

FLISHOGGING AV SKOGSVIRKE - EN ANALYSE AV PRODUKTIVITET, FLISKVALITET OG DRIVSTOFFFORBRUK.

WOOD CHIPPING - AN ANALYSIS OF PRODUCTIVITY, WOOD CHIP QUALITY
AND FUEL CONSUMPTION.

THOR GUNNAR LIE

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2013



Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for naturforvaltning ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB). Oppgaven er på 30 studiepoeng og avslutter et studium som leder til tittelen Master i skogfag.

Motivasjonen for arbeidet med denne oppgaven er min interesse for skog som en fornybar ressurs, samtidig som at bioenergi er et dagsaktuelt tema. Gjennom arbeidet mitt har jeg tilegnet meg nye kunnskaper om emnet.

Først og fremst vil jeg takke mine veiledere, professor Erik Trømborg ved Institutt for naturforvaltning og biveileder, seniorrådgiver Simen Gjølshø ved Norsk institutt for skog og landskap. Videre vil jeg takke Eirik Nordhagen, Leif Kjøstelsen og Anders M. E. Hohle, alle ved Norsk institutt for skog og landskap, for hjelp til feltarbeid og spørsmål. En takk rettes også til Viken Skog SA, Mjøsen Skog SA og entreprenørene som har deltatt i min studie.

Ås, 14. mai 2013

Thor Gunnar Lie

Sammendrag

De siste årene har det blitt et økt fokus på produksjon og forbruk av bioenergi. Det er gitt signaler på at bioenergiproduksjonen skal øke i fremtiden. Flishogging er en viktig del av forsyningskjeden, for energiflis, men det er utført få studier av dette i Norge. Formålet med denne oppgaven var å utføre en produktivitets- og kvalitetsanalyse av flishogging.

Seks flishoggingsobjekter på Østlandet ble studert. En Bruks 805.2 STC trommelhogger montert på en John Deere 1410D/1510E fliset tre heltrevelter og en grotvelte. En Heizohack 10-500KT trommelhogger montert på en Valtra S352 fliset to heltrevelter. Det ble utført tidsstuderinger og volumregistreringer for å måle produktivitet. Bulkdensitet og fraksjonsfordeling ble funnet gjennom uttak av flisprøver. Drivstofforbruk ble registrert med en elektrisk dieselpumpe.

Gjennomsnittlig produktivitet for Bruks-hoggeren var $35 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Fordelt på sortiment produserte Bruks-hoggeren $30,5 \text{ lm}^3$ heltreflis per E_{15} og $45,6 \text{ lm}^3$ grotflis per E_{15} . Heizohack-hoggeren produserte $40,3 \text{ lm}^3$ heltreflis per E_{15} . Sortiment, motorstørrelse og såld påvirker produktiviteten. Heizohack-hoggeren produserte flis med større andel finstoffer enn Bruks-hoggeren, og produserte også flis med gjennomsnittlig størrelse som var mindre enn for Bruks-hoggeren. Drivstofforbruket varierte mellom $0,58 \text{ liter/lm}^3$ og $1,66 \text{ liter/lm}^3$.

Drivstofforbruket ser ut til å påvirkes av motoreffekten. Tilført energi i form av drivstofforbruk utgjorde $0,68 - 1,97 \%$ av energimengden (effektiv brennverdi) i trevirket.

En bør være forsiktig med å trekke generelle konklusjoner fra funn i denne studien, fordi datamaterialet er begrenset. Flere undersøkelser er nødvendig for å uttale seg på et generelt grunnlag. Forskjellene i produktivitet var ikke signifikante, og det resultatene tyder på er at sortiment, motorstørrelse og såld påvirker produktiviteten mer enn type flishogger.

Nøkkelord: Bioenergi, flishogging, produktivitet, fliskvalitet, drivstofforbruk.

Summary

Over the last years there has been an increased focus on production and consumption of bioenergy. There has been given signals that bioenergy production will increase in the future. It is important with a good record over the supply chain, and there is conducted few studies of the wood chipping operation in Norway. The objective with this thesis was to conduct a productivity and quality analysis of wood chipping.

Six wood chipping objects in eastern Norway were studied. A Bruks 805.2 STC drum chipper mounted on a John Deere 1410D/1510E chipped three piles of whole-tree and one pile of forest residues. A Heizohack 10-500KT drum chipper mounted on a Valtra S352 chipped two piles of whole-tree. Time studies and volume measurements were taken to measure productivity. Bulk density and particle size distribution were found by taking out of wood chip samples. Fuel consumption was registered with an electric diesel pump.

Average productivity for the Bruks chipper was $35 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Distributed by assortment, the Bruks chipper produced 30.5 lm^3 whole-tree chips per E_{15} and 45.6 lm^3 per E_{15} . The Heizohack chipper produced 40.3 lm^3 whole-tree chips per E_{15} . It may seem like assortment, engine size and screen size affects productivity. The Heizohack chipper produced chips with a larger amount of fines than the Bruks chipper, and also produced chips with average size smaller than the Bruks chipper. The fuel consumption varied between $0.58 \text{ liter}/\text{lm}^3$ and $1.66 \text{ liter}/\text{lm}^3$. Fuel consumption seems to be affected by engine size. Provided energy in form of fuel consumption accounted for 0.68-1.97 % of the amount of energy (effective heating value) in the wood.

One should be careful making general conclusions based on findings in this study, because of the limited dataset. Additional research is necessary in order to make a statement on a general basis. The differences in productivity were not significant, and the results indicate that assortment, engine and sieve affects productivity more than chipper type.

Keywords: Bioenergy, wood chipping, productivity, wood chip quality, fuel consumption.

Innholdsfortegnelse

Forord	1
Sammendrag.....	2
Summary	3
1 Innledning.....	6
1.1 Bakgrunn	6
1.2 Tidligere undersøkelser	9
1.3 Problemstilling.....	9
2 Materiale og metode.....	10
2.1 Materiale	10
2.1.1 Valg av flishoggere og objekter	10
2.2 Metode	13
2.2.1 Volum container.....	13
2.2.2 Tidsstudering.....	13
2.2.3 Drivstofforbruk	14
2.2.4 Bulkdensitet	15
2.2.5 Fuktighetsinnhold	16
2.2.6 Bestemmelse av partikkelstørrelsesfordeling.....	18
2.3 Beregninger	21
2.4 Statistisk metode.....	23
2.5 Sikkerhet.....	24
3 Resultater.....	25
3.1 Produktivitet	25
3.1.1 Flishoggertype og sortiment	25
3.2 Råstoffkvalitet	29
3.3 Drivstofforbruk.....	31
4 Diskusjon.....	33
4.1 Materiale	33
4.2 Metode	34
4.3 Resultater	36
4.4 Avsluttende kommentarer.....	38
5 Konklusjon	39
6 Referanser.....	40

7 Vedlegg	42
-----------------	----

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

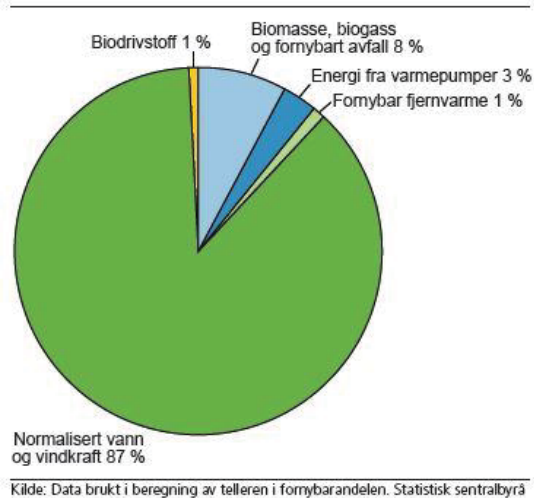
I en verden med økende befolkning og levestandard er energiforbruk og -produksjon et stadig viktigere tema. Fossile energikilder som olje, naturgass og kull vil ikke vare evig. Dette, kombinert med en stor enighet om at menneskelige utslipp av klimagasser påvirker det globale klimaet, er pådrivere for etablering og økt bruk av fornybare energikilder. I løpet av det neste århundret vil det være behov for en utfasing i bruken av fossile energikilder, noe som skaper behov for omlegging av dagens energisituasjon.

OED (2012) oppgir at utviklingen av energibruken påvirkes av de generelle utviklingstrekkene i samfunnet. Demografiske forhold som befolkningsutvikling og bosettingsmønster har betydning for etterspørselen etter energi. Økonomisk vekst innebærer økt produksjon av varer og tjenester, som igjen innebærer økt energibruk. Energieffektivisering og endringer i næringsstruktur fra næringer med høy energiintensitet til næringer med lavere energiintensitet trekker i retning av redusert energibruk. Teknologiutvikling trekker normalt mot redusert energibruk ved at produksjonsprosesser og produkter blir mer energieffektive.

Videre kommer det frem av OED (2012) at ulike virkemidler bidrar til å begrense energibruken, for eksempel avgifter ved bruk av energi, EUs kvotesystem for klimagassutslipp, forskrifter om tekniske krav til byggverk og støtteordninger til investeringer i energieffektiviseringstiltak. Det pekes også på andre årsaker til svingninger i energibruk. Energibruken påvirkes også av energiprisene. Temperatur har også betydning for utviklingen i energibruken og fører til svingninger i forbruket mellom år. Dette kommer av at en stor del av energibruken går til oppvarmingsformål, særlig i tjenesteytende sektor og husholdninger. I Norge er elektrisitetens andel av energibruken betydelig høyere enn i andre land. En hovedårsak til den høye andelen elektrisitet i forbruket er at Norge har en større kraftintensiv industri.

I Norge utgjør biomasse 6-7 % av vårt totale energiforbruk, hovedsakelig som ved i husholdningene, bruk av flis og treavfall i industrien og fjernvarme, og stasjonær energibruk har biomasse økt sin andel, fra 7 % i 1990 til nesten 9 % i 2011 (SSB 2013). I figur 1.1 ser vi at mesteparten av den fornybare energien i dag kommer fra vannkraft. Elektrisitet utgjør størsteparten av energiforbruket både i industri og husholdningene, som vist i figur 1.2.

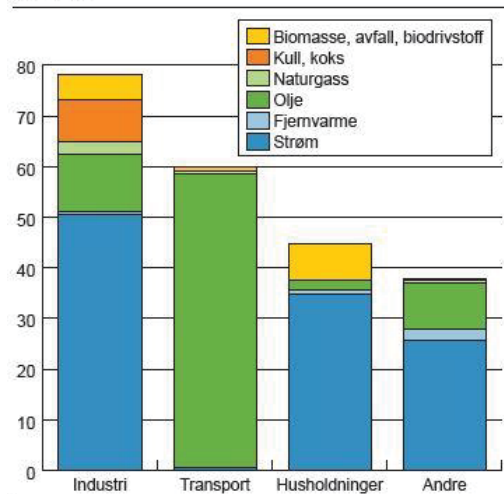
Figur 2. Fornybar energi fordelt på ulike energivarer. 2009. Prosent



Figur 1.1: Fornybar energi fordelt på ulike energivarer.

Kilde: Bøeng 2011.

Figur 3. Forbruk av energi etter energivar og forbrukergruppe i «Totalt sluttforbruk av energi» i nevneren i fornybarandelen¹. 2008. TWh



Figur 1.2: Forbruk av energi (TWh) etter energivar og forbrukergruppe i 2008. Kilde: Bøeng 2011.

Regjeringen sendte et utkast til EØS-direktiv om fornybar energi til EU i juli 2011, der det ble lagt fram et mål på 67,5 prosent andel fornybar energi for Norge i 2020. Det tilsier en økning på 7,6 prosentenheter sammenlignet med andelen i 2005. 1 januar 2012 innførte Norge og Sverige et felles sertifikatmarked, der målsettingen er å øke produksjonen av fornybar kraft i disse landene med 26,4 TWh fra 2012 til 2020. (Bøeng 2011). Dette er sterke tegn på at det skal jobbes for økt fornybar energiproduksjon.

De siste årene har det blitt et økt fokus på produksjon og forbruk av bioenergi. Fra Regjeringen sin side er det flere politiske dokumenter som gir klare signaler for dette. I St.meld. nr. 34 (2006-2007) om norsk klimapolitikk er det uttrykt et mål om «målrettet og koordinert virkemiddelbruk for økt utbygging av bioenergi med inntil 14 TWh innen 2020». At skogen har blitt et viktig tema i klimadebatten kommer frem i St. meld. nr. 39 (2008-2009). Her nevnes det blant annet at Regjeringen vil «legge til rette for økt trebruk med sikte på varig binding av karbon og miljøgevinster ved at tre erstatter andre og mer klimabelastende materialer». St.meld. nr. 9 (2011-2012) er også preget av det samme budskapet, og sier at Regjeringen vil «legge til rette for økt bruk av skogråstoff til bioenergi og arbeide for å utvikle storskala pilotprosjekter for biovarme nær viktige befolkningskonsentrasjoner» og «møte eventuell økt etterspørsel etter råstoff fra skogen ved å legge til rette for økt bærekraftig avvirkning og uttak av skogbiomasse».

Trømborg et al. (2007) viser at det er mulig å øke produksjonen av bioenergi til oppvarming fra dagens ca. 12 TWh til om lag 20 TWh nyttiggjort energi i Norge innen år 2015. Dette vil innebære at 12-14 % av det stasjonære energiforbruket kommer fra bioenergi dersom energiforbruket fortsetter å øke med dagens takt. I rapporten pekes det videre på at en aktiv virkemiddelpolitikk for å legge til rette for investeringer i fjernvarme og biokjeler i sentralvarmeanlegg kan øke produksjonen med ytterligere 2-3 TWh. Langerud et al. (2007) sier at videre tilskudd i råstoff til bioenergi vil hovedsakelig være i form av uutnyttet tilvekst, uutnyttede avvirkningsrester (grot) og eventuell ny avvirkning, eller at trevirke som benyttes til andre formål i dag inngår i bioenergiproduksjonen.

For å utløse økt avvirkning kreves det at skogeiere sitter igjen med større netto enn de gjør med dagens avvirkning. Det betyr at gjennomsnittsprisen på virket må være høyere enn det er i dag eller at gjennomsnittskostnadene ved uttak blir lavere gjennom for eksempel mer effektive driftssystemer (Langerud et al. 2007). Bioenergi har vært preget av dårlig lønnsomhet, men sektoren er i vekst. Råstoffet er mangfoldig og kan omdannes til ulike former for brensler (Forbord & Vik 2011).

Med dagens lave energipriser grunnet billig vannkraftproduksjon er det utfordrende å få lønnsomhet i bioenergiproduksjon. Derfor er det desto viktigere med en god kartlegging av effektivitet og kostnader i verdikjeden for å få en optimal logistikk. Produksjon av flis er en viktig del av verdikjeden fra biomasse til kunde.



Figur 1.3: Flishogging som en del av forsyningskjeden for bioenergi. Kilde: Forest Energy Portal 2013.

De vanligste metodene for flishogging er hogging i terreng, hogging ved bilveg eller hogging på terminal/biobrenselanlegg. Det er sjelden hogging i terreng utføres da det er kostbart.

Flishogging av heltre og grot skjer som oftes ved bilvei, mens flishogging av stammeved skjer på terminal eller ved biobrenselanlegget. Flishoggerne er montert på lassbærer, lastebil eller traktor. Det har ikke blitt sett mye på flishoggingsoperasjonen i Norge, som er utgangspunktet for min studie hvor jeg studerer flishogging av heltre og grot ved eller nær vei.

1.2. Tidligere undersøkelser

Det er gjort få undersøkelser i Norge som tar for seg flishoggingsoperasjonen, dens produktivitet og flaskehalser. Følgende er en kort oppsummering av noen studier som har blitt utført i Norden og resten av Europa.

Spinelli & Hartsough (2001) har utført en undersøkelse av flishoggingsoperasjoner i Italia. De forsøkte å relatere flishoggeres produktivitet til parametere som maskintype og –størrelse, innmatingssystem og råstoffegenskaper. Röser et al. (2012) har også sett på forskjeller i produktiviteten til flishoggere under ulike forhold. Her ble det forsøkt å kvantifisere effekten til ulike variabler, som virkesortiment, soldstørrelse og anvendt teknologi. Videre er det utført studier som ikke er fullt så omfattende, og tar for seg enkelte parametere i en flishoggingsoperasjon. Spinelli et al. (2011) har sett på hvilken påvirkning noen vedegenskaper (treslag, fuktighet og trestørrelse) har på produktivitet. Nati et al. (2010) har sett på partikkelstørrelsesfordeling i sammenheng med knivslitasje og bruk av sold.

1.3 Problemstilling

Hovedformålet med denne oppgaven er å utføre en produktivitets- og kvalitetsanalyse av flishogging av skogsvirke. Følgende problemstillinger analyseres i oppgaven:

- Hva er produktiviteten ved flishogging og hvilke faktorer påvirker produktiviteten?
- Hva slags kvalitet har flisa og hvilke faktorer påvirker kvaliteten?
- Hva er drivstofforbruket og hvilke faktorer påvirker forbruket?

2 Materiale og metode

2.1 Materiale

2.1.1 Valg av flishoggere og objekter

To ulike flishoggertyper ble studert. Den ene var en Bruks 805.2 STC, som er en lassbærermontert flishogger. Den andre var en Heizohack 10-500KT, som er en traktormontert flishogger, drevet av en Valtra S352. Disse to typene ble valgt da de begge er mye brukt på Østlandet.

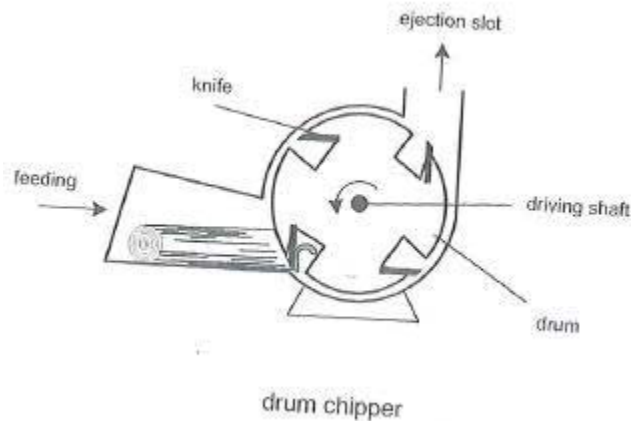


Figur 2.1: John Deere 1510E lassbærer med Bruks 805.2 STC flishogger. Foto: Thor G. Lie



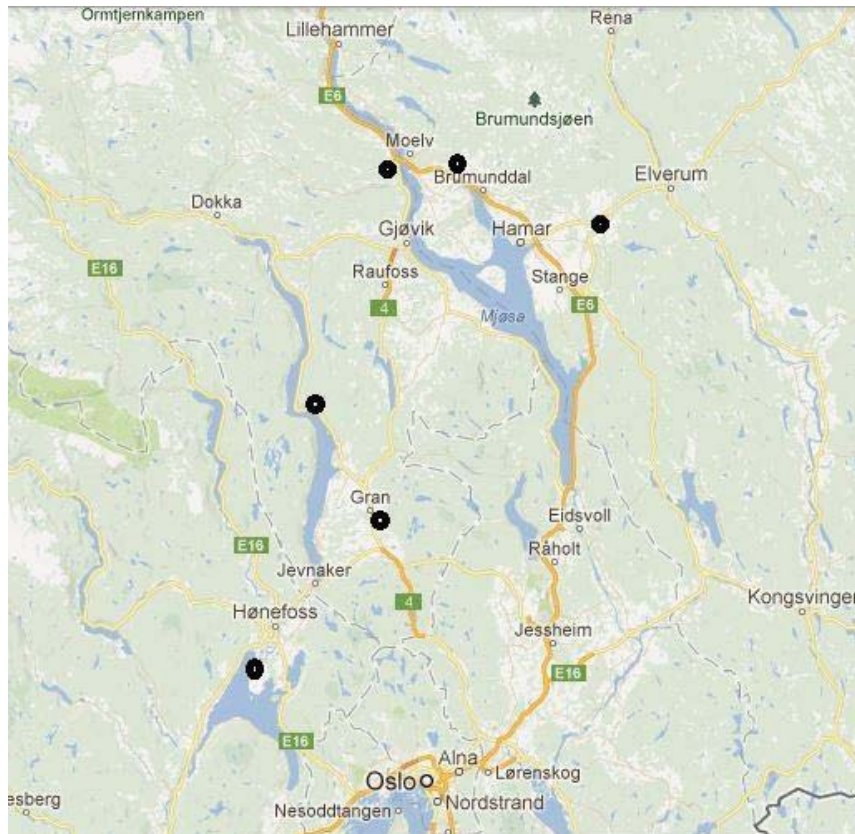
Figur 2.2: Valtra S352 traktor med Heizohack 10-500KT flishogger. Foto: Thor G. Lie

Både Bruks og Heizohack er trommelhoggere. Beskrivelse av trommelhogger finner man hos Hohle (2005): En trommelhogger består av en roterende, massiv sylinder. I fra to til fire langsgående fordypninger i sylindren er det montert kniver. Knivene på trommelhoggerne passerer også et fastmontert motstål. Trommelhoggerens sirkelformede skjærebevegelse gjør at knivenes angrepvinkel i forhold til treets fiberretning endrer seg med diameteren på treet. Derfor blir flisa fra stammene av treet litt mer uensartet med trommelhoggere enn med skivehoggere.



Figur 2.3: Prinsippskisse for en trommelhogger. Kilde: Van Loo & Koppejan 2008.

Flishoggingsobjektene som er tatt med i analysen lå i sentrale deler av Østlandet, fra Onsakervika i Hole kommune i sør, til Rudshøgda i Ringsaker kommune i nord. Viken Skog SA og Mjøsen Skog SA henviste til entreprenører som var engasjert hos dem, og det ga grunnlag for hvilke objekter som ble med i studien. Feltarbeidet ble gjennomført i januar og februar (foruten ved Onsakervika som ble utført i oktober 2012), da det i denne perioden er størst produksjon av flis, og følgelig vil være mest representativt for forholdene til en flishoggingsoperasjon. Det var stor variasjon i avvirkningstidspunktet til objektene, fra vinter 2012 til vår 2010. Treslagene som ble hogd var gran (*Picea abies*), furu (*Pinus sylvestris*) og or (*Alnus spp.*). Veltene kunne enten bestå av ett treslag eller en blanding. Alle veltene var tildekket med papp.



Figur 2.4: Geografisk oversikt over flishoggingsobjektene.

Flisa som ble produsert betegnes som skogsflis. Det er vanlig å klassifisere skogsflis på grunnlag av råstoffet. Det analyserte materialet har bestått av grothlis og heltreflis. Gjølshjøl & Nordhagen (2013) klassifiserer disse som følgende: Grothlis er biobrensel som i hovedsak består av treets greiner og topper, men også mindre trær og kapp fra sluttavvirkning kan inngå i grothlis. Heltreflis består av hele trær eller deler av hele trær. Her inngår både stamme og grener (med og uten bar og løv).

Tabell 2.1: Oversikt over materiale i oppgaven.

Lokasjon	Flis- hogger	Effekt flis- hogger	Lassbærer/ traktor	Effekt lassbærer/ traktor	Såld- størrelse	Sorti- ment	Tre- slag
Onsakervika	Heizohac k 10- 500KT		Valtra S352	370 hk	10x10 cm	Heltre	Furu, gran, or
Løten	Bruks 805.2 STC	450 hk	John Deere 1510E	195 hk	Stikkrist 10 cm	Heltre	Or, gran
Biri	Bruks 805.2 STC	450 hk	John Deere 1410D	173 hk	Stikkrist 10 cm	Heltre	Gran
Søndre Land	Heizohac k 10- 500KT		Valtra S352	370 hk	10x10 cm	Heltre	Gran, furu
Gran	Bruks 805.2 STC	450 hk	John Deere 1510E	195 hk	Stikkrist 10 cm	GROT	Gran
Rudshøgda	Bruks 805.2 STC	450 hk	John Deere 1510E	195 hk	Stikkrist 10 cm	Heltre	Or

2.2 Metode

2.2.1 Volum container

I alle studiene endte flisa i en container som ble fraktet vekk med lastebil. Ved Onsakervika var underlaget ved velta så bløtt at det var nødvendig at virket ble fliset i en container som ble kjørt noen hundre meter med traktor for så å bli dumpet ved passende henteplass for lastebil med kran. Alle disse containerne var fysisk merket med sine respektive volum, og disse ble benyttet i beregningene. Containerne var i størrelsesordenen 35-44 m³. For containerne til de lassbærermonterte Bruks-flishoggerne ble volum oppgitt i spesifikasjonene benyttet, hvilket var 22 m³ for samtlige Bruks-flishoggerne. Hver container ble kontrollert etter fylling, og det ble foretatt en vurdering av fyllingsgraden. Dette ble ikke gjort ved Onsakervika, og i beregningene ble det forutsatt at containerne ble fylt med oppgitt volum.

2.2.2. Tidsstudering

For å beregne produktivitet ble det utført tidsstuderinger. Samtlige tidsstuderinger ble gjennomført ved å bruke en Allegro håndholdt datamaskin. Tidsstuderingene ble utført på et

syklus-nivå. Her er observasjonsenheten en enkelt arbeidssyklus (Magagnotti & Spinelli 2012), som i dette tilfellet var fylling og eventuell tømming av container.

Flishoggingsoperasjonen består flere elementer (funksjoner), fra virket tas fra velta til det kommer ut som flis fra hoggeren. I denne studien ble følgende elementer registrert:

- gripe
- mate
- flise
- forsinkelser/pauser

Forsinkelser forårsaket av arbeidet med denne studien ble registrert og utelatt i beregningene. Ved alle lokasjoner foruten Biri ble antall hiv som skulle til for å fylle containeren registrert.

2.2.3 Drivstofforbruk

Måling av drivstofforbruk ble utført med en Piusi F00231000 elektrisk dieselpumpe med Piusi K24 flytmåler. Det ble medbrakt et eget 12V batteri. Før tidsstuderingen startet ble tanken på både flishogger og maskin (for Bruks) eller traktor (for Heizohack) fylt full. Etter endt tidsstudering ble prosedyren repetert, og volum for denne etterfyllingen ble registrert. Registrering av dieselforbruk ble gjort ved Biri, Søndre Land og Gran.



Figur 2.5: Måling av dieselforbruk med elektrisk dieselpumpe. Foto: Thor G. Lie

2.2.4 Bulkdensitet

For å beregne vekt per lass og energiinnhold per volumenhet er det nødvendig å registrere bulkdensiteten. Bulkdensitetprøver ble tilegnet ved å følge manual for måling av bulkdensitet fra Skog og landskap, som har tatt utgangspunkt i standarden NS-EN 15103:2009.

Utstyr

- Potetgreip
- Vekt: maks ca. 35 kg. Nøyaktighet +/- 10 gram, batteri
- Dunk 50 liter (0,05 m³)
- Finérplate, ca. 50 x 50 cm.
- Trestykke, 5 cm x 5 cm x 50 cm
- Plastsekker, 100 liter, 100 mikron

Prosedyre

Potetgreipet ble benyttet til å ta ut flis, enten den lå i haug på bakken eller i container. Det ble kjørt godt inn i haugen, og flisa ble tømt fra 20-30 cm høyde over dunkens kant, og ned i dunken. Når dunken var fylt opp, ble den løftet opp ca. 15 cm og sluppet ned på finérplaten, som lå på flatt underlag. Det ble påsett at dunken traff bakken i vertikal posisjon. Dette ble gjort tre ganger. Så ble dunken fylt opp igjen på samme måte som beskrevet ovenfor. Toppmaterialet ble fjernet ved å skyve trestykket frem og tilbake på toppen av dunken. Når prøvematerialet inneholdt for overstor flis som hindret fri bevegelse av trestykket, ble disse fjernet med hendene. Hvis fjerningen av overstor flis førte til hull i materialet i dunken, ble dunken fylt opp på samme måte som beskrevet over. Dunken ble så veid med vekten. Hele denne prosedyren ble gjentatt to ganger. Flisa som ble tatt ut var hentet fra ulike deler av haugen/containerne for å materialet skulle være representativt for hele volumet.

Metoden gjengitt ovenfor ble benyttet ved Onsakervika og Rudshøgda. Ved de andre lokasjonene ble en 80-liters poser fylt med en tilstrekkelig representativ mengde flis fra alle containerlassene, for så å bli tatt med til laboratorium der prosedyren ble gjennomført. Denne metoden ble benyttet for ikke å hefte entreprenørene for mye og for å spare tid ute.



Figur 2.6: Veiing av bulkdensitetprøver. Foto: Eirik Nordhagen.

2.2.5 Fuktighetsinnhold

Bestemmelse av fuktighetsinnhold er essensielt for å beregne brennverdien til virket, i tillegg til at det er nyttig informasjon i produktivitetsanalysen. Metoden som er benyttet her tar utgangspunkt standarden NS-EN 14774-2:2009, som beskriver metoden for å bestemme total fuktighetsinnhold for en prøve av fast biobrensel ved tørking i ovn.

Utstyr

- Vekt: maks ca. 2 kg. Nøyaktighet +/- 1 gram
- Papirposer

Prosedyre

Fra hver bulkdensitetprøve (dunk) ble tre papirposer fylt opp med flis, mellom 0,5 og 1,0 kg. Papirposene ble veid med vekten.

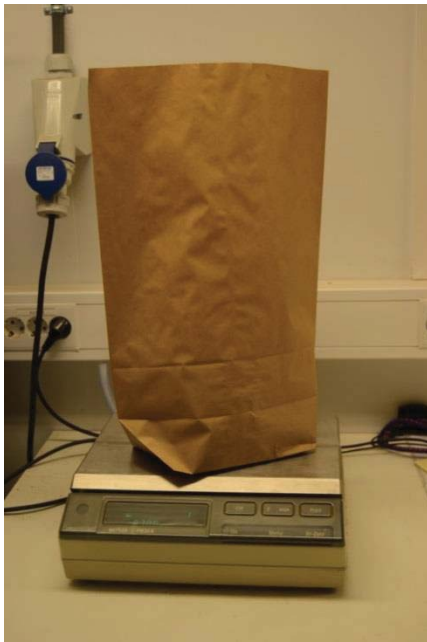
Prøvene av biobrensel ble tørket inntil konstant masse er oppnådd og prosentvis fuktighet kalkulert fra tapet i massen til prøven. Til tørkingen ble det benyttet en Memmert UFE 800 tørkeovn. Her ble temperaturen kontrollert innen området 105 ± 2 °C og luftatmosfæren ble

endret mellom tre og fem ganger per time. Innstilling av lufthastighet var ikke nødvendig da alle prøvene lå inne i papirposer.



Figur 2.7: Memmert UFE 800 tørkeovn. Foto: Thor G. Lie.

Posen med fuktighetsprøvene ble veid til nøyaktighet på 0,1 g før den ble plassert i tørkeskapet. Prøven ble plassert i ovnen kontrollert ved 105 ± 2 °C. Posen med prøven ble varmet opp inntil konstant vekt var oppnådd. Tørkede faste biobrensler er hygroskopiske, og det var derfor viktig at papirposen ble veid mens den fremdeles er varm (innen 10 til 15 sekunder) for å unngå absorpsjon av fuktighet.



Figur 2.8: Veiling av fuktighetsprøver. Foto: Thor G. Lie.

2.2.6 Bestemmelse av partikkelstørrelsesfordeling.

Ved å utarbeide en oversikt over partikkelstørrelsesfordelingen til fliset virke, kan en lettere si noe om kvaliteten, samtidig som en knytter det opp mot produktiviteten til hver enkelt flishoggingsoperasjon. Metoden tar utgangspunkt i standarden NS-EN 15149-1:2010, som spesifiserer metode for bestemmelse av partikkelstørrelsesfordeling til biobrensel ved horisontal oscillerende siktnetode. Prøvene var gjenstand for sikting gjennom horisontale oscillerende sikter, som sorterer partiklene i synkende størrelsesklasser på mekanisk vis.

For hvert lass ble en plastsekk fylt med omtrent 80 liter flis. For at hver prøve skulle være representativt ble det tatt flis fra ulike steder containerlasset/haugen.

Prøveforberedelse

Prøvene skulle siktes ved et fuktighetsinnhold under 20 % for å forhindre at partiklene klistrer seg sammen eller mister fuktighet under sikteprosessen. Hvis nødvendig ble prøvene forhåndstørket i tørkeskap laget ved Skog og landskap, illustrert i figur 2.9.



Figur 2.9. Apparat for tørking av sikteprøver. Foto: Thor G. Lie.



Figur 2.10: Apparat for akkumulering av underprøver til mekanisk sikting. Foto: Thor G. Lie.

Hver sekk med fraksjonsprøver ble delt i fire undersamplinger. Fordelingen ble utført ved bruk av et akkumululeringsapparat laget ved Skog og landskap. Prøvens innhold ble lagt i en groplignende form i toppen og fordelt jevnt utover. En luke i bunn ble skyvet til siden ved hjelp av en spak på utsiden. Prøven datt ned gjennom og ble fordelt i fire skuffer ved hjelp av en konisk form som pekte opp under luken. Deretter ble tre av disse fire skuffene tilfeldig valgt ut for mekanisk sikting.

Apparat

For testen kreves det at siktene har et areal på minst 1200 cm^2 . I dette tilfellet hadde siktene og bunnplaten et areal på $2547,75 \text{ cm}^2$ ($64,5 \text{ cm} \times 39,5 \text{ cm}$). Rammen til alle siktene skal ha en høyde som gjør det mulig for siktene å inneholde prøven og tillater fri bevegelse av prøvene gjennom sikteprosessen.

Siktene hadde hullstørrelse 65 mm, 45 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm og 3,15 mm, med en samlepanne i bunn. Vekt skal kunne måle massen til prøven som skal siktes med en nøyaktighet på 0,1 g.



Figur 2.11: Sikteapparat. Foto: Thor G. Lie

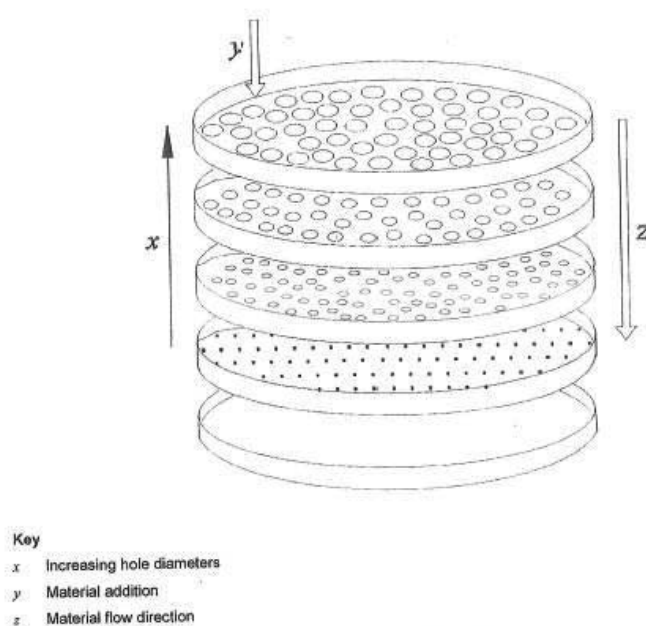


Figure 1 — Principle of the sieving operation

Figur 2.12: Prinsippskisse for sikteapparat. Kilde: NS-EN 15149-1:2010.

Apparatet i figur 2.11 er laget ved Skog og landskap.

Prosedyre

Den mekaniske enheten ble rigget i stand som vist i figurene 2.11 og 2.12. En samlepanne ble plassert i bunn, og videre ble det stablet sikter med økende hullstørrelse. Så skrudd fast med klemmer. Deretter ble samplingen/underprøven veid til nærmeste 0,1 g, for deretter å bli spredd i et jevnt lag på topp-sikten. Sikteoperasjonen ble startet og pågikk i 15 minutter.

Oppsamlet materiale i hver sikt ble veid med en nøyaktighet på 0,1 g. Hvis en partikkel satt fast i et siktehull, ble det fjernet fra hullet og lagt til den mengden som forble oppå sikten (akkurat som om den ikke hadde passert hullet).

Alle partikler som var større enn 100 mm ble håndsortert, uavhengig av hvilken sikt de kom fra. De ble registrert, og hvis de var mellom 100 mm og 120 mm ble registrert bredde. De ble så veid sammen med resten av innholdet i sikten den kom fra.

2.3 Beregninger

Produktivitet

Alle beregninger og fremstillinger er gjort med utgangspunkt i effektiv maskintid inkludert små pauser og forsinkelser på under 15 minutter, uttrykt ved E_{15} . Forsinkelsene kunne skyldes korte pauser, samtaler og annet. Forsinkelser knyttet til studien er ikke inkludert.

Volumenheten som er benyttet er løskubikkmeter, lm^3 . 1 løskubikkmeter tilsvarer om lag 0,4 fastkubikkmeter (fm^3).

Fuktighet

Formel oppgitt nedenfor er fra standarden NS-EN 14774-2:2009, og oppgir fuktighet i forhold til råvekt.

Fuktighetsinnholdet M_{ar} i biobrenselet, som mottatt, uttrykt som en prosentandel av massen, skal beregnes ved å bruke følgende formel:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} \times 100$$

hvor

m_1 er masse i g til den tomme tørkebeholderen;

m_2 er masse i g til tørkebeholder og prøve før tørking;

m_3 er masse i g til tørkebeholder og prøve etter tørking;

m_4 er masse i g til fuktigheten tilknyttet med emballasjen.

Bulkdensitet

Våt bulkdensitet (WBD) er gitt ved formelen

$$WBD = \frac{(x - 11,777)}{49,737} 1000$$

Hvor x er dunkens samlede vekt (kg) med innhold. 11,777 er dunkens vekt i kg, og 49,737 er dunkens volum i liter. Resultatet oppgis i kg/lm^3 .

Energiinnhold

Teori og formler for trevirkets energiinnhold er hentet fra Treteknisk Håndbok (Norsk Treteknisk Institutt 2009). Brennverdien uttrykker hvilken energimengde som frigis ved fullstendig forbrenning av trevirket. Effektiv brennverdi, H_e , er nedre brennverdi redusert med fordampingsvarmen til det vannet som brenselet inneholder. Det er den effektive brennverdien som bestemmer hvor mye varmeenergi det er mulig å ta ut ved forbrenning. For fuktig trevirke uttrykkes effektiv brennverdi ved

$$H_e = 5,32 - 6,02 \frac{F_r}{100}$$

hvor F_r er trevirkets vanninnhold regnet i prosent av trevirkets totalvekt (trevirke + vann):

$$F_r = \frac{\text{Vanninnhold}}{\text{Totalvekt}}$$

Energiinnholdet i diesel er satt til å være 10 kWh/liter.

2.4 Statistisk metode

Under kommer en kort presentasjon av statistiske begreper og metoder som er anvendt i oppgaven. All teori og formler er gjengitt fra Løvås (2005).

Kategoriske data er observasjoner av kategoriske variabler der det ikke er naturlig å bruke en tallskala. Kategoriske variabler brukes ofte når vi vil dele en populasjon inn i ulike kategorier. Motoreffekt, flishoggertype, virkessortiment og såldstørrelse ble behandlet som kategoriske data.

Kontinuerlige data er observasjoner av kontinuerlige variabler. Her kan alle tallverdier innen et gitt intervall brukes for å angi et kjennetegn. For å sjekke om det er sammenheng mellom variabler kan en plote et spredningsdiagram. Produktivitet og hiv-størrelse ble behandlet som kontinuerlige data.

Medianen er den observasjonen som ligger i midten av datasettet når verdiene er sortert. Medianen kalles også 50-prosentilet, siden 50 % av observasjonene er mindre enn eller lik medianen. To slike prosentiler brukes en del, nemlig 25-prosentilet og 75-prosentilet. Disse kalles henholdsvis nedre kvartil og øvre kvartil. Et boksplokk er en grafisk framstilling av minste og største observasjon sammen med medianen og de to kvartilene.

Gjennomsnittet er lik summen av alle verdiene delt på antall verdier. Kalles også middelverdien eller aritmetisk middelverdi.

Vi tar utgangspunkt i de n måleverdiene $x_1, x_2, \dots, x_n$. Symbolet for utvalgets gjennomsnitt er $\bar{x}$. Formelen for gjennomsnittet er

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Standardavviket er det vanligste av alle spredningsmål. Utgangspunktet er å se på hvor mye hver enkelt observasjon avviker i forhold til gjennomsnittet.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Regresjonsmodell med konfidensintervall er gitt ved

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + e_i$$

Stigningstallet β er gitt ved minste kvadraters linje. Dataene $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ foreligger, og vi skal tilpasse den rette linjen $\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x$ som passer best til observasjonsparene. Minste kvadraters metode gir oss de følgende koeffisientene $\hat{\alpha}$ og $\hat{\beta}$. Her er r korrelasjonen og S_X og S_Y standardavviket til x -ene og y -ene.

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = r \cdot \frac{S_Y}{S_X}$$

Paret T-test ble benyttet for å undersøke om det var en forskjell på to gruppegjennomsnitt. Metoden ble benyttet for å teste om det var signifikant forskjell i produktivitet og andel finstoffer.

Microsoft Excel 2010 ble benyttet til å utføre beregningene. For regresjonsanalyse og T-test ble statistikkprogramvaren R 3.0.0 benyttet.

2.5 Sikkerhet

Både feltarbeid og laboratoriarbeid inneholdt en viss risiko for at skader kunne oppstå. Under feltarbeid ble refleksvest og hjelm brukt. Dette skulle beskytte mot flis, stein og andre partikler som kunne komme ut av flishoggeren, samt sørge for god synlighet. På laboratoriet ble hørselvern tatt i bruk under gjennomføring av oscillerende siktmetode for å dempe støynivået.

3 Resultater

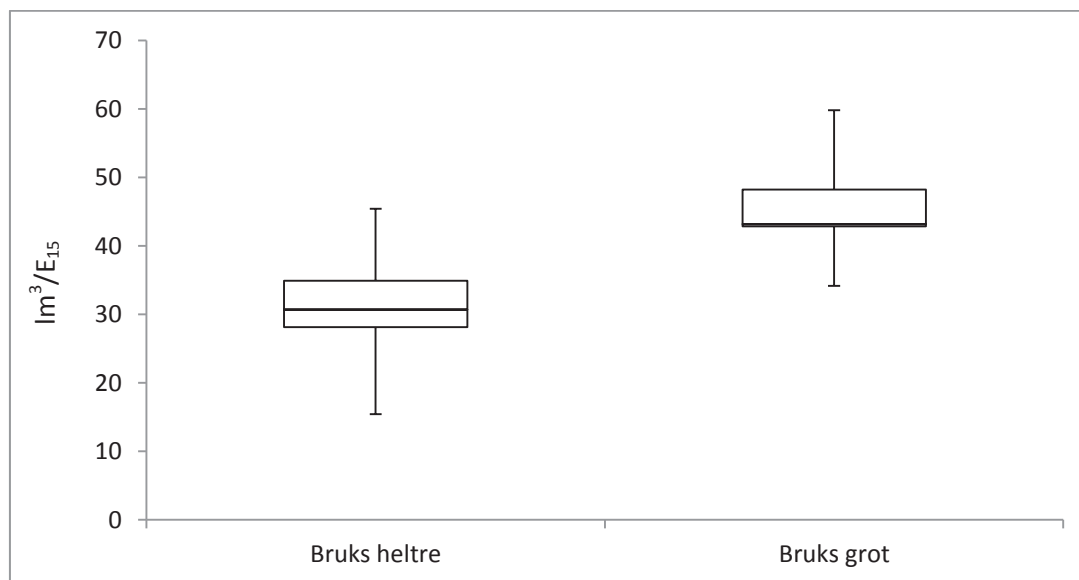
3.1 Produktivitet

3.1.1 Flishoggertype og sortiment

Tabell 3.1 presenterer produktiviteten fordelt på flishoggertype og sortiment. Gjennomsnittlig produktivitet for Bruks flishogger og sortimentet heltre er $30,5 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Den samme flishoggertypen har en gjennomsnittlig produktivitet på $45,6 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$ for grot, noe som er 49,5 % høyere. Heizohack-flishoggeren bearbeidet kun heltre. Her var gjennomsnittlig produktivitet $40,3 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Dette er 32,1 % høyere enn for Bruks heltre, og 11,6 % lavere enn for Bruks grot.

Tabell 3.1: Gjennomsnittstall for produktivitet ($\text{lm}^3/\text{E}_{15}$) fordelt på flishoggertype og sortiment.

	Gjennomsnitt	Standardavvik	n
Bruks heltre	30.5	7.6	12
Bruks grot	45.6	9.4	5
Heizo heltre	40.3	4.9	6

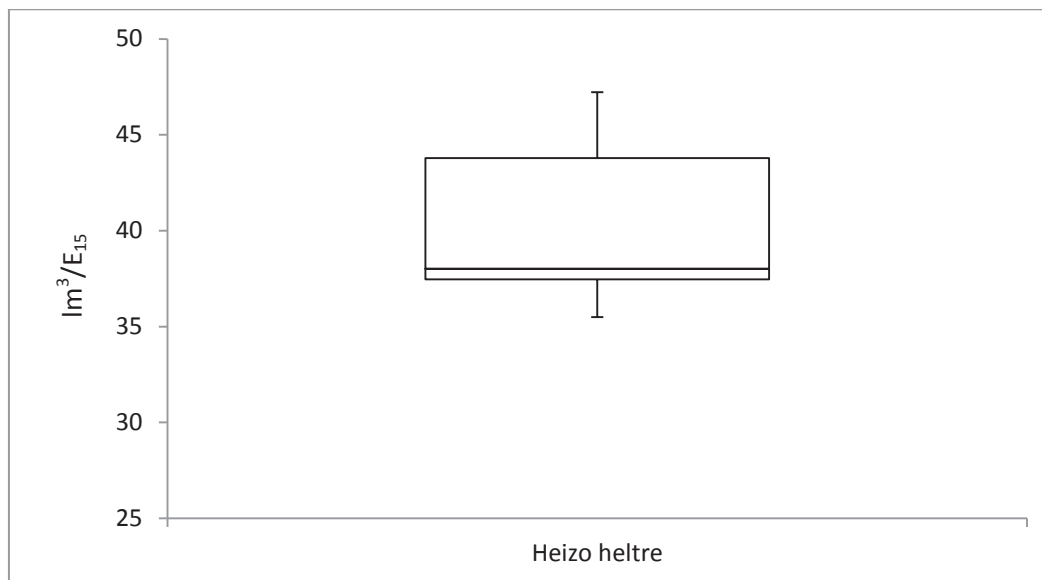


Figur 3.1: Boksplott for produktiviteten ($\text{lm}^3/\text{E}_{15}$) til Bruks-hoggeren fordelt på sortiment.

Figur 3.1 er et boksplott som viser produktiviteten til Bruks-hoggeren fordelt på sortiment. Medianen til heltrevirke er på $30,69 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$, minimum på $15,45 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$ og maksimum på

45,42 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$. For grot er medianen en del høyere, 43,16 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$. Minimum er på 34,13 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$ og maksimum på 59,82 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$.

Ved å utføre en paret T-test (vedlegg 1) kom det frem at det ikke var signifikant forskjell mellom produktiviteten for de to sortimentene da de ble flishogget med Bruks-hoggeren.



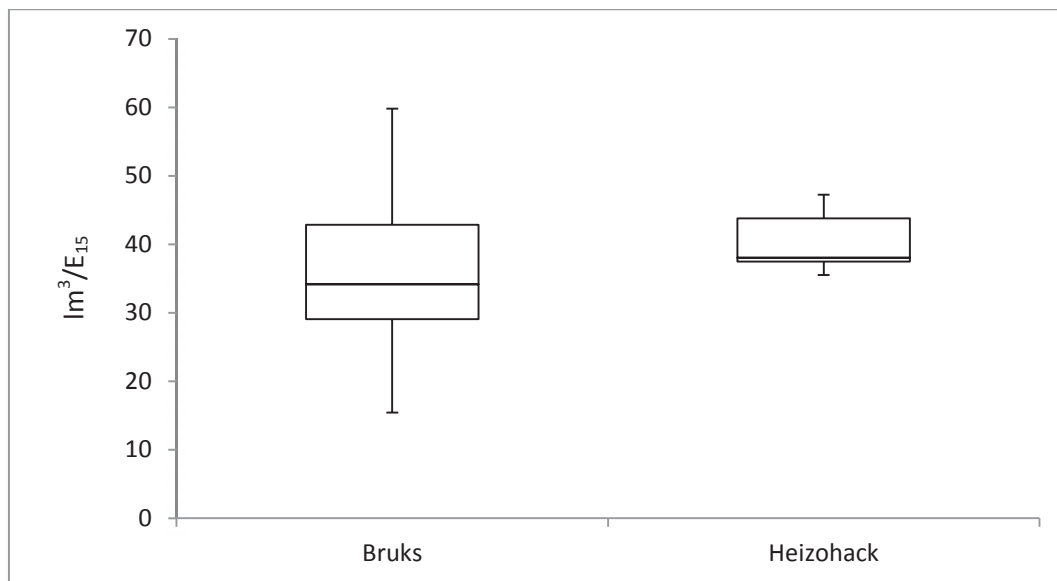
Figur 3.2: Boksplott for produktiviteten ($\text{lm}^3/\text{E}_{15}$) til Heizohack-flishoggeren.

Figur 3.2 er et boksplott som viser produktiviteten til Heizohack-hoggeren og heltrevirket den prosesserte. Medianen er 38,02 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$, minimum er 35,49 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$ og maksimum er 47,22 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$.

Tabell 3.2 viser den gjennomsnittlige produktiviteten til de to flishoggertypene hvis en ikke tar hensyn til hvilken type sortiment som ble behandlet. Bruks-hoggerne hadde en gjennomsnittlig produktivitet på 35 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$. Heizohack-hoggeren sin gjennomsnittlige produktivitet var 15,25 % høyere med sine 40,3 $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$.

Tabell 3.2: Gjennomsnittlig produktivitet ($\text{lm}^3/\text{E}_{15}$) for de to flishoggertypene.

	Gjennomsnitt	Standardavvik	n
Bruks	35.0	10.6	17
Heizo	40.3	4.9	6



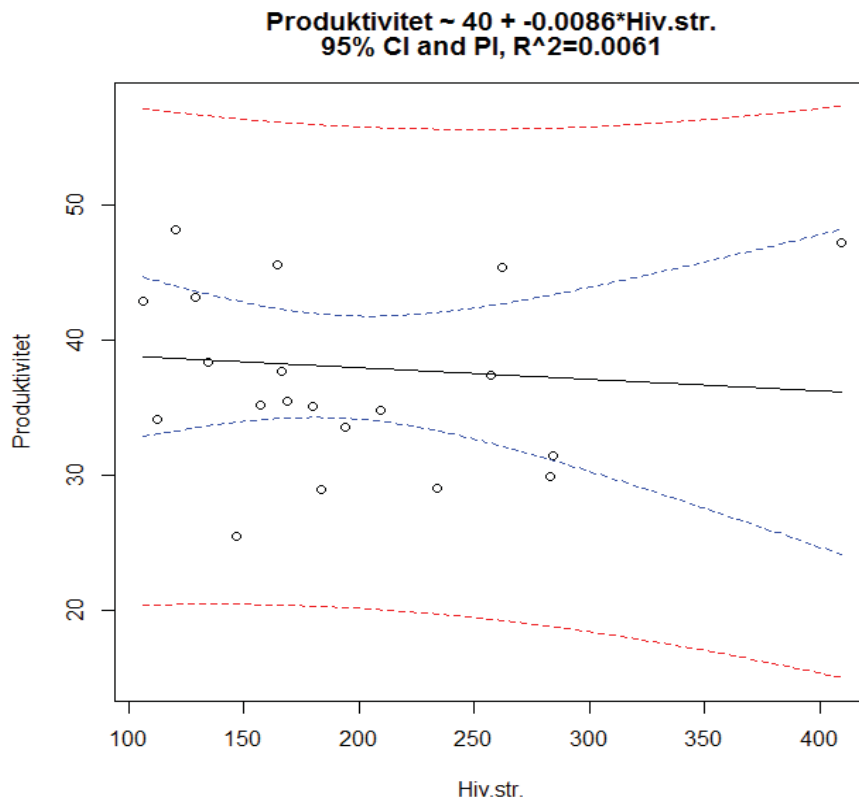
Figur 3.3: Boksplott for gjennomsnittlig produktivitet ($\text{lm}^3/\text{E}_{15}$) for de to flisloggertypene.

Boksplottet i figur 3.3 viser at Bruks har en median på $34,13 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Minimum er på $15,45 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$ og maksimum er på $59,82 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. For Heizohack er medianen $38,02 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Minimum er på $35,49 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$ og maksimum er på $47,22 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$.

Ved å utføre en paret T-test (vedlegg 2) kom det frem at det ikke var signifikant forskjell mellom produktiviteten til den gjennomsnittlige produktiviteten til flisloggertypene.

Motorstørrelse og såldstørrelse

Det er tatt for seg to ulike flisloggertyper. Flisloggertype kan også ses i sammenheng med motorstørrelse og såld, jamfør tabell 2.1. Derfor kan resultatene som er presentert overfor også ses i sammenheng med sammenligning av motorstørrelser og produktivitet, og såld og produktivitet. Det kan med andre ord ikke påvises noen signifikante forskjeller i produktivitet med hensyn til motorstørrelse og såldstørrelse.

Hiv-størrelse og produktivitet

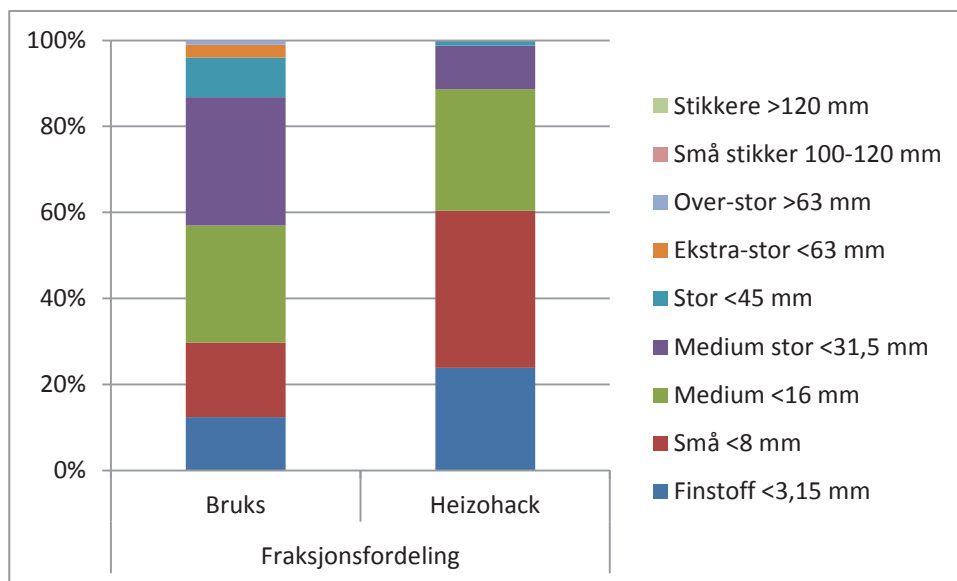
Figur 3.4: Regresjonslinje for hiv-størrelse i liter og produktivitet i $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$.

Figur 3.4 viser at gjennom regresjon kan det ikke påvises en sammenheng mellom hiv-størrelse og produktivitet. Med registrerte data ble modellen for å estimere produktiviteten i $\text{lm}^3/\text{E}_{15}$ som følgende:

$$\text{Produktivitet} = 40 + (-0,0086 * \text{Hiv.str})$$

Hvor hiv-størrelse er oppgitt i liter løst volum. Dette tilsier en svak nedgang i produktiviteten når hiv-størrelsen øker (og antall hiv per produsert lm^3 synker).

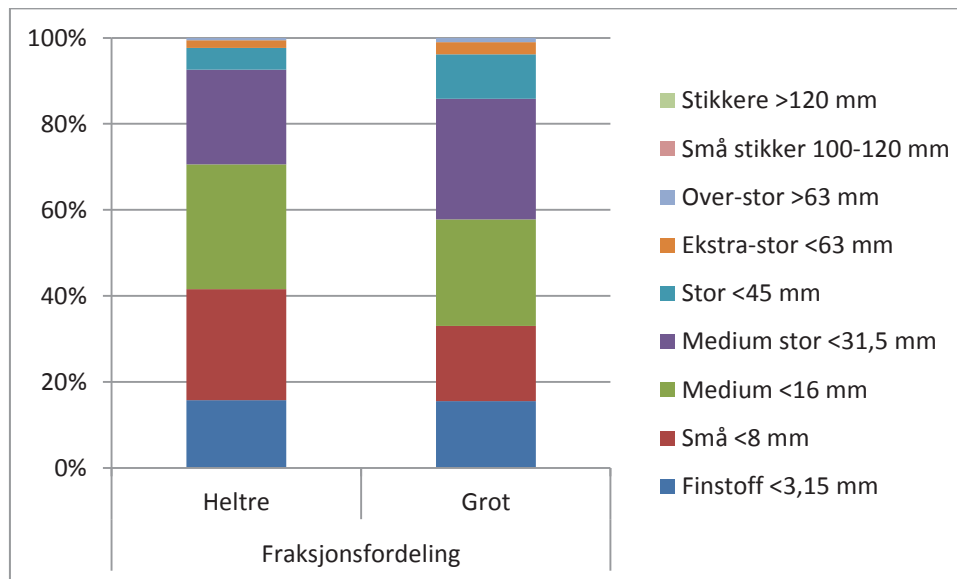
3.2 Råstoffkvalitet



Figur 3.5: Kumulativ fraksjonsfordeling i % til flis hogget fra de to flishoggertypene, uavhengig av sortiment.

Figur 3.5 viser gjennomsnittlig partikkelstørrelsesfordeling for de to flishoggertypene, uavhengig av sortimentstype. Av figuren tyder det på at det er forskjell i partikkelstørrelsesfordelingen til flis produsert fra en Bruks-flishogger og en Heizohack-flishogger. Bruks-flishoggeren produserte flis som hovedsakelig var i klassene små (>3,15 mm) til medium stor (< 31,5 mm). 74,3 % av flisa hadde en diameter innenfor dette intervallet. Andel finstoff er 12,4 %. Heizohack-flishoggeren produserte i gjennomsnitt en betydelig større andel finstoff, hele 23,8 %. Av figuren ser en at 88,6 % av flisa har en gjennomsnittsstørrelse som er i kategorien finstoff (< 3,15 mm) til medium (< 16 mm).

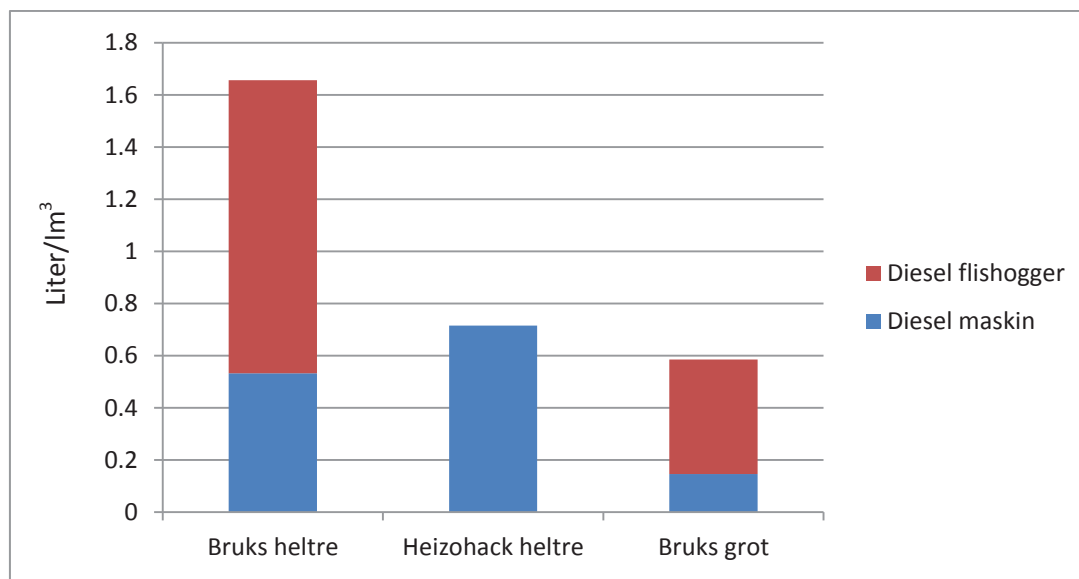
For Bruks-hoggeren var det størst andel flis i kategorien 16-31,5 mm (medium stor) med 29,8 %, etterfulgt av kategorien 8-16 mm (medium) med 27,3 %. For Heizohack-hoggeren var det størst andel i kategorien 3,15-8 mm (små) med 36,6 %, etterfulgt av kategorien 8-16 mm (medium) med 28,2 %. Heizohack-hoggeren produserte flis som i snitt var mindre enn flisa som Bruks-hoggeren produserte. Det var ikke signifikant forskjell i andel finstoff for de to flishoggertypene (vedlegg 3).



Figur 3.6: Kumulativ fraksjonsfordeling i % til flis fra de to sortimentene.

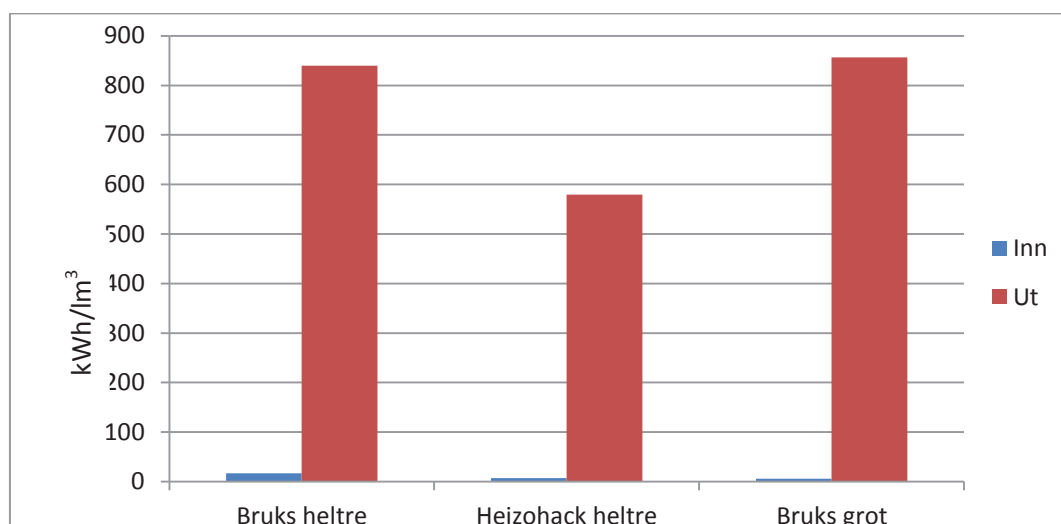
Figur 3.6 viser partikkelstørrelsesfordelingen for de to sortimentsgruppene heltre og grot, uavhengig av hvilken flishoggertype som har blitt benyttet. Andelen finstoff er omtrent identisk (15,77 % for heltre og 15,54 % for grot). Heltre har en større andel flis som er i størrelsesordenen små og medium (mellom 3,15 mm og 16 mm) enn grot, og følgelig mindre andel flis i størrelsesordenen medium stor og stor (mellom 16 mm og 45 mm) enn grot. For heltrevirke var det størst andel flis i kategorien Ø 8-16 mm (medium) med 29 %, etterfulgt av Ø 3,15-8 mm (små) med 25,8 %. For Bruks var det mest i kategorien Ø 16-31,5 mm (medium stor) med 28 %, etterfulgt av Ø 8-16 mm (medium) med 24,8 %. Flisa fra grotvirke var altså i snitt i en anelse mindre.

3.3 Drivstofforbruk



Figur 3.7: Oversikt over dieselforbruk i liter/lm³.

I figur 3.7 er registrert drivstofforbruk gjengitt. Heizohack hogg heltre ved Søndre Land. Der var det totale drivstofforbruket 81,9 liter, noe som utgjorde 0,72 liter/lm³. For Bruks-hogget heltrevirke ved Biri, var det totale drivstofforbruket 100,2 liter, noe som utgjorde 1,66 liter/lm³. Her utgjorde maskinforbruket 32 %. Bruks hogget grot ved Gran. Der ble det totale drivstofforbruket 64 liter, noe som utgjorde 0,58 liter/lm³. Maskinforbruket var 25 %. Gjennomsnittlig forbruk for Bruks-hoggeren er 1,12 liter/lm³.



Figur 3.8: Oversikt over forbrukt energi og brennverdien til produsert flis.

Figur 3.8 viser forholdet mellom hva som puttes inn av energi i form av forbrukt diesel og hva som er energiinnholdet i trevirket, uttrykt i effektiv brennverdi. Under flishoggingen av heltrevirke med Bruks-hogger ble det konsumert $1,66 \text{ liter/lm}^3$, noe som utgjør $16,6 \text{ kWh/lm}^3$. Med utgangspunkt i gjennomsnittlig bulkdensitet og fuktighetsinnhold for virket beregnes energiinnholdet i form av effekt brennverdi (H_e) å være $839,6 \text{ kWh/lm}^3$. Her utgjorde tilført energi $1,97 \%$ av energiinnholdet i brenselet. For heltrevirket som ble hogget av Heizohack-hoggeren ble det konsumert $0,72 \text{ l/lm}^3$ eller $7,2 \text{ kWh/lm}^3$. Da brenselets gjennomsnittlige energiinnhold var $579,8 \text{ kWh/lm}^3$ utgjorde tilført energi $1,23 \%$. Da Bruks-hoggeren bearbeidet grot var tilført energi i form av diesel $5,85 \text{ kWh/lm}^3$. Gjennomsnittlig energiinnhold i virket var $856,7 \text{ kWh/lm}^3$, og tilført energi utgjorde $0,68 \%$.

4 Diskusjon

4.1 Materiale

Flishoggertypene ble valgt på grunnlag av hva jeg ønsket å inkludere i min studie og hvilke typer som ble benyttet til hogging i regi av skogeierandelslagene jeg var i kontakt med. Bruks-hoggeren er en av de mest vanlige lassbærermonterte flishoggerne som går på Østlandet. Heizohack-hoggeren er mye brukt til traktorer. Det kunne imidlertid vært interessant å inkludere flere parametere i studien, for eksempel studert skivehoggere, og hatt større variasjon i motoreffekt og såldstørrelse. Et større datasett/økt utvalg ville vært en fordel for å teste signifikante forskjeller.

Objektene som ble studert ble valgt på grunnlag av hva som ble hugget på tidspunktet henvendelsene fant sted. I januar var det til tider meget lave temperaturer, noe som førte til stopp i produksjon, og feltarbeid måtte til en viss grad utsettes. Det kunne vært fordelaktig å sett på et større antall objekter, og spesielt mer grot, da dette sortimentet var underrepresentert. Et annet interessant aspekt er muligheten til å påvirke objektene. Veltene var lagt opp mellom et halvt, og to og et halvt år før de ble flishogget. Derfor var det ingen mulighet til å påvirke hvordan veltene var lagt opp eller foretatt en egen klassifisering av virket.

Hva gjelder sortimentet ved både Biri og Søndre Land kommenterte entreprenørene at selv om det var klassifisert som heltrevirke, var det som å arbeide med grot-virke. Dette vil først og fremst si mindre gripelast (hiv-størrelse). Virket knakk da det ble tatt i for første gang og en måtte bruke ekstra tid på å samle det. Det ble uttrykt fra entreprenørene at erfaringsmessig kan det være en gråsone når det kommer til å klassifisere et sortiment som heltre eller grot.

Det ble ikke sett på flishogging i terreng da dette sjelden forekommer. Studering av flishogging ved terminal ble heller ikke gjennomført. Ved terminal blir virket som oftest blåst rett på bakken etter å ha blitt prosessert i flishoggeren, noe som gjør det utfordrende å registrere volumet som kommer ut av flishoggeren.

4.2 Metode

Utvelgning av flishoggere og objekter å studere foregikk ved direkte henvendelse til entreprenører. Det var ikke anledning til å påvirke hva entreprenørene flishogget, men det var mulig å vurdere hva en ville se på av det entreprenørene tilbød, og dermed få en viss mulighet til å styre hva som ble tatt med i studien.

Å benytte seg av en Allegro håndholdt datamaskin til tidsstuderingene var nyttig. En enkel stoppeklokke ville ha utelatt flere funksjoner, som for eksempel å registrere tidsforbruket til ulike elementer og å registrere antall hiv per volumenhet. Måling på elementnivå har ifølge Magagnotti & Spinelli (2012) tre fordeler. 1) Indikasjon av hvilke spesifikke elementer som tar mer tid, slik at spesifikke forbedringstiltak hovedsakelig blir mål for disse. 2) Separasjon av effektiv arbeidstid fra forsinkelser, siden disse to kategoriene har ulik intern variabilitet og kan modelleres på ulike måter. 3) Separering av funksjonelle elementer som reagerer på ulike arbeidskarakteristika, slik at mer nøyaktige undermodeller kan utvikles. Datamaskinen var drevet av en brukervennlig programvare som gjorde registreringer enkelt. Da maskinen er av en viss vekt, anbefales det å benytte seg av en form for støtte hvis tidsstuderingen skal foregå sammenhengende over lengre tid.

Containervolumet, uavhengig om det var for Bruks-containerer eller containere til lastebil, ble registrert på grunnlag av oppgitt volum, enten på container eller i spesifikasjonsbrosjyre. Å måle alle containerne for hånd ville vært meget krevende, og nesten fysisk umulig uten risiko for ulykker. Hva gjelder vurdering av hvor full hver enkelt container var, kunne nøyaktigheten vært større. Istedenfor å kun ta øyemål, kunne det blitt tatt i bruk målestokk. Dette åpner imidlertid opp for ulykker, hvis en for eksempel måtte ha klatret opp og ned fra en Bruks-container. Da flisa uansett ikke ligger plant, må en viss grad av skjønn utøves uansett.

For registrering av drivstofforbruket ble det benyttet en elektrisk dreven dieselpumpe, da Skog og landskap hadde gått til innkjøp av en slik pumpe. Denne metoden er relativt enkel å utføre, da den ikke har store krav til teknologi. Men den viste seg å ha sine svakheter. Kun tre dieselmålinger ble utført. Da den for første gang ble tatt i bruk, ved Løten, ville den ikke suge diesel gjennom systemet. Det var antydning til at kun luft ble sugd gjennom. Noe lignende oppstod ved Rudshøgda, men her var det også noe diesel som kom gjennom systemet.

Magagnotti & Spinelli (2012) gir en oversikt over ulike metoder for å måle drivstofforbruk. En metode er å benytte seg av en strømningsmåler. Denne åpner for en forbruksanalyse for

ulike arbeidselementer, som kjøring og flising. Den krever derimot at det tas i bruk relativt høyteknologisk utstyr. Foruten manuell og elektrisk pumpe kan drivstoffet også veies, eller flytmeter installeres i maskinen. Valtra-traktoren som drev Heizohack-flishoggeren hadde installert dieselmåler, men var ikke troverdig ifølge entreprenøren.

Metoden som ble tatt i bruk for å registrere drivstofforbruket var egnet med tanke på målsettingen med studiet, nemlig kun å få registrert forbruket totalt og ikke spesifikt knyttet opp mot de ulike deloperasjonene. En defekt dieselpumpe resulterte i færre resultater enn det som var planlagt.

Det var i utgangspunktet meningen å registrere vekten til det totale volumet i en container, for å få en bedre verdi for bulkdensitet. Veiingen skulle foregå ved bruk av vektplater som lastebil eller flishogger kan kjøre opp på før og etter containeren er fylt opp. Dette bød imidlertid på problemer. Det er utfordrende å finne jevnt underlag for å få nøyaktighet i registreringene. I ett tilfelle var det så kaldt at batteriene sviktet. I alle tilfellene der Bruks-hogger ble studert hadde lassbæreren kjetting med store pigger på. Disse ville ødelegge vektene fullstendig, og det var vanskelig å oppdrive en passende løsning for beskyttelse. Ved Søndre Land skled vektene unna lastebilen fordi det var så glatt underlag.

Under behandlingen av flismaterialet ble europeiske standarder fulgt. Dette var for å kunne sammenlikne studiet med arbeider gjort andre steder. Angående registrering av bulkdensitet kan det nevnes at årsaken til at dunken skulle løftes og slippes i bakken var for å simulere transport. Dette studiet skulle ikke ta for seg flis som ble transportert. Men da flisa fikk en del kompresjon under behandlingen, som ved utmating fra flishogger og eventuell tipping i container, ble slipping av dunken sett på som en simulering av denne behandlingen.

Når det kommer til beregning av produktivitet, ble E_{15} -tid benyttet. Dette er hensiktsmessig, da det å gjøre beregninger for en tidsramme der ingen forsinkelser inkluderes er lite representativt for den virkelige situasjonen. Det er flere måter å oppgi trevirkets brennverdi på. I denne oppgaven er den oppgitt i effektiv brennverdi. Det er mest hensiktsmessig med tanke sammenlikning av input og output av energi i flishoggingsprosessen.

4.3 Resultater

Det var meget varierende produktivitet for flishoggingen, alt fra $15,5 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$ til $59,8 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Av de to flishoggertypene presterte Bruks-hoggeren best på grot og Heizohack-hoggeren bedre på heltre. Hvis en ikke tar hensyn til sortiment som ble prosessert og kun så på flishoggertype presterte Heizohack-hoggeren bedre enn Bruks-hoggeren.

Asikainen & Pulkkinen (1998) har sett på flising av grandominert hogstavfall gjennomført av tre flishoggere, der en av dem var en trommelhogger som opererte ved velte. Det var en Evolution-hogger med motoreffekt på 267 kW (363 hk), som hadde en produktivitet på $55 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Med tanke på motoreffekt er Evolution-hoggeren tilnærmet lik Heizohack-hoggeren. Heizohack hadde en produktivitet på $40,3 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$, noe som er betydelig lavere.

Röser et al. (2012) har tatt for seg flishoggingsoperasjoners effektivitet under ulike forhold. Det ble benyttet en Kesla C4560 trommelhogger drevet av en traktor; Valtra S280 (250 hk) eller John Deere 7920 (300 hk). Gjennomsnittlig produktivitet da heltrevirke ble prosessert var $77,93 \text{ lm}^3/\text{E}_0$ og $77,39 \text{ lm}^3/\text{E}_0$ da hogstavfall ble prosessert. Det kunne ikke påvises forskjell i produktivitet mellom heltre og hogstavfall. Produktiviteten her var betydelig høyere enn hva som ble observert i denne studien.

Van Loo & Koppejan (2008) presenterer karakteristika til ulike grupper flishoggere. Storskala flishoggere av størrelsen 200-550 kW (272 – 748 hk) er forventet å produsere $40\text{-}100 \text{ lm}^3$ per time. Om dette er per effektiv time (E_0) er ikke oppgitt, men det antas. Motoreffekten til de to flishoggerne i denne studien var 370 hk og 450 hk, og produktiviteten var lav hvis man tar utgangspunkt i forventningene til van Loo & Koppejan (2008).

Mine resultater viser ulik produktivitet for de to sortimentene, der grotvirke ble prosessert med høyere produktivitet enn heltrevirke. Forskjellen er ikke signifikant. Röser et al (2012) kom frem til at det ikke var noen signifikant forskjell i produktivitet mellom grot og heltre.

Nati et al. (2010) har utført en undersøkelse på såldstørrelse. Her ble det benyttet en Pezzolato PTH 900/1000 trommelhogger, med 420 hk. Det ble brukt et stort såld ($60 \times 240 \text{ mm}$ hull), et medium såld ($60 \times 40 \text{ mm}$ hull) og et lite såld ($40 \times 40 \text{ mm}$ hull). Både grot og heltre/stammevirke ble hogget samtidig, og treslagene var poppel (*Populus x euramericana* Guiner) og furu (*Pinus strobus* L.). Resultatene i studien viser at produktiviteten var signifikant påvirket av såldstørrelse, den gikk ned jo mindre såld som ble benyttet. Röser et al.

(2012) sin studie bekrefter denne sammenheng mellom såldstørrelse og produktivitet. I min undersøkelse hadde Bruks-hoggeren hadde en stikkrist med 10 cm mellomrom. Heizohack-hoggeren benyttet et såld med dimensjon 10 x 10 cm. Mine funn viser at den gjennomsnittlige produktiviteten til flishoggeren med minst såld var størst, noe som ikke stemmer overens med funn beskrevet ovenfor. Forskjellen i produktivitet var ikke signifikant.

Ved alle lokasjoner foruten en ble det benytter kniver med liten grad av skarphet. På en skala fra 1 til 5, der 1 er skarpest, klassifiserte entreprenørene knivene til flishoggerne de manøvrerte i kategorien 4 og 5. Unntaket var ved Gran, der ble det skiftet kniver underveis. Først ble tre containerlass hogget med sløve kniver. Deretter ble nyslipte kniver satt inn og to nye containerlass ble flishogget. Det ble ikke påvist noe forskjell i produktivitet, og antall observasjoner er for få til å dra noen konklusjoner. Nati et al (2010) sier at produktiviteten under flishogging er signifikant påvirket av knivslitasje.

Treegenskaper som treslag og fuktighetsinnhold later til å ha en sekundæreffekt på flisproduktivitet og drivstofforbruk (Spinelli et al. 2011). Nati et al. (2010) sier at effekten av treslag hadde ingen statistisk signifikans på produktivitet.

Tidsstuderingene kan ha hatt en effekt på maskinførernes arbeid. Hawthorne-effekten går ut på at atferden til arbeiderne endres fordi de vet at de blir observert (Magagnotti & Spinelli 2012). Personen som tidsstuderte var sjelden særlig synlig for maskinfører, men det kan jo selvfølgelig ligge i maskinførerens underbevissthet. Alle maskinførerne var erfarne og hadde kjørt flere år med sine respektive maskiner.

Flisstørrelse avhenger blant annet av flishugger, råstoffet, treslag, kniver og såld (Nati et al. 2010). Heizohack-hoggeren produserte flis med mindre gjennomsnittstørrelse enn Bruks-hoggeren. Dette er trolig på grunn av at Heizohack-hoggeren benyttet seg av et mindre såld.

Dieselforbruket ble registrert ved tre lokasjoner, med ganske varierende resultater. Under flishoggingen av heltre med Bruks-hoggeren ble det forbrukt mest drivstoff. Velta lå 100-200 meter fra lastebilcontainerne. Denne relativt lange kjørelengden kombinert med lang ventetid på lastebil der motoren gikk på tomgang, var nok hovedårsakene til det høye drivstofforbruket. Ved flishogging av heltre med Heizohack-flishogger var drivstofforbruket en god del mindre. Lavest drivstofforbruk hadde Bruks-hoggeren under flising av grot. Röser et al. (2012) viser til et høyere drivstofforbruk ved bruk av mindre såld. Dette stemmer

overens med Nati et al. (2010). Her er det altså motstridigheter mellom funn i denne studien og tidligere studier.

Når det kommer til andel energi forbrukt under flishogging sammenliknet med energien som produseres har Wihersaari (2005) kalkulert det til å være 1,9 – 2,6 %. Da er det forutsatt at mesteparten av denne energien er i form av diesel. Dette stemmer ganske godt overens med mine funn, nemlig en relativ energi-input på 0,68 – 1,97 %, kun inkludert diesel. Van Loo & Koppejan (2008) oppgir at energien som er nødvendig for flishogging er omkring 1-3 % av energiinnholdet i vedbrenselet.

Ved to anledninger fungerte ikke dieselpumpen som den skulle, da store mengder luft ble sugd gjennom istedenfor diesel. Med dette i bakhodet kan det ikke utelukkes at det kan ha forekommet feil under etterfylling ved de tilfellene dieselpumpen tilsynelatende så ut til å fungere.

4.4 Avsluttende kommentarer

Arbeidet med denne oppgaven har vært meget spennende, men også utfordrende. Planlegging av feltarbeid må skje over en kort tidshorisont. Værforhold, som meget lave temperaturer og store mengder nedbør, kan gjøre at produksjon må vente eller utsettes. I tillegg kan mekaniske skader plutselig oppstå og skape forsinkelser.

Min studie har begrensninger i omfang med tanke på utvalg av flishoggere, sortiment og antall observasjoner. En skal være forsiktig med å trekke generelle konklusjoner basert på disse resultatene, da det ikke er bevist forskjeller som er signifikante. Oppgaven bør danne grunnlag for videre arbeid innenfor dette temaet. Det kan være interessant å utvide materialet i form av større variasjon i motoreffekt, flere såldstørrelser og å inkludere skivehoggere.

5 Konklusjon

Bruks-hoggeren hadde en gjennomsnittlig produktivitet på $35 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Bruks-hogger produserte heltreflis med en gjennomsnittlig produktivitet på $30,5 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$, og grotfelis med en gjennomsnittlig produktivitet på $45,6 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Heizohack-hoggeren produserte heltreflis med en gjennomsnittlig produktivitet på $40,3 \text{ lm}^3/\text{E}_{15}$. Forskjellene i produktivitet var ikke signifikante. Resultatene tyder på at sortiment, motorstørrelse og såld påvirker produktiviteten mer enn type flishogger.

Heizohack-hoggeren produserte flis med større andel finstoffer enn Bruks-hoggeren. Flis produsert av Heizohack-hoggeren bestod hovedsakelig av flis med størrelse under 16 mm. Bruks produserte flis som var litt større. Forskjellene var ikke signifikante. Det tyder på at såldstørrelse er med å påvirke størrelsen på flisa.

Drivstofforbruket varierte fra $0,58 - 1,66 \text{ liter/lm}^3$, og gjennomsnittlig drivstofforbruk var høyere for Bruks-hoggeren enn for Heizohack-hoggeren. Drivstofforbruket ser ut til å påvirkes av motoreffekten. Energiforbruket var relativt lavt i forhold til energimengden i trevirket som ble fliset. Energien i drivstoffet utgjorde $0,68 - 1,97 \%$ av energien i flisa (effektiv brennverdi).

En bør være forsiktig med å trekke generelle konklusjoner fra funn i denne studien, fordi datamaterialet er begrenset. Flere undersøkelser er nødvendig for å uttale seg på et generelt grunnlag.

6 Referanser

Asikainen, A. & Pulkkinen, P. 1998. Comminution of Logging Residues with Evolution 910R chipper, MOHA chipper truck, and Morbark 1200 tub grinder. Journal of Forest Engineering. Volume 9, Number 1.

Bøeng, A. C. 2011. Hvordan kan Norge nå sitt mål om fornybar energi i 2020? Økonomiske analyser 6/2011. Statistisk sentralbyrå.

Forbord, M. & Vik, J. 2011. Forsyningskjeder for bioenergi – nettverk og kritiske faktorer. Rapport nummer 1/11. Norsk senter for bygdeforskning. 76 s.

Forest Energy Portal 2013. www.forestenergy.org 20.03.2013.

Gjølshjøl, S. & Nordhagen, E. 2013. Flis og fliskvalitet. En undersøkelse av brenselflis i det norske flismarkedet. Arbeidsrapport fra Skog og landskap.

Hohle, E. 2005. BIOENERGI – Miljø, teknikk og marked. Energigården. 2. opplag.

Langerud, B., Størdal, S., Wiig, H. & Ørbeck, M. 2007. Bioenergi i Norge – potensialer, markeder og virkemidler. ØF-rapport nr. 17/2007.

Løvås, G. 2005. Statistikk for universiteter og høyskoler. 2. utgave. Universitetsforlaget.

Magagnotti, N. & Spinelli, R. 2012. Good practice guidelines for biomass production studies.

Meld. St. 9 (2011-2012), 2011. Landbruks- og matpolitikken. Velkommen til bords. Det kongelige landbruks- og matdepartement. Hentet fra

<http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/dok/regpubl/stmeld/2011-2012/meld-st-9-20112012.html?id=664980>

Meld. St. 34 (2006-2007), 2007. Norsk klimapolitikk. Det kongelige miljøverndepartement.

Hentet fra <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/regpubl/stmeld/2006-2007/Stmeld-nr-34-2006-2007-.html?id=473411>

Meld. St. 39 (2008-2009), 2009. Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen. Det kongelige landbruks- og matdepartement. Hentet fra

<http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/dok/regpubl/stmeld/2008-2009/stmeld-nr-39-2008-2009-.html?id=563671>

Nati, C., Spinelli, R. & Fabbri, P. 2010. Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *Biomass and Bioenergy* 34. 583-587.

Norsk Standard 2009. NS-EN 14774-2:2009. Fast biobrensel. Bestemmelse av fuktinnhold. Tørkemetode i ovn. Del 2: Totalt fuktinnhold. Forenklet metode.

Norsk Standard 2009. NS-EN 15103:2009. Fast biobrensel – Bestemmelse av romdensitet.

Norsk Standard 2010. NS-EN 15149-1:2010. Fast biobrensel. Bestemmelse av partikkelstørrelsesfordeling. Del 1: Oscillerende siktmetode med bruk av silåpninger på 1 mm og over.

Norsk Treteknisk Institutt 2009. Treteknisk Håndbok nr. 4.

Olje- og energidepartementet (OED) 2012. Fakta 2013 Energi- og vannressurser i Norge.

Röser, D., Mola-Yudego, B., Prinz, R., Emer, B. & Sikanen, L. 2012. Chipping operations and efficiency in different operational environments. *Silva Fennica* 46(2): 275-286.

Spinelli, R. & Hartshough, B. 2001. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy* 21. 433-444.

Spinelli, R., Magagnotti, N., Paletto, G. & Preti, C. 2011. Determining the impact of some wood characteristics on the performance of a mobile chipper. *Silva Fennica* 45(1). 85-95.

Statistisk sentralbyrå (SSB) 2013. Fakta om energi. Utviklingen i energibruk i Norge. Statistiske analyser.

Trømborg, E., Bolkesjø, T. F. & Solberg, B. 2007. Skogbasert bioenergi til oppvarming – økonomisk potensiale i Norge og effekt av økonomiske virkemidler. INA fagrapport 9. 28 sider.

Van Loo, S. & Koppejan, J. 2008. The handbook of biomass combustion and co-firing. Earthscan.

Wihersaari, M. 2005. Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chip production in Finland. *Biomass and Bioenergy* 28 (2005) 435-443.

7 Vedlegg

Vedlegg 1: Paret T-test for å sammenlikne Bruks grot og Bruks heltre, utført i R.

Paired t-test

data: Prod_Bruks_1\$Bruks.grot and Prod_Bruks_1\$Bruks.heltre

t = 4.1126, df = 4, p-value = 0.0147

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

5.312635 27.391365

sample estimates:

mean of the differences std.dev. of the differences

16.352000

8.890783

Vedlegg 2: Paret T-test for å sammenlikne Bruks og Heizohack, utført i R.

Paired t-test

data: Prod_maskin_1\$Bruks.prod and Prod_maskin_1\$Heizo.prod

t = -3.7655, df = 5, p-value = 0.01308

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-22.404653 -4.225347

sample estimates:

mean of the differences std.dev. of the differences

-13.315000

8.661468

Vedlegg 3: Paret T-test for å sammenlikne andel finstoffer produsert av Bruks og Heizohack, utført i R.

Paired t-test

data: Finstoff_maskiner1\$Finstoff.Bruks and Finstoff_maskiner1\$Finstoff.Heizo

t = -4.1656, df = 11, p-value = 0.001574

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-12.643413 -3.901587

sample estimates:

mean of the differences std.dev. of the differences

-8.272500 6.879322