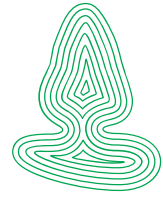


Rapport  
fra Skog og landskap

01/2012



skog+  
landskap

NORSK INSTITUTT FOR  
SKOG OG LANDSKAP

---

## BUNTING AV VEGKANTVIRKE

Produktivitet og økonomi

---

Helmer Belbo & Leif Kjøstelsen



---

## BUNTING AV VEGKANTVIRKE

### Produktivitet og økonomi

---

Helmer Belbo og Leif Kjøstelsen

**ISBN: 978-82-311-0150-5**

**ISSN: 1891-7933**

Omslagsfoto: : Bunting av vektantvirke med Timber Jack 1490D. Sunndalsøra, Juni 2010. Leif Kjøstelsen, Skog og landskap.

## FORORD

Fylkesmannen i Møre og Romsdal fikk sammen med Fylkesmannen i Sogn og Fjordane sommeren 2008 innvilget støtte fra Landbruks- og matdepartementet til bioenergi prosjektet "Biosstigen". 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 trafiksikkerheten i negativ retning. Et delmål i Biosstigen var derfor å finne effektive metoder og evaluere ulike konsepter for produksjon av biobrensel ved rydding av vegkanter.

Norsk institutt for skog og landskap har, via sine prosjekter i CenBio, engasjert seg 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.

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

Steinkjer / Ås, Januar 2012

Helmer Belbo

Leif Kjøstelsen

## SAMMENDRAG

Hovedutfordringen ved transport av heltre og hogstavfall er lav utnyttelse av lastekapasiteten til lassbærere, tømmerbiler eller andre transportmidler. Per i dag blir to metoder nyttet for å øke utnyttelsesgraden til transportutstyret ved transport av slikt virke. Et alternativ er å flishogge virke og transportere videre med fliskontainer eller egne flis-biler. Det andre alternativet er å bunte virke til sigarformede bunter med lengde 2 - 6 meter og diameter på 60-90 cm. Flis-metoden er klart mest utbredt, mens buntemetoden tross mange positive sider så langt ikke har vunnet store markedsandeler.

Hensikten med dette studiet var å se hvilke prestasjoner og kostnader en kan forvente av en buntemaskin ved bunting av vegkantvirke, samt ved transport av bunter med tømmerbil.

Tre studieobjekter ble buntet med en 2001 modell Timber Jack 1490D Fiberpac buntemaskin. På to av objektene var heltrevirke stablet i 4 m høye lunner på vegkant før buntingen tok til. Den ene lunnan besto av ferskt virke, mens den andre besto av virke som var lagret i et år. Det tredje objektet besto av en blanding av hogstavfall og heltrevirke som var hogd langs en ny vegtrase. På dette objektet var det ferskt virke, og det var delvis kjørt sammen til stikkveg siden den tunge buntemaskinen ikke kom til over alt.

Buntene hadde en tørrstofftetthet i intervallet 150 – 218 kg ts per m<sup>3</sup> buntevolum, og heltrebuntene hadde større tørrstoff- og energitetthet enn blandingsbuntene. Dette samsvarer godt med resultater fra andre land.

Produktiviteten for buntemaskinen var i intervallet 4,75 - 7,3 tonn tørrstoff per effektive arbeidstime ( $E_{0h}$ ) og 3,8 – 5,8 tonn tørrstoff per arbeidstime ( $E_{15h}$ ), hvor produktiviteten var høyest ved heltrebuntingen på veltetplass. Produktiviteten i denne studien var litt høyere enn hva andre har rapportert. Dette kan delvis forklares ved at man i korte studier vanligvis får høyere prestasjoner enn hva man får i normal drift og lengre oppfølgingsstudier

Kostnaden for bunting lå i intervallet 231 – 340 kr per tonn tørrstoff, tilsvarende 49 – 81 kr per MWh. 50 km transport kostet 205 – 210 kr per t ts, tilsvarende 41 – 46 kr per MWh.

Studiet bekrefter andre studier som viser at uforholdsmessig mye tid går til driftsforstyrrelser. Mye av dette kan løses ved enkle forbedring av buntemaskinen, hvor aktuelle løsninger allerede er tilgjengelig på andre skogsmaskiner.

### Nøkkelord:

Bioenergi, skogsbrenselproduksjon, kulturlandskapspleie, heltreavvirking, hogstavfall, bunting, transport, kostnader

### Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:

Belbo & Kjøstelsen 2009, Utkjøring av ukomprimert heltrebiomasse fra vegkantrydding. Oppdragsrapport 19/2009, Skog og Landskap.

## INNHold

Forord .....	ii
Sammendrag .....	iii
1. Innledning .....	1
1.1. Bunting av GROT og hele trær .....	1
1.2. Vegkantvirke som brenselressurs .....	1
1.3. Problemstilling .....	1
2. Materialer og metoder .....	2
2.1. Bestand og råmaterialer .....	2
2.2. Maskiner og arbeidsmetoder .....	2
2.3. Studieopplegg og analyse .....	3
3. Resultater .....	5
3.1. Buntekarakteristikk .....	5
3.2. Bunteproduksjon .....	5
3.3. Buntetransport .....	6
3.4. Kostnadskalkyler .....	7
4. Diskusjon .....	7
4.1. Buntekarakteristikk .....	7
4.2. Bunteproduksjon .....	8
4.3. Buntetransport .....	9
4.4. Kostnadskalkyler .....	10
5. Referanser .....	10

## TERMER OG FORKORTELSER

$E_{15}$  Effektiv arbeidstid inkludert heft og forsinkelser < 15 minutter

$E_0$  Effektiv arbeidstid uten noe heft og forsinkelser

kg ts Kilogram tørrstoff

$m^3_L$  Løskubikkmeter, lassvolum

$m^3_B$  Buntevolum – sylindervolumet av en bunt (lengde\* $\pi$  \* radius<sup>2</sup>)

t ts Tonn tørrstoff



# 1. INNLEDNING

## 1.1. Bunting av GROT og hele trær

Enhver som har prøvd å bære hagebuskas i sin favn har erfart at man får med mye luft og lite last. For å øke nyttelasten kan man enten hogge opp virke og pakke det i en sekk, eller man kan forsøke å snøre det sammen til mer kompakte enheter. Dermed øker den såkalte fastmasseprosenten, som er gitt ved fastvolumet av ved og bark i forhold til totalt volum av virkeshaugen. Jo større fastmasseprosent, jo mindre luft og jo større last får man med inntil egen lastekapasitet er nådd.

Fastmasseprosenten for stablet massevirke (inkludert bark) ligger gjerne på om lag 67 prosent ([VMF Nord A13, 1999](#)), mens den for ukvistet virke fra tynning og hogstavfall kan være ned mot 15-30 prosent (Nordfjell & Liss, 2000; Ranta & Rinne, 2006). Dermed får man ikke utnyttet lastekapasiteten verken på lassbærer, tømmerbil eller andre transportmidler, om ikke virke blir komprimert før transport. Per i dag finnes det to metoder for å øke fastmasseprosenten i lasten når man handler hele trær og tredeler. Man kan enten flishogge virke og transportere videre med fliskontainer eller egne flis-biler. Ved flishogging økes fastmasseprosenten til 38 - 49 prosent (Alakangas, 2005; Ranta & Rinne, 2006). Et annet alternativ er å bunte virke til sigarformede bunter med lengde 2 - 6 meter og diameter på 60-90 cm (Andersson & Nordén, 2000; Nordfjell & Liss, 2000; Johansson et al., 2006; Kärhä & Vartiamaäki, 2006; Spinelli & Magagnotti, 2009). Buntene har i seg selv en fastmasseprosent i intervallet 35-50 %. Stablet i en transportenhet vil fastmasseprosenten bli noe lavere avhengig av hvor godt man får pakket buntene og utnyttet lasterommet. Flis gir dermed litt høyere tetthet i lasset enn bunter, men bunter har også et par andre fordeler. Rå flis er ferskvare, og det er allment kjent at man er tjent med å utsette flishugging så lenge som mulig for at virke skal kunne tørke naturlig, samt for å minimere mugg-angrep, råtning og tørrstofftap (Richardson et al., 2002). Buntet virke har mindre sårflater enn flis og er dermed ikke like eksponert for mugg og råtesopper. Bunter har også vist seg å tørke relativt godt samt opprettholde lav fuktighet ved lagring, dvs ned til 20-33 % fuktighet, om de lagres riktig (Nordfjell & Liss, 2000; Jirjis, 2003). Videre kan buntene enkelt håndteres av eksisterende utstyr i transportkjeden (lassbærer, tømmerbil), og produksjonskjeden er såkalt "kald", dvs alle enheter i kjeden opererer uavhengig av hverandre (Liss, 2004). Flishogging tidlig i kjeden krever vanligvis flere maskiner på samme sted til samme tid, for eksempel om flisen transporteres i containere. Dette gjør at flis-transportssystemer ofte er mer sårbare for driftsstans enn buntsystemer. Til sist gir også buntsystemet gjerne 65 - 75 % lavere flisingskostnader (Johansson et al., 2006), siden flishuggingen blir sentralisert til industritomt / større terminaler. Tross alle positive sider ved bunter har ikke systemet slått særlig an, verken i Norge eller andre land. Hovedårsaken ligger i kostnaden for operasjonen, som ikke fullt ut oppveies av gevinstene videre i logistikk-kjeden.

## 1.2. Vegkantvirke som brenselressurs

Langs veinettet (totalt 93 000 km offentlig vei og 49 000 km skogsbilvei i Norge) er det relativt store arealer som må ryddes jevnlig for å opprettholde fremkommelighet, god oversikt (trafiksikkerhet) og vakker utsikt. Disse arealene produserer en god del biomasse i form av busker og trær, og om en finner kunder for biomassen og egnede driftsmetoder kan vedlikeholdskostnadene for veitraseen reduseres, samt at en vil øke produksjonsgrunlaget for skogsbrensel.

## 1.3. Problemstilling

Målsettingen med dette studiet var å se hvilke prestasjoner og kostnader en kan forvente av en buntmaskin ved bunting av veikantvirke, samt ved transport av bunter med tømmerbil.

# 2. MATERIALER OG METODER

## 2.1. Bestand og råmaterialer

Tre studieobjekter ble buntet. På to av objektene var heltrevirke stablet i 4 m høye lunner på vegkant før buntingen tok til. Den ene lunnan besto av ferskt virke, mens den andre besto av virke som var lagret i et år. Det tredje objektet besto av en blanding av hogstavfall og heltrevirke som var hogd

langs en ny vegtrase. På dette objektet var virke ferskt, og var delvis kjørt sammen i relativt store hauger siden den tunge buntemaskinen ikke kom til over alt.

Studieobjekt ID	Virkestype og arbeidsforhold	Lagringstid før bunting	Buntedato	Sted
H3.FR.	Heltre lagt i lunner før bunting	Ferskt, 4 uker	2010.06.16	Sunndalsøra
H3.LR.	Heltre lagt i lunner før bunting	Lagret, 1 år	2010.06.15	Sunndalsøra
Gr+H3.FDK	Grot / heltre fra ny vegtrase, delvis konsentrert langs driftsveg	Ferskt, lagret få dager	2011.07.19	Gjemnes

## 2.2. Maskiner og arbeidsmetoder

Buntemaskinen var en 2001 modell Timber Jack 1490 D (se fig 1). Løst virke mates fra den ene enden av bunte-enheten og inn i selve buntekammeret. Der komprimeres virke og tråd av nylon eller sisal surres rundt bunten. I andre enden kommer bunten ut og kappes på den lengden man ønsker. Dersom buntene slippes rett ned på bakken, kan sjåføren konsentrere seg fullt og helt om å mate inn materiale i bunteren.



Figur 1. Timber Jack 1490D buntemaskin. Gjemnes 2011. Foto: Helmer Belbo.

Vegtransport ble gjort med en seks-akslet 19,5 m tømmerbil påmontert stålplater i vegger og bunn, slik at ingen løse kvister eller stammebiter kunne falle ut på vegen (Figur 2). Maks totalvekt på slike biler er 50 tonn. Bil med kran veide 16,4 tonn, hengeren veide 6,5 tonn, og de ekstra stålplatene med rammeverk veide til sammen 3 tonn for både bil og henger. Maksimal nyttelast for denne bilen var dermed 24,1 tonn. Innvendige mål på lasteplanet på bilen var  $L=6,3\text{m}$ ;  $B=2,27\text{m}$ ;  $H=2,4\text{m}$ . Brutto lastevolum på bilen var dermed  $34,3\text{ m}^3$ . Innvendige mål på hengeren var  $L=8,3\text{m}$ ;  $B=2,27\text{m}$ ;  $H=3\text{m}$ , noe som gir et brutto lastevolum på  $56,3\text{ m}^3$ . Ved lasting av 3-meters bunter får en dermed to lengder på bilen. På hengeren får en to lengder med ca 2 m mellom fremre og bakre stabel, og dermed i tillegg plass til å kile noen bunter på høykant mellom de to buntestablene.



Figur 2. Tømmerbil for transport av GROT, heltre og bunter. Sunndalsøra 2010. Foto: Leif Kjøstelsen.

Terrengtransport ble gjort med en Ponsse Buffalo Dual lassbærer på 16,4 tonn egenvekt, inntil 14 tonn nyttelast og inntil ca 30 m<sup>3</sup> lassvolum (vanskelig å angi eksakt siden det ikke er noen høydebegrensning på lasset).

### 2.3. Studieopplegg og analyse

Buntingen ble tidsstudert for å bestemme produktiviteten. Alle produserte bunter ble nummerert og veid etter studiet. Fuktighetsprøver ble tatt for å bestemme tørrstoff og energi-innhold i buntene. Omkrets og lengde ble målt for å beregne volum og tetthet. Bunteproduksjonen ble delt inn i seks arbeidselementer (tabell 1), hvor hver produserte bunt utgjorde en observasjonsenhet.



Tabell 1. Studerte arbeidselementer for buntemaskinen

Arbeidselement	Beskrivelse	Forklarende variabel
Grip	Fra kranen starter søk til hivet løftes fra virkeshaugen	Antall hiv per bunt
Legg på matebord	Fra hivet løftes til det slippes på matebordet	
Hjelpemate	Ekstra kranarbeid med å få virke til å bli med inn i buntemaskinen	
Bunting	Operatøren venter på at buntemaskinen komprimerer virke	
Stable bunt	Stabling av bunter hvor det er aktuelt	
Maskinforflytning	Forflytning av buntemaskin	
Diverse	Kjedebytte, snørebytte, øvrig småvedlikehold	Årsak
Tapstid	Venting pga eksterne årsaker	Årsak

For biltransporten var studiet noe enklere. Arbeidselementene besto av lessing, klargjøring, transport og avlessing. Hver bunt utgjorde en observasjonsenhet også her.

Prestasjoner og kostnader er regnet per bunt og per t ts, ettersom per bunt var observasjonsenhet i studiene og tonn tørrstoff er den mest stabile enheten en kan benytte i videre kalkyler (fastvolumet kan ikke måles, vekt og effektiv brennverdi endres med endret fuktighet). Effektiv brennverdi i materialet kan beregnes ved formel 1:

$$q_{net\ ar} \left[ \frac{kWh}{kg\ ts} \right] = 5,3 - \left( 0,7 * \frac{MC}{100-MC} \right) \quad (1)$$

Hvor;  $q_{net-ar}$  er effektiv brennverdi ved aktuell fuktighet  
 5,3 er typisk brennverdi for helt tørt trebrensel  
 MC er fuktinnhold i prosent av rå-vekt

Energiinnholdet i buntene eller lasset bestemmes ved å multiplisere effektiv brennverdi med tørrstoffmengden (kg ts).

### 3. RESULTATER

#### 3.1. Buntekarakteristikk

I alt 164 bunter ble studert. Bunting av ferskt heltre ga de største og tetteste buntene, mens buntene av virke som var lagret over et år inneholdt 27 % mindre tørrstoff, 21 % mindre energi og 8 % lavere energitetthet (Tabell 2). Helt ferskt blandingsvirke av GROT og heltre ga bunter med 37 % lavere tørrstoffinnhold og 30 % lavere energitetthet enn bunter av ferskt heltre. Buntenes diameter varierte mellom 60 og 76 cm, og lengden var i intervallet 285 – 310 cm.

Tabell 2. Mål og vekt på buntene som ble produsert i forsøket.

Egenskap	Heltre fersk	Heltre lagret	Grot og heltre fersk
	H3.FR	H3.LR	Gr+H3,FDK
Antall bunter	65	62	37
Buntevekt, kg	447 (55)*	308 (46)*	340 (70)*
Fuktighet, %	41 (4)*	29 (2)*	53 (7)*
Tørrstoff, kg	262 (39)*	218 (33)*	164 (43)*
Energiinnhold, kWh**	1258 (187)*	1102 (163)*	873 (226)*
Lengde, cm	304 (11)*	309 (4)*	294 (13)*
Diameter, cm	71 (4,6)*	64 (1)*	68 (4)*
Volum, m <sup>3</sup> <sub>B</sub>	1,22 (0,17)*	1,00 (0,03)*	1,09 (0,17)*
Tørrstofftetthet, kg ts / m <sup>3</sup> <sub>B</sub>	220 (21)	214 (17)	152 (38)
Energitetthet, MWh / lm <sup>3</sup> <sub>B</sub> **	1,16 (0,11)	1,07 (0,08)	0,81 (0,20)*

\* tall i parentes indikerer standardavvik, \*\* energiinnhold gitt som effektiv brennverdi

#### 3.2. Bunteproduksjon

Gjennomsnittlig (per studieobjekt) antall lastesykler per bunt lå i intervallet 2,6 til 3,1, og var dermed relativt likt mellom de ulike sortimentene (tabell 2). Effektivt tidsforbruk per bunt var også relativt stabilt (tabell 3); 2.07 – 2.23 minutter per bunt. Dette gir en produksjon i intervallet 27 – 29 bunter per effektive (E<sub>0</sub>) arbeidstime. Om en regner tidsforbruk per produsert virkesmengde (t ts), var variasjonen betydelig større. Ved bunting av ferskt heltre var tidsforbruket 8.24 minutter per t ts, mens ved bunting av grot og heltre-blandingen var tidsforbruket 12.62 minutter per t ts. Dette gir en produktivitet i intervallet 4,75 - 7,3 t ts per effektive (E<sub>0</sub>) arbeidstime. Videre kan en legge merke til at tapstidene har variert ganske betydelig. I feltet H3.FR ble snøret byttet to ganger, noe som tok totalt 24 minutter. I tillegg var det et par episoder hvor kjedet hoppet av eller sverdet kilte seg. I feltet H3.LR var det ingen lignende hendelser, mens i feltet GR+H3.FDK var det en episode hvor snøret viklet seg feil.

Tabell 3. Antall lastesykler per bunt og tidsforbruk i de enkelte arbeidsmoment; minutter per bunt og (per tonn tørrstoff)

	<b>Heltre fersk (H3.FR)</b>	<b>Heltre lagret (H3.LR)</b>	<b>Grot og heltre (Gr+H3.FDK)</b>
Lastesykler per bunt	3,11	2,95	2,59
Gripe trær og grot	0,70 (2,67)	0,86 (3.94)	0,60 (3,66)
Legge i matebord	0,59 (2.25)	0,66 (3.02)	0,69 (4,21)
Hjelpemating	0,27 (1,03)	0,15 (0.69)	0,11 (0,67)
Bunting	-	-	0,50 (3,05)
Legge bunt i velte	0,60 (2,29)	0,55 (2.52)	0,09 (0,55)
Flytte	0 (0)	0,01 (0.05)	0,08 (0.49)
<b>Sum effektiv (E<sub>0</sub>) tid; minutter per bunt (min per t ts)</b>	<b>2,16 (8.24)</b>	<b>2,23 (10.23)</b>	<b>2.07 (12.62)</b>
Diverse	0,88 (3,37)	0,12 (0.55)	0,36 (2.20)

\* Bunting er tid hvor sjåføren må vente på at maskinen komprimerer, surrer eller kapper bunten før neste hiv kan legges i matebordet. Dette arbeidsmomentet var ikke med som tidsvariabel på de to første objektene.

### 3.3. Buntetransport

Ett billass fra hvert av de to rene heltrefeltene ble tidsstudert. I tillegg ble ett lassbærerlass med bunter fra grot og heltre-feltet tidsstudert. Billasset med ferske bunter veide 21 tonn, mens billasset med tørre bunter veide 18 tonn. Lassbærerlasset veide 6,5 tonn.

Tabell 4. Lass-størrelse og kapasitetsutnyttelse ved transport av bunter

	<b>Heltre fersk (H3.FR) Tømmerbil</b>	<b>Heltre lagret (H3.LR) Tømmerbil</b>	<b>Grot og heltre (Gr+H3.FDK) Lassbærer</b>
Maks lastevolum, m <sup>3</sup> <sub>L</sub>	90,8	90,8	30
Bunter per lass	47	58	19
Lassvekt, t	21	18	6,5
Lassvekt, t ts	12,3	12,6	3,1
Buntevolum i lasset m <sup>3</sup> <sub>B</sub>	57,3	58,0	20,7
Densitet, t / m <sup>3</sup> <sub>L</sub>	0,23	0,20	0,21
Ts-densitet, t ts / m <sup>3</sup> <sub>L</sub>	0,135	0,139	0,104
Buntevolumandel m <sup>3</sup> <sub>B</sub> /m <sup>3</sup> <sub>L</sub>	0,63	0,64	0,69

Tidsforbruk per bunt og per tonn tørrstoff er vist i tabell 5.

Tabell 5. Tidsforbruk i minutter per bunt og (per t ts) ved buntetransport.

	<b>Heltre fersk (H3.FR) Tømmerbil</b>	<b>Heltre lagret (H3.LR) Tømmerbil</b>	<b>Grot og heltre (Gr+H3.FDK) Lassbærer</b>
Lessing	0,66 (2,52)	0,56 (2,59)	0,59 (3,56)
Lossing	0,66 (2,52)	0,55 (2,52)	0,6 (3,62)
Klargjøring, stropping	0,32 (1,22)	0,21 (0,96)	0,04 (0,24)
Transport t-r 50 km, 55 km h <sup>-1</sup>	2,32 (8,86)	1,88 (8,62)	0,79 (4,81)*
<b>Sum effektiv tid</b>	<b>3,96 (15,11)</b>	<b>3,20 (14,68)</b>	<b>2,02 (12,23)</b>

\* Lassbæreren antas å kjøre 500 m hver veg, med hastighet 4 km/h.

### 3.4. Kostnadskalkyler

Kostnader per tonn tørrstoff og MWh er beregnet med følgende forutsetninger. Timeprisen for buntemaskin og tømmerbil ble satt til hhv 1 200 og 950 kr per E<sub>15h</sub>, da dette var beløpet entreprenørene fakturerte. Forholdet mellom effektiv arbeidstid (E<sub>0</sub>) og fakturert arbeidstid (E<sub>15</sub>) var i intervallet 0,75 – 0,95 for buntemaskinen (tabell 3), og ble satt til 0,8 for buntemaskinen og 0,9 for tømmerbilen. Oppstartskostnaden er satt til kr 5000 for buntemaskinen. Bestandet hvor grot skal buntet antas å være 50 dekar med 20 m<sup>3</sup> stammevirke per dekar, og med en grot-avling på 200 kg ts per kubikkmeter stammevirke. Oppmøtekostnaden fordeles dermed på 200 t ts.

Tabell 6. Kostnader per tonn ts og (MWh) for bunting og transport for de tre studerte objektene.

	<b>Heltre fersk (H3.FR)</b>	<b>Heltre lagret (H3.LR)</b>	<b>Grot og heltre (Gr+H3.FDK)</b>
<b>Kr per:</b>	<b>Tonn ts (MWh)</b>	<b>Tonn ts (MWh)</b>	<b>Tonn ts (MWh)</b>
Oppmøte	25 (5.2)	25 (5)	25 (5.2)
Bunting	206 (42,9)	255 (51,0)	315 (65,6)
Transport t-r 50 km, 55 km h <sup>-1</sup>	265 (55,2)	258 (51,6)	265 (55,2)*
<b>Totalt</b>	<b>496 (103,3)</b>	<b>538 (107,6)</b>	<b>605 (126,0)</b>

\* Tømmerbiltransport med disse buntene ble ikke studert, dyreste observasjon fra transport av heltrebunter ble benyttet i kalkylen ettersom grot+heltre-buntene holdt middels vekt og lav tørrstoffandel.

## 4. DISKUSJON

### 4.1. Buntekarakteristikk

Buntene hadde en tørrstoff- og energitetthet i intervallet 150 – 218 kg ts m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup> og 0,82 – 1,16 MWh m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup>, hvor heltrebuntene hadde større energi og tørrstofftetthet enn blandingsbuntene. I en studie av bunteproduksjon av gran-grot fra sluttavvirking i Finland (Kärhä & Vartiamaäki, 2006) lå tilsvarende tørrstoff og energitetthet på 185 kg ts m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup> og 0,82 MWh m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup>. Johansson et al (2006) fant at bunter av fersk grot (50 % fukt) og tørr grot (25 % fukt) hadde noen lunde samme tørrstofftetthet på henholdsvis 237,1 og 237,3 kg ts m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup>. Spinelli & Magagnotti (2009) studerte bunting av hogstavfall og ukvistet massevirke med Timber Jack 1490D buntermaskin montert på lastebilchassis. Buntingen foregikk på standplasser etter taubanedrift i Italia, og de fant at bunter fra «normalt hogstavfall» hadde vesentlig lavere tetthet (160-185 kg ts m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup>) enn bunter produsert av ukvistede massevirkestammer (211-242 kg ts m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup>). Resultatene fra Spinelli & Magagnotti (2009) og



Kärhä & Vartiamäki (2009) samsvarer dermed med resultatene fra denne studien hva gjelder tetthet og energiinnhold med de forskjellige sortimentene, mens Johansson et al (2006) indikerer betydelig høyere tetthet.

## 4.2. Bunteproduksjon

Produktiviteten for buntemaskinen var i intervallet 4,75 - 7,3 t ts per effektive arbeidstime ( $E_0h$ ) og 3,8 - 5,8 t ts per  $E_{15}h$ , hvor produktiviteten var høyest ved heltrebuntingen på velteplass. Fra studiematerialet kan en ikke slå fast om dette skyldes virkestypen (heltre versus grot) eller arbeidsplassen (bestand versus velteplass). En bør imidlertid legge merke til arbeidsmomentet «bunting» som ble tatt med i studien av grot og heltre-bunting (Tabell 3, Gr+H3.FDK). Dette er tid hvor sjåføren passiv venter på at ukomprimert virke, som da henger klart i kranen, kan legges på matebordet i buntepressa. Det kan se ut som at dette arbeidsmomentet har tatt over noe av tiden som tidligere ble lagt til «Legge bunt i velte» og «Hjelpemating». Om det er slik at sjåføren, på grunn av bunte tempoet i maskinen, har god tid til å legge bunter i velte, betyr det at bunteproduksjonen like gjerne kan gjøres på velteplass som i terrenget. Om situasjonen er motsatt, dvs at om stabling av bunter øker det totale tidsforbruket per bunt med 20-30 %, betyr det at bunteproduksjonen med fordel bør foregå i terrenget hvor buntene ikke behøver å stables. I dette tilfellet gir buntingen i terrenget den fordel at både bunting og uttransport blir mer effektiv. Kärhä & Vartimäki (2006) fant at «bunting» utgjorde 18 % av den effektive produksjonstiden, hvilket indikerer at sjåføren har noe tid disponibel for stabling av bunter. Sjåføren av buntemaskinen uttalte at hans erfaring var at produktiviteten ved bunting i bestand er vesentlig høyere (30-40 bunter i timen) enn hva han oppnådde her (22-24 bunter i timen). Årsaken var angivelig at han brukte mindre tid på håndtering av buntene. Utsagnet strider mot resultatene i dette studiet, som indikerer at bunting på velteplass gav høyere produktivitet. Dette har en viss betydning for hvor vidt bunteproduksjonen bør legges til velteplass langs bilveg eller til terrenget. På grunn av det begrensede materialet som ligger til grunn for denne observasjonen kan en ikke konkludere med annet enn at dette bør undersøkes nærmere.

I studiet til Spinelli & Magagnotti (2009) var virke også ganske konsentrert, i og med at buntingen foregikk på standplasser etter taubanedrift. Produktiviteten var i intervallet 3,2 - 4,4 t ts  $E_{15}h^{-1}$  og 4,6 - 5,87 t ts  $E_0h^{-1}$ . Også i det studiet kan det se ut til at bunting av ukvistet slip-virke (dvs noe som minner mer om våre hele trær enn grot) gav en noe høyere produktivitet enn bunting av ren grot. Effekten var imidlertid liten og ikke kommentert av forfatterne, og variasjonen i produktivitet var større mellom sjåfører enn mellom buntede sortiment. Uproduktiv tid utgjorde 25-30 % av det totale tidsforbruket, og besto hovedsakelig av vedlikehold av kjede, snørebytte og reparasjoner av slangebrudd. I det finske studiet (Kärhä & Vartiamäki, 2006) lå produktiviteten i intervallet 3,4 - 4,7 t ts  $E_{15}h^{-1}$ , og variasjonen var først og fremst avhengig av tettheten på materialet langs stikkvegene ( $m^3$  grot per meter stikkveg). Andelen uproduktiv tid var ikke angitt, men årsakene var stort sett de samme som ble angitt av Spinelli og Magagnotti (2009); vedlikehold (bl.a. kjedestramming, kjedebytte, snørebytte) og forstyrrelser (bl.a. snørebrudd, kjedebrudd, blokkering av kompresjonskammer, telefonering).

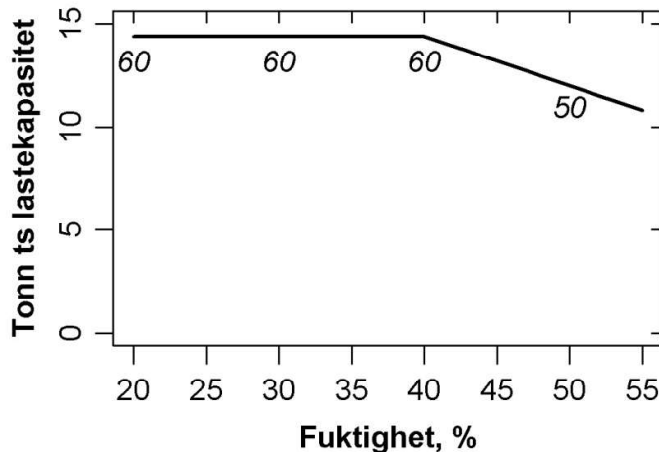
Produktiviteten i denne studien var dermed litt høyere enn hva andre har rapportert. Det er vanlig at man i korte studier får høyere prestasjoner enn hva man får i normal drift og lengre oppfølgingsstudier. Dette skyldes delvis at studieobjektet (sjåføren med sin maskin) skjerper seg ekstra under studiet (den såkalte «Hawthorne effekten»), og delvis at en ikke får et riktig bilde av andelen tid som går til heft og plunder.

## 4.3. Buntetransport

Tidsforbruket ved lessing av bunter på tømmerbil var 2,52 - 2,59 minutter t  $ts^{-1}$ , noe som er omtrent identisk med andre rapporterte erfaringstall (Ranta & Rinne, 2006). I en tidligere studie av lessing av heltrevirke på tømmerbil var tidsforbruket 3-4 minutter t  $ts^{-1}$  (Belbo & Kjøstelsen, 2009). Ranta & Rinne (2006) fant at tidsforbruket ved lessing og lossing av løsgrot på bil var 5-6 minutter t  $ts^{-1}$ . Dette

indikerer at ved lessing av bunter reduseres lessetiden med ca 1 minutt per t ts for heltrevirke og 2,5 - 3,5 minutter per t ts for grot. Dette tilsvarer ca 15 - 50 kr t ts<sup>-1</sup> og ca 3 – 10 kr MWh<sup>-1</sup>.

I dette studiet nådde en ikke maks nyttelast ved transport av bunter. Tømmerbilsjåføren hevder at han i ettertid har blitt dyktigere til å utnytte lastekapasiteten på bil og henger, og at han i dag vanligvis får to stabler à 15 bunter samt 6-7 bunter mellom stablene på hengeren, og to stabler a 11-12 bunter på bilen alt ettersom det er høydebegrensninger på transportetappen. Dette gir en lastekapasitet på 58 – 61 bunter. Om vi antar 60 bunter på 1,2 m<sup>3</sup><sub>B</sub>, med en tørrstofftetthet på 200 kg m<sup>3</sup><sub>B</sub><sup>-1</sup> betyr dette at han har en tørrstofftetthet på bil og henger på ca 159 kg ts m<sup>3</sup><sub>L</sub>. Ved 40 % fukt vil disse buntene veie 24 tonn, og fra denne fuktigheten og oppover reduseres dermed antall bunter bilen kan ta (Figur 3).



Figur 3. Lastekapasitet i tonn tørrstoff som funksjon av materialets fuktighet. Max lastekapasitet er 60 bunter a 240 kg ts og 24 tonn nyttelast. Tallene i kursiv indikerer antall bunter på bilen.

12-14 t ts buntet materiale vil derfor være et realistisk anslag på maksimal lastekapasitet av buntet materiale for den type bunter og bil som ble benyttet i dette studiet. I det tidligere studiet hvor ubuntet virke ble transportert på en 22m tømmerbil (Belbo & Kjøstelsen, 2009), var lass-størrelsen 8,3 t ts og tørrstofftettheten 80 kg ts per m<sup>3</sup><sub>L</sub>. Dette indikerer at tørrstofftettheten øker med 90 - 100 % ved transport av bunter i forhold til transport av ukomprimert heltrevirke.

Største tillatte lengde på tømmervogntog i Norge er 22 m, mot 19,5 m for andre vogntog for normal godstransport. Transport av annet gods enn rundtømmer er imidlertid forbudt for tømmervogntog med lengde over 19,5 m såfremt det ikke er snakk om returtransport (Forskrift om vekt og dimensjoner, off. veg, 2011). 2,5 m ekstra vogntoglengde gir et ekstra lastevolum på 15-16 m<sup>3</sup>, og dermed kan 22 m tømmervogntog i teorien laste 2-3 t ts mer (en økning på ca 18 %) enn bilen som ble brukt i denne studien.

#### 4.4. Fremtidige forsknings og utviklingsoppgaver

Tidligere studier og dette studiet indikerer at bunting er relativt dyrt. En investerer 230-340 kr per t ts (50-70 kr / MWh) brensel uten verken å flytte det nærmere eller gjøre det klart for kunden (varmeverket – som vanligvis skal ha flis). Imidlertid kan buntsystemet i større grad åpne for bruk av eksisterende tømmerlogistikk-kjede for transport av skogsbrensel fra vegkant i skogen til terminal eller sluttbruker. Per i dag brukes tømmerbiler for frakt av rundvirke, mens andre typer laste- eller container biler benyttes for frakt av flis eller ukomprimert skogsbrensel. Ved relativt enkle modifikasjoner med plater (figur 2) eller nett (Sundström, 2010), kan dagens tømmerbiler gjøres tette og benyttes til transport av bunter, løsgrot, eller til og med flis. Man slipper dermed spesialbiler for

flistransport og får sentralisert flihhuggingen til terminaler og industriområder, mot at en investerer i bunting i felt eller på vegkant. Helhetlige analyser på hvordan dette slår ut under norske forhold, med små objekter og store variasjoner i transportavstand, er åpenbart en interessant oppgave.

Den høye andelen uproduktiv tid både i dette og andre studier av bunting burde være lite tilfredsstillende både for entreprenører og maskinprodusenter, og indikerer et visst potensiale for forbedring av teknologien. Hydraulikkslangebrudd kan begrenses ved skjult slangeføring, grot og heltre-hiv som mates inn i buntemaskinen kan «strømlinjeformes» med asymmetrisk tømmerklo (Eliasson, 2010), og automatisk kjedestramming har etter hvert blitt vanlig på hogstaggater. Et studie av bunting ved bruk av nyere maskiner – hvor disse elementene er forbedret, ville derfor være interessant.

Resultatene indikerer at bunting av relativt ferskt heltrevirke gir høyere biomassetetthet og lavere buntekostnader enn bunting av tørt heltrevirke. Bunting av fersk grot + heltre gav enda lavere biomassetetthet og høyere kostnader. Ytterligere studier med større oppløsning i loggførte arbeidsmomenter og virkesparametere vil være nødvendig om en ønsker å fastslå disse sammenhengene samt finne årsakene til dette.

## 5. REFERANSER

- Alakangas, E. (2005). *Properties of wood fuels used in Finland - BIOOSOUTH -project* (Project Report PRO2/P2030/05). Jyväskylä, Finland: VTT Process.
- Andersson, G. & Nordén, B. (2000). *Fiberpack 370 - Systemstudie komprimering av avverkningsrester* (Arbetsrapport). Uppsala, Sweden: Skogforsk.
- Belbo, H. & Kjøstelsen, L. (2009). *Utkjøring av ukomprimert heltrebiomasse fra vegkantrydding*. (Arbetsrapport 19): Norsk institutt for skog og landskap.
- Eliasson, L. (2010). *A-gripen - hög prestation vid skotning av grot, men även bra för rundvirke* (Resultat 13). Uppsala, Sweden: Skogforsk.
- Forskrift om vekter og dimensjoner, off. veg, (2011). Norsk Lovtidend. <http://www.lovdatab.no/ltavd1/filer/sf-20110105-0025.html>
- Jirjis, R. (2003). *Lagring av avverkningsrester i balar* [Storage of forest residues in bales] (Report No. 3). Uppsala, Sweden: Department of bioenergy, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Johansson, J., Liss, J.-E., Gullberg, T., & Björheden, R. (2006). Transport and handling of forest energy bundles - advantages and problems. *Biomass and Bioenergy*, 30(4), 334-341.
- Kärhä, K. & Vartiamaäki, T. (2006). Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions. *Biomass and Bioenergy*, 30, 1043-1052.
- Liss, J. E. (2004). *GROT-buntar - Inventering av problemområden och åtgärdsförslag: Slutredovisning av forskningsprojekt P20067-1* (Arbetsdokument / Institutionen för matematik, naturvetenskap och teknik 1). Garpenberg: Högskolan i Dalarna, Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik.
- Nordfjell, T. & Liss, J. E. (2000). Compressing and Drying of Bunched Trees from a Commercial Thinning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15(2), 284-290.
- Ranta, T. & Rinne, S. (2006). The profitability of transporting uncomminted raw materials in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 30(3), 231-237.
- Richardson, J., Björheden, R., Hakkila, P., Lowe, A. T., & Smith, C. T. (2002). *Bioenergy from Sustainable Forestry*. (Vol. 71). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Spinelli, R. & Magagnotti, N. (2009). Logging residue bundling at the roadside in mountain operations. [Article]. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24(2), 173-181.
- Sundström, N. (2010). Nät ger effektivare transport av grot. *Forum Sveaskog*, 5, 15.