktäriserades av bl.a. långa kundrelationer, effektivitet, skickliga anställda och kompetent ledning (Mäkinen, 1993). Intressant är också att vid analysen av åkeriernas strategiska position, rankades innovationsförmåga (förmåga att anpassa sig till nya förutsättningar) och attityder till arbetet som en av de viktigaste faktorerna (Mäkinen, 1993, 1997, 2001).

Det finns en skillnad i tjänstevikt mellan kranbilar och gruppbilar. Tjänstevikt är vikten av fordonet i normalt driftfärdigt skick med verktyg, bränsle, smörjolja, vatten samt förare. Gruppbilar har ingen kran monterad och kan på så sätt lasta ekipaget med virke motsvarande den vikt som kranen väger. Dock kräver gruppbilar en separat lastare och förlorar flexibiliteten som kranbilarna har (Fjeld & Dahlin, 2005).

Vissa kranbilar har möjligheten att ställa av kranen och på så sätt lasta mer virke, vilket leder till reducerad transportkostnad. Konceptet med gruppbilar kräver mycket virke per avverkningstrakt, vilket är vanligare i de norra delarna av Sverige. Avverkningstrakt beskriver ett skogsområde som ska eller för tillfället avverkas. Södra delarna av Sverige lider av sämre vägförhållanden och små virkeskvantiteter vid platsen där virkestravarna ligger, även kallat avlägg, där förarna lastar virke på ekipaget. Detta missgynnar förutsättningarna att använda gruppbilsekipage, vilket lett till att lastbilarna istället förses med kran (Lagergren & Löfroth, 1992).

För att underlätta kostnadsberäkningar, för transporter med virkeslastbilar, används en prisformel som kallas tariffer i åkeribranschen. Tariffen har följande uppbyggnad:

F + R * kilometer = kronor per ton eller km

F = Fast kostnad (kr) per ton eller m3

R = Rörlig kostnad (kr) per ton eller m3

Denna funktion används oftast för att beskriva transportersättningen, antingen per ton eller per m3, beroende på mottagande industris inmätningsslag (Lindström, 2010).

## 1.2 Problembeskrivning

Enligt Brunberg (2013) stod virkestransporterna av barrmassaved för ca 26 % av den totala råvarukostnaden för industrierna. När bränslepriserna ökar och miljökraven på utsläpp blir allt högre kommer en effektivisering av transportarbetet krävas. Konkurrensen mellan olika åkerier gör att effektiva, lönsamma och miljömässiga rutter för virkestransporterna blir svårare att genomföra, då konkurrensen medför att fler åkerier förhandlar om samma områden att transportera virke. Vilket medför att vissa åkerier tvingas köra rutter utanför de områden som ligger närmast industrin (Behrmann & Lundqvist, 2016).

Andersson och Frisk (2010) visar i en studie att totalt sett kan transportsträckorna minskas med 26 % om enbart HCT-fordon nyttjas. Då under förutsättning att hela den traditionella lastbilsflottan, bestående av 60-tonslastbilar, ersattes av antingen 74-tons eller 76-tonslastbilar. Enligt antaganden i deras studie skulle koldioxidutsläppen potentiellt sett kunna minskas med ca 12 % per transporterad kubikmeter

och att koldioxidutsläppen skulle kunna minskas med 47 000 ton för lastbilstransporter. I studien var det förutsatt att HCT-fordonen uppnådde maximal lastkapacitet vid lastning och fullastade transporter.

I Widinghoffs (2014) studie har bränsleförbrukningen och lastfyllnadsgraden för ETT- och ST-fordon analyserats. Fordonen som analyserades, fördelades ut på sex åkerier där totalt fyra stycken kranbilar med bruttovikt 74 ton användes. Det är viktigt att maximera lastfyllnadsgraden för att minska utsläppen av växthusgaser och gynna transportekonomin. För att beräkna lastfyllnadsgraden använde Widinghoff (2014) följande formler:

- Lastvikt = Bruttovikt – Taravikt [ton]
- Uppnådd bruttovikt (insamlad viktdata¬ från lasten och fordonsekipaget) [ton]
- Lastfyllnadsgrad = (Uppnådd bruttovikt/Maximalt tillåten
- bruttovikt. [%]

I ett av åkerierna, från Widinghoffs (2014) studie, var det tre stycken lastbilsekipage som endast hade uppnått 89 % av maximal lastfyllnadsgrad. Det fanns ingen tydlig förklaring till varför en högre lastfyllnadsgrad inte uppnåddes för de fordonsekipagen. Men enligt Widinghoff (2014) var huvudanledningen att virket apterats för kort och andra troliga orsaker som till exempel förarnas bristande lastningserfarenhet av ekipaget.

I Sverige har lastkapaciteten för 74-tons HCT-bilar inte alltid kunnat utnyttjats till fullo. Vilket ger en låg lastfyllnadsgrad då maximal lastvikt inte är uppnådd och transportekonomin blir därmed påverkad negativt. I Finland har det bekräftats att 74-tons bruttovikt är möjlig att uppnå, genom att förarna har tillägnat mer tid och noggrannhet till lastning av ekipaget. Dock är det tillåtet i Finland att lasta upp till 76-tons bruttovikt. De finska förarna vänder på stockarna för att minimera luckor i lasset och pressar ner lasten i större utsträckning än vad förarna i Sverige gör för att uppnå maximal bruttovikt (von Hofsten 2017, pers. komm.).

Råvolymvikten varierar med väderlek, snöförhållanden och med abiotiska förhållanden som stormskador samt biotiska förhållanden i form av svampangrepp. Träd kan få sjukdomar av svamp som kan medföra brott på rötterna av till exempel hård vind. Detta påverkar tillväxt och vattenupptagningsförmågan, vilket i sin tur också påverkar råvolymvikten i trädet. Kärnvedsandelen har även den en stor inverkan då den är starkt kopplad till stockens vatteninnehåll. Barkens och splintvedens

färska fukthalt varierar med väderlek och årstid, både barken och splintvedens fukthalt ökar under hösten, dock barken i större grad (Wilhelmsson & Moberg, 2004).

Lastningstekniken har stor betydelse för hur lång tid det tar att lasta fordonsekipaget och även hur hög lastfyllnadsgrad som uppnås. Tidsåtgång och lastfyllnadsgrad är också särskilt beroende av vilken förare som lastar, om det är en van förare eller en ovan förare så skiljer sig resultaten åt (Hadders, 2002). Resultatet från en studie av Jägebrant och Johansson (2017) indikerar att volymen på lastbilsekipaget kan minska eller öka upp till 4,3 - 6,5% beroende på om de olika förarna har lastat ”hårt” eller ”snällt”. Ett fordonsekipage är ett samlingsnamn för fordon, kran och släp. När lastbilsekipaget har lastats med ”hårt” lastningsförfarande har föraren pressat travarna med nästa knippe från kranen innan den släpper taget om stockarna i knippet och på så sätt lastat mer volym än vid ”snällt” lastningsförfarande.

I Lööfs (2015) studie gjordes en undersökning huruvida införandet av 74-tons ekipage påverkar andel timmer – och massavedstransporter som transporteras med tåg, samt hur det påverkar totala transportkostnaden och utsläppen av koldioxid. För att han skulle kunna besvara studiens syfte skapade han tre olika scenarion att undersöka:

1) Hur skulle införandet av 74 tons lastbilar påverka andelen transporter som sker med tåg?
2) Kan införandet av 74 tons lastbilar ge lägre transportkostnader för ett kombinerat tåg- och lastbilssystem än det befintliga systemet med tåg och 60 tons lastbilar?
3) Kan införandet av 74 tons lastbilar ge lägre koldioxidutsläpp för ett kombinerat tåg- och lastbilssystem än det befintliga systemet med tåg och 60 tons lastbilar?

Slutsats från Lööfs (2015) studie, för scenario nr 1 var att under optimala förhållanden skulle införandet av 74 tons lastbilar reducera andelen tågtransporter med 2,6 %. Slutsatsen från scenario nr 2 var att transportkostnaderna skulle reduceras med 10 % om kombinationen av 60 och 74 tons lastbilar samt tåg används. Den tredje slutsatsen från scenario nr 3 var att koldioxidutsläppen skulle sjunka med 6,6 - 7,3 % om 74-tonslastbilar nyttjas istället för de traditionella 60 tons lastbilarna. Ett optimeringsverktyg (FlowOpt) användes för att optimera transporterna i studien (Lööfs 2015. Skogforsk, 2005). Verktyget är framtaget av Skogforsk och är ett planeringsverktyg som optimerar flödesplaneringen för rundvirkestransporter genom linjärprogrammering (Rönnqvist, Forsberg & Frisk, 2005).

Resultaten som faller ut av verktyget, agerar som beslutstöd för skogsbolag som vill hitta de minst kostsamma lösningarna och effektivaste rutterna för transporterna i det aktuella området (Rönnqvist, et al., 2005). Dock kan resultatet ge en missvisande bild då lastfyllnadsgraden antas vara 100 % vid varje transportsträcka. Vilket passar 60-tons ekipagen bättre än 74-tons ekipagen. Därför kan den tänkta 13 procentiga transportkostnadsminskningen för 74-tonsekipagen möjligen vara en överskattning (Lööfs, 2015).

## 1.3 Syfte

Projektets syfte primärt var att jämföra två olika lastningstekniker utifrån tids- och lastviktsskillnader under lastningsmomentet, av ett 74-tons lastbilsekipage. Genom att studera förarnas vanliga lastningsteknik och vid användande av en lastningsteknik som potentiellt medger ökad lastfyllnadgrad. Ett sekundärt syfte var att ta fram/påvisa vilka transportavstånd, mellan avlägg och mottagande industri, där det är lönsamt att nyttja den lastningsteknik som uppnår högre lastfyllnadsgrad.

## 1.4 Frågeställningar

- Påverkas lastningstiden om avståndet mellan virkestraven och lastbilsekipaget varierar mellan 1–4 m?
- Hur påverkas lastvikten av virkets råvolymvikt?

## 1.5 Begränsningar

Lastbilsekipaget studerades enbart kring de vägnät som är klassat för att tolerera slitaget dessa fordon medför. Datainformationen som insamlades valdes att enbart behandla barrmassavedsortimentet, då övriga sortiment skulle kräva mer tid att samla in och analysera än vad studien hade till förfogande. Antalet förare begränsades till två stycken, då lastbilsekipaget som studerades enbart kördes under två-skift. Med ”två-skift” menas att lastbilsekipaget nyttjas 16 h av dygnet, fördelat på två stycken 8 timmars pass per förare.

# 2 Material och metoder

## 2.1 Om tidsstudier

Tidsstudier är en form av arbetsstudier som lämpar sig väl till att analysera och fastställa hur ett arbete utförs. Tidsstudier genomförs ofta av en tidsstudieman som antingen via videoupptagning eller direkt tidmätning mäter ett repetitivt rutinarbete. Enligt Bergstrand (1991) finns det två typer av tidsstudier som kan genomföras på två olika sätt, antingen som en jämförande tidsstudie eller som en sambandsstudie. Jämförande tidsstudier har för avsikt att jämföra olika system och sambandsstudier syftar till att jämföra prestation med olika påverkande faktorer (Bergstrand, 1991).

## 2.2 Studiedesign

Studien genomfördes i följande delsteg:

- Innan datainsamlingen genomfördes, undersöktes först vilken typ av tidsstudie som skulle användas. Då frågeställningarna (se 1.5) och syftet (se 1.4) med tidsstudien innehåller faktorer som möjligtvis kan påverka lastfyllnadsgraden, så genomfördes tidsstudien som en sambandsstudie.
- Lastbilsekipaget som nyttjades och hur många förare som skulle ingå i studien, undersöktes och fastställdes. Därefter insamlades datainformationen under två veckor fortlöpande med fordonet, för att samla in tillräcklig mängd information och säkerställa ett omfattande analysunderlag.

- Lastbilsekipaget lastades enbart med massavedssortiment under tvåskift där genomsnittet blev 2 stycken lass per dag. Hälften insamlades med vanlig lastningsteknik och hälften med noggrann lastningsteknik. Vilket genererade totalt 22 stycken observationer fördelat på två förare.
- Slutligen analyserades den insamlade informationen från mätkvitton och tidsstudierna med hjälp av analysprogrammen Excel, Minitab och SAS.

## 2.3 Förutsättningar

Lastbilsekipaget som studerades, ägs av Södra skogsägarna ekonomisk förening. Förare 1 och Förare 2, chaufförerna av lastbilsekipaget, är båda anställda av Södra skogsägarna. De har i 12 respektive 14 år arbetat som lastbilschaufförer och är väldigt erfarna. Förarna lastade totalt 1033 ton barrmassaved av trädslagen tall (Pinus sylvestris) och gran (Picea abies). Diameter fördelning, vedens färskhet och krokighet analyserades inte då studien behandlade lastningstekniken, lastningstiden och lastvikten i huvudsak. Enligt Bergstrand (1991) är det viktigt att försöka använda så konstanta faktorer som möjligt på de faktorer som går att påverka för att säkra kvalitén på studien. Då exempelvis välja lämpligt virke, enbart färskt virke, likartade virkesvältor etc. Nackdelen med att genomföra studien i en mer laboratorie-liknande miljö är att resultaten riskerar att inte speglar verkligheten men fördelen är att studien enklare kan genomföras upprepade gånger med likvärdiga resultat (Berggren, 2018; Nilsson, 2013).

## 2.4 Försökslokal

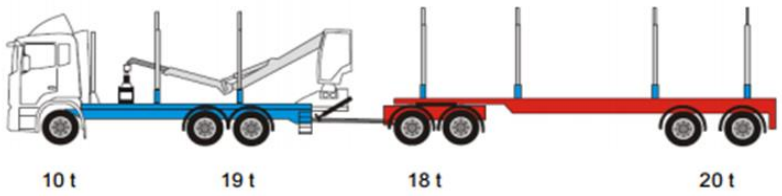
Datainformationen insamlades i de södra delarna av Sverige, då främst i Småland kring orten Lenhovda, där lastbilsekipaget hade sin utgångspunkt. Sträckan som lastbilen transporterar virket är mellan avlägg i skogen och mottagande industri. Denna sträcka inkluderar de mellanstopp som lastbilsekipaget behöver göra för att uppnå maximal lastvikt, om inte virket på första avlägget räcker till.

Figur 1. Det markerade området representerar lastbilens uppdragsområde.
Figure 1. The marked area represents the truck's mission area.

## 2.5 Beskrivning av lastbilsekipaget

Lastbilen är av modellen Volvo FH16 750 8x4*4 och har två drivande axlar av fyra. Fordonet har en 16-liters dieselmotor med 750 hästkrafter och drivs till 100 % av RME-drivmedel (Rapsmetylester) som är baserat på rapsolja. Lastbilsekipaget väger 22 ton och har en lastkapacitet på 52 ton. Detta innebär att den totala bruttovikten uppgår till 74 ton. Den har en fast monterad kran av fabrikatet Zeta. Figurerna 2 och 3 förtydligar skillnader i utseende och axeltryckfördelning mellan 74-tons- och de konventionella 64-tons lastbilsekipagen som används idag.

Denna typ av lastbilsekipage (figur 2) kan lasta upp till 67 ton, vilket är den maximala bruttovikten enligt trafikförordningens fjärde kapitlet, paragraf 12 (Trafikförordningen 2017). Dock är bruttovikten begränsad till 64 ton, av bilaga 1 i trafikförordningen.




Figur 2. Exempel på maximal axeltryckfördelning för ett konventionellt timmerlastbilsekipage. © Skogforsk 2015.
Figure 2. Example of maximum axial pressure distribution for a conventional timber vehicle. © Skogforsk 2015.

Lastbilsekipaget i figur 3 visar hur fordonet som användes i studien ser ut. Lägg märke till den extra axel som monterats bak på både lastbil och släp. Med dessa axlar monterade kan lastbilsekipaget lastas till maximal bruttovikt, utan att överskrida axel- eller axelgruppsbelastningar, enligt Trafikförordningen (2017). ST-fordonen kan dessutom frakta större travar genom att lastgolvet ofta är sänkt, vilket gör att det effektivare går att utnyttja den maximala fordonshöjden. (von Hofsten & Funck, 2015).

Figur 3. Exempel på maximal axeltrycksfördelning för denna studies lastbilsekipage. © Skogforsk 2015.
*Figure 3. Example of maximum axle pressure distribution for this studies vehicle. © Skogforsk 2015.*

## 2.6 Arbetsmomentbeskrivning av lastnings- och transportarbetet

Beskrivningen i följande stycke, förklarar lastningsteknikerna som studien behandlade. Totalt 10 stycken av lastningar av ekipaget skedde genom att låta föraren lasta mer noggrant för att maximera lastvikten (Noggrann lastingsteknik) medan 12 stycken skedde enligt vanlig praxis utan att någon instruktion gavs till föraren (Vanlig lastningsteknik). Det genererades totalt 22 stycken observationer. Vid ”Noggrann lastingsteknik” gavs instruktioner till föraren, innan lastningsmomentets start, att noggrant lasta lastbilsekipaget med tillåtelse att nyttja maximalt 15 min längre lastningstid än vid ”Vanlig lastningsteknik”, enligt nedanstående metodik:

- Välj lämpliga stockar under lastningen för att minimera tomrum på flak och lastbil.
- Justera stockarna med kranens grip så att de vänds korrekt för att minimera tomrum på lasset.
- Undvik att lägga krokiga stockar längst ner i traven för att minimera tomrum på lasset.
- Rensa ordentligt undan kvistrester, sten, mossa och eventuell snö från stockarna vid avlägget innan lastning på släp och lastbil.

### 2.6.1 Beskrivning av tidsstudien, samt de varierande och konstanta faktorerna

Tidtagningen under tidsstudien startade när föraren lyfte kranen från stativet/stuven och stoppades när den fälls in igen i stativet/läggs ned på lasten efter att lastbilsekipaget blivit fullastat. En ”stuv” är en av virkestravarna som lastats på ett lastbilsekipage. Normalt är lastbilen lastad med en stuv och släpet är lastat med 2 stuvar.

- **Faktorer som konstanthållits under tidsstudien**: Uppställning av fordonet, handbromsen åtdragen/släppt, lastsäkring och in/ut ur hytt antas vara likartat mellan lastningsteknikerna och därför åtskiljs från lastingsmomentet.
- **Faktorer som varierat under tidsstudien**: Då fordonet har stannat vid avlägget har avståndet till virkestraven varierat mellan 1–4 meter.

## 2.7 Analyser

I nedanstående stycken beskrivs de statistiska analyser som ansågs lämpliga för datamaterialet, samt de kostnadsanalyser som genomfördes under studien. Vissa skillnader mellan förarna har noterats men inte närmare analyserats då förarskillnader inte var studiens syfte (se 1.4). Datainformationen som insamlades med de olika förarna och lastningsteknikerna, vägdes ihop och analyserades (Se 2.7.1 & 2.7.2) som ett dataunderlag för att utöka datamängden och ge ett så omfattande underlag som möjligt. För att det statistisk ska vara genomförbart att sammanslå två dataunderlag behöver dataunderlaget vara normalfördelat. För att undersöka om samman-

vägningen kunde genomföras, användes analysprogrammet SAS (Statistical Analysis Software) med verktyget ”Unvariate”. Verktyget används för att studera ett datasets utseende, med avseende på bl.a. normalfördelning .
Om underlaget visar sig vara normalfördelat, kan dataunderlaget ses som komplementärt och kan då med fördel slås ihop (Samuels, Witmer & Schaffner, 2014). Resultatet från testet indikerar att dataunderlaget för lastvikt (Bilaga 1 & 2) och lastningstid (Bilaga 3 & 4) är båda normalfördelade.

### 2.7.1 Statistiska analyser

Två-sidigt t-test är en hypotesprövning där man kan jämföra om det finns en skillnad i normalfördelad datainformation. Testet lämpar sig väl som metod för att göra uttalanden om oberoende slumpmässiga variabler. I denna studie är lastvikt och lastningstid de oberoende variablerna som analyserades med två separata test. För att undersöka om det finns en skillnad i lastvikt och lastningstid mellan lastningsteknikerna, skapades två hypoteser:

**H0-1**: Det finns ingen skillnad i lastvikt mellan lastningsteknikerna
**H1**: Det finns en skillnad i lastvikt mellan lastningsteknikerna
**H0-2**: Det finns ingen skillnad i lastningstid mellan lastningsteknikerna.
**H2**: Det finns en skillnad i lastningstid mellan lastningsteknikerna

Då t-testen gjordes på den aktuella studiens datamaterial och resultatet kommer spegla utfall som om studien gjordes på samma sätt upprepade gånger, kan det vara missvisande att dra generella slutsatser då en mindre datamängd studeras. Då testet ska analysera om det finns en skillnad i lastvikt och lastningstid mellan lastningsteknikerna måste en osäkerhet i datamaterialet beaktas. Denna osäkerhet bedöms utifrån signifikansnivå och den betecknas med symbolen $\alpha$ (alfa). Då datainformationen är begränsad för denna studie kan signifikansnivån inte sättas lägre än till $\alpha = 0.05$. Vilket betyder att om p-värdet blir >0,05, är sannolikheten att felaktigt förkasta nollhypotesen större än 5 gånger av 100, om testet gjordes 100 gånger. För denna studie skulle det innebära i teorin att, om p-värdet är större än 0,05, 5 gånger av 100 kommer det finnas en statistiskt signifikant skillnad mellan lastningsteknikerna. Mer detaljerad information om t-tester hänvisas till i en publikation av Samuels,Witmer och Schaffner (2014).

Regressionsanalyser förklarar sambandet mellan olika variabler. I denna studie undersöks sambandet om ökad råvolymvikt (oberoende variabel) ger ökad lastvikt (beroende variabel). Den beroende variabeln antas påverkas av den oberoende variabeln. Sambandet mellan ökat lastningsavstånd (oberoende variabel), och ökad lastningstid (beroende variabel) analyserades också med regressionsanalys. Även p-värdet i regressionsanalyser, kan förklara om det finns samband mellan variablerna som analyseras. Men utöver p-värdet kan också r2-värdet ge en indikation på om det finns ett samband. R2-värdet beskrivs som andelen variation förklarad i den beroende variabeln och anges i skalan 0–1. Dock går det inte att utesluta andra variablers påverkan på de två variabler som analyseras i denna analys. Men är r2-värdet mellan 0,5–1 finns det mest troligt ett samband mellan variablerna. Mer om regressionsanalyser beskrivs i publikationen av Samuels, Witmer och Schaffner (2014).

Samtliga analyserna genomfördes utifrån värden i mätkvittot från Biometria, datamaterialet från tidsstudierna, samt tekniska specifikationer från Södra skogsägarna och Skogforsk. Biometria är en opartisk ekonomisk virkesmätningsförening som har till ändamål att främja medlemmarnas ekonomiska intressen. Exempelvis angavs råvolymvikten i analyserna utifrån uppgifter från mätkvittot. Uppgiften uppskattas av Biometria genom att lastbilsekipaget vägs in och mätas vid mätbryggan, lossas inne i anslutning till industrin och vägs ytterligare en gång när den åker ut från området där virket lossats. Därigenom räknas råvolymvikten utifrån ekvation 1 (Ekvation 1, Bilaga 12 & 13).

$$Råvolymvikt = (Inmätt\ volym)/(Bruttovikt - Taravikt) \qquad (1.)$$

Transportavståndet, för varje rutt och avlägg, som kördes under studien erhölls från virkesordern. Detta avstånd är optimerat utefter kortast möjliga rutt mellan avlägg och industrin genom ett beslutsstödsprogram. Programmet, ”Krönt Vägval”, är implementerat i lastbilen som användes under studien och är framtaget av Skogforsk. Krönt vägval är ett program som planerar transportsträckor för lastbilen, utifrån ett vägnät som omfattar ca 560 000 km väg. Samtliga vägar är fördelade på statliga, kommunala och enskilda vägar där ca 200 000 km av dessa är skogsbilvägar. Krönt vägval använder en kopia av trafikverkets nationella vägdatabas (NVDB), som heter skoglig nationell vägdatabas (SNVDB), med ett tillägg ”rekommenderad led” framtagen av Skogforsk i samarbete med SDC. SNVDB uppdateras varje vardag för att hela tiden vara uppdaterad om nyligen tillagda vägar.
När programmet används, anges start och slutpunkt för rutten och finns det ytterligare punkter/stopp efter vägen kan även detta anges. Därefter tar Krönt vägval fram

de rutter som är aktuella utifrån vilket vägmotstånd de har, dessa kallas för facitrutter. Facitrutter är något som beskriver hur man för en given transport brukar köra och används för skapandet av egenskaper till motståndsvärden. Dessa facitrutter är framtagna av branschen och tillsammans med vägdata och avancerad matematik tas motståndsinställningarna fram. Då varje delsträcka får ett motstånd beräknar programmet ut vilken sträcka som tar lastbilen snabbt och effektivt fram. Det faller sig ganska självklart att stora vägar med hög standard ger lågt motstånd och mindre gator och lägre standard ger högt motstånd. Beräkningarna av alternativa rutter i Krönt vägval ger inte nödvändigtvis den kortaste vägen som bästa alternativ (SDC, 2017). De flesta bolag använder sig av detta beslutsstödsprogram som är kopplat till Biometrias virkesmätningssystem.

### 2.7.2 Kostnadsanalyser

FLIS är ett beslutstödsverktyg, anpassat för Microsoft Excel, av Skogforsk (Hofsten et al. 2005). FLIS användes under studien till att analysera transportkostnaderna och effekterna av de två olika lastningsteknikerna för lastbilsekipaget. FLIS är framtaget ursprungligen för skogsbränsletransporter men fungerar, enligt Henrik, även tillfredställande för de virkestransporter som denna studie analyserar (von Hofsten 2017, pers. komm.). Studiens- och Södra skogsägarnas datamaterial (Bilaga 5,12 & 13) användes som underlag i FLIS. Följande stycken beskriver de formler och variabler FLIS använder för att beräkna transportkostnaden kr/ton vid ett givet avstånd (WTKT). Värden presenterade inom parenteser i kommande tabeller (Tabell 4 - 8) är kostnader och prestationer, som visar resultatet när noggrann lastningsteknik analyserades. Symbolen ”X” står för kostnaden för respektive variabel medan symbolen ”W” valdes för att benämna varje funktions totala kostnad.

De fasta kostnaderna för lastbilsekipaget, år 2017, var 814 320 kr. Investeringskostnad, fast kostnad och avskrivningstid är information som angavs i FLIS enligt Södra skogsägarnas underlag (Bilaga 5). Kalkylränta, restvärde, skatt, försäkring, övriga fasta kostnader, amorteringsfaktor och kapitalkostnad var subjektivt angivna för att ge ”Fast kostnad” (WFK) korrekt värde (Ekvation 2):

$$W_{FK} = \left(\left(\frac{X_K}{100}\right) \times X_R\right) + \left(X_{AF} \times (X_{KK} - X_R)\right) + X_S + X_F + X_{ÖFK} \qquad (2.)$$

Tabell 1. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”fast maskinkostnad, kr/år”
*Table 1. Specified values for variables included in the function "fixed machine cost, SEK / year"*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $X_I$ | Investering, kr | 4 000 000 |
| $X_A$ | Avskrivningstid, år | 5 |
| $X_K$ | Kalkylränta, % | 2,7 |
| $X_R$ | Restvärde, kr | 980 000 |
| $X_S$ | Skatt, kr/år | 40 000 |
| $X_F$ | Försäkring, kr/år | 65 100 |
| $X_{ÖFK}$ | Övriga fasta kostnader, kr/år | 28 967 |
| $X_{AF}$ | Amorteringsfaktor | 0,2164876 |
| $X_{KK}$ | Kapitalkostnad, kr/år | 680 253 |
| $W_{FK}$ | Fast kostnad, kr/år | 814 320 |

Maskinutnyttjandet var totalt 3816 U-timmar (WUH) (Tabell 2), år 2017, och är fördelat på två förare. Med ”u-timme” menas totala antalet timmar som åtgår för utförandet av en arbetsuppgift (Eliasson, 2014). Då förarna körde lastbilsekipaget under två-skift, alltså 8 timmar vardera per dag, och lastbilsekipaget nyttjades 3816 timmar (WUH) år 2017 (Bilaga 5). Därefter dividerades totala antalet nyttjade timmar med 16, vilket ger att 238,5 dagar per år nyttjas lastbilsekipaget. För att antalet nyttjade U-timmar per år (WUH) skulle stämma, utifrån de uppgifter som Södra skogsägarna bistod med, angavs dessa värden manuellt (Ekvation 3 & Bilaga 5).

$$W_{UH} = X_{MD} \times X_{AS} \times X_{US} \tag{3.}$$

Tabell 2. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”*U-timmar per år*”
*Table 2. Specified values for variables included in the function "U-hours per year"*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $X_{MD}$ | Maskindagar per år | 238,5 |
| $X_{AS}$ | Antal skift | 2 |
| $X_{US}$ | U-timmar/skift | 8 |
| $W_{UH}$ | U-timmar per år | 3816 |

Personalkostnaderna var totalt, under år 2017, 1 263 333 kr (WTPK) (Bilaga 5). Denna uppgift dividerades med två, då två förare nyttjar lastbilsekipaget, viket ger en kostnad på 631 666,5kr/person/år (XPK) (Ekvation 4 & Tabell 3).

$$W_{TPK} = X_{AS} \times X_{PK} \tag{4.}$$

Tabell 3. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”*personalkostnad, kr/år*”
*Table 3. Specified values for variables included in the function "personnel cost, SEK / year"*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $X_{AS}$ | Antal maskinskift | 2 |
| $X_{PK}$ | Personalkostnad/pers. & år | 631 667 |
| $W_{TPK}$ | Total personalkostnad, kr/år | 1 263 333 |

Lastbilsekipaget har kostnader som reparationer, service och förbrukningsmaterial. Vilket i FLIS benämns som ”*Rep, Underhåll inkl. förbruknings mtrl*” (XRUF). Detta värde är en av många faktorer som beskriver de rörliga kostnaderna för lastbilsekipaget och benämns i FLIS som ”*Driftskostnad, kr/år*” (WDK) (Tabell 4). Värden för ” *Rep, Underhåll inkl. förbruknings mtrl*.” (XRUF) var det enda värdet som Södra skogsägarna bistod med i denna del av kalkylen. Resterande värden lämnades i som default (Tabell 4). De övriga värdena har rimligtvis ingen betydelse för resultatet då det angavs med samma värde för de båda lastningsteknikerna när analyserna genomfördes, vilket även bekräftades i samråd med Henrik von Hofsten (von Hofsten 2017, pers. komm.). Kostnaden för ”*Rep, Underhåll inkl. förbruknings mtrl*.” var enligt Södra skogsägarnas uppgifter 335 227kr (XRUF) (Bilaga 5) och sammanlagt med övriga kostnader (Tabell 4) blev då driftskostnaden 1 689 433kr/år (WDK) (Ekvation 5). Det slutgiltiga värdet från denna del av kalkylen, ”*Driftskostnad, kr/år*” (WDK), påverkar vad transportkostnaden per timme kommer kosta, vilket senare beskrivs av ekvation 6.

$$W_{DK} = (X_{BK} + X_{OK} + X_{RUF} + X_{Ö}) \tag{5.}$$

Tabell 4. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”*driftskostnad, kr/år*”
*Table 4. Specified values for variables included in the function "operating cost, SEK / year*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $X_{BK}$ | Bränslekostnad, kr/år | 1 250 982 |
| $X_{OK}$ | Oljekostnad, kr/år | 5 724 |
| $X_{RUF}$ | Rep, Underhåll inkl. förbruknings mtrl., kr/år | 335 227 |
| $X_{Ö}$ | Övrigt, kr/år | 97 500 |
| $W_{DK}$ | Driftskostnad, kr/år | 1 689 433 |

Denna del av kalkylen beskriver teoretiskt vad lastbilsekipaget kostade per timme att köra (WTKH). Totala driftskostnaden, personalkostnaden och fasta maskinkostnaden dividerat med antalet u-timmar ger kostnaden 987 kr/U-tim (WTKH), år 2017 (Tabell 5 & Ekvation 6).

$$W_{TKH} = (W_{FK} + W_{PK} + W_{DK}) / W_{UH} \quad (6.)$$

Tabell 5. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”*total kostnad, kr/U-tim*”
*Table 5. Specified values for variables included in the function "total cost, SEK / U-hour"*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $W_{UH}$ | U-timmar per år, h | 3816 |
| $W_{FK}$ | Fasta maskinkostnader, kr/år | 814 320 |
| $W_{PK}$ | Personalkostnader, kr/år | 1 263 333 |
| $W_{DK}$ | Driftskostnader, kr/år | 1 689 433 |
| $W_{TKH}$ | Total kostnad kr/U-tim | 987 |

I detta skede av kalkylen beräknas hur många ton (T) virke, lastbilsekipaget transporterar per timme (WPH) (Ekvation 7). Tabell 6 visar medelvärden framtagna genom det insamlade datamaterialet för respektive lastningsteknik (Bilaga 4 & 5). De tidigare stegen i kalkylen angavs värdena likvärdigt (se tabell 1–5) för respektive lastningsteknik. Däremot angavs värden för lastningstid (XLAT) och lastkapacitet (XLK) olika i ekvation 7, då dessa varierade mellan lastningsteknikerna (Tabell 7 & Ekvation 7). Detta för att senare i kalkylen kunna jämföra kostnad per ton (WTKT) mellan lastningsteknikerna. Viktigt att notera i denna del av kalkylen är att lastningstid (XLAT) avrundas till närmaste heltal, vilket i detta exempel blir 35 min istället för 34,58 min (Tabell 7 & Ekvation 7). Då resultatet inte påverkas mer än 1,4% av denna osäkerhet,

Tabell 6. Tabellen visar medelvärden framtagna utifrån tidsstudien
*Table 6. The table shows mean values obtained from the time study*

| Variabel | Medelvärde |
|---|---|
| Noggrann lastningsteknik (min) | 46,18 |
| Vanlig lastningsteknik (min) | 34,58 |
| Lastvikt Noggrann lastningsteknik (ton) | 47,46 |
| Lastvikt Vanlig lastningsteknik (ton) | 46,56 |

$$W_{PH} = X_{LK} / \left( \left( \frac{X_{LAT} + X_{LOT}}{60} \right) + \left( \left( \frac{2 * X_{EV}}{X_{KH}} \right) \right) \right) \quad (7.)$$

Tabell 7. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”*prestation, T/U-timme*”
*Table 7. Specified values for variables included in the function "performance, T/U-hour"*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $X_{LAT}$ | Lastningstid | 34,58(46,18) |
| $X_{LOT}$ | Lossningstid | 10 |
| $X_{KH}$ | Körhastighet, km/h | 60 |
| $X_{EV}$ | Enkel väg, km | 10 |
| $X_{VT}$ | Vändatid, U-Timme | 1,0833(1,2666) |
| $X_{UH}$ | U-timmar per år, h | 3816 |
| $X_{LK}$ | Lastkapacitet, T | 46,56(47,46) |
| $W_{PH}$ | Prestation, T / U-timme | 42,978(37,468) |

Den sista delen i kalkylen beskrivs av ekvation 8. Ekvationen beräknar hur mycket varje ton kostar att transportera 10km (Tabell 8). När alla värden är ifyllda, kan kostnadsanalysen genomföras. FLIS har en automatiserad funktion som analyserar totalkostnaden utifrån att en specifik variabel förändras. I detta fall ökades transportavstånden från 10 km till 240 km enkel väg i steg om 10 km. Varje delresultat skrivs ut i en tabell och plottas i ett diagram (Figur 6).

$$W_{TKT} = W_{TKH} / W_{PH} \tag{8.}$$

Tabell 8. Angivna värden för variabler som ingår i funktionen ”*totalt kr/T”* vid 10 km transportavstånd
*Table 8. Specified values for variables included in the function "total SEK / T” at 10km distance*

| Variabel | Förklaring | Värden |
|---|---|---|
| $W_{TKH}$ | Total kostnad, kr/U-tim | 987(991) |
| $W_{PH}$ | Prestation, T/U-tim | 42,978(37,468) |
| $W_{TKT}$ | Totalt, kr/T | 22,969(26,347) |

När kostnaden per ton för avstånden 30 – 240 är kalkylerade av FLIS, skapades ett linjediagram (Figur 6) med tillhörande ekvationer (Ekvation 9 & 10) för respektive lastningsteknik utifrån räta linjens ekvation och underlaget från FLIS (Bilaga 11).

Vanlig lastningsteknik: $f(x)=0{,}7067x+15{,}902$ (9.)

Noggrann lastningsteknik: $f(x)=0{,}6933x+19{,}414$ (10.)

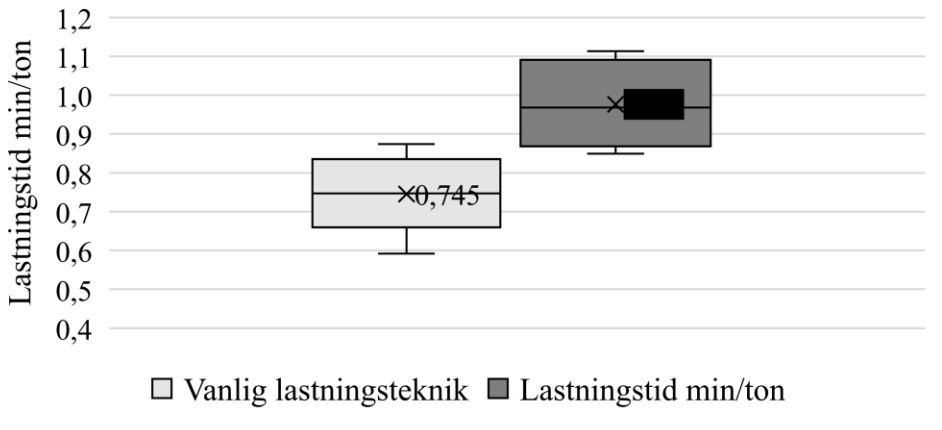
# 3 Resultat

Medeltransportavståndet för lastbilsekipaget under studien var 96 km och beräknades fram genom det insamlade dataunderlaget (Bilaga 12 & 13).

## 3.1 Tidsåtgång för respektive lastningsteknik

Ett tvåsidigt t-test genomfördes med lastningstid för vanlig- respektive noggrann lastningsteknik som gav p-värdet: <0,0001, t-värdet: -5,57 och frihetsgraderna: 20. Resultatet visar på en signifikant skillnad i lastningstid mellan lastningsteknikerna (Bilaga 8 & 9) och p-värdet indikerar att den alternativa hypotesen ”***$H_2$:*** *Det finns ingen skillnad i lastningstid mellan lastningsteknikerna.”* kan förkastas (se 2.7.1.)

Låddiagrammet (Figur 4) är baserad på tiden det tog att lasta dividerat med antalet ton för varje insamlingsmoment och lastningsteknik. Medelvärdet för vanlig lastningsteknik var 0,745 min/ton och 0,976 min/ton med noggrann lastningsteknik vilket visar på att noggrann lastningsteknik tar längre tid att nyttja gentemot vanlig lastningsteknik.




Figur 4. Låddiagram som visar skillnaden i minut per ton mellan de olika lastningsteknikerna.
*Figure 4. Box plot showing the difference per minute between the various loading techniques.*

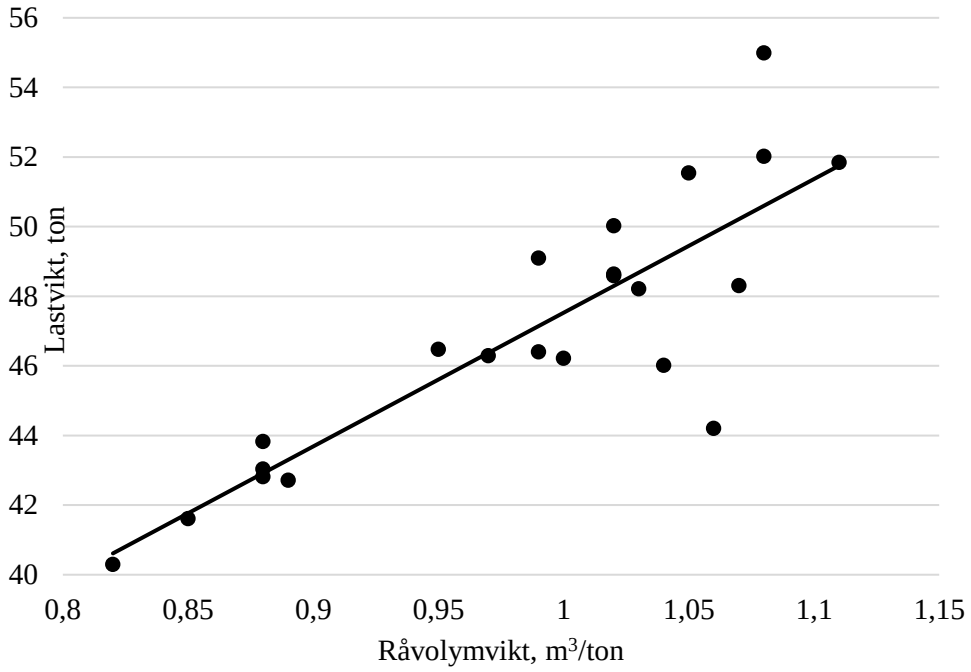
## 3.2 Lastviktskillnader mellan lastningsteknikerna

Medelvikten för vanlig lastningsteknik visade sig vara 46,56 ton och med noggrann lastningsteknik 47,46 ton. Medellastfyllnadsgraden för vanlig lastningsteknik visade sig vara 94 procent och med noggrann lastningsteknik 96 procent (Bilaga 12 & 13).
Medelvärdet i tid när noggrann lastningsteknik användes, visade sig vara 11 min och 35 s längre än med vanlig lastningsteknik. (Bilaga 12 & 13).
Ett tvåsidigt t-test genomfördes med lastviktinformationen från vanlig lastningsteknik och noggrann lastningsteknik, som gav p-värdet: <0,596, t-värdet: 0,54 och frihetsgraderna: 20. Resultatet visar inte på någon signifikant skillnad i lastvikt mellan lastningsteknikerna och alternativ hypotesen kan inte förkastas (se 2.7.1)

## 3.3 Påverkan av lastningsavstånd och råvolymvikt.

En regressionsanalys gjordes för att undersöka sambandet mellan lastningstid och lastningsavståndsintervallet 1,5 – 3,9 m. Analysen gav p-värdet: <0,762, ett r2-värdet: 39 % och 21 frihetsgrader, vilket indikerar att spridningen i datainformationen är så hög, att mönster eller samband inte går att finna, mellan lastningstid och lastningsavstånd. Resultatet indikerar att nollhypotesen inte kan förkastas och bekräftar att lastningsavstånden som förekom i studien inte gav någon effekt på lastningstiden.
En regressionsanalys gjordes även för att undersöka sambandet mellan råvolymvikt och lastvikt. Analysen gav p-värdet: <0,0001, r2-värdet: 72,8 % och 21 frihetsgrader, vilket visar på ett signifikant samband mellan råvolymvikt och lastvikt (Bilaga 10).

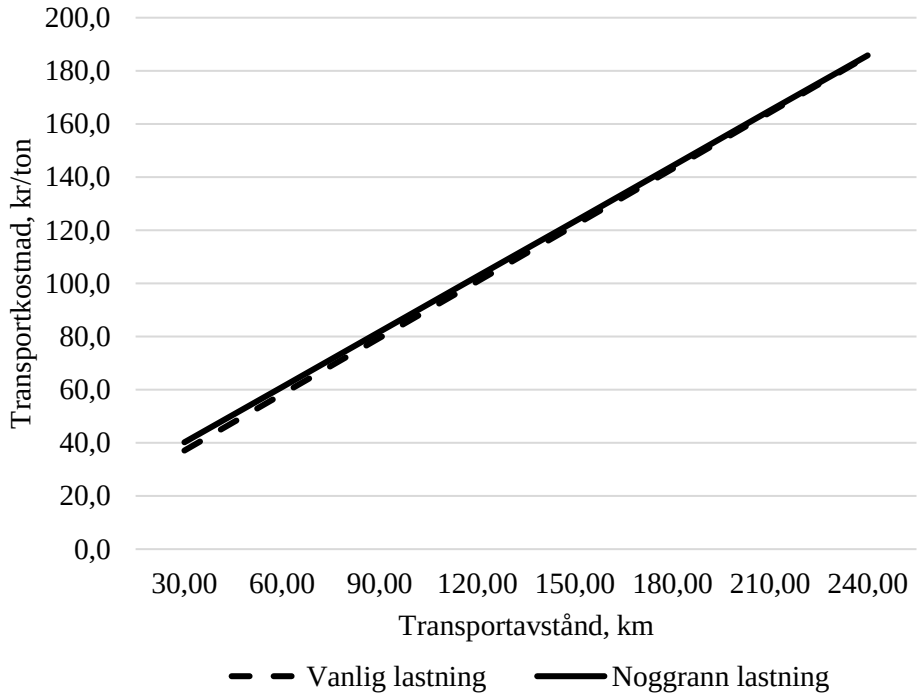
Punktdiagrammets (Figur 5) regressionslinje visar på en stark positiv korrelation mellan lastvikt och råvolymvikt.




Figur 5. Punktdiagram som visar förhållandet mellan lastvikt och råvolymvikt.
*Figure 5. A scatterplot showing the relation between load weight and raw unit weight.*

## 3.4 Kostnadsanalyser

Linjediagrammet visar hur transportkostnaden för respektive lastningsteknik, ökar med ökat transportavstånd (Figur 6). När transportavstånden varierar mellan 30 – 240 km är det kostnadseffektivt att nyttja vanlig lastningsteknik (Bilaga 11).




Figur 6. Linjediagram som visar kostnaden i kronor per ton och transportavstånd med noggrann- och vanlig lastningsteknik.
*Figure 6. Lines chart showing the costs per ton and transport distance with accurate and regular loading technique*

# 4 Diskussion

## 4.1 Granskning av material och metod

Möjligheten att samla in ett omfattande datamaterial, var begränsat i detta examensarbete.

Felkällor begränsades i möjligaste mån under studien genom att endast studera ett lastbilsekipage med sina två reguljära förare. Då kan man begränsa antalet studerade lass men ändå ge en rimlig statistisk säkerhet, dock kan studiens resultat inte generaliseras att gälla för andra situationer än den studerade. Men kunskapen från denna studie, kan istället vara värdefull i fråga om att komplettera andra indikativa studier.

Anledningen till att skillnaderna i lastvikt, mellan lastningsteknikerna, inte var så omfattande kan rimligtvis ha påverkats av olika orsaker.

- Den muntliga instruktionen, angående hur lastningen skulle utföras, kan ha varit svårtydlig och tolkats olika mellan chaufförerna. Dessutom gavs inte instruktionen till båda chaufförerna samtidigt vilket kan ha lett till olika ordval, ordföljd etcetera vid de olika tillfällena.
- Lastningstekniken skiljer sig sannolikt mellan förarna, exempelvis på grund av olika lång arbetslivserfarenhet av lastning. Det kan inte uteslutas att förarna redan lastade noggrant och därför ger inte ytterligare noggrannhet någon större förbättring.
- Det gjordes ingen bedömning av svårigheten med att lasta virket vid respektive trave. Erfarenhetsmässigt är det stor skillnad mellan hur väl upplagt virket är i traven vid avlägget. Att lasta ett lastbilsekipage väl med minimalt tomrum från en illa lagd virkestrave, är en betydligt större utmaning än om virket i virkestraven ligger jämnt och rakt i förhållande till lastplatsen. Då förarna var väl medvetna om att studien pågick kan de ha valt virkestravar utifrån detta. Vilket exempelvis kan ha påverkat tiden som krävs för att uppnå maximal lastvikt.

Skogsmiljön varierar med exempelvis årstid och terrängförhållanden och gör därför tidsstudierna mer komplicerade att genomföra, jämfört med tidsstudier som genomförs i industriella miljöer. Skogsmiljön har varierande faktorer, vilka Bergstrand kallar för ”brus”, och det kan ge studien felaktiga resultat (Bergstrand, 1991). I denna studie minimeras bruset via att studera förare som är erfarenhetsmässigt lika skickliga, med samma fordon under samma period som dessutom jobbar under likartade förhållande (Nurminen & Heinonen, 2007).

När tidsstudien genomfördes kunde de faktorer (se 2.6.1), utan svårighet hållas konstanta och lastningsavståndet varierade som förutspått mellan 1 - 4 m. Önskvärt vore om fler insamlingspunkter kring tre meters lastningsavstånd erhölls, då andra studier indikerar på att den större skillnaden i lastningstid sker mellan 3 - 4 meter (Berggren, 2018). Då ingen aktuell datainformation var tillgänglig gällande lastningsmomentet så erhölls underlaget för analyserna genom tidsstudien (se 2.6.1.). Som Nurminen & Heinonen (2007) beskriver, är egenhändigt insamlade tidsstudier ett tillvägagångsätt som ökar värdet på studier då det ger möjlighet att, i nära relation med lastbilsekipaget, övervaka lastningsmomentet samt diskutera med förare och representanter för skogsbolag.

## 4.2 Studiens resultat jämfört med liknande studier

Då nollhypotesen, H0: Det finns ingen skillnad i lastvikt mellan lastningsteknikerna (se 2.7), inte kunde förkastas kan kommande påståenden vara tvetydiga. Kostnadsanalysen beräknades utifrån medellastvikten och resultatet visade att vanlig lastningsteknik är billigare att använda transportkostnadsmässigt vid transportavstånds intervallet 30 – 240 km (Figur 6). Då lastbilstransporter står för 89 % av totala rundvirkestransporterna Sverige finns det stora möjligheter till kostnadsbesparingar inom denna sektor (Trafikanalys, 2016).

Det finns många studier om hur kostnadsbesparingar inom skogstransporter kan uppnås. I vissa studier har man angripit det genom att minska lastbilens taravikt, öka andelen retur-lass, serva lastbilsekipagen etc. (Sosa, Klvac, Coates, Kent & Devlin, 2015; Hamsley, A. Greene, D. Siry, J. Brooks, M., 2006; Shaffer, R. Stuart, W., 2009). Ett ”retur-lass” är exempelvis då lastbilsekipaget har lossats vid en mottagningsplats och kan i närheten lasta och transportera ett lass på tillbakavägen för att minimera transportsträckor utan last, s.k. tomkörningssträckor.

Dock finns det få studier som berör just lastningsteknik för att öka lastvikten på lastbilsekipagen. Men i Irland är det vanlig praxis att lasta stockarna på lasset med topparna mot ena sidan av lasset och rotdelen mot andra. Författarna hävdar att med en lastningsteknik där stockarna placeras mixat stubbände och toppände åt olika håll i stuvarna kan lastvikten ökas med 3 % (Gallagher, Mc Donald, Smidt & Tufts, 2004). Resultaten från denna studie (se 3.2) kan varken liknas med resultatet från studien av Gallagher m.fl. (2004) eller Jägbrant & Johansson (2017) som menar att lastvikten kan variera beroende på vilken teknik som används vid lastningen. Då t-testet (Bilaga 7) tyder på att det inte fanns någon skillnad i lastvikt kan inte studien bevisa att den ena tekniken är bättre än den andra, rent transportkostnadsmässigt. En annan orsak till att ingen skillnad fanns i lastvikt mellan lastningsteknikerna, kan rimligtvis vara hur bränslemängden varierat innan invägningen vid industrin. Dock hade lastbilsekipaget i studien en maximal bränslekapacitet på ca 400 l bränsle. Densiteten för RME-bränsle är 882kg/m3 (Svea energi, 2016) och bränslemängden understeg aldrig 200 l vid invägningen, det ger då en maximal lastviktsskillnad på ± 0,17 ton. Därför ansågs den varierande bränslemängden inte ha någon påverkan på lastvikten, varpå det ej togs någon hänsyn till detta i analyserna.

Regressionsanalysen som undersökte sambandet mellan lastvikt och råvolymvikt tydde på att om råvolymvikten i virket ökar, så ökar även lastvikten vilket även stämmer överens med resultatet från en studie av Johansson, Liss, Gullberg & Björheden (2006)
Sannolikt skulle förklaringsgraden vara högre om extremvärdena uteslöts från studien. Med extremvärden menas de mätvärden som antingen är väldigt höga eller väldigt låga. Orsaken till att extremvärdena avvek så tydligt kan vara att lastbilsekipaget lastades under- eller över maximal lastvikt (Figur 5). Att maximal lastvikt inte uppnås kan bero på att virket vid avlägget är begränsat eller att virket var ovanligt lätt med påföljd att den maximala lastkapaciteten inte utnyttjas.
Anledningen till att denna korrelation undersöktes var att virket vissa tider på året innehåller högre andel vatten enligt Hartigen (1874) och Wilhelmsson & Moberg (2004). Denna korrelation mellan lastvikt och virkets råvolymvikt förklarar en del av problematiken att uppnå maximal lastvikt med HCT-fordonen. Under perioderna på året då virket är lätt, så är det fordonshöjden, i störst utsträckning, som begränsar lastbilsekipagets potentiella lastkapacitet. Även om HCT-fordonen ofta har konstruerats med ett sänkt lastgolv för att utnyttja höjden, nås inte maximal lastvikt på grund av att virket är för lätt (se 2.3).
Virkets råvolymvikt kan även vara anledningen till att lastbilen lättare uppnår maximal lastvikt under de perioder på året, då virket är tyngre. Fredrik Dacke, projektledare Södra skogsägarna, bekräftar att gran och tall ansamlar högre andel vatten under januari och juni-juli, samt innehåller mindre vatten under april och oktober. Denna insamling gjordes dock enbart i de södra delarna av Sverige som har högre andel tyngre virke, vilket enligt Fredrik är tyngre, än i de norra delarna (Dacke 2017 pers. komm.).

## 4.3 Kritik av studien

Det kan vara svårt att avgöra om resultatet från analysen, är det faktiska resultatet. Då noggrann lastningsteknik var ett nytt arbetssätt för förarna, kan utvärderingen av lastningsteknikernas resultat i detta skede vara missvisande.
Då studiens analyser inte gjordes separat för varje förare kan denna studie inte utesluta om förarna presterat olika vid lastningsmomentet. Att det finns en skillnad mellan förarna kan rimligtvis antas. Önskvärt vore om flera olika lastbilar nyttjats av flera olika förare, vilka hade kört respektive lastbil vid flera tillfällen för att tillgodose ett omfattande statistiskt underlag. I en studie av Sabyasachi, Mitra, Mohanchandra,& Mandal. (2016) beskrivs ett sätt att mäta hur många observationer som krävs i en analys. Då för att med bättre sannolikhet kunna bedöma om nollhypotesen i analysen kan förkastas eller inte. En sådan undersökning genomfördes aldrig i denna studie. Resultatet hade då kunnat betraktats mer generellt och gett en bra översikt över möjliga felkällor.

Enligt Ekenberg (2007) så tar det en viss tid innan resultatet av exempelvis nya arbetssätt, ges i uttryck. Ekenberg kallar detta fenomen ”learning by doing”, vilket förklaras som att generellt minskar kostnader fortlöpande med tiden allt eftersom det nya arbetssättet implementeras. Även Mousavi & Naghdi (2013) skriver i en studie att resultat kan påverkas av situationen, speciellt under studier som sker under än kortare period. Då denna studie skedde under en relativt kort period kan exempelvis förarnas dagskänsla och allmänna välmående, varit en faktor som påverkat resultatet.
Då lastningsteknikerna studerades under två veckor, kan detta anses vara för kort tid att utvärdera lastningsteknikerna och dess utfall.

Då datamaterialet var normal fördelat och variansen låg (Bilaga 1–4) kunde dataunderlaget för lastvikt och lastningstid (Bilaga 14–17) analyseras som ett kombinerat dataunderlag (Bilaga 12–13), separerat per lastningsteknik (Samuels, Witmer, Schaffner, 2014). Med detta tillvägagångsätt, i liknelse med Nurminen och Heinonen (2007), kunde analyserna baseras på ett mer omfattande datamaterial.
Dock kan detta vara till en nackdel för resultatet då det rimligtvis finns en variation mellan förarna, som potentiellt kan ha haft effekt på resultatet, vilket denna studie inte tar i beaktande. Skillnader av olika slag är vanliga mellan förare men då sådana skillnader inte är repeterbara är de sällan meningsfulla att analysera närmare (von Hofsten 2017, pers. komm.)

I denna studie togs varken hänsyn till avläggets utformning eller virkesvältans form vilket också har kunnat påverkat lastningstiden. Tiden det tar att lasta lastbilsekipaget påverkas i hög grad om vältan är illa travad och illa placerad vid avlägget (von Hofsten 2017, pers. komm.). Dessutom undersöktes inte hur lastningstiden påverkades av kranlängden, kranens styrka, virkets längd eller vilket förhållande mellan avståndet till stuvens mittpunkt kontra virkesvältans mittpunkt etc. som rimligtvis också borde ha haft en påverkan på resultatet.

När analysen om huruvida lastningstiden påverkas av lastningsavståndet, borde fler potentiellt påverkande faktorer tagits i beaktande då analyserna genomfördes. Här skulle istället en multipel linjär regression använts för att undersöka om det finns ett statistiskt samband mellan lastningstid och två eller flera förklarande variabler (Samuels, Witmer & Schaffner, 2014).
Vidare kommer detta ha effekt på transportekonomin, då lastningstiden ökar, så kommer kostnaderna per/ton öka (Ekvation 7 & 8), vilket hade varit intressant ur ett transportekonomiskt perspektiv.
I studien av Nurminen och Heinonen (2007) påstår de att variationen i lastningstid står för 21% av den totala tidskonsumtionen för lastbilsekipaget. Om då, som tidigare nämnt, lastningskostnaden står för 27% vid 50km transportavstånd av totala transportkostnaden kommer lastningstiden ha stor inverkan på transportekonomin.

I tidigare studier av Mäkinen (1993, 2001) menar han att åkerier som optimerar nivån av kapacitetsutnyttjande, effektiviserar arbetet och har engagerade förare ökar förutsättningarna för att lyckas.
Även om förarna i denna studie tillsynes verkade engagerade att prova ett nytt arbetssätt för att öka lastvikten, behöver det således inte vara fallet vilket även resultatet påvisar (se 3.2).

Då tidsstudien begränsades av en tidsrestriktion i denna studie (se 2.4), så har det sannolikt haft påverkan på resultatet. Potentiellt kan lastvikten skiljt sig mellan lastningsteknikerna, om inte någon tidsrestriktion givits till förarna. Stress och påverkan av studiemannen kan då tillsammans med tidsrestriktionen haft negativ effekt på resultatet. Prestationsångest och nervositet kan påverka extroverta personer positivt av nervositet och ångest, men introverta personer påverkas ofta negativt (Parncutt & McPherson, 2002).
Parncutt och McPherson (2002) menar även att en persons prestation kan antingen förbättras eller försämras av att en annan person granskar deras arbete. Sannolikt har studiemannen under datainsamlingen påverkat förarnas prestation i olika grad. Vilket sedermera kan ha haft en effekt på resultatet i denna studie.

## 4.4 Framtida studier

Denna studie behandlar enbart transporter av barr massaved, men inte andra sortiment som exempelvis lövmassaved. Av erfarenhet menar lastbilschauffören Henrik Olofsson att lövmassaved inte är lika enkelt att lasta på grund av dess krokighet, kvistighet, formtal etcetera (Olofsson 2017 pers. komm.). En framtida studie kan då istället utföras med enbart lövmassaved som sortiment.
I denna studie analyserades ett fordon där kranen är fast monterad på lastbilsekipaget, vilket kan ha en negativ inverkan på transportekonomin och lastvikten (Erlandsson, 2008). Då kranens vikt hade kunnat ersatts med mer lastat virke

om kranen kunnat ställas av, skulle en analys av en avställnings bar kran varit intressant.
Då förarna i studien var relativt erfarna och lastar effektivt, så isoleras effekten av nybörjarmisstag samt den mänskliga faktorn i högre grad. Vilket gör att studien speglar effekten av lastningsteknikerna, med enbart erfarna förare. En alternativ studie till denna, skulle istället kunna innefatta förare med kortare arbetslivserfarenhet av lastning med kran.
Datainsamlingen skedde i denna studie under hösten 2017. En kompletterande studie, kan då vara utformad på liknande sätt som denna, men att datainsamlingen istället sker under perioder på året då virket är som lättast.

En alternativ studie till denna, hade kunnat undersöka hur noggrannheten av kostnaden per ton (WTKT) påverkas av att lastningstiden (XLAT) avrundas och hur det påverkar transportekonomin (se 2.7.2).

## 4.5 Slutsatser

Följande slutsatser är framtagna utifrån studiens dataunderlag och dess analyser:

- Det finns ingen signifikant skillnad i lastvikt mellan noggrann lastningsteknik och konventionell lastningsteknik.
- Om virket har hög råvolymvikt vid lastningstillfället, kommer lastbilsekipaget sannolikt uppnå högre lastvikt.
- Tidsåtgången för att lasta ett lastbilsekipage påverkas inte av att virket ligger 1 – 4 meter från lastbilsekipaget när det lastas

# 5 Referenser

Andersson, G. Frisk, M. (2010). *Skogsbrukets transporter 2010.* [Online] https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjB76vi9LPWAh-VoJJoKHWAFDO8QFggtMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.skog-forsk.se%2Fconten-tassets%2F07b217a357ca49b1a767d4b0aa2e5869%2Fskogsbrukets-transporter-2010---arbetsrapport-791-2013.pdf&usg=AFQjCNEPs9viL6b88Vd5fcTnhf3bwI_-kw .

Behrmann, L. Lundqvist, T. (2016) Logistikbranschens väg till hållbarhet. [Online] http://www.diva-por-tal.org/smash/get/diva2:944636/FULLTEXT01.pdf

Berggren, F. (2018) Time study of logging truck loading depending on the distance
between the truck and the timber pile. Skinnskatteberg: Sveriges Lantbruksuniversitet
[Online] https://stud.epsilon.slu.se/13560

Bergstrand, K.G. (1991). Planering och analys av skogstekniska tidsstudier. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kista. Meddelande 17. ISSN 0532–2499

Björheden, R (1991) Basic Time Concepts For International Comparisons of Time Study

Reports. Garpenberg: Sveriges Lantbruksuniversitet [Online] https://journals.lib.unb.ca/index.php/IJFE/article/view/10074

Blinge, M. Matsson, Å. (2006). *Miljöåtgärder för godstransporter*. CPM Report 2006:5. Göteborg. [Online] https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2006_5-Miljo%CC%88a%CC%8Atga%CC%88rder-fo%CC%88r-godstransporter.pdf

Brunberg, T. (2013) *Skogsbrukets kostnader och intäkter*. Uppsala: Skogforsk. [Online] https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2014/Skogsbrukets-kostnader-och-intakter-20131/

Ekenberg, K. (2007). *Produktionsanalys och layoututformning åt EWP Windtower Production*, (s. 134). [Online] http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=1341042&fileOId=2434909

Eliasson, L. (2014) *Hur tiden mäts i studier av flismaskiner och hur det påverkar resultatet* [Online] https://www.skogforsk.se/cd_48e565/contentassets/09c9d9019aaf4b57bb25a14239bed1ca/beskrivning-av-maskinstudier.pdf

Engineering, 16(2), s. 101-114. [Online] https://journals.lib.unb.ca/index.php/IJFE/article/view/9828/9950

Erlandsson, E. (2008). *Framgångsfaktorer för rundvirkesåkerier i Mellansverige*. Umeå: SLU Inst. för skogens produkter. [Online] https://stud.epsilon.slu.se/12213/1/erlandsson_e_171102.pdf

Fjeld, D. & Dahlin, B. (2005). *Nordic logistics handbook – Forest operations in wood supply*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Helsinki Universitet.

Gallagher, T., Mc Donald, M., Smidt, M., Tufts, R. (2016) *Let's Talk Trucking - Weights and Loading Methods, Technical Paper*; Forest Resources Association Inc.: Rockville, MD, USA.

Granqvist, P. (2012). *CSR i praktiken*. Malmö: Liber.

Hadders, G. (2002) *Skörd, lastning och transport av träflis (Salix) från jordbruksmark*. Uppsala: Lantbruk & Industri. [Online] http://www.jti.se/uploads/jti/r294gh.pdf

Hamner, J. (2014). *En jämförande kostnadsstudie mellan ETTfordonet och konventionella gruppbilar i Norrlands inland.* Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. [Online] https://stud.epsilon.slu.se/7544/1/Hamner_J_20141223.pdf

Hamsley, A. Greene, D. Siry, J. Brooks, M. (2006) *Improving Timber Trucking Performance by Reducing Variability of Log Truck Weights* Warnell School of Forestry & Natural Resources, University of Georgia, Athens, GA 30602-2152. [Online] https://www.cofe.frec.vt.edu/documents/2006/COFE_2006_Hamsley_et_al.pdf

Hartig, R., (1874). *Das spezifische Frisch- und Trockengewicht, der Wasserhalt und das Schwinden des Kiefernholzes*. Berlin.

Hofsten, von. H. & Funck, J. (2015). *Utveckling av HCT-fordon i Sverige*. Uppsala: Skogforsk. [Online] https://www.skogforsk.se/contentassets/a0c58c6923b14958bf5b036a49c05eb7/utveckling-av-hct-fordon-i-sverige-hela.pdf

Hofsten, von. H., Lundström, H., Nordén, B. & Thor, M. (2005). *System för uttag av skogsbränsle*. Uppsala: Skogforsk.

Johansson, J. Liss, J. Gullberg, T. Björheden, T. (2006) *Transport and handling of forest energy bundles—advantages and problems*. Biomass Bioenerg., 30, (s. 334–341). [Online] https://www.researchgate.net/publication/223837735_Transport_and_handling_of_forest_energy_bundles_-_Advantages_and_problems

Jägbrant, S. Johansson, J. (2017). *Bankbreddsundersökning*. SDC. [Online] https://www.sdc.se/admin/Filer/Rapporter%20och%20utredningar/Bankbreddsunders%C3%B6kning%20170831%20slutlig.pdf

Lagergren, F & Löfroth, C. (1992). Virkestransporter med separatlastare i södra Sverige. (Skogforsk. Nr 6 1992). Uppsala: Skogforsk.

Lindström, E. (2010). *Utveckling av differentierade ersättningar för rundvirkestransporter med lastbil*. Institutionen för skoglig resurshushållning, Sveriges
Lantbruksuniversitet. Umeå.

Lumsden, K. (2012). *Logistikens grunder*. Upplaga 3:1. Lund: Studentlitteratur
Jonsson, P. S-A, Mattson. (2016) *Logistik: läran om effektiva materialflöden*. Studentlitteratur AB.

Löfroth, C. Svenson, G. (2010). *ETT – Modulsystem för skogstransporter En Trave Till (ETT) och Större Travar (ST) Delrapport för de första två åren*. Uppsala: Skogforsk.

Lööf, M. (2015). *En systemanalys av tyngre lastbilars påverkan på tågtransporter*, Uppsala: SLU Inst. för skogens produkter. [Online] https://stud.epsilon.slu.se/8380/7/loof_m_150812.pdf

Miljömål. (2017). *Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter*. [Online] https://www.miljomal.se/etappmalen/Begransad-klimatpaverkan/Utslapp-av-vaxthusgaser-fran-inrikes-transporter/

Mousavi,R. Naghdi, R. (2013) *Time consumption and productivity analysis of timber trucking using two kinds of trucks in northern Iran*, Journal of forest science, 59, 2013 (5): 211–221 [Online] https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/197001.pdf

Mäkinen, P. (1993). Strategies used by timber truck transport companies to ensure business success. *The Society of Forestry in Finland –The Finnish Forest Research Institute, Helsingfors*. Acta Forestalia Fennica 238, s. 74-81.

Mäkinen, P. (1997). *The profitability of the timber transport business before and after deregulation*. Finnish Forest Research Institute, Vanda. Scandinavian Journal of Forest Research. 12(2).

Mäkinen, P. (2001). *Competitive Strategies applied by Finnish timber carriers following deregulation*. Finnish Forest Research Institute, Vanda. Silva Fennica 35(3).

Naturvårdsverket. (2017). *Transporter och trafik*. [Online] http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Transporter-och-trafik/

Nilsson, G. (2013). *Griptiltens effekt på skotarens produktivitet*. Umeå: Institutionen för skoglig resurshushållning.

Nurminen, T. Heinonen, J. (2007) *Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland.* Silva Fennica 41(3), (s. 471-487). [Online] https://silvafennica.fi/pdf/article284.pdf

Parncutt, R. McPherson, G. (2002). *The Science and Psychology of Music Performance – creative strategies for teaching and learning* (s. 47-62). New York: Oxford University press.

Rönnqvist, M., Forsberg, M. & Frisk, M. (2005). *FlowOpt - a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry*. International Journal of Forest

Sabyasachi, D. Mitra, K. Mohanchandra, M. Mandal. (2016). *Sample size calculation: Basic principles* [Online] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5037946/

Samuels, M. Witmer, J. Schaffner, A (2014) *Statistics for the Life Sciences* 4(8), (s. 265–355), 4(13), (s. 553-625). Edinburgh: Pearson education.

Savolainen, R. (1977). *Tukin ja kuitupuun autoonkuormauksen tuotossuhteet*. Metsäteho Review 2/1977.

SDC, (2017) *Krönt vägval.* [Online] http://www.sdc.se/default.asp?id=1061

Shaffer, R. Stuart, W. (2009) *A checklist for efficient log trucking*. In Virginia Cooperative Extension Publication 420–094; Virginia Tech.: Blacksburg, VA, USA, p. 5

Skogsstyrelsen. (2014). *Skogsstatistiks årsbok*. [Online] https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/historisk-statistik/skogsstatistisk-arsbok-2010-2014/skogsstatistisk-arsbok-2014.pdf

Skogforsk. (2005) *FlowOpt – En väg till effektivare virkesflöden.* [Online] https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2005/FlowOpt--en-vag-till-effektivare-virkesfloden/

Sosa, A. Klvac, R. Coates, E. Kent, T. Devlin, G (2015) *Improving Log Loading Efficiency for Improved Sustainable Transport within the Irish Forest and Biomass Sectors*. MDPI AG , Basel, Schweiz. EISSN 2071-1050. [Online] https://www.mdpi.com/2071-1050/7/3/3017/htm

Svea energi. (2016) *RME 100* [Online] http://www.sweaenergi.se/wp-content/uploads/2016/11/Produktblad-RME-100.pdf

Trafikanalys (2015). *Skogens transporter – en trafikslagsövergripande kartläggning*. [Online] https://www.trafa.se/globalassets/pm/2011-2015/2015/pm-2015_16-skogens-transporter---en-trafikslagsovergripande-kartlaggning.pdf

Trafikanalys, (2016) Rapport 2016:7 *Godstransporter i Sverige – En nulägesanayls*[Online] https://www.transportforetagen.se/Documents/Publik_F%C3%B6rbunden/Sveriges_Hamnar/Rapporter/rapport-2016_7_godstransporter-i-sverige---en-nulagesanalys.pdf

Trafikförordningen. (2017). 1998:1276, *4 kap. 12§*. [Online] http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19981276.htm

Transportstyrelsen (2017). *Bruttovikter för fordon.* [Online] https://www.transportstyrelsen.se

Widinghoff, J. (2014*). Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon*. Uppsala: Skogforsk. [Online] http://74ton.nu/wp-content/uploads/2015/06/kontinuerlig-uppfoljning-av-drivmedelsforbrukning-och-lastfyllnadsgrad-for-ett-och-st-fordon.pdf

Wilhelmsson, L. Moberg, L (2004). *Virkesutredning-Råvolymvikter*. Uppsala: Skogforsk [Online] https://www.skogforsk.se/contentassets/b169f767f7374753946f78e0cdadac84/arbetsrapport-569-2004.pdf

## 5.1 Personlig kommunikation

Henrik, Olofsson (2017), Lastbilschaufför, Södra skogsägarna, Växjö.
Dacke, Fredrik (2017), Projektledare, Södra skogsägarna, Växjö.
Tomas Wihlborg (2017), Controller, Södra skogsägarna, Växjö
Henrik von Hofsten (2017), Försökstekniker Värdekedjor Uppsala Science Park, Skogforsk. Uppsala.

## 5.2 Bilder & Figurer

Figur 1: Ett konventionellt timmerlastbilsekipage med en maximalbruttovikt av 67-ton.
https://www.skogforsk.se/contentassets/a0c58c6923b14958bf5b036a49c05eb7/utveckling-av-hct-fordon-i-sverige-hela.pdf

Figur 2: Ett HCT-fordonsekipage med en maximalbruttovikt av 74-ton.
https://www.skogforsk.se/contentassets/a0c58c6923b14958bf5b036a49c05eb7/utveckling-av-hct-fordon-i-sverige-hela.pdf

# 6 Bilagor

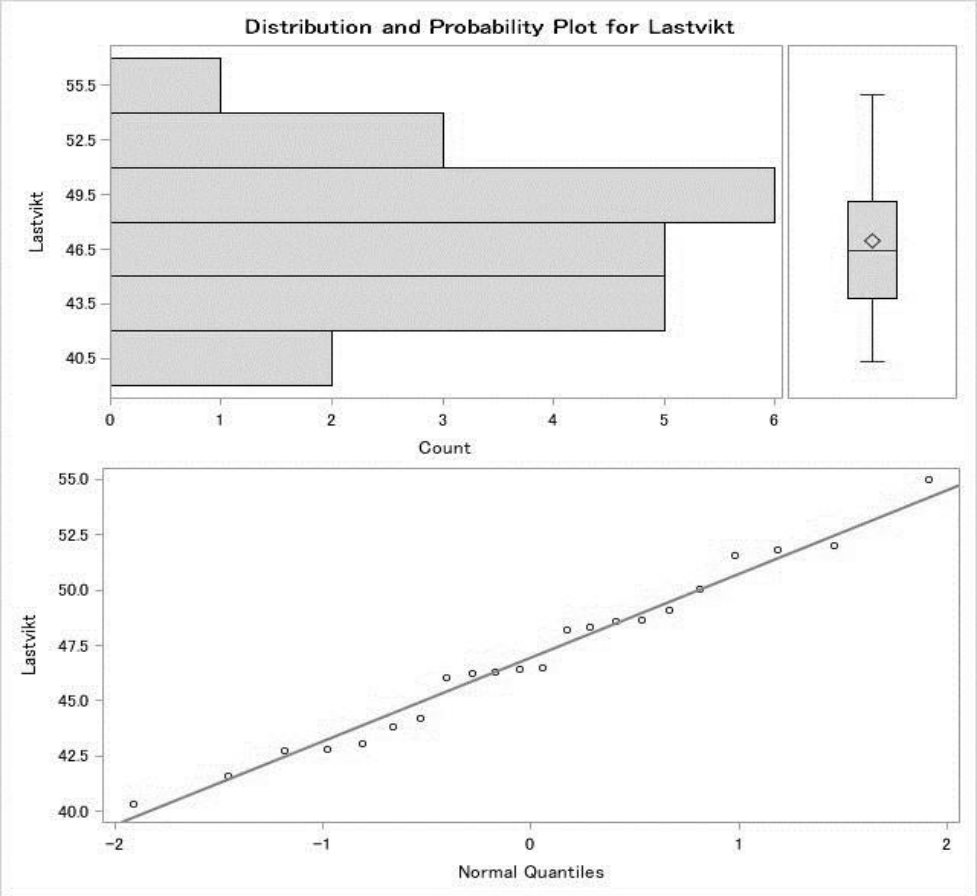
**Bilaga 1**

Tabellen visar normaliteten i underlaget för lastvikt.

| Tests for Normality | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Test | Statistic | | p Value | |
| Shapiro-Wilk | W | 0,977769 | Pr <W | 0,8778 |

**Bilaga 2**

Bilden visar dataunderlagets fördelning i lastvikt med ett histogram och ett linjediagram.



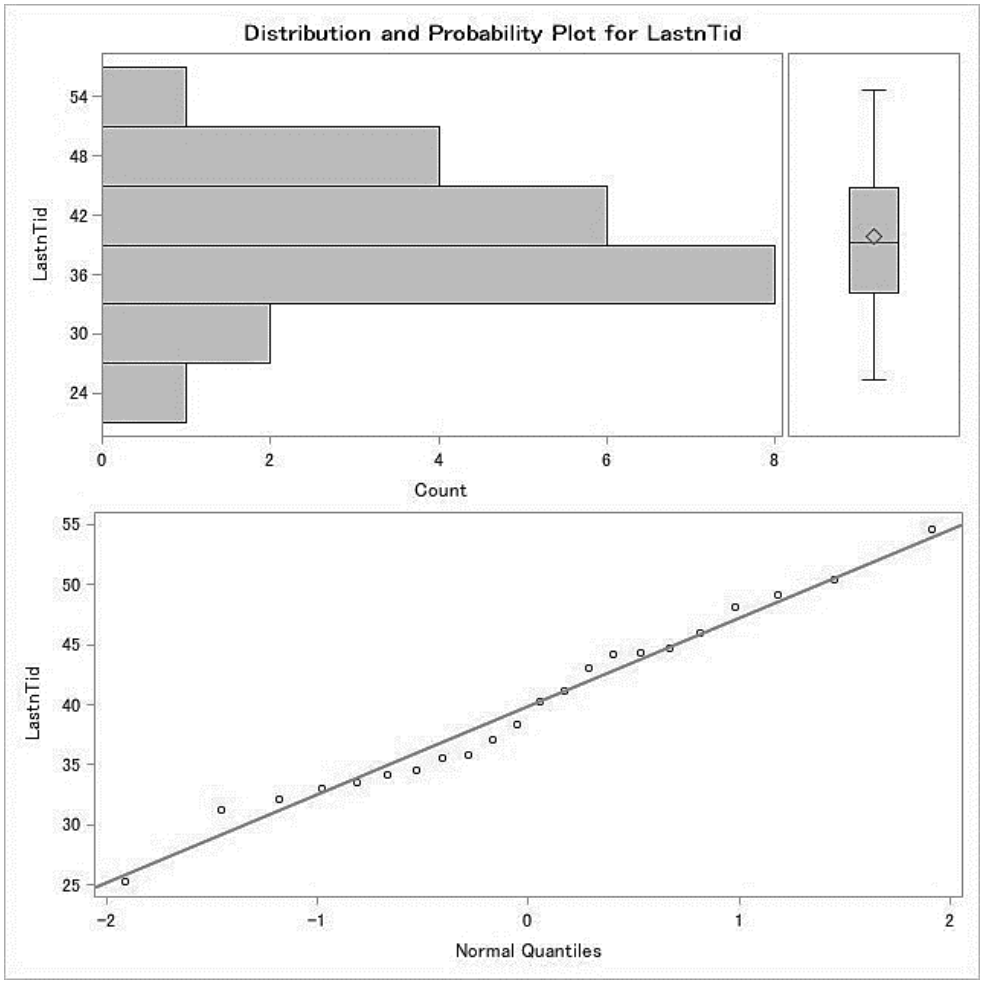
**Bilaga 3**

Tabellen visar normaliteten i underlaget för lastningstid.

| Tests for Normality | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Test | Statistic | | p Value | |
| Shapiro-Wilk | W | 0,978649 | Pr <W | 0,8936 |

**Bilaga 4**

Bilden visar dataunderlagets fördelning i lastningstid med ett histogram och ett linjediagram.



**Bilaga 5**

Södra Skogsägarnas kostnadsuppgifter för lastbilsekipaget år 2017.

| Variabler | Värde |
|---|---|
| Investeringskostnad | 4 000 000 kr |
| Fast maskinkostnad | 814 320 kr/år |
| Avskrivningstid | 4 år |
| Maskinutnyttjande | 3816 h |
| Personalkostnader | 1 263 333kr |
| Reparationskostnader | 335 227 kr |

**Bilaga 6**

Tabellen visar medelvärden framtagna genom datamaterialet från tidsstudien som användes i FLIS.

| Variabler | Medelvärde |
|---|---|
| Noggrann lastningsteknik (min) | 46,2 |
| Vanlig lastningsteknik (min) | 34,58 |
| Lastvikt Noggrann lastningsteknik (ton) | 47,46 |
| Lastvikt Vanlig lastningsteknik (ton) | 46,56 |

**Bilaga 7**

**Two-Sample T-Test and CI: Noggran lastning; Vanlig Lastning**
**Method**

$\mu_1$: mean of Noggran lastning
$\mu_2$: mean of Vanlig Lastning
Difference: $\mu_1 - \mu_2$
Equal variances are not assumed for this analysis

Descriptive Statistics

| Sample | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| Noggran lastning | 10 | 47,46 | 4,08 | 1,3 |
| Vanlig Lastning | 12 | 46,56 | 3,66 | 1,1 |

Estimation for Difference

| Difference | 95% CI for Difference |
|---|---|
| 0,90 | (-2,60; 4,40) |

Test

| | |
|---|---|
| Null hypothesis | $H_0$: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ |
| Alternative hypothesis | $H_1$: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ |

| T-Value | DF | P-Value |
|---|---|---|
| 0,54 | 18 | 0,596 |

***Bilaga 8***

**Two-Sample T-Test and CI: Lastningstid Nogrann; Lastningstid Vanlig**
**Method**

$\mu_1$: mean of Lastningstid Nogrann

$\mu_2$: mean of Lastningstid Vanlig

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

*Equal variances are not assumed for this analysis.*

Descriptive Statistics

| Sample | N | Mean | StDev | SE Mean |
|---|---|---|---|---|
| Lastningstid Nogrann | 12 | 0,7449 | 0,0933 | 0,027 |
| Lastningstid Vanlig | 10 | 0,976 | 0,100 | 0,032 |

Estimation for Difference

| Difference | 95% CI for Difference |
|---|---|
| -0,2313 | (-0,3187; -0,1440) |

Test

| | |
|---|---|
| Null hypothesis | $H_0$: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ |
| Alternative hypothesis | $H_1$: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ |

| T-Value | DF | P-Value |
|---|---|---|
| -5,57 | 18 | 0,000 |

**Bilaga 9**
**Regression Analysis: Lastningstid versus Lastningsavstånd**

The regression equation is
Lastningstid = 40,95 - 0,493 Lastningsavstånd

Model Summary

| S | R-sq | R-sq(adj) |
|---|---|---|
| 7,52898 | 0,17% | 0,00% |

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 1 | 1,96 | 1,9573 | 0,03 | 0,854 |
| Error | 20 | 1133,71 | 56,6855 | | |
| Total | 21 | 1135,67 | | | |

**Bilaga 10**
**Regression Analysis: Lastvikt versus Råvolymvikt**

The regression equation is
Lastvikt = 9,118 + 38,41 Råvolymvikt
Model Summary

| S | R-sq | R-sq(adj) |
|---|---|---|
| 2,02392 | 72,82% | 71,46% |

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Regression | 1 | 219,441 | 219,441 | 53,57 | 0,000 |
| Error | 20 | 81,925 | 4,096 | | |
| Total | 21 | 301,366 | | | |

**Bilaga 11**

Tabellen visar transportkostnaden vid olika transportavstånd med vanlig- respektive noggrann lastningsteknik.

| Enkel väg, m (km) | Vanlig lastning | Noggrann lastning |
|---|---|---|
| 30,00 | 36,4 | 39,6 |
| 60,00 | 56,6 | 59,4 |
| 90,00 | 76,7 | 79,2 |
| 120,00 | 96,9 | 98,9 |
| 150,00 | 117,0 | 118,7 |
| 180,00 | 137,2 | 138,5 |
| 210,00 | 157,3 | 158,2 |
| 240,00 | 177,5 | 178,0 |

**Bilaga 12**

Tabellen visar studiens insamlade datamaterial med noggrann lastningsteknik.

| **Lastning-savstånd (m)** | **Brut-tovikt(ton)** | **Lastning-stid (min)** | **Lastvikt (ton)** | **Min/ton** | **Råvolymvikt (m3/ton)** | **Transportavstånd (km)** | **Lastfyllnadsgrad (%)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,3 | 71,91 | 37,1 | 42,72 | 0,87 | 0,89 | 115 | 86 |
| 2,6 | 72,3 | 50,4 | 46,3 | 1,09 | 0,97 | 76 | 94 |
| 2 | 69,85 | 46 | 48,31 | 0,95 | 1,07 | 93 | 98 |
| 1,5 | 73,9 | 43,1 | 43,83 | 0,98 | 0,88 | 65 | 89 |
| 1,7 | 73,6 | 44,3 | 40,3 | 1,10 | 0,82 | 95 | 81 |
| 1,5 | 74,25 | 44,75 | 51,55 | 0,87 | 1,05 | 105 | 104 |
| 2,1 | 73,4 | 44,2 | 52,03 | 0,85 | 1,08 | 85 | 105 |
| 3,9 | 72,5 | 54,66 | 49,1 | 1,11 | 0,99 | 89 | 99 |
| 1,5 | 71,45 | 48,1 | 51,85 | 0,93 | 1,11 | 96 | 105 |
| 1,7 | 72,4 | 49,2 | 48,6 | 1,01 | 1,02 | 111 | 98 |
| **Medelvärde:** | | **46,181** | **47,46** | | | | **96** |

**Bilaga 13**

Tabellen visar studiens insamlade datamaterial med vanlig lastningsteknik.
Lastningsavstånd

| Lastnings avstånd (m) | Brut-tovikt (ton) | Lastning-stid (min) | Lastvikt (ton) | Min/ton | Råvoly-mvikt (m3/ton) | Trans-portavstånd (km) | Lastfyllnadsgrad (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,1 | 73,85 | 33,05 | 46,48 | 0,71 | 0,95 | 116 | 94 |
| 2,3 | 73,3 | 34,2 | 55 | 0,62 | 1,08 | 54 | 111 |
| 1,8 | 66,65 | 38,3 | 44,21 | 0,87 | 1,06 | 103 | 89 |
| 2 | 68,8 | 40,2 | 46,02 | 0,87 | 1,04 | 67 | 93 |
| 2,6 | 71,3 | 35,8 | 46,22 | 0,77 | 1 | 123 | 93 |
| 2 | 71,3 | 41,2 | 48,22 | 0,85 | 1,03 | 105 | 97 |
| 2,2 | 74 | 32,15 | 50,03 | 0,64 | 1,02 | 89 | 101 |
| 1,9 | 71,35 | 34,5 | 46,41 | 0,74 | 0,99 | 117 | 94 |
| 2,5 | 73,4 | 25,33 | 42,82 | 0,59 | 0,88 | 89 | 87 |
| 3,2 | 73,85 | 33,5 | 43,04 | 0,78 | 0,88 | 115 | 87 |
| 2,6 | 72,7 | 35,6 | 48,64 | 0,73 | 1,02 | 83 | 98 |
| 2 | 73,35 | 31,2 | 41,62 | 0,75 | 0,85 | 123 | 84 |
| **Medelvärde:** | | **34,586** | **46,56** | | | | **94** |

**Bilaga 14**

Tabellen visar variationen i datamaterialet med förare 1 som operatör, nyttjandes vanlig lastningsteknik.

| Lastning-savstånd (m) | Brut-tovikt (ton) | Lastning-stid (min) | Lastvikt (ton) | Min/ton | Råvoly-mvikt (m3/ton) | Trans-portavstånd (km) | Lastfyllnadsgrad (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,1 | 73,85 | 33,05 | 46,48 | 0,71 | 0,95 | 116 | 94 |
| 2,3 | 73,3 | 34,2 | 55 | 0,62 | 1,08 | 54 | 111 |
| 1,8 | 66,65 | 38,3 | 44,21 | 0,87 | 1,06 | 103 | 89 |
| 2 | 68,8 | 40,2 | 46,02 | 0,87 | 1,04 | 67 | 93 |
| 2,6 | 71,3 | 35,8 | 46,22 | 0,77 | 1 | 123 | 93 |
| 2 | 71,3 | 41,2 | 48,22 | 0,85 | 1,03 | 105 | 97 |
| **Std.avvikelse** | | | | | | | 7,03 |
| 0,26 | | 3,01 | 3,47 | 0,09 | 0,04 | | |

**Bilaga 15**

Tabellen visar variationen i datamaterialet med förare 2 som operatör, nyttjandes vanlig lastningsteknik

| Lastning-savstånd (m) | Brut-tovikt (ton) | Lastning-stid (min) | Lastvikt (ton) | Min/ton | Råvoly-mvikt (m3/ton) | Trans-portavstånd (km) | Lastfyllnadsgrad (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2,2 | 74 | 32,15 | 50,03 | 0,64 | 1,02 | 89 | 101 |
| 1,9 | 71,35 | 34,5 | 46,41 | 0,74 | 0,99 | 117 | 94 |
| 2,5 | 73,4 | 25,33 | 42,82 | 0,59 | 0,88 | 89 | 87 |
| 3,2 | 73,85 | 33,5 | 43,04 | 0,78 | 0,88 | 115 | 87 |
| 2,6 | 72,7 | 35,6 | 48,64 | 0,73 | 1,02 | 83 | 98 |
| 2 | 73,35 | 31,2 | 41,62 | 0,75 | 0,85 | 123 | 84 |
| **Std.avvikelse** | | | | | | | |
| 0,44 | | 3,33 | 3,15 | 0,07 | 0,07 | | |

**Bilaga 16**

Tabellen visar variationen i datamaterialet med förare 1 som operatör, nyttjandes noggrann lastnings-teknik.

| Lastnings avstånd (m) | Brut-tovikt (ton) | Lastning-stid (min) | Lastvikt (ton) | Min/ton | Råvoly-mvikt (m3/ton) | Trans-portavstånd (km) | Lastfyllnadsgrad (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,5 | 74,25 | 44,75 | 51,55 | 0,87 | 1,05 | 105 | 104 |
| 2,1 | 73,4 | 44,2 | 52,03 | 0,85 | 1,08 | 85 | 105 |
| 3,9 | 72,5 | 54,66 | 49,1 | 1,11 | 0,99 | 89 | 99 |
| 1,5 | 71,45 | 48,1 | 51,85 | 0,93 | 1,11 | 96 | 105 |
| 1,7 | 72,4 | 49,2 | 48,6 | 1,01 | 1,02 | 111 | 98 |
| **Std.avvikelse** | | | | | | | |
| 0,91 | | 3,76 | 1,47 | 0,1 | 0,04 | | |

**Bilaga 17**

Tabellen visar standardavvikelsen hos förare 2's insamlade datamaterial med noggrann Lastningsteknik

| Lastnings avstånd (m) | Brut-tovikt (ton) | Lastning-stid (min) | Lastvikt (ton) | Min/ton | Råvoly-mvikt (m3/ton) | Trans-portavstånd (km) | Lastfyllnadsgrad (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,3 | 71,91 | 37,1 | 42,72 | 0,87 | 0,89 | 115 | 86 |
| 2,6 | 72,3 | 50,4 | 46,3 | 1,09 | 0,97 | 76 | 94 |
| 2 | 69,85 | 46 | 48,31 | 0,95 | 1,07 | 93 | 98 |
| 1,5 | 73,9 | 43,1 | 43,83 | 0,98 | 0,88 | 65 | 89 |
| 1,7 | 73,6 | 44,3 | 40,3 | 1,10 | 0,82 | 95 | 81 |
| **Std.avvikelse** 0,66 | | 4,32 | 2,79 | 0,09 | 0,04 | | |