



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Skogsmästarskolan



Prestationsprognos i drivning utifrån driftsuppföljningsdata

*Forecasting the productivity in logging operations
using follow-up data*

ERIK OSMÉN



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2019:09

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

Prestationsprognos i drivning utifrån driftsuppföljningsdata

Forecasting the productivity in logging operations using follow-up data

Erik Osmén

Handledare: Roland Larsson, SLU Skogsmästarskolan
Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Eric Sundstedt, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

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

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2019

Omslagsbild: *Skördare i arbete*, foto AB Karl Hedin Råvara

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

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2019:09

Nyckelord: produktivitet, slutavverkning, gallring



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Förord

Detta arbete har utförts på uppdrag av AB Karl Hedin Råvara under kursen Kandidatarbete i Skogshushållning, 15 hp, vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogsmästarskolan.

Flera personer på AB Karl Hedin Råvara har hjälpt mig under arbetets gång men jag vill rikta ett speciellt tack till Johan Klingberg, produktionschef AB Karl Hedin Råvara, för givande diskussioner och för att han varit min externa handledare. Jag vill också rikta ett stort tack till mina handledare på Skogsmästarskolan, Roland Larsson och Staffan Stenhag, som kommit med värdefulla synpunkter vilket har hjälpt mig att förbättra arbetet. Sist men inte minst vill jag tacka Back Tomas Ersson, Skogsmästarskolan, för hjälp med att skriva den engelska delen i detta arbete.

Skinnskatteberg, april 2019

Erik Osmén

Innehåll

FÖRORD	III
INNEHÅLL	V
SAMMANFATTNING	1
SUMMARY	3
1. INTRODUKTION	5
1.1. TIDIGARE STUDIER	6
1.2. SYFTE OCH MÅL.....	6
1.3. HYPOTESER OCH FRÅGESTÄLLNINGAR.....	7
1.4. AVGRÄNSNINGAR	7
2. MATERIAL OCH METODER	9
2.1. LITTERATURSÖKNING	9
2.2. URVAL AV TRAKTER	9
2.3. DATAINSAMLING.....	10
2.3.1. TRAKTDIREKTIV	10
2.3.2. BIOMETRIAS WEBBTJÄNST PRINS.....	10
2.3.3. DRIFTSFILER	10
2.4. UNDERSÖKTA FAKTORER.....	11
2.4.1. MEDELSTAM.....	11
2.4.2. AREAL.....	11
2.4.3. UTTAG PER HEKTAR.....	11
2.4.4. SKÖRDADE STAMMAR PER HEKTAR.....	11
2.4.5. UNDERVÄXT	11
2.4.6. TERRÄNGTRANSPORTAVSTÅND	12
2.4.7. STAMFELSVED.....	12
2.4.8. DIAMETERSPRIDNING.....	12
2.4.9. GRUNDFÖRHÅLLANDE, YTSTRUKTUR OCH LUTNING	12
2.5. ANALYS	13
2.6. UTVÄRDERING	13
3. RESULTAT	15
3.1. SKÖRDARE I SLUTAVVERKNING	15
3.2. SKÖRDARE I GALLRING	15
3.3. SKOTARE I SLUTAVVERKNING OCH GALLRING	16
3.4. UTVÄRDERING AV MODELLERNA	16
3.5. FAKTORER SOM INTE INGÅR I MODELLERNA	18
4. DISKUSSION	19

5. REFERENSER.....	23
5.1. PUBLIKATIONER	23
5.2. INTERNETDOKUMENT	23

Sammanfattning

Det finns flera goda skäl till att skapa matematiska modeller som kan förutse, eller prognostisera, prestationen för skördare och skotare i drivningar. Ett av dessa skäl är att den prognostiserade prestationen ofta ligger till grund för den ackordsersättning entreprenören får för sitt utförda arbete. Olika metoder kan användas för att ta fram prognoser för prestationen. Denna studie har använt driftsuppföljningsdata från maskiner, stamnotor, trakt direktiv samt mätbesked för att analysera hur olika faktorer påverkar prestationen i drivning.

Syftet med studien var att, utifrån tillgängliga driftsuppföljnings- och traktdata, identifiera och analysera ett antal prestationspåverkande faktorer i slutavverkning och gallring. Förhoppningen var att resultatet i framtiden kan ligga till grund för en bortsättningsmodell som tar hänsyn till de prestationspåverkande faktorerna på en specifik trakt.

Resultatet från analysen visade att medelstam och transportavstånd var de faktorer som hade den största påverkan på prestationen för skördarna respektive skotarna. Detta resultat fick även stöd av tidigare utförda studier inom området. Från analysen kunde tre olika prognosmodeller tas fram. Variationen i skördarnas prestation kunde förklaras till 72 procent i slutavverkning och till 76 procent i gallring med hjälp av modellerna. Skotarnas prestation i slutavverkning och gallring kunde förklaras till 87 procent utifrån en och samma modell. Användandet av de modeller som tagits fram i denna studie bör dock användas med stor försiktighet vid bortsättning innan en mer djupgående utvärdering av dessa har genomförts.

Nyckelord: produktivitet, slutavverkning, gallring

Summary

There are several good reasons to create mathematical functions that can predict, or forecast, the productivity in logging operations. One of these reasons is that the contractor's piece rate often is based on the forecasted productivity. There are different methods to generate a model that can forecast the productivity in logging operations. This study has used follow-up data from harvesters and forwarders, stem notes, logging site directives and measuring reports in the analysis.

The purpose of this study was to identify and analyse a number of factors' impact on productivity during thinning and final felling. This analysis was done by using available logging site- and follow-up data. The study's overall aim was to establish a basis for a future contractor remuneration model which takes specific logging site conditions into account.

The results from the analysis showed that mean stem size and hauling distance was the two most influential factors for harvesters and forwarders, respectively. This result could also be found in the literature from earlier studies. From the results of the analysis, three different models that could forecast productivity were created. The models could explain the harvester's productivity to 72 percent during final felling and to 76 percent during thinning. The forwarder's productivity could be explained to 87 percent by a single model for both final felling and thinning. However, until further evaluations have been done, the use of the prediction models generated from this study should be used with great caution when establishing contractors' piece rates.

Key words: performance, harvester, forwarder

1. Introduktion

Att kunna förutse prestationen för skördare och skotare på en trakt är viktigt av flera skäl. För det första är en välfungerande prestationsnorm, eller prognos, som tar hänsyn till de specifika förutsättningarna på en trakt, ett värdefullt hjälpmedel som kan ligga till grund för den beräknade tidsåtgången av trakten. Detta underlättar planeringen av både drivningen och virkesflödet (Lundqvist m.fl. 2014). En välfungerande prognos skulle exempelvis kunna underlätta planeringen av hur många trakter med sämre bärighet ett företag hinner avverka under en period med gynnsamma förhållanden. En välfungerande prognos skulle även kunna göra det enklare för företaget att uppfylla de beställningar som industrin har på skogsråvara. En prognos som beräknar tidsåtgången med stora fel skulle däremot kunna leda till en försämrad leveransprecision då beställningarna inte uppfylls i tid. En mindre välfungerande prognos skulle också kunna leda till extra kostnader när maskiner måste avbryta arbetet i förtid och flytta till andra trakter, detta som en följd av att de gynnsamma förhållandena hunnit förändras.

Ett annat viktigt skäl till att kunna prognostisera prestationen på en trakt är att denna prognos ofta ligger till grund för entreprenörernas ackordsersättning (Björheden 2015). Genom att dividera en entreprenörs förtjänstriktpunkt med den beräknade prestationen kan avverkningskostnaden räknas fram. Med en välfungerande prognos får entreprenörerna en skälig ersättning för sitt arbete, såväl på trakter med goda som med sämre drivningsförhållanden. Drivningen på trakter med goda drivningsförhållanden blir billigare då drivningskostnaden kan fördelas på fler producerade kubikmeter per grundtid, den tid som maskinerna ägnar sig åt det egentliga arbetet inklusive kortare avbrott (Tidningen Skogen 2019). Detta leder till att skogsägare får betala en mer rättvis avverkningskostnad, där markägare som äger trakter med goda drivningsförhållanden får betala mindre och de som äger svårdrivna trakter får betala mer. Att drivningskostnaden sjunker på trakter med goda drivningsförhållanden betyder också att det virkesköpande företaget blir mer konkurrenskraftigt på de trakter där prestationen är som högst.

Ett vanligt tillvägagångssätt för att ta fram prognoser för prestation är att utföra tidsstudier. Med tidsstudier är det möjligt att under kontrollerade förhållanden fastställa tidsåtgången och fördelningen mellan olika arbetsmoment (Björheden 2015). Ett problem med tidsstudier är att de ofta är tidskrävande att genomföra. Om ett enskilt virkesköpande företag skulle utföra tidsstudier för att ta fram ett prognosunderlag finns därför en risk att antalet studerade trakter skulle bli relativt litet. Om ett fåtal olika trakter studerats finns också risken att prestationen som observerats endast gäller under ett fåtal specifika drivningsförhållanden och för ett fåtal olika entreprenörer. För att tidsstudier ska fungera väl som underlag till en prestationsprognos behöver alltså de studerade trakterna och de studerade entreprenörerna vara representativa för hela det geografiska område där modellen ska användas. Ytterligare ett problem vid tidsstudier är att, även om både trakten och entreprenören skulle vara representativa, kan studien i sig påverka resultatet. Människor som observeras tenderar att ändra sitt normala beteende under själva studien, under en tidsstudie av prestation finns alltså en risk att prestationen skiljer sig från den normala. Detta fenomen dokumenterades för nästan ett sekel sedan och kallas för Hawthorne-effekten (McCambridge, Kypri & Elbourne 2014).

Moderna skogsmaskiner samlar in en stor mängd data per automatik. Denna driftsuppföljningsdata kan, tillsammans med vissa kompletterande uppgifter tillgängliga för det virkesköpande företaget, användas för att analysera hur olika faktorer påverkat prestationen. Då datamaterialet samlas in per automatik behöver inte någon person utföra själva mätningen. Studien blir därmed betydligt mer tidseffektiv jämfört med tidsstudier. Med samma ansträngning som att utföra tidsstudier kan det virkesköpande företaget då istället skapa ett underlag till prestationsprognoser bestående av ett betydligt större antal trakter. Detta leder sannolikt till ett material bestående av ett större antal olika drivningsfaktorer som är drivna av ett större antal olika entreprenörer. Datamaterialet kan också insamlas från trakter som är avverkade under normala arbetsförhållanden. Detta borde leda fram till ett datamaterial som, jämfört med tidsstudier, bättre kan fånga upp den mångfald av faktorer som dagligen påverkar prestationen i drivning.

1.1. Tidigare studier

En studie som använt data från över 12 000 slutavverkningar och nästan 5 000 gallringar visade att medelstammen var den faktor som hade störst inverkan på skördarens prestation i både gallring och slutavverkning (Eriksson & Lindroos 2014). Medelstammen förklarade 55 procent (justerad $R^2 = 0,5514$) av skördarens prestation i slutavverkning, andra viktiga faktorer som studien lyfte fram var total skördad volym och skördad volym per hektar. I denna studie kunde prestationen i slutavverkning som bäst förklaras av 24 olika faktorer, dessa faktorer förklarade 64 procent (justerad $R^2 = 0,6384$) av variationen i prestation. I gallring kunde 58 procent (justerad $R^2 = 0,5751$) av skördarens prestation förklaras av medelstammen. Den högsta förklaringsgraden uppnåddes med 22 faktorer, prestationen kunde då förklaras med 63,1 procent (justerad $R^2 = 0,6313$).

Studien som utfördes av Eriksson & Lindroos (2014) visade också att den enskilda faktor som bäst förklarade skotarens prestation i slutavverkning var transportavståndet. Detta förklarade 17 procent av prestationen (justerad $R^2 = 0,1664$). I slutavverkning kunde variationen i prestation bland skotarna som mest förklaras till 44,3 procent ($R^2 = 0,4426$) av 15 faktorer. I gallring var däremot medelstammen den faktor som förklarade mest även för skotaren (justerad $R^2 = 0,155$). Skotarens prestation i gallring var svårast att förklara i studien, som mest kunde 34 procent ($R^2 = 0,3404$) av prestationen förklaras av 12 faktorer.

Förarens erfarenhet och skicklighet har visat sig vara ännu en faktor som har stor betydelse för prestationen. I en studie utförd i södra Tyskland på skördare i gallring kunde över 37 procent av variationen i prestation härledas till föraren (Purfürst & Erler 2011). Detta överensstämmer väl med en finsk tidsstudie som visade att skillnaden i prestation mellan olika skördarförare i gallring var upp till 40 procent (Kärhä, Rönkkö & Gumse 2004).

1.2. Syfte och mål

Syftet med denna studie var att, med hjälp av uppföljnings- och traktdata tillgängliga för AB Karl Hedin, identifiera och analysera prestationspåverkande faktorer i drivning.

Modellerna som tagits fram i analysen kan förhoppningsvis ligga till grund för framtida prissättning till entreprenörer och ge en mer rättvis betalning med avseende på prestationspåverkande faktorer. Förhoppningen är att modellerna även ska kunna användas som ett hjälpmedel för exempelvis produktionsledare vid drivningsplanering men också av virkesköpare vid anbudsfrågningar.

1.3. Hypoteser och frågeställningar

Några av de hypoteser som ställdes upp innan datainsamlingen påbörjades var:

- Medelstammen är den faktor som enskilt förklarar mest av skördarens prestation.
- Stor diameterspridning, en stor andel stammar under åtta centimeter i brösthöjd och en stor andel stamfelsved sänker skördarens prestation.
- Långa transportavstånd, ett lågt uttag (m^3 fub) per hektar och ett högt värde på ytstruktur sänker skotarens prestation.
- Trakter med en liten areal sänker prestationen för både skördare och skotare.

De frågeställningar som studien ska ge svar på är:

- Stämmer de ovan formulerade hypoteserna?
- Med hur mycket påverkar de olika faktorerna prestationen?
- Finns det några skillnader mellan skördare och skotare?
- Finns det några skillnader mellan slutavverkning och gallring?

1.4. Avgränsningar

Listan över potentiella prestationspåverkande faktorer kan göras lång. Studien avgränsades därför till att undersöka hur ett antal mätbara faktorer, tillgängliga för AB Karl Hedin, påverkar prestationen för tvåmaskinssystem (skördare och skotare) i slutavverkning och gallring. Maskintekniska faktorer eller faktorer knutna till maskinföraren har inte analyserats. Årstidsberoende faktorer, såsom snödjup eller brandrisk, har inte heller analyserats. Studien avgränsades också till att endast undersöka 2018 års trakter.

2. Material och metoder

2.1. Litteratursökning

Litteratursökningen har gjorts genom Sveriges Lantbruksuniversitets söktjänst ”Primo”. Exempel på sökord som användes är ”harvester”, ”forwarder”, ”thinning”, ”final felling” och ”productivity”. Litteratur har även hittats i referenslistan i tidigare utförda studier inom samma ämnesområde. Andra källor till litteratur har varit söktjänsten Google och tryckta källor.

2.2. Urval av trakter

Urvalet av trakter utfördes i två steg. I det första steget sattes sex kriterier upp för att trakterna skulle undersökas vidare. Dessa kriterier var:

1. Avverkning på trakten hade påbörjats under perioden 2018-01-01 – 2018-12-31.
2. Virket från trakten hade blivit inmätt av VMF Qbera eller Biometria innan 2019-02-15.
3. Slutavräkning mot entreprenör hade genomförts innan 2019-02-15.
4. En fullständig stamnota från skördaren hade rapporterats till SDC eller Biometria.
5. En fullständig driftsrapport från skördare och/eller skotare hade rapporterats in till AB Karl Hedin Råvara.
6. Traktens ursprung var inte från AB Karl Hedins eget skogsinnehav.

Det totala antalet trakter som uppfyllde dessa kriterier var 84 stycken. Av dessa trakter hade en fullständig driftsrapport från skördare rapporterats från 78 trakter, motsvarande antal från skotare var 33 trakter.

Av dessa 84 trakter utfördes ytterligare kontroller där nya kriterier användes. Syftet med detta steg i urvalet var att filtrera bort trakter som kan beskrivas som extrema. De kriterier som trakterna skulle uppfylla för att senare ingå i analysen var:

7. Avverkningstyp var gallring eller slutavverkning.
8. Skillnaden mellan skördarens inrapporterade volym och den inmätta volymen var mindre än 25 procent.
9. Medelstammen i gallring var mindre än 0,30 m³fub.
10. Uttaget i gallring var mindre än 200 m³fub per hektar.
11. Uttaget i slutavverkning var större än 100 m³fub per hektar.
12. Ingen större avvikelse som kunde bedömas påverka maskinernas prestation var inrapporterad från trakten.

Efter det andra steget i urvalet återstod totalt 46 trakter. Av dessa fanns en fullständig driftsrapport från skördare från 42 trakter, från skotare var motsvarande antal 24 trakter. Av de 46 trakterna utgjorde 17 trakter gallringsposter och 29 trakter slutavverkningsposter. Den sammanlagda arealen av dessa trakter var 265,8 hektar och den totala inmätta volymen från dessa trakter var drygt 35 500 m³fub. Samtliga trakter var lokaliserade inom AB Karl Hedin Råvaras köpområde vilket är beläget inom Dalarnas-, Gävleborgs-, Uppsala-, Stockholms-, Västmanlands- och Örebro län (AB Karl Hedin 2019).

2.3. Databasinsamling

Data för varje trakt i analysen har inhämtats från traktdirektiv, Biometrias webbtjänst ”Prins” samt genom driftsfiler från skördare och skotare.

2.3.1. Traktdirektiv

Traktdirektiv hämtades från AB Karl Hedins interna server. Från traktdirektiven kunde areal, GYL (grundförhållande, ytstruktur och lutning) och typ av avverkning utläsas. I traktdirektiven var arealen avrundad till närmaste tiondels hektar och GYL var bedömd enligt en femgradig skala (Berg 1995). Entreprenörerna hade även uppgett avlastningsplats i traktdirektiven. Med detta menas om skotaren lastat av virket från väg eller från skogskant.

2.3.2. Biometrias webbtjänst Prins

Från webbtjänsten Prins användes två olika rapporter. Från rapporten ”Kollektivomräknade volymer” kunde den totala inmätta volymen från varje trakt utläsas. Samtliga volymer var inmätta i fast kubik under bark (m³fub). Den andra rapporten från webbtjänsten som användes var ”Skördade volymer, stamnota brösthöjdsdiameter”. Från denna rapport kunde det totala antalet stammar, stamantal per centimeterklass (tvåcentimeterklasser), skördarmätt volym per centimeterklass samt andel stamfelsved (massaved i timmerdimensioner) utläsas.

2.3.3. Driftsfiler

Från driftsfilerna kunde den totala tidsåtgången för skördare och/eller skotare utläsas. Tidsåtgången syftade på maskinernas grundtid ($h(G_{15})$). Då tidsåtgången var rapporterad i formatet ”hh:mm” (exempelvis rapporterades 10 timmar och 15 minuter som 10:15) räknades tidsåtgången om till timmar med två decimaler enligt formeln:

$$Tidsåtgång = h + \left(\frac{min}{60 min/h} \right)$$

Samma exempel som ovan ger då att 10 timmar och 15 minuter innebär en tidsåtgång på 10,25 timmar:

$$10,25 h = 10 h + \left(\frac{15 min}{60 min/h} \right)$$

I driftsfilerna från skotarna kunde förutom den totala tidsåtgången även antal lass och uppmätt genomsnittlig körsträcka per lass utläsas.

2.4. Undersökta faktorer

I den analys som utfördes undersöktes samband mellan ett antal faktorer och prestationen. För skördaren användes den inrapporterade skördade volymen för att beräkna prestationen, förutom i de fall då den inmätta volymen var större än den inrapporterade skördade volymen. I de fallen användes istället den inmätta volymen för att beräkna prestationen för skördaren. För skotaren användes enbart den inmätta volymen. Prestationen beräknades sedan enligt formeln:

$$Prestation = \frac{\text{Volym (m}^3\text{ fub)}}{\text{Tidsåtgång (h(G}_{15}\text{))}}$$

2.4.1. Medelstam

Varje stam som skördaren hanterar registreras och redovisas i stamnotan. Genom att dividera volymen med det totala antalet stammar kunde medelvolymen per stam beräknas enligt formeln:

$$\text{Medelstam} = \frac{\text{Volym (m}^3\text{ fub)}}{\text{Antal stammar (st)}}$$

2.4.2. Areal

Arealen på trakten var angivet i traktdirektivet. För att beräkna den brukade arealen gjordes ett avdrag för eventuella hänsynsytor enligt formeln nedan. Fortsättningsvis benämns den brukade arealen endast som ”areal” eller ”hektar”.

$$\text{Brukad areal} = \text{Traktens areal (ha)} - \text{hänsynsyornas areal (ha)}$$

2.4.3. Uttag per hektar

Med hjälp av arealen och volymen kunde uttaget per hektar beräknas enligt:

$$\text{Uttag/ha} = \frac{\text{Volym (m}^3\text{ fub)}}{\text{Areal (ha)}}$$

2.4.4. Skördade stammar per hektar

Antalet skördade stammar per hektar kunde beräknas enligt formeln:

$$\text{Skördade stammar/ha} = \frac{\text{Skördade stammar}}{\text{Areal (ha)}}$$

2.4.5. Underväxt

Då det inte fanns några uppgifter om det totala antalet underväxtstammar (stammar med en brösthöjdsdiameter mindre än åtta centimeter) i traktdirektivet kunde endast stamnotan från skördaren användas, i stamnotan redovisas alla stammar som skördaren hanterat. Från stamnotan räknades antalet stammar under åtta centimeter i brösthöjdsdiameter, därefter kunde andelen skördade klena stammar beräknas:

$$\text{Andel skördade klena stammar} = \frac{\text{Klena stammar (st)}}{\text{Antal stammar (st)}}$$

2.4.6. Terrängtransportavstånd

I skotarnas driftsfiler fanns det, förutom den totala tidsåtgången, även uppgifter om den genomsnittliga körsträckan per lass. Denna sträcka dividerades i analysen med två för att beräkna det genomsnittliga transportavståndet för varje trakt:

$$\text{Transportavstånd} = \frac{\text{Genomsnittlig körsträcka/lass}}{2}$$

2.4.7. Stamfelsved

Stamfelsved är rundvirke i timmerdimensioner som apterats till massaved av skördaren. Anledningen till att virket apterats till massaved istället för timmer kan vara exempelvis rotröta, grova kvistar eller att stammen varit krokig. Stamfelsveden redovisas i stamnotan som andel av den totala volymen och behövdes därför inte beräknas.

2.4.8. Diameterspridning

Utifrån stamnotan kunde diameterspridningen beräknas som standardavvikelse på varje trakt. Alla stammar var redovisade i brösthöjdsdiameterklasser om två centimeter. Klassmitt för varje diameterklass beräknades och varje stam blev indelad i respektive diameterklass, därefter användes formeln:

$$\text{Standardavvikelse} = \sqrt{\frac{\left(\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2}{n}\right)}{n - 1}}$$

Där:

x = Klassmitt

Σ = Frekvens

n = Antal observationer

2.4.9. Grundförhållande, ytstruktur och lutning

Grundförhållande, ytstruktur och lutning, ofta kallat GYL, fanns angivet i traktdirektiven efter en femgradig skala. Dessa behövdes därför inte beräknas. I ”Terrängtypschema för skogsarbete” (Berg 1995, ss. 7, 11-12) kan följande utläsas för värde ”1” och ”5” i varje kategori:

Grundförhållande, 1: ”Mycket goda grundförhållanden. Går i allmänhet bra att köra året runt”.

Grundförhållande, 5: ”Mycket dåliga grundförhållanden. Hjulfordon kan bara användas då marken är frusen”.

Ytstruktur, 1: ”Mycket jämn markyta”.

Ytstruktur, 5: ”Mycket ojämn markyta”.

Lutning, 1: ”Plan mark eller svag lutning”.

Lutning, 5: ”Stark lutning”.

2.5. Analys

De olika faktorernas påverkan på prestationen för skördare och skotare har analyserats med hjälp av multipel regressionsanalys i Microsoft Excel. Med hjälp av regressionsanalysen kunde ett minsta kvadratvärde, R^2 , tas fram för att beskriva styrkan på eventuella samband. I regressionsanalysen erhöles även en koefficient för varje faktor som kunde beskriva hur stor påverkan varje faktor hade på prestationen. Till sist kunde det avgöras om varje faktors påverkan var statistiskt säkerställd (signifikant) eller ej med det p-värde som genererades i regressionsanalysen. Även faktorer som inte visat sig vara signifikanta har ingått i de modeller som tagits fram för att prognostisera prestationen. I de fall sambandet mellan prestation och den undersökta faktorn varit logaritmiska har logaritmen av dessa faktorer räknats ut med hjälp av formeln "=LOG" i Microsoft Excel för att senare användas i analysen.

2.6. Utvärdering

Modellerna som prognostiserar prestationen i detta arbete bygger på data från trakter som avverkades under 2018. För att utvärdera hur väl modellerna fungerar i praktiken jämfördes modellerna med avverkningar som utfördes under 2017 och det första kvartalet av 2019, detta för att dessa trakter inte har påverkat själva skapandet av modellen.

Liknande kriterier som de under rubrik "2.2. Urval av trakter" ställdes, med undantag från att punkterna 1 till 3 i det första urvalet togs bort. Dessutom tillkom kravet att driftsfiler från både skördaren och skotaren skulle finnas tillgängliga. Detta krav tillkom av praktiska skäl. Nio trakter som uppfyllde dessa kriterier kunde hittas, dessa trakter var fördelade på två maskinlag.

3. Resultat

Resultatet från analysen presenteras i tre kategorier; skördare i slutavverkning, skördare i gallring och skotare i slutavverkning och gallring. Då AB Karl Hedin vill hålla uppgifter om maskinernas prestationer konfidentiella presenteras de olika faktorernas påverkan på prestationen i procent av den konstant som genererades i den multipla regressionsanalysen.

3.1. Skördare i slutavverkning

Medelstammen var den faktor som hade störst påverkan på prestationen för skördare i slutavverkning. Logaritmen av medelstammen förklarade variationen i prestation med 68,8 procent (justerad $R^2 = 0,6877$). Förklaringsgraden kunde ökas med knappt tre procentenheter (justerad $R^2 = 0,7150$) om även faktorerna uttag per hektar, andel stamfelsesved, antalet stammar under åtta centimeter diameter i brösthöjd per hektar (avser stammar som hanterats av skördaren) och traktens areal ingick i beräkningen. Som framgår i tabell 1 var det endast medelstammens inverkan på prestationen som var signifikant ($p < 0,001$). Övriga faktorer var inte signifikanta även om p-värdet för andel stamfelsesved och uttag per hektar var 0,055 respektive 0,07. Medelstammen, uttag per hektar och arealen hade samtliga en positiv korrelation med prestationen. Med ökande värde på dessa faktorer ökade alltså prestationen. Andel stamfelsesved och antalet klena stammar/hektar hade negativa korrelationer, ett ökat värde på dessa faktorer innebar en sänkning av prestationen.

Tabell 1. Koefficienternas andel av konstanten och p-värde för de faktorer som ingick i modellen för prognostisering av skördarens prestation i slutavverkning. *** = Signifikansnivå över 99,9 procent.

Faktor	Enhet	Andel av konstant	p-värde
Konstant	-	100 %	<0,001***
LOG(Medelstam)	m ³ fub/stam	75,9 %	<0,001***
Uttag/hektar	m ³ fub/hektar	0,03 %	0,070
Andel stamfelsesved	%	- 1,0 %	0,055
Stammar < 8 cm/ha	Styck	- 0,06 %	0,358
Traktens areal	Hektar	0,5 %	0,297

3.2. Skördare i gallring

Medelstammen var även den faktor som hade störst påverkan på skördarnas prestation i gallring. I gallring förklarade den logaritmiska medelstammen 74,1 procent av variationen i prestation på de olika trakterna (justerad $R^2 = 0,7411$). Förklaringsgraden kunde höjas med drygt en procentenhet (justerad $R^2 = 0,7565$) om även faktorerna som finns listade i tabell 2; skördade stammar per hektar och skördade klena stammar per hektar, ingick i modellen. I likhet med slutavverkning var endast medelstammens inverkan på prestationen signifikant (p-värde = 0,017). En grövre medelstam och ett större antal skördade stammar per hektar hade en positiv effekt på skördarnas prestation i gallring medan många skördade stammar med en diameter klenare än åtta centimeter i brösthöjd påverkade prestationen negativt.

Tabell 2. Koefficienternas andel av konstanten och p-värde för de faktorer som ingick i modellen för prognostisering av skördarens prestation i gallring. *** = Signifikantnivå över 99,9 procent. * = Signifikantnivå över 95 procent.

Faktor	Enhet	Andel av konstant	p-värde
<i>Konstant</i>	-	100 %	<0,001***
LOG(Medelstam)	m ³ fub/stam	60,7 %	0,017*
Skördade stammar/ha	Styck	0,06 %	0,133
Stammar < 8 cm/ha	Styck	- 0,06 %	0,324

3.3. Skotare i slutavverkning och gallring

Prognostisering av skotarnas prestation utfördes med samma modell för både slutavverkning och gallring. Den faktor som bäst förklarade prestationen för skotare var transportavståndet (justerad $R^2 = 0,5815$). I den modell som anpassades för att prognostisera skotarens prestation ingick, förutom transportavstånd, ytterligare fyra faktorer. Dessa faktorer finns listade i tabell 3 och var ytstruktur, lutning, uttag per hektar och medelstam. Av dessa var korrelationerna för transportavstånd, ytstruktur och lutning negativa vilket innebär att ett ökat värde på någon av dessa faktorer, exempelvis längre transportavstånd, ledde till en lägre prestation. Grövre medelstam och ett ökat uttag ökade däremot prestationen. Transportavståndets, medelstammens och lutningens inverkan på prestationen var samtliga signifikanta. Modellen för skotare var den modell som hade det högsta förklaringsvärdet i undersökningen. 87 procent (justerad $R^2 = 0,8706$) av variationen i prestation hos skotarna förklarades av de fem faktorerna.

Tabell 3. Koefficienternas andel av konstanten och p-värde för de faktorer som ingick i modellen för prognostisering av skotarens prestation i slutavverkning och gallring.*** = Signifikantnivå över 99,9 procent. * = Signifikantnivå över 95 procent.

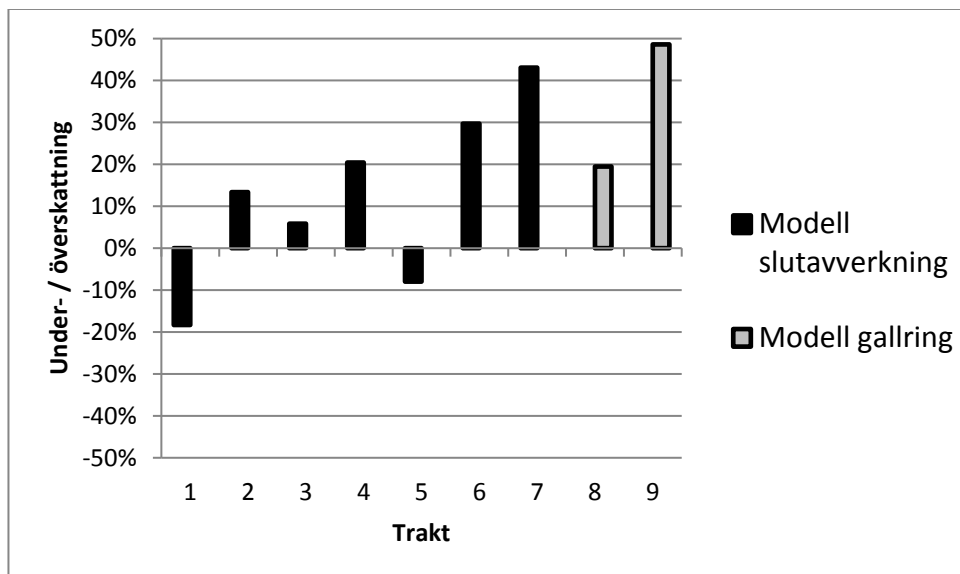
Faktor	Enhet	Andel av konstant	p-värde
<i>Konstant</i>	-	100 %	<0,001***
LOG(Transportavstånd)	Meter	- 23,3 %	<0,001***
Ytstruktur	Värde 1 – 5	- 1,8 %	0,214
Lutning	Värde 1 – 5	- 4,1 %	0,014*
LOG(Medelstam)	m ³ fub/stam	10,3 %	0,042*
LOG(Uttag)	m ³ fub/hektar	3,7 %	0,357

3.4. Utvärdering av modellerna

De tre modellerna utvärderades genom att prognostisera prestationen på trakter som avverkades under 2017 och det första kvartalet under 2019. Nio trakter som uppfyllde kriterierna uppräknade under avsnitt ”2.6. Utvärdering av modellerna” kunde hittas. Av dessa trakter var två gallringar, de resterande sju trakterna var slutavverkningar.

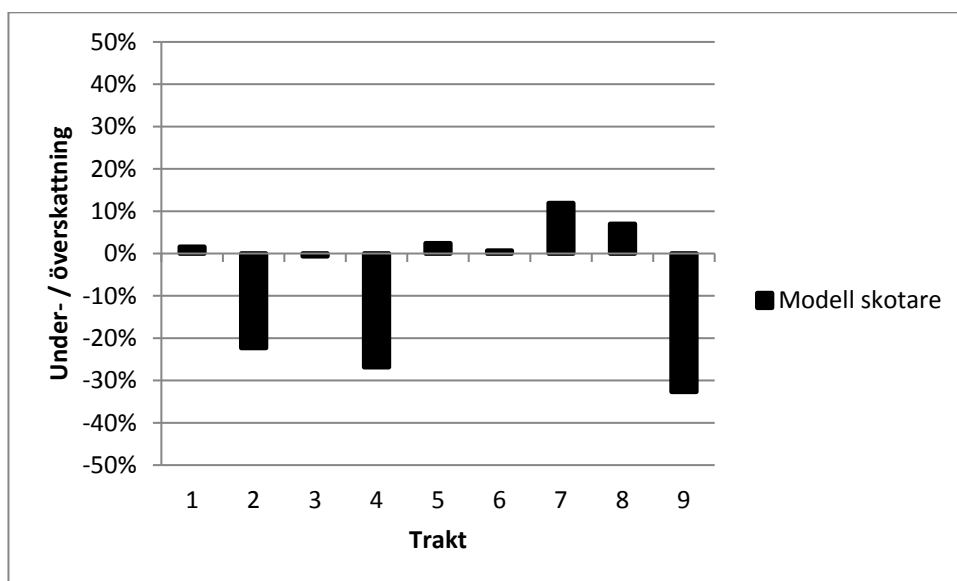
Resultatet från utvärderingen med trakter från 2017 och det första kvartalet under 2019 presenteras för skördare i figur 1. Trakterna är sorterade utifrån verklig prestation där trakt 1 var den trakt med högst prestation och trakt 9 var den trakt med lägst prestation. En tendens till att modellerna överskattade trakter med låg

prestation kunde upptäckas. Modellerna som användes för att prognostisera skördarens prestation var i genomsnitt 17 procent högre än den faktiska prestationen. Fördelat på maskinlag var modellernas överskattning i genomsnitt 29 procent för maskinlag 1 (trakterna 3, 6, 7, 8 och 9) och två procent för maskinlag 2 (trakterna 1, 2, 4 och 5).



Figur 1. Resultatet av den utvärdering som genomfördes av de två modellerna som prognostiserar skördarens prestation i slutavverkning respektive gallring.

Ett liknande test utfördes även på skotarnas prestation, detta presenteras i figur 2. Detta test utfördes på samma trakter som för skördarna (figur 1). Trakterna är dock sorterade utifrån skotarnas verkliga prestation, högst prestation hade skotaren på trakt nummer 1. Någon liknande tendens som för skördarna, att trakter med låg prestation överskattades, kunde inte hittas. Modellen för att prognostisera skotarnas prestation underskattade i genomsnitt den verkliga prestationen med sju procent. Någon större skillnad kunde inte upptäckas mellan maskinlagen (fyra respektive nio procents underskattning i genomsnitt).



Figur 2. Resultatet av den utvärdering som genomfördes av den modell som prognostiserar skotarens prestation i gallring och slutavverkning.

3.5. Faktorer som inte ingår i modellerna

De faktorer som ingår i modellerna har i olika grad bidragit till att höja förklaringsgraden. Tre faktorer har inte bidragit till förklaringsgraden i någon modell. Dessa tre faktorer är grundförhållande, avlastningsplats och diameterspridning.

4. Diskussion

Medelstammen var, inte överraskande, den faktor som hade starkast samband med skördarnas prestation, både i slutavverkning och i gallring. För skotarna var den enskilda faktorn med högst förklaringsgrad transportavståndet. Detta stärker vissa av de hypoteser som fanns innan studien. Detta stämmer också väl överrens med tidigare utförda studier (Eriksson & Lindroos 2014). I studien från 2014 var dock medelstammen den faktor med högst förklaringsgrad även för skotarna i gallring. Medelstammen visade sig ha en signifikant inverkan på skotarnas prestation även i denna studie men då både gallring och slutavverkning kunde förklaras med hjälp av samma modell i denna studie, blir denna jämförelse svår att göra. Att skotarnas prestation kunde förklaras av samma modell i både slutavverkning och gallring var det mest överraskande resultatet. Detta skulle kunna vara en indikation på att skotarnas prestation inte påverkas av kvarvarande stammar i samma utsträckning som skördarnas prestation verkar göra.

Jämfört med studien från Eriksson & Lindroos (2014) uppnåddes en högre förklaringsgrad i samtliga modeller. Skördarnas prestation i slutavverkning kunde i denna studie förklaras med 72 procent jämfört med 64. I gallring kunde skördarnas prestation förklaras till 76 procent jämfört med 63 procent och slutligen kunde skotarnas prestation förklaras med 87 procent jämfört med 44 och 34 procent i slutavverkning respektive gallring (ibid.). Dessa förklaringsgrader uppnåddes också med ett betydligt mindre antal undersökta faktorer. Som mest användes fem faktorer i en och samma modell jämfört med 24 faktorer (ibid.).

Trots dessa relativt höga förklaringsgrader visade utvärderingen att modellerna kan vara osäkra att använda för att prognostisera maskinernas prestation, i synnerhet för skördare. Utvärderingen indikerade att den procentuella felkattningen verkade stiga på trakter med låg prestation vilket det finns förklarliga skäl till. Vid lägre prestationer utgör varje felbedömd kubikmeter i prestation en större procentuell andel av den totala prestationen. Då endast nio trakter från 2017 och 2019 uppfyllde de kriterier som ställdes kan dock inga klara slutsatser slås fast. Vidare utvärdering och eventuell korrigerig av modellerna rekommenderas innan dessa implementeras som underlag för bortsättning.

Säkerheten i modellerna skulle förmodligen kunna höjas om ett större antal faktorer togs med i modellerna. Maskinförarnas erfarenhet och skicklighet är exempel på faktorer som inte analyserades i denna studie. Andra studier (Purfürst & Erler 2011; Kärhä, Rönkkö & Gumse 2004) har visat att prestationen i gallring kan variera med så mycket som 40 procent mellan olika skördarförare. Ett rimligt antagande är att en variation i prestation mellan olika förare inte är en unik företeelse för just skördarförare i gallring. En viss variation i prestation borde också kunna observeras dels mellan olika skotarförare, dels mellan olika avverkningstyper. Detta skulle då kunna förklara en stor del av den avvikelse modellerna hade i utvärderingen (figur 1 och 2). Den främsta anledningen till att maskinförarna inte analyserades var att syftet med studien var att ta fram ett underlag för framtida bortsättning. Det kan då tyckas märkligt om vissa förare ska erhålla en högre ersättning per kubikmeter för att dessa ska lyckas nå sin förtjänstriktpunkt.

De styrkor med studien som kan poängteras är att samtliga trakter som legat till grund för de olika modellerna är en följd av virkesköp. Att använda sig av dessa trakter bör då, i teorin, leda till modeller som är bättre anpassade till trakter som ägs av privatpersoner jämfört med prognoser som skapats med hjälp av trakter i så kallad bolagsskog. Alla trakter som användes var också avverkade under ett och samma år, 2018. Detta borde eliminera en viss andel ”brus” som en följd av teknikutveckling. Det går dock att ifrågasätta hur representativt just året 2018 är. Under stora delar av sommaren rådde extrem brandrisk i stora delar av AB Karl Hedins upptagningsområde och det är inte helt orimligt att detta på något sätt skulle kunna påverkat maskinernas prestationer.

Svagheter i studien är bland annat det relativt låga antalet trakter som uppfyllde de kriterier som ställdes innan analysen. Avsaknaden av driftsfiler var den i särklass vanligaste anledningen till att trakter inte uppfyllde kriterierna i det första steget i urvalet. Ett stort antal av de trakter som uppfyllde kriterierna i det första steget i urvalet kan beskrivas som extrema. Då entreprenörerna ofta fått sin ersättning utbetalad per timme och inte per kubikmeter på dessa trakter hade driftsfiler med tidsredovisning skickats till AB Karl Hedin. Därför sattes nya kriterier i det andra steget i urvalet av trakter i förhoppningen att dessa kriterier skulle filtrera bort dessa extremtrakter. En annan svaghet med studien är att det varit svårt, om inte omöjligt, att kvalitetssäkra vissa faktorer. Exempelvis har det framkommit i diskussioner med ett antal virkesköpare anställda på AB Karl Hedin att GYL (Berg 1995) anges något slentrianmässigt i traktdirektiven.

Möjligvis har denna osäkerhet i indata lett till att grundförhållanden var en av totalt tre undersökta faktorer som inte lyckats höja förklaringsgraden i analysen och som därför inte tagits med i modellerna. Den andra faktorn som inte bidrog till förklaringsgraden var skotarens avlastningsplats. Hypotesen var innan undersökningen att skotarens prestation skulle öka om virket lastades av från väg. Detta på grund av att det möjliggör användningen av ett dubbelsidigt avlägg. Hypotesen kunde inte styrkas i analysen, vilket möjligtvis kan bero på att avlastning från skogskant endast skedde på två av de analyserade trakterna. Den tredje undersökta faktorn som inte bidrog till förklaringsgraden var, något överraskande, diameterspridningen. Diameterspridningen beskrevs med hjälp av standardavvikelsen. Det är möjligt att hypotesen; ”en stor diameterspridning har en negativ påverkan på prestationen” skulle besannats om denna hade beskrivits på något annat sätt. Den fjärde och sista hypotesen; ”trakter med en liten areal sänker prestationen” kunde delvis styrkas i studien då skördarnas prestation påverkades negativt av små trakter.

Naturligtvis finns en mängd ytterligare faktorer som kan tänkas påverka prestationen för skördare och skotare och som inte har tagits med i denna studie. En av dessa faktorer, som skulle vara intressant att undersöka i framtida studier, är hur traktplaneringen påverkar maskinernas, kanske framförallt skördarnas, prestation. En annan faktor som skulle kunna påverka skotarnas prestation är hur stor andel av transportavståndet som består av körning på basväg, till och från trakten, och hur stor andel av transportavståndet som består av körning under lastning, inom trakten.

De viktigaste slutsatserna från studien är följande:

- Medelstammen var den faktor som påverkade skördarnas prestation mest.
- Transportavstånd var den faktor som påverkade skotarnas prestation mest.
- Skotarnas prestation kunde förklaras med samma modell i både slutavverkning och gallring.
- Vidare utvärdering av modellerna krävs innan modellernas säkerhet kan anses vara tillfredställande.

5. Referenser

5.1. Publikationer

Berg, S. (1995). *Terrängtypsschema för skogsarbete*. Uppsala: Skogforsk. ISBN: 91-7614-035-0

Björheden, R. (2015). *Introduktion till svensk skogsteknik*. Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet.

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. DOI: 10.1080/14942119.2014.974309

Kärhä, K., Rönkkö, E. & Gumse, S.I. (2004). Productivity and Cutting Costs of Thinning Harvesters. *International Journal of Forest Engineering* 15(2), 43-56. DOI: 10.1080/14942119.2004.10702496

Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C. (2014). *Slutavverkning*. Jönköping: Skogsstyrelsen (Skogsskötselserien: 20) Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotsel-serien-20-slutavverkning.pdf> [2019-04-10]

McCambridge, J., Kypri, K. & Elbourne, D. (2014) In randomization we trust? There are overlooked problems in experimenting with people in behavioral intervention trials. *Journal of Clinical Epidemiology* 67, 247-253.

Purfürst, F.T. & Erler, J. (2011). The Human Influence on Productivity in Harvester Operations. *International Journal of Forest Engineering* 22(2), 15-22. DOI: 10.1080/14942119.2011.10702606

5.2. Internetdokument

AB Karl Hedin (2019). *Om oss*. Tillgänglig: <https://www.abkarlhedin.se/ravara/om-oss/> [2019-04-08]

Föreningen SKOGEN (2019). *Skogencyklopedin*. Tillgänglig: <https://www.skogen.se/glossary/grundtid> [2019-04-08]