

Rapport  
fra Skog og landskap

17/2014



skog +  
landskap

Norsk institutt for  
skog og landskap

---

## PRESTASJONSSTUDIE OG SYSTEM- ANALYSE PÅ ZÖGGELER BARDUNFRI TAUBANE

---

Bruce Talbot, Morten Nitteberg, Nils Olaf Kyllø



---

# PRESTASJONSSTUDIE OG SYSTEMANALYSE PÅ ZÖGGELER BARNDUNFRI TAUBANE

---

Bruce Talbot, Morten Nitteberg, Nils Olaf Kyllø

ISBN: 978-82-311-1001-9

ISSN: 1891-7933

Omslagsfoto: Vinsjing nedover med Zöggeler bardunfri taubane i et furubestand i Skjåk, Oppland.  
Foto: Nils Olaf Kyllø, Skog og landskap.

---

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

---

## FORORD

Nåværende rapporten er en oppsummering av prestasjonsstudier og systemanalyser gjennomført som ledd i IPN (Innovasjonsprosjekt i næringslivet) prosjektet 'Utvikling av nytt driftssystem i mellomvanskelig terreng – bardunfri taubane'. Prosjektet har bl.a. hatt til formål å undersøke sammenstilling og funksjonaliteten av en maskin som er spesialegnet til norske forhold når det handler om tømmerhogst i bratte lier. Det er dessuten utgitt en rapport om utvalget av bardunfrie taubaner i verden og preferanser for ulike maskinutforminger blant aktørene i Norge, samt 3 vitenskapelige publikasjoner. I tillegg ble det tilknyttet en masteroppgave fra NMBU/INA som også så på prestasjoner og den økonomisk rentabiliteten av maskinen. Listen over de relevante publikasjoner finnes bakerst i rapporten.

Mjøsen Skog SA (v. Johannes Bergum) var prosjekteier mens Allskog SA (v. Espen Loe) og Vestskog SA (v. Vidar Jørdre) var partnere med egenandel i prosjektet. Hovedparten av prosjektet ble finansiert av Norges forskningsrådets BIONÆR program. Prosjektet hørte til under prosjekttypen 'Innovasjonsprosjekt i næringslivet' (prosjektet 225328/E40). Forfatterne takker T. Frivik Taubanedrift A/S for et positivt og imøtekommende samarbeid i løpet av hele prosjektforløpet.

## FOREWORD

This report summarizes work done on productivity measurements and systems analysis of a novel integrated cable-yarder and timber processing machine. The present report forms part of the project output which also includes a research report on the preferences and selection of various machine functions on similar cable yarders, a Master's thesis written on the same machine concept, multiple thematic days, and 3 peer reviewed scientific papers.

The work was funded by the Norwegian Research Council within the IPN (Innovation projects in the commercial sector) framework (project number (225328/E40), with contributions from 3 forest owners associations, Mjøsen Skog BA (represented by Johannes Bergum), Allskog SA (represented by Espen Loe) and Vestskog SA (represented by Vidar Jørdre). The harvesting contractor and machine owner, T. Frivik Taubanedrift AS, cooperated by making the machine available for numerous field studies and site visits.



## SAMMENDRAG

Den 3-tromlede, gravemaskinmonterte taubanen fra Zöggeler i Østerrike ble studert i drift i et blandet gran-/furubestand ved Kvam i Gudbrandsdalen. Maskinen er unik i det den er utstyrt med både vinsj og opparbeidingsaggregat. Da maskinen ikke er bardunert og vinsjen kjøres med løpende liner, kan det ikke opparbeides og vinsjes samtidig som man ellers kan gjøre på f.eks. en lastbilmontert Mounty kabelkran. Maskinen bemannes derfor typisk med en maskinfører og en feller/stropper. Fellingen foregår samtidig med at maskinen opparbeider et parti trær (15-20 stk.), hvorefter det neste parti vinsjes inn. Under vinsjingen fungerer felleren som stropper.

Gjennomsnittlig trestørrelse i studiet var på 0,27 m<sup>3</sup>, banelengden var på 120m, og hellingen i lia var på ca. 42%. Tidsforbruket ble målt separat på felling, vinsjing og opparbeiding, og resultatene ble anvendt i beregning av systemproduksjon. Under fellingen ble det oppnådd en prestasjon på 10,6 m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub> time (t), for vinsjing var prestasjonen 9,2 m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub>t, og for opparbeiding ca. 10,9 m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub>t (betegnelsen E<sub>15</sub>t står for effektivtid inkl. all tapstid med en varighet på opp til 15 min.). Ca. 54% av systemtiden gikk dermed til vinsjing og 46% til opparbeiding. Det resulterte i en systemprestasjon på ca 4,9 m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub>t. Under opparbeiding av de større trærne (>0,5 m<sup>3</sup>) kom prestasjon helt opp på ca. 16 m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub>t, noe som tyder på at systemprestasjonen også kunne økes betraktelig hvis maskinen ble anvendt i bestand med store trær – f.eks. på Vestlandet. Opparbeidingsaggregatet ZBH58 fra Zöggeler er konstruert for de noe større trærne i Sentral Europa, og prestasjonen vil antakeligvis bare øke med trestørrelsen opp til omtrent 1,5-2,0 m<sup>3</sup>.

På bakgrunn av prestasjonstallene er det gjennomført en systemanalyse. I systemanalysen ble simulering brukt som verktøy til å belyse konsekvensene av en rekke endringer i prestasjonsfunksjonene. Det ble bl.a. undersøkt (i) om det var grunnlag for 1 eller 2 arbeidere i bestandet (dvs. til felling og/eller stropping), og (ii) om det virkelig er fordelaktig å ha både vinsjing og opparbeidingskapasitet på samme basmaskin når den ikke kan anvendes samtidig. I forhold til bemanningen viste resultatene at det er betydelig billigere å kjøre med et tomannslag, dvs. med en maskinfører og en feller/stropper. Det skyldes hovedsakelig at den tredje personen kun er delvis beskjeftiget (ca. 25%) selv om han påfører systemet en timekostnad på ca. 250 kr. Selv fordelene av å ha en ekstra mann til å hjelpe til med montering av en ny bane kan ikke forsvare seg økonomisk. Det vil imidlertid være situasjoner hvor det godt kan betale seg å ha en ekstra mann på laget - det er når store trær skal felles oppover – dvs. ved nedovervinsjing, da fellingen her går noe saktere og det kan oppstå ventetid på maskinen.

Når samme maskin både vinsjer og opparbeider, og disse funksjonene ikke kan utføres samtidig, er det interessant å undersøke om det kan betale seg å skille funksjonene ut på to basmaskiner. Resultatene av simuleringen viste at det heller ikke var økonomisk grunnlag for det, selv om det på kortere strekk (75 m) kan oppnås en prestasjon som er nesten det dobbelte av den nåværende maskinoppstilling. På lengere banelengder oppstår det dyrbar ventetid på opparbeidingsmaskinen. To-maskin systemet vil være konkurransedyktig ved lavere lønnskostnader.

Konklusjonen var derfor at måten maskinen anvendes på i dag – dvs. 1 maskin og et tomannslag var klart den mest økonomisk lønnsomme under liknende forhold.

**Nøkkelord:** taubanedrift, bratt terreng, bardunfri taubane, prestasjonsstudier

## SUMMARY

The Zöggeler 3-drum yarder is a unique machine that combines cable yarding and log processing on a single excavator base. Most excavator based yarders would only have yarding capability, and processing would typically be done with a second machine. The Zöggeler yarder differs from any other concept in that it is un-guyed and uses a running skyline, requiring that the processor is placed on the ground for additional support during yarding. This implies that yarding and processing functions cannot be used concurrently as they are on e.g. European truck mounted yarders. The system is therefore typically used with one machine operator and one feller/chokersetter. Felling takes place while the machine is processing a batch of trees, then they switch to yarding another batch (15-20 trees), where the feller functions as the chokersetter.

The machine was studied during uphill yarding in inland conditions in Norway, in a clearfelling of relatively small trees ( $0.27 \text{ m}^3$ ) and in shorter corridors of around 120 m. Productivity rates achieved were  $10.6 \text{ m}^3 \text{ E}_{15}\text{h}^{-1}$  in felling, around  $9.2 \text{ m}^3 \text{ E}_{15}\text{h}^{-1}$  for yarding, and about  $10.9 \text{ m}^3 \text{ E}_{15}\text{h}^{-1}$  for processing. As approximately 54% of the system hour is used for yarding and 46% for processing, the overall system productivity (excluding rigging times) was  $4.9 \text{ m}^3 \text{ E}_{15} \text{ h}^{-1}$ . In the larger trees ( $> 0.5 \text{ m}^3$ ) processing rates were up to  $16 \text{ m}^3 \text{ E}_{15}\text{h}^{-1}$  indicating that overall productivity could be increased quite considerably if the machine was used in stands with bigger trees – which are more common on the west coast. The large ZBH58 processing head is designed for central European conditions and even higher productivity rates could likely be achieved in big trees.

A systems analysis was done to investigate whether (i) one or two workers should be deployed in the stand and (2) whether it is in fact advantageous to have both yarding and processing functionality on one machine or whether this should have been on two different base machines. Results of the simulation showed that it was considerably cheaper to have only one man and not two in the stand, as the second man is only partially employed (this is not necessarily the case with downhill yarding, where a wedge has to be used more often in ensuring directional felling – which can result in a delay on the yarder). The cost of the second person could not even be offset when time consumption to rigging was included.

In the comparison of one fully integrated machine vs. 2 separate machines, the single integrated machine was consistently the cheapest, even when considering that the production rates for the 2 machine system were almost double at shorter yarding distances. Medium and longer yarding distances resulted in expensive waiting time on the processor, making the system less competitive. The same result was arrived at when including rigging times, despite having two men in the field to carry out the rigging, the cost of the waiting time on the two machines was too large to change the ranking, and at longer yarding distances the cost difference was considerable (up to 50 kr per  $\text{m}^3$ ).

### Key words:

steep terrain, excavator-based yarders, cable logging, steep terrain, harvesting

# INNHold

Forord .....	ii
Sammendrag .....	iii
1. Formål.....	1
2. Driftsopplegget .....	1
2.1. Mannskapet .....	1
2.2. Teknisk beskrivelse av maskinen .....	1
2.3. Hogstfelt .....	2
3. Prestasjonsstudier .....	4
3.1. Felling.....	5
3.2. Vinsjing.....	5
3.2.1 Heisline inn og ut.....	6
3.2.2 Stropping / avstropping.....	7
3.2.3 Tapstid.....	9
3.2.4 Sammendrag - vinsjing .....	9
3.3. Opparbeiding .....	10
3.3.1 Forberedelse .....	11
3.3.2 Kvisting og kapping.....	11
4. Systemanalyse .....	13
4.1. 2 eller tre personer på laget? .....	14
4.2. 1 eller 2 basmaskiner? .....	15
4.3. Simulerte prestasjoner vs. ulike trestørrelser .....	16
4.4. Systemkostnader.....	16
4.5. Systemkostnader inkl. rigging / montering.....	17
5. Konklusjoner .....	18
6. Anbefalinger .....	19
6.1. Felling.....	19
6.2. Vinsjing.....	19
6.3. Opparbeiding .....	20
6.4. Rigging og flytting .....	20
Takk til .....	21
Andre publikasjoner med tilknytning til prosjektet .....	21



# 1 FORMÅL

Formålet med denne kortrapport er primært å formidle resultatene fra prestasjonsstudier som er målt under prosjektets første fase. Rapporten er i første omgang rettet mot prosjektdeltagerne. Rapporten beskriver arbeidsmetoder og prestasjoner etter ca. 3 måneders innkjøring. Disse anvendes til å peke på flaskehalser og potensielle forbedringer - både de tekniske og i forhold til metode. Dokumentet skal også danne et sammenlikningsgrunnlag for sluttfasen av prosjektet, hvor det sammenstilles med prestasjonsstudiene fra fase 2.

## 2 DRIFTSOPPLEGGET

### 2.1. Mannskapet

Driftsopplegget krever et team på 2 – en som kjører vinsjen og i tillegg kvister og kapper, og en som feller og i tillegg stropper under vinsjing. Her var det tale om en ca 40-årig maskinfører med en del års erfaring (>5 år) på en Mounity taubane, og en ung feller/stropper på 24 år.

### 2.2. Teknisk beskrivelse av maskinen

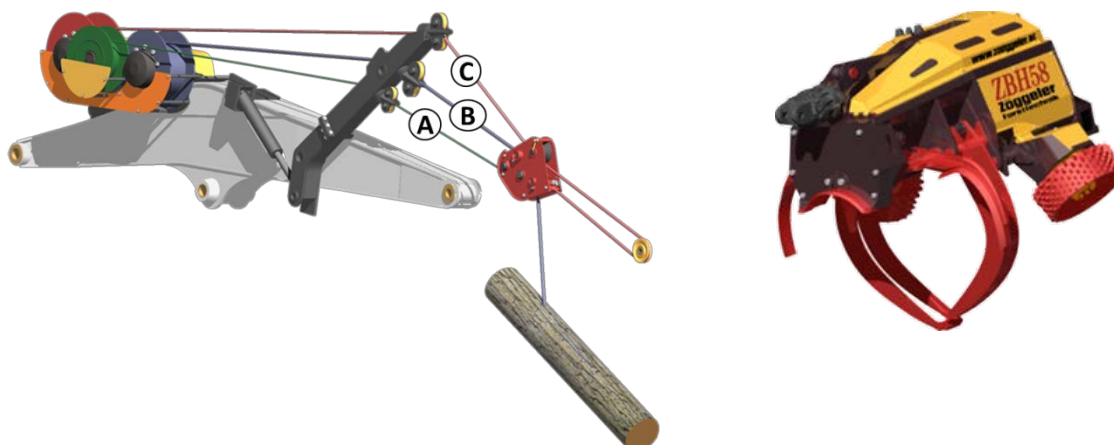
Den bardunfrie taubanen er bygd på en Doosan DX210W. Dette er en hjulgående maskin med en totalvekt på ca. 21 000 kg. Maskinen har en 6-sylindret motor på 170 hk og er utstyrt med frontskjær og hydrauliske støttelabber bak, for å øke stabiliteten. Basmaskinen har todelt bom og teleskopisk stikke med hogstagggregat. Opparbeidingsaggregatet er en Zöggeler Forsttechnik ZBH58. Aggregatet har en maksimal kappediameter på 70 cm og gripeklør som kan åpnes 150 cm (Tabell 1).

Tabell 1 Teknisk beskrivelse av basmaskinen og opparbeidingsaggregatet

Basmaskinen		Aggregatet	
Modell	Doosan DX210W	Modell	Zöggeler ZBH58
Vekt	20.500 kg	Vekt	1.480 kg
Motor	Doosan 6 cyl. 6 liter	Maks diameter	70
Merkeeffekt	127kW v. 2000 rpm	Effektbehov	300 l per min.
Hydraulisk kap.	2 x 232 l pr min.	Griper	150 cm / 0.7 m <sup>2</sup>

Aggregatet som har en vekt på 1 480 kg, har måling av diameter/lengde og kappeautomatikk. Det er ikke mulig å legge inn prislister for optimal verdiutnyttelse. Vinsjen er også Zöggeler Forsttechnik sin egen konstruksjon og bygd som en kompakt enhet og montert på siden av den indre delen av bommen, jf. figur 1.





Figur 1 (venstre) Oppsett av vinsj, tårn og løpekatt. Bildet viser uttrekkslinen (A), trekklinen (B) og returlinen (C). (Opphav Zöggeler Forsttechnik).

Vinsjen er bygd opp med tre tromler - en for retur, en for trekkline og en for utmating av trekk/heiseline. Tabell 2.

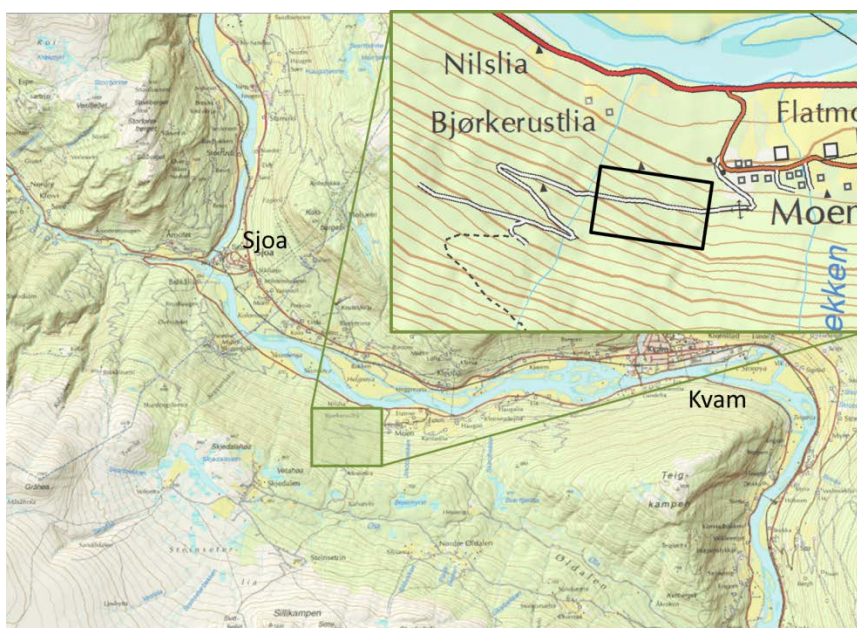
Tabell 2. Sammenfatting av egenskaper for vinsj og ståltau

Beskrivelse	
Produsent	Zöggeler forsttechnik ( <a href="http://www.zoeggeler.at/">http://www.zoeggeler.at/</a> )
Tromler	3 hydrostatisk, med automatisk forstramming
Trekraft	56 kN (5,6 ton)
Trekklinen	250 m, 11 mm
Returlinen	500 m, 11 mm
Ut-trekkslinen	500 m, 6 mm – brukes også som monteringsvinsj
Hastighet	Maks 4 m / s.
Løpekatt	Zöggeler – 150 kg.

Maks. trekraft ved tom trommel er 5,7 tonn og maks. hastighet er 4 m/sek. Vinsjsystemet har automatisk lastregulering og visning av hastighet og spenning i eget display. Det er også automatisk forspenning på linene ved bruk av aggregatet, så de ikke kommer i konflikt med stammen eller aggregatet under opparbeiding. Styringssystemet i vinsjen er basert på CAN-Bus teknologi og vinsjen betjenes med joystick. Maskinen har et lite tårn montert på bommen med høyde på ca. 1-1,5 m.

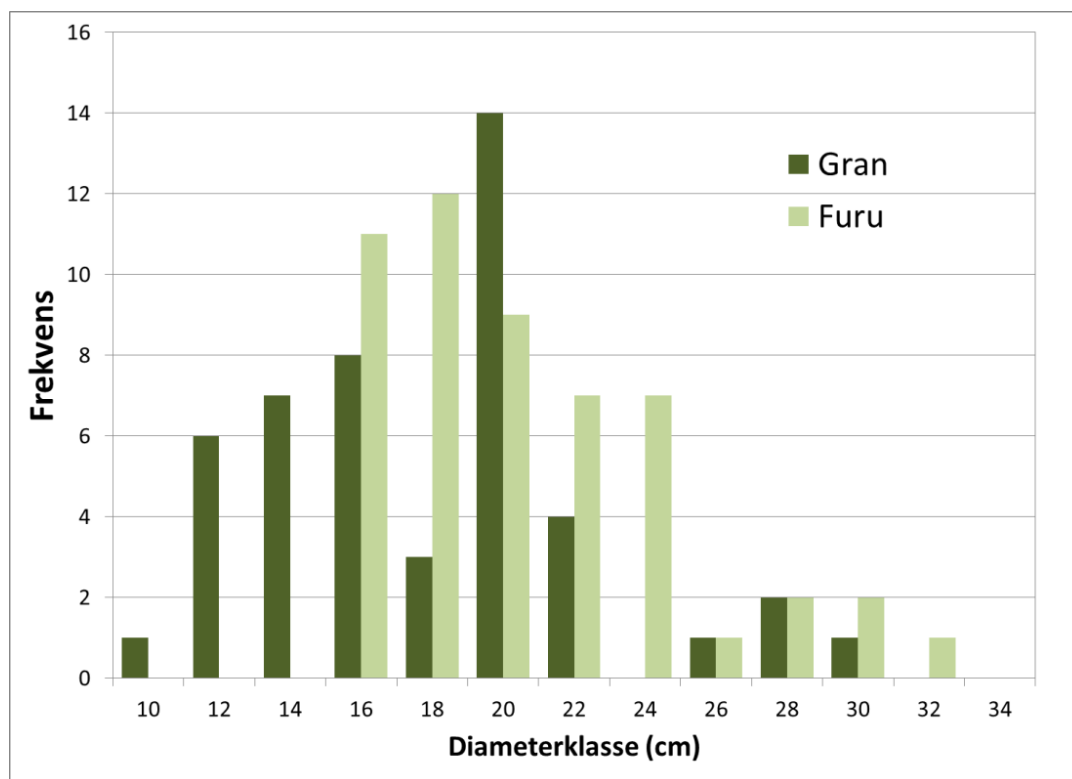
### 2.3. Hogstfeltet

Feltstudiene ble gjennomført i september 2013 v/ Moagrenda som ligger midt mellom Kvam og Sjoa i Gudbrandsdalen (figur 2). Maskinen gikk i en flatehogst - primært gran, med litt innblanding av furu. Forholdene var gode. Temperaturen lå på litt over 20 grader, og det var oppholdsvær under hele studiet. Terenget kan beskrives som lett, med en helling på omkring 43%, og nærmest helt jevn overflate.



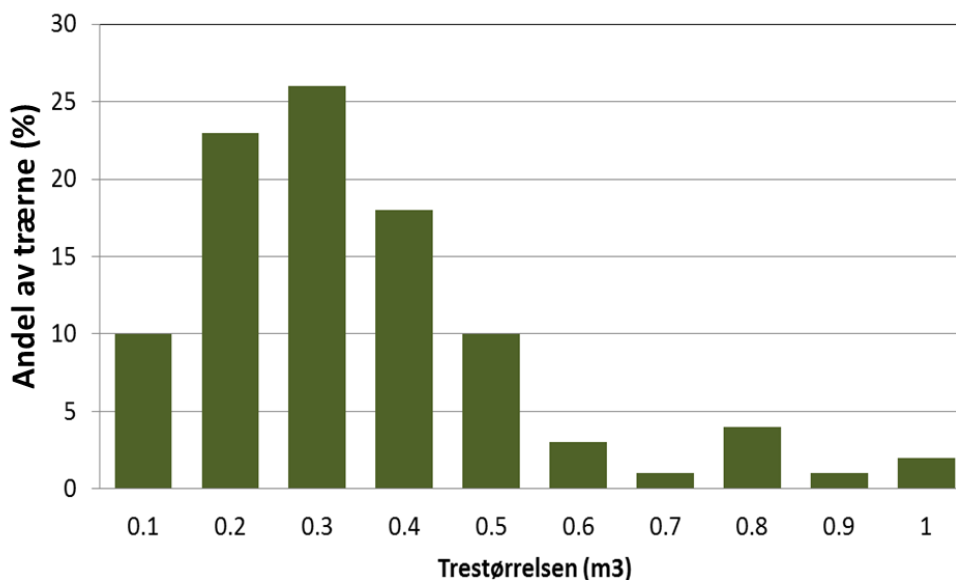
Figur 2 Kart over området i Gudbrandsdalen hvor feltstudier ble gjennomført.

Bestandet var mellom 60-70 år gammel. Volumberegninger er gjort ut fra målinger av diameteren på 98 trær (figur 3) og ca. 20 trær (høyde og diameter) ved hjelp av modeller fra Skog og landskap ([http://www.skogoglandskap.no/kalkulator/volumberegning\\_enkeltraer](http://www.skogoglandskap.no/kalkulator/volumberegning_enkeltraer)) Volumfordeling er angitt i figur 4. Antall trær (her stubber) ble registrert etter hogst på 3 tilfeldige prøveflater, hver på 260 m<sup>2</sup>. Det var i gjennomsnitt 16 stubber pr. flate som tilsvarer 61 trær pr. daa.



Figur 3 Diameterfordeling (i brysthøyde) - Gran og Furu

Størsteparten av trærne var mellom 0.2-0.4 m<sup>3</sup> (Figur 4 ). Det var noe spredning i trestørrelsen (volumet) med enkelte trær opp til 0.6-1.0 m<sup>3</sup>. Under selve tidsstudiet ble trestørrelsen estimert i forhold til 3 størrelseskategorier, 1, 2 og 3. Veid stammevolum for de 3 kategoriene er beregnet ut fra de 98 målte trærne. Gjennomsnittstreet i kategori 1 var 0.17 m<sup>3</sup> (53% av trærne), for kategori 2 - 0.31 m<sup>3</sup> (39% av trærne) og for kategori 3 - 0.56 m<sup>3</sup> (8% av trærne). Gjennomsnittstreet (alle kategorier) blir ut fra dette 0.27 m<sup>3</sup> pr tre. Med 61 trær gir det 16.5 m<sup>3</sup> pr dekar – et forholdsvis lavt hogstkvantum tilsvarende en bonitet på ca. G11.



Figur 4 Fordeling av trestørrelsene

### 3 PRESTASJONSSTUDIER

Første del av tidsstudiet (en dag) ble brukt til tilpasning ut fra observasjoner, og tolkning av de foreløpige resultatene. Deretter foregikk selve studiet over en periode på 4 dager.

Driftsopplegget er delt inn i 3 arbeidsoperasjoner (felling, vinsjing, og opparbeiding) og består av et 2-manns lag (1 maskinfører og 1 feller/stropper). Det er en balansegang å få arbeidet fordelt mellom vinsjing og opparbeiding i et forsøk på å maksimere systemproduktiviteten. Timeprisen for maskin inkl. maskinføreren er satt til 1000 kr og for feller/stropper, inklusive motorsag til 250 kr. Det gir en systempris på 1250 kr, med det viktige faktum at all ventetid helst skal legges over på feller/stropper. I det følgende omtales hovedkomponentene først hver for seg, senere i systemsammenheng. Tidsforbruk på de enkelte arbeidselementene er målt i centi-minutter (hundredeler av et minutt, eller 0,6 sekunder) og etterfølgende konvertert til sekunder. Det skilles mellom virketid ( $E_0$ ) som den effektive arbeidstid rensert for alt tapstid, og  $E_{15}$  tid, som inneholder alt tapstid med opp til 15 minutters varighet. Den siste ligger derfor tettere opp til en vanlig arbeidsprestasjon, mens  $E_0$  viser driftssystemets beste prestasjon under de gitte forhold. Tapstid utover 15 minutter – f.eks. reparasjoner på maskinen, spleising av ødelagt tau, justering av endefestene osv. tas ikke med i beregninger. Flytting og montering av banen fremgår heller ikke av  $E_0$  eller  $E_{15}$  tid.

### 3.1. Felling

Fellingen foretas vekselvis med stropping. Når vinsjing pågår, stropes det 5-7 lass á 2,2 trær i gjennomsnittet. Det vil si at det skal felles mellom 12 og 16 trær mens maskinen er opptatt med opparbeiding. Når trærne felles for vinsjing oppover - som tilfellet var her - går det noe raskere enn ved mer «rettet felling» som kan være nødvendig når det vinsjes nedover og rotstropping fortrekkes mht. den videre opparbeiding. Tidsforbruket til felling ble målt på 217 trær. De ulike arbeidselementene (deltidene) og gjennomsnittlig tidsforbruk pr. tre framgår av tabell 2.

Tabell 3 Tidsforbruk til felling – fordelt pr. trestørrelse og arbeidselement (i sekunder pr. tre).

Arbeidselement	Beskrivelse	Sammenlagt	Små	Mellom st.	Stor
Flytte	Går til neste tre	18.3	17.2	18.6	17.7
Rydde	Fjerne småtrær/fluktvei	4.4	1.7	3.7	3.5
Forberede	Kviste opp stammen	11.4	6.8	8.6	5.7
Kile	Banke kilen inn	11.3	3.0	15.2	19.7
Felle	Felling	35.6	21.6	40.6	77.5
Virketid ( $E_0$ sek)	Samlet tid uten tap -	81.0	50.3	86.7	124.1
Tapstid	All tapstid <15 min.	10.2	3.8	7.8	66.9
Totaltid ( $E_{15}$ sek)	Samlet tid inkl. tapstid	91.2	54.1	94.5	191
Effektivitet	Trær / $E_{15}$ time	39.5	66.5	38.1	18.9
Prestasjon	$M^3$ / $E_{15}$ time	10.0	6.65	11.8	10.6

Tabellen viser et gjennomsnittlig tidsforbruk på 81 sek. pr tre ( $E_0$  tid) og 91.2 sek. pr tre ( $E_{15}$  tid) (den siste tilsvarer 39.5 trær og 10  $m^3$  pr.  $E_{15}$  time). Det er forståelig nok store forskjeller i tidsforbruk til felling og bruk av kilen mellom størrelsesklassene. Når det kompenseres for andel trær i hver størrelseskategori og gjennomsnittlig kubikk i hver klasse, ender man på en prestasjon på felling på ca. 10.6  $m^3$  pr.  $E_{15}$  time - som må sies å være ganske god, trestørrelsen tatt i betraktning.

### 3.2. Vinsjing

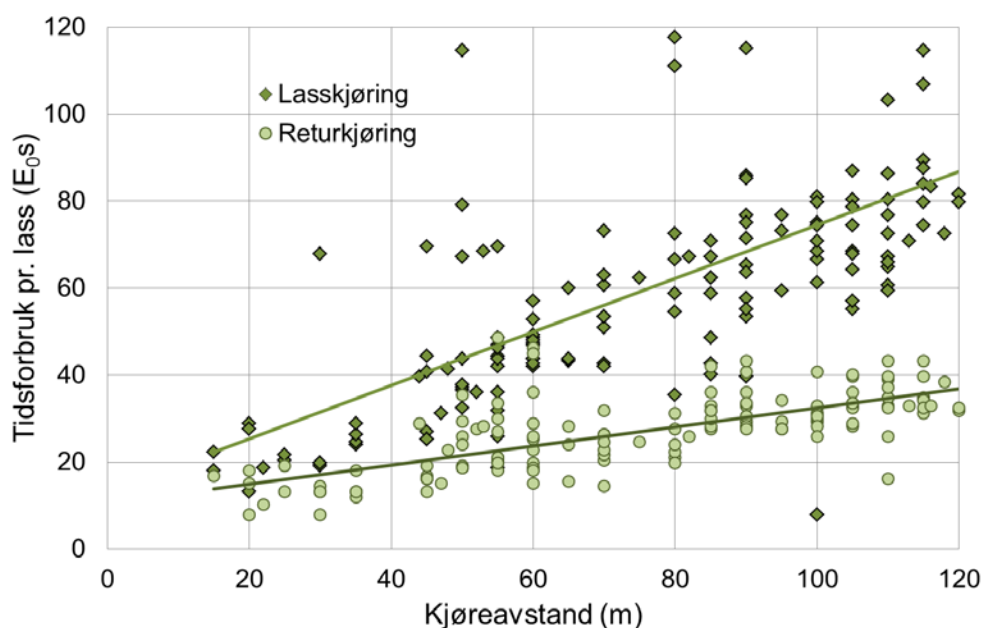
Vinsjing omfatter den del av produksjonskjeden hvor de liggende trærne stropes og lunnes inn til lunneplassen, inklusive avstropping. Trærne legges i haug klar for opparbeiding. Teamet velger å vinsje 5-7 lass á 2,2 trær (i alt ca. 12-16 trær) før de skifter arbeidsoppgave ved at maskinfører kvister og kapper (opparbeider), mens stropper feller trær.

Det ble kun tidsstudert oppovervinsjing. Det var 3 uavhengige variabler: returkjøringsavstand, avstanden som heiselinene trekkes ut, og antall trær pr lass (og størrelsesfordeling). De uavhengige variabler er de som i størst grad påvirker tidsforbruket. Returkjøringsavstanden kan for eksempel ikke påvirkes, men den har stor betydning for tidsforbruket (både for lasskjøring og returkjøring). Det er imidlertid lasskjøringen som er mest påvirket av avstanden, da hastigheten er sterkt redusert.

Tabell 4 Fordeling av tid til arbeidselementene

Arbeidselement	Beskrivelse
Returkjøring	Fra løpekatten settes i gang fra basmaskinen og til den når frem til stropperen i bestandet (avstand registreres, m)
Heiseline-ut	Fra løpekatten ankommer stropperen og frem til han står klar ved treet til stropping – hvis stropperen fortsetter til neste tre så bli tidsforbruk til dette lagt til (avstand registreres, m).
Stropping	Fra stropperen ankommer stroppestedet på stammen og inntil han er klar til å vinsje inn eller går til neste tre (inkl. tidsforbruk til å gå i sikkerhet før innvinsjing)
Heiseline-inn	Vinsjing inn til banen – dog med løpende bærekabel foregår det ikke symmetrisk som med fast bærekabel. Beskriver derfor mer tidsforbruket i forbindelse med å få lasset i bevegelse mot basmaskinen.
Lasskjøring	Tiden fra lasset er kommet i bevegelse og inntil den når frem til lunneplassen (antall trær registreres også)
Plassering	Fra lasset ankommer lunneplass og står stille, frem til det ligger rolig på bakken. Spesielt for denne maskinen er en liten forsinkelse i hydraulikken
Avstropping	Fra lasset ligger på bakken og frem til at løpekatten er satt i bevegelse for å hente neste lass
Tapstid	Alle forsinkelser registreres og anmerkes – håndteres på ulike måter i rapporteringen ( $E_0$ , $E_{15}$ )

Figur 5 viser tidsforbruk til henholdsvis lasskjøring og returkjøring. Begge har forholdsvis god sammenheng til avstanden, men løpekatten går forståelig nok noe saktere under lasskjøring. Når de to funksjonene legges sammen, får man kjøretiden pr. lass.



Figur 5 Tidsforbruk til lass- og returkjøring, som funksjon av avstand

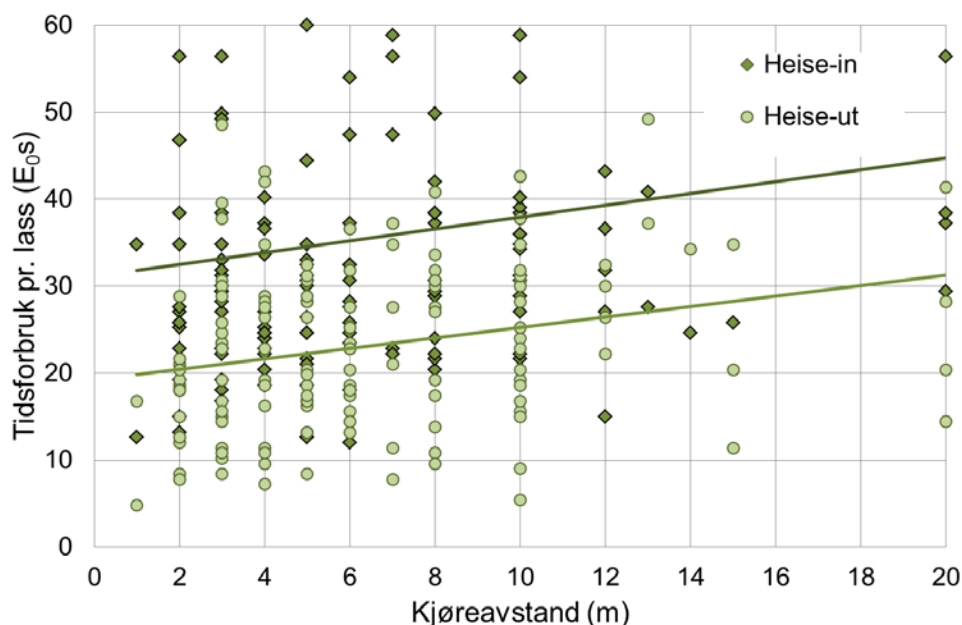
### 3.2.1. HEISELINE INN OG UT

I bestandet var det liten sammenheng mellom tidsforbruk til uttrekking av heiseline og avstanden den ble trukket ut. Det kan delvis forklares med at det var bra terrengforhold, og at uttrekking gikk raskt. Det var relativt få observasjoner i avstander større enn 10 m. Det var som forventet da banen har begrenset side-rekkevidde i forhold til en fast bærekabel.



Montering av banen går relativt raskt, og teamet må derfor finne den riktige balansen mellom monterings tid (på grunn av flytting) og tiden som går til uttrekking av heiselinen (Figur 6).

«Heise inn» betyr vinsjing inn mot banen, og tar noe lengre tid enn uttrekking av linen (manuelt). Arbeidsoperasjonen er ofte påvirket av forhold omkring hvert enkelte lass. Et tre som kjøres fast eller at lasset er for tungt, gir et uforholdsmessig stort tidsforbruk, jf. figuren. Statistisk sett er det et nokså svakt forhold mellom tidsforbruket og avstand – dvs. at spredning i tidsforbruket innenfor hver avstandsklasse er så stor at kun en mindre andel forklares av avstanden. Det vil ellers (f.eks. med fast bærekabel og god pilhøyde) forventes noenlunde klar relasjon mellom de to tidsforbruk og avstand.

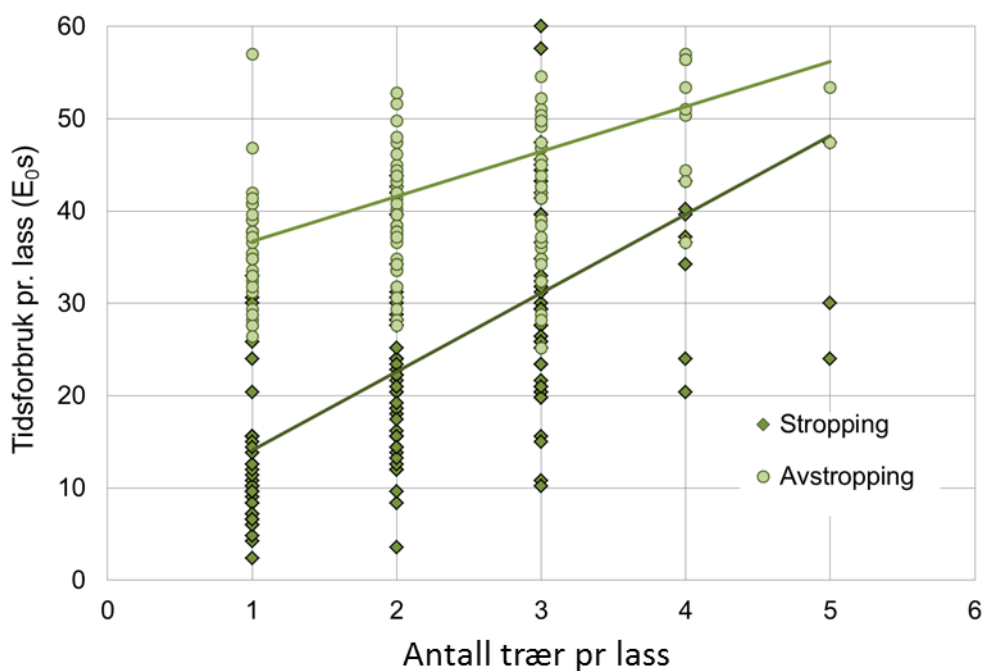


Figur 6 Tidsforbruk til uttrekking av heiselinen (heise-ut) og innvinsjing (heise-inn), inntil det slår over i lasskjøring.

### 3.2.2. STROPPING/AVSTROPPING

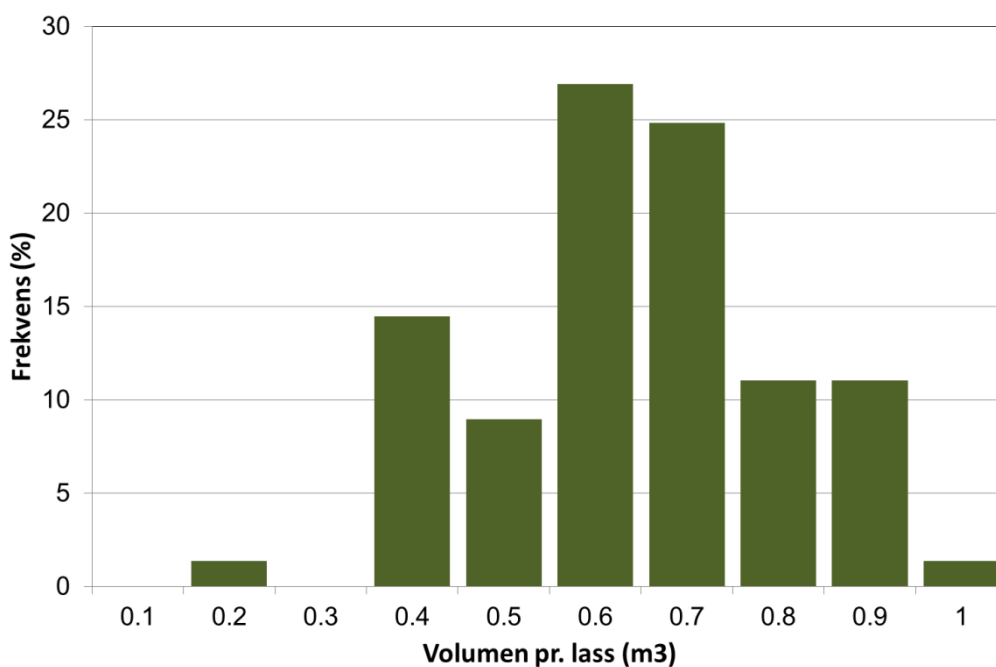
Avstropping av trærne ved lunneplassen foregår ved at maskinføreren stopper kjøring av maskinen, klatrer ned fra førerhuset og går over til hivet, hvor han så løsner stroppene. Tiden til avstropping ble målt fra da hivet lå på bakken og frem til maskinføreren igjen satt oppe i maskinen og skulle til å sette løpekatten i bevegelse for neste lass. Det går betydelig mer tid til avstropping enn til stropping, men forskjellen mellom de to er avtagende med økende antall trær da størsteparten av tidsforbruket (klatring opp og ned fra maskinen) er konstant for maskinkjøreren, mens for stropperen øker stropptid for hvert tre (Figur 7).

Tiden til avstropping synes å være såpass stor (ca. 40 sek. i gjennomsnitt), og ikke minst forstyrrende for arbeidsgangen, at det kunne med fordel overveies og innsette automatiske (selvutløsende) stropper. Noe som taler imot at de tas i bruk på nettopp denne maskinen, er at det sjeldent oppnås noen nevneverdige pilhøyde, og at stroppene derfor oftest slepes på bakken – dvs. over stein og blokk. Dette vil antakelig føre til ekstra slitasje - noe som også vil forekomme under opparbeiding, hvor maskinen dreier om egen akse. Selv om vinsjene er selvjusterende, svinger løpekatten opp og ned, og de tunge selvutløsende stroppene (1.8 kg pr stk.) blir slengt i bakken ved hver vending.



Figur 7 Tidsforbruk til hhv. stropping og avstropping, i forhold til antall trær pr. lass

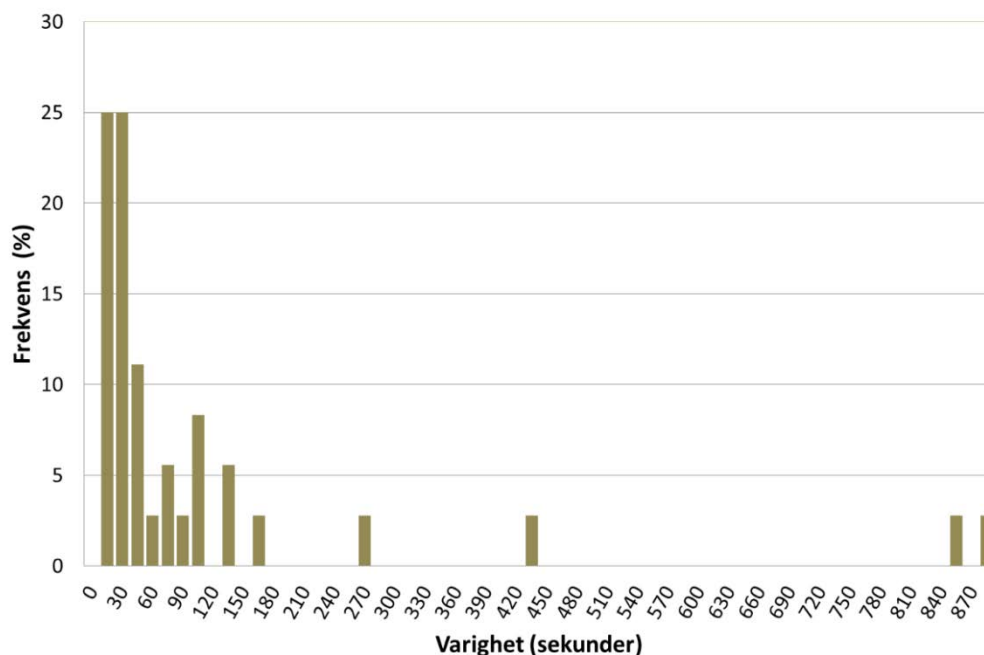
Lasstørrelsen er en viktig parameter for prestasjonen, og er en kombinasjon av antall trær pr. lass og størrelsen på det enkelte tre. Det vil oftest være en blanding av store og små trær, og derfor er både antall og størrelse av trærne registrert. Figur 8 viser fordelingen av lasstørrelsen, hvor det især er av interesse å se at størsteparten av observasjonene (40%) har et volum på ca. 0,5 m<sup>3</sup>, og nesten alle er fordelt i intervallet 0,25- 0,75 m<sup>3</sup> pr. lass. Gjennomsnittlige lasstørrelse var på 0,61 m<sup>3</sup>



Figur 8 Fordeling av lasstørrelsen

### 3.2.3. TAPSTID

Det oppstår en del tapstid under vinsjing av ulike årsaker. Det kan være alt fra at stroppene har viklet seg inn i wiren, at maskinfører har en telefonsamtale, at det fylles diesel på maskinen eller at det er skjedd et teknisk brudd som krever litt oppmerksomhet. Det oppstod forsinkelser i litt over 27% av lassene. Langt de fleste tapstider er kortvarige (50% er under 30 sek.), men det oppstår av og til avbrudd av større varighet – opptil 900 sek. eller 15 minutter (Figur 9). Formen på profilen likner i stor grad på de fleste produksjonssystemer, med mange korte forsinkelser (høy frekvens) og få, langvarige forsinkelser (lav frekvens).



Figur 9 Varighet av tapstid under vinsjing – når det først oppstår

Av de sammenlagte 9 timers målinger på vinsjing gikk det én time tapt – dvs. 11% av produksjonstiden.

### 3.2.4. SAMMENDRAG – VINSJING

Når det ses på vinsjing som helhet dannes det en idé om hvordan maskinen ville prestere når den bare skulle agere som taubane – hvor det ikke tas opparbeiding med. I et oppsett med 2 maskiner kunne man forestille seg en gravemaskin utstyrt med opparbeidingsaggregat, mens vinsjen bare hadde vanlig tømmerklo, som kunne benyttes i det omfang som er nødvendig til flytting av trærne / tømmerstokkene.

Den samlede arbeidstiden inneholder alle elementene nevnt i Tabell 4, og vises både som  $E_0$  (effektive driftstimer helt uten tapstid),  $E_{15}$  (effektive driftstimer inklusiv all tapstid på opptil 15 min. i timen), samt arbeidsplassetid (totaltid) som består av sammenlagt observert tid med all tapstid innbefattet.  $E_0$  og  $E_{15}$  timer er standardiserte begreper som brukes internasjonalt - noe som gjør studier sammenlignbare, selv om det oppstår tapstid av ulike årsaker og lengde.

Tabell 5. Statistikk fra tidsstudiet på vinsjing (sekunder pr lass) - oppsummering

Arbeidselement	Gjennomsnitt	Standardavvik	Minimum	Maksimum
Returkjøring	27.2	8.8	7.8	48.6
Heiseline-ut	23.2	9.6	5.4	49.2
Stropping	24.8	14.7	2.4	76.2
Heiseline-inn	35.5	18.1	12.0	112.2
Lasskjøring	58.7	24.9	13.2	154.2
Avstropping	42.2	11.2	25.2	101.4
Tid pr lass (E <sub>0</sub> )	212.2	51.2	110.4	366
Tapstid	27.8	114.2	0	875
Tid pr lass (E <sub>15</sub> )	240.0	130.1	110.4	1121
Trær pr. lass	2.25	0.98	1	5

Når tiden til alle arbeidselementene legges sammen, kommer man frem til at gjennomsnittstiden per lass er 212 sek – det svarer til 17 lass i timen uten tapstid (E<sub>0</sub>) og 240 sek (4 min.) (15 lass i timen) når tapstiden medregnes (E<sub>15</sub>). Med et gjennomsnittlass på 0.61 m<sup>3</sup> gir det en prestasjon på 10.4 m<sup>3</sup> E<sub>0</sub> time og 9.2 m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub> time - det siste er det mest relevant tall å bruke i rapporteringssammenheng.

Prestasjonen for vinsjing beskrives av følgende funksjon:

*Prestasjon (m<sup>3</sup> per E<sub>15</sub> timen) = 5.80 - 0.06 x avstand - 0.11 x heiseline avstand + 19.57\*vol pr. lass - 1.18\* antall trær pr lass.*

### 3.3. Opparbeiding

Mannskapet valgte å vinsje ca. 5-7 lass og deretter gå over til hhv. opparbeiding og felling. Dette fungerte bra, selv om det ikke fremgikk helt klart hva som bestemte nettopp denne skift-frekvensen. Den mest sannsynlige årsaken er økende vanskeligheter med avstropping når det ligger for mange trær «i haug» ved velteplassen.

Måling av opparbeidingstiden ble forenklet til selve opparbeidingsdelen og sortering / rydding av velteplassen. Tidselementene studerte under opparbeiding, som innhold 254 trær (745 stokker), er beskrevet i 5b.

Tabell 5b Tidselementene målt under opparbeiding - gjennomsnittstid er angitt pr. tre, sammenlagt for alle trestørrelser

Element	Beskrivelse	Tid (sek) fordelt på tre-størrelse			Gjst.
		Str.1	Str.2	Str.3	
Trestørrelse	Gj.s. volum pr tre og størrelsesklasse (m <sup>3</sup> )	0,17	0,31	0,56	0,254
Antall trær		135	100	19	254
Forberedelse	Målt fra når aggregatet tar tak i treet frem til at fellesnittet er rettet opp, treet er bragt i posisjon og oppkvisting er satt i gang	15,1	18,3	24,7	17,1
Opparbeiding (1-n)	Tidsforbruk på oppkvisting og kapping av stokkene	32,5	54,6	83,3	45,0
Biomasse	Håndtering av GROT	3,2	2,6	1,8	2,9
Sortering	Sortering av stokkene i ulike hauger	16,9	19,6	11,6	17,6
Tid pr tre (E <sub>0</sub> )	Gj.s. tid pr tre. (E <sub>0</sub> sek.)	67,7	95,1	121,4	82,5
Tid pr m <sup>3</sup> (E <sub>0</sub> )	Gj.s. tid pr m <sup>3</sup> (E <sub>0</sub> sek.)	398,2	306,8	216,8	348,6
Prestasjon (E <sub>0</sub> )	<b>Kubikkmeter pr E<sub>0</sub> time</b>	<b>9,0</b>	<b>11,7</b>	<b>16,6</b>	<b>10,6</b>
Tapstid	Alle former for tapstid er tatt med her	3,0	1,2	5,4	2,5
Tid pr tre (E <sub>15</sub> )	Gj.s. tid pr tre. (E <sub>15</sub> sek.)	70,7	96,3	126,8	85,0
Tid pr m <sup>3</sup> (E <sub>15</sub> )	Gj.s. tid pr m <sup>3</sup> (E <sub>15</sub> sek.)	415,9	310,6	226,4	360,0
Prestasjon (E <sub>15</sub> )	<b>Kubikkmeter pr E<sub>15</sub> time</b>	<b>8,6</b>	<b>11,6</b>	<b>15,9</b>	<b>10,0</b>

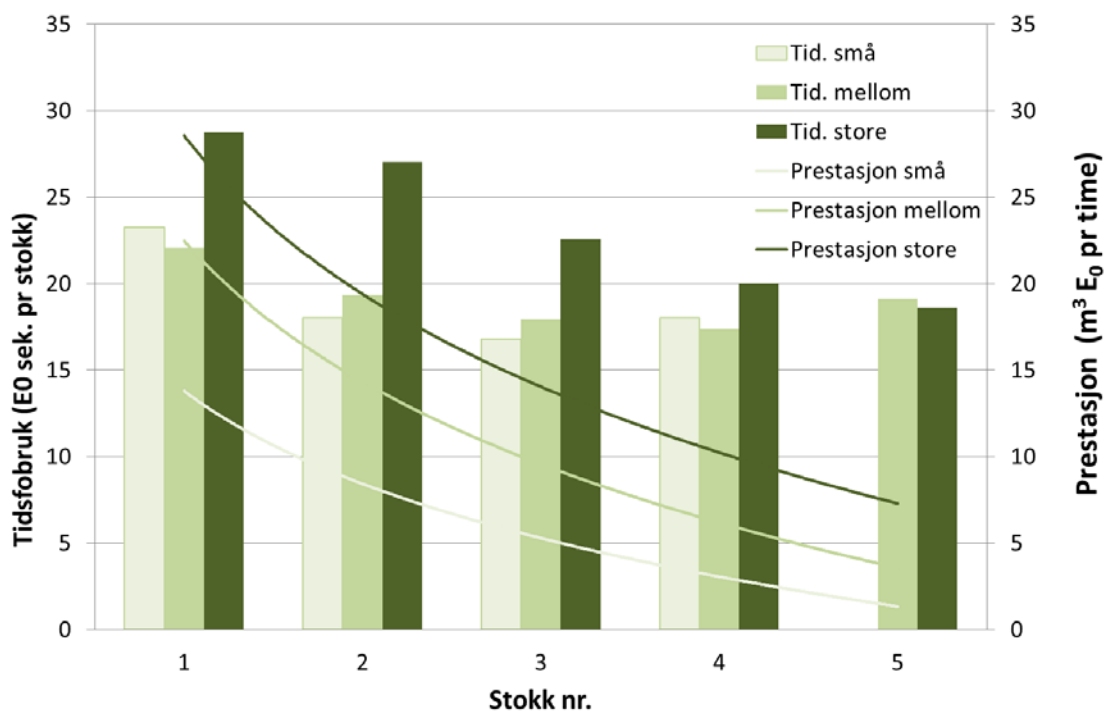
\*Verdiene her er veid med antall trær og m3 i hver størrelsesklasse

### 3.3.1. FORBEREDELSE

I tidsstudiet fungerte taubanen som fallbane (trærne ligger i skråningen på nedsiden av vinsjen med rotenden mot maskinen). Forberedelsen inkluderer å gripe tak i treet, sleping opp på velteplassen og renkapping av rotenden. Her øker arbeidstiden med trestørrelsen, fra 15 sek./tre for de små, til 18 sek. for de mellomstore og 25 sek. for de store. Det ble ofte kappet et vesentlig stykke av rotenden – en praksis hvis nødvendighet kanskje skal sees litt nærmere på, da det medfører både tids- og volumtap.

### 3.3.2. KVISTING OG KAPPING

Det tar i gjennomsnitt 71 E<sub>15</sub> sekunder å opparbeide (kviste og kappe) et mindre tre, 96 E<sub>15</sub> sekunder for et mellomstort tre og 127 E<sub>15</sub> sekunder for et stort tre, når *forberedelsen* også medregnes. Her er sortering og håndtering av GROT tatt med. Figur 10 viser opparbeidingstiden fordelt per stokk. Her er forberedelsestiden fordelt på stokkene i samme forhold som antatt volumfordeling. Det er mange flere observasjoner for stokkene 1-3 enn 4-6 i alle størrelsesklassene, men de mellomstore trærne gir en fornuftig basis for evaluering. Her er det 84 observasjoner av stokk 3., 53 av stokk 4 og 28 av stokk 5.



Figur 10 Tidsforbruk til opparbeiding av stokkene i et tre – fordelt til 3 størrelseskategorier (små- 0.17m<sup>3</sup>, mellomstore- 0.32 m<sup>3</sup> og store- 0.56m<sup>3</sup>). Stokk nr. er posisjon på stokken i stammen, hvor 1. er i rotstokken. Tidsforbruket inkluderer forberedelsen av stammen til opparbeiding.

Når tidsforbruket regnes om til prestasjon, og det vektes for antall observasjoner innenfor hver størrelsesklasse og stokk nummer, så kommer man frem til opparbeidings- og kostnadstall som angitt i Tabell 5. Prestasjonen varierer fra 8.6 m<sup>3</sup> pr E<sub>15</sub> time for små, til 15.9 m<sup>3</sup> for de store trærne. Det antas en pris på 1000 kr / timen for maskinen under opparbeiding, inkl. maskinføreren.

Selv om det koster omlag det halve å opparbeide et lite tre i forhold til et stort, så gir effektivitet pr kubikk så stort utslag at kubikkmeterprisen for små trær ender på ca. 94 kr/m<sup>3</sup> mens for store trær ligger prisen på omkring 54 kr/m<sup>3</sup> – dvs. små trær koster 34 % mer pr. kubikk å opparbeide enn mellomstore trær, og ca. 75% mer enn de store. Det viser



viktigheten av at det for entreprenørens vedkommende er så ensformete store trær som mulig.

Tabell 6 Kostnader ved opparbeiding - etter trestørrelse (kategori) og stakk nr., samt gjennomsnittet

Tre størrelse	M3/tre	Pris pr. m <sup>3</sup> og stakk.					m <sup>3</sup> †	Kr./m <sup>3</sup>	Kr. / tre
		1	2	3	4	5			
<b>Små</b>	<b>0.17</b>	77.62	98.19	182.80	491.52	-	10.3	93.87	15.96
<b>Mellomst.</b>	<b>0.31</b>	49.49	57.80	80.41	259.66	428.24	13.8	70.09	21.73
<b>Store</b>	<b>0.56</b>	39.60	43.26	53.25	124.07	230.71	17.2	54.17	30.33

\* Antall kubikkmeter som inngikk i studiet

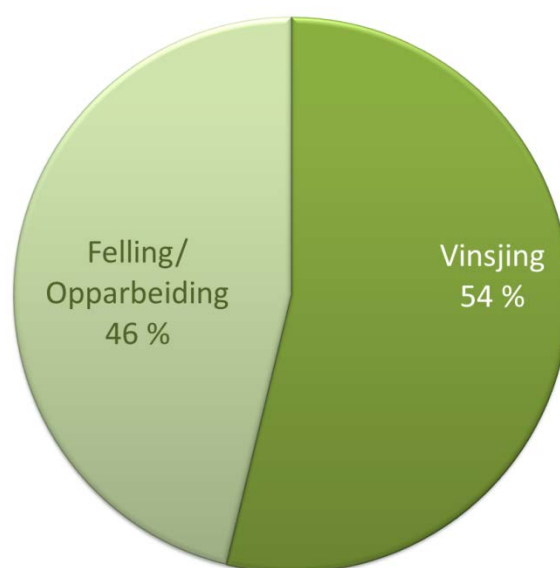
## 4 SYSTEMANALYSE

I det foregående er det sett på de individuelle arbeidsoppgavene felling, vinsjing og opparbeiding. Det er gjort for å få bedre innsikt i prosessene hvor det utføres en detaljert evaluering som munner ut i prestasjonsfunksjonene. Men systemets prestasjon er sjelden summen av produksjonssatsene i hver enkelt deloperasjon. Interaksjon mellom ledd i systemet kan forårsake både hindringer og synergier. Derfor er det nødvendig å gjennomføre en systemanalyse for å forstå hvordan produksjonsfaktorer påvirker systemets prestasjon.

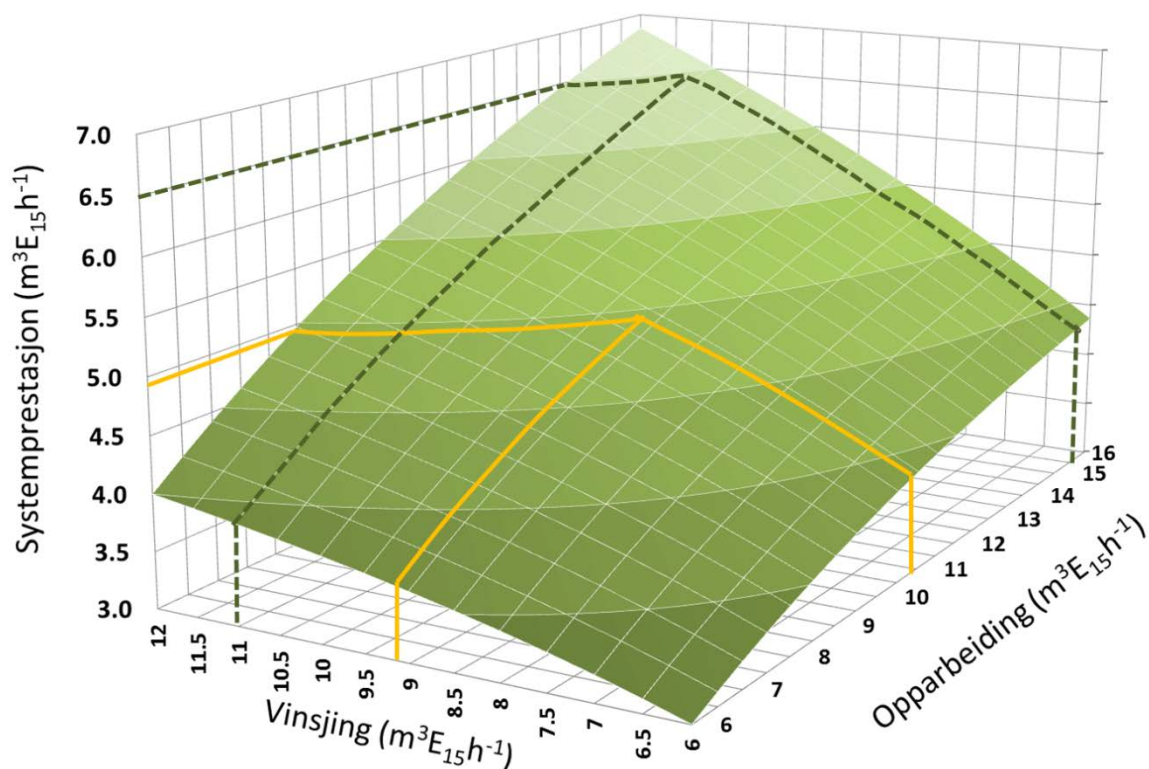
I sin mest enkle form kan systemanalysen bestå av en fordeling av systemtiden til de ulike funksjoner – her vinsjing, og det som det går mest tid til av felling eller opparbeiding (Figur 11). Som figuren viser vil en økning i en av komponentene øke andelen av tiden til den andre, og systemprestasjonen vil dermed økes, - dog kun med 50% av besparelsen.

Den samme effekt gjør seg gjeldende og er lettere å få øye på når den ses i tre dimensjoner. Figur 12 viser hvor lite

systemprestasjonen responderer overfor økninger i vinsjing eller opparbeiding. Begge to skal økes for å gi et nevneverdige utslag. Mens den gule linje angir dagens prestasjoner (9.2 m<sup>3</sup> pr E<sub>15</sub> t, 10.6 m<sup>3</sup> pr E<sub>15</sub> t i opparbeiding og 4.9 m<sup>3</sup> pr E<sub>15</sub> t i systemprestasjon), så viser den stiplede grønne linjen en forholdsvis lettoppnåelig prestasjon på 6.5 m<sup>3</sup> pr E<sub>15</sub> t. Denne oppnås ved å øke prestasjonen både i opparbeidings- og vinsjingsleddene, noe som kan gjøres ved å anvende maskinen for større trær og ikke minst, mer ensformede trær. Her er middelvolumet på ca. 0.5 m<sup>3</sup>.



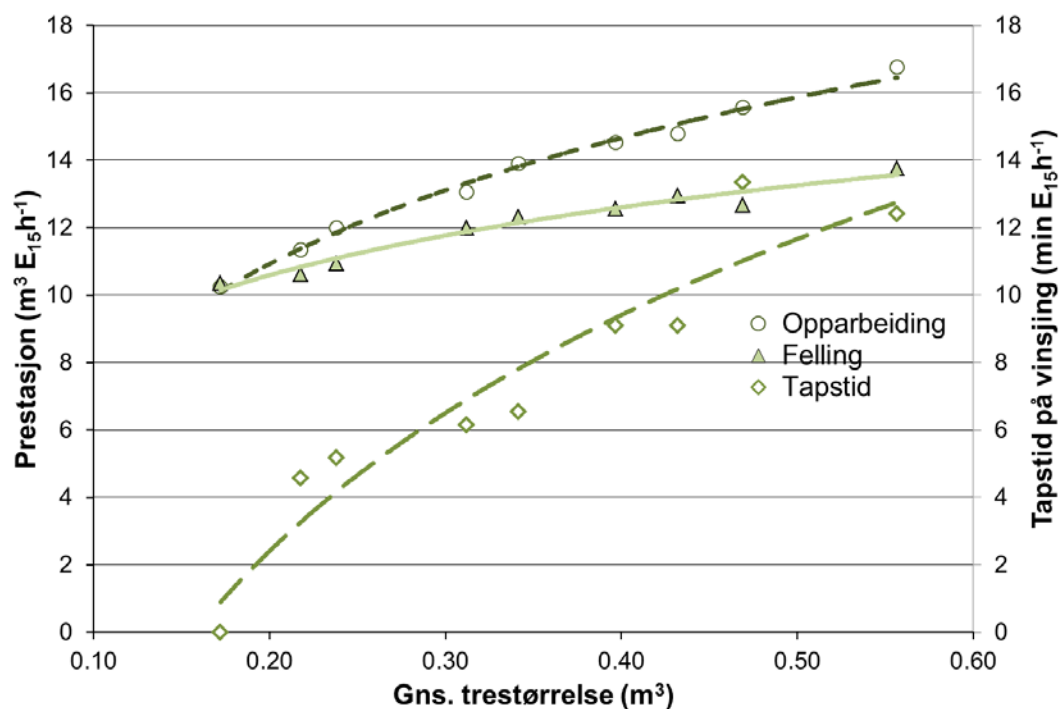
Figur 11 Fordeling av systemtid til hhv. vinsjing og felling /opparbeiding



Figur 12 Følsomhetsanalyse av systemprestasjon i forhold til endringer i vinsjing eller opparbeiding. Figuren viser hvordan forholdsvis store økninger i prestasjoner må til for å gi bare moderate økninger i systemprestasjonen. Den gule linjen angir verdiene observert under studiet mens den grønne stiplede linjen angir prestasjonene oppnådd med den største tredjedelen av trærne.

#### 4.1. 2 eller 3 personer på laget?

Et spørsmål som bør stilles er om, eller når, det er behov for flere menn på laget. Hogstsystemet drives for det meste av 2 menn, en maskinfører og en som skiftevis feller og stropper. Under studiet var det en fornuftig balanse mellom felling og opparbeiding, slik at det var et minimum av arbeidstapstid. Men 2 faktorer kan være med til å påvirke denne balansen og dermed øke tapstiden i systemet. Den ene er om fellingen forsinkes pga. hyppig bruk av kilen (oftest ved felling til nedovervinsjing), - og det andre er at prestasjonen ved opparbeiding med økende trestørrelse øker noe fortere enn det gjør for fellingen. Her vil det kunne oppstå fare for ventetid på maskinen enten pga. nedovervinsjing eller når det vinsjes og opparbeides større trær- eller en kombinasjon av begge deler .



Figur 13 Prestasjon på felling( $\circ$ ) og opparbeiding som funksjon av tre størrelsen. Den tredje linje, tapstid ( $\diamond$ ) avleses på høyre akse og viser arbeidstapstiden (i minutter) som oppstår som følge av at vinsjingen ikke kan settes i gang før nok trær er hogd.

#### 4.2. 1 eller 2 basmaskiner?

Zöggeler maskinen er den eneste bardunfrie taubane som har kapasitet til både opparbeiding og vinsjing selv om funksjonene ikke kan utføres samtidig. Konsekvensene av dette er omtalt tidligere i rapporten, og ses f.eks. i figurene 11 og 12. Et alternativ er å fordele vinsjing og opparbeiding ut på to ulike basmaskiner. Her kan det antas at man kan bruke samme type basmaskin som man anvender i dag. Men en slik beslutning vil også medføre konsekvenser for bemanningen. I tabellen nedenfor vises det 3 alternative scenaria (Sc1, Sc2 og Sc3) som vil kunne utgjøre realistiske alternativer: Sc1 tilsvarer dagens anvendelse, dvs. 1 mann i bestandet og 1 maskin som utfører alle funksjonene. Under Sc2 er det 2 personer (1 feller og 1 stroppe) i bestandet og 1 maskin. I Sc3 er det de samme 2 personer i bestandet, men nå er det 2 maskiner på velteplassen, en som vinsjer og en som opparbeider/stabler på full tid (Tabell 7).

Tabell 6 Skjematisk presentasjon over de 3 scenaria skissert ovenfor.

Arbeidselement		Sc1	Sc2	Sc3
I bestandet	Felle	Person_A	Person_A	Person_A
	Stroppe		Person_B	Person_B
På velteplassen	Vinsje	Maskin_1	Maskin_1	Maskin_1
	Opparbeide			Maskin_2

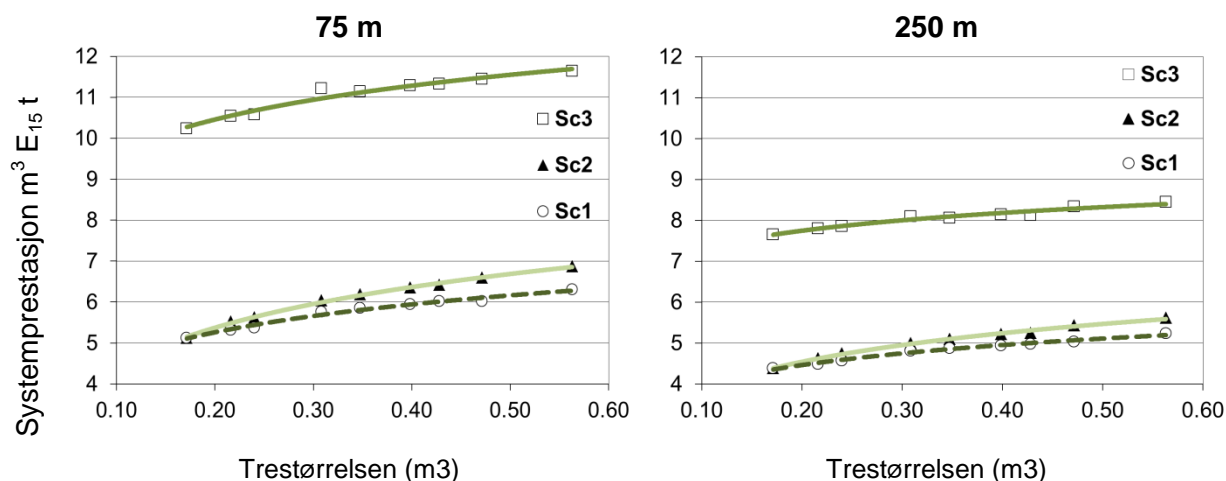
Ved å bruke prestasjonsfunksjoner fra tidsstudiet kan man kjøre simuleringer som tar hensyn til endrende verdier i en rekke variabler. Det beregnes således prestasjonstall for alle realistiske kombinasjoner er verdiene. Variablene som varieres kan f.eks. være avstandene som både løpekatten kjøres ut, avstanden som heiselinene trekkes ut, antall trær som

stoppes i hvert lass, og størrelsen på de enkelte trær. Resultatene av simuleringen, som kjøres tusenvis av ganger, gir dermed et robust estimat omkring gjennomsnittsverdien.

#### 4.3. Simulerte prestasjoner vs. ulike trestørrelser

Figurene i tabellen nedenfor viser resultater av simuleringen for en banelengde på 75m (kolonnen til venstre) og en banelengde på 250 m, som også er maksimum lengde (kolonnen til høyre). Den første rekken viser systemprestasjon i m<sup>3</sup> pr. E<sub>15</sub> t. For en banelengde på 75 m ses det at Sc1 (dagens oppsett) gir dårligst prestasjon, og at det skjer et avvik fra Sc2 med økende tre størrelse (x-aksen). Avviket skyldes at prestasjonen på opparbeiding øker fortere enn prestasjonen på felling og at det derfor oppstår maskintapstid når det kun er en mann som både felle og stroppe (figur 13). Sc3 (to basmaskiner og 2 menn i bestanden) resulterer i en prestasjon som er ca. det dobbelte av Sc1 og Sc2, som forventet. Men når banelengden økes til 250m er både nivåene og forskjellene redusert (Fig 14).

Den forholdsvis sakte lass- og returkjøring (figur 6) betyr at vinsjing kommer til å ta en større og større andel av systemtiden, og prestasjonen i opparbeiding får derfor mindre og mindre betydning for systemets prestasjon.



Figur 14 Systemprestasjon i forhold til trestørrelsene for to ulike banelengde og 3 scenaria (Sc1, Sc2 og Sc3)

#### 4.4. Systemkostnader

Kostnadsmodellen er bygget opp omkring en del antakelser og estimater, og er mest tiltenkt en relativ sammenlikning mellom ulike scenaria (Tabell 8 Kostnadsantakelse angitt i norske kroner (2014)). Den skal derfor ikke brukes som en absolutt gjengivelse av prisene på markedet men de ligger nok ikke så langt ifra.

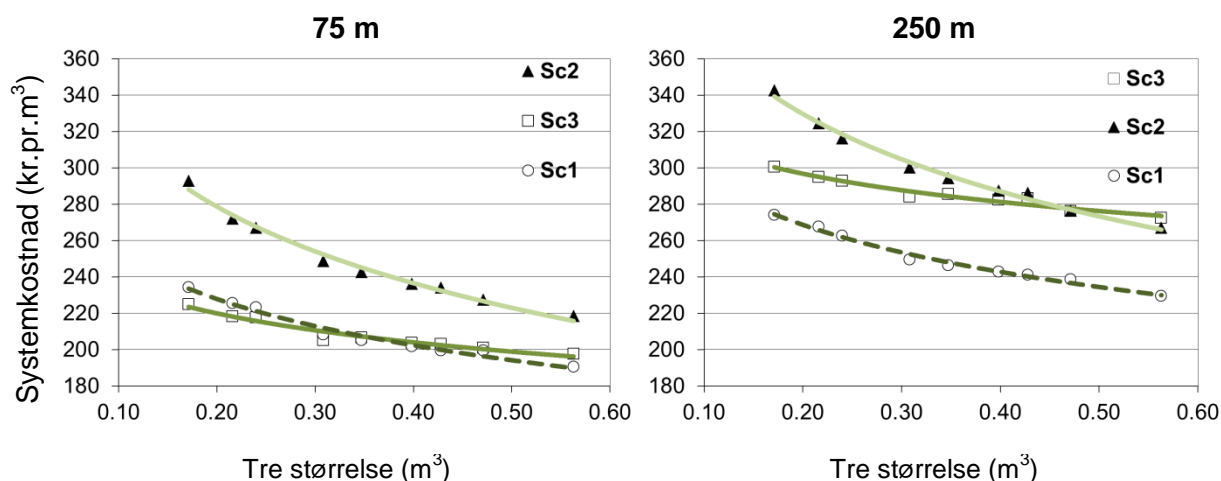
Tabell 7 Kostnadsantakelse angitt i norske kroner (2014). Prisene på maskinene er inkl. maskinføreren.

	Arbeidselement	Sc1	Sc2	Sc3
I bestanden	Felle	250	250	250
	Stroppe		250	250
		<b>250</b>	<b>500</b>	<b>500</b>
På velteplassen	Vinsje			950
	Opparbeide	950	950	850
<b>Systemkostnad</b>		<b>1200</b>	<b>1450</b>	<b>2300</b>

Rekkefølgen endrer seg når det ses på kostnader i stedet for prestasjoner.



Figur 15 viser produksjonskostnader for det tilsvarende scenaria. For den korte banelengden (75m) har Sc1 og Sc3 nesten den samme kostnaden, - hvor Sc1 er marginalt billigere for de større tre-dimensjoner. Sc2 er derimot noe dyrere, selv om kostnaden avtar med stigende trestørrelser. Forskjellen mellom Sc2 og Sc1 og Sc3 er også avtagende. Det høye kostnivå på Sc2 skyldes at den andre mannen i bestandet kun er benyttet i et begrenset omfang – i de fleste tilfelle kan den første mannen godt følge med på maskinens prestasjoner. Den andre mannen belaster således systemet med en høy timepris uten å bidra noe særlig til en økt prestasjonen. På de lengre banelengder (opp til 250m) stiger kostnader på alle scenaria, men langt mer for Sc3, som har to basmaskiner, begge med en høy timepris. Samtidig er prestasjonen redusert pga. den lange vinsjetiden.



Figur 15 Hogstkostnad (kr pr m3) pr scenaria – med økende tre størrelse

#### 4.5. Systemkostnader inkl. rigging /montering

Tidsforbruket til flytting og montering er ikke målt like nøyaktig som for felling, opparbeiding og vinsjing. Forbruket er heller ikke medregnet i prestasjonstallene ovenfor, som så må korrigeres for å finne frem til prestasjonstall i forhold til arbeidsplassstiden. Dersom det tas utgangspunkt i et oppsett med lengde på f.eks. 100 m og bredde på 15m ut fra banen på begge sider, dekkes et område på ca. 3 daa pr oppsett. I bestandet ved Sjoa ble det målt ca. 61 trær pr daa, eller ca. 183 trær (42m³) pr oppsett, som tilsvarer omtrent 10 E<sub>15</sub>-arbeidstimer (vinsjing) pr oppsett. Flytting av maskinen inkl. felling og rigging tok ca. 2.5 timer, dog var det kun 3 observasjoner av maskinflytting. Felling er den mest tidkrevende arbeidsoperasjonen under flytting. Derfor kan ikke all tiden som er medgått til flytting betraktes som tapstid. Selve oppriggingen av banen tar ca. 1 time, noe som skal legges til systemtiden for ca. hver 10 E<sub>15</sub> timer – dvs. systemprestasjonen bør korrigeres ned med ca.10%. For å justere systemkostnadene i figur 15 med riggekostnader var det nødvendig med flere antakelser på riggetid for de ulike systemoppsett (scenaria) – disse er gjengitt i Tabell 9.

Tabell 8 Antatt tidsforbruk i timer (og kostnad pr m3) til rigging av banene ved ulike scenaria og banelengder

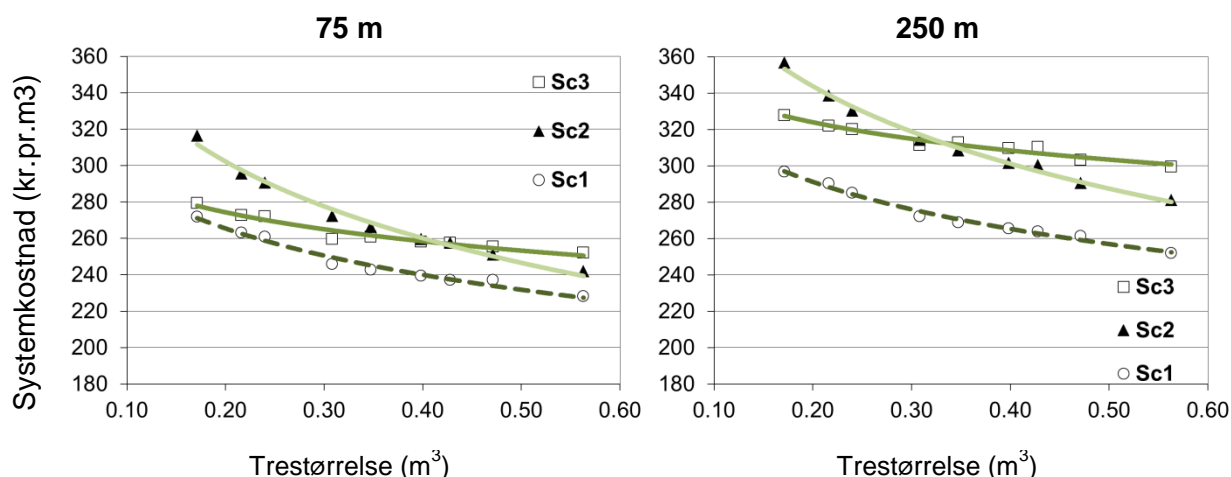
Banelengde	Sc1	Sc2	Sc3
75 m	2.0 (37.59)	1.0 (23.56)	1.5 (54.38)
150 m	3.0 (28.19)	1.5 (17.67)	2.0 (36.25)
250 m	4.0 (22.55)	2.0 (14.13)	2.5 (27.19)

Tallene bak tidsforbruket til rigging i Tabell 9 bygger også på en del antakelser da det ikke er praktisk mulig å innhente data. For Sc1 er det ikke mulig for feller/stropper å komme alt for langt foran opparbeiding, og det er derfor ikke mye å gå på nå strekningen vinsjes ferdig.

Her går feller/stropper i gang med å felle en ny korridor mens maskinføreren får opparbeidet de siste trærne og ryddet opp på velteplassen. Endeblokken og stroppene flyttes over og rigges opp i den nye banen, så flyttes basmaskinen, og monteringslinen trekkes ut. Tiden for rigging økes med ca. 1 time for 150 m bane, og 2 timer for 250 m bane.

Når det gjelder rigging i Sc2 så har den ekstra mannen (felleren) veldig god tid og kan saktens komme så langt foran arbeidet med vinsjing/opparbeiding at han kan klare å felle hele strekningen i den nye banen innen vinsjingen tar slutt i den forrige. Her er det bare spørsmål om å demontere utstyret fra endetreet og rigge opp det nye, mens monteringslinjen kan trekkes ut samtidig. I virkeligheten går det nok enda litt fortere enn de 1-2 timer som er angitt i Tabell 9.

Sc3 gir en interessant blanding av elementene i Sc1 og Sc2, for her er det 2 mann i bestanden. De er begge fullt opptatt med felling og stropping mens det vinsjes og opparbeides kontinuerlig på to maskiner. Det kan derfor ikke forberedes en ny bane før man er helt ferdig med den forrige banen. Med litt større trær og lengre banelengder, vil opparbeiding gå noe fortere enn vinsjing. Dermed vil opparbeidingsmaskinen ha tid til å rydde opp på velteplassen mens den venter. Men det medfører også at begge maskiner står helt stille under riggingen, som kommer til at gå litt fortere enn tilfellet er for Sc1, fordi det nå er en ekstra mann som hjelper til. Dog blir det dyrt å ha to maskiner stående stille – derfor de høye kostnadene (27-54 kr pr. m<sup>3</sup>) i Tabell 9. Overalt løfter riggingskostnadene hele kostnadsnivået med mellom 14 og 50 kr pr. m<sup>3</sup>. Figur 16.



Figur 16 Systemkostnad (kr pr. m<sup>3</sup>) i forhold til økende trestørrelse og for to ulike banelengder

## 5 KONKLUSJONER

Den litt trege opparbeidingen gir felleren god tid til å felle trærne til neste omgang med vinsjing. Felleren trenger omtrent 90 sek. pr. tre, eller ca. 23 minutter til å felle de ca. 15 trærne som vinsjes pr. gang. Maskinen brukte ca. 35 minutter til opparbeiding av det samme antall trær, så her får felleren noe fleksibilitet og ro til å planlegge egen hvile uten at det blir tidspress. Med nedovervinsjing i forprosjektet gikk det noe saktere med å felle trær i riktig retning, og her var det maskinen som måtte vente på felleren. Det er derfor ikke gitt at det alltid oppstår et slikt tidsspenn, og flere studier av nedovervinsjing er nok nødvendig for å bekrefte dette forhold.

Vinsjing ser ut til å fungere bra, hvor gjennomsnitt. lasstørrelsen var på 0.6 m<sup>3</sup> med en syklustid på godt fire minutter per lass (244 sek.) - når tapstiden regnes med. Avstoppingen utgjør 42.2 sek. som tilsvarer knapt 20% av effektivtiden (E<sub>0</sub>) og peker på et evt. sparepotensial med innføring av selvutløsende stropper.

Opparbeidingen går litt for sakte. Prestasjoner varierer mellom 8.6 m<sup>3</sup>/timen og 15.9 m<sup>3</sup>/timen, alt etter trestørrelsen. Det tilsvarer opparbeidingskostnader på mellom 65 kr og 112 kr pr. m<sup>3</sup>. Økt prestasjon på opparbeiding er nok den letteste og mest direkte måte å øke systemets produktivitet på. Dette gjøres f.eks. ved å anvende maskinen på trær med større gjennomsnittsdiameter og mindre spredning i størrelsen. Her kan en målrettet skogskjøtsel spille en aktiv rolle på sikt. I mellomtiden kan entreprenøren overveie å ta med størrelsesfordelingen/spredningen i prissetningen – og dermed forskyve kostnaden over på skogeieren.

## 6 ANBEFALINGER

### 6.1. Felling

Det er nok begrenset med muligheter for å oppnå større prestasjonsøkninger på fellingen, men det anbefales likevel å få ekspertvurderinger (f.eks. fra Skogkurs) på fellerens kunnskap med regelmessig mellomrom – da det ikke bare er kvantiteten men også kvaliteten som betyr noe for effektiviteten i fellingen.

Feller/stropper må forsøke å øke sitt forsprang overfor vinsjen, især ved lengre banelengder hvor det inngår rikelig med pauser til stropperen (dette er bekreftet med pulsklokka men ikke omdiskutert i rapporten). Det skal oppbygges et lager av trær på velteplassen som kan holde maskinen beskjeftiget med opparbeiding i en god stund mens den nye linjen felles. Det gjelder om å få utnyttet en av de største fordelene ved en bardunfri taubane – og det er at maskinen kan flyttes til siden når haugen med trær blir for stor, slik at det kan vinsjes videre uforstyrret.

Med vinsjing nedover eller ved større trær har felleren vanskelig med å felle trærne fort nok, og her kan det være bruk for en ekstra person hvis det skal unngås tapstid på maskinen.

### 6.2. Vinsjing

Vinsjingen er den funksjon som begrenser systemproduktiviteten mest under de observerte forhold. Trærne slepes på bakken, og det går forholdsvis sakte. Det ser ut til å være en uoverensstemmelse mellom maskinfører og fabrikanten om belastningen som vinsjen kan utsettes for, og den er ikke alltid fullt utnyttet. Det kunne ofte med fordel investeres litt mere tid under riggingen for å sørge for at det oppnås en fornuftig pilhøyde. Her vil en marginal innsats ha stor betydning for vinsjhastigheten, som bør økes.

Et annet forhold som begrenser prestasjonen er avstroppingen. Det brukes ca. 42 sek. pr lass, hvor maskinføreren må stanse maskinen og klatre ned og opp fra førerhuset hver gang det kommer inn et nytt lass. Dette er både hemmende for produksjonen, og i mange tilfelle en farekilde da trappen sjeldent er tilgjengelig pga. at maskinen står i feil posisjon. Det er senere blitt kjøpt inn et sett med automatisk, utløsbare (selvutløsende) stropper, og de ser ut til å fungere etter hensikten.

### **6.3. Opparbeiding**

Maskinføreren er av ulike årsaker ikke alltid villig til å bruke innebygde funksjonaliteter (dvs. automatisert lengdegjenfinning), men prestasjonen innen opparbeiding har langt det største potensiale for en forbedring av systemprestasjonen. Det er behov for flere undersøkelser her, evt. sammenlikninger med opparbeiding på Mounty-systemene. Optimerings- (apting-) verktøy kunne tenkes utviklet evt. i samarbeid med maskinfabrikanten.

Skogeierandelslagene bør generelt se på ulike sortimentskrav i forhold til taubanedrifter. Opparbeiding går typisk saktere (ca. 60%) enn det gjør for hogstmaskinene. Når det arbeides under trange forhold med begrenset plass for sortering og lagring, skal antall sortimenter begrenses / forenkles mest mulig. Her er det et potensiale for, sammen med oppdragsgiver, å se på alternativer, evt. en konsekvensanalyse for skogeieren og entreprenøren av en forenklet sortimentstabell.

Kostnader til opparbeiding er veldig følsom overfor trestørrelsen, og størrelsen på de enkelte stokker. Det er ikke økonomisk grunnlag til opparbeiding til energivirke. Dimensjoner / kvaliteter som ikke kan selges som massevirke kunne evt. legges som hele toppe til senere hogging ved velteplassen – i de områder det forekommer.

Det anbefales videre at entreprenøren utvikler et mer nyansert verktøy / bedre metoder som grunnlag for prissettinger på bestandsnivå.

### **6.4. Rigging og flytting**

Når man nærmet seg slutten av driften/strekket, kunne det vinsjes inn 2-3 gange så mange trær - om nødvendig med sideflytting av maskinen - for å bygge opp et lager av trær som kan holde maskinen i gang en stund mens felleren starter sitt arbeid på den nye driften/strekket. Mens trær i den nye traseen felles, bør maskinen brukes til kvisting og kapping av de siste trærne i den forrige. Det vil øke utnyttelsesgraden.

## TAKK TIL

Mjøsen Skog BA (v. Johannes Bergum) var prosjekteier mens Allskog SA (v. Espen Loe) og Vestskog (v. Vidar Jørdre) var partnere med egenandel i prosjektet. Hovedparten av prosjektet ble finansiert av Norges forskningsrådets BIONÆR program. Prosjektet hørte til under prosjekttypen 'Innovasjonsprosjekt i næringslivet' (prosjektet 225328/E40).

Forfatterne takker T. Frivik Taubanedrift A/S for et positiv og imøtekommande samarbeid i løpet av hele prosjektforløpet.

## ANDRE PUBLIKASJONER MED TILKNYTTING TIL PROSJEKTET

Talbot, B., Aalmo, G. O. & Stampfer, K. 2014. Productivity Analysis of an Un-Guyed Integrated Yarder-Processor with Running Skyline. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33 (2) 201-210. (<http://www.crojfe.com/articles-822> )

Talbot, B., Nitteberg, M., & Kyllø N.O. 2014. Gravemaskinmonterte, bardunfrie taubaner - status og muligheter i Norge og utlandet. *Rapport fra Skog og landskap 03./14:IV*, 30s. ([http://www.skogoglandskap.no/publikasjon/gravemaskinmonterte\\_bardunfrie\\_taubaner-status\\_og\\_muligheter\\_i\\_norge\\_og\\_utlandet](http://www.skogoglandskap.no/publikasjon/gravemaskinmonterte_bardunfrie_taubaner-status_og_muligheter_i_norge_og_utlandet) )

Talbot, B., Tarp, P. & Nitteberg, M. 2014. Selecting an appropriate excavator-based yarder concept for Norwegian conditions through the analytic hierarchy process. *International Journal of Forest Engineering* 25(2) 113-123

Ottaviani, G.O. & Talbot, B.E. 2014. Operator performance improvement through training in a controlled cable yarding study. *International Journal of Forest Engineering* 25(1) 5-13.

Hoffart, E. 2014. Bardunfri taubane i Norge – en tidsstudie av prestasjon. Masteroppgave. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Institutt for naturforvaltning. 66 s. (<http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/218024/1/Masteroppgave%20Even%20Hoffart.pdf> )