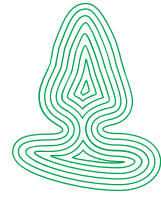


Rapport
fra Skog og landskap

21/2012



skog+
landskap

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

SYSTEMANALYSE AV TI FORSYNINGS- KJEDER FOR SKOGFLIS BASERT PÅ HELTRE VIRKE

Helmer Belbo, Bruce Talbot, Leif Kjøstelsen



SYSTEMANALYSE AV TI
FORSYNINGSKJEDER FOR SKOGSFLIS
BASERT PÅ HELTREVIRKE

Helmer Belbo, Bruce Talbot, Leif Kjøstelsen

ISBN: 978-82-311-0177-2

ISSN: 1891-7933

Omslagsfoto: Fra stubbe til fyrkjel. Foto: Helmer Belbo, 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 innvilget støtte fra Landbruks- og matdepartementet til oppretting av bioenergiprojektet "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.

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, maskiner og driftssystemer.

Vi takker Fylkesmannen i Møre og Romsdal, v/ Kåre Kristen Totlund, Skogkompaniet AS v/ Kristen Brusset, Årø bioenergi AS v/ Lars Ole Gunnerød, og Allskog SA ved Pål Bæverfjord for godt samarbeid i prosjektet.

Steinkjer / Ås, Oktober 2012
Helmer Belbo, Bruce Talbot, Leif Kjøstelsen

SAMMENDRAG

I dette studiet sammenlignes 10 ulike forsyningskjeder for flisproduksjon basert på heltrevirke fra ungskog og kulturlandskap. Alle kjedene starter med felling av virke i bestand og slutter hos sluttforbruker (dvs flislager hos varmeanlegget). Virke leveres varmeanlegget i form av tørr flis, noe som innebærer at virke lagres over minst en tørkesesong (april – august) før det flishogges og leveres sluttkunde. To av kjedene kjennetegnes ved at virke transporteres som heltre fra lunne på vegkant til terminal med tømmervogntog. Fire av kjedene minner om heltre-transport kjedene, med den forskjellen at virke bntes og transporteres som bunter til terminal. I de fire siste kjedene flishogges virke på vegkantlunne eller terrenglunne, med påfølgende flis-transport til terminal eller varmeverk.

Analysen indikerer at det er omtrent 20 % forskjell i produksjonskostnad mellom den rimeligste og den dyreste produksjonskjeden, og at de ulike kjedene har sine nisjer avhengig av størrelsen på hogstobjektet og transportavstand. Bunting har per i dag for høye kostnader til å være et lønnsomt alternativ til løsvirketransport og flishogging / flistransport fra lunneplass. Dette skyldes de høye kostnadene ved selve buntingen, og det har også sammenheng med hvordan de andre kjedene er konfigurert i denne studien. En del flisleverandører praktiserer langvarig lagring / tørking av virke på terminal før flishogging. For en slik produksjonskjede vil det være av større verdi å ha et plass-effektivt og lagringsstabil sortiment enn for kjeder hvor virkeslageret hovedsakelig ligger på lunneplass.

Flistransport fra lunneplass direkte til sluttbruker er et kostnadseffektivt alternativ, spesielt ved store objekter og store avstander. Her er det imidlertid forutsatt at en alltid har tilstrekkelig mange flisvogntog tilgjengelig slik at flishoggeren slipper unødvendig mye venting. Flishogger og flistransportør har samme produktivitet ved gitte forutsetninger (her 5-10 km transportavstand), mens ved andre forutsetninger vil de ha ulik produktivitet. Dermed må en trappe opp og ned antall vogntog for videretransport alt etter forholdene. I mange tilfeller er det vanskelig eller umulig å få lagt virke i lunne på vegkant. Det er for trangt, for lunt eller rått, eller det er for trøblete eiendomsforhold, med den konsekvensen at virke må lagres i lunne et stykke unna vegkantene. Derfor har terrenggående flishogger blitt en utberedt løsning flere steder i Norge. Dette gir en noe dyrere flishogging, noe som gjør at bunte- og heltrekjedene blir mer aktuelle.

Heltretransport med tømmerbil kommer godt ut ved små objekter og korte transporter, og midt i sjiktet i andre sammenhenger. Denne produksjonskjeden drar fordel av sentralisert flishogging, særlig når hogstobjektene er små. To andre positive sider ved denne kjeden og bunte-kjedene, som bare delvis er bakt inn i modellen, er at en i større grad utnytter eksisterende logistikkflåte for transport av tømmer, og at den på samme måte som bntesystemet er en kald forsyningskjede hvor i alle aktører opererer uavhengig av hverandre. Det første innebærer lavere investeringsbehov og at det i alle distrikter finnes egnede kjøretøy tilgjengelig for transportoppdragene. Det andre (kald kjede) innebærer en enklere planlegging av logistikken og mindre venting hos den enkelte aktør.

Flisterminal er ikke en lønnsom løsning i seg selv, men oppleves av mange som en nødvendighet for å sikre flis av riktig kvalitet. Terminalene gir også mulighet for ekstra verdiskapning av flisa. Dette kan innebære solding, tørking og annen sortering for å møte kvalitetskravene ulike kunder og bruksområder.

Nøkkelord:

Skogsbrenselproduksjon, forsyningskjeder, bunting, flishogging, transport, logistikk, kostnader

Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:

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

Belbo & Kjølseten 2012, Bunting av vegkantvirke. Rapport 1/2012, Norsk institutt for skog og landskap.

INNHold

Forord	ii
Sammendrag	iii
Termer og forkortelser	v
1. Innledning	1
2. Forutsetninger, kostnadsmodeller og fremgangsmåte	1
2.1. Produksjonskjedene	1
2.2. Hogstobjekter	3
2.3. Tidsforbruk og kostnader i de ulike deloperasjonene	4
2.3.1 Generelle forutsetninger	4
2.3.2 Avvirkning	5
2.3.3 Bunting	5
2.3.4 Flishogging	6
2.3.5 Terreng -og vegtransport	7
2.3.6 Lager og terminalkostnader	9
3. Resultater	11
4. Diskusjon og konklusjon	14
Referanser	16

TERMER OG FORKORTELSER

TMh	Total maskintid, dvs skiftlengde og antall skift per år. Inkluderer produktiv arbeidstid samt tid til forberedelser, forflytning til nytt arbeidsobjekt om dette foregår innen skiftet, oppstart og avslutning av arbeidsobjekt, og rutinemessig vedlikehold utført hvert skift eller hver dag. TMH driver lønnskostnadene og årlig aktivitetsnivå.
PMh ₀	Produktiv maskintid i timer, den del av arbeidstiden (TMh) hvor maskinen er direkte involvert i å utføre arbeidsoppgavene. For eksempel, for en lassbærer vil dette være lessing, maskinforflytning under opplessing, uttransport, avlessing og returtransport.
PMh ₁₅	Produktiv maskintid inkludert driftsavbrudd på under 15 minutter. Forsinkelsene kan skyldes drivstoff-fylling, ettersyn, og korte pauser og så videre.
PMmin ₀	Produktiv maskintid i minutter (PMh ₀ / 60)
PMmin ₁₅	Produktiv maskintid i minutter inkludert driftsavbrudd på under 15 minutter, dvs. PMh ₁₅ / 60
MU%	Maskin-utnyttelsesgrad i prosent, dvs. $100 \cdot PMh_{15} / TMh$
kg ts	Kilogram tørrstoff
t ts	Tonn tørrstoff
BD	Basisdensitet ($t \text{ ts} / m^3_f$)
F%	Fuktighetsinnhold, i prosent av totalvekt
fm ³	Fastkubikkmeter
lm ³	Løskubikkmeter
lm ³ _{flis}	Løskubikkmeter flis (på folkemunne kalt fliskubikkmeter)
m ³ _B	Buntevolum – sylindervolumet av en bunt ($l \cdot \pi \cdot r^2$)
FM%	Fastmasseprosent, dvs $100 \cdot fm^3 / lm^3$
MWh ₃₅	Effektiv brennverdi, MWh ved 35 % fuktighet

Tabell 1. Omregningsfaktorer brukt i rapporten (hvor ikke annet er spesifisert).

	fm ³	lm ³ _{flis}	t ts	MWh ₃₅
1 fm ³ =	1	2,5	0,4	1,97
1 lm ³ _{flis} =	0,4	1	0,16	0,79
1 t ts =	2,5	6,25	1	4,92
1 MWh ₃₅ =	0,5	1,27	0,2	1

1. INNLEDNING

Økt utnyttelse av bioenergi har av flere grunner blitt et hett tema de senere år, også i Norge. Den sittende regjering har satt seg fore å øke bruken av bioenergi med inntil 14 TWh innen 2020 (MD, 2007). I Stortingsmelding nr 39, «Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen», er målsettingen satt til samme nivå (LMD, 2009). Biprodukter fra skogsindustrien, dvs bakhun, rotreduserflis, sagflis, høvelspon og bark, er i de fleste tilfeller den enklest tilgjengelige og billigste trebrenselressursen. Mesteparten av disse fraksjonene er imidlertid allerede i bruk både til biobrensel og andre formål. Økt bruk av bioenergi betinger derfor at en henter mer lav-kvalitets virke fra skog og kulturlandskap, eller at en overtar virkesstrømmer fra annen industri (papir, sponplate, smelteverk). For det første alternativet, som for mange også er det mest ønskelige, kan forsyningskjeden være ganske forskjellig fra rundvirkeskjedene vi kjenner fra ordinært skogbruk. Det finnes et utall tenkelige forsyningskjeder for skogsbrensel, hvor den eneste fellesnevneren er at de starter på eller ved en stubbe og at de slutter ved en fyrkjel. Logistikk-kostnadene er høye i forhold til verdien på brenselet, noe som gjør at forsyningskjeden bør designes med omhu. Det er også mange ulike sortimenter å velge mellom, alt fra ren stammeved, ukvistet eller delvis kvistet stammeved, til heltre, stubber, og såkalt GROT (grener og topper). GROT og stubber benyttes i liten grad som brensel i Norge. Brensel av GROT gir høy andel finfraksjoner i flisa, mer nitrogen, kalium, kalsium og fosfor i brenselet, og vanligvis stor variasjon i fuktinnhold. Brensel av stubber gir først og fremst en større andel aske, på grunn av jord, grus og stein som blir med stubbene gjennom forsyningskjeden. De fleste anlegg som bygges i Norge i dag er relativt kresne på brenselet, og krever homogen flis av stammeved eller heltrevirke som er tørket ned til under 35 % fuktighet for å fungere godt.

I prosjektet Biostigen har en studert ulike momenter i verdikjeden fra stubbe til biovarmeanlegg på Nord-Vest landet. For å få et mer helhetlig bilde av ulike relevante forsyningskjeder, samt gi grunnlag for beslutninger om hvordan disse bør konfigureres, er det hensiktsmessig med en systemanalyse.

I dette studiet sammenlignes 10 ulike forsyningskjeder (figur 1) for flisproduksjon basert på heltrevirke fra ungskog og kulturlandskap. Alle kjedene starter med felling av virke i bestand og slutter hos sluttforbruker (dvs flislager hos varmeanlegget). Virke leveres varmeanlegget i form av flis, med fuktighet under 35 %. Dette innebærer at brenselet må lagres som ufliset materiale over minst én tørkesesong (april – august) før det kan benyttes. Målsettingen for studiet er å finne ut hvilke forsyningskjeder som er mest kostnadseffektive ved ulike forutsetninger. De viktigste forutsetningene i denne sammenheng er tillatte vogntogvekter og dimensjoner, transportavstander, og størrelsen (virkesmengden) på den enkelte drift.

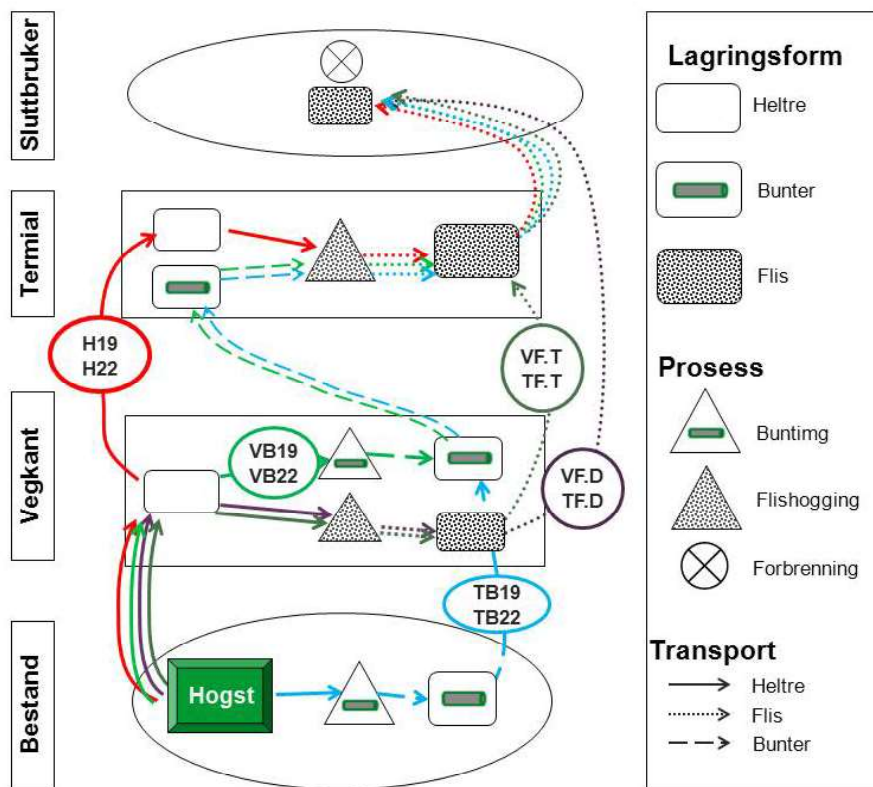
2. FORUTSETNINGER, KOSTNADSMODELLER OG FREMGANGSMÅTE

2.1. Produksjonskjedene

Ti ulike forsyningskjeder er definert som vist i figur 1. Prestasjoner og kostnadsestimater for de enkelte maskiner og arbeidsmomenter er dels hentet fra tidligere studier ved Norsk institutt for skog og landskap, dels fra studier i andre nordiske land og dels fra transportkostnadsmodellene som nyttes hos transport-økonomisk institutt. De ti forsyningskjedene (Figur 1) kjennetegnes ved følgende karakteristikker.

- Alle kjedene starter med maskinell hogst av virke.
- Terrenghogst eller bunter foregår med lassbærer

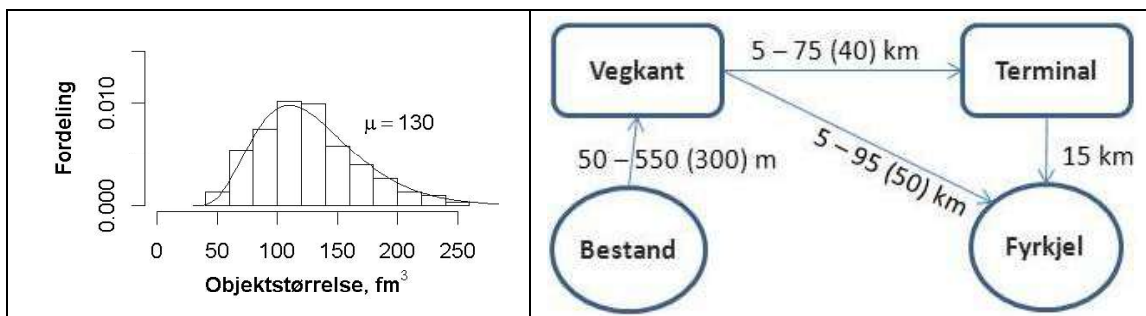
- H19: Heltretransport til fra vegkantlunne til terminal med 19,5 m tømmervogntog. Kjeden kjennetegnes ved lavt investeringsbehov og rimelig flishogging, men høye transportkostnader på lange avstander.
- H22: Samme som H19, men med 22 m tømmervogntog.
- TB19: Terreng-Bunting. Virke bntes i terrenget med den hensikt å senke transportkostnadene for lassbærer og tømmerbil. Buntene transporteres til lunneplass ved skogsveg for tørking, og videre til terminal for bufferlagring og flishogging. Transporten utføres med 19,5 m tømmerbil
- TB22: Samme som TB19, men med 22 m tømmerbil.
- VB19: Vegkant-Bunting. Virke bntes på lunneplass før transport til terminal. Denne kjeden vil ha lavere buntekostnader enn TB-kjedene, på grunn av at buntemaskinen står på et rimeligere chassis med høyere mobilitet. Kjeden vil ha høyere kostnader for terrengtransport enn kjedene med bunting i terrenget. Vegtransport til terminal med 19,5 m tømmerbil
- VB22: Samme som VB19, men med 22 m tømmerbil.
- VF.T: Vegkant-Flishogging, til Terminal. Virke flises i containere på lunneplass ved vegkant, transporteres med krokløftbil til terminal for bufferlagring, og til sluttkunde med flisbil.
- TF.T: Terreng-Flishogging, til Terminal. Samme som VF.T, men virke ligger lunnet i terrenget. Flishogging med lassbærer montert flishugger og transporteres med denne til containere på vegkant. Mye brukt løsning i områder hvor det er vanskelig å finne egnet lunneplass langs bilveg. Videre transport med krokløftbil til terminal for bufferlagring og med flisbil til sluttkunde.
- VF.D: Vegkant-Flishogging, Direkte leveranse til sluttkunde. Virke flises i containere på lunneplass og transporteres med krokløftbil direkte til sluttkunde. Denne kjeden vil ha lavere lagerkostnader og totalt sett kortere transport enn de øvrige kjedene, men stiller høye krav til kvalitetskontroll på lunneplass, har ikke bufferlager og er mer væravhengig enn de øvrige. Den kanskje mest vanlige løsningen for produksjon av skogsflis av hogstavfall i større skala.
- TF.D: Terreng-Flishogging, Direkte leveranse til sluttkunde. Samme som VF.D, men virke ligger lunnet i terrenget og hogges med terrenghogger (som TF.T).



Figur 1. Ti ulike forsyningskjeder for flisproduksjon. De ulike kjedene er indikert med en kode med sirkel omkring. H står for heltretransport, TB står for terreng-bunting og VB står for vegkantbunting. Tallkoden for disse kjedene indikerer størrelsen på tømmerbilen som transporterer virke til terminal. VF står for vegkant-flishogging, mens TF står for terreng-flishogging (dvs. flishogging av lunne som ligger i terrenget). Kodene .T og .D står for henholdsvis «Terminal» (transport via terminal) og «Direkte» (transport direkte til sluttbruker).

2.2. Hogstobjekter

Virke hogges med hogstmaskin og flertre-hogstaggregat, og 100 % av uttaket går til energivirke. Driftene er i snitt 130 fm^3 , ingen drifter er mindre enn 30 fm^3 , og 95 % av driftene er i intervallet $60 - 235 \text{ fm}^3$. Trærne har et gjennomsnittlig stammevolum på 40 liter (50 liter inkludert topp og kvist). Det antas en treslagsblanding av lette (gran, furu, or, osp) og tyngre (bjørk, rogn, bar-krone) treslag, med en gjennomsnittlig basisdensitet på $400 \text{ kg ts per fm}^3$.



Figur 2. Til venstre størrelsesfordeling på hogstobjektene. Gjennomsnittlig objektstørrelse er 130 fm^3 . Til høyre avstandene fra hogstobjekt til lunneplass vegkant, terminal og fyrkjel.

Vi antar at terminalen er gunstig plassert i forhold til skogressursene og fyrkjelen, som illustrert i figur 2. Transportavstanden mellom hogstobjekt og lunneplass er 300 ± 250 m, mellom lunneplass og terminal 40 ± 35 km, mellom terminal og fyrkjel 15 km og mellom lunneplass og fyrkjel 50 ± 45 km (figur 2)

2.3. Tidsforbruk og kostnader i de ulike deloperasjonene

2.3.1. GENERELLE FORUTSETNINGER

I det følgende vil øvrige forutsetninger, modeller for tidsforbruk og kostnader for de ulike operasjonene utover i forsyningskjeden beskrives.

Maskin- og driftskostnader er kalkulert etter standard metoder beskrevet i Sundberg og Silversides (1988). Faste kostnader består av verditap, rentekostnader, maskinforsikring og eventuelle lisenser. Det er forutsatt en et lineært verdifall på maskinene og en realrente på 5 %. Økonomisk levetid er satt til ti år (ca 14000 PMh₁₅) for hogstmaskin og lassbærer med en restverdi på 20 % av anskaffelsesverdi for hogstmaskin og 25 % for lassbærer (Spinelli & Magagnotti, 2011). Flishoggerne antas å ha en lavere utnyttelsesgrad (færre timer per år, se tabell 2) og dermed er levetiden satt til 12 år, og med en restverdi på 20 % av anskaffelsesverdien. Forsikringspremien er satt til 1 % av anskaffelsesverdien for alle maskiner.

Variable kostnader består av diesel og smøremidler, vedlikehold og reparasjoner, samt personal-kostnader. Dieselforbruket er satt til 0,097 liter / kW / PMH₁₅, og utgiftene til olje og smøremidler er satt til 12,6 og 8 % av drivstoffutgiftene for hhv hogstmaskin og lassbærer (Holzleitner, Stampfer, & Visser, 2011). Drivstofforbruket ved flishogging varierer med hoggertype, knivslitasje, ønsket flisstørrelse og til en viss grad med vedegenskapene, og er her satt til 3,2 liter per t ts (Spinelli, Magagnotti, Paletto, & Preti, 2011). Prisen for avgiftsfri diesel er satt til kr 9 per liter. Utgifter til olje og smøremidler er satt til 6 % av drivstoffkostnadene for flishoggerne. Vedlikeholdskostnadene gjennom maskinens levetid tilsvarer 80 % av anskaffelseskostnaden. I tillegg kommer utgifter til kortlivede komponenter som sagkjeder og flishoggerkniver.

Personalkostnadene er basert på tariffavtalen for faglærte maskinførere (*Overenskomst og Hovedavtale 2010 - 2012 for Maskinentreprenørene*, 2010), samt lovpålagt pensjon, arbeidsgiveravgift, feriepengar og forsikring (ca 30 % av grunnlønn). I tillegg kommer utgifter til transport, telefon, kursing og verneutstyr. Satsen for refusjon av persontransport er kr 3,50 / km. På toppen av dette beregnes 10% overhead for personaladministrasjon. Grunnlønnen er satt til 173 kr per TMh, og totale personalkostnader er estimert til kr 270 per TMh.

Flyttekostnadene holdes utenom maskinkostnadskalkylen, og belastes det enkelte hogstobjekt direkte. Til slutt beregnes en driftsmargin på faste og variable kostnader (inkludert personalkostnader) på 10%.

Tabell 1. Estimerte maskinkostnader for de ulike skogsmaskiner, buntemaskiner og flishoggere

	Estimat kostnader, kr per PMH ₁₅							
	Anskaffelse, kr	Timer, TMh per år	MU, %	Faste	Variable	Personal	Margin	Totalt
Hogstmaskin	3 000 000	1 840	75	269	374	361	100	1 100
Lassbærer	2 200 000	1 840	80	181	262	338	78	860
Terrengbunter	3 700 000	1 840	70	332	448	387	117	1 280
Vegkantbunter	3 000 000	1 840	75	270	287	361	92	1 010
Flishogger terreng	5 000 000	1 040	76	708	863	362	193	2 130
Flishogger vegkant	3 500 000	1 040	74	516	768	366	165	1 820
Flishogger terminal	3 200 000	1 040	90	392	815	301	151	1 660

2.3.2. AVVIRKNING

Hogsten utføres med vanlig hogstmaskin (170 kW, 20 ton). Kjøpsverdien er 3 000 000 kr. Totale reparasjons- og vedlikeholdskostnader gjennom maskinens levetid tilsvarer innkjøpsverdien. I tillegg kommer 28 kr / PMh₁₅ til sagkjeder og sverd. Dieselforbruket er estimert til 16 liter per PMh₁₅, og utgiftene til olje og smøremidler til 13 % av drivstoffkostnadene (Holzleitner et al., 2011). Produktiviteten ved slik energivirketyning antas å ligge på 10,5 fm³ per PMh₁₅ (Di Fulvio, Kroon, Bergström, & Nordfjell, 2011; Kärhä, 2006). Årlig aktivitetsnivå er 1840 TMh, med en maskinutnyttelsesgrad på 75%. Operatøren refunderes for 50 km persontransport per dag. Dette gir en timepris på 1100 kr / PMh₁₅ (tabell 2). I tillegg kommer oppstartskostnader, som er satt til kr 3000 per hogstobjekt og dekker maskinforflytning, planlegging og administrasjon rundt det enkelte oppdrag. Kostnaden for avvirkning er gitt av ligning 5:

$$K_{hogst} \left(\frac{kr}{fm^3} \right) = \frac{Timepris \left(\frac{kr}{PMH_{15}} \right)}{produktivitet \left(\frac{fm^3}{PMH_{15}} \right)} + \frac{Oppstartskost (kr)}{Obj størrelse (fm^3)} \quad (1)$$

2.3.3. BUNTING

Bunting foregår enten i terrenget (terrengbuntemaskin) eller på vegkant (vegkantbuntemaskin). Hensikten er i begge tilfeller å skape et letthåndterlig, homogent produkt med høyere tetthet enn u-buntemateriale. Om buntingen foregår i terrenget, vil buntemaskinen gå etter hogstmaskinen og før virke skal kjøres ut med lassbærer. Dette gir mer effektiv håndtering og transport av virke både i terrenget og på veg, sammenlignet med håndtering og transport av løst virke. Om virke bntes på vegkant, må det forut for buntingen transporteres til lunne ved vegkant med lassbærer. En slipper da å ha buntemaskinen montert på terrenggående chassis, og kan heller benytte lastebilchassis som er rimeligere og gir hurtigere transport mellom ulike hogstobjekt. Denne løsningen gir altså rimeligere bunting, dyrere terrengtransport og uendret vegtransport sammenlignet med bruk av terrengbuntemaskin. Ved bunting i terrenget benyttes normalt en relativt stor (130 kW, 17 tonn) lassbærer som basmaskin for buntemaskinen, og innkjøpsprisen for denne maskinen er satt til kr 2,2 millioner for lassbærchassis og 1,5 for buntemaskinen. For lastebilbunter er innkjøpsprisen satt til totalt 1,5 mill. for lastebilchassis og 1,5 mill. for buntemaskinen. Totale reparasjons og vedlikeholdskostnader gjennom maskinens levetid tilsvarer innkjøpsverdien. I tillegg kommer 86 kr / PMh₁₅ til sagkjeder, sverd og nylontråd. Dieselforbruket settes til 11 liter per PMh₁₅, og utgiftene til olje og smøremidler til 8 % av drivstoffkostnadene. Årlig aktivitetsnivå er 1840 TMh, med en maskinutnyttelsesgrad på hhv 70 og 75 % for de to løsningene. Dette gir en timepris på hhv 1250 og 1000 kr / PMh₁₅ for terrengbunteren og lastebilbunteren. Oppstartskostnaden for bunting er satt til kr 3000 per objekt ved bruk av terrengbunter, og kr 1000 per objekt ved bruk av lastebilbunter.

Buntemaskinens tidsforbruk settes til 10 PMmin₁₅ per t ts (Belbo & Kjøstelsen, 2012) uavhengig av råmateriale og om den arbeider på lunneplass eller i terrenget. Buntene har diameter 0,7 m, lengde 3 m, og dermed et volum på 1,15 m³_B. Buntene har en tetthet på 210 kg ts per m³_B uavhengig av råmateriale. Modellen for buntekostnader er gitt i ligning (6), med parametere som vist i tabell 3.

$$K_{bunting} \left(\frac{kr}{t ts} \right) = T_{bunting} \times \frac{Timepris}{60} + \frac{Oppstartskost}{Obj størrelse} \quad (2)$$

Tabell 2. Modellparametere for bunting

Parameter	Bunting i terreng	Bunting på vegkant
<i>T_{bunt} (PMmin₁₅ per t ts)</i>	10	10
<i>Timepris (kr / PMh₁₅)</i>	1250	1000
<i>Oppstartskost, (kr / objekt)</i>	3000	1000

2.3.4. FLISHOGGING

De alternative stedene (terreng, vegkant eller terminal) for flishogging gir ulike krav til egenskaper for flishoggerenheten. Terminalhogging gir små krav til fremkommelighet for flishoggeren i forhold til de andre alternativene, og dermed mulighet for å benytte et rimelig chassis eller stasjonær flishogger. Terrenggående flishoggere bygges vanligvis på et lassbærerchassis, med egen motor for hoggeren og med fliskontainer for skytteltransport av flis til vegkant.

Tabell 3. Beskrivelse av de ulike flishoggeralternativene

Chassis og flishogger

Terminalhogger	6x2wd lastebil, 350 kW trommelhogger
Lunnehogger	6x4wd lastebil, 350 kW trommelhogger
Terrenghogger	17 t, 140 kW lassbærer, trommelhogger med egen 330 kW motor og 21 m ³ fliskontainer

Årlig aktivitetsnivå settes til 1040 TMh for alle hoggertyperne. Effektivt tidsforbruk og kostnader for flishoggingen estimeres (ligning 7 og 8) ut fra flishoggerens effekt (kW) og bit-størrelsen (t ts) på trevirke som skal flishogges (Spinelli & Hartsough, 2001; Spinelli & Magagnotti, 2010), samt beregnede timekostnader:

$$T_{flishogging} \left(\frac{PM_{min_0}}{t \ ts} \right) = \left(0,85 + \frac{0,016}{Bitstørrelse} + \frac{13,2}{Bitstørrelse * Effekt} + \frac{1132}{Effekt} \right) \quad (3)$$

$$K_{flishogging} \left(\frac{kr}{t \ ts} \right) = T_{flishogging} \times Timepris + \frac{Oppstartkost}{Obj. str.} \quad (4)$$

Hvor *Bitstørrelse* er gjennomsnittlig størrelse på de flisede trærne eller tredelene (t ts) og *Effekt* er merkeeffekten på motoren som driver flishoggeren (kW). *Oppstartkost* er oppstartskostnader (transport av flishogger, administrasjon) per objekt.

For å få en effektiv flishogging av bunter kreves det en flishogger med stor innmatingsåpning (minimum 70x70 cm) og effekt på hoggeren (Liss, 2003). Her har vi forutsatt at alle hoggere er tilstrekkelig store, og at buntene kan hogges uten videre seremoni. Ved flishogging fra terrenglunne antas en transportavstand fra terrenglunne til vegkant på 80 m, samme hastighet som lassbærer (2.3 km / h), og 5 minutter tidsforbruk for å tømme fliskassen i kontainer. For terrenghoggeren antas en maskinutnyttelsesgrad på 76 % (Spinelli & Visser, 2009). Ved flishogging på lunneplass gir venting på fliskontainere og trange arbeidsforhold en noe høyere andel uproduktiv tid, og maskinutnyttelsesgraden (MU) settes til 74 % (Spinelli & Visser, 2009). Ved flishogging på terminal går vesentlig mindre tid til venting, og MU settes til 90 %. Oppstartskostnaden for terrenghogger er den samme som for hogstmaskin, terrengbunter og lassbærer, ettersom terrenghoggeren må flyttes med maskinflat. Lastebilmonterte hoggere flytter ved egen maskin, og den sterkt reduserte satsen ved hogging på terminal skyldes at flere, anslagsvis 10-20, oppdrag slås sammen til ett. Modellparametere for flishogging ved lunne i terreng, lunneplass og terminal er ført i tabell 2.

Tabell 4. Modellparametere for flishogging

Parameter	Terrenglunne		Lunneplass		Terminal	
	Heltre		Heltre	Bunter	Heltre	Bunter
Effekt kW	350		350		350	
PMh₀ / PMh₁₅*	1		1	1	1	1
Bitstørrelse t ts	0,015		0,015	0,24	0,015	0,24
Oppstartskost, (kr / objekt)	3000		1000		100	

* Ved studier av flishogging er det ikke tradisjon å skille mellom PMh₀ og PMh₁₅, MU er derfor forholdet mellom PMh₀ og TMh.

2.3.5. TERRENG- OG VEGTRANSPORT

For biler og vogntog er det vanlig å skille mellom distansekostnader og tidskostnader (Grønland, 2011), mens det for terrengtransport er mer vanlig kun å regne kostnadene ut fra medgått tidsforbruk. Nyttelasten begrenses enten av maksimal last eller nyttbart lastevolum avhengig av tettheten på materialet, å estimeres med ligning 9. Tidsforbruket per transporterte enhet (tonn tørrstoff) estimeres med ligning 10, og transportkostnadene med ligning 11.

$$\text{nyttelast (t ts)} = \text{den minste av} \begin{cases} \text{maks last (t)} \times \left(\frac{100 - \text{Fukt}\%}{100}\right) \\ \text{maks volum (m}_i^3) \times \text{ts.tetthet} \left(\frac{\text{t ts}}{\text{m}_i^3}\right) \end{cases} \quad (5)$$

$$T_{\text{transport}} \left(\frac{\text{PM}_{\text{min}15}}{\text{t ts}}\right) = \frac{T_{\text{term ps}} \left(\frac{\text{PM}_{\text{min}15}}{\text{sending}}\right)}{\text{nyttelast} \left(\frac{\text{t ts}}{\text{sending}}\right)} + T_{\text{term pt}} \left(\frac{\text{PM}_{\text{min}15}}{\text{t ts}}\right) + \frac{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right) \times d \text{ (km)} \times 2}{\text{nyttelast (t ts)} \times v \left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)} \quad (6)$$

$$K_{\text{transport}} \left(\frac{\text{kr}}{\text{t ts}}\right) = \frac{T_{\text{transport}} \times \text{Timepris}}{60} + \frac{2 \times d \text{ (km)} \times \text{distansekostnad} \left(\frac{\text{kr}}{\text{km}}\right)}{\text{nyttelast (t ts)}} + \frac{\text{Oppstartkost}}{\text{Obj.str.}} \quad (7)$$

Hvor $T_{\text{term ps}}$ er terminaltid per sending, dvs ventetid, last-sikring, lassmåling, loggføring og lignende. $T_{\text{term pt}}$ er terminaltid som er relatert til lass-størrelsen, dvs først og fremst lasting og lossing.

Oppstartskostnadene er administrasjons og eventuelle flyttekostnader knyttet til hvert transportoppdrag.

Tørrstoff-tettheten (ts.tetthet i funksjon 9) ved transport av løst virke avhenger av fastmasseprosenten i lassene og basisdensiteten i virke. Med en fastmasseprosent på 20 (Ranta & Rinne, 2006), og en basisdensitet på 400 kg / fm³, blir tørrstoffdensiteten 80 kg per lm³. Ved transport av bunter har Ranta og Rinne (2006) indikert en fastmasseprosent på 35 %, noe som gir en tørrstoffdensitet på 140 kg ts per lm³. Dette samsvarer med egne studier (Belbo og Kjøstelsen (2012)), hvor tørrstoffdensiteten var i intervallet 105 – 140 kg ts per lm³. I denne studien har vi forutsatt en tørrstoffdensitet i lassene på 140 kg ts per lm³ ved bunttransport.

Tabell 5. Parameterverdier for ulike typer biomassetransport

	Lassbærer heltre	Lassbærer bunter	Vogntog heltre 19,5 og (22) m	Vogntog bunt 19,5 og (22) m	Vogntog flis fra lunneplass (terminal)
Maks nyttelast, t	13		24,1 (30)	24,1 (30)	29
Volumkapasitet, lm^3	36		91 (105)	91 (105)	85
Fastmasseprosent	20	35	20	35	40
$T_{\text{terminal.ps}}$	0	0	10	10	38 (29)
$T_{\text{terminal.pfm}}^3$	2,77	2,17	5,4	2,5	
Distanse D	Se Figur 3				
Snitthastighet	2,3		$12,7 \times \ln(D) + 9,3$		
PMh_0 / PMh_{15}	0,92		1	1	1
Timepris, kr / PMh_{15}	850		520	520	520
Dist. kostnad	0		7	7	7
Oppst. kostnad	3000				400 (0)

2.3.5.1. Terrengtransport

Terrengtransport av bunter og ukomprimert virke gjøres med standard lassbærer. En typisk middels stor lassbærer (JD 1210E, Komatsu 860.4, Gremo 1350VT, Ponsse Elk) har ca 16-17 tonn egenvekt, 13-14 tonn nyttelast, 4 – 5 m² tverrsnitt areal mellom bankene, og 4,5 (standard) – 5,5 (noen modeller) m lasteromlengde. Med 5,5 m lasteromlengde kan en laste 2 stabler med 3 meters bunter etter hverandre. Med kortere lasterom kan en med litt kreativitet stable noen bunter på tvers slik at lasterommet også da utnyttes relativt godt. Ved transport av heltrevirke kan en også uten problem handtere virke med 6 m lengde. I alle tilfeller kan en laste høyere enn standard bankehøyde, slik at nyttbart tverrsnittareal øker med 1-2m² i forhold til faktisk tverrsnitt areal mellom bankene. I denne studien har vi derfor forutsatt ett nyttbart lastevolum på 36 lm^3 for både ved transport av bunter og ved transport av ukomprimert virke. Snitthastigheten for lassbærer er satt til 2,3 km/h ved terrengtransport (Laitila, Asikainen, & Nuutinen, 2007) og 5 km/h ved vegtransport. Kostnaden for maskin og sjåfør er angitt i tabell 2.

Tidsforbrukmodellen er hentet fra en relativt fersk studie på utkjøring av heltre med en 10,4 t (Timberjack 810B) lassbærer (Laitila et al., 2007), hvor tidsforbruket var avhengig av hivstørrelsen (fm^3 per laste- og lossesyklus), og virkeskonsentrasjonen (fm^3 per 100 m stikkveg). Ved håndtering av løst virke antas en hivstørrelse på 0,25 og 0,6 fm^3 ved hhv lessing og lossing, mens det ved håndtering av bunter antas en hivstørrelse på 0,35 og 0,7 fm^3 (modellen fra Laitila et al. (2007) gir urealistiske tidsverdier for større hivstørrelser). For begge antas en virkeskonsentrasjon på 8 fm^3 per 100 m stikkveg. Ved håndtering av løst virke gir dette et tidsforbruk på 1,6, 0,47 og 0,7 PM_{min_0} per fm^3 for hhv lessing, forflytning og lossing. For håndtering av bunter får en et tidsforbruk på hhv 1,08, 0,47 og 0,62 PM_{min_0} per fm^3 for de samme operasjonene. Summert gir dette en terminaltid på 2,77 PM_{min_0} per fm^3 ved håndtering av løst virke og 2,17 PM_{min_0} per fm^3 ved håndtering av bunter. Forholdet mellom PMH_0 og PMH_{15} er satt til 0,92, og maskinutnyttelsesgraden MU er satt til 0,82 (Nurminen, Korpunen, & Uusitalo, 2006).

2.3.5.2. Vegtransport

Tids- og distansekostnaden for tømmerbil var i 2010 henholdsvis kr 512 per time og kr 5,61 per km (Grønland, 2011), noe som ved en snitthastighet på 50 km / h gir en timekostnad på 792 kr per time. Økte dieselpriiser og behov for små endringer av bilene for å handtere heltre gjør at vi i denne analysen

setter tidskostnaden til 520 per PMh₁₅ og distansekostnaden til 7 kr per km. I tillegg beregnes kr 500 i oppstartskostnader per oppdrag for administrative kostnader.

Vegtransport av løst virke og bunter utføres som basisalternativ med 19,5 m tømmerbil med kran og stålplater i vegger og bunn for å hindre at tredeler ramler av lasset. Maks tillatt totalvekt på slike biler er 50 tonn. Bil med kran antas å veie 16,5 tonn, hengeren 6,5 tonn, og de ekstra platene 3 tonn for både bil og henger (Belbo & Kjøstelsen, 2012). Maksimal nyttelast blir dermed 24,1 tonn. Lasterommet på bilen har lengde 6,3 m, bredde 2,3 m og høyde 2,4 m. Brutto lastevolum på bilen er dermed 34,5 lm³. Lasterommet på hengeren har lengde 8,3 m, bredde 2,3 m og høyde 3 m, som gir et lastevolum på 56,5 lm³. Lastevolumet på bil og henger er dermed 91 lm³. Gjennomsnittshastigheten for en transportetappe er hovedsakelig avhengig av transportdistansen (Ranta & Rinne, 2006).

For transport av rundtømmer tillates vogntog med større lengde (22 m) og totalvekt (56 tonn) enn for øvrig «normal» godstransport. Slike tømmervogntog er også egnet til transport av bunter og heltrevirke om en gjør de samme modifikasjonene som på 19,5 m vogntog. I denne analysen er derfor transport med 22 m tømmervogntog likevel tatt inn som alternativ for vegtransport av heltre og bunter (kjede H22, TB22 og VB22). I modellen er eneste forskjell mellom disse to vogntogtypene lastekapasiteten (se tabell 3). Transport av bunter og heltrevirke med slike vogntog er etter dagens forskrift imidlertid en tvilsom gjørelse, ettersom forskriften eksplisitt gjelder transport av rundtømmer ("Forskrift om vekter og dimensjoner, off. veg," 2011).

Ranta og Rinne (2006) fant at tidsforbruket for lessing og lossing av løst hogstavfall var henholdsvis 3 og 2,4 PMmin₁₅ per fm³, noe som korresponderer bra med tidligere studier av lessing av vegkantvirke ved Skog og Landskap hvor tidsforbruket var 6,7 PMmin₀ per t ts. Tidsforbruk for lessing og lossing av løst virke settes derfor til 5.4 PMmin₁₅ per fm³ (totalt). Tidsforbruket for lessing og lossing av bunter settes til hhv 1,2 og 1,3 PMmin₁₅ per fm³ (Belbo & Kjøstelsen, 2012; Ranta & Rinne, 2006).

Flistransport gjøres med kontainerbil med henger og krokloft på bilen. Med slike biler kan en enten sette ut containere før flihogging tar til, eller man kan flise i kontaineren(e) mens de står på bilen. Dette er et såkalt hett system, hvor driftsforstyrrelser eller dårlig planlegging hos en aktør også gir forstyrrelser hos andre aktører. Om transportleddet ikke henger med i forhold til flihoggeren eller flislasteren, må denne vente og taper produktiv tid. Om flihoggeren eller flislasteren ikke henger med i forhold til transportleddet, blir situasjonen motsatt og transportenheten må vente. Dette senker maskinutnyttelsesgraden hos aktørene. Hengeren har egen tipp, noe som gir mulighet for effektiv avlesning i og med at en slipper å flytte containere fra henger til bil for å laste av. Containere i dette vogntoget rommer henholdsvis 38 lm³ (kontainer på bilen) og 44 lm³ (henger). Om en laster med litt haug på lasset, får en med ca. 3 lm³ ekstra. Maksimal totalvekt er også her 50 tonn for bil og henger, og egenvekt bil med kontainer er 16 tonn, mens egenvekt henger med kontainer er satt til 5 tonn. Maks nyttevolum og nyttelast er dermed 85 lm³_{flis} og 29 tonn for bil og henger. Fastmasseprosenten i lassene settes til 40 % (Ranta & Rinne, 2006). Tidskostnad og distansekostnad er satt til samme nivå som for tømmerbil.

Tidsforbruket for utplassering og opplasting av containere ved en lunneplass er hhv ca 2 og 7 PMmin₀ per kontainer. Tidsforbruket for avlesning på terminal eller hos sluttkunde er ca 10 PMmin₁₅ per kontainer, inklusive lassveing og prøvetaking for fuktbestemmelse (Liss & Johansson, 2006). Total terminaltid per transportsyklus blir dermed 38 PMmin₀. Tidene for utplassering og opplasting inkluderer også utplassering av containere ved oppstart av nytt objekt

Lasting av flis på terminal gjøres med hjullaster, og terminaltiden for opplasting reduseres derfor til ½ av samme arbeidsmoment ved lunneplass. T_{term,ps} blir dermed 29 PMmin₁₅ per sending. Tidsforbruk og kostnader for hjullaster til lasting av bilen tilfaller terminalkostnadene (L 3.3).

2.3.6. LAGER OG TERMINALKOSTNADER

Kostnadene for lagring av virke (i form av heltre, bunter eller flis) er knyttet til substansstap (råtning, spill), tomtecostnader (dekkpapp, asfaltert lagringsområde, tak m.m.) og intern håndtering av virke på terminalen (lessing av vogntog, veing, fuktighetsbestemmelse, m.m.).

$$K_{\text{substanstap. Li}} \left(\frac{kr}{t \text{ ts}} \right) = (\gamma + 1 - (1 - \alpha)^m) \times \sum_{n=1}^{n=i-1} K_n \quad (8)$$

Substanstapet regnes som en fast prosent (α) per måned av den til en hver tid lagrede mengden brensel, samt en fast (for hvert sortiment og handteringsmetode) andel spill (γ) ved hver handtering. Spill reduserer volumet, mens råtning både reduserer basisdensiteten i materialet og reduserer volumet. Det har ikke lyktes å finne studier av tørrstofftap ved lagring av heltrevirke. Bunter av hogstavfall har vist et tørrstofftap i intervallet 1 - 3 % per måned, hvor ferskt hogstavfall av gran har det største tørrstofftapet mens tørt hogstavfall av gran og hogstavfall av furu har lavere tørrstofftap (Filbakk, Høibø, Dibdiakova, & Nurmi, 2011). For ukomprimert og buntet heltrevirke antas tørrstofftapet å ligge mellom fersk massevirke av gran (0,5 % per måned (Lehtikangas, 1999)) og ufliset hogstavfall, og settes til 1 % per måned.

Om virke flises rått (45-50 %) og lagres utendørs vil flisen ha et tørrstofftap på ca 1-2 % per måned (Garstang, Weekes, Poulter, & Barlett, 2002; Lehtikangas, 1999), mens tørr flis nesten ikke har substanstap ved lagring (Lehtikangas, 1999).

Det har ikke lyktes å finne studier som skiller mellom redusert virkesvolum og redusert basisdensitet ved råtnetap. I denne analysen har en antatt at halvparten av råtnetapet gir en reduksjon i basisdensitet, og at halvparten av tapet gir tilsvarende reduksjon i virkesvolumet.

Kostnaden for substanstap estimeres ved kost-pris for tapt brensel, dvs påløpte kostnader i produksjonen før substanstapet finner sted. Om 1 t ts er hogd og kjørt fram til bilveg for kr 400 per t ts, og en ved bilvegen har et substanstap på 10 %, er kostnaden for dette kr 44 per tonn ts levert fra bilveg.

Tabell 6. Modellparametere for spill og råtning ulike steder i forsyningskjeden.

Lagerplass		Spill ved lager γ %	Råtnetap α , % per mnd
Bestand	L _{1.1} heltre	1	0,7
	L _{1.2} bunter	0	0,7
Vegkant	L _{2.1} heltre	0,5	0,7
	L _{2.2} bunter	0,2	0,7
	L _{2.3} flis	0,5	1
Terminal	L _{3.1} heltre	0,1	0,7
	L _{3.2} bunter	0	0,7
	L _{3.3} flis	0,1	1

Tomtekostnaden har to komponenter, hvor faste kostnader, dvs avskrivning på anlegget, beregnes for antall måneder virke er lagret, mens variable kostnader (dekkpapp) beregnes for hver leveranse.

$$K_{\text{terminal}} \left(\frac{kr}{t \text{ ts}} \right) = \frac{K_{\text{areal variabel}}}{h \times FM\% \times BD} + \frac{K_{\text{areal fast}} \times m}{h \times FM\% \times BD \times 12} + K_{\text{håndtering}} \quad (9)$$

hvor: $K_{\text{areal fast}}$ og $K_{\text{areal variabel}}$ er faste og variable kostnader for lagerarealet, h er lagrinshøyde, m er lagringstid i måneder, og $K_{\text{håndtering}}$ er håndteringskostnader på terminalen (hullaster, prøvetaking).

Materialtettheten i lager antas å være som ved transport med tømmerbil og flisbil; 20 % fastmasse for ukomprimert virke, 35 % fastmasse for bunter, og 40 % fastmasse for flis. Med en lagringshøyde på 4 m får man dermed ca 0,8 fm³ ukomprimert virke, 1,4 fm³ buntet virke og 1,6 fm³ flis per m² lagerplass.

En rull (4 x 250 m) dekkpapp koster kr 5000 +frakt, dvs ca 6 kr per m² i anskaffelse og anslagsvis 4 kr / m² i utlegging.

I heltre- og buntkjedene lagres virke i gjennomsnitt 11-12 måned på vegkant med overdekking, 0,5 måneder på terminal med overdekking og 1 måned som tørr flis på terminal. I kjedene med flistransport

fra vegkant til terminal eller varmeverk lagres virke i 15 måneder på vegkant med dekking før flishugging. Siden flisa transporteres bort fra lunneplassen umiddelbart, vil det ikke genereres lagerkostnader for flis ved lunneplass. I flistransport-kjedene som går via terminal lagres tørr flis 1 måned på terminal før levering til varmeverk.

Flistransportkjedene med leveranser direkte fra vegkant til varmeverk innebærer at skogsvegen i en del tilfeller må brøytes for at en skal nå brenselet. Kostnaden for dette fordeles på brenselmengden fra det enkelte hogstobjekt. Vi antar at det i disse kjedene må brøytes for 1/3 av objektene, at snøbrøyting i gjennomsnitt tar 3 timer per objekt med tynningsvirke, og at kostnaden for dette er kr 1500 per gang.

Tabell 7. Lagringskostnader og fuktighetsutvikling for de ulike sortiment og verdikjedealternativer. Angitt fuktighet er fuktigheten ved endt lagringstid.

	Bestand		Vegkant			Terminal		
	Heltre	Bunter	Heltre	Bunter	Flis	Heltre	Bunter	Flis lager under tak
Fast arealkost, kr / m² / år	0	0	0	0	0	100	100	200
Variabel arealkost, kr / m²	0	0	10	10	0	10	10	0
Lagringshøyde	1	1	3,5	3,5	2,5	4	4	4,5
Materialtetthet i lager, fastmasseprosent	0,2	0,35	0,22	0,35	0,4	0,22	0,35	0,4
Lagringstid mnd; fuktighet, kjede H19 og H22	0,5; 50		11; 35			0,5; 35		1; 35
Lagringstid mnd, fuktighet, kjede TB19 og TB22	0,4; 50	0,1; 47		11;35			0,5;35	1;35
Lagringstid mnd; fuktighet, kjede VB19 og VB22	0,5; 50		9; 40	1;35			0,5;35	1;35
Lagringstid mnd, fuktighet, kjede VF.T og TF.T	0,5; 50		15; 35		0; 35			1;35
Lagringstid mnd, fuktighet, kjede VF.D og TF.D	0,5; 50		15; 35		0; 35			-
Håndtering i lager, kr / Im³_{flis}						5	5	5
Håndtering i lager, kr per objekt			500			-		

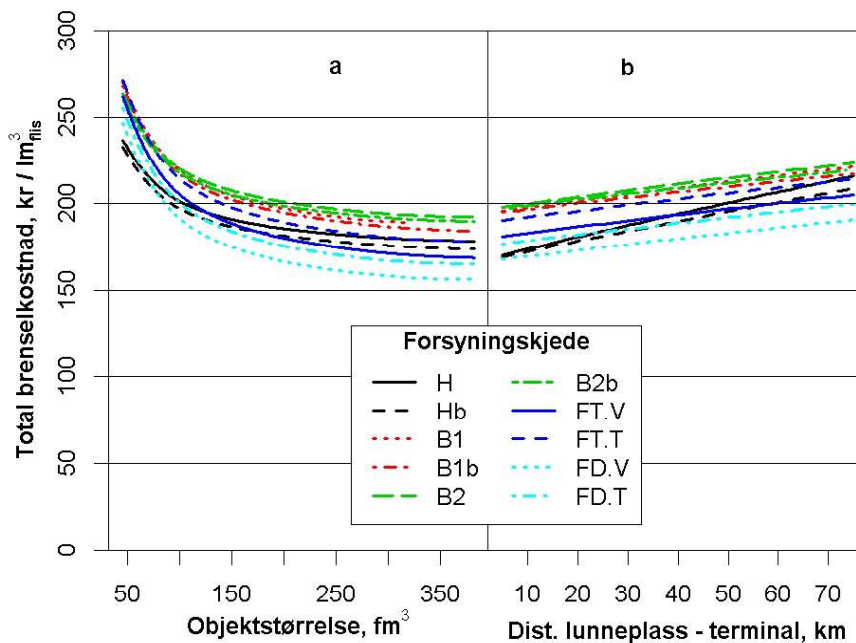
3. RESULTATER

Kostnadsfordelingen for de ulike kjedene er vist i tabell 6 og 7, med volumveid gjennomsnitt og standardavvik for det enkelte arbeidsmoment. Forsyningskjede heltretransport med tømmerbil (H19 og H22) har en total kostnad på rundt kr 180 per Im³_{flis}. Heltre-kjeden har vesentlig dyrere vegtransport enn de andre kjedene. For heltre-kjedene er flishoggerkostnadene ca 14 % høyere enn for buntekjedene og 23 % lavere enn for flistransport-kjedene med desentralisert flishogging. For heltre- og buntekjedene (H og B) gir bruk av 22 m tømmervogntog (i stede for standard 19,5 m) en besparelse på ca 12 % for vegtransporten, og ca 2 % for hele forsyningskjeden. Flistransport fra velteplass til terminal er 43 % rimeligere enn heltretransport og 15 % dyrere enn buntetransport. Direkte leveranse av flis fra lunneplass til sluttkunde gir 23 % lavere transportkostnad enn om flisa går via terminal. Reduserte lagerkostnader og mindre virkestap gir ytterligere margin for denne kjeden. Omvegen om terminal gir en ekstra kostnad på kr 14 kr per Im³_{flis} (6-7 %) i forhold til direkte leveranser. Totalt skiller det ca 40 kr per Im³_{flis}, dvs ca 20 %, mellom den billigste og den dyreste kjeden.

Tabell 8. Gjennomsnittskostnader (kr per lm^3_{fms}) for den enkelte kjede fra tynning. Tall i kursiv indikerer standardavviket.

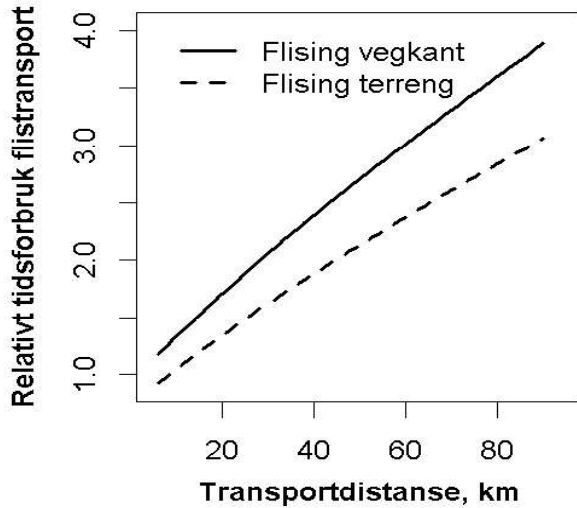
Aktivitet	H19	H22	TB19	TB22	VB19	VB22	VF.T	TF.T	VF.D	TF.D
Avvirkning	52 3	52 3	52 3	52 3	52 3	52 3	52 3	52 3	52 3	52 3
Utkjøring	37 7	37 7	27 5	27 5	37 7	37 7	37 7	37 7	37 7	37 7
Bunting	0 0	0 0	40 3	40 3	28 1	28 1	0 0	0 0	0 0	0 0
Flising	24 0	24 0	21 0	21 0	21 0	21 0	27 3	47 3	27 3	47 3
Vegtr. 1	34 13	30 11	19 7	17 6	19 7	17 6	21 7	21 7	23 9	23 9
Vegtr.2	9 0	9 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	0 0	0 0
Virkestap	11 1	11 1	13 1	13 1	13 1	13 1	15 1	15 1	13 1	14 1
Lagerkost	14 0	14 0	13 0	13 0	18 1	18 1	11 1	11 1	7 1	7 1
Totalt	182 16	178 15	195 12	193 12	197 13	195 12	173 14	193 14	159 15	179 15

Figur 3 illustrerer hvordan kostnadene i forsyningskjeden avhenger av objektstørrelse og transportavstand mellom vegkant og terminal/varmeverk. Heltrekjedene kommer rimeligst ut for objekter mindre enn 70 fm^3 , og for transportavstander under ca 10 km. Flishogging på lunneplass for direkte leveranse til varmeverk er billigste alternativ for de mest aktuelle objektstørrelser og transportavstander, mens flishogging med terrenggående hogger krever større objekter og transportavstander for å konkurrere ut heltrekjedene. Buntsystemet gir de høyeste kostnadene, både for små og store objekter og korte og lange transportavstander.



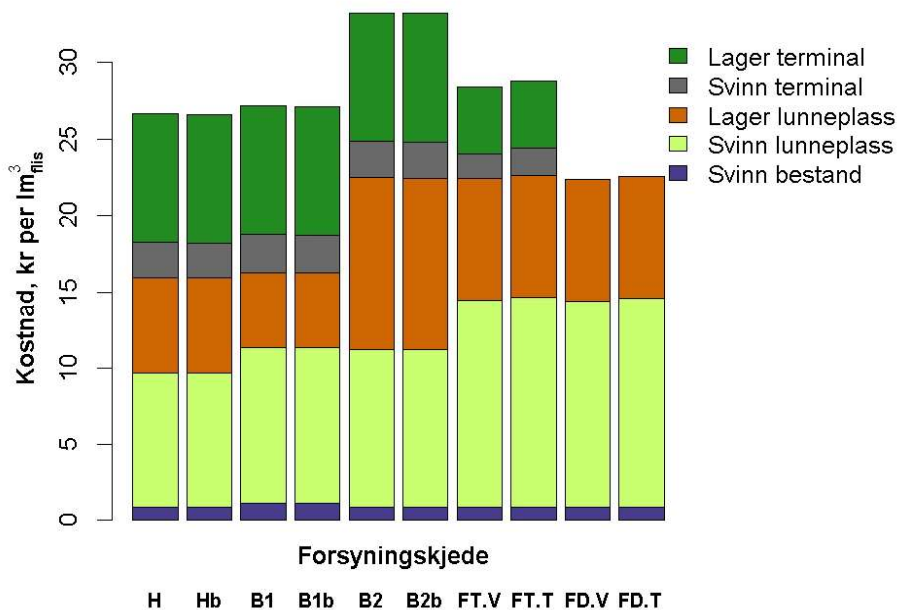
Figur 3. Kostnader i forhold til objektstørrelse (a) og vegtransportavstand (b). I figur a er det antatt 300 m terrengtransport, 40 km fra lunneplass til terminal, 15 km fra terminal til varmeverk og 50 km fra lunneplass til varmeverk, mens det i figur b er antatt 110 fm^3 objektstørrelse, 300 m terrengtransport og at avstanden fra lunneplass direkte til varmeverk er 10 km lengre enn avstanden fra lunneplass til terminal.

Flistransport fra lunneplass via terminal er logisk nok alltid mer kostbart enn direkte leveranse til varmeverk. Om terminalen er ugunstig lokalisert i forhold til hogstobjekt og varmeverk vil denne effekten ytterligere forsterkes. Bunting gir høyere kostnader enn de andre undersøkte alternativer i denne studien, uavhengig av objektstørrelse og transportavstand på veg. For små objekter er heltre-transportkjedene kostnadseffektive, siden de har lavere oppstartskostnad for aktiviteten ute i bestand og på lunneplass.



Figur 4. Relativt tidsforbruk for flistransport indikerer forholdet mellom tidsforbruket per tonn ved transport og tidsforbruk per tonn ved flishogging i flistransportkjedene (kjede VF.D, VF.T, TF.D, og TF.T). Produktiviteten i transportleddet avhenger av transportavstand, mens produktiviteten i flishoggerleddet er relativt konstant.

Figur 4 illustrerer en viktig utfordring i forbindelse med flishogging på vegkant eller terrenglunne med påfølgende transport til mottaker (terminal eller varmeverk). Transportavstanden fra vegkant til mottaker påvirker produktiviteten til containerbilen, men ikke til flishoggeren. Dermed vil behovet for containerbiler variere med transportavstanden fra flishoggersted til mottaker. Figur 4 illustrerer dette, som antall containerbiler en behøver per flishogger ved ulike transportavstander. Denne forskjellen i produktivitet gir et visst behov for planlegging av det enkelte oppdrag, samt at en må ha et antall biler tilgjengelige på deltidskontrakter. Om en har for få flisbiler tilgjengelig vil flistransporten bli flaskehals og flishoggeren blir stående og vente. Om en har for mange flisbiler, eller flishoggeren får driftsavbrudd, blir flisbilene stående å vente.



Figur 5. Kostnader for lager og materialtap ulike steder i kjeden.

Figur 5 viser svinn- og lagerkostnadene for de ulike kjedene. Disse kostnadene utgjør om lag 10 % av kostnadene i hele verdikjeden. Kjeden med bunting av virke som er lunnet ved vegkant (VB19 og VB 22) gir noe høyere svinn- og lagerkostnader enn de andre alternativene. Dette skyldes i hovedsak at virke må dekkes to ganger med dekkpapp; en gang på lunneplass og en gang på terminal. Kjeden med direkte leveranse av flis fra lunneplass til varmeverk (VF.D og TF.D) gir naturlig nok de laveste svinn- og lagerkostnadene. De øvrige kjedene kommer likt ut hva gjelder svinn- og lagerkostnader.

4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

Ti alternative forsyningskjeder for skogsbrensel fra energivirketykning og vegkantrydding er beskrevet og sammenlignet. Som for alle andre systemanalyser av lignende art, er resultatene gitt av de antakelser og forutsetninger som er gjort i modellbyggingen. Resultatene bør derfor ikke leses som absolutte sannheter når det gjelder kostnadsnivå, verken for de ulike deloperasjoner eller totalt for den enkelte kjede. For eksempel har en i denne analysen ikke tatt hensyn til at lastekapasiteten til de ulike kjøretøyene ofte ikke blir utnyttet hundre prosent, eller at årlig produksjonsvolum er for lite til fulltids sysselsetting av maskinene. Resultatene gir derimot gode indikasjoner på hvordan den enkelte kjede responderer på ulike forutsetninger, og på hvilke kjeder som virker lovende (og lite lovende) under gitte forutsetninger.

Analysen indikerer at det er omtrent 20 % forskjell i produksjonskostnad mellom den rimeligste og den dyreste produksjonskjeden, og at de ulike kjedene har sine nisjer avhengig av størrelsen på hogstobjektet og transportavstand. Bunting har per i dag for høye kostnader til å være et lønnsomt alternativ til løsvirketransport og flishogging / flistransport fra lunneplass. Dette skyldes de høye kostnadene ved selve buntingen, og det har også sammenheng med hvordan de andre kjedene er konfigurert i denne studien. For eksempel praktiserer en den flisleverandører langvarig lagring / tørking av virke på terminal før flishogging. For en slik produksjonskjede vil det være av større verdi å ha et plass-effektivt og lagringsstabilt sortiment enn for kjeder hvor virkeslageret hovedsakelig ligger på lunneplass.

Flistransport fra lunneplass direkte til sluttbruker er et kostnadseffektivt alternativ, spesielt ved store objekter og store avstander. Dette resultatet stemmer godt over ens med andre rapporter (Laitila, 2008). Her er det imidlertid forutsatt at en alltid har passelig mange flisvogntog tilgjengelig slik at flishoggeren slipper unødvendig mye venting. Dette kan være en utfordring å få til, noe som er illustrert i figur 4. Flishogger og flistransportør har samme produktivitet ved gitte forutsetninger (her 5-10 km transportavstand), mens ved andre forutsetninger vil de ha ulik produktivitet. Dermed må en trappe opp og ned antall vogntog for videretransport alt etter forholdene. I dette tilfellet må det derfor til 1,5 flisvogntog ved 20 km transportavstand, 2 ved 30 km, 3 ved 60 km osv for å forhindre mye ventetid på flishoggeren.

Heltretransport med tømmerbil kommer godt ut ved små objekter og korte transporter, og midt i sjiktet i andre sammenhenger. Denne produksjonskjeden drar fordeler av sentralisert flishogging, særlig når hogstobjektene er små. To andre positive sider ved denne kjeden, som bare delvis er bakt inn i modellen, er at en i større grad utnytter eksisterende logistikkflåte for transport av tømmer, og at det på samme måte som buntsystemet er en kald forsyningskjede hvor i alle aktører opererer uavhengig av hverandre. Det første innebærer lavere investeringsbehov og at det i alle distrikter finnes egnede kjøretøy tilgjengelig for transportoppdragene. Det andre (kald kjede) innebærer en enklere planlegging av logistikken og mindre venting hos den enkelte aktør.

I disse dager er en ny forskrift for tømmerbiler ute på høring, noe som kan innebære at tillatt vogntoglengde for tømmerbiler øker fra 22 til 24 m. Om denne endringen blir vedtatt, og tømmervogntogene tillates å transportere heltrevirke, vil det innebære ca 15 lm^3 økning i nyttbart lastevolum og enda bedre vilkår for heltre-kjeden. Ved transport av heltrevirke vil denne økningen senke de totale kostnadene for denne forsyningskjeden (H22) med om lag 2 prosent.

På større terminaler er det vanlig å benytte seg av en mer stasjonær flishogger, på hengerchassis eller belteunderstell. Disse mates direkte ved avlesning av virke fra vogntog, og følgelig går flishoggingskostnadene betydelig ned, typisk mot halvparten av kostnadene ved flishogging ute på lunneplass (Von Hofsten, Lundström, Nordén, & Thor, 2005). Om årlig produksjonsvolum forsvarer stasjonær hogger vil denne løsningen gjøre kjedene med heltretransport og buntetransport mer konkurransedyktige i forhold til flistransportkjedene.

Flisterminal er ikke en lønnsom løsning i seg selv, men oppleves av mange som en nødvendighet for å sikre flis av riktig kvalitet. Terminalene gir også mulighet for ekstra verdiskapning av flisa. Dette kan innebære soding, tørking og annen sortering for å møte kvalitetskravene fra ulike kunder og bruksområder.

Referanser

- Belbo, H., & Kjøstelsen, L. (2012). *Bunting av vegkantvirke - produktivitet og økonomi* (No. 1). Ås: Norsk institutt for skog og landskap.
- Di Fulvio, F., Kroon, A., Bergström, D., & Nordfjell, T. (2011). Comparison of energy-wood and pulpwood thinning systems in young birch stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(4), 339-349.
- Filbakk, T., Høibø, O., Dibdiakova, J., & Nurmi, J. (2011). Modelling moisture content and dry matter loss during storage of logging residues for energy. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26(3), 267-277.
- Forskrift om vekter og dimensjoner, off. veg, (2011).
- Garstang, J., Weekes, A., Poulter, R., & Barlett, D. (2002). *Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale non-ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices* (No. FES B/W2/00716/REP DTI/Pub URN 02/1535).
- Grønland, S. E. (2011). *Kostnadsmodeller for transport og logistikk* (No. 1127). Oslo (Norway): Transportøkonomisk institutt.
- Holzleitner, F., Stampfer, K., & Visser, R. (2011). Utilization Rates and Cost Factors in Timber Harvesting Based on Long-term Machine Data. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2), 501-509.
- Kärhä, K. (2006). Whole-tree harvesting in young stands in Finland. *Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused*, 45, 118-134.
- Laitila, J. (2008). Harvesting Technology and the Cost of fuel Chips from Early Thinnings. *Silva Fennica*, 42(2), 267-283.
- Laitila, J., Asikainen, A., & 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.
- Lehtikangas, P. (1999). *LAGRINGSHANDBOK FÖR TRÄDBRÄNSLEN* (Vol. 2). Uppsala: SLU, Inst. för virkeslära.
- Liss, J.-E. (2003). *GROT-buntar - Kartläggning av problem vid tillverkning, transport och sönderdelning* (No. nr 2): Högskolan Dalarna.
- Liss, J.-E., & Johansson, J. (2006). *Utvärdering av et nytt ekipage för vidaretransport av bränsleflis* (No. 3). Garpenberg: Institutionen för matematik, naturvetenskap och teknik. Högskolan i Dalarna.
- Nurminen, T., Korpunen, H., & Uusitalo, J. (2006). Time Consumption Analysis of the Mechanized Cut-to-length Harvesting System. *Silva Fennica*, 40(2), 335-363.
- Overenskomst og Hovedavtale 2010 - 2012 for Maskinentreprenørene*. (2010). Retrieved from <http://arbeidsmandsforbundet.lomedia.no/wp-content/uploads/2012/02/Maskin-2010-2012.pdf>.
- Ranta, T., & Rinne, S. (2006). The profitability of transporting uncomminuted raw materials in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 30(3), 231-237.
- Spinelli, R., & Hartsough, B. (2001). A survey of Italian chipping operations. *Biomass & Bioenergy*, 21, 433-444.
- Spinelli, R., & Magagnotti, N. (2010). A tool for productivity and cost forecasting of decentralised wood chipping. *Forest Policy and Economics*, 12, 194-198.
- Spinelli, R., & Magagnotti, N. (2011). Annual Utilization and resale value of forest machinery. *Journal of Forest Economics*.
- 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.
- Spinelli, R., & Visser, R. J. M. (2009). Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 429-433.
- Sundberg, U., & Silversides, C. R. (1988). *Operational Efficiency in Forestry* (Vol. 1: Analysis). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Von Hofsten, H., Lundström, H., Nordén, B., & Thor, M. (2005). *System för uttag av skogsbränsle - analyser av sju slutavverkningsystem och fyra gallringssystem*. Uppsala: Skogforsk.