



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Institutt for Naturforvaltning

Masteroppgave 2014
30/

RECO-kurs. En analyse av effekten på prestasjon og drivstofforbruk på hogstmaskiner og lassbærere

RECO-Course. An Analysis of the Effect on Performance and Fuelconsumption on Harvesters and Forwarders

Knut Waaler

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mine fem år som skogfagstudent. Som skogfagstudent har jeg studert ved Institutt for naturforvaltning (INA) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) på Ås.

Masteroppgaven er skrevet innenfor området driftsteknikk og logistikk. Jeg ble interessert med en gang jeg hørte om RECO oppgaven som Skogkurs la frem. Det var naturlig for meg å velge en oppgave innenfor dette emnet ettersom jeg hadde praktisk kompetanse på feltet fra før.

Det må rettes en stor takk til mine veiledere på INA, hovedveileder førsteamanuensis Jan Bjerketvedt for stor hjelp og konstruktive tilbakemeldinger og professor Olav Albert Høibø for helt uvurderlig statistikk hjelp. En stor takk må også rettes til Skogkurs, med prosjektkoordinator Eva Skagestad i spissen, for god rådgiving og økonomisk støtte til feltarbeidet.

Stangeskovene AS og Br. Haneborg AS skal ha takk for at de har stilt opp med kontorlokaler, hogstmoden skog og skogsmaskiner til disposisjon. Videre vil jeg takke skogsmaskinoperatørene for sin velvilje til å bli analysert og deres gode råd og faglige innspill underveis i skriveprosessen.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 9. mai 2014

Knut Waaler

Sammendrag

RECO-kurs er utviklet av svenske Skogforsk for å øke skogsmaskinoperatørenes kompetanse i rasjonell, drivstoffbesparende, økonomisk og effektiv avvirkning og utkjøring av tømmer.

Dette gjøres ved at det blir holdt et teorikurs inne dag en, dag to er det praktisk oppfølging av hver enkelt operatør i operatørens egen maskin.

Formålet med studien var å undersøke om skogsmaskinoperatørene øker sin prestasjon i kubikkmeter per time og om de reduserer sitt drivstofforbruk i liter per kubikkmeter etter gjennomført RECO-kurs.

Entreprenørfirmaet Br. Haneborg AS sa seg villig til at tre skogsmaskinlag kunne analyseres. Datamaterialet besto av analysert prestasjon og drivstofforbruk i seks måneder før RECO-kurs og sju måneder etter RECO-kurs. Forklaringsvariablene til responsen for hogstmaskinene var gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter og RECO-kurs. Forklaringsvariablene til responsen for lassbærerne var kjørelengde ved de fire deloperasjonene (kjørelengde tomkjøring, pålessing, lastet og avlessing), RECO-kurs, krantider ved av- og pålessing samt antall klør ved av- og pålessing. Det ble utført en multippel regresjonsanalyse i statistikkprogrammet SAS JMP pro 10. Modellene som forklarer responsen best er blitt fremstilt i oppgaven. Det ble laget en modell for hver maskin og for Samtlige hogstmaskiner og Samtlige lassbærere. Resultatene i denne studien viser at hogstmaskin 2 og Samtlige hogstmaskiner øker sin prestasjon signifikant samtidig som de reduserer drivstofforbruket signifikant etter RECO-kurs. Hogstmaskin 1 reduserer drivstofforbruket signifikant, men øker ikke prestasjon signifikant etter RECO-kurs. Hogstmaskin 3 forandrer ikke prestasjon eller drivstofforbruk signifikant etter RECO-kurs.

Lassbærer 1 og lassbærer 2 forandrer ikke prestasjon eller drivstofforbruk signifikant etter RECO-kurs. Lassbærer 3 reduserer prestasjonen og øker drivstofforbruket signifikant etter RECO-kurs. Samtlige lassbærere forandrer ikke prestasjon signifikant, men øker drivstofforbruket signifikant etter RECO-kurs. Hvorfor hogstmaskin 3 og lassbærer 3 ikke øker sin prestasjon vites ikke sikkert. Terrengforhold, skoglige forhold og værforhold, som denne analysen ikke kunne måle, kan være viktige forklaringsvariabler. Maskinlaget hadde ikke tillempet seg RECO-instruksjonen om å redusere arbeidsturtallet.

På bakgrunn av det gjeldende datasettet så øker prestasjonen signifikant samtidig som drivstofforbruket reduseres signifikant etter RECO-kurs for hogstmaskiner. For lassbærere blir prestasjonen ikke signifikant forandret, samtidig som drivstofforbruket øker signifikant etter RECO-kurs.

Abstract

RECO-courses are developed by Swedish Skogforsk (the Forestry Research Institute of Sweden) to increase forest machine operator's competence in rational efficient cost optimization of harvesting and forwarding of timber. On the first day, a theory course is held inside, while the next day operators receive practical advice and supervision in their own machine.

The aim of the study was to investigate whether the forest machine operators would increase their achievement in cubic meters per hour and reduce their fuel consumption in liters per cubic meter after completing RECO-courses.

The entrepreneurial company Br. Haneborg AS gave permission to analyse three forest machine teams. The data used consisted of analysing performance and fuel consumption six months before RECO-courses and seven months after. A multiple regression analysis where performed in the statistical program SAS JMP Pro 10. The models that explained the response in the best matter are obtained in this paper. Each machine has its own model.

The results of this study show that the harvester 2 and all of the harvesters increase their performance significantly while reducing fuel consumption significantly after RECO-courses. Harvester 1 reduces fuel consumption significantly, but does not increase performance significantly after RECO-courses. Harvester 3 does not alter performance or fuel consumption significantly after RECO-courses

Forwarder 1 and 2 does not alter performance or fuel consumption significantly after RECO-courses. Forwarder 3 reduces performance and increases fuel consumption significantly after RECO-courses. All of the forwarders do not alter the performance significantly, but increases the fuel consumption significantly after RECO-courses.

Why harvester 3 and forwarder 3 do not increase their achievement is not known for sure. Terrain and forest conditions that this analysis could not measure may be an important explanatory variable. The machine team did not take into notion the RECO-instruction to reduce the working speed.

Based on the current data set the performance increases and fuel consumption decreases after RECO-courses for harvester. For forwarder the performance remain unchanged, while the fuel consumption increases after RECO-courses.

Innholdsfortegnelse

1.0 Innledning	1
1.1 Historie	1
1.2 Bakgrunn	2
1.3 Samarbeidspartnere	4
1.3.1 Skogkurs	4
1.3.2 Brødrene Haneborg AS	4
1.4 Problemstilling.....	5
2.0 Teori.....	6
2.1 Rational Efficient Cost Optimization	11
2.2 Maskinene.....	13
3.0 Materiale og metode.....	15
3.1 Studieområdet.....	15
3.2 Feltdata	16
3.3 Utstyret	16
3.4 Datainnsamling.....	17
3.6 Justering av datasettene	17
3.5 Analyse av forklaringsvariablene	18
3.5.1 Hogstmaskiner	19
3.5.2 Lassbærere.....	21
3.7 Statistisk analyse.....	26
3.8 Vurdering av modellene	27
4.0 Resultater	28
4.1 Hogstmaskiner	28
4.1.1 Hogstmaskin 1	29
4.1.2 Hogstmaskin 2	31
4.1.3 Hogstmaskin 3	33
4.1.4 Samtlige hogstmaskiner	35
4.2 Lassbærere	38
4.2.1 Lassbærer 1	39
4.2.2 Lassbærer 2	41
4.2.3 Lassbærer 3	43
4.2.4 Samtlige lassbærere.....	45

5.0 Diskusjon.....	49
5.1 Oppsummering av resultatene	49
5.1.1 Hogstmaskiner	49
5.1.2 Lassbærere	51
5.2 Menneskelige faktorer	54
5.3 Datamaterialet.....	55
5.4 Forslag til forbedring av datainnsamling.....	56
5.5 Modellene	58
5.5.1 Modell hogstmaskiner.....	58
5.5.2 Modell lassbærere	60
5.6 Sammenlikning.....	62
5.7 Flere muligheter.....	66
6.0 Konklusjon.....	68
7.0 Litteraturliste.....	69

1.0 Innledning

1.1 Historie

Skogbruket i Norge har tradisjoner tilbake til siste istid. Brensel, våpen og hus var noen av tingene skogen ble benyttet til. Eksporten av trelast til Europa startet på 1300-tallet. Eksporten dannet grunnlaget for storstilt skogbruksaktivitet i Norge. Det norske behovet for tømmer økte da jernverkene vokste frem på 1500-tallet (Hoen & Svendsrud). På 1840-tallet kom de første sirkelsagene til landet. Samtidig vokste høvelindustrien frem, og litt senere i 1866 ble Bentse Brug i Oslo bygget. Bentse Brug var det første tresliperiet. Den økte utnyttingsgraden av tømmeret gav en høyere tømmerpris til skogeieren (Hoen & Svendsrud).

Øks, barkespade og svans var redskapen skogsarbeidene brukte frem til 1950-tallet. Da startet mekaniseringen av det norske skogbruket ved at motorsagene gjorde sin entré. Motorsagen ble i første omgang brukt til å felle og kappe tømmer med fordi den var så tung. Det ble brukt hest og tømmerfløting for å frakte tømmeret til industrien frem til 1950-1960 årene, da landbrukstraktoren tok over mer av utkjøringen. Rundt 1970 begynte skogsbilveier og jernbane å ta over langdistansetransporten fra fløtningen (Furuberg Gjeditjernet & Bjerketvedt 2003). På 1970-tallet ble det bygget cirka 1 000 kilometer med ny skogsbilvei i året (Regjeringen 2012). Landbrukstraktorene ble etter hvert byttet ut med mer spesialbygde maskiner tilpasset for skogbruk. Stammelunneren er en slik spesialbygd maskin. De var effektive maskiner utstyrt med like store hjul, midjestyling og vinsj. Lastetraktoren kom til Norge omkring 1970 og tok over mer av terrengtransporten fra stammelunneren. Fra 1970 til 1980-tallet var helmekaniseringen av skogbruket i full gang (Furuberg Gjeditjernet & Bjerketvedt 2003). Hogstmaskinenes inntog effektiviserte driftsteknikken betraktelig. Mekaniseringen endret arbeidsstrukturen i skogbruket fra mange manuelle arbeidere styrt av skogeieren til få skogsmaskinentreprenører som leier ut sine tjenester (Hoen & Svendsrud).

Maskinkonseptet som har slått til best i Norge er hogstmaskin og lassbærer, som er basert på sortimentsmetoden. Det vil si at tømmeret blir kvistet og kappet etter ønskede lengder, diameter og kvalitet i skogen. En grunn til det er at sagbrukene og treforedlingen ikke ligger på samme tomt. Skogsmaskinene har utviklet seg mye fra 1980 frem til 2014 når det gjelder hydraulikk, elektrisk styring, kranggeometri, kraft og kraftoverføring (Vennesland et al.

2006a). Sylinderteknikken har blitt mer krafteffektiv. Det gjør kranene på maskinene enda sterkere. I nye skogsmaskiner blir all hydraulikken elektrisk styrt ved at et utslag på styrespaken gir et strømsignal til sleiden i hydraulikksentralen som styrer oljestrømmen til sylindrerne. Krangeometrien har utviklet seg slik at kranstikken og kranbommen harmonerer bedre med hverandre. Lengre utskyt (teleskopisk forlengelse av kranarmen) øker effektiviteten ettersom det er en raskere funksjon enn løftefunksjonen, og gjør kranen mer kompakt og fleksibel. Motorene har blitt sterkere samtidig som de har redusert utslippene i tråd med dagens utslippskrav som per 2012 var EU stage IIIA (John Deere Forestry). Kraftoverføringen har blitt bedre og mer energieffektiv samtidig har boggikassene blitt sentrert. Dette har økt terrengegenskapene til skogsmaskinene (John Deere Forestry). Maskinene har blitt så effektive at det er skogsmaskinoperatøren som er den begrensende faktoren per i dag (Haneborg, K. 2014).

1.2 Bakgrunn

I Norge står det 788 millioner kubikkmeter tømmer i den produktive skogen og tilveksten er på 23,1 millioner kubikkmeter årlig (SSB 2012a). For å kunne avvirke tømmeret på mest effektiv måte må skogsmaskinoperatøren ha grundig kjennskap til driftsteknikk.

En definisjon på driftsteknikk er:

"Skogbrukets driftsteknikk er vitenskapen om skogsarbeid i videste forstand.

Den omhandler all arbeidende virksomhet i skogene, etablering av ny skog, inkludert skogkultur, gjenvekspleie, tynning og foryngelseshogster" (Furuberg Gjerdtnet &

Bjerketvedt 2003). Det ble solgt cirka 8,9 millioner kubikkmeter til industrien i 2012 (SSB 2012b). Avvirkningsnivået har holdt seg relativt stabilt på mellom sju og ni millioner

kubikkmeter siden 1920-tallet, mens gjennomsnittsprisen til skogeieren har halvert seg per kubikkmeter fra 1980 til 2012 (SSB 2012b). Dette har ført til at skogeieren sin rotnetto

(bruttoinntekt fratrukket driftspris) og driftsprisene til entreprenøren har sunket betraktelig.

Lavere driftspriser til entreprenøren har blitt kompensert med at maskinene har utviklet seg til

å bli mer effektive (Haneborg, K. 2014). Det er et uttrykt mål at regjeringen vil *"møte*

eventuell økt etterspørsel etter råstoff fra skogen ved å legge til rette for økt bærekraftig

avvirkning og uttak av skogbiomasse" (Regjeringen 2012). For å øke den bærekraftige

avvirkningen må drivstofforbruket per kubikkmeter reduseres for å senke

karbondioksidutslippene.

Brunberg (2010) viser at effektivitetsutviklingen har begynt å bremse opp i seinere tid. Kubikkmeter avvirket per dagsverk i hele det svenske skogbruket har steget jevnt fra cirka 3 kubikkmeter per dagsverk i 1960 til cirka 26 kubikkmeter per dagsverk i 2007. Fra 2007 til 2010 har effektiviteten sunket til cirka 24 kubikkmeter per dagsverk. Årsaken til effektivitetsnedgangen har Brunberg (2010) ikke noe konkret svar på. At effektivitetsutviklingen har begynt å bremse opp har ført til at maskinoperatørene må utvikle seg mer for å kunne kutte kostnader og øke overskuddet. Skogsmaskinentreprenører arbeider i en veldig presset bransje der høy prestasjon og kostnadskontroll er viktig for å kunne tjene penger. Spesielt i tider med lavkonjunkturer er det viktig å ha god økonomistyring og dyktige medarbeidere. Kostnadene med å drifte en hogstmaskin og en lassbærer ett år fordeler seg på faste og variable kostnader. De faste kostnadene en entreprenør har ved å drifte et skogsmaskinlag er: renter og avskrivninger, forsikring, kontorlokaler og verksted, og lønnskostnader. De variable kostnadene en entreprenør har ved å drive et skogsmaskinlag er: vedlikehold og reparasjonskostnader, drivstoff og oljekostnader, dekk og kjettingkostnader, sverd og kjedekostnader, og maskinflytting. De fleste av disse kostnadene har steget, men prestasjonsøkningen har vært høyere (Vennesland et al. 2006a). I 1990 var gjennomsnittlig driftskostnad for hogst og framkjøring på 139 kroner per kubikkmeter. I 2003 var den gjennomsnittlige driftskostnaden redusert med 30 kroner til 109 kroner per kubikkmeter (Rognstad 2011).

Den trebaserte fastlandsindustrien i Norge er avhengig av billigere råstoff for å kunne hevde seg i konkurransen med trebasert industri fra konkurrerende land. Det har vært en dyster utvikling hos de masseutnyttende aktørene. Norske Skog Union i Skien ble lagt ned i 2006. Peterson Paper i Moss og Norske Skog Follum ble nedlagt i 2012. Södra Cell Tofte ble nedlagt i 2013 (Norsk Skogbruk 2013). *"høy kronekurs i kombinasjon med små marginer på trykkepapir gav magre resultater for Norske Skog. I tillegg kom utfordringen fra Internett og nye medievaner for et selskap som fra å ha en diversifisert portefølje har satset alt på avis- og magasinpapir"* (Gulbrandsen 2011).

Norsk trelastindustri sliter i konkurranse med utenlandske sagbruk. Svensk og europeisk trelastindustri har en høyere betalingsvillighet enn de norske sagbrukene. Det resulterer i lite tømmer til de norske sagbrukene, som gjør det vanskeligere å produsere optimalt. Dette er et tegn på at hele skognæringen trenger å rasjonalisere for å være konkurransedyktige.

Å få trærne til å vokse hurtigere er ingen lett oppgave. Dagens planteforedling gir en økt tømmerproduksjon på 13 prosent, men det er først i neste omløp (Skog og Landskap 2014), det er dermed ingen rask måte å få billigere råstoff på. Ungskogpleie og tynningsinngrep gir en raskere enkelttretilvekst og reduserte avvirkningskostnader (Makinen & Isomaki 2004). Ved å utnytte stordriftsfordeler i større grad vil driftskostnadene kunne reduseres, dermed er det en metode for å senke råstoffkostnaden. Det vil si at ved hjelp av god planlegging blir store områder tilrettelagt for avvirkning samtidig på en rasjonell måte. En annen måte å skaffe billig råstoff på er å effektivisere hogst og framkjøring av tømmer. Skogkurs har i samarbeid med Skogforsk i Sverige utviklet kurs i Rational Efficient Cost Optimization (RECO) som kan oversettes til norsk som kurs i rasjonell, effektiv og kostnadsoptimerende arbeid. RECO-kurset er utviklet for å øke prestasjonen og redusere drivstofforbruket til skogsmaskinoperatører. Med prestasjon menes resultatet av en virksomhet. Det er oppnådd resultat i løpet av en produksjonsperiode. Prestasjon er innsatsen med tapstid, og er derfor lavere enn produktivitet som måles uten tapstider (Gjedtjernet 1989).

1.3 Samarbeidspartnere

1.3.1 Skogkurs

Skogkurs er oppdragsgiveren for denne oppgaven. *"Skogkurs er en medlemsorganisasjon som har til formål å være et landsdekkende service- og kompetansesenter for næringsutvikling, forvaltning og bruk av skog- og andre arealressurser"* (Skogkurs 2011). Skogkurs startet prosjektet «Nasjonalt kompetanseløft for skogbrukets arbeidskraft» i 2010. Hensikten med prosjektet er: *"å kunne tilby målgruppene et helhetlig, oppdatert og nyttig kurstilbud over hele landet"* (Skogkurs 2011). I 2011 etablerte Skogkurs RECO-kurset i Norge etter avtale med Skogforsk i Sverige. Det er Terje Stubberud og Ole Bertil Reistad som er de norske instruktørene (Skogkurs 2011). Kontaktpersonen hos Skogkurs er prosjektkoordinator Eva Skagestad. Skogkurs har bidratt til denne oppgaven i form av økonomisk støtte i feltarbeidet. De har også betalt RECO-kurset for operatørene til Br. Haneborg AS samt undertegnede.

1.3.2 Brødrene Haneborg AS

Skogsmaskinentreprenørfirmaet Brødrene Haneborg AS sa seg villige til å være med på denne prestasjon og drivstofforbruksanalysen. De stiller maskiner og mannskap til disposisjon. Brødrene Haneborg AS har skogsdrift og transport som forretningsområde. Firmaet som har kontor og verksted på Lierfoss i Aurskog-Høland ble stiftet i 2010, og bygger på Per og

Morten Haneborg ANS og Tynning og Hogst v/ Knut Haneborg. Firmaet har over 35 års erfaring med skogsdrift. Oppdragene er konsentrert på Østlandet, men de har også erfaring fra andre landsdeler og andre land. Brødrene Haneborg har 12 ansatte i fast stilling med hovedtyngden av virksomheten i tynning, hogst og utkjøring av tømmer. I tillegg til skogsdrift er spesialtransport for entreprenører og massetransport et annet virksomhetsområde. Maskinparken består for det meste av hogstmaskiner og lassbærere fra John Deere. De har også en stikkveisgående tynningsmaskin av typen Rottne H11 (Haneborg u.å). Undertegnede har arbeidet som lassbæreroperatør for Br. Haneborg AS. Hogstmaskin har undertegnede kun prøvekjørt, men innehar teoretisk kunnskap om hogstmaskinen og dens virkemåte.

1.4 Problemstilling

Skogsmaskinoperatører vil bli studert før og etter RECO-kurs. Dette vil bli gjort for tre hogstmaskiner og tre lassbærere hver for seg.

Formålet med studien er å undersøke om skogsmaskinoperatørene øker sin prestasjon i kubikkmeter per time og om de reduserer sitt drivstofforbruk i liter per kubikkmeter etter gjennomført RECO-kurs. Problemstillingen består av to delmål for å lette hypotesetestingen.

- Delmål 1. er å validere om RECO-kurs øker prestasjonen i kubikkmeter per time til skogsmaskinoperatørene signifikant på et 5% nivå (P-verdi $<0,05$).
- Delmål 2. er å validere om RECO-kurs reduserer drivstofforbruket i liter per kubikkmeter til skogsmaskinentreprenørene signifikant på et 5% nivå (P-verdi $<0,05$)

Hypotesetesting

H0: Det er ikke signifikant forskjell på et 5% nivå (P-verdi $<0,05$) før og etter RECO-kurs.

H1: Det er signifikant forskjell på et 5% nivå (P-verdi $<0,05$) før og etter RECO-kurs

2.0 Teori

Avvirkningsformene som blir foretatt under studieperioden er tynning, flatehogst og frøtrestillingshogst.

Tynning

Tynning er "*å fristille antall av de beste trærne av de beste treslagene jevnest mulig fordelt over arealet*" (Heje & Nygaard 2000). Ved et tynningsinngrep blir mellom 20-50 prosent av grunnflaten fjernet og dermed blir ressursene styrt til de ønskede fremtidstrærne som i utgangspunktet har god kvalitet. Tynningen gir redusert bestandstilvekst, men økt enkelttretilvekst (Peltola et al. 2007). Tynning er den første muligheten til økonomisk avkastning fra bestandet. En tynning som bærer seg økonomisk øker nåverdien av bestandet. Fritynning er den tynningsmetoden som er vanligst å gjøre i Norge. Fritynning er å sette igjen de mest livskraftige trærne med en jevn spredning uavhengig av forskjellige høyder (Børset 1986). Nesten all tynning i Norge utføres ved hjelp av hogstmaskin og lassbærer. Den vanligste metoden for tynning er stikkveisbasert fritynning. Der tynner hogstmaskinen bestandet så langt kranen rekker ut fra stikkveien, som er cirka 11 meter. Stikkveiene blir da liggende med cirka 20-22 meters mellomrom. Et annet tynningskonsept er bestandsgående tynning. Tynningen blir gjennomført med en bestandsgående hogstmaskin som har to egne kjøreveier mellom hver stikkvei som lassbæreren bruker. Her kan bredden mellom hver stikkvei komme opp i 35 meter. Bruk av bestandsgående tynningmaskiner er vanligst i tidlige tynninger (Haneborg, O. 2014).

Flatehogst

Flatehogst er en foryngelsesmetode der kun livsløptrær settes igjen. Det er vanlig å plante etter en flatehogst. Flatehogst er mest vanlig i gran (*Picea abies*) (Solbraa 2001).

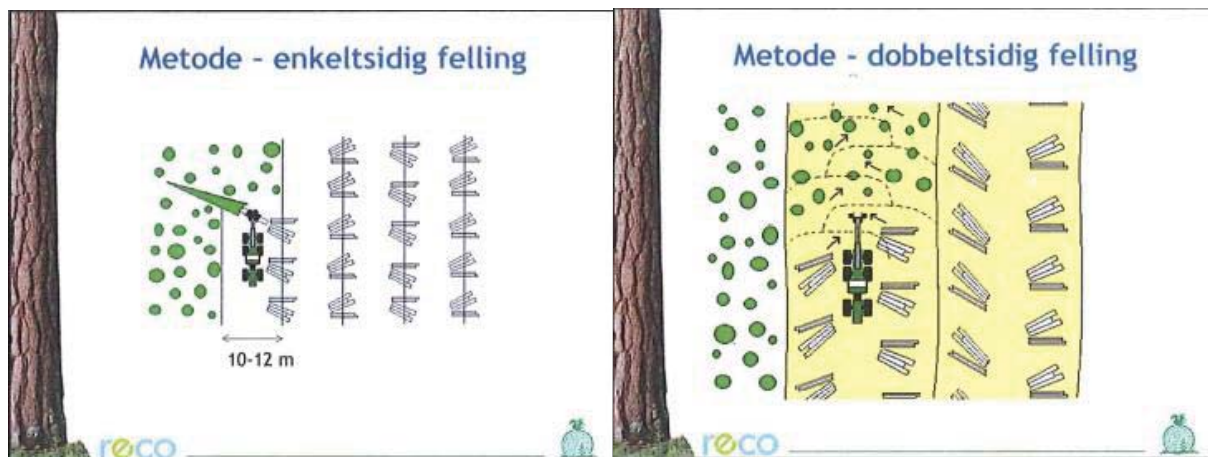
Frøtrestillingshogst

Frøtrestillingshogst er en foryngelsesmetode der det er vanlig å sette igjen mellom 4 og 15 trær per dekar. Dette blir gjort for å sikre god foryngelse. Frøtrestillingshogst blir foretrukket i furu (*Pinus sylvestris*). Frøtrærne kan settes igjen spredt utover eller i grupper. Utenom dette skiller ikke frøtrestillingshogst seg så mye fra flatehogst.

I 2007 ble 91 prosent av avvirket volum handtert med skogsmaskiner (Rognstad 2011)

Dagens skogsmaskiner består av en engreps hogstmaskin og en lassbærer. Se Figur 3 og Figur 4. All avvirkning starter med planlegging av avvirkningen. Planleggeren bringer på det rene hvor avvirkningsplassen er. Fakta om skogen som planleggeren bør innhente og overbringe hogstmaskinoperatøren er blant annet hvilket arealet som skal avvirket, avvirkningsmetode, treslagsfordeling, antatt volum, lunneplass og antall sortimenter. Miljøinformasjon som er påkrevd skal innhentes fra forskjellige databaser. Plankart som skal ut til hogstmaskinen bør blant annet inneholde hvilke bestand som skal avvirket med påtegnede streker hvor eiendomsgrensene og basveien går, hvor lunneplassen er planlagt, alle miljøhensyn og kabler i luft og jord. Dette er viktige momenter som må være med. Når hogstmaskinoperatøren har fått all informasjonen kan avvirkningen utføres mer effektivt uten å gjøre kostbare feil eller ha kostbar tapstid.

Prestasjonen til hogstmaskinen er i størst grad styrt av gjennomsnittlig trestørrelse. Andre faktorer som påvirker prestasjonen er treantall per dekar, andel undervegetasjon, terrengvanskeligheter, bæreevnen til marken og aptering. Hvilken fellemetode hogstmaskinoperatøren bruker kommer an på hva den enkelte operatøren føler seg bekvem med. Det er tre hovedmetoder for felling som blir brukt. Se Figur 1. En metode er enkeltsidig felling. Tømmeret blir konsekvent lagt til en side med unntak av de mindre sortimentene som blir lagt på andre siden av sorteringshensyn. Enkeltsidig felling gir store virkeshauger. Med denne metoden bør ikke bredden på arbeidsområdet være bredere enn 10-12 meter. Enkeltsidig felling er en foretrukket metode der treantallet per dekar er høyt og skogen er homogen. Dobbeltsidig felling er en metode der tømmeret blir lagt til begge sider av hogstmaskinen. Arbeidsområdet ved denne metoden kan komme opp i 20 meter. Dobbeltsidig felling er foretrukket i mer glissen skog med større treslagsblanding for å ha bedre plass til å sortere virkeshaugene. Den tredje metoden er GROT- tilpasset avvirkning. GROT er en forkortelse for greiner og topp. GROT kan brukes som bioenergi. Hvis det er planlagt uttak av GROT etter hogst, er det vanlig at virkeshaugene blir lagt langs kjøreretningen på begge sider av maskinen. Da blir GROT-haugen liggende foran virkeshaugen uten å bli kjørt i av lassbæreren. Det er ingen illustrasjoner av GROT-hogst ettersom den fellemetoden ikke har blitt benyttet i analyseperioden.



Figur 1: Hogstmetode for enkeltsidig og dobbeltsidig felling med hogstmaskin (Stubberud 2013)

Hogstmaskinoperatøren tilstreber å legge opp avvirkningen slik at lassbærerkjøringen blir så kort og effektiv som mulig. Dette er en vanskelig oppgave uten god planlegging.

Lassbæreren kommer til avvirkningsområdet etter at hogstmaskinen har startet avvirkningen og er dermed underlagt planleggingen og utføringen til hogstmaskinoperatøren. Prestasjonen til lassbæreren er avhengig av faktorer som lengden på basveien fra lunneplass til avvirkningsområdet, hvordan terrenget er utformet og bæreevnen til marka. Andre faktorer som påvirker lassbærerens prestasjon i tillegg til dette er lengden og utformingen på stikkveiene og kubikkmeter per dekar. At hogstmaskinen har lagt opp virkeshaugene bra har størst betydning i massevirkehaugene. Årsaken til det er at det tar lengst tid å laste massevirke. For sagtømmer er det mindre viktig at virkeshaugene ligger bra. Antall sortiment er en faktor som har betydning for prestasjonen til lassbæreren både i forhold til sortering på lasset og at flere sortiment krever en større lunneplass og mer kjøring på lunneplassen (Haneborg, O. 2014).

Figur 2 viser hvordan et avvirkningsområde kan se ut. På dette avvirkningsområdet har benyttet fellemetode vært enkeltsidig felling. Hindringer i dette området er en traktorvei midt i avvirkningsområdet og en bekk som renner igjennom området. Hogstmaskinen har orientert retningen på stikkvegene mot lunneplassen. Den vanlige praksisen til lassbæreren er å kjøre det mest verdifulle virke først. Årsaken til det er at stokker med virkesfeil lettere kan sorteres ut og ned en kvalitetsklasse. Det er forskjellig praksis om sortimenter samlastes (flere sortimenter i samme lass) eller om det blir kjørt lass med kun ett sortiment av gangen.



Figur 2: Eksempelbilde fra et avvirkningsområde. A betyr avlegg (Stubberud 2013).

For å kunne kutte kostnader er det viktig å være oppmerksom på dieselforbruket til skogsmaskinene. Ifølge Vennesland et al. (2013) så har en hogstmaskin en timekostnad på cirka 1060 kroner per time hvis den brukes i 2000 timer i året. Driftskostnaden blir 62 kroner per kubikkmeter med en prestasjon på 17 kubikkmeter i timen. Vennesland et al. (2013) fant at drivstofforbruket for en hogstmaskin utgjorde 8 prosent av timekostnaden. Timekostnaden for en lassbærer er på cirka 770 kroner per time hvis den brukes i 2000 timer i året. Driftskostnaden blir cirka 54 kroner per kubikkmeter med en prestasjon på 14,3 kubikkmeter per time. Drivstoffkostnaden utgjorde 9 prosent av timekostnaden hos lassbærer ifølge Vennesland et al. (2013).

Brunberg (2006) hevder at dieselskostnaden utgjør 10-15 prosent av skogsmaskinens timekostnad i Sverige. Hvis den historiske prisutviklingen fortsetter, vil drivstoffkostnaden utgjøre en større del av skogsmaskinens timekostnad i fremtiden enn det den gjør i dag. Brunberg (2006) viser at fra 1990 til 2005 steg dieselpriisen fra cirka 3 svenske kroner per liter

til cirka 9 svenske kroner per liter. Resultatene fra Brunberg (2006) sine undersøkelser viser at det som hadde mest å si for drivstofforbruket per time var motoreffekten og størrelsen på maskinen. Lassbæreren hadde et lavere drivstofforbruk per time enn hogstmaskinen. Grunnen til dette er at lassbæreren har et lavere arbeidsturtall enn hogstmaskinen. Lassbærere uten kjettinger og belter hadde lavest drivstofforbruk per time, mens lassbærere med fire belter hadde høyest dieselforbruk per time. Selv om lassbærere uten kjettinger og belter hadde lavest drivstofforbruk per time vil ikke det si at det er det alternativet som er mest optimalt. I Norge er det variert topografi med mye bæresvak mark og krevende terreng. En lassbærer uten kjettinger og belter vil ha større vanskeligheter med å forsere slike områder. Hvis en lassbærer unngår å kjøre seg fast ved hjelp av bedre hjulutrustning vil det spare operatøren for bergingskostnader og uproduktiv tid. I tillegg reduserer kjettinger og belter slitasjen på dekkene betraktelig.

Det er imidlertid dieselforbruk per kubikkmeter som er den interessante måleenheten i denne sammenhengen, ettersom entreprenøren får betalt per kubikkmeter tømmer avvirket og framkjørt. Ved målingen av dieselforbruk per kubikkmeter fant Brunberg (2006) at hogstmaskinen brukte 0,79 liter per kubikkmeter mens lassbæreren brukte 0,65 liter per kubikkmeter. Det vil si at hogstmaskinen forbrukte cirka 22 prosent mer diesel per kubikkmeter enn lassbæreren ved foryngelseshogst.

Brunberg (2004) utarbeidet en ny produktivitetsnorm for lassbærere. Produktivitetsnormen la vekt på produktivitetspåvirkende faktorer for lassbærere, som er terminaltid (pålessing og avlessing samt kjøring under pålessing), kjøretid (kjøring til og fra hogstfeltet), sortimentstid (tid korrelert med sortimentfordeling), sorteringstid (ekstra tid med flere sortimenter), og øvrig tid (stempling av tømmer). Som vist i Tabell 1 påvirkes prestasjonen til en mellomstor lassbærer (12,9 kubikkmeter lasteevne) mye av driftsveglengde.

Tabell 1: Tabellen viser et eksempel på produktivitet for en mellomstor lassbærer i kubikkmeter per G15-timer Tabellen er hentet fra (Brunberg 2004)

Enkel transportavstand i meter	100	300	500	700
Flatehogst	26.4	21.0	17.4	14.9
Tynning	14.8	12.6	11.0	9.7

2.1 Rational Efficient Cost Optimization

Rational Efficient Cost Optimization (RECO) er et kurs rettet mot skogsmaskinoperatører i rasjonell, drivstoffbesparende, økonomisk og effektiv avvirkning av tømmer (Mörk u.å). Det er Skogforsk i Sverige med Anders Mörk i spissen som har utviklet RECO-kurset for å øke prestasjonen og redusere drivstofforbruket hos skogsmaskinoperatørene. Skogforsk er det svenske skogbrukets forskningsinstitutt som er finansiert av skognæringen og staten (Skogforsk u.å). Opplæring av maskinoperatører startet i Sverige i 2007. I 2012 hadde over 900 svenske skogsmaskinoperatører gjennomgått RECO-kurs (Skogforsk u.å). I Norge startet opplæringen av entreprenører i 2011 (Skogkurs u.å).

Kurset består av en dag med teorikurs inne, der instruktøren går igjennom maskininnstillinger, drivstofføkonomi, avvirkningsplanlegging, arbeidsmetodikk i ulike typer avvirkning, kjøreteknikk med vekt på å finne "flyten" i kranbevegelsene og kjøringen, og kommunikasjon i maskinlaget (Skogkurs u.å). Dag to går ut på at instruktøren blir med maskinoperatøren i operatørens egen maskin. Der ser de på maskininnstillinger, kraninnstillinger, planlegging og kjøre/hogstmetode. Maskininnstillinger går ut på å senke arbeidsturtallet og gjøre midjestyringen mykere. Kraninnstillinger går konkret ut på innstillinger av følsomheten til kranspaken og hvor følsom operatøren vil at kranen skal være.

Planlegging går ut på å se hogsten fra et fugleperspektiv. Da kan en lettere ta beslutning om i hvilken rekkefølge en vil avvirke bestandet. Hogstmetode går ut på å ha minst mulig kranbevegelser, øke prosesstiden (all tid aggregatet opparbeider tømmer. Økt prosesstid øker prestasjonen) samt legge til rette for lassbæreren. Kjøremetode går ut på i hvilken rekkefølge tømmeret blir utkjørt, samlasting, opplegg på lunneplass, minimere kranbevegelsene, bruke utskytfunksjonen mer og minimere antall løft. Noen måneder etter kurset kommer instruktøren igjen på en oppfølgingsdag. På oppfølgingsdagen ser instruktøren og operatøren sammen på hvordan avvirkningen/kjøringen er og om operatøren har utviklet seg i riktig retning, eller falt tilbake i gammelt kjøremønster (Skogkurs u.å).

Skogforsk gjennomførte en studie i 2007 der de så på besparingspotensial med drivstofføkonomisk lassbærerkjøring. Forsøket ble utformet ved at de anla en fast bane på 600 meter der det lå bestemte tømmerstokker på bestemte plasser. Det var to erfarne lassbæreroperatører som skulle kjøre tre runder. På runde en skulle de kjøre slik de vanligvis gjorde. Runden ble tidsstudert, filmet og dieselforbruket ble målt. Operatørene ble lært opp i

drivstofføkonomisk kjøring og fikk råd i kjøremetodikk. Særskilte arbeidsoppgaver operatørene skulle fokusere på var at de

1. Skulle bruke kranens utskytfunksjon i større grad istedenfor løft og vipparmfunksjonen. Utskytfunksjonen er raskere enn løft og vipparmfunksjonen.
2. Ikke slippe grepet om virket som ble lastet på før kranen skal brukes igjen ved neste virkeshaug. Da slipper en å løfte kranen, for så å sette den ned på lasset igjen.
3. Ikke løfte virke samtidig som en kjører fremover, ettersom dette krever et høyt effektbehov og gir et høyt drivstofforbruk.

Operatørene fikk øve på dette noen timer før runde nummer to, som også ble filmet og tidsstudert. Før runde tre ble maskinens turtall senket fra operatørenes egne innstillinger, som var på 1200 omdreininger, til 1100 omdreininger. Kranfunksjonene ble tilpasset til operatørene slik at kranbevegelsene ble mer direktestyrt. Akselerasjon og innbremsingen av kranbevegelsene ble justert slik at bevegelsene ble mjukere. Resultatet, vist i Tabell 2 ble at operatørene i gjennomsnitt sparte seks prosent diesel og økte prestasjonen med sju prosent. (Jönsson & Löfroth 2007)

Tabell 2: Lassbærer. Resultat for de tre testrundene. Etter (Jönsson & Löfroth 2007)

Forklaring	Operatør 1			Operatør 2		
	Kjøring 1	Kjøring 2	Kjøring 3	Kjøring 1	Kjøring 2*	Kjøring 3
Rundetid, min	21.5	21.3	21.2	22.1	22.1	19.6
Drivstofforbruk per rundetid, liter	5.51	5.12	4.83	5.22	5.31	5.07
Drivstofforbruk, liter per m ³	0.324	0.301	0.284	0.307	0.312	0.298
Prestasjonsøkning, % kjøring 1 sammenliknet med kjøring 3			2			11
Drivstoffreduksjon, % kjøring 1 sammenliknet med kjøring 3			12			3

* i kjøring 2 kjørte fører 2 feil i en sving og måtte kjøre tilbake.

I en annen studie som Thorsén (2010) gjennomførte i regi av Skogforsk ble prestasjonen og dieselforbruket registrert i fire måneder før og fire måneder etter operatørene fikk kurs i RECO for avvirkning og utkjøring. For hogstmaskinen var utdanningseffekten relativt liten med bare én prosent økt prestasjon. For lassbæreren ble prestasjonen økt med sju prosent og dieselforbruket sank tilsvarende.

2.2 Maskinene

John Deere er en verdenskjent maskinleverandør som produserer alt innen hagemaskiner, landbruksmaskiner og skogsmaskiner. John Deere er et nordamerikansk selskap som ble grunnlagt i 1837. Skogdelen av selskapet ble startet i 1965 med stammelunnere (John Deere 2014). John Deere hadde ikke konvensjonelle hogstmaskiner og lassbærere i sin produktportefølje før i år 2000 da de kjøpte Timberjack fra finske Metso Corporation. Timberjack er basert på gamle kjente merker i skogbruket som Kockums, ÖSA, Bruun Systems AS og LOKOMO (John Deere). John Deere produserer hogstmaskiner og lassbærere fra stikkveisgående tynningsmaskiner til store maskiner som kun går i grov sluttavvirkning. John Deere sin nyeste modell er E-serien som ble lansert i 2009. En av de store fremskrittene ved denne serien var at førerhuset følger kranen og nivellerer seg automatisk. I den nye serien er det Microsoft Windows baserte datamaskiner som måler de fleste faktorene som operatøren trenger å vite for å analysere prestasjon og drivstofforbruk.



Figur 3: John Deere 1070 E hogstmaskin. Bildet er hentet fra: www.cableprice.co.nz

Figur 3. viser en engreps hogstmaskin fra John Deere. Engreps hogstmaskiner er ledende når det gjelder avvirkning i Norge. At maskinen er engreps betyr at den feller, kvister og kapper med samme aggregat. Aggregatet består av et sverd og en sagmotor som brukes til felling og kapping av tømmeret. For å kviste tømmeret er aggregatet utstyrt med kvistekniver som

omslutter tømmerstokken. Aggregatet blir drevet fremover langs stokken av matevalsene, som er taggete hjul som drar tømmeret i gjennom aggregatet. Som ekstraustyr på aggregatet kan en få flertrehåndteringssystem. Flertrehåndtering vil si at aggregatet klyper fast og holder stammen loddrett etter treet er skåret fra stubben. Aggregatet holder treet fast så det er mulighet for å akkumulere flere trær før en kvister og kapper. Dette øker effektiviteten i bestand med mange understandere (John Deere Forestry). Innkjøpsprisen på en hogstmaskin lik en John Deere 1170 E ligger på rundt 3,8 millioner kroner i følge Vennesland et al. (2013). Noen av de viktigste tekniske spesifikasjonene til en John Deere 1170 E vises i Tabell 3.



Figur 4: John Deere 1210 E Lassbærer. Bildet er hentet fra: (John Deere)

E-serien til John Deere vises i Figur 4. Den største forandringen med den nye serien er at førerhuset følger kranen og nivellerer seg automatisk. Hytten svinger 310 grader slik at operatøren til enhver tid skal ha oversikt rundt hytten uten å vri for mye på nakken. Førerhuset på hogstmaskinen og lassbæreren er like, med lik datakapasitet. Det er kun små forskjeller vedrørende knapper og funksjoner. Nytt er også at lassbæreren har det mer innovative styresystemet TimberMatic F-09 som tilrettelegger at lassbæreroperatøren enklere kan overvåke prestasjon og dieselforbruk (John Deere Forestry). Innkjøpsprisen på en lassbærer lik en John Deere 1010 E er på rundt 2,8 millioner kroner ifølge Vennesland et al. (2013). Noen av de tekniske spesifikasjonene til en John Deere 1010 E vises i Tabell 4.

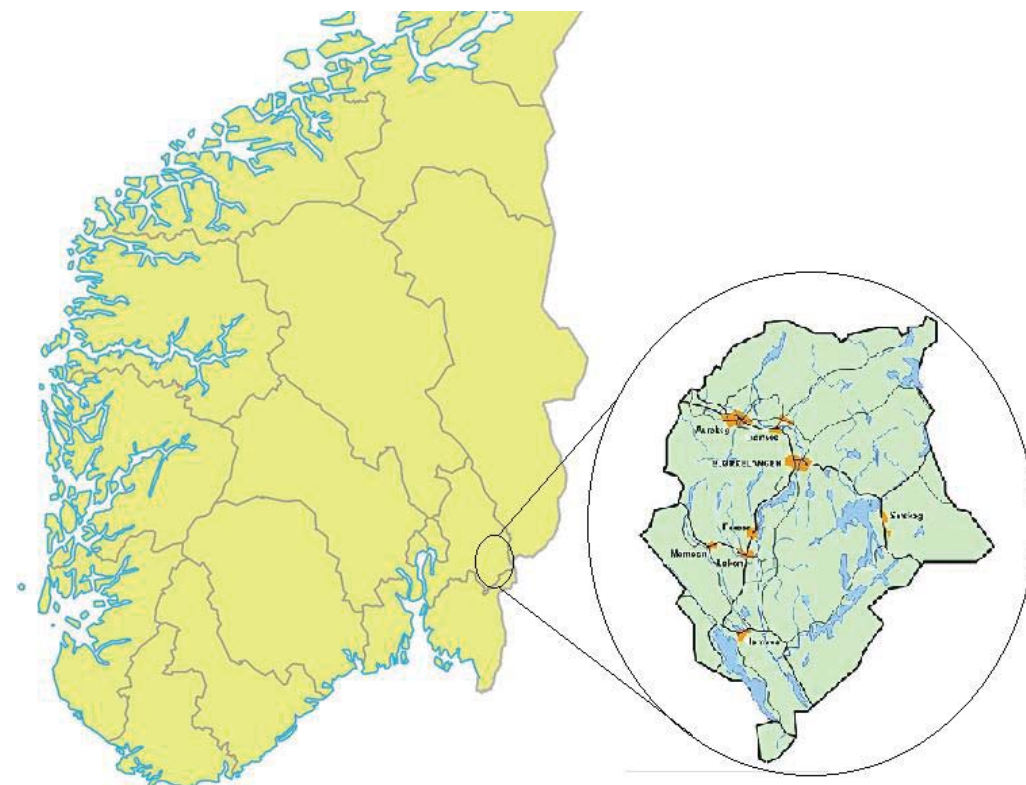
3.0 Materiale og metode

3.1 Studieområdet

Studieområdet ligger i Aurskog-Høland kommune i Akershus fylke (59°92'N 11°54'Ø), som en kan se av Figur 5.

Området er preget av store sammenhengende skogområder. Aurskog-Høland er den største skogkommunen i Akershus, og blant de 10 største i skogkommunene i Norge. Med sine 670 000 dekar med produktiv skog er cirka 75 prosent av landarealet i Aurskog-Høland dekket av produktiv skog. Det avvirkes årlig et kvantum på 130 000 kubikkmeter skogsvirke til en salgsverdi av cirka 43 millioner kroner i Aurskog-Høland (Sandbekkbråten 2010).

Avvirkningen i analyseperioden foregikk i hovedsak i Aurskog-Høland kommune, men også i omkringliggende kommuner. Kursdagen for RECO-kurset var den 13. august 2013 og ble avholdt på hovedkontoret til Stangeskovene AS på Vikodden Bruk. Kursdag 2 foregikk der den enkelte operatøren arbeidet.



Figur 5: Kart over Sør-Norge¹ og kart over Aurskog-Høland kommune²

¹ Kilde: <http://ndla.no/nb/node/88174>

² Kilde: <http://no.wikipedia.org/wiki/Fil:Aurskog-H%C3%B8landkart1.JPG>

3.2 Felldata

Studien har vært en langtidsstudie som strekker seg over et år, fra februar 2013 til og med februar 2014. Avvirkningen foregikk i hovedsak som sluttavvirkning i hogstklasse IV eller V, men det var også noe tynning i hogstklasse IV. For hogstmaskinen var gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter den eneste feltdataen som var tilgjengelig fra TimberLink (se kapittel 3.4 Datainnsamling). For lassbærer var kjørelengde ved tomkjøring, kjørelengde ved pålessing av tømmer, kjørelengde lastet med tømmer, kjørelengde ved avlessing av tømmer, antall klør ved av- og pålessing av tømmer, samt krantider ved av- og pålessing av tømmer de feltdataene som var tilgjengelige fra TimberLink.

3.3 Utstyret

For å gjennomføre denne studien trengtes det skogsmaskiner. Brødrene Haneborg AS stilte med tre skogsmaskinlag. De maskinene som ble brukt er:

- Lag 1. Hogstmaskin John Deere 1170 E. Lassbærer John Deere 1210 E
- Lag 2. Hogstmaskin John Deere 1170 E. Lassbærer John Deere 1010 E
- Lag 3. Hogstmaskin John Deere 1070 E. Lassbærer John Deere 1010 E

John Deere 1170 E er en mellomstor hogstmaskin som er beregnet for både tynning og sluttavvirkning. John Deere 1070 E er en liten hogstmaskin som er beregnet for første- og andregangstynning. John Deere 1210 E er en mellomstor lassbærer beregnet for sluttavvirkning. John Deere 1010 E er en liten lassbærer beregnet for første- og andregangstynning.

Hogstmaskinene har vært utstyrt med belter på boggien foran og kjettinger på det bakre hjulparet. Lassbærerene har vært utstyrt med kjettinger på boggien foran og belter på bakre boggi. Andre spesifikasjoner finnes i Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 3: Tekniske spesifikasjoner for John Deere 1170 E. (John Deere Forestry)

Maskintype	John Deere 1170 E
Motoreffekt	145 KW/ 194 Hk
Vekt	23 000 kg
Kranlengde	10 meter
Målesystem	TimberMatic H-09
Antall hjul	6
Aggregat	H414
Hydraulikkapasitet / tankvolum	160 cm ³ / 170 liter
Drivstofforbruk per time	11,9 liter

Tabell 4: Tekniske spesifikasjoner for John Deere 1010 E. (John Deere Forestry)

Maskintype	John Deere 1010 E
Motoreffekt	115,5 KW/ 155 hk
Vekt	17 500 kg
Kranlengde	8,5 meter
Målesystem	TimberMatic F09
Antall hjul	8
Hydraulikkapasitet / tankvolum	140 cm ³ / 150 liter
Drivstofforbruk per time	9 liter
Lastekapasitet	11 000 kg

3.4 Datainnsamling

For datainnsamling ble TimberLink benyttet. TimberLink er et analyseprogram laget av John Deere Forestry for at entreprenørene skal ha oversikt over prestasjon, drivstofforbruk, andel tid operatørene bruker på de forskjellige arbeidsoppgavene med mer (John Deere Forestry). TimberLink har blitt brukt for å måle alle parameterne kontinuerlig under arbeidet.

Datasettene som har blitt innhentet fra hver skogsmaskin startet den første uka i februar 2013 og ble innhentet fram til og med februar 2014. Rådataene som ligger i TimberLink viste seg å være vanskelig å eksportere til et dataprogram som kunne tyde dataene. Dataene i TimberLink blir vist frem i et egenutviklet grafisk program utviklet av John Deere. Datamaterialet måtte avleses og skrives manuelt inn i regneprogrammet Microsoft Office Excel før de kunne tydes av statistikkprogrammet SAS JMP Pro 10. Det ansåes som en umulig oppgave hvis en skulle tatt med prestasjoner for hver dag for alle operatørene. Det endte med at gjennomsnittsdata for hver uke ble overført manuelt fra TimberLink til Excel. Variablene som ble eksportert til JMP finnes i Tabell 5.

3.6 Justering av datasettene

Det samlede datasettet for hogstmaskinene besto av 130 ukesgjennomsnitt. I noen av ukene gikk hogstmaskinene i sped tynning. Det vil si at den gjennomsnittlige trestørrelsen var under 0,11 kubikkmeter. Dette reduserte prestasjonen betraktelig, samtidig som drivstofforbruket per kubikkmeter doblet seg. Det ble fjernet 5 ukesgjennomsnitt der gjennomsnittlig trestørrelse varierte fra 0,07 til 0,1 kubikkmeter fordi de ble ansett som ikke representative sammenliknet med resten av datasettet. Det justerte datasettet til hogstmaskinene består av 125 ukesgjennomsnitt.

Det samlede datasettet for lassbærerne besto av 141 ukesgjennomsnitt. De ukene der lassbærerne hadde en total kjørevei over 3000 meter ble ekskludert fordi observasjonene lå for langt vekk fra gjennomsnittlig kjøreveglengde. Prestasjonen ble veldig lav og drivstofforbruket per kubikkmeter ble veldig høyt. Det var 3 ukesgjennomsnitt som ble fjernet av denne grunn. Det justerte datasettet til lassbærerne består av 138 ukesgjennomsnitt. De ukene der det var kun arbeidet en dag i uka ble fjernet på grunn av at det ble ansett som for lite datagrunnlag for å representere hele uka. Dette gjelder både lassbærerne og hogstmaskinene

3.5 Analyse av forklaringsvariablene

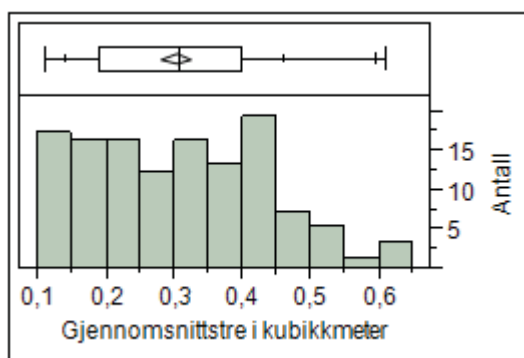
For å kunne vurdere om datasettet til oppgaven er tilstrekkelig og godt nok for å kunne lage passende modeller ble gjennomsnitt, standardavvik, median, min. og maks. verdi registrert for de viktigste forklaringsvariablene hos samtlige hogstmaskiner og samtlige lassbærere. I Tabell 5 er forklaringsvariablene beskrevet grundig. Prestasjonen er målt utfra volumberegningen i målesystemet TimberMatic. Volumberegningen er gjort utfra lengde og diameter på hver stokk som kappes. Diameteren blir målt med bark og en barkfunksjon trekker ifra barktykkelse (Haneborg, K. 2014). Volumberegningen er nøyaktig så lenge måleinstrumentene blir kalibrert regelmessig. Denne usikkerheten er relativt lik før og etter RECO-kurs, så det vil ikke være en stor feilkilde. Drivstofforbruket er relativt nøyaktig når maskinen arbeider, men blir mer unøyaktig når maskinen går på tomgang. Dette avviket er relativt lite og avviket er like stort før og etter RECO-kurs (Runberget 2014).

Tabell 5: Forklaringsvariabler og beskrivelse av disse. (John Deere Forestry)

Forklaringsvariabel	Beskrivelse
Hogstmaskin	
Gjennomsnittstre i m ³	Gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter
Prestasjon m ³ /t	Antall kubikkmeter avvirket per time
Drivstofforbruk l/m ³	Antall liter drivstoff forbrukt per kubikkmeter avvirket
Lassbærer	
Drivstofforbruk l/m ³	Antall liter drivstoff forbrukt per kubikkmeter framkjørt
Prestasjon m ³ /t	Antall kubikkmeter maskinen klarer å kjøre ut per time
Kjørelengde m	Antall meter kjørt totalt per lass
Kjørelengde tomkjøring	Antall meter kjørt fra lunneplassen frem til lassbæreren starter å lesse på tømmer
Kjørelengde pålessing	Antall meter kjørt fra en starter pålessing av tømmer frem til lasset er fullt
Kjørelengde lastet	Antall meter kjørt når lasset er fullt frem til lunneplass
Kjørelengde avlessing	Antall meter kjørt fra en starter avlessingen frem til lassbæreren er tom
Antall klør lessing	Antall klør med tømmer som trengs for å lesse et fullt lass
Krantid pålessing	Hvor lang tid i sekunder det tar å gjennomføre en kransyklus ved pålessing
Antall klør avlessing	Antall klør med tømmer som trengs for å lesse av et lass
Krantid avlessing	Hvor lang tid i sekunder det tar å gjennomføre en kransyklus ved avlessing

3.5.1 Hogstmaskiner

Datamaterialet for Samtlige hogstmaskiner består av 125 ukesobservasjoner. Verdiene er funnet direkte i TimberLink.

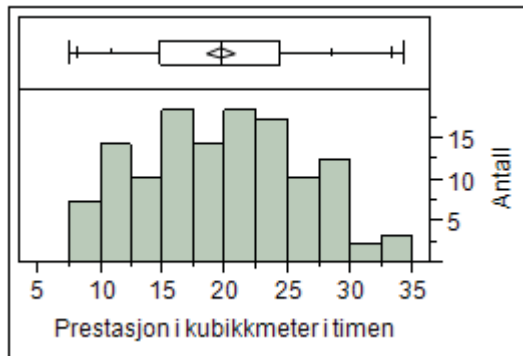


Figur 6: Fordeling av gjennomsnittlig trestørrelse for hogstmaskiner, kubikkmeter pr tre

Figur 6 viser at gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter er jevnt fordelt med en hovedtyngde på de mindre trestørrelsene. Medianen ligger på 0,31 kubikkmeter. Den

gjennomsnittlige trestørrelsen ligger på 0,30 kubikkmeter med et standardavvik på 0,12.

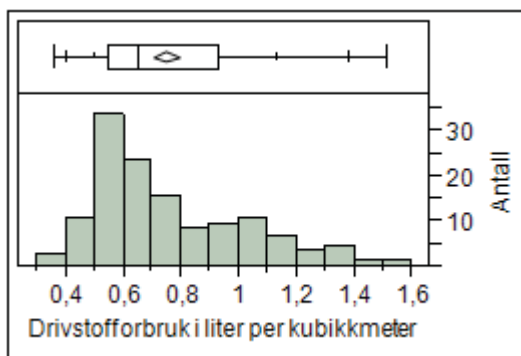
Høyeste observerte verdi er på 0,61 kubikkmeter mens laveste verdi er på 0,11 kubikkmeter.



Figur 7: Fordeling i prestasjon for hogstmaskiner, kubikkmeter i timen

Figur 7 viser at fordelingen i prestasjon i kubikkmeter i timen er relativt normalfordelt.

Medianen er på 19,7 kubikkmeter i timen. Gjennomsnittlig prestasjon for alle observasjonene er på 19,6 kubikkmeter i timen med et standardavvik på 6,4 kubikkmeter i timen. Høyeste observerte verdi er på 34,3 kubikkmeter i timen mens laveste verdi er på 7,5 kubikkmeter i timen.

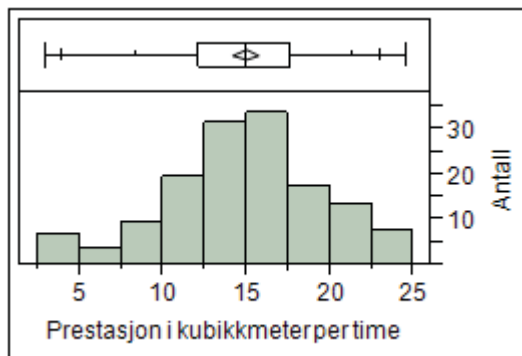


Figur 8: Fordeling i drivstofforbruk for hogstmaskiner, liter per kubikkmeter

Figur 8 viser at fordelingen i drivstofforbruk i liter per kubikkmeter har en median på 0,66 liter per kubikkmeter. Gjennomsnittlig drivstofforbruk ligger på 0,74 liter per kubikkmeter med et standardavvik på 0,25 liter per kubikkmeter. Høyeste observert verdi er på 1,51 liter per kubikkmeter. Laveste observert verdi ligger på 0,36 liter per kubikkmeter.

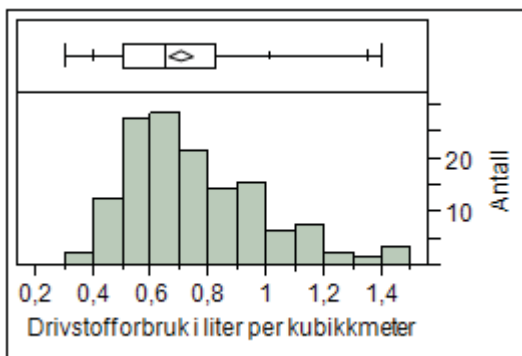
3.5.2 Lassbærere

Datamaterialet for Samtlige lassbærere består av 138 ukesobservasjoner. Der ikke annet er oppgitt er verdiene funnet direkte i TimberLink.



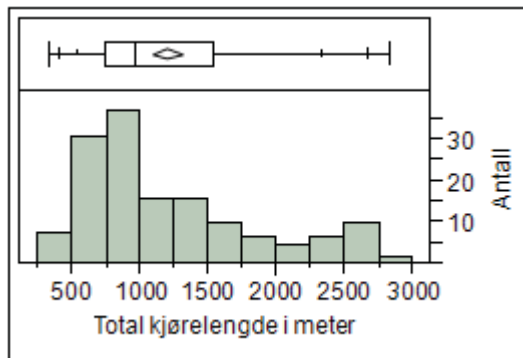
Figur 9: Fordeling i prestasjon for lassbærere, kubikkmeter per time

Figur 9 viser at fordelingen i prestasjon i kubikkmeter i timen er tilnærmet normalfordelt med en median på 15,0 kubikkmeter i timen. Gjennomsnittlig prestasjon er på 14,9 kubikkmeter i timen mens standardavviket er på 4,6. Høyeste observerte verdi er på 24,6 og laveste observerte verdi er på 2,9 kubikkmeter i timen. Verdiene er funnet ved å konvertere tid per lass til lass per time og multiplisere det med gjennomsnittlig lasstørrelse oppgitt av lassbæreroperatørene.



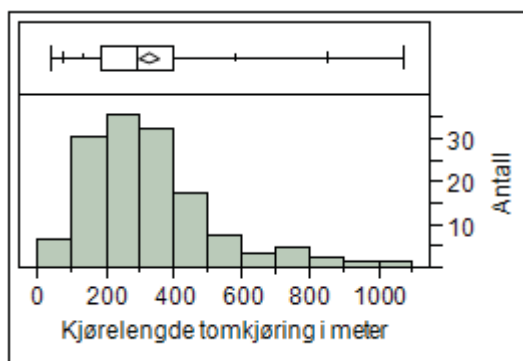
Figur 10: Fordeling av drivstofforbruk for lassbærere, liter per kubikkmeter

Figur 10 viser at fordelingen av drivstofforbruk i liter per kubikkmeter er tilnærmet normalfordelt med en median på 0,65 liter per kubikkmeter. Gjennomsnittlig drivstofforbruk i liter per kubikkmeter er på 0,70 liter mens standardavviket er på 0,23. Høyeste observerte verdi er på 1,40 liter per kubikkmeter Laveste observerte verdi er på 0,30 liter per kubikkmeter. Verdiene er funnet ved at drivstofforbruk i liter per lass er dividert på gjennomsnittlig lasstørrelse oppgitt av lassbæreroperatørene.



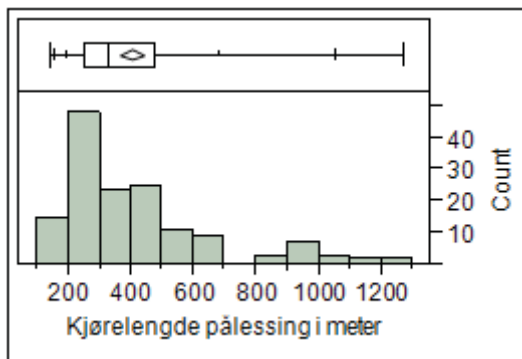
Figur 11: Fordeling av total kjørelengde for lassbærer, meter

Figur 11 viser at fordelingen av kjørelengde i meter er totoppet høyreskjev med en median på 978 meter. Gjennomsnittlig kjørelengde er på 1199 meter mens standardavviket er på 632 meter. Høyeste observerte verdi er på 2823 meter. Laveste observerte verdi er på 329 meter. Total kjørelengde er målt ved at kjørelengdene ved deloperasjonene blir summert.



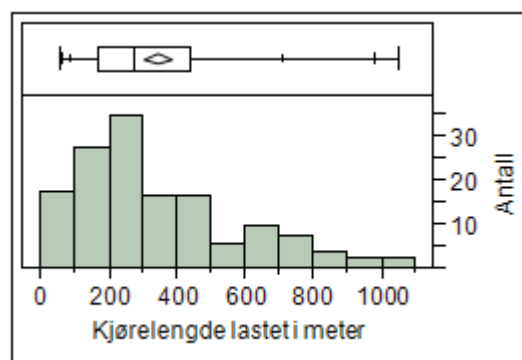
Figur 12: Fordeling av kjørelengde tomkjøring for lassbærer, meter

Figur 12 viser at fordelingen av kjørelengde tomkjøring i meter er entoppet høyreskjev med en median på 296 meter. Gjennomsnittlig kjørelengde tomkjøring er på 325 meter mens standardavviket er på 187. Høyeste observerte verdi er på 1078 meter. Laveste observerte verdi er på 40 meter. Kjørelengdene ved tomkjøring er målt ved at maskinen registrer avstand i girkassen mellom når kranen blir deaktivert etter avsluttet avlesning til operatøren aktiverer kranen for å begynne å lesse på.



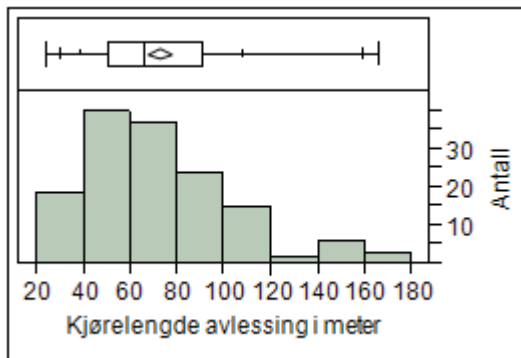
Figur 13: Fordeling av kjørelengde pålessing for lassbærer, meter

Figur 13 viser at fordelingen av kjørelengde ved pålessing i meter er entoppet høyreskjev med en median på 329 meter. Gjennomsnittlig kjørelengde ved pålessing er på 404 meter mens standardavviket er på 230 meter. Høyeste observerte verdi er på 1267 meter. Laveste observerte verdi er på 140 meter. Kjørelengde ved pålessing er målt ved at maskinen registrer avstand i girkassen mellom når kranen blir aktivisert i pålessing til pålessingen er ferdig.



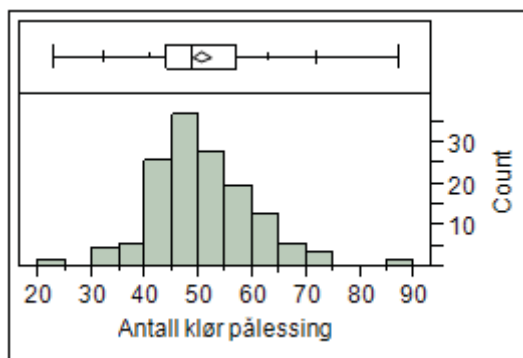
Figur 14: Fordeling av kjørelengde lastet for lassbærer, meter

Figur 14 viser at fordelingen i kjørelengde lastet er totoppet høyreskjev med en median på 274 meter. Gjennomsnittlig kjørelengde lastet er på 342 meter mens standardavviket er på 235 meter. Høyeste observerte verdi er på 1048 meter. Laveste observerte verdi er på 59 meter. Kjørelengde lastet er målt ved at maskinen registrerer avstand i girkassen mellom når kranen er deaktivert ved fullt lass til kranen blir aktivert ved avlessing.



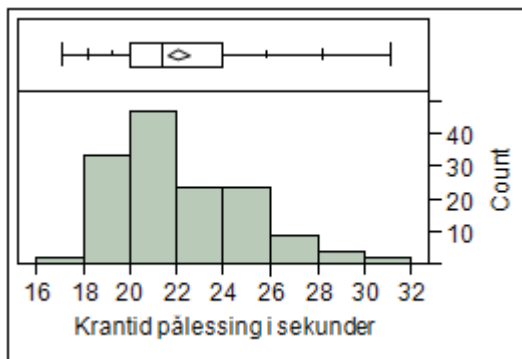
Figur 15: Fordeling av kjørelengde avlessing for lassbærer, meter

Figur 15 viser at fordelingen av kjørelengde avlessing er entoppet høyreskjev med en median på 67 meter. Gjennomsnittlig kjørelengde avlessing er på 72 meter mens standardavviket er på 30 meter. Høyeste observerte verdi er på 166 meter. Laveste observerte verdi er på 23 meter. Kjørelengde ved avlessing er målt ved at maskinen registrerer avstand i girkassen mellom når kranen blir aktivert ved avlessing til kranen blir deaktivert ved avsluttet avlessing.



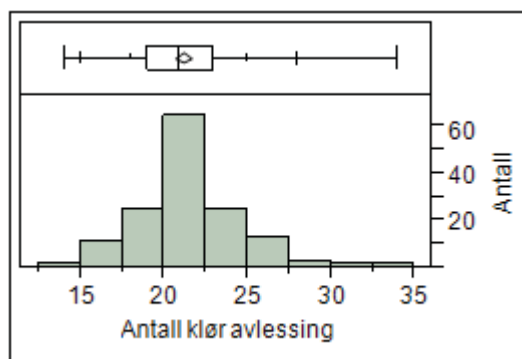
Figur 16: Fordeling av antall klør pålessing for lassbærer

Figur 16 viser at fordelingen av antall klør pålessing er normalfordelt med en median på 49 klør. Gjennomsnittlig antall klør pålessing er på 50 klør mens standardavviket er på 9 klør. Høyeste observerte verdi er på 87 klør. Laveste observerte verdi er på 23 klør.



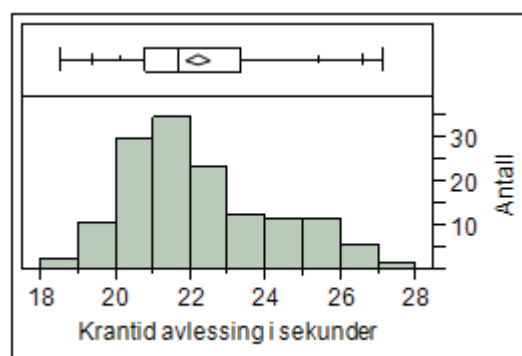
Figur 17: Fordeling av krantid pålessing for lassbærer, sekunder

Figur 17 viser at fordelingen i krantid pålessing er entoppet høyreskjev med en median på 21,4 sekunder. Gjennomsnittlig krantid pålessing er på 22,0 sekunder mens standardavviket er på 2,6 sekunder. Høyeste observerte verdi er på 31,1 sekunder. Laveste observerte verdi er på 17,1 sekunder.



Figur 18: Fordeling av antall klør avlesning for lassbærer

Figur 18 viser at fordelingen i antall klør avlesning er normalfordelt med en median på 21 klør. Gjennomsnittlig antall klør avlesning er på 21 klør mens standardavviket er på 3 klør. Høyeste observerte verdi er på 34 klør. Laveste observerte verdi er på 14 klør.



Figur 19: Fordeling av krantid avlesning for lassbærer, sekunder

Figur 19 viser at fordeling i krantid avlesning er entoppet høyreskjev med en median på 21,7 sekunder. Gjennomsnittlig krantid avlesning er på 22,2 sekunder mens standardavviket er på

1,9 sekunder. Høyeste observerte verdi er på 27,1 sekunder. Laveste observerte verdi er på 18,5 sekunder.

3.7 Statistisk analyse

Dataene fra TimberLink ble manuelt overført via EXcel til statistikkprogrammet SAS JMP pro 10. I JMP ble det kjørt en multippel regresjonsanalyse på de forskjellige parameterne for å bevise om det er statistisk signifikant forskjell på prestasjon og drivstofforbruk før og etter RECO-kurs. Multippel lineær regresjon hjelper brukeren å finne den beste lineære sammenhengen (Formel 1) mellom responsen og forklaringsvariablene (Løvås 2004).

$$Y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e_i \quad (\text{Formel 1})$$

Her er x_{1i} , x_{2i} og x_{ni} forklaringsvariablenes verdi. Det kan for eksempel være kjøreveglengde, antall klør ved pålessing og RECO-kurs. Det er disse verdiene som resulterer i responsen Y_i . Leddet e_i er modellens feilledd med forventning lik null og varians lik σ^2 som ikke kan forklares av x parameterne. Linjens krysningspunkt på y-aksen er ved konstanten α . Koeffisientene β_1 , β_2 og β_n er linjens stigningstall. Koeffisientene β_1 , β_2 og β_n er ukjente, men konstante verdier. Disse verdiene må estimeres så godt som mulig for å kunne trekke slutninger om hypotesen stemmer (Løvås 2004).

Hver maskin ble målt mot seg selv, og ikke mot hverandre. Grunnen til det er at hver operatør har forskjellig prestasjonsnivå. De menneskelige egenskapene er det vanskelig å kontrollere, så for å utelukke disse blir hver operatør målt mot seg selv. Tilslutt ble datasettet til alle hogstmaskinene og alle lassbærerne kjørt sammen, som egne datasett som heter Samtlige hogstmaskiner og Samtlige lassbærere, for å se om RECO-kurs var en signifikant forklaringsvariabel samlet sett. Det vil si at de statistiske kjøringene i JMP vi se ut som i Tabell 6.

.

Tabell 6: Hvordan kjøringene i JMP vil utføres

Før RECO-kurs		Etter RECO-kurs
Hogstmaskin 1	V.S	Hogstmaskin 1
Hogstmaskin 2	V.S	Hogstmaskin 2
Hogstmaskin 3	V.S	Hogstmaskin 3
Samtlige hogstmaskiner	V.S	Samtlige hogstmaskiner
Lassbærer 1	V.S	Lassbærer 1
Lassbærer 2	V.S	Lassbærer 2
Lassbærer 3	V.S	Lassbærer 3
Samtlige lassbærere	V.S	Samtlige lassbærere

3.8 Vurdering av modellene

For å vurdere om modellene treffer eller ikke på grunnlag av datasettene ble determinasjonskoeffisienten R^2 benyttet. Determinasjonskoeffisienten har en verdi mellom 0 og 1. Jo nærmere 1 R^2 er, jo bedre er modellen. (Løvås 2004) Tallstørrelsen R^2 er definert ved Formel 2

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} \quad (\text{Formel 2})$$

SS_R er summen av kvadratene mellom regresjonslinja og gjennomsnittet av observasjonene og SS_T er summen av kvadratene mellom observasjonene og deres gjennomsnittsverdi (Løvås 2004).

En annen metode for å vurdere om modellen passer godt til datasettet er Root Mean Square Error (RMSE). Denne verdien er et mål på forskjellen mellom den predikerte modellen og de aktuelle observasjonene. På norsk er RMSE kvadratroten av gjennomsnittet til de kvadrerte residualene. Denne verdien ønskes å være så lav som mulig (SAS Institute Inc 2014). For at forklaringsvariablene skal være med i modellene må p-verdien være statistisk signifikant på et 5% nivå (P-verdi < 0,05).

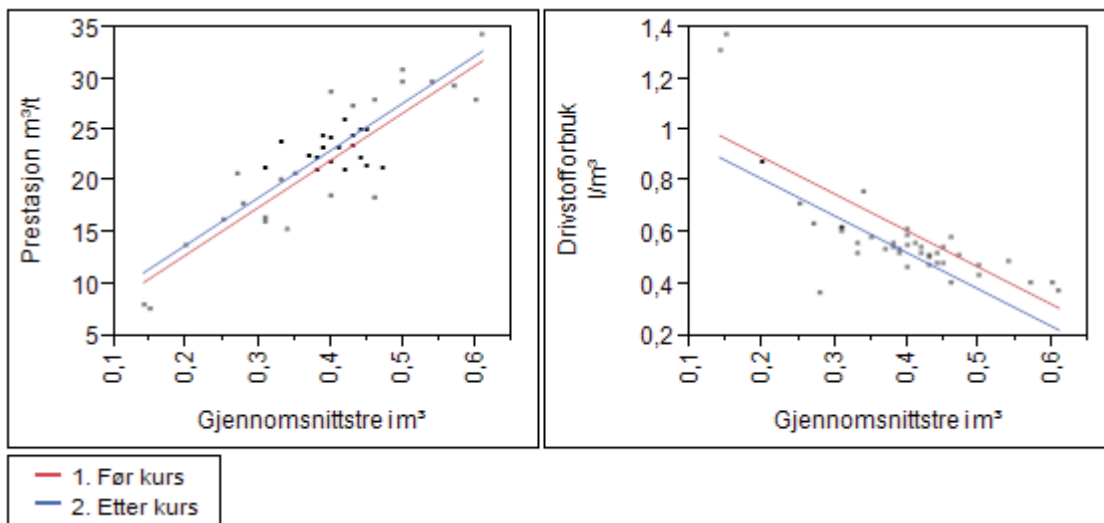
4.0 Resultater

Det ble kjørt en multippel regresjonsanalyse for å teste om RECO-kurs har noen signifikant effekt på prestasjon og dieselforbruk hos de forskjellige operatørene. Resultatene blir vist i form av grafer der de signifikante forklaringsvariablene er med og viser hvordan de predikerte modellene treffer med de aktuelle observasjonene. Påvirkningen fra forklaringsvariablene blir fremstilt i funksjonen Factor Profiling i JMP. Stigningstallet til linjen beskriver hvor sterk forklaringsvariabelen påvirker prestasjon eller drivstofforbruk. (SAS Institute Inc 2014).

4.1 Hogstmaskiner

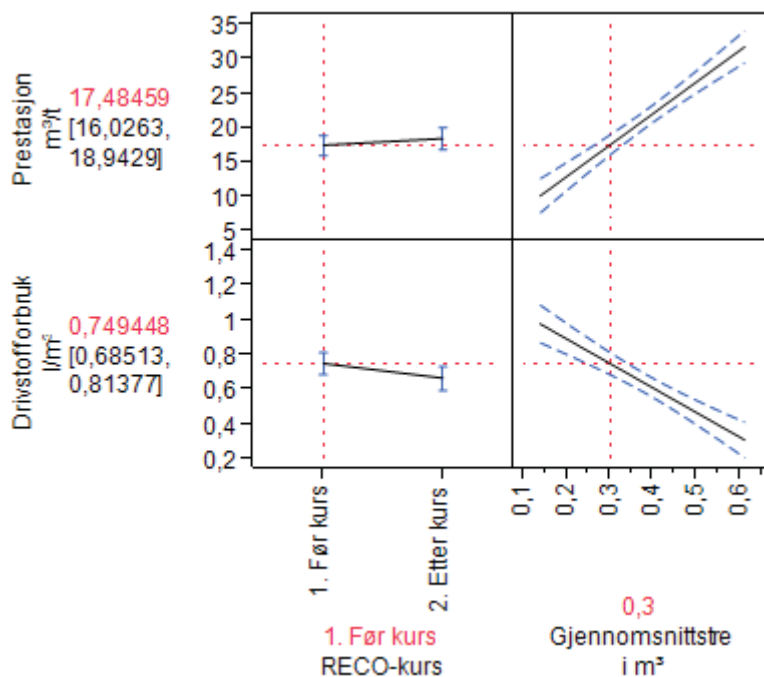
For hogstmaskinene er det gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter som er den sterkeste forklaringsvariabelen til variasjonen i prestasjon i kubikkmeter per time og drivstofforbruk i liter per kubikkmeter. RECO-kurs er en nødvendig forklaringsvariabel å ha med for å se om den gir utslag på responsen. T-verdier og p-verdier for modellene til hogstmaskinene er samlet i Tabell 7.

4.1.1 Hogstmaskin 1



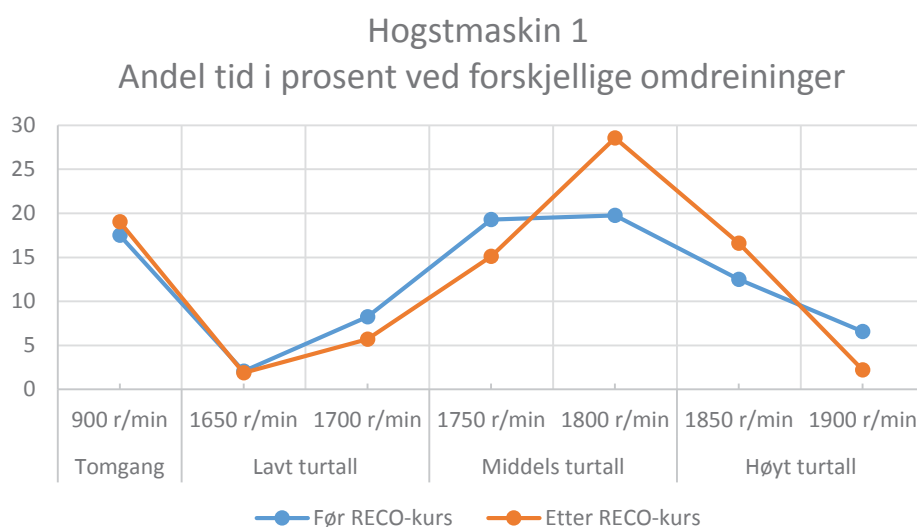
Figur 20: Hogstmaskin 1. Prestasjon og drivstofforbruksmodell ved varierende gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter

Figur 20 viser at prestasjonen til hogstmaskin 1 er høyere etter RECO-kurs enn før kurs ved varierende gjennomsnittlige trestørrelser. Modellen viser at prestasjonen øker lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer, med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,756 og RMSE på 2,846. Drivstofforbruket til hogstmaskin 1 er redusert etter RECO-kurs. Modellen viser at drivstofforbruket reduseres lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,629 og en RMSE på 0,125.



Figur 21: Hogstmaskin 1. Forklaringsvariabler til variasjon i prestasjon og drivstofforbruk

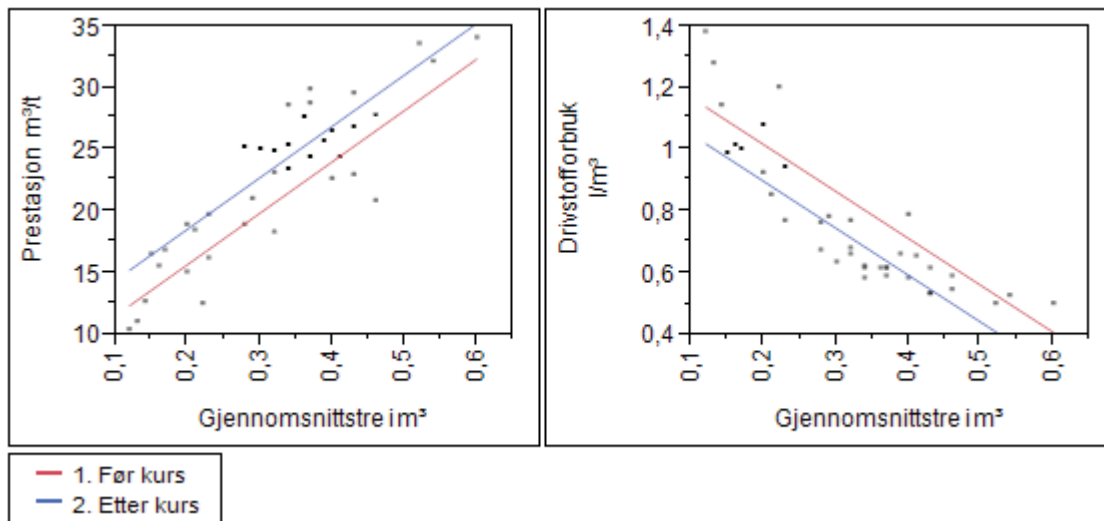
Figur 21 viser at variasjonen i prestasjon blir signifikant påvirket av variasjonen i gjennomsnittlig trestørrelse. RECO-kurs er ingen signifikant forklaringsvariabel på variasjonen i prestasjon hos hogstmaskin 1. For drivstofforbruk blir variasjonen signifikant påvirket av variasjonen i gjennomsnittlig trestørrelse. RECO-kurs er også en signifikant forklaringsvariabel på reduksjon i drivstofforbruk hos hogstmaskin 1. Det var ingen signifikant forskjell i tidsforbruk på prosessid. Krantid ble redusert med 2,5 prosent. Dette er en signifikant nedgang i andel tid forbrukt. Andel kjøretid og annen tid har steget med 1 prosent, men endringene var ikke signifikante.



Figur 22: Hogstmaskin 1. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger

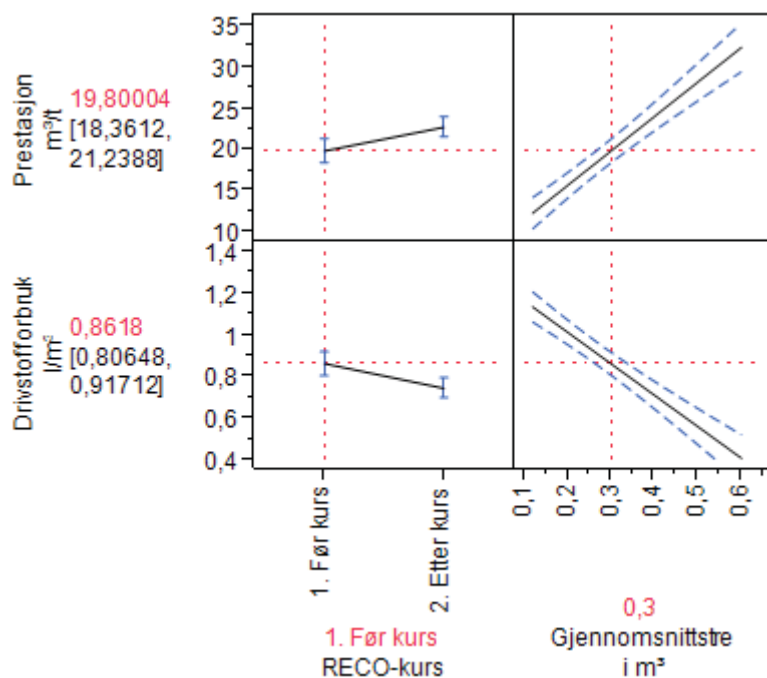
Figur 22 viser at andel tid på tomgang økte etter RECO-kurs. Andel tid på lavt turtall ble redusert etter RECO-kurs. Andel tid på 1800 omdreininger økte signifikant etter RECO-kurs. Andel tid på 1900 omdreininger sank signifikant etter RECO-kurs.

4.1.2 Hogstmaskin 2



Figur 23: Hogstmaskin 2. Prestasjon og drivstofforbruksmodell ved varierende gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter

Figur 23 viser at prestasjonen til hogstmaskin 2 har økt etter RECO-kurs. Modellen viser at prestasjonen øker lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 0,818 og en RMSE på 2,722. Drivstofforbruket til hogstmaskin 2 har blitt redusert etter RECO-kurs. Modellen viser at drivstofforbruket reduseres lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer med p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,808 og en RMSE på 0,104.

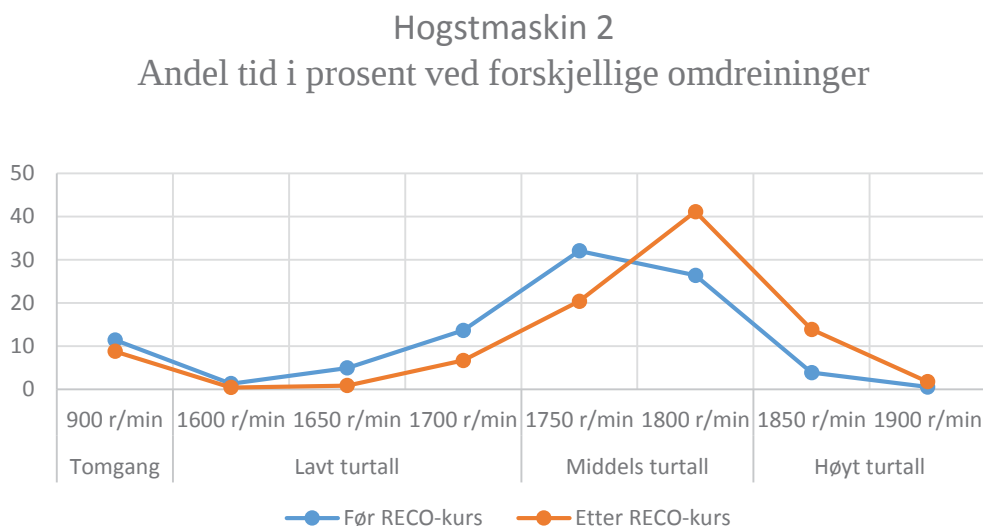


Figur 24: Hogstmaskin 2. Forklaringsvariabler som påvirker prestasjon og drivstofforbruk

Figur 24 viser at det var signifikante forskjeller for alle kombinasjoner av prestasjon og drivstofforbruk mot RECO-kurs og gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter.

Det var ingen signifikant forskjell i andelen prosestid, krantid, kjøretid eller annen tid.

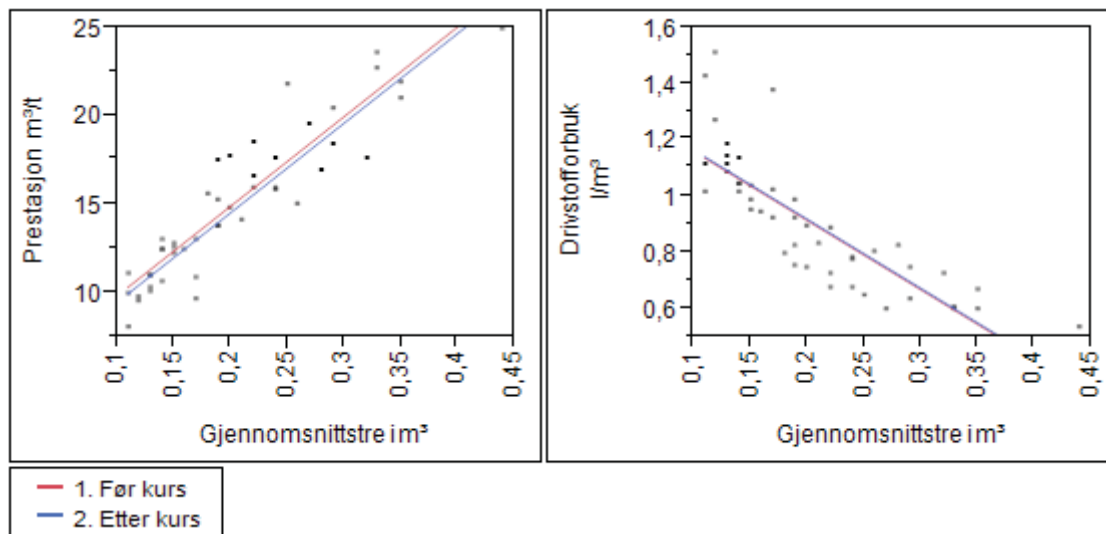
Andelen prosestid økte cirka 3 prosent, andelen krantid ble redusert cirka 1 prosent, andel kjøretid økte cirka 1 prosent og andel annen tid ble redusert cirka 3 prosent etter RECO-kurs.



Figur 25: Hogstmaskin 2. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger

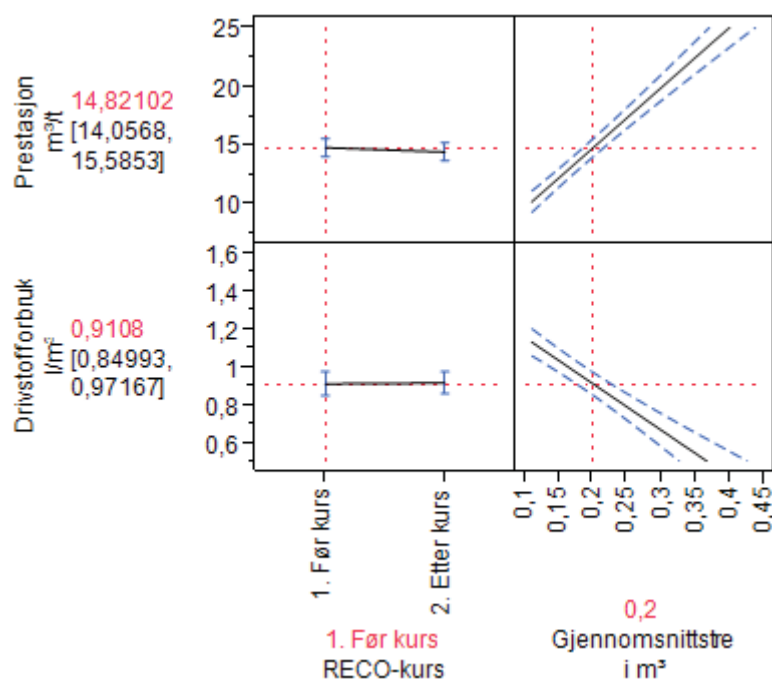
Figur 25 viser at andelen tid på tomgang og lavt turtall ble redusert etter RECO-kurs. Andel tid på høyt turtall økte etter RECO-kurs. Andel tid på 1800 omdreininger økte signifikant etter RECO-kurs.

4.1.3 Hogstmaskin 3



Figur 26: Hogstmaskin 3. Prestasjon og drivstofforbruksmodeller ved varierende gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter

Figur 26 viser at prestasjonen til Hogstmaskin 3 har blitt redusert etter RECO-kurs. Modellen viser at prestasjonen øker lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,845 og en RMSE på 1,714. Drivstofforbruket til hogstmaskin 3 tenderer til å være uforandret etter RECO-kurs. Modellen viser at drivstofforbruk blir lineært redusert med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,627 og en RMSE på 0,136.



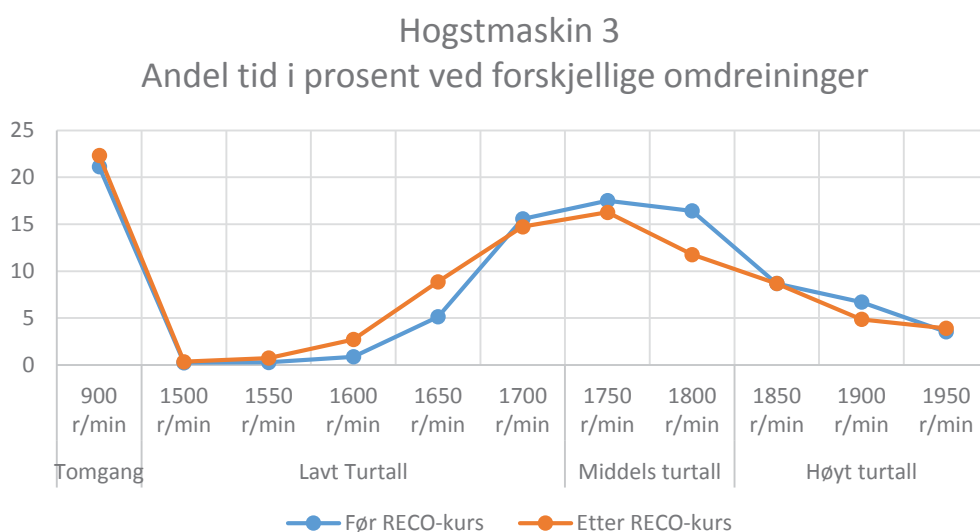
Figur 27: Hogstmaskin 3. Forklaringsvariabler som påvirker prestasjon og drivstofforbruk

Figur 27 viser at gjennomsnittlig trestørrelse har signifikant påvirkning på variasjonen i prestasjon. RECO-kurs har ingen signifikant påvirkning på variasjonen i prestasjon hos hogstmaskin 3. Variasjonen i drivstofforbruk blir signifikant forklart av gjennomsnittlig trestørrelse. RECO-kurs var ingen signifikant forklaringsvariabel for variasjon i drivstofforbruk hos hogstmaskin 3.

Andel prosessetid sank 2,5 prosent, andelen krantid økte 1 prosent, andel kjøretid økte 1,5 prosent og andel annen tid økte 1 prosent etter RECO-kurs.

Det var kun andel kjøretid som var signifikant forskjellig etter RECO-kurs.

Årsaken til at prestasjonen er vist så lav, og drivstofforbruket er vist så høyt hos hogstmaskin 3 i forhold til de andre hogstmaskinene er at prestasjonen og drivstofforbruket til hogstmaskin 3 ble vist med en gjennomsnittlig trestørrelse på 0,2 kubikkmeter, mens de andre hogstmaskinene ble vist med en gjennomsnittlig trestørrelse på 0,3. Grunnen er at hogstmaskin 3 har operert i større grad i tynning.

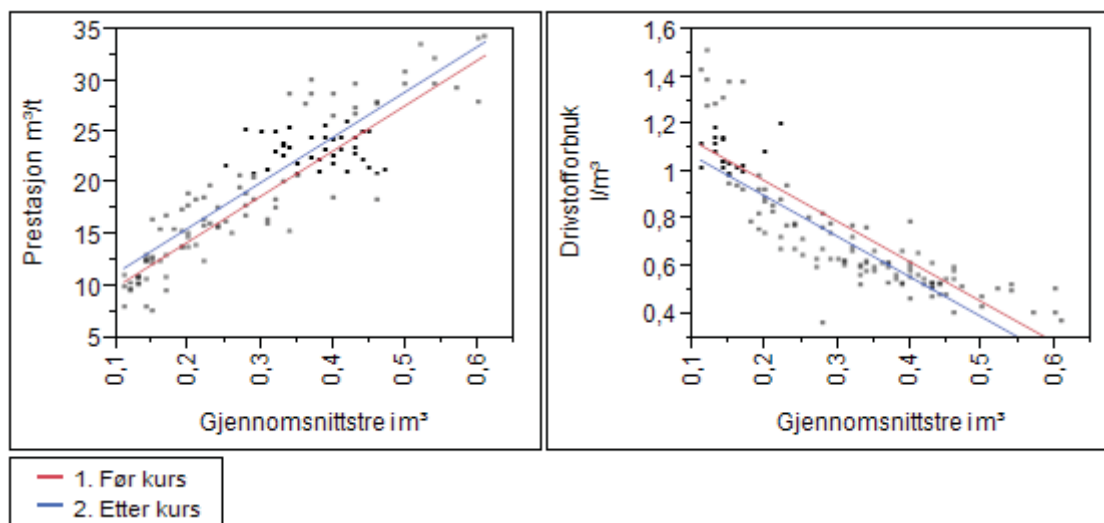


Figur 28: Hogstmaskin 3. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger

Figur 28 viser at andelen tid på tomgang økte, andel tid på lavt turtall økte, andel tid på middels turtall ble redusert og andel tid på høyt turtall ble redusert etter RECO-kurs.

Forandringene i turtall var ikke signifikante.

4.1.4 Samtlige hogstmaskiner

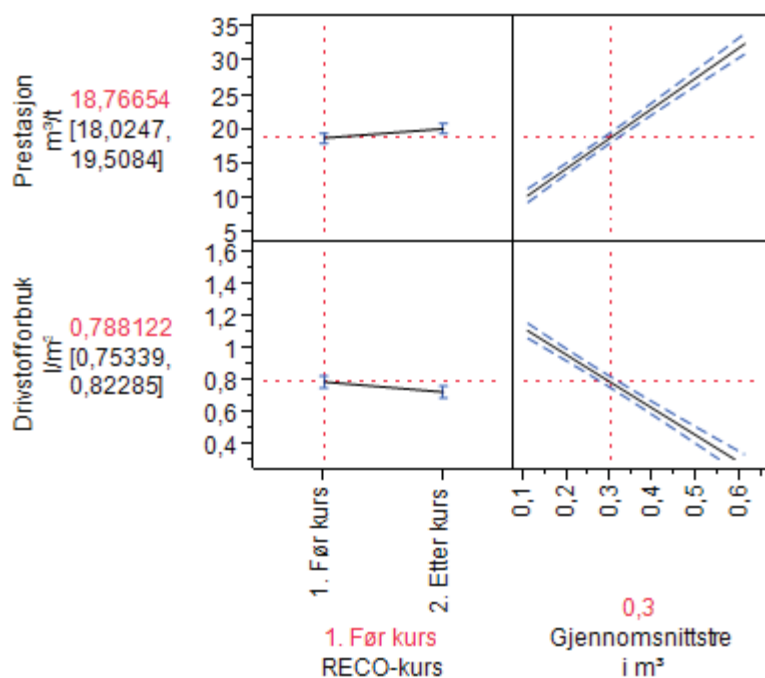


Figur 29: Samtlige hogstmaskiner. Prestasjons og drivstofforbruksmodell ved varierende gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter

Figur 29 viser at den sammenlagte prestasjonen til de tre hogstmaskinene har økt etter RECO-kurs. Modellen viser at prestasjonen øker lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse.

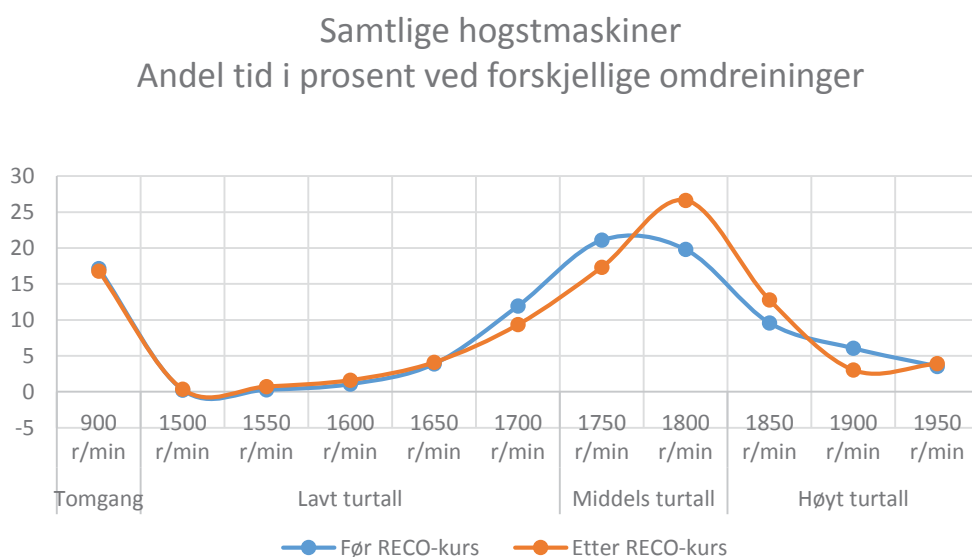
Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,810 og en RMSE på 2,815.

Drivstofforbruket til Samtlige hogstmaskiner ble redusert etter RECO-kurs. Modellen viser at drivstofforbruket reduseres lineært med økende gjennomsnittlig trestørrelse. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,746 og en RMSE på 0,131.



Figur 30: Samtlige hogstmaskiner. Forklaringsvariabler som påvirker prestasjon og drivstofforbruk

Figur 30 viser at det var signifikante forskjeller for alle kombinasjoner av prestasjon og drivstofforbruk mot RECO-kurs og gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter. Prestasjonen ble økt og drivstofforbruket ble redusert signifikant etter RECO-kurs.



Figur 31: Samtlige hogstmaskiner. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger

Figur 31 viser at andelen tid på tomgang er uforandret og andel tid på lavt turtall ble redusert etter RECO-kurs. Andelen tid på 1800 omdreininger økte signifikant etter RECO-kurs. Andelen tid på 1900 omdreininger ble signifikant redusert etter RECO-kurs.

Tabell 7: Tabellen viser de forskjellige forklaringsvariablene som er benyttet i modellene for prestasjon og drivstofforbruk for alle hogstmaskinene, parameterestimatet for disse samt standardavvik, t-verdi og p-verdi. Alle p-verdiene som er merket er signifikante på et 5 prosentsnivå.

Forklaringsvariabler	Prestasjon m ³ /t			Drivstofforbruk l/m ³		
	Antall observasjoner	Parameterestimat	Standardavvik	t-verdi	p-verdi	p-verdi
Hogstmaskin 1.						
Intercept	41	4.1714	1.7492	2.38	0.0222*	14.73 <0.0001*
RECO-kurs	41	-0.4773	0.4461	-1.07	0.2914	2.16 0.0369*
Gjennomsnittlig trestørrelse m ³	41	45.9683	4.3032	10.68	<0.0001*	-7.54 <0.0001*
Hogstmaskin 2.						
Intercept	38	8.7259	1.3079	6.67	<0.0001*	25.03 <0.0001*
RECO-kurs	38	-1.0440	0.4746	-3.04	0.0045*	3.27 0.0024*
Gjennomsnittlig trestørrelse m ³	38	41.7160	3.9094	10.67	<0.0001*	10.13 <0.0001*
Hogstmaskin 3.						
Intercept	46	4.4502	0.7411	6.00	<0.0001*	23.84 <0.0001*
RECO-kurs	46	0.1861	0.2640	0.70	0.4847	-0.12 0.906
Gjennomsnittlig trestørrelse m ³	46	50.9229	3.4167	14.90	<0.0001*	-9.07 <0.0001*
Samtlige hogstmaskiner						
Intercept	125	6.1976	0.6521	9.50	<0.0001*	41.48 <0.0001*
RECO-kurs	125	-0.6694	0.2556	-2.62	0.0100*	2.65 0.0091*
Gjennomsnittlig trestørrelse m ³	125	44.1276	1.9987	22.08	<0.0001*	-18.16 <0.0001*

Som en kan lese fra Tabell 7 er det kun for hogstmaskin 2 og Samtlige hogstmaskiner at RECO-kurs har vært en signifikant forklaringsvariabel til variasjon i prestasjon. RECO-kurs har vært en signifikant forklaringsvariabel for reduksjon i drivstofforbruk for hogstmaskin1, hogstmaskin 2 og Samtlige hogstmaskiner.

Tabell 8: Oversikt over endring i prestasjon og drivstofforbruk etter RECO-kurs. Hogstmaskin

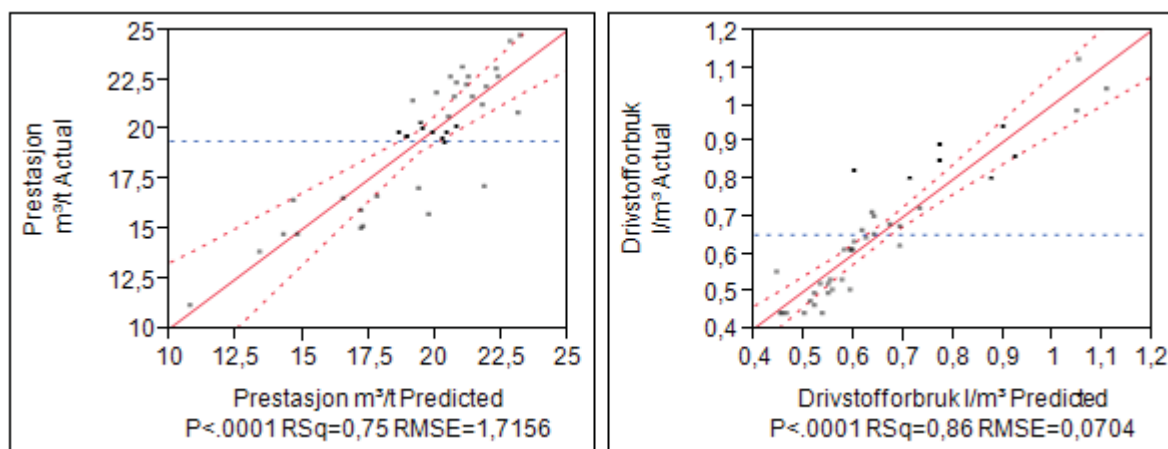
Hogstmaskin	Prestasjon m ³ /t før kurs	Prestasjon m ³ /t etter kurs	Forbedring	Drivstofforbruk l/m ³ før kurs	Drivstofforbruk l/m ³ etter kurs	Forbedring
1	17.48	18.44	5.5 %	0.75	0.66	-11.4 %
2	19.80	22.68	14.6 %	0.86	0.74	-13.8 %
3	14.82	14.45	-2.5 %	0.91	0.92	0.5 %
Samtlige	18.77	20.11	7.1 %	0.79	0.72	-8.1 %

Ved hjelp av funksjonen Prediksjon Profiler i JMP kunne prestasjons- og drivstofforbruksendringen før og etter RECO-kurs beregnes. Verdiene i kubikkmeter per time og liter per kubikkmeter, samt prosentvise endringer er vist i Tabell 8 med utgangspunkt i Tabell 7.

4.2 Lassbærere

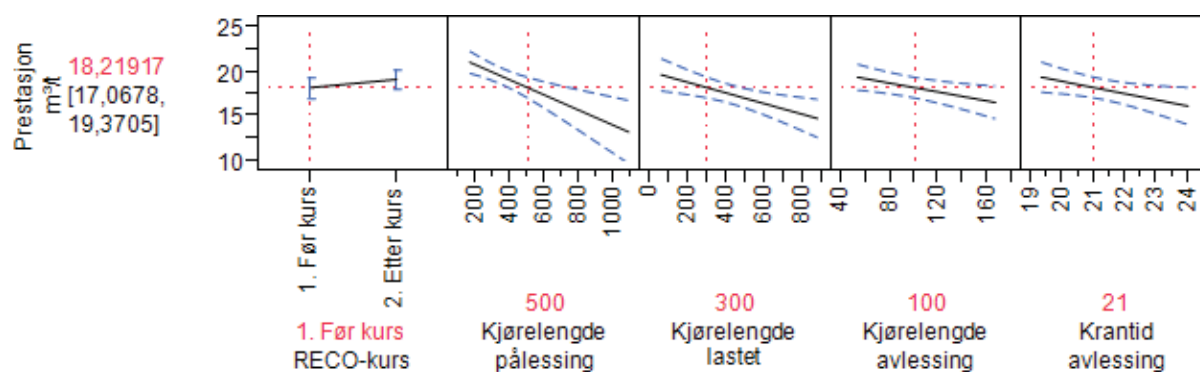
Hos lassbærerne er det de forskjellige kjørelengdene som er de sterkeste forklaringsvariablene til variasjon i responsen. Antall klør ved pålessing og avlessing og tid per kransyklus er svakere forklaringsvariabler. RECO-kurs er en nødvendig forklaringsvariabel å ha med for å teste om den gir signifikant utslag på responsen. Alle t-verdiene og p-verdiene for modellene til lassbærerne er samlet i Tabell 9. Figurene for lassbærerne viser hvordan predikerte verdier treffer med observerte verdier. Årsaken til at disse figurene er annerledes enn for hogstmaskinene er at det er flere forklaringsvariabler som forklarer responsen for lassbærerne.

4.2.1 Lassbærer 1



Figur 32: Lassbærer 1. Prestasjons og drivstofforbruksmodell

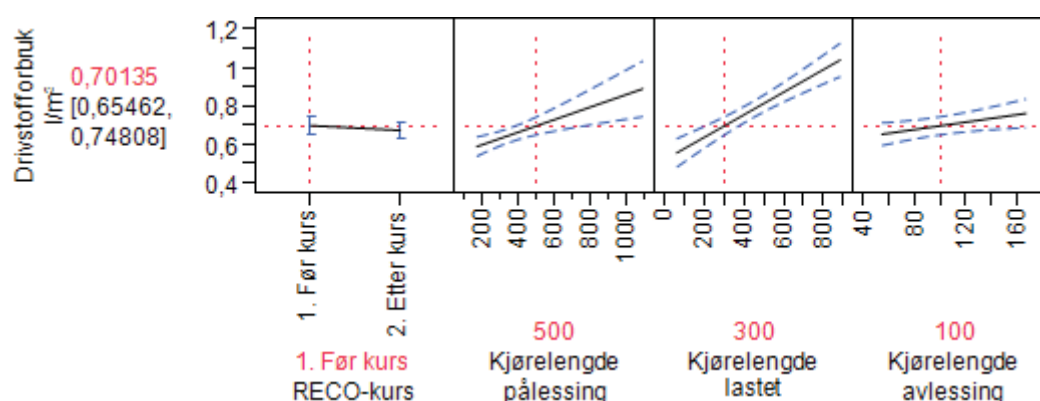
Figur 32 viser hvordan predikert prestasjon treffer med aktuell prestasjon. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,754 og en RMSE på 1,715. Forklaringsvariablene til denne modellen er: kjørelengde ved pålessing, kjørelengde ved avlessing, kjørelengde lastet, RECO-kurs og krantid ved avlessing. Modellen til drivstofforbruk viser hvordan predikert drivstofforbruk treffer med aktuelt drivstofforbruk. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,857 og en RMSE på 0,070. Forklaringsvariablene til modellen er RECO-kurs, kjørelengde ved pålessing, kjørelengde lastet og kjørelengde ved avlessing.



Figur 33: Lassbærer 1. Forklaringsvariabler til variasjon i prestasjon

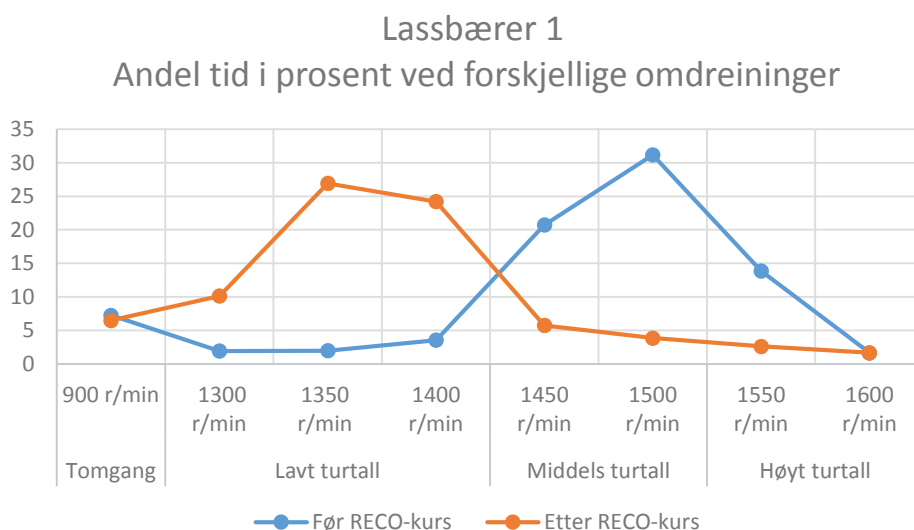
Figur 33 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Prestasjonen øker etter RECO-kurs. Kjørelengde ved pålessing er den variabelen som forklarer mest av variasjonen i prestasjon. Prestasjonen synker ved økende kjørelengde ved pålessing. Kjørelengde lastet er en variabel som forklarer mye av prestasjonen. Prestasjonen synker i stor grad ved økende kjørelengde lastet. Kjørelengde ved avlessing forklarer mindre av variasjonen i prestasjon, men trenden er at prestasjonen reduseres med økende kjørelengde ved avlessing. Krantid ved

avlesning er en variabel som også forklarer lite, men det tender at prestasjonen reduseres ved økende tid per kransyklus. Alle forklaringsvariablene, utenom RECO-kurs var signifikante.



Figur 34: Lassbærer 1. Forklaringsvariabler til variasjon i drivstofforbruk

Figur 34 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Drivstofforbruket tenderer til å bli redusert etter RECO-kurs. Kjørelengde ved pålesing er en sterk forklaringsvariabel, som viser at drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde ved pålesing. Kjørelengde lastet er også en sterk forklaringsvariabel som viser at drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde lastet. Kjørelengde ved avlesning er en svakere forklaringsvariabel, som viser at drivstofforbruket øker svakt ved økende kjørelengde ved avlesning. Alle forklaringsvariablene, utenom RECO-kurs var signifikante.

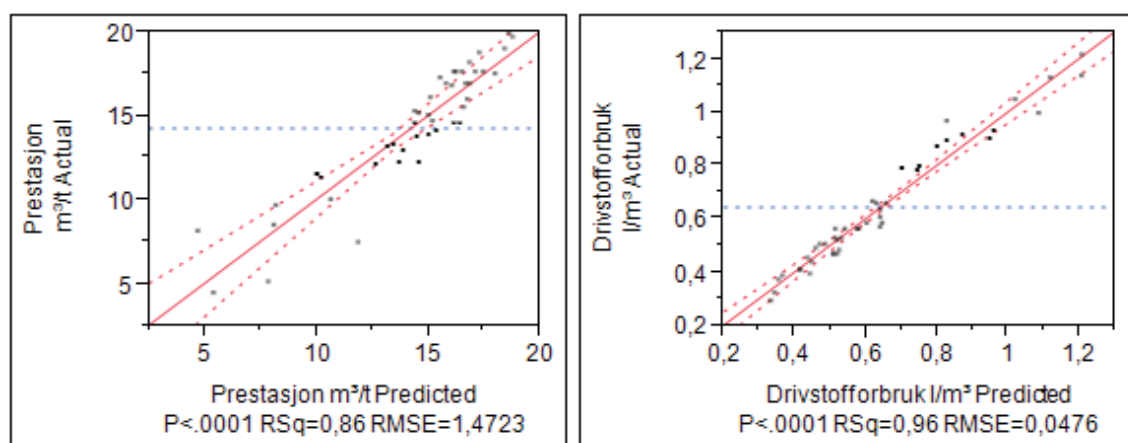


Figur 35: Lassbærer 1. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger.

Figur 35 viser andel tid på tomgang er tilnærmet lik, andel tid på lavt turtall økte og andel tid på middels og høyt turtall ble redusert etter RECO-kurs

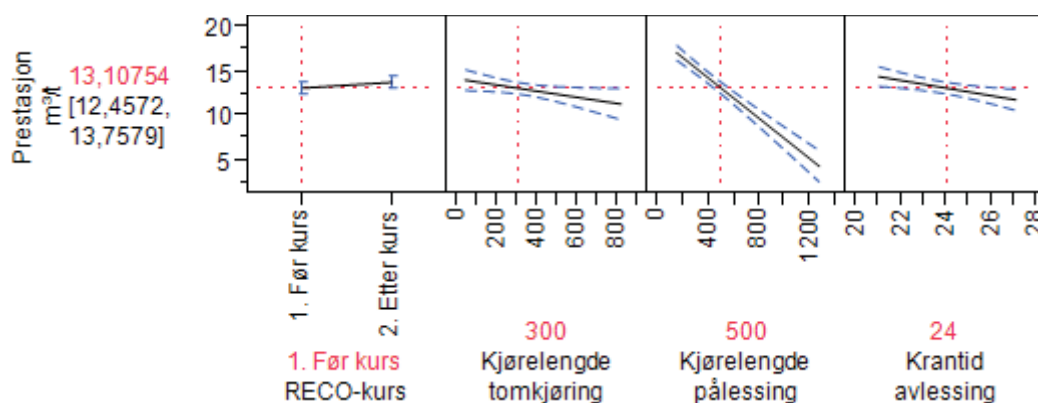
Det var kun andel tid på 900 og 1600 omdreininger var ikke signifikant forskjellig før og etter RECO-kurs.

4.2.2 Lassbærer 2



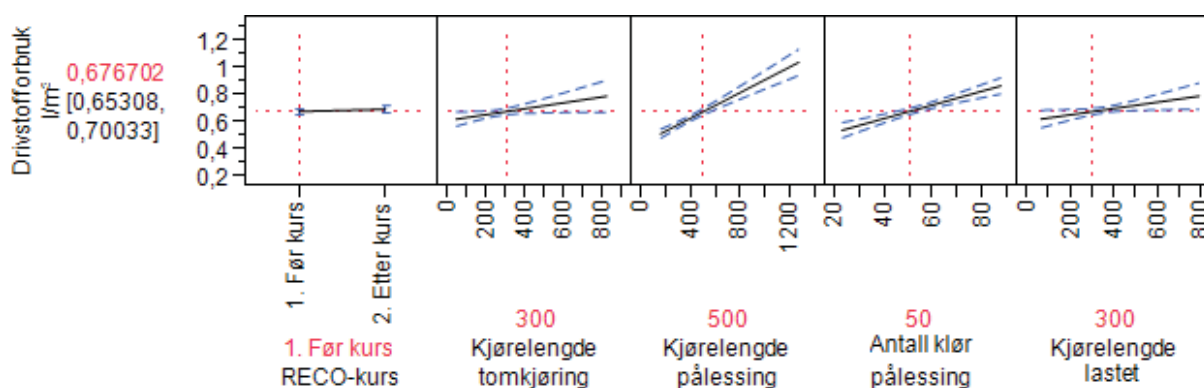
Figur 36: Lassbærer 2. Prestasjons og drivstofforbruksmodell

Figur 36 viser hvordan predikert prestasjon i kubikkmeter per time treffer med aktuell prestasjon. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,857 og en RMSE på 1,472. Forklaringsvariablene til denne modellen er: RECO-kurs, kjørelengde ved tomkjøring, kjørelengde ved pålessing og krantid ved avlessing. Modellen for drivstofforbruk i liter per kubikkmeter viser hvordan predikert drivstofforbruk treffer med aktuelt drivstofforbruk. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,964 og en RMSE på 0,047. Forklaringsvariablene til denne modellen er: RECO-kurs, kjørelengde ved tomkjøring, kjørelengde ved pålessing, antall klør ved pålessing og kjørelengde lastet.



Figur 37: Lassbærer 2. Forklaringsvariabler til variasjon i prestasjon

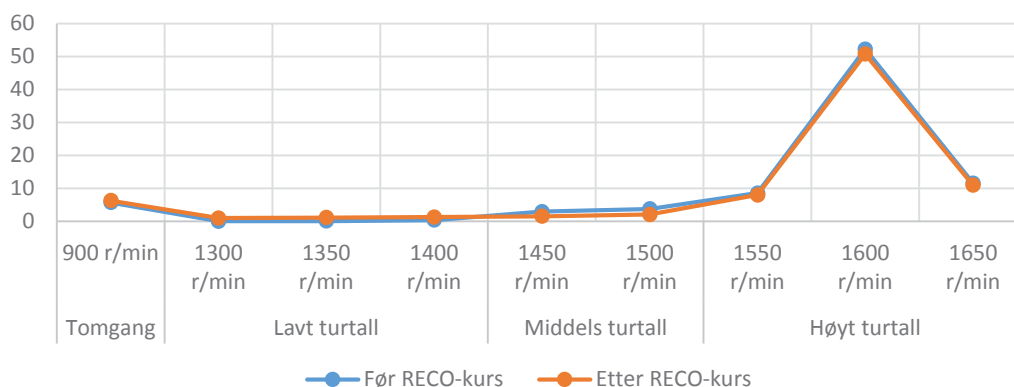
Figur 37 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Prestasjonen øker etter RECO-kurs. Kjørelengde ved tomkjøring er også en svak forklaringsvariabel som viser at prestasjonen reduseres med økende kjørelengde ved tomkjøring. Kjørelengde ved pålessing er en sterk forklaringsvariabel som viser at prestasjonen reduseres sterkt ved økende kjørelengde ved pålessing. Krantid ved avlessing er en svak forklaringsvariabel som viser at prestasjonen reduseres ved økende tid per kransyklus. Alle forklaringsvariablene, utenom RECO-kurs er signifikante.



Figur 38: Lassbærer 2. Forklaringsvariabler til variasjon i drivstofforbruk

Figur 38 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Drivstofforbruket tenderer til å øke etter RECO-kurset. Kjørelengde ved tomkjøring er en svak forklaringsvariabel som viser at drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde ved tomkjøring. Kjørelengde ved pålessing er en sterk forklaringsvariabel som viser at drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde ved pålessing. Antall klør ved pålessing er en middels sterk forklaringsvariabel som viser at drivstofforbruket øker ved økende antall klør som må til for å lesse fullt lass på lassbæreren. Kjørelengde lastet er en svak forklaringsvariabel som viser at drivstofforbruket øker med økende kjørelengde lastet. Alle forklaringsvariablene, utenom RECO-kurs er signifikante.

Lassbærer 2 Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger



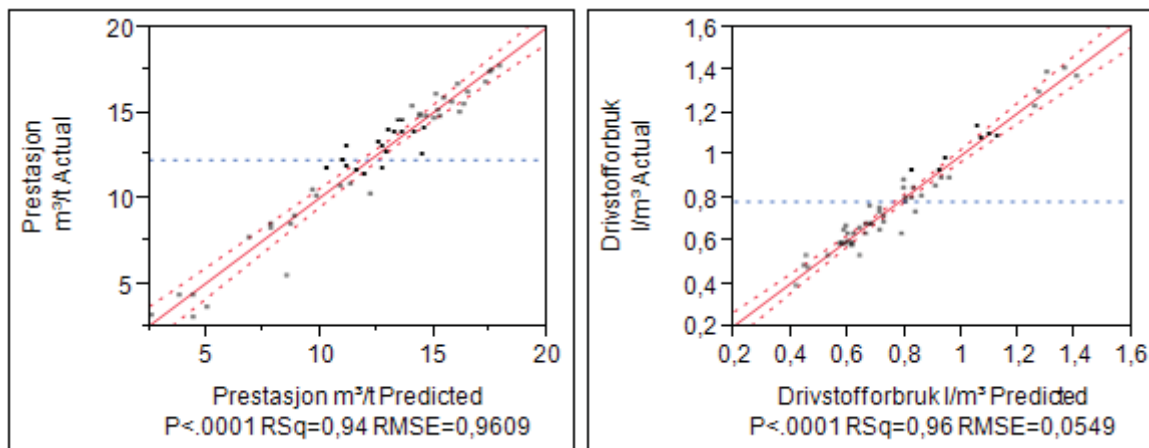
Figur 39: Lassbærer 2. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger.

Figur 39 viser at andel tid på tomgang, lavt, middels og høyt turtall er nærmest uendret før og etter RECO-kurs.

Andel tid på 1450, 1500, 1550 og 1650 omdreininger sank signifikant etter RECO-kurs.

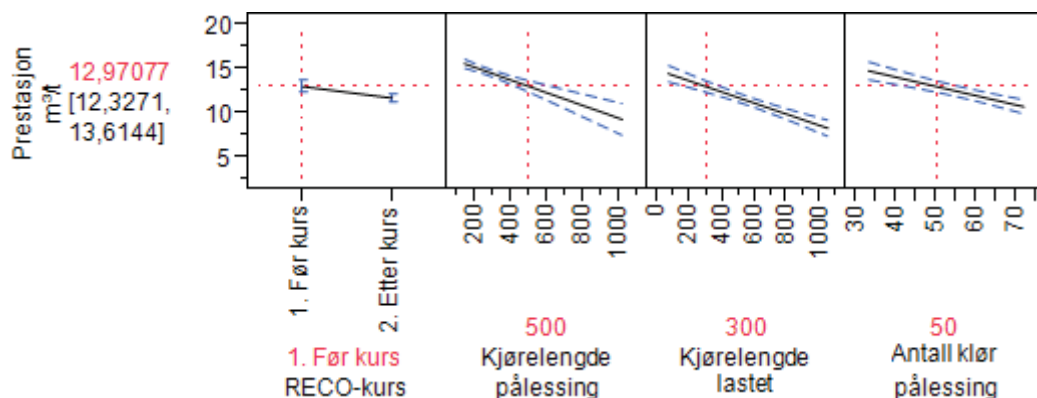
Andel tid på 1300, 1350 og 1400 omdreininger steg signifikant etter RECO-kurs. Selv om det ikke ser ut som det er forskjell mellom andel tid ved forskjellige omdreininger i Figur 39 så er forskjellene statistisk signifikante.

4.2.3 Lassbærer 3



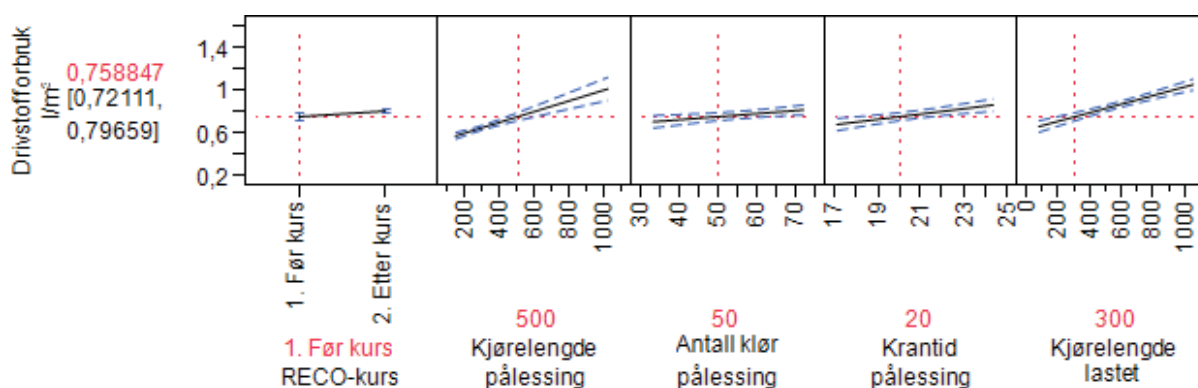
Figur 40: Lassbærer 3. Prestasjons og drivstofforbruksmodell

Figur 40 viser hvordan predikert prestasjon i kubikkmeter per time treffer med aktuell prestasjon. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,943 og en RMSE på 0,960. Forklaringsvariablene til prestasjonsmodellen er: RECO-kurs, kjørelengde ved lessing, kjørelengde laste og antall klør ved lasting. Modellen for drivstofforbruk i liter per time viser hvordan predikert drivstofforbruk treffer med aktuelt drivstofforbruk. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,955 og en RMSE på 0,054. Forklaringsvariablene til drivstofforbruksmodellen er kjørelengde ved lessing, antall klør ved lessing, krantid ved lessing, kjørelengde lastet og RECO-kurs.



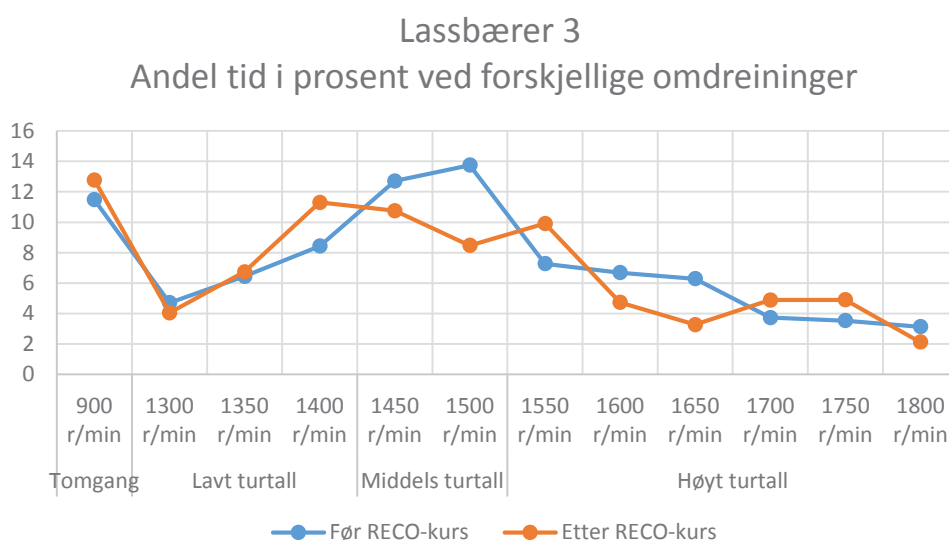
Figur 41: Lassbærer 3. Forklaringsvariabler til variasjon i prestasjon

Figur 41 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Prestasjonen synker etter RECO-kurs. Kjørelengde ved pålessing og kjørelengde lastet er sterke forklaringsvariabler som viser at prestasjonen synker raskt med økende kjørelengde. Antall klør lessing er en svak forklaringsvariabel, som viser at prestasjonen synker med økende antall klør som trengs for å lesse på et lass. Alle forklaringsvariablene var signifikante.



Figur 42: Lassbærer 3. Forklaringsvariabler til variasjon i drivstofforbruk

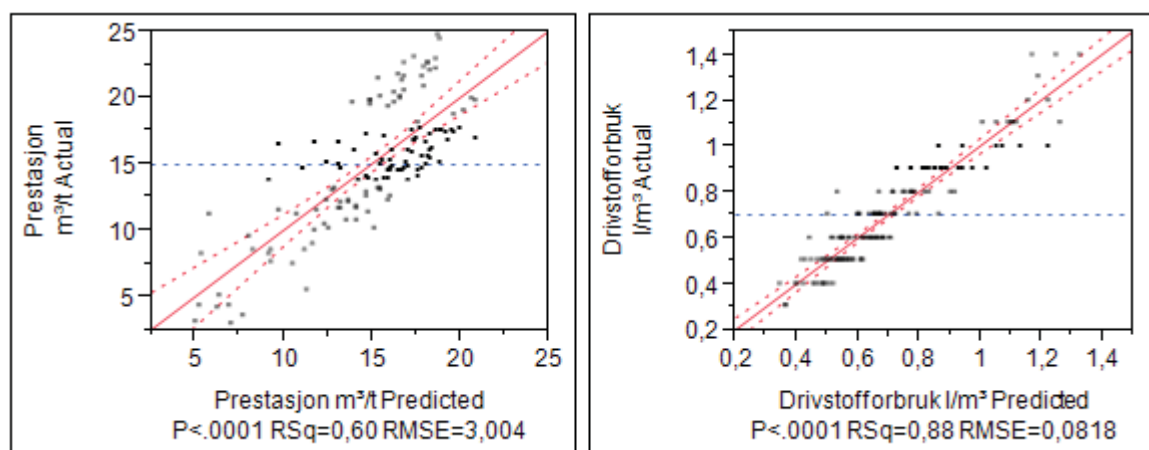
Figur 42 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel til variasjonen i drivstofforbruk i liter per kubikkmeter. Drivstofforbruket øker etter RECO-kurs. Kjørelengde ved pålessing er en sterk forklaringsvariabel, som viser at drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde. Antall klør ved pålessing er en svak forklaringsvariabel, som viser at drivstofforbruket øker svakt ved økende antall klør som trengs for å lesse på et lass. Krantid ved pålessing er også en svak forklaringsvariabel, som viser at drivstofforbruket øker med økende tid per kransyklus. Kjørelengde lastet er en sterk forklaringsvariabel, som viser at drivstofforbruket øker med økende kjørelengde lastet. Alle forklaringsvariablene var signifikante.



Figur 43: Lassbærer 3. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger

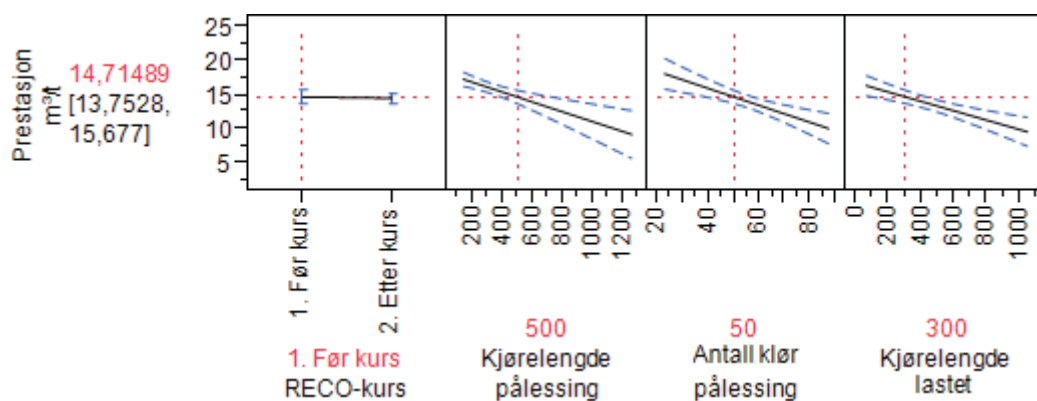
Figur 43 viser at andel tid på tomgang og lavt turtall økte etter RECO-kurs. Andel tid på middels turtall ble redusert etter RECO-kurs. Andel tid på høyt turtall øker og synker etter RECO-kurs. Andel tid på 1500 omdreininger sank signifikant etter RECO-kurs.

4.2.4 Samtlige lassbærere



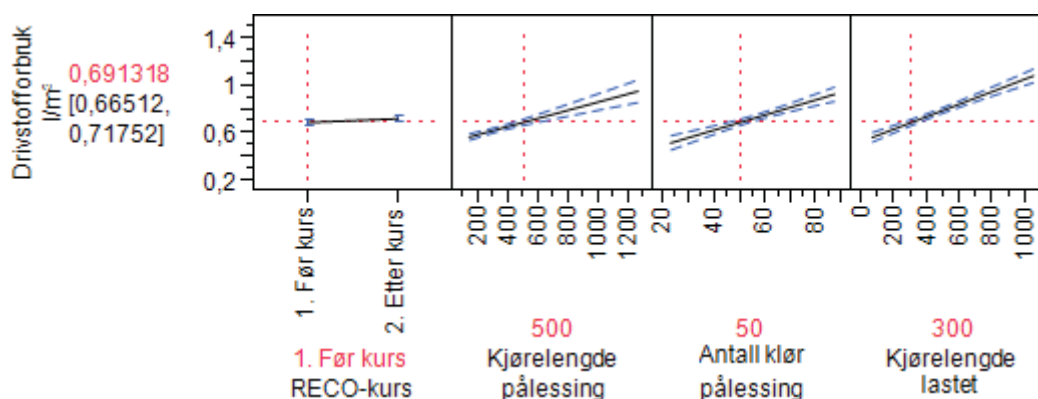
Figur 44: Samtlige lassbærere. Prestasjon og drivstofforbruksmodell

Figur 44 viser hvordan predikert prestasjon treffer med aktuell prestasjon. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,6017 og en RMSE på 3,003. Forklaringsvariablene til prestasjonsmodellen er RECO-kurs, kjørelengde ved pålessing, antall klør ved pålessing og kjørelengde lastet. Modellen for drivstofforbruk viser hvordan predikert drivstofforbruk treffer med aktuelt drivstofforbruk. Modellen treffer med en p-verdi på $<0,0001$, R^2 på 0,881 og en RMSE på 0,081. Forklaringsvariablene til drivstofforbruksmodellen er RECO-kurs, kjørelengde ved pålessing, antall klør ved pålessing og kjørelengde lastet.



Figur 45: Samtlige lassbærere. Forklaringsvariablene til variasjon i prestasjon

Figur 45 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Prestasjonen tenderer til å synke etter RECO-kurs. Kjørelengde ved lessing er en sterk forklaringsvariabel. Prestasjonen synker med økende kjørelengde ved pålessing. Antall klør ved pålessing er en sterk forklaringsvariabel. Prestasjonen synker med økende antall klør ved pålessing. Kjørelengde lastet er en sterk forklaringsvariabel. Prestasjonen synker med økende kjørelengde lastet. Alle forklaringsvariablene, utenom RECO-kurs er signifikante.

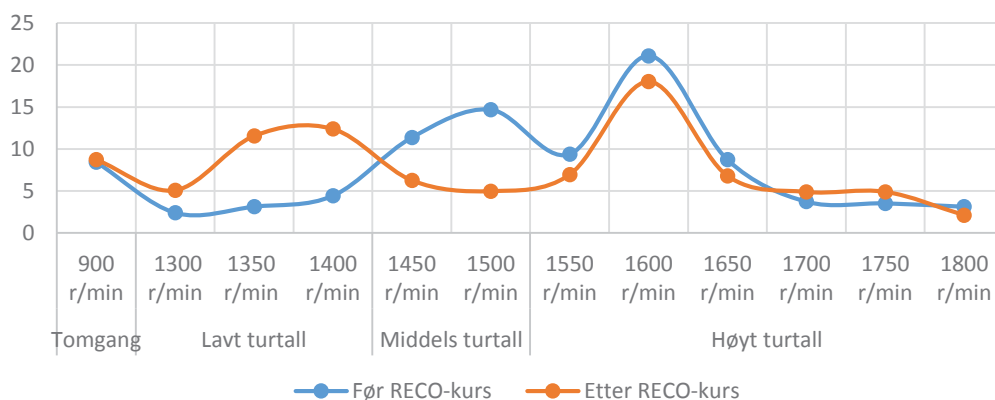


Figur 46: Samtlige lassbærere. Forklaringsvariablene til variasjon i drivstofforbruk

Figur 46 viser at RECO-kurs er en svak forklaringsvariabel. Drivstofforbruket tenderer til å øke etter RECO-kurs. Kjørelengde ved lessing er en sterk forklaringsvariabel.

Drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde ved lessing. Antall klør ved lessing er en sterk forklaringsvariabel. Drivstofforbruket øker med økende antall klør ved lessing. Kjørelengde lastet er en sterk forklaringsvariabel. Drivstofforbruket øker ved økende kjørelengde lastet. Alle forklaringsvariablene var signifikante.

Samtlige lassbærere Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger



Figur 47: Samtlige lassbærere. Andel tid i prosent ved forskjellige omdreininger

Figur 47 viser at andel tid på tomgang er nærmest uforandret etter RECO-kurs. Andel tid på lavt turtall har økt etter RECO-kurs. Andel tid på middels turtall ble redusert etter RECO-kurs. Andel tid på høyt turtall er nærmest uendret etter RECO-kurs.

Andel tid på 1450, 1500 og 1550 omdreininger har sunket signifikant etter RECO-kurs. Andel tid på 1300, 1350 og 1400 omdreininger har økt signifikant etter RECO-kurs.

Tabell 9: Lassbærere. Forskjellige forklaringsvariablene som er benyttet i modeller for prestasjon og drivstofforbruks for alle lassbærere, parameterestimatet for disse samt standardavvik, t-verdi og p-verdi. Alle p-verdiene som er merket er signifikante på et 5 prosentsnivå.

Prestasjon m³/t						Drivstofforbruk l/m³			
Forklaringsvariabler	Antall observasjoner	Parameterestimat	Standardavvik	t-verdi	p-verdi	Parameterestimat	Standardavvik	t-verdi	p-verdi
Lassbærer 1.									
Intercept	40	41.4902	6.7415	6.15	<0.0001*	0.2554	0.04156	6.15	<0.0001*
RECO-kurs	40	-0.4574	0.3066	-1.49	0.1450	0.0122	0.01170	1.05	0.3008
Kjørelengde lessing	40	-0.0083	0.0022	-3.73	0.0007*	0.0003	0.00005	3.50	0.0013*
Kjørelengde lastet	40	-0.0059	0.0019	-2.97	0.0054*	0.0005	0.00008	7.16	<0.0001*
Kjørelengde avlessing	40	-0.0249	0.0099	-2.50	0.0172*	0.0009	0.00040	2.35	0.0248*
Krantid avlessing	40	-0.6830	0.0311	-2.20	0.0350*				
Lassbærer 2.									
Intercept	45	30.3142	3.7547	8.07	<0.0001*	0.05927	0.03470	1.71	0.0956
RECO-kurs	45	-0.3238	0.2265	-1.43	0.1606	-0.0079	0.00747	-1.07	0.2926
Kjørelengde tomkjøring	45	-0.0034	0.0016	-2.10	0.0422*	0.0002	0.00010	2.11	0.0414*
Kjørelengde lessing	45	-0.0113	0.0009	-11.82	<0.0001*	0.0004	0.00005	8.83	<0.0001*
Krantid avlessing	45	-0.4238	0.1508	-2.81	0.0076*				
Antall klør lessing	45					0.005	0.00082	6.19	<0.0001*
Kjørelengde lastet	45					0.0002	0.00010	2.20	0.0340*
Lassbærer 3.									
Intercept	53	22.9899	0.8368	27.47	<0.0001*	-0.2364	0.12900	-1.83	0.0732
RECO-kurs	53	0.6580	0.16	4.11	0.0002*	-0.0256	0.00918	-2.79	0.0076*
Kjørelengde lessing	53	-0.0071	0.0011	-6.05	<0.0001*	0.0005	0.00007	7.00	<0.0001*
Kjørelengde lastet	53	-0.0063	0.0007	-8.02	<0.0001*	0.0004	0.00004	8.87	<0.0001*
Antall klør lessing	53	-0.1041	0.0171	-6.06	<0.0001*	0.0028	0.00098	2.91	0.0055*
Krantid lessing	53					0.0253	0.00622	4.04	0.0002*
Samtlige lassbærere									
Intercept	138	26.4491	1.4658	18.04	<0.0001*	0.0592	0.03991	1.48	0.1402
RECO-kurs	138	0.0922	0.2687	0.34	0.7320	-0.0157	0.00731	-2.15	0.0337*
Kjørelengde lessing	138	-0.0071	0.0018	-3.87	0.0002*	0.0003	0.00005	6.80	<0.0001*
Antall klør lessing	138	-0.1244	0.032	-3.88	0.0002*	0.0064	0.00087	7.34	<0.0001*
Kjørelengde lastet	138	-0.0067	0.0015	-4.25	<0.0001*	0.0005	0.00004	12.03	<0.0001*

Tabell 9 viser at for lassbærer 1 og lassbærer 2 var RECO-kurs ingen signifikant forklaringsvariabel til variasjon i prestasjon i kubikkmeter per time eller drivstofforbruk i liter per kubikkmeter. For lassbærer 3 gav RECO-kurs en signifikant reduksjon i prestasjonen og økning i drivstofforbruket. For Samtlige lassbærere gav RECO-kurs en signifikant økning i drivstofforbruk, men ingen signifikant forandring i prestasjon.

Tabell 10: Lassbærer. Oversikt over endring i prestasjon og drivstofforbruk etter RECO-kurs

Lassbærer	Prestasjon m ³ /t før kurs	Prestasjon m ³ /t etter kurs	Differanse	Drivstofforbruk l/m ³ før kurs	Drivstofforbruk l/m ³ etter kurs	Differanse
1	18.22	19.13	5.0 %	0.70	0.68	-3.5 %
2	13.11	13.76	4.9 %	0.68	0.69	2.4 %
3	12.97	11.65	-10.1 %	0.76	0.81	6.8 %
Samtlige	14.71	14.53	-1.3 %	0.69	0.72	4.5 %

Ved hjelp av funksjonen Prediksjons Profiler i JMP kunne prestasjons og drivstofforbruksendringen før og etter RECO-kurs beregnes. Verdiene i kubikkmeter per time og liter per kubikkmeter, samt prosentvis endring er vist i Tabell 10.

5.0 Diskusjon

5.1 Oppsummering av resultatene

Prestasjonen i kubikkmeter per time og drivstofforbruk i liter per kubikmeter hos seks skogsmaskiner, tre hogstmaskiner og tre lassbærere, ble analysert i et langtidsstudie over ett år. Det ble gjennomført for å undersøke om RECO-kurs har signifikat påvirkning på prestasjon og drivstofforbruk.

5.1.1 Hogstmaskiner

Resultatene i Tabell 7 viser at RECO-kurs økte prestasjonen til hogstmaskin 2 og Samtlige hogstmaskiner signifikant. For hogstmaskin 1 øker prestasjonen, men det var ikke signifikant. For hogstmaskin 3 synker prestasjonen, men det var heller ikke signifikant. Av den prosentvise forandringen vist i Tabell 11 kan en se at prestasjonen forandret seg med +5,5, +14,6, -2,5 og +7,1 prosent for henholdsvis hogstmaskin 1, 2, 3 og Samtlige hogstmaskiner.

Tabell 11: Hogstmaskiner. Prestasjon og drivstofforbruksdifferanse etter RECO-kurs

Hogstmaskin	Prestasjonsdifferanse	Drivstofforbruksdifferanse
1	5.5 %	-11.4 %
2	14.6 %	-13.8 %
3	-2.5 %	0.5 %
Samtlige	7.1 %	-8.1 %

Resultatene i Tabell 7 viser at RECO-kurs reduserer drivstofforbruket til hogstmaskin 1, hogstmaskin 2, og Samtlige hogstmaskiner signifikant. For hogstmaskin 3 var RECO-kurs ingen signifikant forklaringsvariabel. Av den prosentvise forandringen vist i Tabell 11. kan en se at drivstofforbruket forandret seg med -11,4, -13,8, +0,5 og -8,1 prosent for henholdsvis hogstmaskin 1, 2, 3, og Samtlige hogstmaskiner.

Disse signifikante resultatene viser at etter gjennomført RECO-kurs økte prestasjonen til Samtlige hogstmaskiner med 7,1 prosent og drivstofforbruket sank med 8,1 prosent. Resultatet i denne analysen viser at prestasjonen økte og drivstofforbruket ble redusert mer enn det Thorsén (2010) fant i sin analyse av prestasjon og drivstofforbruk til et skogsmaskinlag fra oktober 2008 til mai 2009. Der hadde hogstmaskinen en prestasjonsforbedring på 1 prosent, mens drivstofforbruket var omtrent det samme før og etter

RECO-kurs. Målemetoden i Thorsén (2010) studie var noe annerledes, der ble prestasjon og drivstofforbruk målt mot beregningsgrunnlaget til skogforetaket SCA skog AB, som var beregnet utfra ulike middelstammer. Ved å sammenlikne den relative prestasjonen før og etter RECO-kurs fikk de et mål på utdanningseffekt (Thorsén 2010). Forskerne ble litt forundret over at prestasjonsforbedringen ikke var større. De trodde årsaken kanskje var at hogstmaskinen normalt avvirket GROT-tilpasset, mens på kursdagen i felt var avvirkningen ikke GROT-tilpasset. Det kan ha gitt misvisende utdanningsinstruksjoner, ettersom det er to forskjellige metoder å avvirke på. En annen grunn var at det var stor spredning på middelstammen på objektene i studien. Det tvang de svenske forskerne til å ekskludere noen objekter i studien, og dermed ble datamaterialet mindre og mer usikkert. Et positivt resultat var at prosesstiden registrert i TimberLink hadde økt med 4,5 prosent etter kurs.

Hogstmaskin 1 økte prestasjonen og reduserte drivstofforbruket. Resultatet ble høyere enn i studien til Thorsén (2010). Andelen tid på høyt turtall ble senket fra 1900 til 1800 omdreininger. Det kan ha bidratt til å redusere drivstofforbruket. Toppen på turtallskurven vist i Figur 22 ligger på 1800 omdreininger etter kurs. Det er fortsatt litt høyt og kunne vært redusert mer. Det er ingen tydelige tegn på at hogstmaskin 1 har tillempet seg å kjøre på lavere turtall. Prosesstiden var uforandret, men krantiden ble redusert med 2,5 prosent. Det kan tyde på at hogstmaskin 1 har fulgt RECO-instruksen om å minimere kranbevegelsene ved å kjøre nærmere trærne. Det virker som prestasjonsøkningen har ført til redusert drivstofforbruk per kubikkmeter.

Hogstmaskin 2 økte prestasjonen og reduserte drivstofforbruket. Resultatet ble høyere enn i studien til Thorsén (2010). Andelen tid på høyt turtall ble økt etter RECO-kurs. Dette tyder på at hogstmaskin 2 ikke har tillempet seg RECO-instruksen om å redusere turtallet. En grunn til dette kan være at gjennomsnittlig trestørrelse var større etter RECO-kurs. En positiv effekt av RECO-kurset var at prosesstiden økte med cirka 3 prosent. Det betyr at større andel av tiden har blitt brukt til å opparbeide tømme, noe som øker prestasjonen. I samme tilfelle som hogstmaskin 1 det kan virke som at prestasjonsøkningen ført til redusert drivstofforbruk per kubikkmeter.

Hogstmaskin 3 reduserte prestasjonen og økte drivstofforbruket etter RECO-kurs. Resultatet var uventet ettersom hogstmaskin 1 og 2 økte sin prestasjon og reduserte drivstofforbruket.

Noen faktorer som kan ha spilt inn er at hogstmaskin 3 fikk RECO-instruksjon i felt i tynning, men har arbeidet en del i sluttavvirkning etter kurs. Det kan ha gjort utslag ettersom RECO-instruksjonen i tynning og sluttavvirkning er forskjellig. Hogstmaskin 3 har redusert turtallet fra en topp på 1750 og 1800 omdreininger til en topp på 1700 og 1750 omdreininger. Det tyder på at hogstmaskin 3 har tillempet seg RECO-instruksjon om å redusere turtallet. Dette var ikke avgjørende nok til å redusere drivstofforbruket etter RECO-kurs. Økt andel kjøretid på 1 prosent og redusert andel prosessid på 2,5 prosent kan forklare reduksjon i prestasjon. Reduksjonen i prestasjon har antageligvis påvirket drivstofforbruket til å øke.

Samtlige hogstmaskiner økte prestasjonen og reduserte drivstofforbruket etter RECO-kurs. Resultatet ble høyere enn i studien til Thorsén (2010). Samtlige hogstmaskiner har økt turtallstoppen fra 1750 til 1800 omdreininger. RECO-instruksen om å redusere arbeidsturtallet har ikke blitt tillempet for Samtlige hogstmaskiner. Det var ingen økt prosessid eller redusert krantid. Det tyder på at hogstmaskin 3 reduserer samtlige maskiner sin prosessid og øker krantiden. Det virker som prestasjonsøkningen har ført til redusert drivstofforbruk per kubikkmeter.

5.1.2 Lassbærere

Tabell 9 viser at RECO-kurs reduserte prestasjonen til lassbærer 3 signifikant. For lassbærer 1, 2 og Samtlige lassbærere var RECO-kurs ingen signifikant forklaringsvariabel for endring i prestasjon. Av den prosentvise forandringen vist i Tabell 12 kan en se at prestasjonen forandrer seg med +5,0, +4,9, -10,1 og -1,3 prosent for henholdsvis lassbærer 1, 2, 3 og Samtlige lassbærere. Tabell 9 viser at RECO-kurs økte drivstofforbruket til lassbærer 3 og Samtlige lassbærere signifikant. For lassbærer 1 og 2 var RECO-kurs ingen signifikant forklaringsvariabel for endring i drivstofforbruk. Av den prosentvise forandringen vist i Tabell 12 kan en se at drivstofforbruket forandrer seg med -3,5, +2,4, +6,8 og +4,5 prosent for henholdsvis lassbærer 1, 2, 3 og Samtlige lassbærere.

Tabell 12: Lassbærere. Prestasjon og drivstofforbruksdifferanse etter RECO-kurs

Lassbærer	Prestasjonsdifferanse	Drivstofforbruksdifferanse
1	5.0 %	-3.5 %
2	4.9 %	2.4 %
3	-10.1 %	6.8 %
Samtlige	-1.3 %	4.5 %

Resultatene viser at etter endt RECO-kurs ble prestasjonen for Samtlige lassbærere redusert med 1,3 prosent og drivstofforbruket økte med 4,5 prosent. Det er en signifikant økning i drivstofforbruk etter RECO-kurs. Det var ingen signifikant forandring i prestasjon etter RECO-kurs. Resultatet stemmer dårlig med det Jönsson og Löfroth (2007) fant da de tidsstuderte to lassbærere før og etter RECO-kurs. De fant at lassbærerne i gjennomsnitt økte prestasjonen med 7 prosent, og reduserte drivstofforbruket tilsvarende. En årsak til at resultatene er så forskjellige kan være at lassbærerne til Jönsson og Löfroth (2007) ble studert på en fast kjørebane med de samme stokkene tre ganger. Det utelukker all støyen fra terrengvariablene, varierende størrelse på virkeshaugene og med tømmer av varierende dimensjon. Studiet var et intensivstudie, der operatørene kunne se seg selv på film og kjøre igjen etterpå. Det er trolig at det bidrar til å løfte prestasjonen enda mer. Thorsén (2010) fant at lassbæreren økte prestasjonen med 7 prosent etter lengre tidsstudering. Drivstofforbruket var uendret etter kurs. Her ble prestasjonen og drivstofforbruket regnet mot beregningsgrunnlaget til skogforetaket SCA skog AB. Beregningsgrunnlaget inneholder informasjon om undervegetasjon, middeltransportavstand, overflatestruktur, helling, middelstamme, volum og antall sortimenter. Thorsén (2010) sin studie har med flere essensielle forklaringsvariabler, som terreng helning og antall sortimenter enn det undertegnede har med i denne analysen, det medfører at Thorsén studie er sterkere. Analysen av Br. Haneborg AS sine skogsmaskiner foregikk over lengre tid med datainnsamling fra datamaskiner. Det gjør datamaterialet større og sikrere.

Englund et al. (2013) fant etter en lassbærerkonkurranse på Elmia Wood, der operatører fikk i oppgave å lesse av og på et lass med så lavt drivstofforbruk som mulig, at operatørene som valgte 1450 omdreininger forbrukte 12 prosent mer drivstoff enn operatørene som valgte 1250 omdreininger. Operatørene som valgte rask kran var 13 prosent raskere enn de som valgte treg kran og forbrukte 2 prosent mindre drivstoff. Det vil si at senkning av turtallet med 200 omdreininger har god innvirkning på drivstofforbruket. I tillegg er en optimalt innstilt kran viktig for å arbeide raskest mulig. Undersøkelsen tar kun for seg terminaloppperasjoner som pålessing og avlessing stillestående, men viser tydelig at det er besparingspotensial på disse deloperasjonene.

Lassbærer 1 hadde resultater som er tilnærmet like som de svenske studiene. Det viser at det er mulig for lassbærerne å forbedre prestasjonen og senke drivstofforbruket. Lassbærer 1 har i

største delen av tiden arbeidet i lag med hogstmaskin 1, som også økte prestasjonen og reduserte drivstofforbruket. Om lassbæreroperatøren har effektivisert seg på egenhånd eller har dratt nytte av at hogstmaskinoperatøren har lagt bedre til rette er uvisst. Lassbærer 1 økte andel tid på lavere turtall og reduserte andel tid på høyere turtall etter RECO-kurs. Dette er vist i Figur 35. Hovedtyngden ble flyttet fra 1500 omdreininger til 1350 omdreininger. Det betyr at lassbæreroperatør 1 har tilnærmet seg å kjøre etter RECO-prinsippet. Det er med på forklare reduksjon i drivstofforbruk.

Lassbærer 2 økte prestasjonen, men økte også drivstofforbruket. En årsak til det kan være at fokuset på økt prestasjon har ført til høyere drivstofforbruk. Lassbærer 2 er en relativt liten lassbærer som er mer sårbar for variasjon i terrenget. Det kan ha slått ut negativt etter RECO-kurset. Drivstofforbruk i liter per time etter RECO-kurs har sunket eller vært uendret for alle deloperasjoner utenom kjøring med lass. Dette kan indikere at andelen med kjøring oppover med lass har økt eller bæreevnen har blitt redusert for driftene etter RECO-kurs. Fordelingen av andel turtall vist i Figur 39 var nærmest uforandret med en topp på 1600 omdreininger før og etter RECO-kurs. Det kan tyde på at operatøren ikke har tilnærmet seg drivstofføkonomisk arbeid etter RECO-instruksjonene.

Lassbærer 3 reduserte sin prestasjon og økte sitt drivstofforbruk. En årsak til det kan være at kjøreforholdene til lassbærer 3 var dårligere med mer kjøring oppover med lass eller redusert bæreevne på driftene etter RECO-kurs. Fordelingen av andel turtall vist i Figur 43 varierte usystematisk med en topp på 1450 omdreininger før og etter RECO-kurs. Det kan tyde på at operatøren ikke har tilnærmet seg å arbeide drivstofføkonomisk etter RECO-prinsippene. Lassbærer 3 har i største delen av tiden arbeidet i lag med hogstmaskin 3. Hogstmaskin 3 hadde også redusert prestasjon. Ettersom begge maskinene i laget har redusert prestasjon kan utenforliggende faktorer som terreng og kjøreforhold ha påvirket prestasjonen.

Samtlige lassbærere endret ikke prestasjonen signifikant, drivstofforbruket økte signifikant etter RECO-kurs. Årsaken til dette er at lassbærer 3 reduserte sin prestasjon, samt at lassbærer 2 og 3 økte sitt drivstofforbruk. Resultatet samsvarer ikke med det Jönsson og Löfroth (2007) og Thorsén (2010) fant i sine studier. Det var kun lassbærer 1 som reduserte arbeidsturtallet etter RECO-kurs. Lassbærer 2 og 3 reduserte ikke arbeidsturtallet etter RECO-kurs. Utfra

dette kan en konkludere med at RECO-instruksen bare delvis er fulgt av lassbæreroperatørene.

5.2 Menneskelige faktorer

Hvorfor noen operatører øker sin prestasjon samtidig som de reduserer drivstofforbruket, mens andre operatører ikke gjør det kan det være flere forklaringer på. Som tidligere nevnt kan terrengvariabler som ikke ble kartlagt i denne analysen være en avgjørende faktor. Entreprenøren merker en tydelig økning i drivstofforbruket hvis avvirkningsplassen ligger lavere enn lunneplassen og man har motbakkekjøring med lass. En annen faktor som ikke er undersøkt i dette studiet er hvordan lang kjørevei påvirker den enkelte operatørens prestasjon. Gjedtjernet (1989) studerte ytelsesgraden til lassbæreroperatører med og uten lass. Det var stor individuell forskjell mellom operatørene. Ved barmarkskjøring uten lass hadde en operatør en ytelsesgrad på 2,40, mens en annen operatør hadde en ytelsesgrad på 0,76. Gjedtjernet (1989) observerte også at en og samme operatør hadde en ytelsesgrad på 0,89 ved barmarkskjøring uten lass samtidig som operatøren hadde en ytelsesgrad på 1,28 på barmarkskjøring med lass. Ved terminaloperasjoner ble lignende observasjoner gjort. En og samme operatør hadde en ytelsesgrad på 1,87 ved lessing og 1,06 ved avlessing. Den største forskjellen i ytelsesgrad ved lessing mellom operatører varierte fra 1,87 til 0,68 (Gjedtjernet 1989). Disse forskjellene kan gi store utslag på prestasjonen og drivstofforbruket ved lengre kjøreavstander hvis operatøren har en høy ytelsesgrad ved terminaloperasjoner, men en lav ytelsesgrad ved terrengkjøring og omvendt. Disse forskjellene kan kanskje forklare hvorfor noen operatører har en lavere prestasjon enn andre. Lang kjørevei eller lav gjennomsnittlig trestørrelse kan også påvirke operatørene psykisk ved at de blir demotiverte når forholdene er suboptimale, og har en lavere prestasjon og et høyere drivstofforbruk enn det forklaringsvariablene tilsier at operatøren skulle hatt. I perioden operatørene har blitt analysert har det vært få hogstopppdrag og lite planleggingsflyt. Få hogstopppdrag gjør også at de ansatte i firmaet ikke presterer optimalt hele tiden. Hadde de prestert optimalt ville de blitt fortere ferdig og maskinen måtte stått rolig i lengre perioder. Det er vanskelig å måle hvordan dette har påvirket hver enkelt operatør. Operatørene må ha motivasjon til å forbedre seg, ellers vil ingen forandring skje. RECO-kurs øker motivasjonen og viljen til å utvikle seg, men med lav ordreinngang er det vanskelig å holde motivasjonen til å utvikle seg høy.

5.3 Datamaterialet

Datamaterialet omfatter maskinstatistikk fra februar 2013 til og med februar 2014 registrert i TimberLink. Datainnsamlingen burde foregått over en lengere periode enn det den gjør i denne analysen. Årsaken til det er at datamaterialet ville dekket sesongvariasjonene bedre. En faktor som rettferdiggjør den korte analyseperioden er at det har praktisk talt vært barmarkssesong under hele tidsperioden, så kjøreforholdene har vært relativt like i hele analyseperioden. Det var kun ettervinteren i 2013 at kjøreforholdene var relativt gode med tele og snø. Måling av prestasjon og drivstofforbruk nøyaktig i skogen under vanlig skogsdrift er krevende. Terrenget forandrer seg hele tiden, bæreevnen varierer, treslagsfordelingen er forskjellig, gjennomsnittlig trestørrelse varierer, temperatur har også mye å si på prestasjon og forbruk og snødybde påvirker drivstofforbruket. Det viste seg at TimberLink ikke kunne gi alle forklaringsvariablene som var forventet. Det var forventet å få ut forklaringsvariablene på treslagsfordeling og sortiment i tillegg til det andre TimberLink viser, med det viste seg å ikke stemme. Det var også forventet å få informasjonen ut for hvert hogstobjekt, men en kommunikasjonssvikt mellom entreprenøren og undertegnede medførte at dataene ikke ble lagret objektvis. Perioden februar 2013 til og med februar 2014 har vært en periode med få hogstoppdrag for entreprenørfirmaet Br. Haneborg AS. Dette gjør at det har vært vanskelig å planlegge drifter fram i tid, noe som er viktig for å kunne drive rasjonell skogsdrift. Dette er en stor svakhet i min studie. Ideelt sett burde ordrebøkene vært fulle og maskinene gå for fullt.

For å kunne konkludert mer sikkert burde datasettet inneholdt analyser fra flere hogstmaskiner og lassbærere fra flere forskjellige entreprenørfirmaer. Det kunne ha gitt et mer entydig resultat enn denne studien, som viser både økning og reduksjon i både prestasjon og drivstofforbruk. Faktumet at dataene måtte overføres manuelt fra TimberLink til Excel medfører en risiko for tastefeil ettersom dette er en menneskelig feilkilde. Her burde det ideelt sett gått å få eksportert dataene direkte, på dette punktet ble ikke datakapasiteten rettet ettersom datamaterialet ikke var så omfattende.

5.4 Forslag til forbedring av datainnsamling

Lengden på datamaterialet burde ideelt vært på to år, slik at en fikk analysert et helt år før RECO-kurs og et helt år etter RECO-kurs for å kunne kartlegge sesongvariablene bedre. Analysen burde anslagsvis inneholdt data fra minst ti skogsmaskinlag. Det ville innebære data fra cirka 200 000 kubikkmeter tømmer avvirket og utkjørt før og etter RECO-kurs. Det kunne gitt gode og mer entydige datasett. En får også analysert om i hvor stor grad den menneskelige faktoren påvirker operatørene i form av hvor mange som har vilje til å følge RECO-instruksen og forbedre seg. For å kunne korrigere bedre for skog og terrengvariablene burde analysen ideelt sett inneholdt disse forklaringsvariablene for hogstmaskin og lassbærer:

- Gjennomsnittlig trestørrelse
- Terrengjevnheter i bestandet
- Uttaksprosent
- Kubikkmeter tømmer per dekar
- Treslagsfordeling/sortiment
- Temperatur
- Bæreevne
- Driftsveilengde
- Snøforhold
- Grad av planlegging
- Størrelsen på driftene

Registrering av disse faktorene ville sannsynligvis gitt en sterkere forklaring av responsen, der de store variasjonene kunne blitt korrigert bedre for. En slik registrering ville blitt tidkrevende for seks skogsmaskiner samtidig og det ville gitt et stort datasett, som det ville tatt lang tid å behandle. Et praktisk problem med registrering er at ofte vet ikke entreprenøren hvor den neste avvirkningsplassen er før han er klar til å flytte maskinen, så det å gjøre feltregistreringer med hensyn til treantall per dekar, kubikkmeter per dekar og treslagsfordeling ville være en krevende oppgave. Slike registreringer ville kunne hindre entreprenøren i å starte avvirkningen med en gang. Det var viktig at studien ikke skulle hindre entreprenørens arbeid. Noe av dette kan gjøres i etterkant, men arbeidet ville blitt for tidkrevende for en oppgave av dette kaliberet.

En fremgangsmåte for å registrere prestasjon og drivstofforbruk grundigere er at hver hogstmaskin og lassbærer bør være utstyrt med en GPS som lagrer alle posisjonen til maskinene kontinuerlig. Datamaterialet fra GPS registreringene kunne analyseres i et GIS

program slik at en kunne utviklet et terrenkart. Det ville fanget opp mer av usikkerheten terrenget lager. Driftene burde blitt nummerert fra starten, slik at den første driften til hogstmaskin 1 ville blitt kalt Hogstmaskin 1. Drift 1. Dermed er det lettere å følge med på hvilken drift lassbæreren arbeider på. Da kunne skogvariablene linkes fra hogstmaskinen til lassbæreren. Uttaksprosent gjelder først og fremst i tynning. Da ville relaskopering av bestandet være tilstrekkelig. Når det gjelder kubikkmeter tømmer per dekar og treslagsfordeling kan en få dette av hogstmaskinens produksjonsfil. I tillegg må en ha tilgang til arealene på de avvirkede bestandene. Årsaken til at treslagsfordeling er en viktig variabel er at en kan hogge granskog mer effektivt enn furuskog. Årsaken til dette er at furu må apteres manuelt i mye større grad for å ikke aptere bort store verdier som vil påvirke skogeierens rotnetto (Haneborg, K. 2014).

Antallet sortimenter er påvirkende forklaringsvariabel til produksjonen, og dermed også drivstofforbruket. I følge Brunberg (2004) så øker tidsbruken per sortiment med følgende formel:

$$S = -0,1 + 0,1 \cdot AS \quad (\text{Formel 3})$$

Der S = tidsbruk for sortering i G_{15} minutter per kubikkmeter og AS = antall sortimenter. Ved å sette inn for denne formelen utgjør et sortiment ekstra 0,1 G_{15} minutter mer per kubikkmeter. Ut fra denne formelen er det mulig å se hvor stort utslag to sortimenter færre har på tidsbruken. Hvis en har to like drifter på 2000 kubikkmeter hver, der drift 1 har 12 sortimenter mens drift 2 har 10 sortimenter, ville drift 1 med 12 sortimenter tatt 6,7 timer lengre tid.

Temperaturoversikt ville verifisere antagelsen om at tømmer hogges lettere når det er frossent fordi kvisten er sprøere og tømmeret blir dermed lettere å kviste (Haneborg, K. 2014).

Historisk temperaturoversikt ligger tilgjengelig hos meteorologisk institutt (Meteorologisk institutt 2013). Bæreevne bør måles av lassbæreroperatøren på hver drift utfra bæreevneklassifiseringen til (Furuberg Gjedtjernet & Bjerketvedt 2003) med fem klasser for bæreevne fra klasse 1 som er god bæreevne, til klasse 5 som er meget dårlig bæreevne.

Driftsveilengde er en naturlig variabel å måle. Denne målingen gjorde TimberLink.

Snøforhold påvirker drivstofforbruket og prestasjonen ved at det er tyngre og seinere å kjøre i dyp snø. En godt planlagt drift kan vil føre til at operatørene øker sin produksjonstid og

reduserer sin tomgangstid. Det gjør at mer kubikkmeter kan bli avvirket innenfor samme tidsrom. Størrelsen på driftene har mye å si på årsproduksjonen til en hogstmaskin og lassbærer. Ved å doble avvirkningskvantum fra 500 kubikkmeter til 1000 kubikkmeter mellom hver gang maskinene må flyttes, så halveres antall flytt fra 40 til 20 flytt. Det forutsetter en avvirkning på 20 000 kubikkmeter. Hvis hvert flytt tar 3 timer så har en spart 60 timer der en heller kunne produsert tømmer.

5.5 Modellene

Modellene som har blitt fremstilt er valgt ut fordi de forklarer variasjon i prestasjon og drivstofforbruk best mulig utfra det eksisterende datamaterialet. Modellene ble kjørt med alle tilgjengelige variabler. Variablene som ikke signifikant forklarte responsen ble ekskludert.

5.5.1 Modell hogstmaskiner

Det viste seg at for hogstmaskin var gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter og RECO-kurs de eneste signifikante forklaringsvariablene som gav gode verdier av R^2 og RMSE. Det er god spredning i det samlede datamaterialet for gjennomsnittlig trestørrelse i kubikkmeter og prestasjon i kubikkmeter per time. Datasettet for drivstofforbruk i liter per kubikkmeter har hovedtyngden av observasjoner mellom 0,5 og 0,7 liter per kubikkmeter. Ideelt sett burde det vært flere observasjoner med bredere spredning i drivstofforbruk. Det hadde gjort modellen sterkere, men det er ikke å forvente når standardavviket til gjennomsnittlig trestørrelse avvirket ikke er mer en 0,13 kubikkmeter. For hver enkelt hogstmaskin burde datamaterialet ideelt sett inneholdt flere observasjoner. Det samlede datasettet har tilfredsstillende antall observasjoner for å forklare variasjon i responsen.

Modell hogstmaskin 1

Datamaterialet til hogstmaskin 1 besto av 41 ukesgjennomsnitt. Prestasjonsmodellen treffer, men har høy usikkerhet rundt regresjonslinja for høy og lav prestasjon. Flere forklaringsvariabler hadde gjort modellen bedre. Drivstofforbruksmodellen treffer dårligere enn prestasjonsmodellen. Grunnen til det er noen uteliggere som gir høyt drivstofforbruk ved lavt gjennomsnittlig trestørrelse. Drivstofforbruk-observasjonene er konsentrert rundt 0,4 liter per kubikkmeter. Det gjør residualspreddingen høy for høye drivstoffverdier, men det er nødvendigvis ikke så interessant for en sluttavvirkningsmaskin å vite eksakt drivstofforbruk i sped tynning. Da spiller faktorer som underskog og tetthet en viktigere rolle

Modell hogstmaskin 2

Datamaterialet til hogstmaskin 2 besto av 38 ukesgjennomsnitt. Prestasjonsmodellen treffer med en relativt høy residualspredning rundt regresjonslinja for både lav og høy prestasjon. Årsaken til høy RMSE-verdi er at operatøren ser ut til å være mer produktiv enn prediksjonen ved gjennomsnittlig trestørrelse på rundt 0,35 kubikkmeter. Drivstofforbruksmodellen treffer med en lav residualspredning. Årsaken til den residualspredningen som vises, er at den høye prestasjonen resulterer i lavere drivstofforbruk per kubikkmeter enn predikert. Analyserer en nærmere ser en at prestasjonen som oversteg prediksjonen har skjedd etter RECO-kurs.

Modell hogstmaskin 3

Datamaterialet til hogstmaskin 3 besto av 46 ukesgjennomsnitt. Prestasjonsmodellen treffer, men residualspredningen er høy fordi prestasjonen ligger både høyt over og lavt under predikerte verdier. Årsaken til det kan være at tetthetsforhold i skogen. En annen årsak er at det kan være innslag av 2 gangs tynning som gir relativt høy gjennomsnittlig trestørrelse, men lav prestasjon.

Modellen for drivstofforbruk har en lav R^2 . Årsaken til det er at datasettet inneholder observasjoner med lav gjennomsnittlig trestørrelse og høyt drivstofforbruk. Disse verdiene er uteliggere i datasettet. Residualspredningen varierte fra -0,2 til 0,4, noe som er en stor variasjon.

Modell Samtlige hogstmaskiner

Datamaterialet for Samtlige hogstmaskiner besto av 125 ukesgjennomsnitt.

Prestasjonsmodellen treffer, men residualspredningen er stor. Dette er naturlig siden er to forskjellige maskinstørrelser som er med i datasettet. Modellen dekker prestasjon fra 10 til 30 kubikkmeter i timen med lav usikkerhet. Det er tendenser til konsentrasjon av observasjoner rundt gjennomsnittlig trestørrelse på 0,4 kubikkmeter. Dette er naturlig ettersom det er to sluttavvirkningshogstmaskiner og en kombinasjonshogstmaskin i datasettet. Modellen for drivstofforbruk dekker drivstofforbruk fra 0,4 til 1,0 liter per kubikkmeter med lav usikkerhet. Drivstofforbruket ligger under det predikerte frem til forbruket overstiger 1,0 liter per kubikkmeter, forbruk over dette blir underpredikert.

5.5.2 Modell lassbærere

Kjørelengde ved de fire deloperasjonene (kjørelengde tomkjøring, pålessing, lastet og avlessing), RECO-kurs, krantider ved av- og pålessing samt antall klør ved av- og pålessing ble kjørt i en modell for henholdsvis prestasjon og drivstofforbruk for alle lassbærerne. Det viste seg at for lassbærerne var det flere forskjellige forklaringsvariabler som var signifikante. Kjørelengde ved de fire deloperasjonene, krantider ved av og pålessing av og antall klør ved pålessing var signifikante forklaringsvariabler til variasjon i prestasjon og drivstofforbruk. Total kjørelengde ble ikke ansett for å være en nøyaktig nok forklaringsvariabel, ettersom kjørelengde ved de fire deloperasjonene var tilgjengelig så forklarte de variasjonen til responsen mer korrekt. RECO-kurs er ingen signifikant forklaringsvariabel for alle maskinenes prestasjon og drivstofforbruk. For de enkelte maskinene er spredningen i kjøreavstander ved de fire deloperasjonene for liten. Ved datainnsamling over lengre tid ville spredningen antageligvis vært større.

Modell lassbærer 1

Datamaterialet til lassbærer 1 besto av 40 ukesgjennomsnitt. For prestasjon var kjørelengde ved pålessing, lastet og ved avlessing, samt krantid avlessing signifikante forklaringsvariabler. Modellen er usikker ved lav prestasjon fordi det er få observasjoner ved lav prestasjon. Årsaken til at kjørelengde ved tomkjøring ikke var en signifikant forklaringsvariabel er at kjørelengdene ved tomkjøring er så konsentrert rundt 400 meter at regresjonslinja viser at prestasjonen øker ved økende kjørelengde. Det er ikke i samsvar med virkeligheten. Krantid ved pålessing, samt antall klør ved av- og pålessing er ikke med i modellen fordi de ikke påvirker prestasjonen signifikant. Årsaken til det er at variasjonen i observasjonene er for liten.

For drivstofforbruk var kjørelengde pålessing, lastet og ved avlessing de signifikante forklaringsvariablene. Kjørelengde ved tomkjøring, krantid ved av- og pålessing, samt antall klør ved av- og pålessing ble ekskludert i modellen på grunn av at de ikke påvirket drivstofforbruket signifikant. Det økte tidsforbruket som økt antall klør og økte krantider medfører påvirker antageligvis ikke drivstofforbruket signifikant. En årsak til det kan være at arbeidsturtallet til lassbærer 1 ble redusert med 150 omdreininger etter RECO-kurs. Modellen er usikker ved høyt drivstofforbruk per kubikkmeter fordi det er få observasjoner ved høyt forbruk.

Modell lassbærer 2

Datamaterialet til lassbærer 2 besto av 45 ukesgjennomsnitt. For prestasjon var kjørelengde ved tomkjøring og pålessing, samt krantid avlessing signifikante forklaringsvariabler.

Modellen er usikker ved lav prestasjon på grunn av få observasjoner ved lav prestasjon.

Årsaken til at kjørelengde lastet ikke er med i modellen er at observasjonene ligger konsentrert mellom 300 og 400 meter og viste en tendens av at prestasjonen økte ved økende kjørelengde. Det samsvarer ikke med virkeligheten. Årsaken til at kjørelengde avlessing, krantid pålessing, samt antall klør ved av- og pålessing ikke er med i modellen er at de ikke påvirker prestasjonen signifikant.

Modellen for drivstofforbruk er bygget opp med kjørelengde tomkjøring, pålessing og lastet, samt antall klør pålessing som signifikante forklaringsvariabler. Modellen er sterk med observasjonene fordelt langs regresjonslinjen. Kjørelengde ved avlessing, antall klør ved avlessing, samt krantider for av- og pålessing påvirket ikke drivstofforbruket signifikant. Kjørelengde lastet var ingen sterk forklaringsvariabel i denne modellen. Årsaken til dette var at observasjonene til kjørelengde lastet ligger veldig konsentrert rundt 300-400 meter. Det gjør at regresjonslinja får stor usikkerhet.

Modell lassbærer 3

Datamaterialet for lassbærer 3 inneholdt 53 ukesgjennomsnitt. For prestasjonsmodellen var kjørelengde ved pålessing og kjørelengde lastet, samt antall klør ved pålessing signifikante forklaringsvariabler. Modellen er sterk med mange observasjoner over hele regresjonslinja uten stor usikkerhet. Årsaken til at kjørelengde ved tomkjøring ikke er en signifikant forklaringsvariabel er at observasjonene er konsentrert rundt 300 meter, så regresjonslinja får veldig høy usikkerhet. Kjørelengde avlessing, antall klør avlessing, og krantider ved av- og pålessing påvirker ikke prestasjonen signifikant. Kjørelengde ved pålessing er en forklaringsvariabel som har mange observasjoner konsentrert rundt 400 meter. Det gjør forklaringsvariabelen svak ved lange kjørelengder.

Drivstofforbruksmodellen til lassbærer 3 består av kjørelengde pålessing, antall klør pålessing, krantid pålessing og kjørelengde lastet som signifikante forklaringsmodeller. Modellen er sterk med mange observasjoner langs hele regresjonslinja. Årsaken til at kjørelengde tomkjøring ikke er med i modellen er den samme som i prestasjonsmodellen. Kjørelengde avlessing, antall klør avlessing og krantid avlessing ble ekskludert som forklaringsvariabler på grunn av at de ikke påvirket drivstofforbruket signifikant.

Usikkerheten rundt regresjonslinjen øker ved økende kjørelengde ved pålessing. Årsaken til det er at observasjonene ligger konsentrert rundt 400 meter.

Modell Samtlige lassbærere

Datamaterialet for samtlige lassbærere besto av 138 ukesgjennomsnitt. Prestasjonsmodellen besto av kjørelengde pålessing, antall klør pålessing og kjørelengde lastet som signifikante forklaringsvariabler. Modellen treffer nokså godt. Årsaken til den nokså gode modellen er at det er to små lassbærere og en større, dermed skjærer regresjonslinja mellom observasjonene til de to maskinstørrelsene. Det gir en høy RMSE. Datamaterialet dekker prestasjon mellom 10 og 20 kubikkmeter i timen med akseptabel usikkerhet. Årsaken til at kjørelengde ved tomkjøring er ekskludert fra modellen er at observasjonene er konsentrert rundt 300 meter for kjørelengde tomkjøring. Kjørelengde ved avlessing, antall klør ved avlessing, samt krantid ved av- og pålessing er så konsentrert at de ikke påvirker prestasjonen signifikant.

Drivstofforbruksmodellen består av kjørelengde ved pålessing, antall klør ved pålessing og kjørelengde lastet som signifikante forklaringsvariabler. Modellen er sterk med mange observasjoner som ligger tett inntil regresjonslinja. Modellen dekker drivstofforbruk fra 0,4 liter per kubikkmeter til 1,1 liter per kubikkmeter med lav usikkerhet. Årsaken til at kjørelengde ved tomkjøring er ekskludert fra modellen er at observasjonene er konsentrert rundt 300 meter, så regresjonslinja viser at drivstofforbruket reduseres ved økende kjørelengde. Dette strider imot virkeligheten. Kjørelengde avlessing, antall klør avlessing, samt krantider for av- og pålessing ble ekskludert fra modellen fordi de påvirket ikke drivstofforbruket signifikant. Forklaringsvariabelen kjørelengde ved pålessing har stor usikkerhet ved lange kjørelengder på grunn av få observasjoner. Det er heller ikke vanlig å kjøre over 600 meter for å lesse på et lass.

5.6 Sammenlikning

For å sette prestasjonen og drivstofforbruket til de analyserte operatørene i en sammenheng ble de sammenliknet med svenske skogsmaskinentreprenører. Brunberg (2006) utførte en spørreundersøkelse om drivstofforbruk hos hogstmaskiner og lassbærere. Undersøkelsen omfattet 274 hogstmaskiner og 200 lassbærere. Drivstofforbruket ble målt en uke i mars med 10 cm snø og en uke i september når det var barmark. Hovedtyngden av maskinene hadde lik hjulutrustning, med belter bak og kjettinger foran, som maskinene i denne analysen.

Drivstofforbruket ble målt ved en gjennomsnittlig trestørrelse på 0,33 kubikkmeter. Prestasjonen til hogstmaskinene ble målt ved en gjennomsnittlig trestørrelse på 0,33 og 0,21 kubikkmeter. Prestasjonen til lassbærerne ble målt ved en kjørestrekning på 359 og 362 meter. Prestasjonsmålingene er hentet fra Brunberg (2010) og er basert på opplysninger fra entreprenører som til sammen avvirker og kjører ut rundt 25 millioner kubikkmeter i året.

Tabell 13: Sammenlikning av prestasjon og drivstofforbruk. Hogstmaskin

Avvirkning	Prestasjon i m ³ /t		Gjennomsnittlig trestørrelse i m ³	Drivstofforbruk l/m ³	
	Br. Haneborg	Sverige		Br. Haneborg	Sverige
Hogstmaskin 1	19.8	23.2	0,33	0.62	0.79
Hogstmaskin 2	23.9	23.2	0,33	0.70	0.79
Hogstmaskin 3	15.0	19.1	0,21	0.89	0.9

Tabell 13 viser hvordan prestasjonen til de analyserte hogstmaskinoperatørene er sammenliknet med svenske hogstmaskinoperatører. Hogstmaskin 3 hadde lavere prestasjon enn sammenlikningsgrunnlaget. En årsak til dette er at hogstmaskin 3 arbeider i tynning i tillegg til ren sluttavvirkning. Hogstmaskin 3 ble sammenliknet med nord svenske tall fordi gjennomsnittlig trestørrelse var mer lik den skogen der hogstmaskin 3 arbeider. Utfra bakgrunns materialet kan det se ut som de svenske hogstmaskinene er større enn hogstmaskinene til Br. Haneborg AS. Det gjør at de svenske maskinene har høyere prestasjon i kubikkmeter i timen.

Det er allikevel ganske interessant at operatørene til Br. Haneborg AS har relativt lik prestasjon som de svenske skogsmaskinoperatørene. Årsaken til at de svenske operatørene kan prise seg lavere har med at lønnskostnadene i Sverige er lavere. En annen årsak er at det er lagt større vekt på planlegging av driftene i Sverige. Bedre planlegging med større avvirkningsområder og et bedre veisystem med kortere kjøreveilengde gjør at skogsmaskinoperatørene kan ha en høyere utnyttelsesgrad gjennom året.

Tabell 14: Sammenlikning av prestasjon og drivstofforbruk lassbærer

Framkjøring	Prestasjon i m ³ /t		Gjennomsnittlig trestørrelse i m ³	Kjørelengde meter		Drivstofforbruk l/m ³	
	Br. Haneborg	Sverige		Br. Haneborg	Sør Sverige	Br. Haneborg	Sverige
Lassbærer 1	20.3	21.0	0,33	359	359	0.59	0.65
Lassbærer 2	12.1	21.0	0,33	359	359	0.81	0.65
Lassbærer 3	12.3	14.2	0,21	362	362	0.80	0.73

Tabell 14 viser hvordan prestasjonen til de analyserte lassbæreroperatørene er sammenliknet med de svenske lassbæreroperatørene. Lassbærer 1 er på samme prestasjonsnivå som de svenske operatørene. Lassbærer 2 og 3 ligger lavere enn sine svenske kolleger. Årsaken til det kan være at lassbærer 2 og 3 er relativt små lassbærere i forhold til vanlige lassbærere. En svakhet med denne sammenlikningen er at kjørestrekningen ikke er definert, men det antas at det er avstanden fra lunneplass til midt på avvirkningsplassen.

Lassbærer 2 har få observasjoner omkring 359 meter utkjørevei. Den svenske sammenlikningen til lassbærer 3 er modifisert til å være 50 prosent sluttavvirkning og 50 prosent tynning for å likne mer på lassbærer 3 sitt arbeidsområde. Ulempen med denne sammenlikningen er at terrengvariablene mangler i begge studiene. Er lassbæreren stor nok, er prestasjonen til Br. Haneborg AS sine operatører på høyde med de svenske operatørene. På bakgrunn av prestasjons- og drivstoffendringen i prosent kan en gjøre en teoretisk utregning på hvordan resultatet etter RECO-kurs vil påvirke entreprenørens økonomi. Utregningen for hogstmaskinene som er vist i

Tabell 15 er basert på en årsavvirkning på 20 000 kubikkmeter og 30 000 kubikkmeter. Kroner tjent ved økt prestasjon er regnet ut ved at hogstmaskinene øker antall kubikkmeter avvirket i året med den prosentsatsen de økte sin prestasjon med etter RECO-kurs, multiplisert med en gjennomsnittlig driftspris på 70 kroner per kubikkmeter. Kroner spart ved redusert drivstofforbruk er regnet ut ved å multiplisere antall kubikkmeter i året med drivstoffreduksjonen per kubikkmeter etter RECO-kurs i antall liter. Dette multipliseres igjen med listepreis på avgiftsfri diesel som var 9,34 kroner per liter eksklusiv merverdiavgift (Lysaker 2014). Dette er priser før rabatter som varierer for nesten hver kunde. Kroner tjent/spart totalt etter RECO-kurs er det samlede resultatet av prestasjon og drivstofforbruk. CO₂ besparelsen er regnet ut ved at den totale differansen i drivstofforbruk per maskin er multiplisert med 2,69 som er mengden CO₂ utslipp i kilo ved brenning av en liter fossil diesel (Vennesland et al. 2013).

Tabell 15: Teoretisk økonomisk resultat etter RECO-kurs. Hogstmaskin

	Kubikkmeter avvirket i året	Kroner tjent ved økt prestasjon	Kroner spart ved reduert drivstofforbruk	Kroner tjent/ spart totalt etter RECO- kurs	CO ₂ besparelse i Kg
Hogstmaskin 1	20 000	kr 77 000.00	kr 15 971.40	kr 92 971.40	4600
	30 000	kr 115 500.00	kr 23 957.10	kr 139 457.10	6900
Hogstmaskin 2	20 000	kr 196 000.00	kr 22 169.42	kr 218 169.42	6385
	30 000	kr 294 000.00	kr 33 254.14	kr 327 254.14	9577
Hogstmaskin 3	20 000	kr -35 000.00	kr -849.94	kr -35 849.94	-245
	30 000	kr -52 500.00	kr -1 274.91	kr -53 774.91	-367
Samtlige hogstmaskiner	20 000	kr 99 400.00	kr 11 953.33	kr 111 353.33	3443
	30 000	kr 149 100.00	kr 17 930.00	kr 167 030.00	5164

Tabell 16 viser en teoretisk utregning av entreprenørens økonomiske resultat som følge av RECO-kurs. Forutsetningene for utregningen er lik som for utregningen til hogstmaskinene, utenom at driftskostnaden for lassbærer er satt til 40 kroner per kubikkmeter. Sparte reparasjonskostnader som følge av roligere og mer bevist kjøring er ikke regnet på ettersom det er vanskelig å tallfeste. Legger en sammen resultatene til hogstmaskinene og lassbærerne ved 20 000 kubikkmeter avvirket så har entreprenøren økt resultatet på bunnlinjen med cirka 265 000 kroner. Det er god avkastning på et kurs som koster 3000 kroner per operatør pluss kostnaden av å la maskinene stå en dag. I tillegg til økt økonomisk resultat så er utslippene redusert med cirka 8450 kilo CO₂.

Tabell 16: Teknisk økonomisk resultat etter RECO-kurs. Lassbærer

	Kubikkmeter avvirket i året	Kroner tjent ved økt prestasjon	Kroner spart ved reduert drivstofforbruk	Kroner tjent/ spart totalt etter RECO- kurs	CO ₂ besparelse i Kg
Lassbærer 1	20 000	kr 40 000.00	kr 4 591.73	kr 44 591.73	1322
	30 000	kr 60 000.00	kr 6 887.60	kr 66 887.60	1984
Lassbærer 2	20 000	kr 39 200.00	kr -2 979.09	kr 36 220.91	-858
	30 000	kr 58 800.00	kr -4 468.63	kr 54 331.37	-1287
Lassbærer 3	20 000	kr -80 800.00	kr -9 574.99	kr -90 374.99	-2758
	30 000	kr -121 200.00	kr -14 362.49	kr -135 562.49	-4137
Samtlige lassbærere	20 000	kr -10 400.00	kr -5 868.32	kr -16 268.32	-1690
	30 000	kr -15 600.00	kr -8 802.48	kr -24 402.48	-2535

5.7 Flere muligheter

RECO-kurs har et potensiale til å øke prestasjonen og redusere drivstofforbruket til hogstmaskiner, men RECO er ikke den eneste metoden til å øke prestasjonen og redusere drivstofforbruket. Johansson (2011c) skriver om flertrehandtering i grov skog i skogtidsskriftet Vision. Der har entreprenør Pelle Rönningås AB satt på flertrehandteringsaggregater på en John Deere 1170 og 1470. Maskinene blir brukt i vanlig sluttavvirkning. Akkumuleringsfunksjonen utgjør den store forskjellen der det er underskog og bestand med stor diameterspredning. Resultatet fra Skogforsk sine studier ble en prestasjonsøkning på 16 prosent og et redusert drivstofforbruk på 14 prosent.

En annen metode å øke prestasjonen på er med automatisering av kranarbeidet. Johansson (2011a) beskriver en test Skogforsk gjorde med en hogstmaskinsimulator. Simulatoren ble programmert slik at aggregatet svinger seg automatisk i rett felleretning når det nærmer seg treet som skal felles. Aggregatet løfter seg automatisk når treet felles og kranen styrer aggregatet mot virkeshaugen. Ved vanlig kranstyring presterte nybegynnere en fjerdedel av hva proffoperatørene gjorde, men med automatisert kranstyring var prestasjonen bare 20 prosent svakere enn proffoperatørene. Automatisert kranstyring er et utmerket verktøy som effektivt øker prestasjonen til lærlinger. Det er også nyttig for proffoperatører fordi det gir små pauser, slik at oppmerksomheten til operatøren øker. Det gjør at gjennomsnittsprestasjonen kan holdes høyere over lengre tider (Johansson 2011a)

For lassbærer viste ikke denne studien at RECO-kurs endret prestasjon signifikant. Noe som kan øke prestasjonen til lassbærere i tynning er Griptilten som er utviklet av Sit Right AB. Griptilten er en vertikal tilt som er plassert mellom kloa og rotatoren. Den hjelper operatøren å kontrollere tømmeret mye bedre i tynning (Johansson 2011b). Fordelen med Griptilten var ifølge Johansson (2011b) at mindre krankjøring resulterte i en økt prestasjonen med 10 prosent. Drivstofforbruket ble redusert med 3 prosent. Skadene på gjenstående skog minsket og slitasjen på basmaskinen ble mindre som følge av mindre kranbevegelser.

En annen nyvinning som vil øke prestasjonen er kranspisstyring på lassbærer. Kranspisstyring for lassbærer fungerer slik at operatøren kun trenger å peke med spakene dit kranen skal gå, så kjøres utskyt og vipparmfunksjonen av seg selv. Denne teknologien fører til at kranbevegelsene blir mjukere og presisjonen øker. Tidsstudier John Deere gjorde viser at for

dyktige operatører var prestasjonsøkningen 3 prosent. For mindre erfarne operatører var prestasjonsøkningen 10 prosent.

En mer kostnadskrevende investering for å øke prestasjonen til en lassbærer er utbygging av skogsbilveinettet. Utbygging av skogsbilveinettet er en investering som skogeierne og samfunnet må koste for å redusere råstoffkostnaden til industrien. Samtidig som råstoffkostnaden kan reduseres vil rotnettoen til skogeier øke (Vennesland et al. 2006b). Brunberg (2004) viser at produktiviteten øker med 5,6 kubikkmeter i timen ved å redusere kjøreveien fra 300 til 100 meter. Det er en produktivitetsøkning på 26,7 prosent. I tillegg reduseres drivstofforbruket drastisk. 200 meter lengre kjøring for en tømmerbil vil gi veldig små utslag i prestasjonssenkning og drivstofføkning. (Jönsson & Löfroth 2007). En utfordring med å øke utbyggingen av skogsbilveinettet er at med dagens situasjon at det er prisutjevning i hogstmarkedet som bidrar til å underprise driftene med lang kjørevei og overprise gode drifter med kort kjørevei. Et slikt system gir liten stimulans til å bygge flere skogsbilveier (Vennesland et al. 2006a).

Ved en sammensveising av disse metodene for effektivisering av det operative skogbruket vil den teoretiske prestasjonsøkningen og drivstoffreduseringen være stor. For å få en anelse om hvor mye dette kan utgjøre så fant Lileng (2005) ut at ved å redusere tapstidene ved avvirkning og utkjøring på 10 prosent kan det redusere driftskostnadene med cirka 20 kroner per kubikkmeter. En reduksjon av tapstider på 10 prosent vil utgjøre en teoretisk besparelse på 178 millioner kroner for skognæringen ved avvirkning av 8,9 millioner kubikkmeter.

6.0 Konklusjon

Resultatene fra denne studien viser at hogstmaskin 2 og Samtlige hogstmaskiner øker sin prestasjon signifikant samtidig som de reduserer drivstofforbruket signifikant etter RECO-kurs. Hogstmaskin 1 reduserer drivstofforbruket signifikant, men øker ikke prestasjon signifikant etter RECO-kurs. Hogstmaskin 3 forandrer ikke prestasjon eller drivstofforbruk signifikant etter RECO-kurs.

Lassbærer 1 og lassbærer 2 forandrer ikke prestasjon eller drivstofforbruk signifikant etter RECO-kurs. Lassbærer 3 reduserer prestasjonen og øker drivstofforbruket signifikant etter RECO-kurs. Samtlige lassbærere forandrer ikke prestasjon signifikant, men øker drivstofforbruket signifikant etter RECO-kurs.

På bakgrunn av det gjeldende datasettet til Samtlige hogstmaskiner og Samtlige lassbærere så øker prestasjonen samtidig som drivstofforbruket synker signifikant etter gjennomført RECO-kurs for hogstmaskiner. H_0 kan dermed forkastes for delmål 1 og delmål 2.

For lassbærere blir prestasjonen ikke signifikant forandret etter gjennomført RECO-kurs. H_0 kan dermed ikke forkastes for delmål 1.

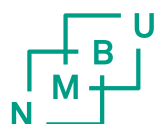
Drivstofforbruket øker signifikant etter gjennomført RECO-kurs. H_0 kan dermed ikke forkastes for delmål 2.

Datasettet dekker en kort tidshorisont og få maskiner. Datasettet mangler for øvrig viktige terreng og skoglige forklaringsvariabler som svekker forklaringsgraden. For en sikrere konklusjon trengs ytterligere forskning på effektene av RECO-kurs over et lengre tidsrom med flere skogsmaskiner, samt terreng og skoglige forklaringsvariabler med i analysen.

7.0 Litteraturliste

- Brunberg, T. (2004). Underlag till produktionsnormer för skotare. *Redogörelse*: Skogforsk. 12 s.
- Brunberg, T. (2006). Bränsleförbrukning hos skördare och skotare 2006. *Resultat*.
- Brunberg, T. (2010). Produktivitet i gallring och slutavverkning 2008-2009. *Resultat*.
- Børset, O. (1986). *Skogskjøtsel Bind 2*. Skogskjøtselens teknikk. 251 s.
- Englund, M., Mörk, A. & Jönsson, P. (2013). Skotartävling på Elmia. *Kran- och motorinställningars påverkan på bränsleförbrukning och tidsåtgång*: SKOGFORSK.
- Furuberg Gjedtjernet, A. M. & Bjerketvedt, J. (2003). *DRIFTSTEKNIKK*: GAN Forlag AS. 328 s.
- Gjedtjernet, A.-M. (1989). Timber transport with tractors in Norwegian forest terrain.: Agricultural university of Norway. 264 s.
- Gulbrandsen, L. H. (2011). *Norske Skogs nei til Union*. Aftenposten. Tilgjengelig fra: http://www.aftenposten.no/meninger/kronikker/Norske-Skogs-nei-til-Union-6362807.html#.U1Ya0_I_sfE (lest 22.04).
- Haneborg, K. (2014). *Telefonintervju med Knut Haneborg*. Daglig leder Br. Haneborg (22.02.2014).
- Haneborg, L. (u.å). *Brødrene Haneborg AS*. Tilgjengelig fra: <http://www.br-haneborg.no/om-oss> (lest 28.04).
- Haneborg, O. (2014). *Telefonintervju med skogsmaskinoperatør Olav Haneborg*. Br. Haneborg (15.03.2014).
- Heje, K., K. & Nygaard, J. (2000). *Norsk Skoghåndbok*: LANDBRUKSFORLAGET.
- Hoen, H. F. & Svendsrud, A. *Skogbruk i Norge*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: http://snl.no/Skogbruk_i_Norge#menuitem6 (lest 21.04).
- Johansson, S. (2011a). Delautomatisering är superlyftet. *Vision*, 1 (2000-8988): 29.
- Johansson, S. (2011b). Griptilt- lyfter det mesta. *Vision*, 1 (2000-8988): 29.
- Johansson, S. (2011c). Nu blir den större. *Vision*, 1 (Människa & Maskin): 19.
- John Deere. *1210E Skotare*. John Deere. Tilgjengelig fra: http://www.deere.se/wps/dcom/sv_SE/products/equipment/forwarders/1210e/1210e.page? (lest 24.04).
- John Deere. *History*: John Deere. Tilgjengelig fra: http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/industry/forestry/learn_more/about_construction_and_forestry/history/history.page (lest 23.04).
- John Deere. (2014). *About us*: John Deere. Tilgjengelig fra: http://www.deere.com/wps/dcom/en_US/corporate/our_company/about_us/about_us.page? (lest 22.04).
- John Deere Forestry. *Skotarne 1110E/1210E*: John Deere. Tilgjengelig fra: http://www.deere.se/sv_SE/docs/product/equipment/forwarders/1110e_model/brochure/id_1110e_1210e_sv.pdf (lest 28.04).
- John Deere Forestry. *Skördare 1070E/1170E*: John Deere. Tilgjengelig fra: http://www.deere.se/sv_SE/docs/product/equipment/wheeled_harvesters/1070e/brochure/1070e.pdf (lest 28.04).
- John Deere Forestry. *TimberLink*. Tilgjengelig fra: <http://www.timberoffice.com/svenska/produkter/timberlink/> (lest 27.04).
- Jönsson, P. & Löfroth, C. (2007). *Stort besparingspotential i bränslesnål skotning*. Resultat: Skogforsk. Tilgjengelig fra: <http://www.skogforsk.se/PageFiles/48611/Resultat12-2007.pdf> (lest 26.04).
- Lileng, J. (2005). *Innsamlet driftsstatistikk, tidsstudier og regnskapstall for hogstmaskin og lassbærere*: Norsk institutt for skogforskning. Ås. Upublisert manuskript.
- Lysaker, T. (2014). *Telefonsamtale med daglig leder i Brødrene Melby Transport AS* (19.04.2014).
- Løvås, G. G. (2004). *Statistikk for universiteter og høyskoler*, b. 2: Universitetsforlaget. 275-290 s.

- Makinen, H. & Isomaki, A. (2004). Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. *Forest Ecology and Management*, 201 (2-3): 295-309.
- Meteorologisk institutt. (2013). *Været som var*. www.yr.no: NRK og Meteorologisk institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Aurskog-H%C3%B8land/Dingsrud/statistikk.html> (lest 18.04).
- Mörk, A. (u.å). *RECO*. Skogforsk. Tilgjengelig fra: <http://www.skogforsk.se/sv/Utbildning--event/RECO/> (lest 17.04).
- Norsk Skogbruk. (2013). Misjonær i motbakke. *Norsk Skogbruk*, 7.
- Peltola, H., Kilpelainen, A., Sauvala, K., Raisanen, T. & Ikonen, V. P. (2007). Effects of early thinning regime and tree status on the radial growth and wood density of Scots pine. *Silva Fennica*, 41 (3): 489-505.
- Regjeringen. (2012). *Landbruks- og matpolitikken*. www.regjeringen.no: Landbruks- og Matdepartementet. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/dok/regpubl/stmeld/2011-2012/meld-st-9-20112012/7.html?id=665096> (lest 22.04).
- Rognstad, O. S., Trond Amund. (2011). Landbruket i Norge 2011 Jordbruk - Skogbruk - Jakt.
- Runberget, T. (2014). *Telefonintervju med Service engineer Terje Rundberget* (08.02.2014).
- Sandbekkbråten, S. (2010). *Skogbruk*. <http://www.aurskog-holand.kommune.no/skogbruk>: Aurskog-Høland kommune (lest 14.04).
- SAS Institute Inc. (2014). *JMP Helpdesk*. www.jmp.com. Tilgjengelig fra: http://www.jmp.com/support/downloads/life_sciences_documentation/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=genetics2.51.63.html (lest 16.04).
- Skog og Landskap. (2014). *Utfordring i skogbruket: Frø- og skogplanteforsyning*. Skog og Landskap. Tilgjengelig fra: http://www.skogoglandskap.no/nyheter/2014/utfordring_i_skogbruket_fro_og_skogplanteforsyning (lest 09.04).
- Skogforsk. (u.å). *Om oss*. www.skogforsk.no. Tilgjengelig fra: <http://www.skogforsk.se/sv/Om-oss/> (lest 26.04).
- Skogkurs. (2011). *Årsberetning: Skogkurs*. Tilgjengelig fra: http://www.skogkurs.no/pdf/beretning_11.pdf (lest 28.04).
- Skogkurs. (u.å). *RECO*. www.skogkurs.no. Tilgjengelig fra: http://www.skogkurs.no/skogkursdata/Attachments/908/kursinfo_RECO.pdf (lest 19.04).
- Solbraa, K. (2001). *Foryngelseshogst*. Agropub. Nettside for økologisk landbruk. Tilgjengelig fra: <http://www.agropub.no/id/9679> (lest 14.04).
- SSB. (2012a). *Landsskogtakseringen*. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/lst> (lest 16.04).
- SSB. (2012b). *Skogavvirkning for salg, 2012, foreløpige tall*. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav> (lest 16.04).
- Stubberud, T. (2013). *RECO-kurs*.
- Thorsén, Å. (2010). *Metodutbildning ger ökad prestation och lägre dieselförbrukning i drivning. I: Resultat (red.): Skogforsk*. Tilgjengelig fra: http://www.skogforsk.se/PageFiles/60965/Resultat1-2010_Lowres.pdf (lest 26.04).
- Vennesland, B., Hobbeldstad, K., Bolkesjø, T., Baardsen, S., Lileng, J. & Rolstad, J. (2006a). *SKOGRESSURSENE I NORGE 2006. Muligheter og aktuelle strategier for økt avvirkning*. Skog og landskap. 54-55 s.
- Vennesland, B., Hobbeldstad, K., Bolkesjø, T., Baardsen, S., Lileng, J. & Rolstad, J. (2006b). *SKOGRESSURSENE I NORGE 2006. Muligheter og aktuelle strategier for økt avvirkning*. Skog og landskap. 6 s.
- Vennesland, B., Hohle, A. E., Kjøtselsen, L. & Gobakken, L. R. (2013). *PROSJEKTRAPPORT KLIMATRE. Energiforbruk og kostnader - Skog og bioenergi*. Skog og landskap.



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no