

Oppdragsrapport fra Skog og landskap 19/2009

---



skog+  
landskap

# UTKJØRING AV UKOMPRIMERT HELTREBIOMASSE FRA VEGKANTRYDDING

---

Helmer Belbo

Leif Kjøstelsen



Oppdragsrapport fra Skog og landskap 19/2009

---



skog+  
landskap

# UTKJØRING AV UKOMPRIMERT HELTREBIOMASSE FRA VEGKANTRYDDING

---

Helmer Belbo

Leif Kjøstelsen



Oppdragsrapport fra Skog og landskap 19/2009

---

# UTKJØRING AV UKOMPRIMERT HELTREBIOMASSE FRA VEGKANTRYDDING

---

Helmer Belbo  
Leif Kjøstelsen

Omslagsfoto: Opplesning av vegkantvirke. Molde 2009. Leif Kjøstelsen, Skog og landskap©

---

Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO-1431 Ås

---

## FORORD

Fylkesmannen i Møre og Romsdal fikk sammen med Fylkesmannen i Sogn og Fjordane sommeren 2008 tildelt kr 2 mill. fra Landbruks- og matdepartementet til oppretting av et bioenergi-prosjektet "Biostigen". Prosjektet har som målsetting å bidra til utvikling av effektiv logistikk og lønnsomme verdikjeder knyttet til uttak av råstoff til biobrensel fra skog, kulturlandskap og vegkanter.

Regionen opplever at vegetasjonen langs veger og i kulturlandskapet hindrer utsikten over det ellers vakre landskapet, og at dette også påvirker trafikksikkerheten i negativ retning. Et delmål i Biostigen var derfor å finne effektive metoder og evaluere ulike konsepter for produksjon av biobrensel ved rydding av vegkanter.

Norsk institutt for skog og landskap ble engasjert i prosjektet for å foreta driftstekniske studier hvor hensikten var å bestemme produktiviteten for ulike metoder og maskiner. Ut fra slike undersøkelser kan man komme videre i søket etter optimale løsninger for denne typen arbeid. Studiene ble utført av Leif Kjølstelsen, og videre analyser og rapportskrivning er utført av Helmer Belbo. Oppdragsgiver har bidratt med verdifulle innspill til studieopplegg og innhold i rapporten.

Vi takker fylkesmannen i Møre og Romsdal ved Kåre Kristen Totlund for godt samarbeid i prosjektet.

Ås, november 2009

Helmer Belbo

Leif Kjølstelsen

## SAMMENDRAG

I denne rapporten redegjøres for et mindre studie av produktiviteten ved uttransport av ukomprimert vegkantvirke som er tenkt benyttet som biobrensel. Tre forskjellige maskiner har blitt studert; tømmerbil, lassbærer og landbrukstraktor med kran og tømmerhenger. Lassbæreren og landbrukstraktoren ble benyttet til å samle virke langs vegen og kjøre det til lunneplass. Tømmerbilen ble benyttet til videre transport til terminal.

Bestandene var lauvtrede dominerte vegkanter som ble manuelt ryddet noen dager før utkjøring. Den gjennomsnittelige størrelsen på trærne i hvert lass varierte fra 10 til 40 liter per tre.

Lessetiden var det enkeltmomentet med størst variasjon og med størst innflytelse på kostnadene i hele kjeden. Tidsforbruket for lessing var sterkt avhengig av hivstørrelsen, noe som stemmer godt overens med hva andre studier har vist. I dette studiet var den totale opplessingstiden i de fleste tilfeller mellom 5 og 10 minutter per fastkubikkmeter ( $\text{fm}^3$ ), og i ett tilfelle oppe i 18 minutter per  $\text{fm}^3$ . Dette gir en arbeidskostnad i intervallet 70 - 210 kr per  $\text{fm}^3$  for opplessingen. Det store spennet skyldtes i hovedsak stor variasjon i hvor lett det var å samle sammen virket på bakken i forbindelse med opplessingen. Den store variasjonen i dette arbeidsmomentet tyder også på at det er mye å hente på å endre arbeidsmetodene allerede i fellingsmomentet, slik at virket i større grad blir konsentrert og "lettgripelig".

Landbrukstraktoren kom godt ut sammenlignet med lassbæreren i dette studiet, noe som hovedsakelig skyldtes en lavere timekostnad. Produktiviteten var den samme for begge maskiner. På lengre transportavstander vil landbrukstraktoren være mer effektiv enn lassbæreren på grunn av noe høyere transporthastighet på veg.

Omlasting til tømmerbil ser ut til å lønne seg om transportavstanden fra velteplass til terminal eller sluttkunde er større enn 4 - 5 km. Her er det også rom for store besparelser om tidsforbruket til klargjøring av bilen i forbindelse med av og pålessing kan reduseres.

Lassvektene var lave for alle tre ekvipasjer om en sammenligner med lastekapasiteten. Bedre komprimering av virket vil senke transportkostnadene, spesielt på lengre transportavstander.

**Nøkkelord:** Bioenergi, driftsteknikk, logistikk

**Key word:** Bioenergy, logistics, operations efficiency

# INNHold

1.	Innledning .....	1
2.	Materiale og metode .....	1
2.1.	Bestand .....	1
2.2.	Maskiner .....	1
2.3.	Tidsstudiet .....	2
2.4.	Analyse .....	3
3.	Resultater .....	3
3.1.	Opplesing av virket.....	3
3.2.	Flytting under lessing .....	6
3.3.	Utkjøring .....	7
3.4.	Totale kostnader for uttransport. ....	8
4.	Diskusjon og konklusjon .....	8
4.1.	Evaluering av resultatene .....	8
4.2.	Forslag til videre utviklingsarbeid og studier. ....	9
5.	Referanser.....	9

# 1. INNLEDNING

Bioenergi er et satsingsområde i Norge. Regjeringa har som mål å øke produksjonen av bioenergi med 14 TWh innen 2020 (jf. Bioenergistrategien (OED 2008)) Utfordringene er mange, blant annet må lønnsomheten i produksjon av skogsflis forbedres. Samtidig har mange aktører fattet interesse i muligheten for å kombinere vedlikehold av kulturlandskap, rydding av infrastruktur-objekter som vegkanter og kraftgater med produksjon av biobrensel. På slike arealer er det liten tradisjon i å utnytte virke som blir felt. Dette på grunn av at virket holder små dimensjoner, at det blir en miks av ulike treslag og at etterspørselen etter denne type virke har vært nesten fraværende. Med økt utbygging av biovarmeanlegg vil denne type virke være aktuelt å benytte som brensel.

Kostnader og utfordringer knyttet til logistikken rundt høsting og transport av denne type virke har i liten grad blitt undersøkt tidligere. Her står en ovenfor mange valg med tanke på hvilke arbeidsmetoder og maskiner man bør velge for å få til en rasjonell håndtering og sikre bra kvalitet på sluttproduktet. Denne rapporten redegjør for et forsøk hvor man har sett på driftskostnader knyttet til utkjøring av ukomprimert vegkantvirke. Effektiviteten i arbeidet, dvs innsats per produserte enhet, er avgjørende for en lønnsom produksjonskjede. Tre forskjellige maskiner har blitt studert; tømmerbil, lassbærer og landbrukstraktor med kran og tømmerhenger. Lassbæreren og landbrukstraktoren ble benyttet til å samle virke langs vegen og kjøre det til velteplass. Tømmerbilen ble benyttet til videre transport til terminal.

## 2. MATERIALE OG METODE

### 2.1. Bestand

Bestandene var lauvdominerte vegkanter som ble manuelt ryddet noen dager før utkjøring. Ryddegaten var ca 6,5 meter bred. Den gjennomsnittelige størrelsen på trærne i hvert lass varierte fra 10 til 40 liter per tre.

### 2.2. Maskiner

Tømmerbilen var en ordinær tømmerbil med stålvegger innenfor tømmerstakene. Den komprimerte lassene med en stor tømmerstokk og la til slutt på et lokk over virket (stålplate). Erfaringsmessig tar tømmerbilen 13-16 tonn virke (bil og henger), men dette setter store krav til lessing. Lassbæreren var en Timberjack 1410B med stålkasse og 7,5 meter lang kran. Innvendig mål var om lag 2,8 meter bred og 6 meter lang. Traktoren var en Valtra T190 (190 hk) med 50 km/h makshastighet. Tømmerkrana var festa på traktoren med et jakefeste og hadde separat oljepumpe. Tømmervogna var en 12 tonns Patruuna med stålkasse innenfor tømmerstakene, innvendige mål var om lag 2 meter bred og 6 meter lang.

Tabell 1. Maskiner som var med i studiet

	TimberJack 1410B	Valtra T190	Tømmerbil
Nyttelast, maks	14 tonn	12 tonn	25 tonn
Areal tverrsnitt lasterom	2,8 m bredde, 1,7 m høyde	2 meter bredde, 1,5 m høyde	
Motoreffekt, kW	124	142	
Krantype, lengde	7,5 m	Cranab, 9,2 m., montert på traktor	Kesla
Timepris	800+moms	690+moms	850+moms
Toppfart	22 km/h	50 km/h	80 km/h

### 2.3. Tidsstudiet

Studien ble gjennomført langs fylkesveg 195 fra Tjelle til Søsnes og langs fylkesveg 407 fra Osen til Gussiåsbrua den 2. Juni 2009 i godt vær. Tidsstudiene ble gjort manuelt med håndholdt pc og tidsstudieprogrammet SDI fra Haglöf i Sverige.

Tabell 2. Studerte arbeidsmomenter med tilhørende variabler

Arbeidsmoment	Forklarende variabel
<b>Kran ut</b> (fra kranen starter søk til første tre er grepet)	
<b>Lunne</b> (samle sammen virke til fullt hiv)	
<b>Lesse</b> (løfte hivet og plassere i henger)	Antall tre hivvolum
<b>Ordne</b> (rette opp feilplasserte tre)	
<b>Flytte</b> (maskinforflytning under lessing)	Strekning, m
<b>Kjøring av lass</b> (Til lunneplass eller terminal)	Strekning, m
<b>Avlessing</b> (på velteplass eller terminal)	Lassvekt, tonn
<b>Returkjøring</b> (fra velteplass eller terminal)	Strekning, m
<b>Klargjøring</b> (øvrige arbeid i forbindelse med oppstart eller avslutning av en arbeidsoperasjon)	
Tapstid (tapt virketid pga reparasjon eller forsøks teknisk arbeid)	

Lassene ble veid før avlessing med hjulveker. Noe usikkerhet er knyttet til lassvektene på lassbæreren, på grunn av at 2 av 4 hjulveker gikk i stykker under studien. Hvert lass ble derfor veid ved at man satte hjulene parvis (i bredderetningen) på hjulvektene og summerte ekvipasjens totale vekt med og uten lass.



## 2.4. Analyse

Modeller som beskriver produktiviteten under ulike forutsetninger ble funnet ved regresjonsanalyser. Med denne metoden kan man også enkelt se om det er tydelige forskjeller mellom ulike typer maskiner.

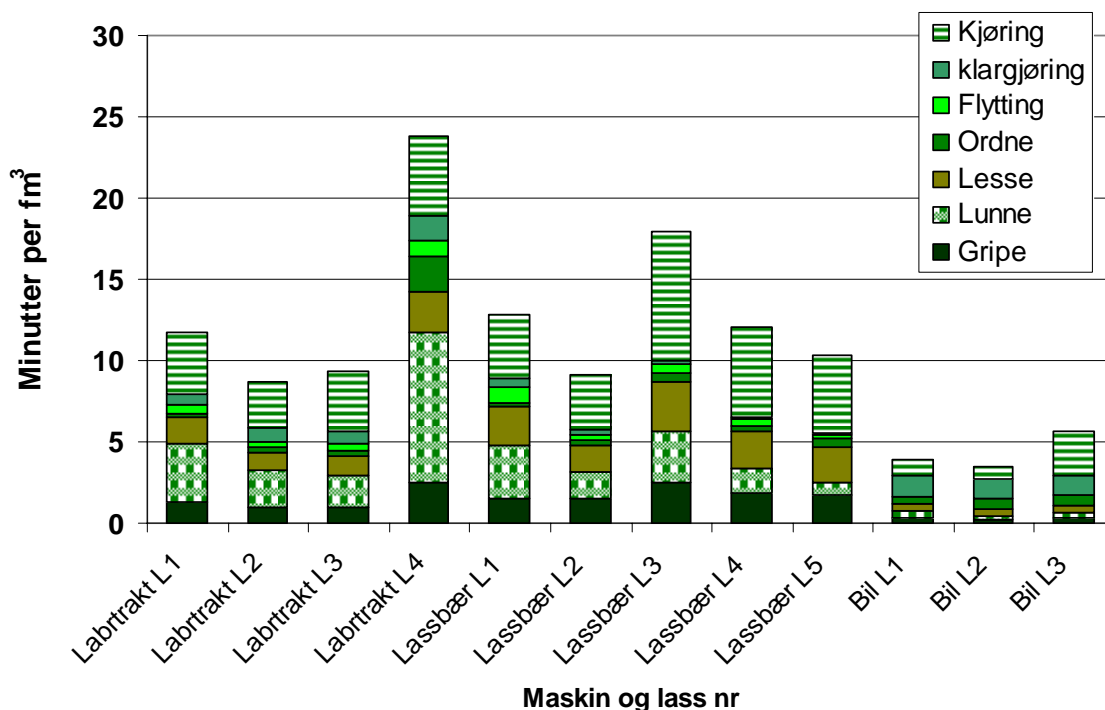
De variable kostnadene for transport gods fra start (stubbe) til mål (varmeverk) deles gjerne inn variable transportkostnader og variable terminalkostnader. Det er mange måter å evaluere disse kostnadskomponentene på, vi har i dette arbeidet tatt utgangspunkt i timekostnadene til den enkelte maskin og prestasjonene som ble erfart i studiet for den enkelte arbeidskomponent.

I denne studien har vi bare fokusert på effektiv arbeidstid, dvs den tiden hvor føreren enten håndterer virket med kran eller utfører transport. På grunn av studiets korte omfang har vi ikke grunnlag for å estimere andelen effektiv arbeidstid i forhold til fakturert tid (også kalt maskintid). Forskjellen mellom disse to tidene uttrykkes gjerne ved brøken  $E_0 / E_{15}$ , hvor  $E_0$  er effektiv arbeidstid og  $E_{15}$  er fakturert arbeidstid. For korte studier hvor denne brøken ikke kan bestemmes ut fra studiematerialet er det vanlig å sette den i intervallet 0,85-0,95.

## 3. RESULTATER

### 3.1. Opplesing av virket

Effektiviteten ved lessing av virket er gitt av to variabler; mengden virke i hver kransyklus og tidsforbruket i hver kransyklus. Disse to varierer videre med en rekke faktorer.



Figur 1. Figuren viser tidsforbruket på de forskjellige arbeidsmomenter per  $\text{fm}^3$  for alle studerte lass.

Tidligere studier av opplesning av virke har vist sammenheng mellom tettheten på virke som skal leses og hivstørrelsen (Laitila et al. 2007). Kransykeltiden avhenger av mange faktorer, kanskje først og fremst av fører, men også av distansen virket skal transporteres med kran, samt egen-skaper ved maskinen som benyttes. Tabell 3 viser hvilken maskin som er benyttet, og andre variabler som kan forklare noe av variasjonen.

Av Figur 1 ser vi at det er til dels stor variasjon i tidsforbruket på de forskjellige arbeidsmomenter. Opplesningstiden, som består av gripe, lunne, lesse, ordne og flytting, domineres i mange tilfeller av lunning. Det betyr at sjåføren bruker mye tid til å samle sammen virke på bakken til skikkelige hiv. Videre kan man legge merke til at bilen bruker mer tid på klargjøring enn den bruker på lessing. Klargjøring omfatter her klargjøring før pålessing (dvs tiden mellom ankomst til lunneplass til lessingen starter), klargjøring før kjøring (tiden fra lasset er fylt til bilen kjører fra lunneplass) og klargjøring før og etter avlesing. For å illustrere hva dette har å si for kostnadene kan en tenke seg at ved en timepris på kr 800,- vil hvert minutt koste kr 13,30.

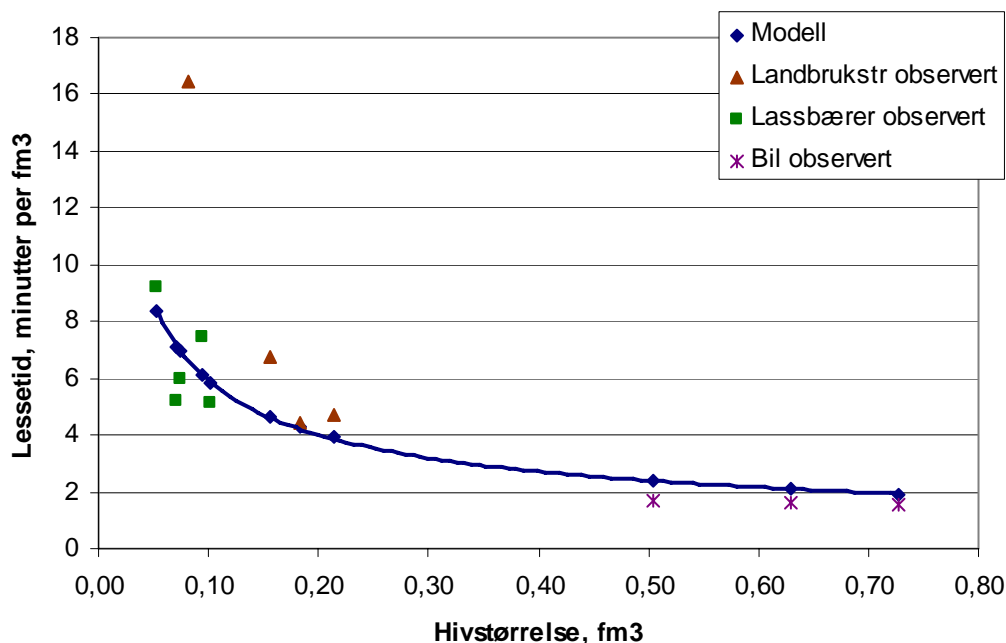
Strekningen man behøvde for å fylle et fullt lass ble målt bare for lassbæreren, og estimert ved skrittlengder for landbrukstraktoren. Det betyr at det kan være noe unøyaktighet i datamaterialet hva angår biomassekonsentrasjonen langs vegen. For landbrukstraktor og lassbærer ble det telt antall trær i hvert hiv som ble lesset opp. Fra lass-størrelsen og det totale antall trær fant vi dermed gjennomsnittelig trestørrelse for disse to maskinene.

Tabell 3 viser observert lessetid per m<sup>3</sup> for det enkelte lass, sammen med volumet lesset i hvert hiv, gjennomsnittelig trestørrelse i lassene og biomassetettheten langs vegen.

Tabell 3. Lessetid og variabler som kan påvirke lessetiden

Maskin, Lass nr	Lessetid kranarbeid, minutter pr m <sup>3</sup>	Volum (fm <sup>3</sup> ) i hvert hiv	trestørrelse, liter	Tetthet, m <sup>3</sup> / 100 m vegkant
Landbrtrakt, 1	6,8	0,16	21	4
Landbrtrakt, 2	4,7	0,21	35	8
Landbrtrakt, 3	4,4	0,18	39	6
Landbrtrakt, 4	16,5	0,08	10	3
Lassbærer, 1	7,4	0,09	17	3
Lassbærer, 2	5,1	0,10	36	9
Lassbærer, 3	9,2	0,05	15	4
Lassbærer, 4	6,0	0,07	25	7
Lassbærer, 5	5,2	0,07	36	11
Bil, 1	1,6	0,63		
Bil, 2	1,5	0,73		
Bil, 3	1,7	0,50		

Fra figur 1 og figur 2 ser man at det var visse forskjeller mellom de tre maskinene. For landbrukstraktoren og lassbæreren lå lessetiden med ett unntak i intervallet 5-10 minutter per m<sup>3</sup>. Landbrukstraktoren hadde lang kransykeltid, men dette kompenseres ved større hivvolum enn lassbæreren. På grunn av at hivene var dobbelt så store for traktoren som for lassbæreren var traktoren generelt sett mer effektiv i lessingen enn lassbæreren. Bilen hadde naturlig nok generelt store volum (0,5 - 0,7 m<sup>3</sup>) i hver kransykel siden den lesset fra velteplass, og var dermed meget effektiv i lessingen; ca 1,5 minutt per m<sup>3</sup>.



Figur 2. Figuren viser modellen for lessetid sammen med alle observasjonene.

Fra figur 2 ser man tydelig sammenhengen mellom hivstørrelse og produktivitet under lessingen. Videre ser man at lassbæreren kom uheldig ut på grunn av at den lastet små hiv. I materialet fra dette studiet var det ingen som helst sammenheng mellom biomassekonsentrasjonen langs stikkvegen og hivstørrelsen.

En modell for tidsforbruket til lessing av lassene ble funnet ved regresjon. Lessetiden var best beskrevet av kvadratroten av det inverse hivvolum (se Modell 1). Observasjon 4 på landbrukstraktoren ble utelatt da dette lasset ble ansett å være en ikke representativ observasjon. Observasjonen i seg selv er nok riktig, men tidsforbruk og hivstørrelse tyder på at arbeidet var lagt opp på en uvanlig ineffektiv måte. Maskintype viste ikke signifikant effekt på tidsforbruket i regresjonen, dette kan skyldes at vi hadde få observasjoner.

$$\text{Modell 1: } T_{less} (\text{min} / \text{fm}^3) = -0,462 + 2,0229 \times \frac{1}{\sqrt{\text{Hivvolum}}}$$

$T_{Less}$  = Lessetid i minutter per fm<sup>3</sup>,

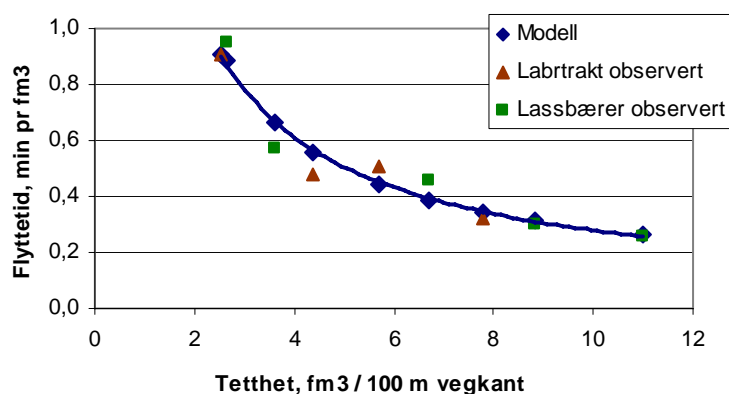
$Hivvolum$  = volumet lesset per hiv, fm<sup>3</sup>.

Tabell 4. Koeffisienter modell 1, lessetid per fm<sup>3</sup>

Variabel	Estimat	Std error	t-verdi	Pr >  t
Konst.	-0.4620	1.0134	-0.456	0.66
Hivvol <sup>-1/2</sup>	2.0229	0.3571	5.665	0.0003

Residual standard error=1.23, Rsq:0.781, Rsq(Adj): 0.7566, F<sub>0</sub>=32.09, N=11

### 3.2. Flytting under lessing



Figur 3. Flyttetider under opplesning for traktor og lassbærer

Flyttetiden viste seg å ha sterk sammenheng med virkestetthet. Modellen som best beskrev tidsforbruket for flytting i minutter per fm<sup>3</sup> hadde invers virkestetthet som uavhengig variabel. Heller ikke her kunne vi spore forskjell mellom landbrukstraktor og lassbærer.

$$\text{Modell 2: } T_{\text{flytt}} (\text{min} / \text{fm}^3) = 0,0681 + 2,1447 \times \frac{1}{\text{Virkestetthet}}$$

Hvor  $T_{\text{flytt}}$  = flyttetid i minutter (min) per fm<sup>3</sup>,  
 $\text{Virkestetthet}$  = fm<sup>3</sup> virke per 100 m.

Tabell 5. Koeffisienter modell 2, flyttetid per fm<sup>3</sup>

	Estimat	Std error	t-verdi	Pr >  t
Konst.	0.06810	0.04740	1.44	0.1939
Virkest. <sup>-1</sup>	2.14471	0.19765	10.85	<.0001

Residual standard error: 0.06, Rsq: 0.9439, Rsq(Adj): 0.9359, F<sub>0</sub>=117.75, N=9

Kostnadene for lessing henger direkte sammen med tidsforbruket per produserte enhet og timekostnaden til den enkelte maskin. Siden modellen for tidsforbruk til opplesningen var den samme for lassbæreren og landbrukstraktoren blir det bare timeprisen som skiller dem i lessekostnad.

$$Lessekostnad( kr / fm^3 ) = (T_{less} + T_{flytt}) \times \frac{E_0}{E_{15}} \times \frac{timepris}{60} \quad (\text{Formel 1})$$

### 3.3. Utkjøring

Produktivitet og kapasitet ved godstransport måles gjerne i tonn \* km / time. Hastigheten var for landbrukstraktoren i snitt 33 km h<sup>-1</sup> ved kjøring av lass, og 36 km h<sup>-1</sup> ved tomkjøring. For lassbæreren var korresponderende hastigheter 15,2 og 25 km h<sup>-1</sup>. For tømmerbil ble ikke hastigheten målt, den er derfor antatt å være 60 km h<sup>-1</sup>. Tabell 6 under viser lassvekter og tidsforbruk for avlesning. I den videre sammenligningen mellom de ulike maskiner vil maksimal lass-størrelse benyttes som sammenligningsgrunnlag, da man kan håpe at lassvektene i praksis vil ligge nærme dette.

Tabell 6. Lassvekter og tidsforbruk ved avlesning av energivirket

	N lass	Snittvekt, tonn	Maksvekt, tonn	Transport kapasitet, tonn*km/h	Avlesning, min / m <sup>3</sup>
Bil	3	14,6	14,7	880	0,8
Landbrtrakt	4	2,7	3,4	122	1,2
Lassbærer	5	3,4	4,6	97	0,9

Fuktigheten ble målt på et utvalg trær, og den lå i intervallet 42-48 % fuktighet. Bjørk har basisdensitet på ca 500 kg tørrstoff / fm<sup>3</sup>, mens Or har basisdensitet på ca 370 kg tørrstoff / fm<sup>3</sup>. Ved en volumveid miks på 50 % av hvert treslag ved 45 % fukt gir dette en gjennomsnittelig rådensitet på 790 kg rått virke per fm<sup>3</sup>. Omregningsfaktor for transportkapasitet blir dermed i henhold til formel 2.

$$Transp.kap.( fm^3 \times km / h ) = 1,27( fm^3 / tonn ) \times Transp.kap.( tonn \times km / h ) \quad (\text{Formel 2})$$

Kostnadene for utkjøring henger direkte sammen med transportkapasitet, timepris og transportdistanse. I formelen under (formel 3) bør en merke seg at transportdistansen multipliseres med 2. Dette kommer av at kjørt distanse er det dobbelte (man kjører tur-retur) av transportavstanden.

$$Transpkost( kr / fm^3 ) = \frac{2 \times Transportdist( km )}{Transportkapasitet( fm^3 \times km / h )} \times \frac{E_0}{E_{15}} \times timepris( kr / h ) \quad (\text{Formel 3})$$

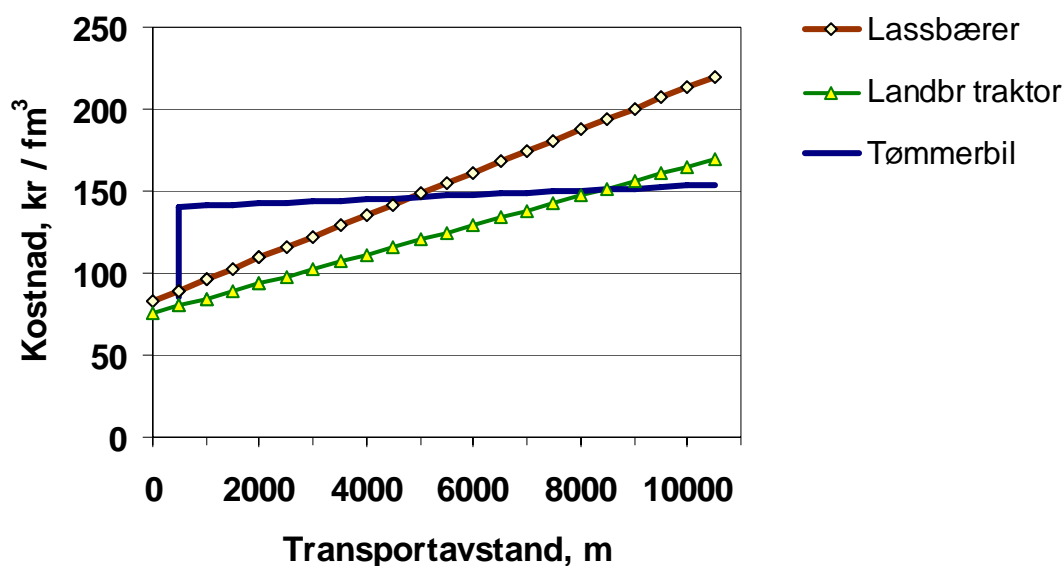
$$Lossekost( kr / fm^3 ) = T_{avless} \times \frac{E_0}{E_{15}} \times \frac{timepris}{60} \quad (\text{Formel 4})$$

### 3.4. Totale kostnader for uttransport

Den totale transportkostnaden fra vegkant til terminal eller sluttbruker er summen av kostnadene for lessing, transport og lossing.

$$\text{Total transportkostnad} = \text{Lessekostnad} + \text{Transpkost} + \text{Lossekost} \quad (\text{Formel 5})$$

Figur 4 viser kostnadene for opplesing og utkjøring med lassbærer og landbrukstraktor samt kostnadene for omlesing og videretransport med tømmerbil. Omregningsfaktoren  $E_0/E_{15}$ , som er forholdet mellom effektiv arbeidstid og fakturert arbeidstid, er satt til 0.85 for både lassbæreren og landbrukstraktoren. For tømmerbilen har vi brukt omregningsfaktor  $E_0/E_{15} = 0,5$  ved lessing og avlesing på grunn av det høye tidsforbruket til klargjøring.



Figur 4. Figuren illustrerer de totale transportkostnadene ved økende avstand til velteplass eller terminal. Tilleggs-kostnadene for omlesing og transport med tømmerbil er illustrert ved den blå linjen som starter ved 500 meter.

I figur 4 er tilleggs-kostnadene for omlesing og videretransport med tømmerbil vist ved den blå linjen ved 500 m. Den blå og den brune linjen krysser ved 5 km, hvilket betyr at omlasting fra lassbærer til tømmerbil lønner seg om avstanden fra velteplass til terminal er mer enn 4,5 km. Tilsvarende vil omlasting fra traktor til tømmerbil lønne seg om avstanden til terminal er mer enn 8 km.

## 4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

### 4.1. Evaluering av resultatene

Omfanget av studiet er noe tynt for å kunne gi pålitelige modeller for produktiviteten til de ulike maskinene. Like fullt gir det et relativt tydelig bilde av hvilke momenter man bør fokusere på i det videre arbeidet med å søke mer effektive arbeidsmetoder.

Kostnadene for opplesing på traktor eller lassbærer var i dette studiet i intervallet 50 - 120 kr /  $\text{fm}^3$ , og kostnaden for 5 km transport var i intervallet 50 – 65 kr /  $\text{fm}^3$  (figur 4).

Tidsforbruket for lessing viste seg å være sterkt avhengig av hivstørrelsen, noe som korresponderer bra med hva andre studier viser. I dette studiet varierte lessetiden mellom 4 og 8 minutter per  $\text{fm}^3$ . Dette gav en kostnadsforskjell på over 50 kr per  $\text{fm}^3$  allerede ved opplesingen. I en finsk

publikasjon var tidsforbruket i tilsvarende arbeidsmoment 2-5 minutter per  $\text{fm}^3$  ved hivstørrelse 0,2-0,1  $\text{fm}^3$  per hiv (Laitila et al. 2007), noe som er det halve av hva vi erfarte i dette studiet. Årsaken til dette kan være at mye tid har gått med til å samle sammen virke med kran i forbindelse med opplissingen (Figur 1). Om man under fellingen fokuserer mer på å konsentrere virket i større hauger vil dette sannsynligvis gi fordeler i form av at mindre tid går med til å samle sammen virket med kran, og at man får større hiv i hver kransykel. En annen faktor som kan bidra til å minke hivvolumet er at vegkantvirke kan være mere buskete enn tynningsvirke.

Lassvolumene var også mindre enn hva man kunne forvente. I det nevnte finske studiet ble en liten lassbærer av typen TimberJack 810 benyttet, og lasstørrelsen lå i intervallet 5,7-8,1  $\text{fm}^3$  per lass. Større lassvekter vil særlig være lønnsomt ved lengre transportavstander.

Terminalkostnadene for tømmerbilen var relativt høye, noe som hovedsakelig skyldtes det høye tidsforbruket til klargjøring (Figur 1). Kostnaden for opplissing på tømmerbil ble i dette tilfellet ca kr 55,- per  $\text{fm}^3$ , hvor halve kostnaden var klargjøring før og etter pålessing. Om man her finner arbeidsmetoder som senker tidsforbruket til klargjøring, vil det alene kunne senke kostnadene for lessing av tømmerbilen ned mot kr 30 per  $\text{fm}^3$ .

Landbrukstraktoren kommer godt ut i dette studiet, noe som hovedsakelig skyldes en lavere timekostnad. På lange transportavstander vil landbrukstraktoren i tillegg oppnå høyere produktivitet enn lassbæreren på grunn av høyere transportkapasitet (figur 4).

## 4.2. Forslag til videre utviklingsarbeid og studier

Kranarbeid i forbindelse med lessing var det enkeltmomentet med størst variasjon i tidsforbruk per produserte enhet, og også det momentet med størst innflytelse på de totale produksjonskostnadene ved moderate transportavstander. Derfor vil man være tjent med å finne arbeidsmetoder for felling og hauglegging som resulterer i mindre kranarbeid ved utkjøringen. Her kan man vurdere å legge mer arbeid på de som manuelt feller og legger virket langs vegen, eller vurdere bruk av klippeaggregat eller hogstaggat. Dette vil også sannsynligvis ha positive konsekvenser med tanke på forurensninger som jord og stein i materialet, om dette er en utfordring i dag. Videre bør man vurdere nytte versus ulempe med å ta vare på absolutt alt materialet. De minste trærne (< 3 cm dbh) bidrar lite til biomassevolumet, og er lett å ta med krattknuser.

Det vil i tillegg være viktig å videreutvikle transportutstyret. Komprimering av lassene både på traktorene og tømmerbilen vil øke transportkapasiteten og dermed senke transportkostnadene, særlig på lange transportavstander. Klargjøringstiden til tømmerbilen var også en kostnadsdrivende faktor, derfor vil utvikling av utstyr eller arbeidsmetode som senker klargjøringstiden til tømmerbilen også bidra i riktig retning. Videre bør man undersøke andre alternativer for å komprimere lassene ytterligere, hvor flising eller bunting allerede på vegkanten kan være aktuelle metoder. Høyt tidsforbruk til å samle og lesse virke vil imidlertid gi enda større driftskostnader ved valg av slike systemer, da de har en høyere timekostnad.

## 5. REFERANSER

OED. 2008. Strategi for økt utbygging av bioenergi. Olje- og energidepartementet. Oslo. 60 p.  
Available at: <http://www.regjeringen.no/upload/OED/Bioenergistrategien2008w.pdf>.

Laitila, J., Asikainen, A. and Nuutinen, Y. 2007. Forwarding of Whole Trees After Manual and Mechanized Felling Bunching in Pre-Commercial Thinnings. International Journal of Forest Engineering 18(2): 29-39.