

22. 10. 91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

772

Matti Sirén (red.)

FLERTRÄDSTEKNIK OCH SKONSAMMA MASKINER
I FÖRSTAGALLRING

Slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR)
genomfört forskningsprojekt, 1987 — 1989

Puiden joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa

Multi-tree processing and light technology in first thinnings

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki, Finland

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and ten research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 772

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1991

Matti Sirén (red.)

FLERTRÄDSTEKNIK OCH SKONSAMMA MASKINER I FÖRSTAGALLRING

Slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR) genomfört
forskningsprojekt, 1987–1989

PUIDEN JOUKKOKÄSITTELY JA KEVYT TEKNOLOGIA
ENSIHARVENNUKSISSA

Yhteispohjoismaisen NSR-projektin loppuraportti, 1987—1989

MULTI-TREE PROCESSING AND LIGHT TECHNOLOGY
IN FIRST THINNINGS

Final report for a research project of the Nordic Research Council
on Forest Operations (NSR), 1987–1989

Approved on 26.10.1990

Sirén, M. 1991 (ed.). Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring. Slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR) genomfört forskningsprojekt, 1987–1989. Seloste: Puiden joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa. Yhteispohjoismaisen NSR-projektin loppuraportti, 1987–1989. Summary: Multi-tree processing and light technology in first thinning. Final report for a research project of the Nordic Research Council on Forest Operations (NSR), 1987–1989. Folia Forestalia 772. 104 p.

Huvudproblemet i förstagallringar är att finna tekniska lösningar, som kombinerar god ekonomi med ett bra biologiskt resultat. I NSR-projektet "Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring" studerades två olika utvecklingslinjer, användning av flerträdsteknik och skonsammare, billigare maskiner i förstagallring.

Arbetet i projektet har bedrivits inom fyra delprojekt. Inom delprojekt "Flerträdsteknik", "Skonsamma maskiner och metoder" och "Värdering av gallringssystem" har utnyttjats experimentella försök, arbetsstudier och analytiska insatser. Delprojektet "Automatisering", som studerade automatiseringsmöjligheter i gallringar, har bedrivits i form av kreativt kommittéarbete och haft en egen projektgrupp. I denna slutrapport redovisas några av de viktigaste resultaten i projektet. Rapporten är inte en vetenskaplig dokumentation, utan detaljerna har publicerats av deltagande institutioner.

The primary problem in thinning is to find harvesting methods that combine a good economic and silvicultural result. The NSR project "Multi-tree processing and light technology in first thinning" dealt with two lines of development: multi-tree processing and the use of light and less expensive machinery for first thinning.

The project was composed of four parts. Testing and analytical methods were used in the parts "Multi-tree processing", "Light technology machines and methods" and "Evaluation of thinning methods". Brainstorming sessions were used to collect ideas for automation in harvesting. Detailed results of the projects have been presented in the publication series of the participating research institutes.

Harvennuspuun korjuussa on ongelmana löytää menetelmiä, joissa yhdistyvät hyvä taloudellinen ja metsänhoidollinen tulos. NSR-projekti "Puiden joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa" tutki kahta eri kehityslinjaa, joukkokäsittelyä ja kevyiden koneiden käyttöä ensiharvennuksissa.

Projekti jakautui neljään osaan. Osaprojekteissa "Joukkokäsittelytekniikka", "Kevyen teknologian koneet ja menetelmät" ja "Harvennusmenetelmien arviointi" käytettiin kokeellisia ja analyttisiä menetelmiä. Automaation käyttömahdollisuuksia tutki oma projektiryhmä ideariihenä. Tässä loppuraportissa esitellään projektin tärkeimpiä tuloksia. Yksityiskohtaiset tulokset on esitetty mukana olleiden tutkimuslaitosten omissa julkaisusarjoissa.

Keywords: Thinning, mechanization, multi-tree processing.
FDC 333 + 36

Editor's address: Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ISBN 951-40-1155-4
ISSN 0015-5543
Tampere 1991. Tammer-Paino Oy

Innehåll

FÖRORD	4
INLEDNING	5
I FLERTRÄDSTEKNIK	7
Flerträdsteknikens utveckling under 20 år — en litteraturstudie (<i>Bengt Brunberg</i> , Skogsarbeten)	8
Teoretisk granskning av möjligheterna till flerträdsshantering (<i>Auvo Kaivola</i> , Helsingfors universitet)	20
Simulering som ett medel vid utvecklandet av flerträdsmetoder (<i>Auvo Kaivola</i> , <i>Robin Richardson</i> och <i>Jimin Tan</i> , Helsingfors universitet)	23
Flerträdsupparbetning efter maskinell fällning-sammanföring — en alternativ metod för engreppsskördare? (<i>Bengt Brunberg</i> , <i>Berndt Nordén</i> och <i>Anders Tosterud</i> , Skogsarbeten) ..	31
Flerträdsbyterande engreppsskördare kan sänka kostnaderna (<i>Bengt Brunberg</i> , <i>Berndt Nordén</i> och <i>Gunnar Svenson</i> , Skogsarbeten)	36
Flerträdsteknik med befintliga engreppsskördare (<i>Risto Lilleberg</i> , Metsäteho)	40
Flerträdsprocessor för lantbrukstraktorn (<i>Seppo Ryyänänen</i> och <i>Arto Mutikainen</i> , Arbets effektivitetsföreningen)	42
Studier av tre driftsmetoder för flertrehandtering (<i>Øystein Dale</i> , Norsk Institutt for Skogforskning)	45
Flertræsteknik i Danmark (<i>Pieter Kofman</i> , Skovteknisk Institut)	50
II SKONSAMMA MASKINER OCH METODER	53
Små terrängmaskiner för skogsbruk (<i>Tomas Nordfjell</i> och <i>Mikael Larsson</i> , Sveriges lantbruksuniversitet)	54
Minilunnaren i gallring (<i>Seppo Ryyänänen</i> , Arbets effektivitetsföreningen)	60
Terränghjuling i skogen (<i>Seppo Ryyänänen</i> , Arbets effektivitetsföreningen)	63
Små avverkningsmaskiner i förstagallring (<i>Matti Sirén</i> , Skogsforskningsinstitutet)	66
Rullbocken i skogen (<i>Seppo Ryyänänen</i> och <i>Maija Castrén</i> (Arbets effektivitetsföreningen) ...	72
III VÄRDERING AV GALLRINGSSYSTEM	79
Värdering av gallringsskador (<i>Matti Sirén</i> , Skogsforskningsinstitutet)	80
IV AUTOMATISERING	85
Delprojektet Automatisering (<i>Dag Myhrman</i> , Skogsarbeten)	86
Möjligheter att undvika gallringsskador med skadevarning och automatisering av styrningskontroll (<i>Jari Ala-Ilomäki</i> , Skogsforskningsinstitutet)	88
Fjernstyrning av maskiner (<i>Geir Stenseth</i> och <i>Reidar Jacobsen</i> , Norsk Institutt for Skogforskning)	90
V SELOSTE — SUMMARY	93
Auktorens adresser	104

Förord

Nordiska Ministerrådet lämnar via Samarbetsnämnden för Nordisk Skogsforskning (SNS) ekonomiskt stöd till skogstekniskt FoU-arbete i Norden. Arbetet samordnas av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR).

NSR bildades 1953. NSR arbetar sedan 1969 med forskningsuppgifter av gemensamt nordiskt intresse. Medlemmarna är olika skogstekniska forskningsorganisationer i de nordiska länderna. Forskare från de olika medlemsorganisationerna deltar aktivt i projekt eller följer arbetet som observatörer.

Drivning av gallringsvirke är ett av de största problemen i skogsbruket i Norden. Man borde även i förstagallringar nå bra ekonomisk och biologisk drivningsresultat, trots att förhållandena är svåra för mekanisering. Stora, kapitalintensiva maskiner är inte alltid det bästa alternativet för gallringar. Gallringsstudier har sedan 1974 varit en viktig del av NSR-samarbete. Under perioden 1974–77 bedrevs NSR-projektet “Röjningens och gallringens mekanisering”, under åren 1978–82 projektet “Gallringsteknik” och 1983–85 projektet “Gallringsteknik i klen skog”. Projektet “Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring” under åren 1987–89 har haft ett bra basis för sitt arbete i forskningsresultat från dessa tidigare gallringsprojekt.

Samarbetet på den praktiska nivån har genomförts genom projektrådsmötena, varav två ordnades i Danmark, två i Finland och ett under NSR-forskarkonferensen på Island. Projektet har också haft delprojektet “Automatisering”, som har haft en del av sina möten separata från projektrådsmötena. Avdelningen för skogsteknologi vid Skogsforskningsinstitutet har i Finland fungerat som projektledande institution i projektet.

Denna slutrapport ger en bild av det utförda arbetet och redovisar några av de viktigaste resultaten. Rapporten är inte en originaldokumentation av den egentliga forskningen, utan detaljerna har publicerats av deltagande institutioner. Sammandrag och konklusioner är gjorda också på finska och engelska för att få bättre spridning för resultaten.

För projektet vill jag varmt tacka Nordiska Ministerrådet, Samarbetsnämnden för Nordisk Skogsforskning och NSR:s styrelse, som gjort projektet möjligt. Jag vill också tacka alla forskare för fint samarbete. Dessutom vill jag tacka det praktiska skogsbruket och maskintillverkare i de olika nordiska länderna för aktiv medverkan i undersökningen.

Ett speciellt tack riktas till Maija Tuuri, som har hjälpt att sammansätta denna slutrapport.

Helsingfors, i januari 1991

Matti Sirén, projektledare

Inledning

1. Bakgrund

En vid rätt tidpunkt utförd gallring kan väsentligt höja produktionen av timmer och dess kvalitet. Utvecklingen av teknik för gallring har under lång tid utgjort ett centralt problemområde för nordiskt skogsbruk. Före projektet "Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring" har gallringsproblematiken studerats i tre NSR-gallringsprojekt sedan 1974. I projektet "Gallringsteknik i klen skog" 1983–85 studerades olika drivningsmetoder och gallringsresultat i klen skog. Resultater av detta projekt gav en grund för fortsatta studier.

Huvudproblemet i förstagallringar är att finna tekniska lösningar, som kombinerar god ekonomi med ett bra biologiskt resultat. Utvecklingen av avverkningsmaskiner har varit snabb. Maskinerna är effektiva och driftsäkra, men i klens skogar är deras kapitalkostnader höga jämfört med produktiviteten.

Det är intressanta utvecklingslinjer att sänka kostnader i förstagallringar. Vi kan utveckla maskiner för flerträdshantering, eller använda billigare maskiner. Små maskiner och t. ex. teknologi baserad på jordbrukstraktorer är ett exempel på linjen med lägre kapitalkostnader. Vid utveckling av maskiner och metoder måste man alltid minnas kravet på skonsamhet för skogen. Det är också viktigt att olika gallringssystem ur både ekonomisk och biologisk synvinkel bedöms med samma metoder i alla nordiska länder. Dessa utvecklingslinjer studerades under detta projekt.

Automatisering ger stora möjligheter att göra arbetet effektivare och lättare. Det finns många automatiseringsmöjligheter i maskinella gallringar. För att få nya idéer och kartlägga automatiseringsmöjligheter i förstagallringar bildades en delprojektgrupp "Automatisering", som i form av kreativt kommittéarbete arbetade i projektet.

2. Projektråd

Projektrådet för "Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring" hade följande sammansättning:

Projektledare Matti Sirén
Skogsforskningsinstitutet
Avdelning för skogsteknologi

Projektordförande Risto Lilleberg
Metsäteho

Medlemmar Stig Andersson
Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogsteknik

Per Tutein Brenoe
Skovteknisk Institut

Erik Stenhammer / Øystein Dale
Norsk Institutt for Skogforskning

3. Förbrukade NSR-medel

NSR-finansieringen, FIM

	Danmark	Finland	Norge	Sverige	Summa
1987	28208	301760	19680	132512	482160
1988	24720	318270	40170	135960	519120
1989	19448	268840	37180	177892	503360
Summa	72376	888870	97030	446364	1504640

4. Genomförande av projektets studier

Avdelningen för skogsteknologi vid Skogsforskningsinstitutet i Finland har fungerat som projektledande institution. Arbets effektivitetsföreningen, Metsäteho och Institutionen för skogsteknologi vid Helsingfors universitet från Finland, Institutionen för skogsteknik vid Sveriges lantbruksuniversitet och Forskningsstiftelsen Skogsarbeten från Sverige, Norsk institutt for skogforskning (NISK) från Norge och Skovteknisk Institut från Danmark har varit aktivt deltagande institutioner i projektet.

Arbetet i projektet har bedrivits inom följande fyra delprojekt:

1. Flerträdsteknik
2. Skonsamma maskiner och metoder
3. Värdering av gallringssystem
4. Automatisering

I de skilda delprojekten har tillämpats varierande metodik. Inom “Flerträdsteknik”, “Skonsamma maskiner och metoder” och “Värdering av

gallringssystem” har utnyttjats experimentella försök, arbetsstudier och analytiska insatser. Delprojektet “Automatisering” har bedrivits i form av kreativt kommittéarbete. Delprojektet “Automatisering” har haft en egen projektgrupp. Dag Myhrman från Skogsarbeten har verkat som ordförande för gruppen.

Del I

Flerträdsteknik

Flerträdsteknikens utveckling under 20 år — en litteraturstudie

Bengt Brunberg

1. Sammanfattning

Flerträdsteknik i olika former har funnits i minst 20 år i Sverige. Forsknings- och utvecklingsarbetet var intensivt i början av 70-talet. Det fanns redan då buntkvistningsteknik och det gjordes ganska omfattande studier av flerträdshantering vid fällning. Flerträdstekniken nådde dock ingen större omfattning förrän träddelemetoden introducerades. Nu när det ofta framhålls att gallringsbehovet är kraftigt ökande och att särskilt tät, klen förstagallring är ett överhängande problem, ökar återigen intresset för flerträdsteknik. Att hantera endast ett träd i taget när det har liten volym bedöms för framtiden bli en alltför dyr teknik.

Många faktorer spelar in när det gäller tillämpningen av flerträdsteknik, varav gallringssystemens utformning och industrins krav på virket bör poängteras. Bland annat följande maskintyper är dock intressanta att analysera vidare:

- Fällare-sammanförare som kan ackumulera flera träd,
- Träddelesskördare och -drivare dimensionerade för hantering av stående träd och ackumulering i fällhuvudet,
- Gripsågsförsedda skotare utrustade med en anordning i gripen så att trädubuntar snabbt kan grokvistas,
- Mobila, lättflyttade buntkvistare,
- Flerträdshanterande gallringsskördare,
- Sticksågsgående maskiner som flerträdsupparbetar efter maskinell fällning-sammanföring,
- Skotare som satsvis kvistar buntar eller kontinuerligt bearbetar lassat under körning.

Sammanfattningsvis visar de gjorda studierna på stora möjligheter till prestationshöjning vid användning av teknik för flerträdshantering. För fällande maskiner förefaller den möjliga prestationshöjningen ligga i intervallet 5–40 %, beroende på kranlängd m m. För tvågrepps kvistare-kapare kan prestationshöjningen med dagens teknik bedömas bli 30–40 % och för engrepps 50–60 %. För buntkvistare, på i första hand avlägg, kan prestationen flerdubblas jämfört med kvistning av ett träd i taget. Gallringsbehovet och kostnadsläget är idag sådant att flerträds-

hantering är intressant för flera olika typer av maskiner. Flerträdshantering kan därför medverka till bättre ekonomiska resultat i våra klena förstagallringar.

2. Bakgrund och syfte

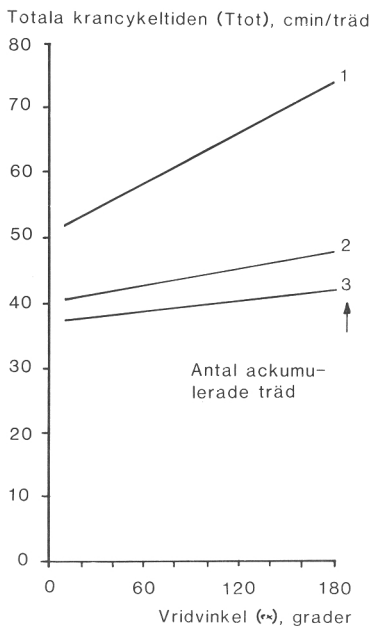
Skogsarbeten genomför en analys av de skogliga förutsättningarna för och de tekniska-ekonomiska möjligheterna till användandet av flerträdshanterande drivningsteknik. Arbetet är inriktat främst mot klena förstagallringar där sådan teknik torde vara mest intressant.

Denna litteraturstudie syftar till att kartlägga vilka tekniska lösningar som provats och till att samla de erfarenheter som hittills gjorts inom området flerträdshantering i Sverige. Kartläggningen ska översiktligt täcka även den flerträds-teknik som provats utomlands. Den fullständiga rapporten (Brunberg 1989) behandlar även nordamerikansk teknik, vilken dock utelämnas här. Studien är inriktad mot teknik där syftet är att tillvarata rundvirke. Rapporten ska förhoppningsvis fungera som diskussionsunderlag och idégivare för fortsatt utvecklingsarbete.

3. Flerträdsteknikens utveckling i Sverige

3.1. Det började för 20 år sedan

Redan omkring 1970 var diskussionerna kring flerträdshantering ganska långt gångna. Så menar t ex Myhrman (1971) "att bearbetning av flera träd samtidigt är en känd teknik som används i buntkvistaren Skruven t ex, men som även förekommer i vanliga processorer. Flerträdshantering vid fällning är däremot en nyhet som nu provats vid Skogshögskolan inom HMG-projektet. Genom att ackumulera flera träd i fällhuvudet blir kranhanteringstiden till efterkommande bearbetning kort, räknat per träd. Framför allt vid gallring blir tekniken intressant, då ju träden



Figur 1. Totala krancykeltidens beroende av antalet ackumulerade träd och vridvinkeln (Källa: Bredberg & Moberg 1971).

oftast är klena och ej ekonomiskt kan bära för mycket hantering enskilt”.

På Skogsarbetens Rationaliseringskonferens 1974 framhåller Jonsson att kostnadsgapet mellan gallring och slutavverkning växer. Han menar vidare att med enträdshanterande uppberedningsmaskiner kommer detta kostnadsgap att öka ytterligare och att denna stabila trend kan brytas endast med metoder som grundar sig på flerträdshantering.

Dessa inledande citat, som är upp emot 15–20 år gamla och härstammar från mekaniseringens början, ger onekligen ett intressant perspektiv på utvecklingen av denna teknik — flerträdstekniken — som vi idag återigen anser det befogat att satsa resurser på. Vi vet att såväl de skogliga och ekonomiska som de tekniska förutsättningarna har förändrats mycket. Idag står vi inför ett stort och förmodligen ökande gallringsbehov, framför allt i klen förstagallring. En stor del av förstagallringen präglas av tidigare eftersatt röjning. Eftersom trädvolymerna är små och maskinkostnaderna höga kommer en mycket rationell teknik att krävas. Det är naturligt att vi då återigen söker utvecklingsvägar med flerträdsteknik.

32. Kvistningsteknik i början av 70-talet

Skruben var en tidig kvistningsmaskin med vilken man kunde kvista träddeklar i bunt och få tidsåtgången per kubikmeter att bli relativt oberoende av trädens storlek. Maskinen studerades av Rydin och Österblom (1969) vid arbete på både stickväg och avlägg. Den totala tidsåtgången per träd var betydligt större på stickväg än på avlägg, 100–140 cmin jämfört med 20–26 cmin. Detta berodde bl a på behovet av förflyttningar men även på att övriga moment som upp- och nedfällning av matarbord samt kvistning tog längre tid. På stickvägen kunde endast 34 % av tiden användas för själva kvistningen, medan motsvarande värde på avlägget var 59 %. Principlösningen framhålls som intressant. Kvistningen utfördes med hjälp av två långa roterande skruvar med knivar och ett skruvrullbord, som i uppfällt läge fick virket att rotera mellan sig och de stora skruvarna. Hela utrustningen var monterad på ett specialbyggt chassi.

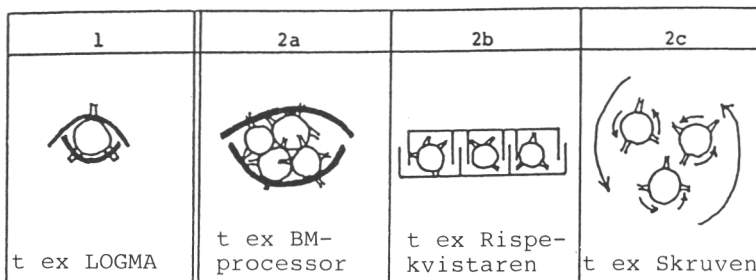
Förutom Skruben kunde en del kvistare-kapare användas för kvistning av flera träd med litet sämre resultat som följd. Sundmobilen visade sig bilda skola för en mycket stor del av den fortsatta uppberedningstekniken med kvistarekapare och sedermera skördare.

33. Flerträdshanterande fälldon i början av 70-talet

När det gällde flerträdshanterande fällningsmaskiner hade man inte kommit så långt i början av 70-talet, men Bredberg och Moberg (1971) nyttjade en försöksmaskin, “BM Lisa”, med fällverktygsattrapp från ÖSA för studier av flerträdshantering. Maskinen fick hantera träden som en fällare-lunnare. I figur 1 visas hur den totala tiden för kranarbetet förändrades beroende på antalet ackumulerade träd och den genomsnittliga vridvinkeln för kranen. Vid t ex 60 graders vridvinkel sjönk tidsåtgången 26 % vid hantering av två träd i taget istället för ett.

34. Buntkvistningsteknik i mitten av 70-talet

Försöken med flerträdshantering går vidare. Bredberg et al. (1975) vid Skogshögskolan bygger på fällningsstudierna med en genomgång av olika principer för buntkvistning av klenvirke. I figur 2 delas kvistningen in efter de olika princi-



Figur 2. Kvistningsprinciper. Enträdskvistning (1), buntkvistning (2) med sammanhållen (2a), fördelad (2b) respektive lös (2c) bunt (Källa: Bredberg, Liedholm & Moberg 1975).

per som är tänkbara, med avseende på t ex hur trädbunten hålls ihop.

- I en sammanhållen bunt blir naturligtvis kvistningsresultatet sämst på de sidor av träden som ligger inåt i bunten. Metoden kan finna tillämpning i kvistningsanordningar som normalt är avsedda för kvistning av enskilda träd.
- När träden fördelas på individuella fack som i den norska Rispekvistaren kan kvistningsresultatet förväntas bli bättre. Denna kvistare kan kvista sex träd samtidigt, dvs utföra buntkvistning med två knivmotor. Träden dras med vinsch genom kvistningsanordningen.
- Enligt den tredje principen kvistas en lös bunt av träd. Kvistningseffekten erhålls då dels genom att träden nöter mot varandra, dels genom bearbetningen mot kvistningsorganen.

Bland kvistningsorganen kan man urskilja två grupper, nämligen passiva och aktiva. Passiva organ kan vara t ex knivar eller knivmatta och aktiva t ex roterande skruvar eller fräsar. Aktiva kvistningsorgan finns på t ex Sundkvistaren och Skruven (Kockums 76-BBK).

Två prototyper till buntkvistningsmaskiner som bearbetade virket med kedjor var Nordfors kedjekvistare och Constructors kedjekvistare. Båda monterades på skotare utrustade med kran och gripsåg. Nordfors kedjekvistare fungerade så att trädelarna först lades upp på lastbärens kvistningsbord, därefter fördes vagnen med den horisontella axeln och de roterande kättingarna fram och åter över virket tills resultatet ansågs tillfredsställande. Constructors kedjekvistare var försedd med två vertikala axlar som kedjorna placerats på. När träd eller träddelar kvistades drogs de med kranens hjälp mellan de roterande axlarna.

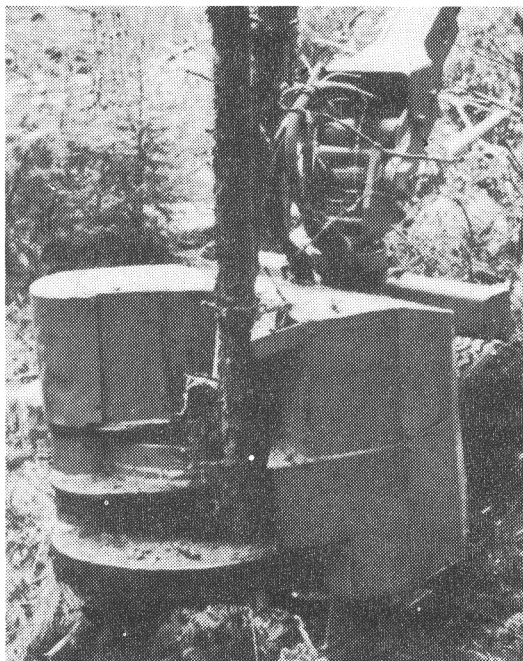
Metodmässigt gäller för de båda kedjekvistar-

na att om träden är väl sammanförda till stickvägen, helst med rotändan före, förenklas kapningen med gripsåg avsevärt (Boström 1979). Med Constructors kedjekvistare ska trädbuntarna matas tvärs över stickvägen, vilket kräver stort utrymme. Med Nordfors kedjekvistare tillkommer ett extra arbetsmoment, avläggning av virket från kvistningsbordet. I Boströms studier utgjorde själva kvistningen bara 18–27 % av totaltiden för arbete på stickväg, eftersom hanteringen i övrigt av virket tog så pass lång tid. Antalet träd per kvistningsomgång var genomsnittligt mellan 4 och 8. Vid en medeldiameter av 8–10 cm var tidsåtgången per träd 36–53 cmin, en tidsåtgång som enligt författaren borde kunna sänkas med 10–30 %. Sammantaget visade studien att tidsåtgången var ungefär likvärdig med den för vanliga kvistare-kapare i gallring. Man lyckades inte utnyttja kvistaggregatens hela kapacitet, eftersom det övriga kranarbetet, bl a sortering av virke, var så tidsödande. Sammanfattningsvis menar man att

- kedjekvistningen är snabb,
- kranhanteringen av virket är starkt prestationsbegränsande,
- efterföljande arbetsled, t ex vid industri, måste anpassas till bunthanterat virke.

35. Senare delen av 70-talet — meningar om utvecklingen

Introduktionen av kvistare-kapare i gallring förklarar varför Jonsson (1976) framhåller att sammanföring av träd till stickväg blivit ett kritiskt led. Att sammanföra träd till stickväg anges höra till det svåraste som dittills tillämpats i skogsbruket. Ett tänkbart framtida alternativ anges t ex den mobila fällaren Melroe Bobcat vara ge-



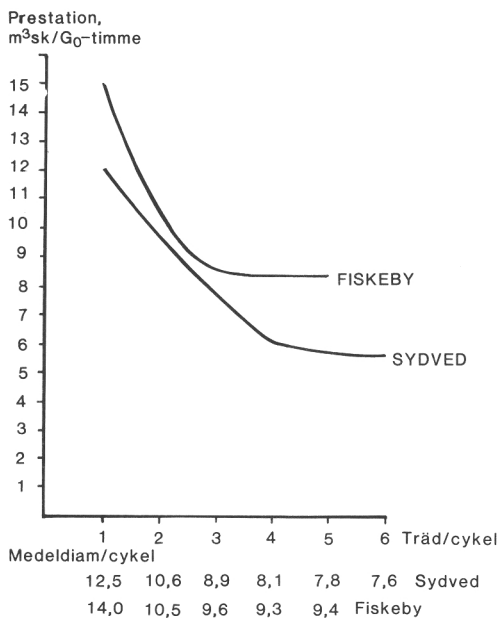
Figur 3. Stödhjul för hantering av flera stående träd (Källa: Myhrman & Thörlind 1982).

nom att den med hydraulisk klipp kan avskilja träd, ackumulera upp till fem träd i fällhuvudet och sedan bära ut dem stående till stickväg. Terrängframkomligheten för just denna maskin ses som alltför begränsad men principen som intressant.

Boström (1978) nämner att kapning med gripsåg och kedjekvistning av vinschade trädbuntar provats på flera håll. Prestationspotentialen är två till tre gånger så stor för dessa kvistningsprinciper som för enträdshanterande kvistarekapare. Som tidigare angetts så tar dock hanteringen av trädbuntarna före buntkvistningen lång tid, liksom även hantering efteråt. Kedjekvistningen ger inte någon fullständig kvistning, men en värdefull höjning av fastmassevolymen vid transporterna. Boström tar också upp Billerud ABs introduktion av träddelar som bearbetas vid industri och anger detta som en utvecklingslinje med stor ekonomisk bärkraft.

Inom PHU (Projekt Helträdsutnyttjande) gavs det 1977 ut en slutrapport från projektgrupp Drivning. Man anger där att ett bra alternativ för utvecklingen av gallringstekniken kan vara en liten, beståndsgående, flerträdshanterande fällare-sammanförare. Svårigheterna här är högt kostnadsläge och risk för körskador. Träddelar framhålls som ett bra sortiment för fortsatt upp-
arbetning.

Figur 1.



Figur 4. Det ackumulerande fällhuvudets betydelse för prestationen med Kockum 81-11 (Källa: Ahlgren & Tosterud 1983).

36. Början av 80-talet — flerträdshanterande fällare-sammanförare kommer

Försök med en gallringsskördare med 15 m räckvidd och stödhjul på fälldonet visar att stödhjulet ger god precision vid positioneringen mot trädet och medger hantering av stående träd och därmed även flerträdshantering (figur 3). Stödhjulet kan bära upp tyngden av både fälldon och träd på räckvidder över 10 m (Myhrman & Thörlind 1982). Sikten på denna stora räckvidd är dock ett problem. I täta, klena bestånd ger därför den beståndsgående maskinen fördelar.

Ahlgren och Tosterud (1983) studerar hur fällningsprestationen i volym räknat påverkas av flerträdshantering med en beståndsgående maskin. Studien som gäller Kockum 81-11 fällare-sammanförare och genomförs hos Sydved och Fiskeby, visar på högst volymprestation när enstaka, grova träd hanteras (figur 4). Studien visar också att flerträdshantering gör att prestationen hålls uppe trots att diametern på träden sjunker. Författarna anger andra fördelar med maskinen vara att den ökade koncentrationen av virke, enligt driftstatistik, höjer prestationen i efterföljande operationer. Prestationen för skotare med gripsåg höjs 20–25 % och för upp-
arbetningsmaskiner 20–40 %. Maskinen beskrivs ingående av Myhrman (1983), bl a vad avser

tekniken för flerträdshantering. Det ena paret gripskänklar (figur 5) är ledat och fjädrande och kan därmed öppnas, trots att ett träd trycks emot på utsidan genom det andra paret gripskänklar. Det kan tilläggas att det enda exemplar av detta fällhuvud som idag är i drift i Sverige är utrustat med sågklinga i stället för klipp.

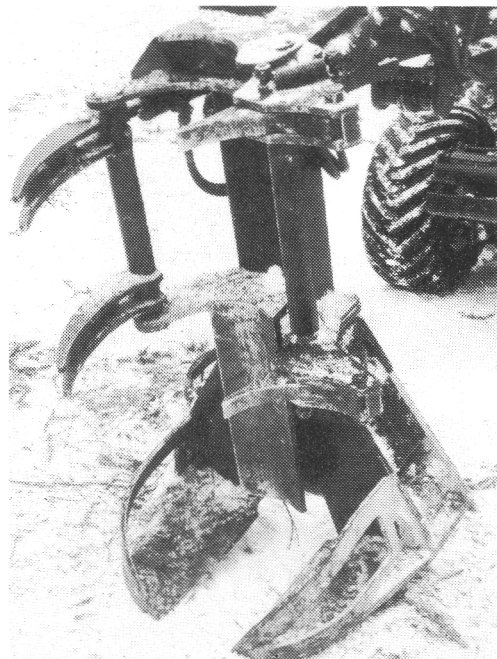
Under 1987 introduceras en annan fällare-sammanförare, Lillebror FMG 0410 (figur 6). Den medger en prestation i intervallet 100–150 träd per G_{15} -timme (Brunberg et al. 1988). I en studie utnyttjades möjligheten att ackumulera två träd i fällhuvudet för 15–42 % av träden. Själva kranarbetet gick då 16–27 % snabbare per träd. Maskinen är dock inte konstruerad för att hantera mer än två träd i taget vid fällning.

37. Buntkvistningsteknik i mitten av 80-talet

Larsson (1984) anger att en väl fungerande buntkvistning är en grundförutsättning för träddele-metoder. Fyra principiellt olika buntkvistnings-tekniker uppges vara i drift:

- Vanlig barkningstrumma i fabriken renseri. Trädde-larna blandas med konventionellt rundvirke i olika proportioner.
- Speciell kvistnings-barkningstrumma i separat träd-delslinje i renseriet. Enbart träddeklar behandlas.
- Stationär kvistningstrumma på fristående terminal. Träddeklar eventuellt i kombination med trädrester behandlas.
- Mobilt kvistningstråg på terminal med trailerhjälp för förflyttningar mellan terminaler. Enbart träddeklar behandlas.

År 1983 studerar Skogsarbeten två anläggningar för buntkvistning, KMW-Mekans upparbetnings-system och AC Invests (Hydrovågs) buntkvistare. Slutsatsen är att KMW-Mekans buntkvistningsteknik med en 12 m lång trumma är mycket intressant för stora och medelstora terminaler (Larsson et al. 1983). Under vissa förutsättningar, t ex att barkning och flisning av cellulosa-vad inte ingår i systemet utan utförs av fabriken renseri, torde prestationen uppgå till 80–100 m^3 f biomassa per G_0 -timme. AC Invests mobila buntkvistare bedöms lämplig för små och medelstora terminaler (Scherman & Nordén 1983). Huvudkomponenterna på AC Invests buntkvistare är, förutom den 15,5 m långa trailern, kvistningstråg, inmatningsficka och bränsletransportör. Studieresultaten pekar på att man med denna maskin bör kunna uppnå en prestation av 50–60 m^3 f biomassa per G_{15} -timme. Erfarenhe-



Figur 5. Fällhuvudet på Kockum 81-11 med klipp (Källa: Myhrman 1983).

terna av buntkvistning kan alltså sägas ha blivit goda vid mitten av 80-talet. Det är dock främst stora, stationära anläggningar som utvecklats.

Dahlin gör 1985 en beskrivning av vad som utmärker olika kvistningsprinciper och -metoder. Han indelar då principerna för kvistning i:

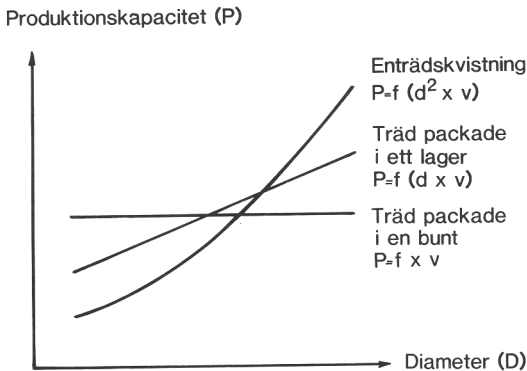
- enträds- eller flerträdiskvistning och
- längs- eller tvärsmatning.

Dahlin anger också hur produktionen principiellt påverkas av träddimensionen och det sätt träden kvistas på. Produktionen anges som mycket dimensionsberoende vid enträdiskvistning med längsmatning och även med tvärsmatning, om träden matas med ett avstånd oberoende av dimensionerna (figur 7). Om däremot träden packas i ett lager blir dimensionsberoendet inte så starkt. En tredje variant är att en bunt med viss tvärsnittsarea kvistas. Då påverkas inte produktionen av de enskilda trädens dimensioner utan enbart av den sammanlagda tvärsnittsarean och matningshastigheten. Detta gäller förstas bara så länge den tekniska konstruktionen medger kontinuerlig matning.

I rapporten om olika kvistningsmetoder anger Dahlin att tvärsmatning bör ge högst produktivitet. För enträdsmatning tvärs sägs endast en utrustning finnas, den s k "Gasslaren", som tagits



Figur 6. Lillebror fällare-sammanförare (Foto: Författaren).

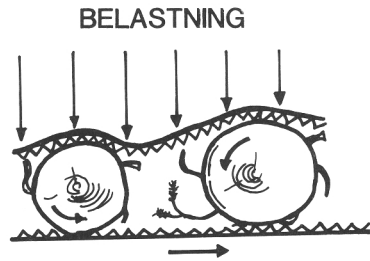


Figur 7. Illustration av hur produktionskapaciteten påverkas av de enskilda trädens dimensioner vid konstant matningshastighet (ej nivåläggningen av de olika principerna). (Källa: Dahlin 1985).

fram som en provbänk på Skogshögskolan. Trädelarna matas mellan två plan som rör sig med olika hastighet (figur 8). Virket roterar då samtidigt som det förflyttas. Olika typer av kvistningsorgan kan användas.

38. Mobila buntkvistare kommer

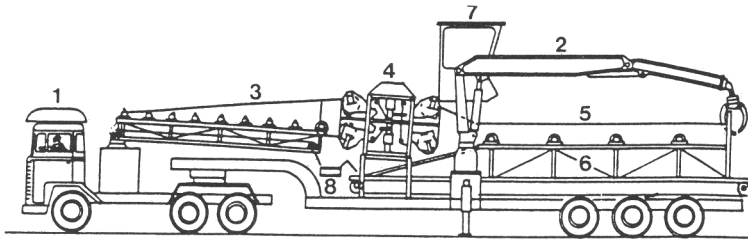
Jonsson studerar 1986 en mobil buntkvistare från Bruks Mekaniska AB (figur 9). Maskinen



Figur 8. Grundprincip för kvistningsanordningen Gasslaren (Källa: Dahlin 1985).

använder roterande kedjor för kvistningsarbetet. Jonsson bedömer en års medelprestation till ca 25 m³f biomassa per G₁₅-timme. Vid bland annat en investeringskostnad av 3,2 miljoner kr, enmansbetjäning och tvåskift beräknas kvistningskostnaden till ca 25 kr/m³f biomassa, dvs förmodligen något mer än för en fast anläggning. Dessutom var utbytet av industrivirke lågt för Bruks buntkvistare, 60 %. Detta berodde dock främst på tillredningen i skogen. För att en rättvisande jämförelse mellan mobil och stationär kvistningsteknik ska kunna göras, måste dock en hel del ytterligare aspekter vägas in, såsom transportkostnader, användande av kvistningsrester m m. Sedan studien gjordes har för övrigt buntkvistaren kompletterats med utrustning för flisning av kvistningsresterna.

Även Cabroverken AB har byggt en mobil



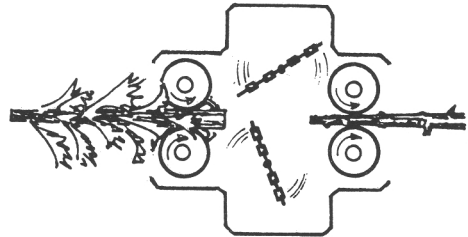
1. Dragbil
2. Kran
3. Inmatningsbord
4. Kvistningsaggregat
5. Rundvirkes-transportör
6. Bandtransportör för grenar
7. Hytt
8. Motor

(Kommentar: Hösten 1986 byggdes maskinen om varvid vikten reducerades och längden minskades.)

Vikt 47 ton
Längd 24 m
Enmansbetjäning



Buntkvistarens inmatningsbord



Principskiss över kedjekvistningsaggregatet

Figur 9. Bruks mobila buntkvistare (Källa: Jonsson 1986).

buntkvistare. Hela ekipaget uppges väga 36 ton, inklusive semitrailer och lastbil, och längden vara 22,3 m. Kvistningen sker i en 6 m lång, roterande trumma med hjälp av kuttrar. Nordén (1987) anger prestationen till drygt 30 m³f biomassa per G₀-timme, vilket motsvarar knappt 25 m³f biomassa per G₁₅-timme, dvs ungefär som för Bruks mobilkvistare. Nordén beräknar kostnaden per m³f biomassa till 21 kr respektive 26 kr, beroende på om maskinen körs i två- eller enkelskift. Utbytet av massaved var 69 % vid studien.

En annan utvecklingslinje, en prototyp till buntkvistare-skotare, tas i mitten av 1980-talet fram av ÖSA AB. Myhrman (1986) anger i en kortfattad sammanställning några tekniska synpunkter på maskinen. Maskinens kvistningsprincip, som bygger på roterande valsar, anges fungera utmärkt. Däremot fanns det vissa svagheter på prototypen, t ex en placering av kvistningsutrustningen alltför högt och för långt bak, vilket gav instabilitet och stor svepradie vid kurvtagning. Andra frågetecken var bl a kran-

placering och -geometri samt orienteringen av virket på lasset. Vid denna tidpunkt fanns inte heller någon bra kopletterande maskin för fällning-sammanföring, vilket förmodligen är ett krav för hela systemet ska fungera väl, varför utvecklingsarbetet avstannade. Denna idé måste ändå sägas vara mycket intressant för klen, tät första gallring.

4. Flerträdsteknik i övriga Norden

4.1. Fällning-sammanföring

Vid Skogsarbetens Rationaliseringskonferens 1981 tar Myhrman upp den finländska Makeri som exempel på en maskin för flerträdshantering vid fällning-sammanföring. Makeri fanns ju som både skördare och fällare-sammanförare (figur 10), den senare utrustad med fyra griparmar i stället för kvistdon. Maskinen kunde acku-



Figur 10. Makeri fällare-sammanförare (Foto: Skogsforskningsinstitutet).

mulera en maximal bunt diameter av ca 25 cm.

Även skördarversionen kunde hantera flera träd i taget genom att vid positioneringen öppna valsar och kvistdon. Det första trädet hindrades då från att falla ur av stödet mot nästa träd. Myhrman och Zylberstein (1980) uppger att flera träd kunde upparbetas tillsammans, dock med sämre resultat som följd. Makeri hade vissa begränsningar när det gällde framkomlighet i något svårare terräng och gav dessutom ganska mycket beståndsskador. Maskintypen framhålls dock som utvecklingsbar. Framkomlighet och skadebild t ex, skulle förmodligen förbättras med ett fyrhjuligt, midjestyrt chassi.

Makeri har studerats mycket i Finland. Makeri fällare-sammanförare studerades av Valonen et al. (1978) och Makeri skördare av Melkko (1979). Hakkila och Wojcik (1980) hade en stu-

dieserie om Makeri-maskiner i Poland. Senare på 1980-talet Kahala (1984) jämförde Makeri 33-T och Kockums 81-11 fällare-sammanförare i drivning av träddeklar. Makeri studerades också i Ryssland i samarbete med ryska och finska forskare (Rubki... 1984). Ergonomiska studier om Makeri gjordes i Skogsforskningsinstitutet vid slutet av 1970-talet (Sirén et al. 1979).

Idag provas i Danmark Kockums nämnda basmaskin med Silva Tec fällhuvud. Detta fällhuvud kan, liksom t ex Lillebrors, hantera två träd i taget. I enstaka fall kan även ett tredje litet träd tas, trots att fälldonet inte är konstruerat för detta. Silva Tec är i dagsläget monterat på en kran som är tillräckligt lång för att alla träd ska kunna fällas från stickvägen. I Danmark accepterar man ju kortare stickvägsavstånd än i Sverige. Kofman (1988) visar i en studie på mycket

Tabell 1. Tidsåtgång och prestation vid fällning med Silva Tec fällhuvud (Källa: Kofman 1988).

	Entrådshantering		Tvåträdsshantering	
	Stickväg 1-4	Stickväg 5	Stickväg 1-4	Stickväg 5
Antal fällningscykler	352	87	125	57
Tidsåtgång per fällningscykel, cmin G_0 -tid	24,6	29,9	34,7	42,6
Prestation, träd per G_0 -timme	244	200	345	281

god prestation med maskinen, framför allt när ackumulering av flera träd skall ske (tabell 1). Prestationen är ca 40 % högre vid hantering av två träd än när ett träd tas i taget.

42. Buntkvistning

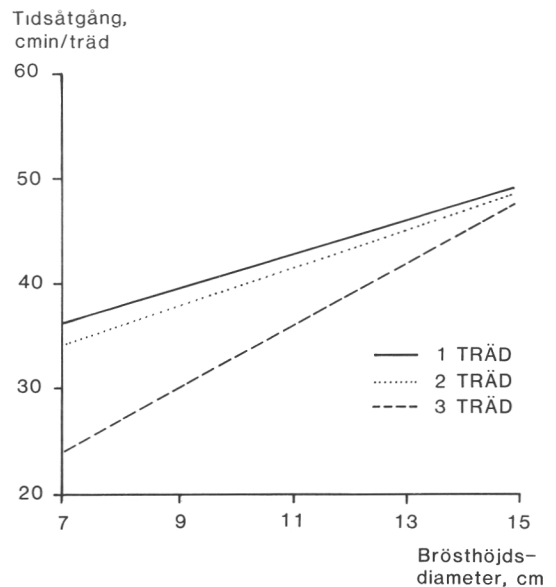
I Finland har det under 80-talet gjorts flera försök med flerträds hanterande kvistning. Lilleberg (1987) visar hur tidsåtgången påverkas av flerträds hantering med Pika 45 kvistare-kapare. Tidsåtgången per träd i den klenaste diameterklassen sänks med ca 33 % då tre träd kvistas i taget jämfört med ett (figur 11). Omvänt innebär det att volymproduktionen är ca 50 % större vid hantering av tre små träd i taget. För studien totalt var prestationen ca 30 % högre vid flerträdsplantering. För träddiametrar upp emot 15 cm är dock skillnaderna små mellan en- och flerträds hantering. Enligt uppföljning i praktisk drift ligger prestationen med Pika 45 i gallring på 13,1 m³f per timme.

Melkko och Mäkelä (1980) anger prestationen vara 31–44 % högre vid flerträds hantering än vid hantering av ett träd i taget. Den studerade maskinen var då en Marttiini kvistare-kapare. I genomsnitt hanterade maskinen 2,6 träd per uppberedningscykel, vilket starkt styrdes av det största trädets dimension. Sambandet mellan uttagets medelstam och prestationen visas i figur 12.

I Finland provar man även engreppsskördare för flerträds hantering. Niemelä (1984) redovisar en studie av flerträdsuppberedning med Lako skördaraggregat. Fällning ingick alltså inte i denna studie. I medeltal hanterades 1,5 träd per arbetscykel. Vid 58 % av cyklerna, motsvarande

Tabell 2. Tidsåtgång och prestation vid enträds — respektive flerträdsuppberedning (Källa: Högnäs 1982).

	Enträdsuppberedning	Flerträdsuppberedning
Tidsåtgång per moment, cmin/träd:		
Uppberedning	54	33 (58)
Förflyttning	4	4 (7)
Totalt	58	37 (65)
Prestation, antal träd/ G_0 -timme	107	165
Prestation, volym m ³ fpb/ G_0 -timme	4,7	7,5
Antal träd per bunt och arbetscykel	1,03	1,78
Medelstamvolym, m ³ fpb	0,044	0,046



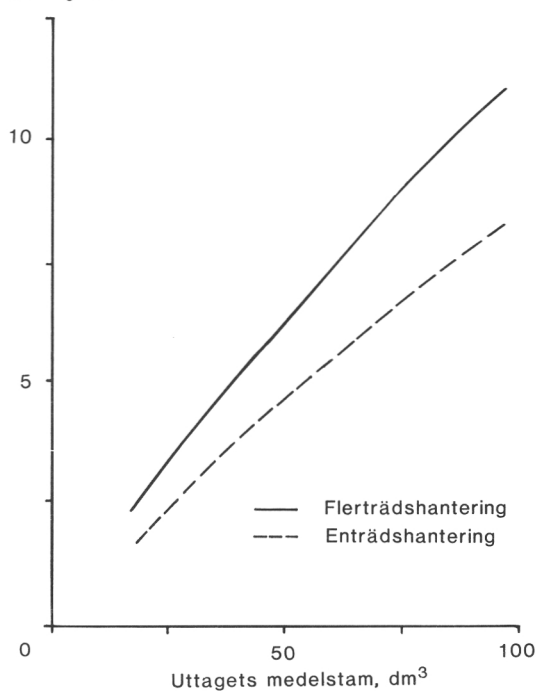
Figur 11. Tidsåtgång för Pika 45 vid flerträds hantering (Källa: Lilleberg 1987).

48 % av gagnvirkesuttaget, uppberedades två eller flera träd i taget. Niemelä menar att med en förbättrad sammanföring kan användningen av flerträds hantering ökas ytterligare. Hur hanteringstiden påverkas av antal träd per bunt visas i figur 13.

Högnäs (1982) jämför enträds- och flerträdsuppberedning med engreppssaggregatet Finko 50, sedermera Lokomo 750H och FMG 750H. Enligt denna studie var prestationen närmare 60 % högre vid flertäds hanteringen, då i genomsnitt 1,8 träd uppberedades per arbetscykel (tabell 2).

1988 studerar Dale och Stenhammer kvistare-

Prestation m^3f
per G_0 -timme



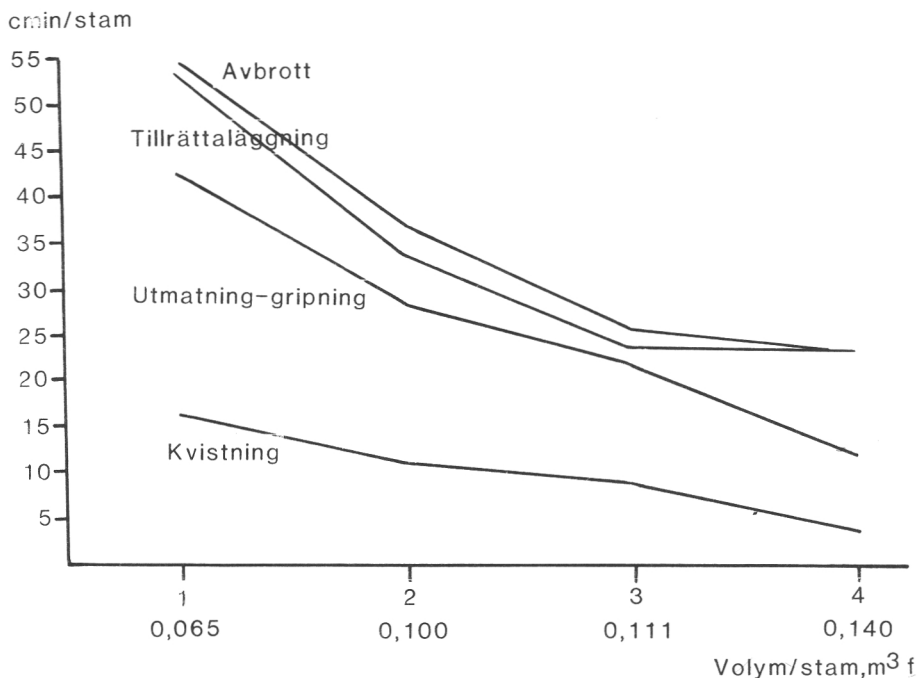
Figur 12. Prestation vid flerträdshantering med Marttiini kvistare-kapare (Källa: Melkko & Mäkelä 1980).

kaparen Patu 30. De redovisar inga siffror på effekten av flerträdshantering, men anger att upparbetningstiden per arbetscykel inte påverkas nämnvärt av antalet träd som hanteras. Träden i studien hade då i genomsnitt en volym av $0,04 m^3f$ och en diameter på 10–11 cm. Man menar därför att prestationsökningen kan bli stor med en kvistare-kapare som flerträdshantlar. För att tekniken ska vara praktiskt intressant krävs dock enligt författarna att

- träden är ungefär jämnstora,
- träden är höglagda och jämnadragna i rotdelen,
- traddiametern är maximalt 15 cm.

5. Diskussion

Hur maskinkoncept grundade på flerträdsteknik bör se ut går inte att svara generellt på. Många faktorer spelar in vid den praktiska tillämpningen av flerträdsteknik. Till de viktigaste faktorerna hör organisationsfrågor, beståndstyp, sortimentsuttag, avsättningsmöjligheter för skogsbränsle och industrins krav på kvistningskvalitet.



Figur 13. Hanteringstid per träd vid olika buntstorlek (Källa: Niemelä 1984).



Figur 14. Valmet 901 med Valmet 942 engreppskördareaggregat. En entreprenör har visat att man med detta aggregat kan hantera träd stående och tack vare separat manövrering av drivrullar och kvistknivar även ackumulera flera träd vid fällning. De ackumulerade träden upparbetas också tillsammans. Att detta kan ge prestationshöjning är lätt att inse. En sådan maskintyp är klart intressant att utveckla vidare. (Foto: Metsäteho).

Utveckling av flerträdsteknik gäller alltså ett mycket brett fält. I vissa trädslssystem har man kommit långt med flerträdstekniken när en fällare-sammanförare har ackumulerande fällhuvud, en skotare kapar trädbuntar med gripsåg och slutligen stora trädsvolymmer kvistas samtidigt. Trädslsystemen kan dock utvecklas vidare mot ännu mer flerträdsantering och högre effektivitet genom att bl a

- fällare-sammanförare ges möjlighet till ackumulering av fler träd och även till bättre framkomlighet vid körning i t ex djup snö,
- andra maskiner som faller, såsom trädsvolymdrivare, utrustas med ackumulerande fällhuvud och dimensioneras för hantering av stående träd,
- gripsågsförsedda skotare kanske även kan utrustas med en anordning på gripen för mycket snabb och enkel grovkvistning av trädbuntar i samband med kapning och lastning,
- de mobila buntkvistare som finns idag förbättras.

Vi har ännu inte kommit så långt när det gäller utvecklingen av flerträdsteknik för uttag av kvistat rundvirke. Terrängförhållanden, små utrymmen, krav på kvistningskvalitet m m gör naturligtvis den buntvisa upparbetningen i skogen svår. Teknik för flerträdskvistning som skulle kunna fungera effektivt i ett drivningssystem för gallring verkar dock finnas tillgänglig. Alternativen är då förmodligen i huvudsak följande:

- Kvista ett par, tre träd i taget i samband med fällning. Maskinen skulle då vara en flerträdsanterande gallringsskördare. Jag vill här poängtera att det finns exempel på att engreppsskördare redan i dag används flerträdsanterande (figur 14).
- Kvista mindre buntar med en stickvägggående maskin. Här kan aktiva, tämligen aggressiva bearbetningsorgan kanske underlätta kvistningen. Maskinen skulle kunna vara en flerträdsanterande kvistare-kapare.
- Lasta en transportmaskin och under lastningen eller under körningen låta virket kvistas. Här kan man tänka sig olika utvecklingsvägar. Antingen att exempelvis trädsvolymerna kvistas satsvis för att sedan hamna i lastutrymmet, alternativt att hela lasset intermittent eller kontinuerligt bearbetas. Förmodligen är det första alternativet mest realistiskt. Då krävs aktiva bearbetningsorgan. Aggressiviteten och därmed bearbetningstiden bör dock kunna varieras med hänsyn till trädsdrag, temperatur m.m.

I denna litteraturstudie finns flera förslag till flerträdsanterande teknik, som skulle kunna användas i olika fall. De möjliga produktivitetsoökningar som sådan teknik skulle kunna medföra anges som 5–40 % för fällare-sammanförare, 10–60 % för kvistare-kapare och flerdubbelt mer för buntkvistare på i första hand avlägg. Många faktorer påverkar dock tillämpningen, varav grundfrågan om hur väl virket ska vara tillrett vid leverans till industrin återigen bör understrykas. En viktig fråga är också hur de

olika leden i drivningsarbetet ska samverka. Kanske det är organisatoriskt mest intressant att bygga ihop flera flerträdshanterande operationer i ett och samma maskinkoncept. Det är många frågor som behöver besvaras inför den fortsatta utvecklingen av flerträdstekniken. Klart är dock att möjligheter till rationalisering finns såväl vid uttag av kvistat rundvirke som då bränsledelen också tas ut.

Avslutningsvis bör det framhållas att första-gallringsarealernas utseende och omfattning samt de drivningskostnader dessa arealer kräver motiverar fortsatt satsning på området flerträdsteknik. Det är rimligt att försöka ta tillvara dessa möjligheter i den fortsatta mekaniseringen och utvecklingen av gallring.

Litteratur

- Ahlgren, T. & Tosterud, A. 1983. Kockum 81-11 fällare-sammanförare för gallring-metodgranskning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 7.
- Boström C. 1978. Gallringsteknik 1978. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi 12.
- 1979. Upparbetning på stickväg i gallring. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 3.
- Bredberg, C.-J. & Moberg, L. 1971. Flerträdshantering. Skogshögskolan, Institut för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser 46.
- , Liedholm, H. & Moberg, L. 1975. Buntkvistning av klenvirke. Skogshögskolan, Institut för skogsteknik, Rapporter och Uppsatser 92.
- Brunberg, B., Lindman, J. & Nordén, B. 1988. Lillebror FS 0410 — en fällare-sammanförare för gallring. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 2.
- Dahlin, B. 1985. Metoder för kvistning av klenvirke. Sveriges lantbruksuniversitet, Institut för skogsteknik, Stencil 41.
- Dale, O. & Stenhammer, E. 1988. Patu 30 kvistemaskin för landbrukstraktor. Norsk institutt for skogforskning, manus till Driftsteknisk rapport, 1988-06-22.
- Hakkila, P. & Wojcik, T. 1980. Thinning young pine stands with the Makeri tractor in Poland. Abstract: Makeri pientraktori nuoren männikön harvennuksessa Puolassa. Streszczenie: Proba zastosowania ciagnika Makeri do pozyskiwania drewna w trzebiezach drzewostanow sosnowych w Polsce. Folia Forestalia 433. 29 p.
- Högnäs, T. 1982. Kokemuksia Finko 50 -kuormainprossorin käytöstä harvennushakkuussa. (Erfarenheter av Finko 50 processorns användning i gallringshuggning). Metsähallituksen kehittämissjaosto (Forststyrelsens utvecklingssektion), Försöksrapport 170.
- Jonsson, T. 1986. Kvistning av träddeklar med Bruks buntkvistare. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 23.
- Jonsson Y. 1974. 70-talets gallringsmetoder. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 2.
- 1976. Sammanföringsteknik i gallring. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 3.
- Kahala, M. 1984. Osapuukorjuu eteläsuomalaisissa harvennusetsäolosuhteissa. Summary: Part-tree harvest-
ing in thinnings in southern Finland. Metsätehon tiedotus 386. 19 p.
- Kofman, P.D. 1988. Mechanized felling and bunching in second thinning. Skovteknisk Institut, Stencil 1988-08-05.
- Larsson, M. 1984. För tidigt spola träd- och träddeklar i slutavverkning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 1.
- , Lidberg, B. & Nordén, B. 1983. Buntkvistning av träddeklar i KMW-Mekans uppabetningssystem. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 26.
- Lilleberg, R. 1987. Pika 45 -prossori harvennuksessa. (Pika 45 processor i gallring och slutavverkning). Metsätehon katsaus 14.
- Melkko, M. 1979. Makeri-harvesteri. Metsätehon katsaus 6. 8 p.
- & Mäkelä, M. 1980. Joukkokäsittelyprossori harvennushakkuussa. (Flerträdshantering med Marttiini-prossori i gallring). Metsäteho, stencil 1980-04-25.
- Myhrman, D. 1971. Den tekniska utvecklingen. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 9.
- 1981. Fällning och sammanföring — gallringens stora problem. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 1.
- 1983. Kockum 81-11 fällare-sammanförare för gallring — maskingranskning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 6.
- 1986. Tekniska synpunkter på ÖSA 700 buntkvistare-skotare. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1986-04-22.
- & Thörlind M.U. 1982. Fälldon med stödhjul. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 2.
- & Zylberstein, M. 1980. Makeri skördare — maskinbeskrivning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Teknik 11.
- Niemelä, H. 1984. Eräitä kuitupuun joukkokäsittelykokeiluja harvennusetsäolosuhteissa. (Flerträdshanteringsprov vid drivning av gallringsbestånd). Helsingfors Universitet, Examensarbete.
- Nordén, B. 1987. Produktionsstudie — Cabro buntkvistare. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Stencil 1987-10-27.
- Rubki uhoda. 1984. Rezul'taty finsko — sovetkogo naučnogo issledovanija. Seloste: Harvennusetsäolosuhteissa. Tuloksia suomalais-neuvostoliittolaisesta yhteistutkimuksesta. Review: Thinning operations. Results from a Finnish-Soviet joint research study. Folia Forestalia 600. 36 p.
- Rydin, J. & Österblom, U. 1969. Kvistningsmaskinen Skruven. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Teknik 5.
- Scherman, S. & Nordén, B. 1983. Kvistning av träddeklar med AC Invest (Hydrovågs) buntkvistare. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 27.
- Sirén, M., Vuorinen, H. & Sauvala, K. 1979. Pientraktorien heilunta. Summary: Low-frequency vibration in small tractors. Folia Forestalia 383. 12 p.
- Valonen, P., Papunen, K. & Salo, E. 1978. Tuloksia Makeri-pientraktorialuston käytöstä männikön ensiharvennuksessa. Manuscript. 25 p.

Grundpublikation

- Brunberg, B. 1989. Flerträdsteknik — en litteraturstudie — Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse 1.

Teoretisk granskning av möjligheterna till flerträdshantering

Auvo Kaivola

1. Inledning

I denna utförda teoretiska granskningen beskriver man flerträdshanteringsmetoderna och deras utvecklingsmöjligheter utgående från den funktionella beskrivningen av virkesdrivningen. Med en funktionell beskrivning avses här en mängd arbetsmoment och deras ordningsföljd utgående från de funktionella mål man ställt på virkesdrivningen. Som virkesdrivningens funktionella mål ansåg man att vara en bearbetning av träden så att virket uppfyller vissa krav samt att också förflyttningen av virket till ett bestämt avlägg hör med. Vid granskningen berördes ej de flerträdshanteringsmetoder som tillämpas på mellanavlägg inte alls.

2. Flerträdshanteringens definition

Termen flerträdshantering har man vanligtvis inte definierat i samband med virkesdrivningen. Termens användning har begränsats till de arbetsmoment, där träd skall bearbetas till virke. I allmänhet sammankopplas termen flerträdshantering knappast alls med förflyttningen och transporten av virket. Man har gjort så där trots att det ofta till bearbetningen av virket tillhör förflyttning i någon mån. Enligt denna tolkningen har flerträdsmetoder även använts vid en traditionell virkesdrivning. Till exempel utförs lastningen av virket från högar till skotaren numera enligt en flerträdshanteringsmetod.

Enligt en entydig definition hör till flerträds-hantering alla de arbetsmoment inom virkesdrivningen där åtgärden riktas mot fler än ett träd, alternativt träddelar, samtidigt. I denna granskningen skall termen driftsobjekt användas för träden och deras delar. De materialbitarna som hanteras samtidigt bildar en hanteringsenhet, som inom flerträdshantering typiskt nog består av fler än ett driftsobjekt. Flerträdshantering är ett slag av virkesdrivningen, där man under något arbetsmoment hanterar ett flertal driftsobjekt samtidigt.

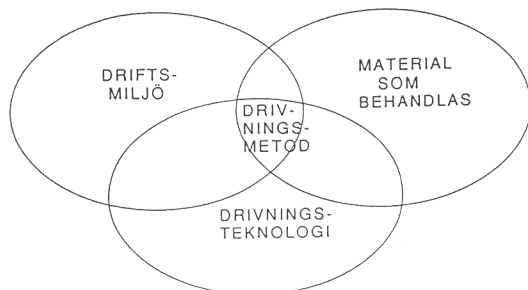
3. Utvecklingsarbetets bakgrund

Analysen av utvecklingsmöjligheterna för flerträdshanteringsmetoderna baserade sig på beskrivningen av virkesdrivningens delfaktorer och deras inverkan på förutsättningarna för att kunna förverkliga de olika arbetsmoment. De ovan nämnda är beskrivna i figur 1.

Arbetsmomenten kan delas i sådana som förändrar driftsobjektets läge samt sådana som bearbetar driftsobjektet. Ändamålet med förändrandet av driftsobjektet är antingen förverkligandet av det uppställda transportmålet eller för att fungera som ett hjälpmedel för förverkligandet av de övriga arbetsmoment.

Möjligheterna till flerträdshantering varierar beroende på om arbetsmomenten berör trädens läge eller deras fysiska egenskaper. Det är tekniskt sett enkelt att förändra trädens läge att förflytta eller transportera driftsobjekten. Arbeten består av att ta fast, förflytta samt att lösgöra taget av bördan. Jämförd med hantering av ett träd i sänder bör man endast lösa de problem som uppkommer från bördans avvikande massa, struktur och dimension.

Däremot är problemfältet avsevärt större vid arbetsmoment, där trädens fysiska egenskaper förändras. Funktionsprincipen begränsas avsevärt bland annat av de krav som ställts på virket. Det tekniska utförandet av arbetsmoment är också då mycket mera komplicerat.



Figur 1. Delfaktorer i virkesdrivning.

4. Utvecklandet av driftsmiljön

Man kan förbättra driftsmiljön genom att till var och en driftsmetod välja en stämpling där arbetsförhållandena för den ifrågavarande metoden är möjligast gynnsamma. Dessutom kan man inom stämplingen förbättra driftsmiljön för flerträdshandling genom att förändra valkriterierna för de träd som skall avlägsnas.

Gynnsamma stämplingar för flerträdshandling är sådana, där trädbeståndets storlek möjliggör tekniskt flerträdshandlingens utförande. Dessutom bör materialbitarna vara belägna så att det är ekonomiskt och tekniskt lönsamt att förena flera driftsobjekt till en behandlingsenhet.

Virkesvolym per hektar har en likadan inverkan på produktiviteten vid flerträdshandling som driftsmetoderna, som baserar sig på handlingen av ett träd i sänder. Trädbeståndets täthet och speciellt dess interna ordning är av stort betydelse vid flerträdshandling.

Vid gallring skall de träd väljas som avlägsnas på basen av trädens fysiska egenskaper samt på trädens läge i beståndet. Vid flerträdshandling bör valet av träd basera allt mer på trädens läge.

I praktiken betyder det att träden skulle avlägsnas gruppvis. Ett gruppvis avlägsnande medför antingen ett öppnande av stråk eller linje, eller avlägsnandet av trädgrupper. Detta betyder att man måste överge den principen som säger att gallringen skall förbättra växtförhållandena av alla kvarblivande träd. Detta är grundidén för flerträdshandling, det vill säga, att den minsta driftsenheten inte kan vara en trädindivid utan en grupp av träd.

Samtidigt förändrar man trädens stamantalsserie; träden som avlägsnas är i genomsnitt grövre än vid låggallring. Beståndets produktionsförmåga och dess utveckling efter avverkningen är avgörande då vi avviker från dagens skogsbehandlingsmetoder. Avverkningens utförande påverkar knappt alls på produktionen per ytenhet i granbeståndet på bördiga marker. Stamarnas grovleksutveckling förändrar sig däremot starkt. En allt mindre del av träden utvecklas till samma grovlek som annars. I framtiden då skogsbrukets mål allt mera utförs av produktionen av massaved i stället för timmer, den avtagande grovlekens betydelse kommer att minska.

Tabell 1. De tekniskt möjliga maskinspecifika flerträdshandlingsalternativen som är inte beroende av arbetsmomenten.

Alternativets nummer	Driftsobjekt per aggregat	Aggregat per maskin	Samtidiga processer per maskin	Förekommer det flerträdshandling?
1	1	1	1	Nej
2	1	1	>1	.
3	1	>1	1	Ja
4	1	>1	>1	Ja
5	>1	1	1	Ja
6	>1	1	>1	.
7	>1	>1	1	Ja
8	>1	>1	>1	Ja

5. De tekniska alternativen

De tekniskt möjliga maskinspecifika flerträdshandlingsalternativen som är inte beroende av arbetsmomenten, kan kartläggas på basen av arbetsmaskinens aggregat, driftsobjekt som bearbetas med maskinorgan och av antalet processer som utförs samtidigt med maskinen. Av dessa tre faktorer erhåller man åtta alternativ (tabell 1).

Alternativet nummer två och sex är teoretiskt omöjliga eftersom maskinen har endast ett aggregat. Vid detta är det omöjligt att utföra samtidigt flera processer. Det alternativ, där värdet för varje kontrollerad faktor är ett, skall även gallras, eftersom ifrågavarande funktionen inte är av typen flerträdshandling.

Alternativ 1

I detta alternativ finns det aggregat som samtidigt utför flera identiska funktioner. Var och ett maskinorgan bearbetar endast ett driftsobjekt i sänder. En maskin som har flera lastningsdon som fungerar oberoende av varandra, utför ett exempel för detta alternativ. Ledning och övervakning av flera samtidigt fungerande aggregat förblir olösa.

Alternativ 4

Detta alternativ skiljer sig från alternativ nummer tre endast i det, att maskinens aggregat utför olika funktioner. Nuförtiden fungerar en stamprocessor enligt denna princip. Den kan fördela arbetsmomenten så att stammens bearbetning och en samtidig hämtning av en annan stam är möjlig.

Alternativ 5

Detta alternativ har varit länge i användning inom virkesdrivningen. Ett typiskt användningsområde är virkets lastning från hög med griplastare. Ett annat exempel utgör av en samtidig bearbetning av flera träd eller trädskidor med en engreppsskördare. Därtill hör buntkvistarna, som baserar sig på barkningstrummans användning, till detta alternativ.

Alternativ 7

Då man till sitt förfogande har flera aggregat, som man beskriver i alternativ fem, är det fråga om det tekniska alternativet nr. 7.

Alternativ 8

Detta är det krångligaste men samtidigt den mångsidigaste tekniska lösningen inom flerträdshanteringen. Man måste samtidigt lösa problemen som föranleds av att flera driftobjekt bearbetas samtidigt, samt av att flera samtidiga processer måste styras och övervakas.

6. Virkets egenskaper

De krav som ställs på virket berör dess dimensioner och kvalitet. De träd som valts till drivningen bearbetas till önskade sortiment med en grupp arbetsmoment, varvid man antingen avlägsnar de delar av trädet som lämnas kvar i skogen eller delar driftobjekten i mindre enheter för drivning.

De träddelarna med mindre värde som lämnas kvar i skogen är till exempel stubbarna, kvistar-

na, barken och topparna. Driftobjekten fördelas i mindre delar enligt de krav som ställts på virket eller för att förbättra virkesdrivningens tekniska utförande.

Ju mera specifika krav man ställer på virket, desto sämre lämpar sig flerträdshantering till avverkningsmetod. Eftersom man inom flerträdshanteringen inte beaktar ett enskilda trädets utan en trädgruppens egenskaper, är det svårt att uppfylla de kvalitetskriterier som baserar sig på hantering av enstaka träd.

I det arbetsmoment där man från driftobjektet avlägsnar den i skogen kvarblivande delen, korrelerar arbetets kvalitet med den tid man använt till arbetets utförande. Härvid kan ett allt bättre resultat genom en allt större arbetsinsats erhållas.

Man kan påverka virkets kvalitet genom att skilja driftobjekten enligt apteringsresultaten i delar. Det är svårt vid flerträdshanteringen att dela stammar individuellt i dess längdriktning i olikvärda delar på ett tillfredsställande sätt. Ifall en bestämd längd av trävarustyckena är ett kvalitetskrav på virket, är det svårt att förverkliga avverkningen genom flerträdshanteringen.

Ifall man skiljer stammar i delar endast för att underlätta transporten, då kan arbetet utföras lätt genom flerträdshantering.

Användningen av ett litet antal sortiment förbättrar möjligheterna till en flerträdshantering. Detta betyder i praktiken till exempel det, att man endast avverkar träd av ett trädslags till råvara till endast en förädlingsprocess. Det är en fördel ifall man inte behöver utföra några tidskrävande bearbetningsmoment just för att uppfylla vissa sortimentens minimikvalitetskrav. Detta avser till exempel drivning av partiellt kvistade sortiment.

Simulering som ett medel vid utvecklandet av fler-trädsmetoder

Auvo Kaivola, Robin Richardson och Jimin Tan

1. Alternativa simuleringar

Vid utvecklandet av virkesdrivningen har man utnyttjat både miniatyrmodeller och datorsimulatorer. Man har simulerat med dem t.ex. kranarbetet, fordonets framkomlighet, och arbetsartens roll vid belastningen av arbetaren. De på användningen av datorerna baserade simulatorerna har närmast använts som räkneautomater, med vilka man klarlagt inverkan av olika virkesdrivningsförhållanden på drivningens produktivitet eller på drivningskostnaderna. Därtill har man utarbetat datormodeller för enskilda arbetsmoment vid drivningen.

Då man fattar beslut ang. virkesdrivningens avancering, val av träd för avverkning och ordningen vid avlägsnandet av träd på arbetsmomentsnivå kan man utnyttja en modell fast förenad till simuleringsmodellen, en optimerande procedur eller en process som står i växelverkan med datorn.

Utgångsdata för simuleringen kan vara teoretiska eller basera sig på värden uppmätta i praktiskt arbete. Även miniatyrmodeller kan utnyttjas vid anskaffningen av utgångsdata. Data kan vara mera eller mindre detaljerade. De kan antingen bestå av medelvärden och fördelningar på drivningsobjekt eller de beskriver olika faktorer påverkande utförandet av enskilda åtgärder.

Syftet med simuleringen vid virkesdrivningen är att skapa underlag för granskningen av olika tekniska lösningar vid olika förhållanden. Som resultat kan man få information ang. tidsåtgång vid olika arbetsmoment, produktivitet och belastning vid arbetet eller maskinkomponenters rörelsebanor.

2. Simulatorn skapad vid projektet

Inom detta projekt har man skapat på Institutionen för skogsteknologi vid Helsingfors universitet en simulator, som använder Turbo-Pascal v. 4.0 programmeringsspråk samt skilda pro-

grambibliotek anknutna till det. Simulatorn fungerar i mikrodata med IBM anslutningsmöjlighet. Som minsta krav för utrustningen är en hårdskive-enhet, 640 kB centralminne samt en skärm av minst EGA-standard.

Det är möjligt att beskriva med denna simulator:

- inverkan av olika drivningsmetoder på tidsåtgången hos olika arbetsmoment och
- inverkan av olika drivningsförhållanden på tidsåtgången hos olika arbetsmoment.

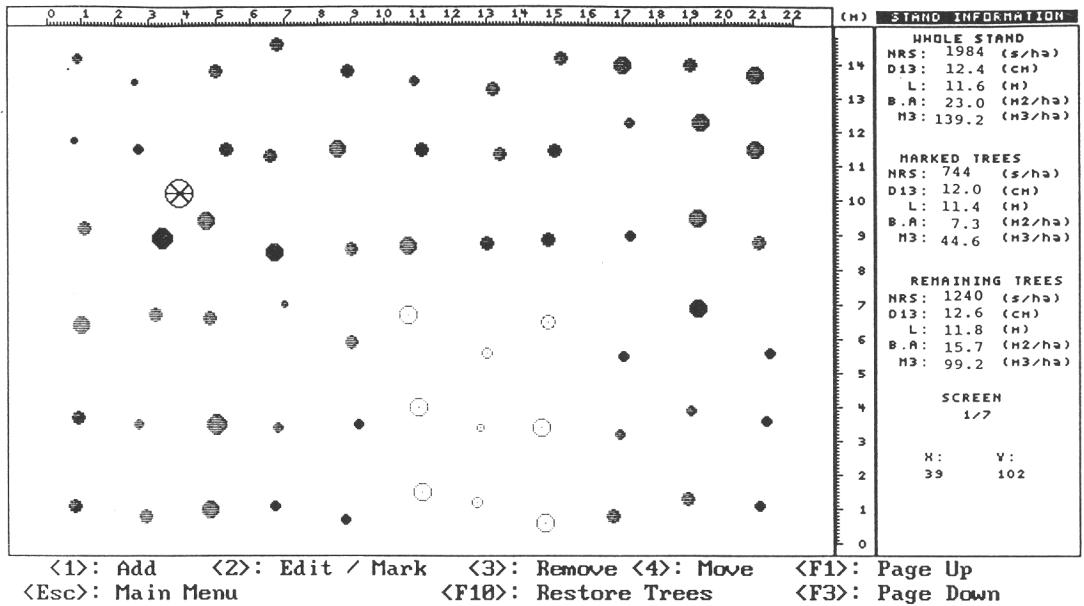
De viktigaste delarna av simulatorn är databasen PUUSTO, databasen MENETELMÄT och den grafiska användaranslutningen KARTTA.

Till databasen PUUSTO matar man enligt drivningsobjekt uppgifter om fysiska egenskaper och lägen av träd. Det är möjligt att mata dessa uppgifter träd efter träd på simulatorns kartbotten eller från en utomstående fil i form av ASCII-data. De inmatade uppgifterna kan granskas och förändras på kartbotten samt matas på nytt i databasen. Så är det möjligt att skapa drivningsobjekt med olika beståndsdata.

Till databasen MENETELMÄT kan man mata maskinspecifika uppgifter. Inverkan av olika arbetsmetoder på tidsåtgång hos arbetsmoment kan framföras genom att förändra koefficienter hos funktioners variabler. Som funktionernas variabler används egenskaper hos arbetsobjekt och arbetsförhållanden. För varje drivningsmetod definerar man också fördelningen av stammarna till högst två virkessortiment, till oanvänt och till topträ enligt brösthöjdsdiameterklasserna.

De träd som skall avlägsnas, kan väljas på förhand eller maskinföraren stämplar dem med KARTTA-användaranslutningen. På samma sätt kan man fatta beslut vid olika arbetsmoment t.ex. om ordningen vid behandlingen av träd i växelverkan genom KARTTA-användaranslutningen.

Tack vare växelverkan kan man lätt simulera olika gallrings- och arbetsmetoder. Samtidigt är det möjligt att följa arbetet grafiskt på KART-



Figur 1. Beståndskarta från KARTTA-användaranslutningen.

TA-användaranslutningen. Det är inte möjligt att optimera gallrings- och arbetsmetoder med denna simulator. Man vore tvungen att utveckla en dirigeringsprocedur som optimerar valet av de träd som skall avlägsnas, antalet träd som samtidigt bearbetas samt platsen för utförandet av bearbetningen.

På figur 1 kan man se en beståndskarta, som man erhållit från KARTTA-användaranslutningen. Det är möjligt att se där träden, resultat som projicerar deras egenskaper i realtid och funktionstangenterna för behandling av beståndsuppgifterna.

Den undersökta modellmaskinen i simulatoren är en engreppsskördare. Av de faktorer som påverkar maskinens produktivitet behandlas följande:

- trädens fysiska egenskaper
- trädens läge (avstånd) i förhållande till maskinen
- trädens läge i förhållande till de övriga träden.

Trädens egenskaper projiceras i PUUSTO-databasen med hjälp av de erhållna uppgifterna. Trädets läge i förhållande till maskinen definieras med hjälp av koordinaternas differens. Inverkan av de övriga träden på arbetsprestationen beskrivs med beståndets täthet. Beståndets genomsnittliga täthet används inte som täthetsvär-

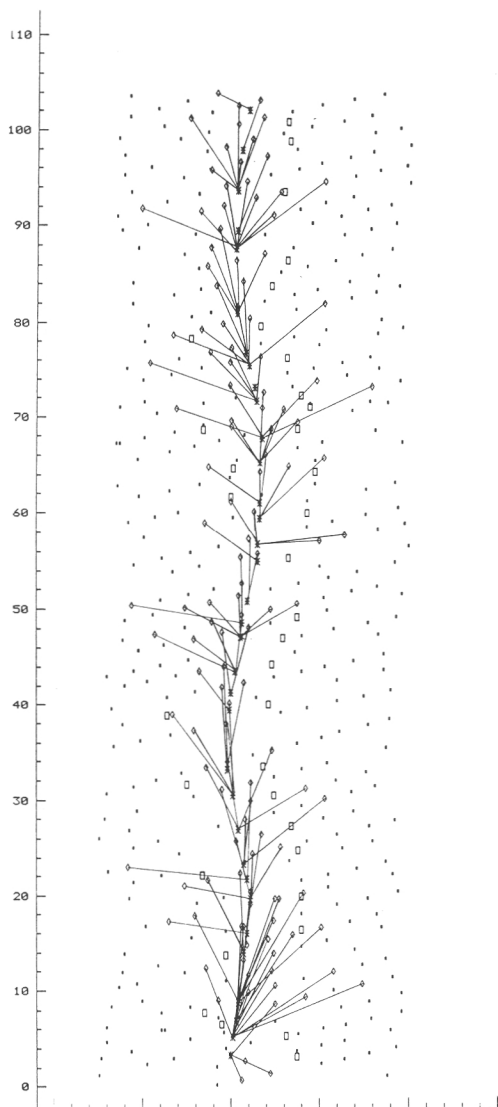
de utan ett lokalt täthetsvärde. Detta beräknas utgående från antalet träd som förekommer på ett område som krävs för att man kan flytta på aggregatet. Härmed får man reda på hur trädens volymordning och gruppering inverkar på tidsåtgång.

3. Utgångsuppgifternas uppsamling

För att erhålla de utgångsuppgifter man behöver till simulatoren gjorde man i maj 1989 ett fältförsök i samarbete med Skogsarbeten i Uppsala län i Sverige. Man borde samla ihop mera material som berör flerträdshandling i början av 1990.

Före tidsstudien bestämdes trädens karakteristika och koordinater. Samtidigt numrerades träden och man märkte ut körstråket. Tidsstudien strävade till att undersöka maskinens möjligheter till att bearbeta flera träd i sänder. Eftersom drivningsområdets bestånd inte var gynnsamt för flerträdshandling berörde största delen av datan enträdshandling. Förutom trädets placering fastslog man också trädets brösthöjdsdiameterklass och trädslag. Efteråt fastslogs beståndets höjd.

Arbetsmoment i fältförsöket definierades enligt följande:



Figur 2. Karta över körstråk.

1. fällning av trädet: börjar då aggregatet är på 0,5 meters avstånd från stammen före fällningen. Avslutas då flyttningen eller trädets fallande inleds.
- 2a. lastningsapparaten förflyttning till trädet: ett arbetsmoment som infaller före fällningen.
- 2b. lastningsapparaten förflyttning från träd till träd: detta arbetsskede förekom endast i cykler där man bearbetade två eller flera än två träd. Inleds då trädet börjar falla eller man börjar flytta på det efter sågningen.
3. fällning och förflyttning av bördan: inleds då fällningen av cyklens sista träd avslutas. Inleds då matningsrullarnas funktion börjar.

Maskinens läge fastslogs genom att uppge numret på trädet närmast maskinens framhjul. På motsvarande sätt fastslogs travens läge med hjälp träden som befann sig närmast travens ända.

Figur 2 är en karta över ett ca. 100 meter långt körstråk samt över de träd och lägen maskinen hade då den bearbetade de till körstråkets verksamhetsområde hörande träden. Så gott som alla träd bearbetades skilt för sig.

4. Materialets fortsatta behandling

Den i skogen utförda arbetsandelen decimerades genom att utföra vissa mätningar matematiskt med hjälp av de uppgifter man erhållit från skogen. Eftersom träden befann sig i köformation mättes endast deras andra koordinat. Den andra koordinaten fastslogs härmed de uppgifter man mätt i skogen enligt:

1. avståndet mellan trädraderna
2. avvikningen från trädraderna
3. som placeringen som avviker från en träformation av rak karaktär

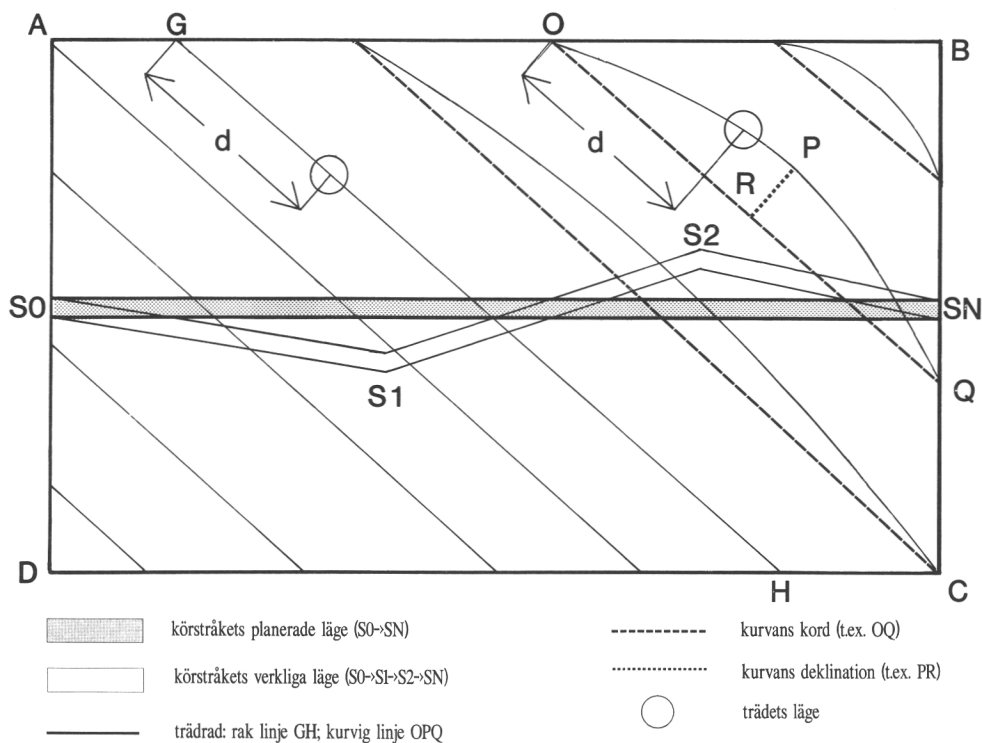
I figur 3 beskrivs faktorerna som använts till att fastslå trädens läge.

Fastsläendet av trädens koordinater inleddes i ändan av drivningsområdet. Eftersom trädraderna inte var vinkelrätt med körstråken förändrades koordinaterna till ett rätvinkligt koordinatsystem. Dessutom fastslogs körstråkets verkliga läge efter drivningen.

5. Analyseringen av tidstudiematerialet

Vad arbetsmomentenas tidsåtgång beträffar klarläggs följande korrelationer:

- Den tid som åtgår för lastningsapparaten att flytta sig till cyklens första träd versus avståndet från maskinen till första trädet.
- tiden för lastningsapparaten förflyttning från ett träd till ett annat med flerträdshandling versus sträckan som lastningsapparaten måste förflyttas.
- tiden som åtgår för att fälla och flytta ett träd eller ett träknippe versus trädets eller virkesknippets diameter och versus trädets volym.
- bördans processtid versus summan av trädens diameter eller genomsnittsdiametern gånger antalet eller versus trädens totalvolym eller genomsnittliga volymer trädens antal.



Figur 3. Faktorerna som använts till att fastslå trädets läge.

En del av det behandlade materialet är mätt under samma fältförsök av Skogsarbeten. Dessutom använder man forskningsmaterial om motsvarande tidsåtgång som man samlat in tidigare. Efter att korrelationerna slagits fast klargör man möjligheterna för regressionsanalys och att få variablerna konstanta.

6. Användningen av de analyserade uppgifterna

Man strävar till att använda de uppgifter man får från analysen till dirigerande uppgifter i den simulator man beskrivit ovan. Man har som målsättning att upprepa de avverkningar man förverkligat på provytorna med datorsimulatorens samt införa uppgifter i simulatorens om eventuella behov till förbättring. Dessutom vill man analysera orsakerna till differenserna mellan resultatet från den verkliga drivningssituation och resultatet från den simulerade driften.

Flerträdskvistare av tråg-typ

Bo Dahlin

1. Bakgrund

I de nordiska länderna utgör klena gallringar ett allt större problem. Volymen av sådana avverkningar ökar, men de blir allt svårare att klara av både arbetskraftsmässigt och ekonomiskt, samtidigt som det ur skogsskötselsynpunkt är viktigt att de utförs. Genom flerträdsshantering kan avverkningar avsevärt rationaliseras. Då kvistningen är den mest arbetskrävande och kostsamma operationen i en avverkning, är den intressantast att rationalisera.

Under de senaste 20 åren har ett flertal olika konstruktioner för flerträdskvistning framtagits. De kan delas in i fyra principiellt skilda typer.

1. Skrap-typ
2. Gissel-typ
3. Trum-typ
4. Tråg-typ

Det går teoretiskt att visa att olika flerträdskvistare skiljer sig vad beträffar produktivitetens känslighet för tråddiametern. Trum- och trågvistare har härvid de bästa förutsättningarna att klara klena tråddiametrar utan alltför stor påverkan av produktiviteten. Trågvistare medger dock större flexibilitet vid konstruktionen än trumkvistare.

2. Syfte

Syftet med arbetet är att beskriva och analysera flerträdskvistning med kvistare av trågtyp med avseende på kvistningskvalitet, förlust av stamved och produktivitet. Ett antal delmål kan härvid definieras.

- att analysera kvistningsförloppet
- att jämföra olika typer av kvistningsorgan
- att studera inverkan av trågets utformning
- att studera inverkan av transportörens hastighet

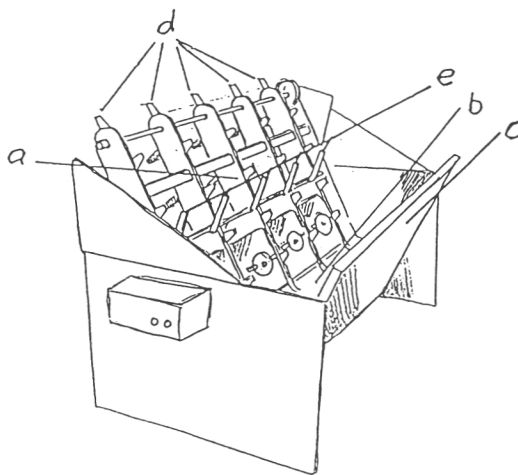
3. Material och metoder

31. Experimentrigg

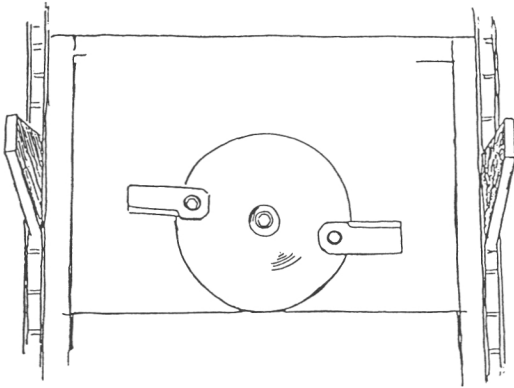
För ändamålet byggdes en experimentrigg. Som utgångspunkt togs en tidigare konstruktion, prototypen "Tråget". Av figur 1 framgår riggens konstruktion och dess olika delar. Riggen är 4,9 m lång invändigt. I långsidan med transportör är utrymmen upptagna mellan transportörkedjorna för montering av kvistningsorgan.

32. Kvistningsorgan

Fyra olika typer av kvistningsorgan studerades: fasta knivar, öppna valsar, hela valsar och slagor. De öppna valsarna och slagorna gjordes i två versioner, vilka studerades separat. De fasta knivarna utformades i enlighet med de som användes i den tidigare prototypen Tråget. De öppna valsarna var konstruerade av ÖSA och användes i en prototyp av flerträdskvistare byggd av dem. Dessa valsar monterades två och två för



Figur 1. Utformning av experimentriggen och dess olika delar. a) transportör; b) återföringsarmar; c) kvistningsorgan; d) transportör; e) återföringsarmar



Figur 2. Slaga — liten diameter.

att kunna studera effekten av att ha två kvistningsorgan i serie. Ursprungligen var valsarna försedda med tänder utan egg. För att undersöka vilken betydelse egg har för effektiviteten, skars tänderna bort och i stället slipades en rak egg till. De hela valsarna är en kopia av de valsar som användes i AC-Invests buntkvistare. Slagorna gjordes i två versioner, en med full diameter — 764 mm — och en mindre modell — 572 mm — för att möjliggöra jämförelse med valsarna (figur 2).

33. Virke

Virket till studien togs i bestånd närbelägna Garpenberg, där kvistaren var placerad. Tall (*Pinus sylvestris* L.) och gran (*Picea abies* (L.) Karst.) studerades i trädslagsrena försök. Medeldiametern i brösthöjd var för tall 93 mm och

för gran 103 mm. Medelvolymen stamved i varje bunt var 0,77 m³ fpb för tall och 0,63 m³ fpb för gran.

34. Inmätning

Virket till studierna kapades i 4,5 m långa bitar förutom toppen som fick bli det den blev. Toppar under 2 m togs inte med. Bitarna märktes samt diameter- och längdmättes. Två träd i varje bunt utvaldes till provträd. På bitarna från dessa träd utmärktes 0,5 m långa mätsektioner med 0,5 m inbördes avstånd. Sektionerna kom på detta sätt att vid kvistningen i huvudsak att bearbetas av endast ett kvistningsorgan. Inom varje sektion diametermättes var tredje gren.

Kvistningen avbröts efter varje hel minut och eventuella stamvedsförluster registrerades för samtliga bitar. Provgrenarnas aktuella längd mättes också. Då mer än 75 % av provgrenarna var kortare än 25 mm avbröts kvistningen.

Som mått på effektiviteten användes den kvistningstid då 75 % av grenarna skall vara kortare än 25 mm. Värdet interpolerades fram från resultaten från de intilliggande avbrotten. Förlusten av stamved beräknades för samma tidpunkt.

4. Resultat

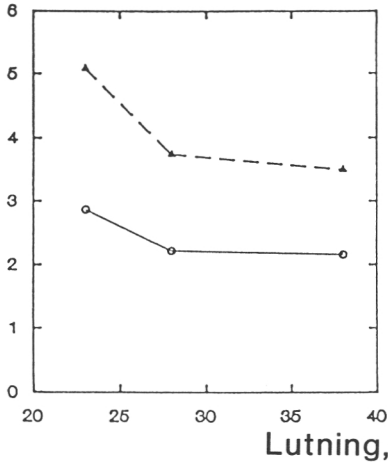
41. Kvistningsförlopp

Analys av kvistningsprocessen visar att kvistningsförloppet väl kan exemplifieras med en funktion av typen

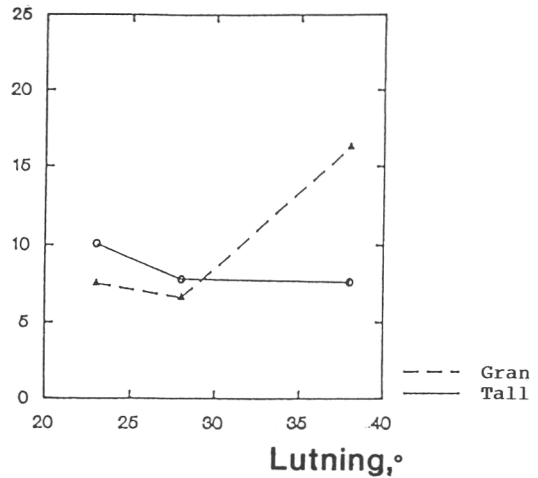
Tabell 1. Resultat av kvistning med olika kvistningsorgan. n = antal buntar, mv = beräknat medelvärde, mf = medelfel.

Kvistningsorgan	n	Kvistningstid, min.			Förlust av stamved, %					
		Tall mv	mf	n	Gran mv	mf	Tall mv	mf	Gran mv	mf
Fasta knivar	3	5,49	0,48	3	8,59	0,73	17,9	3,7	12,1	3,5
Öppna valsar med tänder										
enkel	2	3,86	0,03	2	6,88	0,52	7,2	4,0	9,2	2,0
dubbel	2	3,55	0,30	2	7,38	0,52	11,9	5,5	19,8	5,2
Öppna valsar med egg	3	4,30	0,06	3	5,89	0,08	13,5	1,4	13,9	3,7
Hela valsar	3	3,93	0,54	3	7,46	0,22	15,0	3,8	16,8	3,6
Slagor										
liten diameter	4	3,55	0,08	4	5,51	0,13	4,8	1,1	4,4	1,0
stor diameter	4	2,25	0,31	4	4,17	0,17	7,9	0,5	7,8	0,5

Kvistningstid, min.



Förlust av stamved, %



Figur 3. Inverkan av lutningen av långsidan med transportör på kvistningsresultatet.

$$Y = 1/(1 + e^{(\alpha + \beta \times \ln(t))}),$$

där Y är andelen grenar som är kortare än 25 mm, t är kvistningstiden och α och β är koefficienter. Andelen stamvedsförluster är starkt beroende av kvistningstiden, på så sätt att längre bearbetningstid innebär ökad mängd stamvedsförluster. En effektiv kvistning är därför även positiv ur synvinkeln att det blir mindre stamvedsförluster.

42. Kvistningsorgan

Resultaten som redovisas i tabell 1 visar att det passiva kvistningsorganen med fasta knivar är underlägset aktiva kvistningsorgan. Det har ingen betydelse för effektiviteten att placera flera kvistningsorgan i serie i långsidan med transportör. Vidare så är det av största vikt att kvistningsorganen har eggat vid kvistning av gran, vilket dock inte är fallet för tall. De öppna valsarna är effektivare än de hela valsarna vad gäller gran. Ingen signifikant skillnad kan dock noteras för tall. Slagorna synes dock vara de mest effektiva kvistningsorganen. Skillnaden mellan de stora och små slagorna visar att diametern och knivarnas vikt är en väsentlig faktor.

43. Maskinvariabler

Lutningen av långsidan med transportör har en stor betydelse för resultatet (figur 3). En mer upprätt långsida förlänger den erforderliga kvistningstiden medan en för horisontell långsida åstadkommer störningar i flödet och ökar förlusten av stamved. Optimum bör vara drygt 30° lutning, dock förefaller optimalt vara flackt och $\pm 5^\circ$ gör ingen större skillnad.

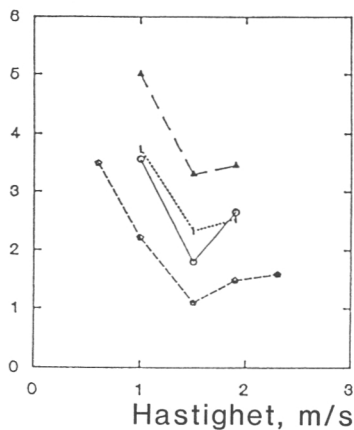
Transportörens hastighet har även den en avgörande inverkan på effektivitet och mängden stamvedsförluster. Optimum synes vara omkring 1,5 m/s både vad gäller effektivitet och för att minimera förlusterna av stamved (figur 4).

5. Diskussion

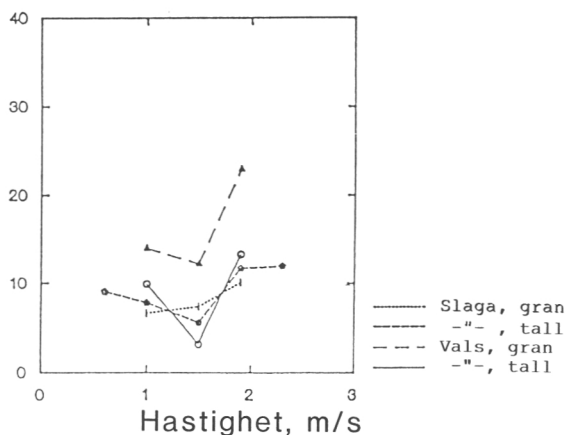
För flerträdkvistning kan inte kvistningskvalitet uttryckas per gren eller ens per bit. Den i detta arbete valda definitionen av acceptabel kvalitet, 75 % av grenarna kortare än 25 mm, överensstämmer med vad man subjektivt kan bedöma som acceptabel kvistningskvalitet för massaved. Den från denna definition härledda definitionen av effektivitet, erforderlig kvistningstid för att 75 % av grenarna skall vara kortare än 25 mm, visar sig fungera bra som effektivitetskriterium.

Kvistningsförloppet, uttryckt i andelen grenar

Kvistningstid, min.



Förlust av stamved, %



Figur 4. Inverkan av transportörens hastighet på kvistningsresultatet.

kortare än en viss längd i relation till kvistningstid, har en S-formad utveckling. Den i resultatdelen angivna funktionen kan väl anpassas till resultatet.

Förlusten av stamved har även den en S-liknande utveckling, men någon funktion har inte anpassats till dessa resultat, då variansen är mycket stor.

Tall och gran ställer till viss del skilda krav vad gäller utformningen av kvistningsorgan. Tallgrenar verkar vara skörare än grangrenar. För att kvista tall krävs därför inga vassa egg, utan kvistningsorganens anslagsenergi har den största betydelsen. För de segare och mer böjliga grangrenarna är det dock från effektivitetssynpunkt viktigt att kvistningsorganen är försedda med vassa egg för att kunna skära av grenarna. Det kan också konstateras att tall låter sig avkvistas avsevärt snabbare än gran. Skillnaden blir ännu större om man jämför produktiviteten, då volymen stamved i en bunt är större för tall.

Slagorna visar sig vara de mest effektiva av de prövade kvistningsorganen. Skillnaden till de öppna valsarna med egg är dock inte större än att sådana bör kunna komma i fråga om de ur andra hänsyn, t ex konstruktionsmässiga är att föredra. För att valsar skall vara effektiva visar resultaten

att de skall vara försedda med egg samt utrymme under kniven måste finnas.

Lutningen av långsidan med transportör och transportörens hastighet är båda av vikt för att erhålla en effektiv kvistning. Optimum för transportörens hastighet påverkas dock antagligen starkt av bl a medbringarnas utformning och avstånd samt av utformning av botten och motsatt långsida.

En möjlig utveckling vore att konstruera en trågvastare med variabel innervolym. Om innervolymer justerades alltefter buntvolymen minskar på grenars bortfall, skulle både kvistningen kunna effektiviseras och förlusten av stamved minska.

Litteratur

- Dahlin, B. 1989. The influence of tree dimension on the production capacity for different delimiting principles. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 267-272.
- Dahlin, B. 1989. Cradle type multi-stem delimber. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och Resultat nr 162.

Flerträdsupparbetning efter maskinell fällning-sammanföring — en alternativ metod för engreppsskördare?

Bengt Brunberg, Berndt Nordén och Anders Tosterud

1. Sammanfattning

Studierna visar att flerträdsupparbetning kan bli en intressant metod vid förstagallring, speciellt i mycket klena bestånd där dagens engreppsskördare har låga prestationer. Den närmast liggande tekniklösningen är att utforma engreppsskördaren så att den också kan flerträdsupparbeta lig-gande trädbuntar.

En realistisk prestationsnivå redan idag med ett bra aggregat förefaller vara 180–240 träd per G_{15} -timme. De direkta drivningskostnaderna skulle därmed ligga 7–21 kr/m³fpb lägre än för ett konventionellt engreppsskördarsystem. I systemet med flerträdsupparbetning ingår dock en extra maskin, varför bl a flyttningskostnaderna avgör vad som är mest fördelaktigt. Prestationspotentialen för ett system med flerträdsupparbetning ligger mycket högt, 300–350 träd per G_{15} -timme och kostnaderna kan således sänkas betydligt.

Andelen vrak på grund av dålig kvistning, inmätt vid stickväg, var för de två studerade aggregaten mellan 1 och 15 % högre vid flerträdsupparbetning än då träden togs ett i taget. Även om en hel del av kviststumparna slås av i transporthanteringen är det viktigt att tekniken för flerträdsupparbetning förbättras om metoden ska kunna användas i större omfattning och utan risk för intäktsbortfall.

2. Bakgrund och syfte

Det finns ett stort behov av förstagallring i klen skog där avverkningskostnaderna blir mycket höga. I syfte att sänka kostnaderna provas idag både i Sverige och Norge enstaka avverkningsystem där en engreppsskördare flerträdsupparbetar efter maskinell fällning-sammanföring. Tanken är då att det tidsödande fällningsarbetet utförs av en billig maskin och att produktiviteten vid upparbetningen med den dyra maski-

nen höjs genom att flera träd hanteras samtidigt.

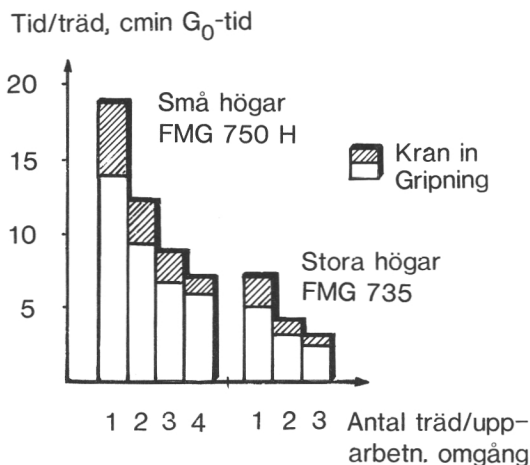
Syftet med studierna var att utvärdera möjligheterna till prestationshöjning genom flerträdsupparbetning. Därigenom skulle metoden potential kunna bedömas. Dessutom skulle kvistningsresultatet vid samtidig upparbetning av flera träd utvärderas.

3. Metod

3.1. Studier

Resultaten kommer från två studier. Den första studien genomfördes i Finland i samarbete mellan Metsäteho, Skogsforskningsinstitutet och Skogsarbeten. Då studerades engreppsskördaraggregaten FMG 750 H (tidigare Lokomo), Keto 150 och Tapio 400 med avseende på hur prestationen påverkas av det antal träd som upparbetas samtidigt. I studien ingick också att utvärdera hur de tre aggregatens olika principer för matning av träden förbi kvistningsverktygen fungerade. I nämnd ordning är deras matningsprincip rullar, band och stegmatning. Träden lades upp i numrerade högar om 1–4 träd, och trädens kvistningssvårighet och volym mättes in i förväg. Tidsstudien genomfördes som tidmätning av olika moment i maskinernas arbete. För samtliga registreringar angavs vilket högnummer dessa var att hänföra till. Efter tidsstudien mättes vrakandelen in enligt svenska mättningsföreskrifter.

Den andra studien genomfördes i Norge av Skogsarbeten. Då studerades FMG 735 och syftet var främst att se hur upparbetningen påverkas av sammanföringen. Fällning och sammanföring utfördes i den studien med Lillebror FMG U41n. Därigenom gavs engreppsskördaren möjlighet att plocka träden från stora högar. Även här genomfördes tidsstudien som tidmätning av olika moment i maskinens arbete. Den stora skillnaden mot i Finland var att man inte i förväg



Figur 1. Tidsåtgång för gripning och kran in, cmin per träd.

visste vilka träd som skulle upparbetas tillsammans. Tidsstudiemannen var därför tvungen att registrera varje enskilt trädets diameter, vilket klarades genom att träden i förväg diametermärkts i rotändarna. I samband med upparbetningen färgmärktes träden också för att man vid uppföljningen av kvistningskvaliteten skulle kunna se hur många träd som hanterats tillsammans vid upparbetningen.

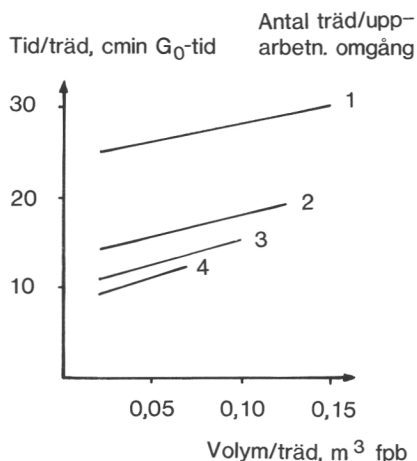
32. Arbetsmetod

Metoden med flerträdsupparbetning bygger på att träden sammanförts till högar vid stickvägskant med rotändan mot vägen. En stickvägs-gående maskin, i studierna en engreppsskördare, griper och upparbetar träd från trädhögar. Strävan är då att upparbeta flera träd samtidigt för att höja prestationen.

4. Resultat

41. Sammanföringen påverkar upparbetningen

Av de aggregat som studerades i Finland fungerade FMG 750H, med fyra matarrullar, klart bäst. Därför redovisas endast det aggregatets resultat därifrån. Tillsammans visade studierna att om träden ligger väl sammanförda i stora högar vid stickvägskanten blir flera arbetsmoment effektivare, bl a minskar antalet kranrörelser vid varje trädhög. Enligt studierna görs dock



Figur 2. Total tidsåtgång för upparbetning, cmin/träd (G_0 -tid). Tall.

den stora tidsvinsten vid gripningen av träd ur buntarna (figur 1). Det gick väsentligt snabbare att med FMG 735 gripa träd ur stora högar än att med FMG 750H gripa små högar med 1–4 träd.

42. Hög prestation vid flerträdsupparbetning

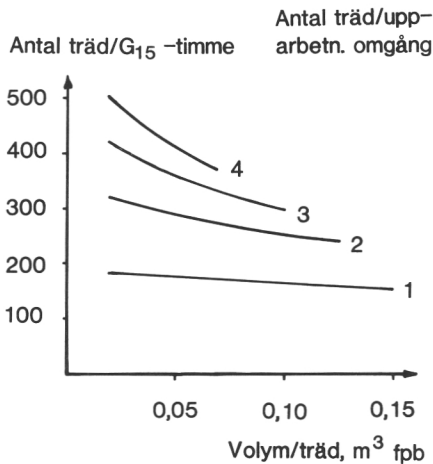
Sammantaget visar studierna att tidsåtgången sjunker med 40–60 % vid flerträdsupparbetning (figur 2) jämfört med hantering av ett träd i taget. Detta innebär att prestationerna kan bli mycket höga vid flerträdsupparbetning efter maskinell fällning-sammanföring. Jämfört med upparbetning av ett träd i taget, då prestationen är ungefär 175 träd per G_{15} -timme, ökar prestationen med

- ca 67 % för två träd,
- ca 108 % för tre träd,
- ca 138 % för fyra träd.

Detta innebär att kvistningskraven och antalet träd som kan upparbetas samtidigt styr prestationen inom ett brett intervall (figur 3), där potentialen är mycket stor. Gran ger något lägre prestation än tall.

43. Kvistningsresultatet varierar

Kvistningsresultatet beror på träslag, temperatur, upparbetningsaggregat m m. I dessa studier blev kvistningsresultatet med FMG 735 mycket



Figur 3. Prestation (Omvandlingsfaktor från G_0 -prestation, 0,75) vid upparbetning, träd/ G_{15} -timme. Tall.

bra vid plusgrader i både tall- och granbestånden. Vrakandelen vid stickväg var endast ca 1 %. Träden hade dock mycket klen kvist. FMG 750 H klarade kvistningen betydligt sämre, trots att det var minusgrader. Vrakandelen var ungefär 5 % i tallbeståndet och 15 % i granbeståndet. Här kunde dock inte föraren själv avgöra vilka träd som skulle upparbetas tillsammans, vilket troligtvis försämrade resultatet.

I alla delstudier ökade vrakandelen vid flerträdsupparbetning jämfört med hantering av ett träd i taget. Den totala andelen vrak hänger därmed ihop med hur ofta flerträdsupparbetning utnyttjas. Det ska här observeras att vrakandelen är inmätt vid stickväg och att andelen vrak på grund av kvarstående kvist (som ju är den helt dominerande orsaken) enligt ett par mindre studier kan halveras i transportkedjan till industri.

5. Kalkylexempel

5.1. Jämförbara kostnader — billigare i klen gran

Motormanuell fällning*	10– 20 kr/ m³ fpb
Engreppsskördare idag	103–170 “
Skotning efter engreppsskördare	32– 38 “
Maskinell fällning-sammanföring	64– 91 “
Flerträdsupparbetning idag	48– 83 “
Flerträdsupparbetning potential	30– 46 “
Skotning efter flerträdsupparbetning	27– 32 “

* 15 % av totala uttagsvolymen antas ta ut i mellanzonen.

Som tidigare visats styrs prestationen hårt av hur många träd som kan upparbetas samtidigt. Detta styrs i sin tur av vilken kvistningskvalitet som eftersträvas. Med ett av dagens engreppsskördaraggregat, som kvistar relativt bra, förefaller i genomsnitt åtminstone 1,3–1,7 träd kunna upparbetas samtidigt. En möjlig prestation, i ett lättkvistat bestånd, ligger då enligt studier och driftsuppföljning i intervallet 180–240 träd per G_{15} -timme. Exemplet på en jämförelse av de direkta drivningskostnaderna i förstagallring visar att ett system med flerträdsupparbetning efter maskinell fällning-sammanföring redan idag kan konkurrera med konventionella engreppsskördarsystem (tabell 1). Trots att flerträdsupparbetning är lättast att använda i klena tallbestånd, förefaller metoden ha sin största kostnadsfördel i klena, stamrika granbestånd där engreppsskördarens arbete försvåras och prestationen är låg. Jämförelsen bygger då på att det är lättarbetade tallbestånd. Vilket system som är ekonomiskt mest fördelaktigt avgörs av bl a flyttningskostnaderna, som ju är större för systemet med tre maskiner.

Tabell 1. Exempel på drivningskostnader, kronor per m³ fpb, jämförelse mellan konventionellt engreppsskördarsystem och system med flerträdsupparbetning.

Trädslag	Tall		Gran	
Uttag				
— stamantal/ha	700	1300	700	1300
— medelvolum/träd, m³ fpb	0,06	0,04	0,06	0,04
Engreppsskördare idag*	151	188	173	222
Flerträdsupparbetning idag	144	180	157	201
Flerträdsupparbetning potential	127	157	133	163
Kostnadssänkning idag	7	8	16	21
Kostnadssänkning potential	24	31	40	57
Extra flyttningskostnad** för system med flerträdsupparbetning	3–25		3–25	

* Prestationsskillnader mellan de olika bestånden enligt Redogörelse nr 3, 1989 "Underlag för prestationsnormer för engreppsskördare i gallring" av Brunberg T, Thelin A och Westerling S.

** Den extra flyttningskostnaden beräknad för 50–250 m³ uttag per trakt och 5–25 km flyttningsavstånd.

52. Kostnadssänkning genom höjd prestation

Med en vidareutvecklad teknik för flerträdsupparbetning, alternativt vid något minskade kvistningskrav, torde prestationen kunna hamna i intervallet 300–350 träd per G_{15} -timme. Då skulle i genomsnitt uppemot tre träd upparbetas samtidigt. Den potentiella kostnadssänkningen, jämfört med dagens konventionella engreppsskördarsystem, är därmed ungefär 15–50 kr per m^3 fpb (skillnader i flyttningskostnader medräknade). Ett sådant vidareutvecklat system skulle därmed i vissa fall kunna hävda sig kostnadsmissigt även mot en engreppsskördare som flerträdshanterar träden både vid fällning och upparbetning en maskintyp som ju enligt andra studier kan sänka kostnaderna med ungefär 9–34 kr per m^3 fpb.

6. Diskussion

61. Kraven på kvistningskvalitet styr

Det som idag indirekt avgör möjligheterna till ökad prestation genom flerträdsupparbetning är kraven på kvistningskvalitet. Vid många sulfatmassaindustrier finns tekniska möjligheter att ta hand om ett sämre kvistat virke. Däremot är det inte säkert att intresset för ett sådant sortiment finns, eftersom faktorer som virkesbehov, pris-sättning, produkttyp och marknadsföring kan spela in. Där både de tekniska möjligheterna och intresset för att ta emot sämre kvistat virke finns borde det också finnas utrymme för överenskomelser som gynnar både leverantör och mottagare. Då kan avverkningarna ganska snabbt rationaliseras. I ett vidare perspektiv måste ändå den tekniska utvecklingen tillsvidare inriktas på att gällande virkesmätningföreskrifter ska följas.

62. Upparbetningstekniken måste förbättras

Studierna av FMG 735 och FMG 750 H har visat att kvistningsresultaten kan förväntas bli mycket olika beroende på kvistningssvårighet och aggregattyp. Vissa aggregat kan redan idag, vid rimlig andel flerträdshantering och låtta förhållanden, åstadkomma ett bra kvistningsresultat. Gemensamt för alla dagens aggregat är dock att de måste vidareutvecklas om flerträdsupparbetning ska kunna fungera även vid svårare förhållanden. Först då kan metoden utnyttjas i större omfattning.

63. Billig kvistare-kapare eller flexibel skördare?

En stickväsgående maskin som upparbetar flera träd i taget efter maskinell fällning-sammanföring måste inte vara en engreppsskördare. En möjlighet är att i stället specialutveckla en flerträdshanterande kvistare-kapare. En sådan maskin kan naturligtvis ge lägre timkostnader genom att den inte behöver dimensioneras och utrustas för fällning. Om vi antar att kostnaden per G_{15} -timme för en kvistare-kapare är 100 kr lägre än i kalkylexemplet skulle upparbetningskostnaden kunna sänkas 5–10 kr per m^3 fpb.

Utvecklingen i skogsbruket tyder dock inte på att kvistare-kapare skulle ha någon större marknad. Trenden är att drivningssystem med tre maskiner minskar i omfattning. En mycket viktig faktor för val av skördare är flexibilitet i planering och organisation. Frågan är därför om ca 10 kr per m^3 fpb lägre avverkningskostnad med en kvistare-kapare motiverar en satsning på ett sådant system. Vi vet t ex att dels beståndsgående fällare-sammanföraren i systemet ännu inte klarar svåra terrängförhållanden. Samordningsbehovet ökar dessutom med antalet maskiner i systemet. En flerträdshanterande kvistare-kapare kan skapa svårigheter i resursbalanseringen genom att den presterar 2–3 gånger mer än en fällare-sammanförare. En engreppsskördare kan däremot övergå från upparbetning till fällning när så är lämpligt på grund av terräng, beståndstyp eller organisation m m. Slutsatsen av detta blir att en engreppsskördare i de flesta fall är den lämpligaste maskintypen i ett system med flerträdsupparbetning efter maskinell fällning och sammanföring.

En mycket intressant maskintyp för detta system är den engreppsskördare som även kan klara flerträdshantering vid fällning då den har sin största potential i täta tallbestånd. Den skulle alltså göra det möjligt att flerträdshantera både stående och liggande träd och därmed att växla metod alltefter beståndsförutsättningarna.

Engreppsskördaren är alltså den mest intressanta maskintypen för flerträdsupparbetning beroende på utvecklingen mot färre maskiner i dagens fältorganisationer och på erfarenheter av gårdagens kvistare-kapare. Med tanke på den stora prestationspotentialen bör man dock inte bortse från en utvecklingslinje med nya typer av kvistare-kapare som är specialbyggda för flerträdsupparbetning. Sådana nya maskintyper skulle kunna ge de lägsta kostnaderna om bl a de skogliga förutsättningarna är lämpliga. Eventuella, minskade krav på kvistningskvaliteten för

massaveden i framtiden skulle också gynna denna metod. De nämnda nackdelarna med en extra maskin i drivningssystemet torde dessutom kunna elimineras genom att låta en maskin klara både upparbetning och skotning. Maskinen skulle då vara en ny typ av "skotarprocessor" eller "buntkvistare-skotare", en idé som inte på något sätt är ny men ändå kan vara intressant. Flerträdshantering erbjuder således så pass stora möjligheter till kostnadsänkning att det kan vara motiverat att utnyttja denna teknik med både skördare och kvistare-kapare.

Litteratur

- Brunberg B, Nordén, B. och Tosterud, A. 1989. Flerträdsupparbetning efter maskinell fällning-sammanföring — en alternativ metod för engreppsskördare. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 19.

Flerträdshanterande engreppsskördare kan sänka kostnaderna

Bengt Brunberg, Berndt Nordén och Gunnar Svenson

1. Sammanfattning

Resultaten av Skogsarbetens studier visar att en flerträdshanterande engreppsskördare är en mycket intressant maskintyp för klen förstagallring. Den kan öka prestationen med 10–40 % och därmed sänka kostnaderna med 9–34 kr per m³fpb i vanliga förstagallringar. En stor fördel med en flerträdshanterande engreppsskördare är att den då så krävs på vanligt sätt kan hantera ett träd i taget. Det krävs dock vidareutveckling för att få fram en maskin som är helt anpassad för flerträdshantering, t ex vad gäller kvistningen. Vrakandelen vid stickväg var enligt svenska inmättningsföreskrifter 1–7 % högre än vid enträdshantering. En hel del av de för långa kviststumparna nöts visserligen bort i hanteringen fram till industri, men om inte tekniken för flerträdkvistning kan förbättras eller kraven sänkas finns det risk för att den sämre virkestillredningen medför ett intäktsbortfall.

2. Bakgrund och syfte

Det finns ett stort behov av förstagallring i klen skog där avverkningskostnaderna blir mycket höga. En mycket intressant utvecklingsväg är att vidareutveckla engreppsskördare så att de kan hantera stående träd och ackumulera flera träd vid fällningen. Därigenom skapas också på ett rationellt sätt förutsättningar för att upparbeta flera träd samtidigt. Valmet engreppsskördare 892/955 är egentligen avsedd för enträdshantering vid grövre avverkning men genom att den kan ackumulera flera träd vid fällning har den ändå bedömts intressant att studera som en typ av maskin som kan vidareutvecklas för flerträdshantering i klen gallring.

Studiernas syfte var att utvärdera möjligheterna till prestationshöjning genom flerträdshantering. Dessutom skulle kvistningsresultatet vid samtidig upparbetning av flera träd utvärderas.

3. Metod

31. Studie

Tidsstudien genomfördes som tidmätning av olika moment i maskinens arbete. För samtliga registreringar, för både träd- och tidsdata, angavs om det gällde hantering av ett, två, tre eller fyra träd. Studierna genomfördes både vid lätta och svåra förhållanden, tall vintertid och gran under savningsperioden (tabell 1).

32. Maskinens arbetsmetod

321. Först väljs träd och uppställningsplats

När flera träd ska hanteras samtidigt krävs att föraren gör fler bedömningar än annars vid varje uppställningsplats. Han måste avgöra vilka träd som är möjliga att fälla och upparbeta i en omgång. Träden bör stå relativt nära varandra och vara ungefär lika höga eller passa ihop så att kapningen innebär att deras gagnvirkesdelar kan utnyttjas. De bör inte vara alltför svärkvistade. Det är viktigt att föraren i förväg ser hur maskin och aggregat bör positioneras.

Tabell 1. Studiebestånd.

	Gran savningsperiod		Tall vintertid	
Stamantal/ha före gallring	1400	1700–2100	1800	2700
Stamantal/ha uttag*	400	550	900	1400
Medelvoly m i uttaget m ³ fpb/träd	0,11	0,05–0,09	0,07–0,09	0,05

* Uttaget gäller i kranzonen, 9 m ut åt sidorna från stickvägsmitt.

322. Hantering av stående träd

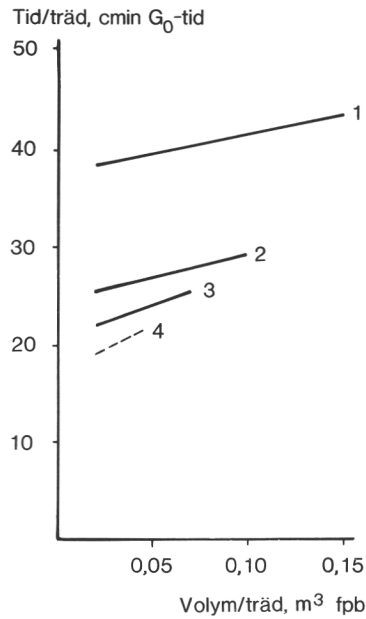
Genom att det studerade aggregatet är tungt och har låg tyngdpunkt är det möjligt att hålla stående träd. Svängningsdämparen i aggregatets upphängning kan dessutom spännas så att hanteringen ytterligare underlättas. Dessutom har denna maskin god stabilitet. Ändå undviker föraren att med lång kranarm hålla träden stående. Han börjar i stället ackumulera träd nära stickvägen, och arbetar sig sedan utåt tills det är lämpligt att lägga ner och upparbeta trädbuntan. På det här sättet kan även träd långt från stickvägen flerträdshanteras.

323. Ackumulering

Att flerträdshantering med denna maskin överhuvudtaget är möjlig beror på att kvistknivar och matarrullar kan manövreras separat. Ett eller flera träd kan hållas fast med rullarna, medan kvistknivarna öppnas för att gripa ett träd till. När trädet gripits öppnas matarrullarna. Trädet pressas då in mellan rullarna, som återigen trycks ihop för att hålla träden. Kvistknivarna måste vara så långa att de når att gripa ett nytt träd när rullarna redan håller ett.

324. Upparbetning

För att flerträdsupparbetning ska kunna fungera krävs bl a att matarrullarna får bra grepp om träden. I studien förekom mycket sällan störningar då träden matades genom aggregatet, bl a en följd av att rullarna var relativt breda. Det krävs också att kvistningen fungerar tillfredsställande på alla träd. Klenkvistig tall fick i studien grenarna avskurna av kvistknivarna eller knäckta vid passagen förbi matarrullarna. Ju fler och ju mer svårkvistade träden buntarna var, desto sämre blev resultatet. Mycket viktigt för resultatet är att föraren väljer rätt träd att upparbeta tillsammans. Föraren måste också ge litet extra akt på att de virkesbitar som matas ut inte skadar kvarstående träd.



Figur 1. Tidsåtgång per 1-4 träd vid flerträdshantering, G_0 -tid. Tall.

4. Resultat

41. Flerträdshantering är snabbare

Studierna visar att hantering av åtminstone upp till fyra träd i taget sänker tidsåtgången per träd. Mycket viktig att notera är den stora tidsvinst som görs redan vid övergång till hantering av två träd, ca 32 % lägre tidsåtgång (figur 1), eller med andra ord ca 45 % högre prestation enligt studien i det ena tallbeståndet. Vid hantering av tre träd sjönk tidsåtgången ytterligare 7 till 8 procentenheter. Hantering av fyra träd förekom i mycket liten omfattning, men resultaten tyder då på en tidsvinst på ytterligare 5 till 6 procentenheter. Det är mycket viktigt att komma ihåg att andelen hantering av olika antal träd påverkas av både antalet stammar som tas ut per hektar och träddimension.

42. Prestationsvinsten stor i tall vintertid — mindre i gran vid savning

Flerträdshanteringen lyckades bra i tallbestånden. Sikten i ett sådant bestånd är ju mycket god och kvistningssvårigheterna små. Antalet uttagna stammar per hektar spelar här mycket stor

Tabell 2. Flerträdshantering och prestationsökning.

Tallbestånd vintertid	Uttag 900 stammar/hektar	Uttag 1400 stammar/hektar
Andel flerträdshanterade träd	48–52 %	84 %
Antal träd per omgång	1,4	1,9
Prestationsökning i kranzon	16–21 %	37 %

Granbestånd vintertid	Uttag 400 stammar/hektar	Uttag 550 stammar/hektar
Andel flerträdshanterade träd	16 %	22–36 %
Antal träd per omgång	1,1	1,1–1,2
Prestationsökning i kranzon	2 %	5–10 %

roll för prestationen så tillvida att ju fler stammar som tas ut per hektar, desto oftare kan flerträdshantering utnyttjas. Som mest ingick hela 84 % av träden i flerträdshanterande fällning och upparbetning (tabell 2). Då blev prestationsökningen följaktligen mycket stor, 37 % jämfört med hantering av ett träd i taget.

I ett granbestånd är arbetsförhållandena särskilt svåra under savningstiden. Studiebestånden var relativt täta, vilket gjorde att sikten var dålig och manövreringen av aggregatet svår. Dessutom var antalet uttagna stammar per hektar mycket lågt. Upparbetningen var också svår på grund av slirning. Dessa faktorer gjorde att prestationsökningen i granbestånden blev mindre än i tallbestånden. Andock kan det konstateras att flerträdshanteringen även här hade en positiv effekt, trots de mycket ofördelaktiga förutsättningarna.

43. Vrakandelen liten — men bör ändå minskas

På grund av att kvistknivarna vid studierna i tallbestånden inte var anpassade till klena toppar blev vrakandelen hög även vid enträdshanteringen. Ökningen av andelen vrak på grund av kvist vid flerträdshantering var dock mindre än 1 % i det klenaste, lättkvistade tallbeståndet och ca 6 % i det grövre, svårare.

Till studien i granbestånden under savningstiden modifierades kvistknivarna för att bättre omsluta klena toppar. Vrakandelen blev då något lägre än i tallbestånden, trots att det var savningstid. Skillnaden i kvistvraksandel mel-

Tabell 3. Kalkylexempel.

Trädslag	Tall		Gran	
Uttag				
— stamantal/ha	700	1300	700	1300
— medelvolum/träd, m ³ fpb	0,06	0,04	0,06	0,04
Prestation* vid enträdshantering, m ³ fpb/G ₁₅ -timme				
	6,1	4,5	5,2	3,7
Kostnadsänkning exkl mellanzon, kr/m ³ fpb				
	13	40	11	(28)
Kostnadsänkning hela uttaget**, kr/m ³ fpb				
	11	34	9	(24)

* Prestationsskillnader mellan de olika bestånden enligt Skogsarbetens Redogörelse nr 3, 1989 "Underlag för prestationsnormer för engreppsskördare i gallring".

** 15 % av volymen tas ut i mellanzonen.

lan renodlad enträdsupparbetning och den studerade metoden med viss andel flerträdsupparbetning blev ungefär som i tallbestånden, 1–5 %. Som tidigare redovisats utgjorde dock de flerträdshanterade träden en mycket mindre andel i granbestånden än i tallbestånden. För att flerträdshantering ska kunna utnyttjas ofta måste alltså vrakandelen sänkas.

Det är viktigt att observera att vrakandelen mättes in vid stickväg. Två mindre partier, det ena gran och det andra tall, följdes hela transportkedjan fram till industrigråden. Då visade det sig att kvistvraksandelen hade halverats i transportheringen.

Det är inte bara kvistighet som kan ge volymförlust. Även kortbitar kan bli följden av att träd som är olika stora upparbetas samtidigt. Denna vrakandel, som mycket beror på vilka träd föra- ren väljer att upparbeta tillsammans, låg i studierna oftast omkring 1 %.

44. Kalkylexempel

Kalkylen i tabell 3 grundas på stamantal i vanliga förstagallringar. Granbestånden betraktas som svårkvistade och så pass täta att sikten försvåras. Prestationerna där blir därför låga i förhållande till i de lättkvistade tallbestånden. I det klena granbeståndet, där uttaget är större än i studiebestånden, utgör kostnadsänkningen en bedömning utifrån dagens erfarenheter.

5. Diskussion

51. *Prestationen i kranzonen kan ökas mer*

Tidsbesparingen vid flerträdshantering låg främst i att kranrörelserna blev färre och att upparbetningen endast behövde utföras en gång per fällningsomgång. En möjlighet till ytterligare tidsvinst borde finnas om ackumuleringen, inklusive positionering av aggregatet, kunde utföras snabbare. Framför allt skulle en säkrare teknik för flerträdiskvistning förenkla trädvalet och öka prestationen.

52. *Upparbetningen kan förbättras*

Vrakandelen i dessa studier var relativt måttlig, men det är viktigt att inse att t o m några få procent minskad virkesintäkt representerar ett stort värde. Med utgångspunkt i dagens virkesmätningsföreskrifter måste därför kvistningsresultatet förbättras, om inte bara de mest lättkvistade bestånden ska bli aktuella för flerträdsupp-arbetning. Ett mycket bättre upp-arbetningsresultat borde kunna uppnås, eftersom träden plockas i sänder. Då går det ju att styra hur träden ska placeras invid varandra i aggregatet, om varje träd enskilt ska omslutas av en kniv eller liknande. Dessa studier bygger i huvudsak på upp-arbetning av fallande längder, vilket naturligtvis underlättar flerträdshantering. Studierna tyder dock på att med en gripsäker matningsutrustning skulle även standardlängder kunna tas ut.

53. *Gallringskvaliteten kan bli lika bra*

Under studierna förekom endast enstaka skador på kvarstående träd. Föraren hävdade att kranrörelserna blir något lugnare när flera träd ska ackumuleras än om varje träd snabbt ska fällas och upp-arbetas. Vid upp-arbetningen hålls oftast träden ihop, varför utmatningsskador inte heller bör vara något stort problem. En skaderisk som diskuterats är att marktrycket från hjulen ökar när träd hålls stående långt från maskinen. De träd som väljs för flerträdshantering har dock låg vikt och träd långt från maskinen läggs ner direkt för att den ska stå stabil. En stillastående

maskin orsakar ju normalt mycket litet markskador. Detta talar sammantaget för att gallringskvaliteten, inklusive trädvalet, bör bli lika bra som vid enträdshantering.

54. *Fler beslut för föraren*

Flerträdshantering vid fällningsarbetet ställer större krav på att föraren kan bedöma de enskilda träden, välja ordningsföljd för dem och se vilka träd som kan hanteras tillsammans. Föraren måste alltså tänka ett steg framåt, vilket ju kan vara tröttande i längden men också upplevas som stimulerande. För att flerträdshanteringens möjligheter ska kunna utnyttjas krävs förmåga till bra arbetsplanering.

55. *Fortsatt utveckling hänger ihop med industrikraven*

Om industrin i högre grad än idag accepterade kviststumpar på virket skulle de klena första-gallringarna snabbt kunna rationaliseras. En mycket stor andel av dagens sulfatmassaindustrier har tekniska möjligheter att ta emot kvistigare virke, men bl a industrins virkestillgång och produktval betyder mycket för intresset. Därför bör inriktningen på utvecklingsarbetet för flerträdshanterande engreppsskördare tillsvidare vara inställd på tillfredsställande kvistning enligt gällande föreskrifter.

Många faktorer finns att ta hänsyn till vid vidareutvecklingen, t ex kvistknivarnas antal, placering och funktion samt matningsutrustning, aggregatupphängning, ackumuleringsteknik m m. Med tanke på rationaliseringspotentialen och dagens tekniska kompetens är det dock rimligt att tro att den flerträdshanterande engreppsskördaren snart tillhör vår maskinpark. Då har också möjligheterna att klara de klena förstagallringarna till ett bra netto förbättrats.

Litteratur

- Brunberg, B., Nordén, B & Svenson, G. 1989. Flerträds-hantering engreppsskördare kan sänka kostnaderna. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Resultat 18.

Flerträdsteknik med befintliga engreppsskördare

Risto Lilleberg

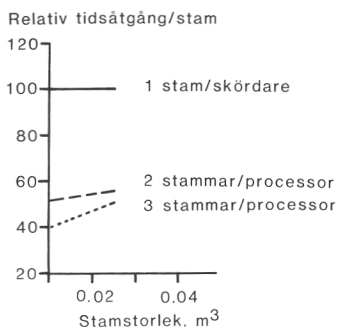
1. Bakgrund och syfte

Den mest använda maskinen i gallringar i nordiska länder är engreppsskördaren. Engreppsskördarens arbetsmetod baserar sig på hantering enskilda träd. Stammens storlek har ytterst stor betydelse för maskinens prestation och därför blir de minsta träden mycket dyra att upparbeta.

Studiens syfte var att ta reda på möjligheterna att utnyttja flerträdsteknik med befintliga gallringsmaskiner och försöka hitta effektivare sätt att upparbeta små träd. I denna studie gjordes försök att kvista och kapa flera små träd samtidigt med vanliga engreppsskördare med olika matningsystem. Tidigare gjordes på Metsäteho studier över möjligheterna att använda flerträdsteknik med Pika 45 tvågreppsprocessor.

2. Metod

Studien genomfördes i form av fältförsök i varierande förhållanden i förstagallringar med alternativa maskiner och metoder. Studier gjordes med Lokomo 750 H (matning med fyra valsar), Keto 150 (matning med band), Valmet 901/948 (matning med två valsar) och med Tapio 450 (stegmatning) engreppsskördare. Tidsstudiedata över Pika 45 tvågreppsprocessorn hade man



Figur 1. Relativ tidsåtgång (effektiv) för Valmet 901/948 i förstagallring som skördare och processor med flerträdsteknik.

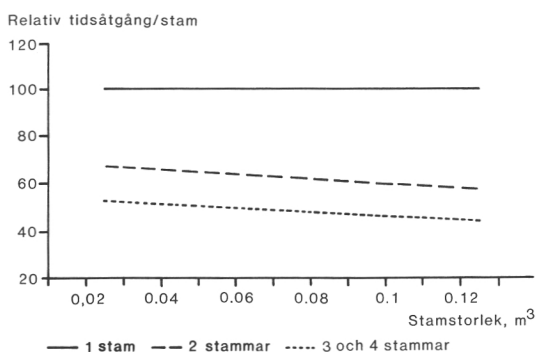
skaffat redan tidigare. Fältförsöken med Tapio 450 engreppsskördaren lyckades dock inte så bra att vi skulle ha fått tillräckliga data för analys och därför fattas resultaten. Tidsstudierna och analyserna genomfördes med Metsätehos studierutin.

3. Resultat

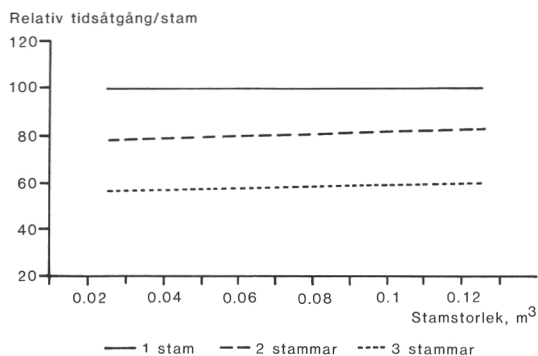
3.1. Motormanuell fällning-sammanföring

Kuitto och Mäkelä (1988) gjorde försök med Valmet 901/948 i förstagallringar (tall) med 30 meters stickvägsavstånd. Metoden var att maskinen arbetade dels som engreppsskördare och dels som processor med flerträdsteknik. Maskinen upparbetade träden inom kranräckvidden som engreppsskördare, medan träden utom räckvidd fälldes motormanuellt och sammanfördes i buntar. Dessa buntar arbetade maskinen upp som processor med flerträdsteknik. Buntarna omfattade 1–3 träd. Resultaten från tidsstudierna ses i figur 1.

Maskinens prestation ökade i processering av flera träd samtidigt jämförd med engreppsskördararbete. Metodens svaghet är att samordna motormanuell fällning och sammanföring. Det betyder ökande organiserings- och arbetskost-



Figur 2. Lokomo 750 H (FMG 750 H) som flerträdshanterande kvistare-kapare.



Figur 3. Keto 150 som flerträdshalterande kvistare-kapare.

nader. Maskinarbetets prestationsökning var dock så stor att metoden var den bästa för engreppsskördare i förstagallringar. Men några av de motormanuella metoderna i Finland är ännu kostnadsmässigt fördelaktigare än den här metoden, så någon lösning av större betydelse blir det här inte (Kuitto & Mäkelä 1988).

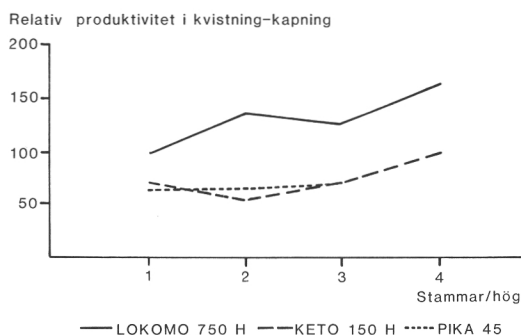
32. Engreppsskördare med olika matningssystem som flerträdshalterande kvistare-kapare

I projektet gjordes studier över engreppsskördare med olika typ av matningssystem. Studiernas syfte var att ta reda på vilken betydelse matningssystemen har på möjligheterna att använda flerträdsteknik, hurudan kvistningskvaliteten, tidsåtgången är osv. Fältstudierna gjordes i mellersta Finland på hösten 1988 i samarbete mellan Metsäteho, Skogsforskningsinstitutet och Skogsarbeten.

Studierna gjordes i förstagallringar (tall) så att maskinerna först fällde träd i buntar av olika storlek (1–5 träd/bunt) och upparbetade dem till massaved som processor.

Studierna gjordes med Lokomo 750 H (matning med fyra valsar), Keto 150 (matning med band) och med Tapio 450 (stegmatning) engreppsskördare.

Lokomo 750 H med fyra matningsvalsar lyckades bäst att kvista och kapa flera träd samtidigt. Optimal buntstorlek för maskinen ser ut att vara fyra träd i bunt. Stammarnas storlek i förstagallringar blir inget hinder för flerträdsteknik med Lokomo 750 H. Det ser ut att flerträdsteknik med större stammar (DBH 11–13 cm) går bättre än med de minsta stammarna (DBH 7–9 cm). Matningssystemet passar för



Figur 4. Relativ produktivitet med Lokomo 750 H, Keto 150 engreppsskördare och Pika 45 processor som flerträdshalterande kvistare-kapare.

flerträdsteknik.

Keto 150 engreppsskördaren med bandmatningssystem lyckade också ganska bra att hantera flera träd samtidigt. Men buntens storlek kan inte vara så stor som med Lokomo 750 H. Optimal storlek av buntens är 3 träd därför att maskinen inte så ofta lyckades hantera fyra träd samtidigt. De mindre stammarna (DBH 7–9 cm) passar bäst i flerträdsteknik för Keto 150 och svårigheterna att hantera flera träd samtidigt ökar med stammens storlek.

På basen av tidsstudier beräknades den relativa produktiviteten (effektiv) i flerträdsteknik. Det ser ut att Lokomo 750 H bäst kan utnyttja flerträdsteknik och med Keto 150 och Pika 45 är det inte så stor skillnad om de använder flerträdsteknik.

4. Diskussion

Med flerträdsteknik har man goda möjligheter att förbättra engreppsskördarnas prestation vid hantering av små träd. Förutsättningen är dock att maskinen har ackumulerande fällhuvud. Annars blir fällning så dyr att prestationsökningen i kvistning-kapning förloras. Innan flerträdstekniken med engreppsskördare kan tas i bruk i praktiskt arbete måste maskinerna ännu utvecklas.

Litteratur

Kuitto, P.-J. & Mäkelä, M. 1988. Kuormainharvesteri ensimmäisessä ja toisessa harvennuksessa. Boom-mounted harvester in first and second thinnings. Metsätehon katsaus 7.

Flerträdsprocessor för lantbrukstraktor

Seppo Ryyänen och Arto Mutikainen

1. Sammandrag

Skogsavdelningen i TTS deltog i projektet för utveckling av en processor för lantbrukstraktor som utnyttjar flerträdstekniken. I utvecklingsarbetet ingick bl.a. testning av prototyper.

Den sista undersökningen av flerträdsprocessor för utvecklingen utfördes i ett förstagallringsbestånd av tall. Uttaget var 1000 träd/ha (35 m³/ha). Basmaskinen var Valmet 805-4 försedd med Patu 750-lastare. Träden fälldes manuellt på förhand. Föraren hade inte erfarenhet av arbete med processor.

Den effektiva totalarbetstiden (cmin/träd) var vid samtidig behandling av två träd ungefär 50 % mindre än vid behandling av ett träd åt gången. För samtidig behandling av tre träd var skillnaden 60 % och för fyra träd ungefär 70 %. Kvistningens och kapningens andel av verktyden var endast 18 %. Det här beror på att häm-

tandet och ordnandet av bunten samt placeringen av bunten i processorn gick långsamt.

Produktiviteten var i medeltal 3,5 m³/verktimme (2,9 träd i en bunt). Stegmatningen verkar inte utgöra ett hinder för höjningen av flerträdsprocessorns produktivitet.

2. Inledning

Skogsavdelningen i TTS och Teknoteho Oy startade i början av detta förstagallringsprojekt utvecklingen av en processor med flerträdsteknik för lantbrukstraktor. Under projektets gång byggdes tre provmaskiner. På grund av provkörningar som gjordes under slutet av år 1989 bedömdes TEKEVÄ-flerträdsprocessorn (figur 1) vara tekniskt sett duglig för serieproduktion.



Figur 1. Tekevä-flerträdsprocessor.

3. Flerträdsprocessor för lantbrukstraktor

Träden matas i flerträdsprocessorn med en hydraulisk lastare. Då processorn är fästad i trepunktslyften, kopplas lastaren till snabbkopplingsram som monterats bakom traktorn. Processorn har ett eget hydraulsystem. Lastaren fungerar med traktorns hydraulik. Den stegmatande processorns reglage finns i traktorns hytt. Stegets längd är exakt en meter. Träden sågas av med en hydraulisk kedjesåg.

Flerträdsprocessorerna totalvikt är drygt 600 kg. Kvistnings- och kapningsdelen befinner sig i ändan av den 2,70 meter långa stommen. I processorns två separata kvistningslinjer ryms stammar som är maximalt 25 cm i diameter eller 2–3 små stammar från förstagallringen. Två av kvistningsknivar är fasta och två rörliga. Träden kan kvistas med både rotändan och toppen före. Processordelen svänger 300 grader och maskinens stomme ytterligare 90 grader. Sålunda kan träd samtidigt tas från båda sidor av körstråket och högarna kan placeras vid sidan av körstråket.

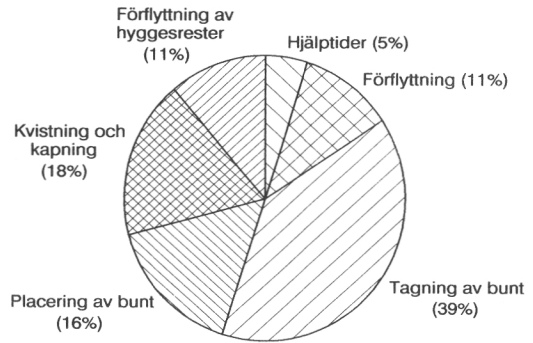
4. Avverkningsmetoderna

Träden fälls manuellt för processorn. Flerträds-hantering ställer större krav på fällningen än en traditionell fällning då man behandlar ett träd åt gången. Träden borde fällas i små högar så att rotändorna är nästan jämnt eller så att de kan dras ihop med lastaren. Med hjälp av kastfällning kan man föra ihop små träd i högar. Träd som är utom räckhåll för lastaren fälls med toppen i körstråkets riktning.

Maskinkombinationen kan göras till en tvågreppsskördare genom att installera ett fällhuvud på lastaren. Gruppbehandlingen förutsätter emellertid ett ackumulerande fällhuvud eller ett fällhuvud med vilket man kan lyfta flera träd åt gången. Metoden har tillsvidare inte utprovats.

5. Tidsstudien

TTS utförde av den sista eller tredje versionen av flerträdsprocessorn en tidsstudie vid förstagallring i tallbestånd. Utgångsbeståndets täthet var 2500 stammar/ha, av vilket gallrades 1000 stammar/ha. Utfallet var 35 m³/ha och avståndet mellan körstråken 25 meter. Som basmaskin fungerade en fyrhjulsdreven Valmet 805 försedd



Figur 2. Arbetsmomentens andelar (% av effektiv arbetstid) för Tekevä-flerträdsprocessorn i förstagallring i tallbestånd.

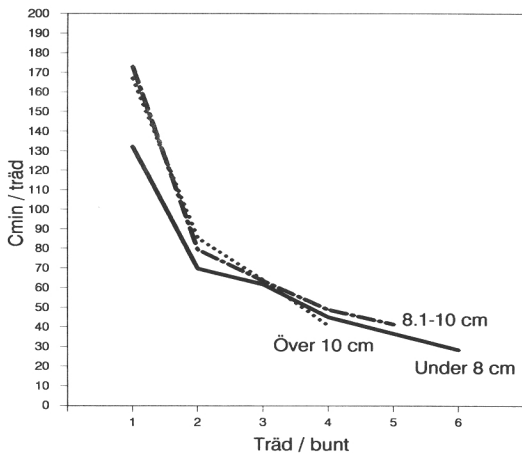
med Patu 750 hydraullastare. Föraren hade inte erfarenhet av användning av processor. Totalt kvistades och kapades 265 träd i 92 buntar med maskinen.

Kvistningens och kapningens andel var endast 18 % av den verkliga tiden (figur 2). I processorer som matas med vinsch är kvistningens och kapningens andel enligt olika undersökningar i förstagallring drygt en femtedel och i rulldrivna processorer som matas med lastare drygt en fjärdedel. Den långsamma stegmatningen ser inte ut att vara ett problem för små träd, även om arbetsmomentena inte överlappade varandra.

Hämtningen av bunt, i vilket ingick också hopsamling av enskilda träd till bunt, tog upp till två femtedelar av förarens effektiva arbetstid. Med noggrann fällning kan hämtningen göras snabbare. Placeringen och fördelningen av bunt på kvistningslinjerna kan göras snabbare genom att förbättra kvistningsbetta samt dimensioneringen av buntarnas styranordningar. Då man behandlar flera buntar från samma arbetspunkt är man tvungen att flytta kvistar och toppar med lastare. Manövreringsanordningar som skulle göra det möjligt att backa i sittande ställning skulle underlätta de upprepade förflyttningarna av traktorn.

Figur 3 åskådliggör de möjligheter som flerträdstekniken erbjuder. Den trädvisa totaltiden, i vilken ingår alla arbetsmoment, granskas på basen av antalet träd som ingår i buntarna och deras medelstorlek. Träd vars brösthöjdsdiametern var över 10 cm fanns i buntarna som mest fyra och mindre än 10 cm sex.

Behandling av två träd i stället för ett träd gav en tidsinbesparing på 50 %, av tre träd 60 % och av fyra träd cirka 70 % (figur 3). Behandlingen av de minsta träden blev ytterligare snabbare då



Figur 3. Totaltiden (cmin/träd) beroende av antalet träd i bunten och brösthöjdsdiametern.

antalet träd i bunten ökade. Dimensioneringen av kvistningslinjerna men även den försvårade buntbehandlingen begränsar antalet träd som samtidigt kan behandlas.

En förare som var ovan vid användningen av flerträdsprocessor behandlade ungefär 100 träd/verktimme, då trädens medelvolum var 35 dm³.

6. Konklusioner

Flerträdstekniken är ett sätt att avsevärt förbättra produktiviteten för den maskinella avverkningen vid gallring i klena bestånd. De avverkningsmaskiner som används tillsammans med lantbrukstraktor behandlar vanligen ett träd åt gången. Vid utvecklingen av dessa maskiner och arbetsmetoder skulle det löna sig att beakta möjligheten till flerträds hantering.

De erfarenheter som man erhållit av den flerträdsprocessor som utvecklats uppmuntrar till att fortsätta utvecklingen av denna och de arbetsmetoder som lämpar sig till den. Maskinen är ett mycket billigt alternativ för maskinell förstagallring t.ex. för en skogsägare, som på deltid utför avverkningsarbeten på entreprenad och som redan har en traktor och lastare som lämpar sig för arbetet.

Litteratur

- Ryynänen, S. 1987. Patu-proessori harvennuskusikossa. Patu 30 i gallring av ett granbestånd. TEHO 10.
 — 1990. Tekevä-nippuproessori maataloustraktoriin. Tekevä-flerträdsprocessor för lantbrukstraktor. TEHO 3.

Studier av tre driftsmetoder for flertrehandtering

Øystein Dale

1. Sammendrag

Resultater fra studier av driftsmetoder der flere trær håndteres og bearbeides samtidig viser at flertrehandtering gir betydelig økning av prestasjonen.

Flertrehandtering er en effektiv måte å senke driftskostnaden for tidligere tynninger som det ofte er vanskelig å få tilfredsstillende økonomi på.

Kostnadene er 15–20 % lavere enn ved vanlig tynning med store engrepshogstmaskiner.

Kvaliteten på arbeidet er akseptabelt i skogtyper med vanlige kvistmengder. Ved bruk av denne teknikken (flertrehandtering) behersker en ikke fullt de mest kvistrike skogtypene.

Det er også viktig at investering og prestasjonsnivået for de ulike systemer avstemmes til det arbeidet som skal utføres.

2. Bakgrunn og formål med prosjektet

Utviklingen av mekaniserte tynnings-systemer har gjort det mulig å tynne med et forsvarlig driftsresultat dersom tynningen utsettes til bestanden får en trestørrelse på uttaket tilsvarende 10–15 trær pr. m³. Det er derimot ønskelig å komme inn tidligere for å få en gunstigere bestandsbehandling. Det er først og fremst stykkbehandlingen som fører til høye kostnader i førstegangstynninger. Opparbeidingstiden for små trær er lite dimensjonsavhengig og det er derfor trolig at flertrehandtering er den mest effektive metoden for å redusere kostnadene.

3. Metoder

Ut fra den kunnskapen vi hadde om førstegangstynninger konsentrerte vi arbeidet omkring tre systemer, som alle i en eller flere operasjoner behandlet flere trær samtidig. Alle de undersøkte metodene arbeidet ut i fra et stikkveinett. Systemene hadde det felles at trærne måtte forhåndslunnes til stikkvei før opparbeiding.

3.1. Studerte metoder

Metode 1.

Flertrekvisting med engreps-hogstaggeregat når trærne er forhåndslunnet med en feller/sammenfører.

Trærne ble felt og buntet av feller/sammenfører som opererte ut fra et stikkveinett med tillegg av lunnegater ut fra stikkveiene. Hogstmaskinen kom så inn og opparbeidet 1–7 trær samtidig (Flertrekvisting). Utkjøringen foregikk på vanlig måte med lastetraktor.

Metode 2.

Flertrekvisting med traktormontert kvistemaskin. Forhåndslunning med samme maskin og etter samme metode som for metode 1.

Griplasteren matet kvistemaskinen ved å gripe bunter av trær for så å slippe disse enkeltvis eller 2–4 stykker dersom de egnet seg for flertrekvisting opp i kvistemaskinen. Utkjøring på vanlig måte med lastetraktor eller landbrukstraktor med henger.

Metode 3.

Flising av celluloseflis ute ved stubben når trærne er lunnet på forhånd. Enten manuelt eller med minilunner.

Det ble studert både manuell og delmekanisert lunning av trærne til stikkvei (minilunner). Flis-maskinen som kvistet og barket virke før flising transporterte også ut flisen og tippet den i container.

Maskindata for studerte metoder vises i tabell 1.

Tabell 1. Maskindata for studerte metoder.

	Opparbeidingsmaskiner		
	Valmet 901	Bruks IF 200 (MB-trac 900)	Pika 36
Lengde	5750 mm	6500 mm	4425 mm
Bredde	2500 mm	2400 mm	2170 mm
Vekt	11000 kg	8500 kg	3825 kg
Motor	83 kW	66 kW	61 kW
Dekk	23,1–26	600–26,5	14,9–24, 18,4–34
Kran			
Rekkevidde	9,5 m	5,5 m	7,1 m
Løftemoment	100 kNm		34 kNm
Felle/kappe dia.	48 cm		36 cm
Vekt aggregat	550 kg		1500 kg (med kran)
Flisingsdiameter		19,5 cm	
Fliscontainer		7 m ³	
	Feller/sammenfører FMG 0410 "Lillebror"	Sammenfører Jernhesten Piraya	
Lengde	3760 mm	1650 mm	
Bredde	1800 mm	1080 mm	
Vekt	4700 kg	465 kg	
Motor	59 kW	3,7 kW	
Dekk	400/55–22,5		
Kran			
Rekkevidde	5 m		
Løftemoment	26 kNm		
Felle dia.	30 cm		
Klembanke	0,5 m ²		
Lastebanke			
Bredde		79 cm	

4. Resultater

4.1. Resultater flertrekvisting

Til flertrekvisting ble det prøvd to svært ulike maskiner både ut i fra konstruksjon og pris. Valmet 901 koster ca. 2,4 mill. kr. Den landbrukstraktormonterte løsningen koster med traktor ca. 0,6 mill. kr. Dette er det verdt å merke seg når en studerer resultatene da sammenligning av kostnadene for systemene er helt avhengig av investeringsnivået.

4.1.1. Forhåndslunning

Det ble studert 502 furutrær med en middeldimensjon på 41 dm³. Uttaket pr. daa. var 4,1 m³ og treantallet ble redusert fra 238 til 163. Lille-

Tabell 2. Gjennomsnittlig tidsforbruk (virketid) med Valmet 901.

Deloperasjon	pr. opparbeiding		pr. tre cmin
	cmin	%	
Griping + mating	21	48	9,3
Kvisting	17	39	7,6
Rydding	1	2	0,4
Klargjøring	0,4	0,4	0,2
Flytting	4,6	10,6	2
Sum	44	100	19,5

bror (FMG 0410) hadde en gjennomsnittlig prestasjon på 146 trær pr. virketime (E0). Felt og lunnet til stikkveikant. Felleaggregatet kunne akkumulere et tre. Dette ble benyttet i ca 20 % av tilfellene. Tidsforbruket pr. tre var 0,41 cmin. 70 % av virketiden gikk med til felling og bunting, den resterende tiden var rydding, lunning og forflytning.

4.1.2. Flertrekvisting med Valmet 901 med 948 hogstaggreat

Valmet 901 opparbeide 1053 trær med middelvolum på 40,1 dm³ og middeldiameter dbh. på 9,8 cm.

Det ble opparbeidet i gjennomsnitt 2,25 tre pr. opparbeiding. Treantallet pr. opparbeiding varierte mellom 1 og 7. Utnyttelsen av kvistene er høy (39 %) og tidsforbruket pr. tre lavt. Ikke produktiv tid utgjorde bare 13 %. Kvistetiden er lite følsom for dimensjonen i intervallet 20 til 60 dm³. Tidsforbruket pr. tre blir redusert med ca. 50 % når det opparbeides to trær samtidig. Forskjellen mellom 2 og 3 trær er mindre, med ca. 20 % reduksjon av tidsforbruket. Gjennomsnittlige prestasjoner for furutynnigen med flertrekvisting var 300 trær, 12,2 m³ pr. virketime. Gjennomsnittlig tidsforbruk (virketid) vises i tabell 2.

Prestasjonen er høy i forhold til resten av systemet. For å få full beskjefteigelse for resten av systemet må maskinen gå som vanlig stikkveigående maskin inn i mellom, eller en må kjøre lengre skift med felle/sammenføreren.

4.1.3. Flertrekvisting med Pika 36 montert på Valmet 705-4 landbrukstraktor

For denne metoden ble det ikke gjennomført egne studier av sammenføringen da den ble gjen-

Tabell 3. Gjennomsnittlig tidsforbruk pr. tre (virketid) med Pika 36.

Deloperasjon	cmin	%
Griping	6	17
Mating	9	25
Kvisting	14	40
Rydding	2	6
Klargjøring	2	6
Flytting	2	6
Sum	35	100

nomført etter samme mønster som for metode 1. Bestandsdata med Pika 36 vor følgende:

Treslag furu	Før tynning	Etter tynning
Treantall pr. daa.	245	150
Middeldiameter, cm	11,6	
Middelvolum m.b., dm ³	79	108
Volum pr. daa., m ³	20,2	16,3

Med Pika 36 opparbeides 242 trær med middeldiameter på 11,3 cm og middelvolum på 54 dm³. Utnyttelsen av maskinen blir høy (40 %) og tidsforbruket pr. tre lavt. I forhold til vanlig arbeidsopplegg økte utnyttelsen av maskinen med ca. 40 %. Antall trær for hver opparbeiding var i gjennomsnitt 2. Antallet varierte med størrelsen og kvistmengden på trea. Gjennomsnittlige prestasjoner med Pika 36 var 171 trær, 9,2 m³ pr. virketime. Gjennomsnittlig tidsforbruk pr. tre vises i tabell 3.

Sammenlignet med tradisjonell stikkveitynning med fellehode på griplasteren viser dette systemet en økning i produktiviteten på opparbeidingen på 200–300 %. Det ble også prøvd med kvisting enkeltvis. Et og et tre ble sluppet ned i maskinen fra bunten som ble holdt over maskinen med krana. En kunne ikke påvise noen forskjell i produksjonen ved bruk av denne arbeidsmåten. Det kan forventes at kapasiteten på utkjøringen vil øke på grunn av mer virke i hver lunne men dette er ikke studert. Det ble operert med en stikkveiaavstand på 25–35 meter. Skadeprosenten på gjenstående trær var på ca. 5 %.

42. Cellulose flising ute ved stubben

Bestandsdata med celluloseflising vises i tabell 4.

Bestanda lå på høyproduktiv mark med lett driftsterreng. Bestand C hadde særlig mye grov kvist, mens A var ganske finkvistet.

Tabell 4. Bestandsdata med cellulose flising.

Treslag gran	Før tynning			Etter tynning		
	A	B	C	A	B	C
Bestand						
Treantall pr. daa.	173	201	237	85	106	113
Middeldiameter, cm	14	10	13	15	12	16
Middelvolum med bark, dm ³	146	49	99	183	69	136
Volum pr. daa., m ³	24	10	23	15	7	15

Tabell 5. Data for studiet av fellingen.

Materialomfang	Hele studiet		Bestand A	
	Mann	Mini	Mann	Mini
Arbeidsmetode				
Antall studerte trær	538	224	251	118
Volum med bark, m ³	24	10	14	6
Middeldimensjon, dm ³	45	45	58	47
Middeldiameter dbh., cm	9,4	10,1	9,9	9,4

421. Felling og sammenføring

Studiet av motormanuell felling og manuell sammenføring (Mann) foregikk i bestand A og B. Motormanuell felling og sammenføring med minilunner (Mini) ble studert i bestand A og C. Resultatene fra bestand A er tatt med isolert som grunnlag for bedre sammenligning av metodene. Data for studiet i fellingen vises i tabell 5 og deltidens relative fordeling og absolutt tidsforbruk i bestand A i tabell 6.

Virketiden øker ved sammenføring med minilunner og det manuelle arbeidet reduseres bare tydelig for kapping og kvisting. Gjennomsnittlige prestasjoner for felling/sammenføring vises var følgende:

Arbeidsmetode	Totalt		Bestand A	
	Mann	Mini	Mann	Mini
m ³ med bark pr. virketime	3,0	1,6	3,5	1,9
Antall trær pr. virketime	68	36	61	40
Minutter virketid pr. m ³	20	37	17	32

Prestasjonen (Y) målt i m³ m.b. pr. virketime varierer med dimensjon (X) målt i cm dbh ved manuell sammenføring etter følgende funksjon:

$$Y = -3,54 + 0,871X - 0,0166X^2, R^2 = 0,66.$$

Tabell 6. Deltidens relative fordeling mellom arbeidsmomentene i felling/sammenføring og absolutt tidsforbruk i bestand A.

Tidsforbruk pr. deloperasjon Arbeidsmetode	Mann		Mini	
	% andel		cmin	Mini bestand A
Rydding og orientering	17	6	13	13
Oppkvisting og planlegging	39	23	31	39
Felling	20	14	21	21
Lunning og nedtaking	8	9	12	12
Kapping og kvisting	16	5	22	5
Tomkjøring	–	16	–	22
Flytting og utkjøring	–	17	–	23
Avlesing	–	4	–	7
Vinsjing	–	6	–	8
Sum	100	100	98	150

Tabell 7. Data for studiet av opparbeidingen.

Materialomfang Arbeidsmetode	Hele studiet		Bestand A	
	Mann	Mini	Mann	Mini
Antall studerte trær	1037	219	522	118
Volum med bark, m ³	48	10	30	6
Middeldimensjon, dm ³	47	46	58	47
Middeldiameter dbh., cm	9,4	10,1	9,9	9,4

422. Opparbeiding

Opparbeidingen av virket ble studert isolert for de to fellemetodene. Opparbeiding av manuelt sammenført virke ble studert i bestand A og B, mens virke sammenført med minilunner ble studert i A og C. Bestand A er grunnlag for sammenlikning. Data for studiet av opparbeidingen vises i tabell 7 og deltidens relative fordeling og absolutt tidsforbruk ved opparbeiding i bestand A vises i tabell 8.

Sammenføring med minilunner gir bedre samling av virket. Effekten av dette vises tydelig ved at andelen av virketiden til flytting og klargjøring reduseres. Vi får en reduksjon i virketidsforbruk pr. tre ved opparbeidingen når sammenføring gjøres med minilunner.

Prestasjonen (Y) målt i m³ med bark varierer med dimensjonen (X) målt i cm dbh. ved opparbeiding av manuelt sammenført virke etter følgende funksjon:

$$Y = 0,002 + 0,023X + 0,0388X^2, R^2 = 0,71$$

Tabell 8. Deltidens relative fordeling og absolutt tidsforbruk ved opparbeiding i bestand A.

Arbeidsmetode	Tidsforbruk pr. deloperasjon		Mini bestand A	
	Mann	Mini	Mann	Mini
	% Andel		cmin	bestand A
Mating	38	39	31	25
Flising	30	39	23	25
Kvistrydding	7	8	5	3
Flytting	15	8	11	7
Klargjøring	10	6	8	3
Sum	100	100	79	63

Gjennomsnittlige prestasjoner for opparbeidingen var følgende:

Sammenføringsmetode	Totalt		Bestand A	
	Mann	Mini	Mann	Mini
m ³ pr. virketime	4,0	4,2	4,4	4,5
Treantall pr. virketime	86	91	76	95
Minutter virketid pr. m ³	15	14	13,6	13,4

423. Terrengetransport av celluloseflis

Til tross for at transportarbeidet er integrert i opparbeidingen er denne operasjonen vurdert isolert. Tidsstudiet av terrengetransporten omfattet 21 lass med midlere driftsveilegde 660 m. Samlet volum var 55 m³ og midlere trestørrelse var 46 dm³. Tre transportløyper ble studert disse besto av ca. 80 % god traktorvei og forøvrig hovedsaklig lett traktorterreng.

Gjennomsnittlig tid pr. lass var 1836 cmin. Kjøring inn til feltet tog 744 cmin, transport til bilvei 830 cmin og tømning og inspeksjon av flisa 262 cmin. Opplasting skjer fortløpende under opparbeidingen, derfor vurderes denne deltid som 0. Tidsforbruket er av denne grunn uavhengig av volumuttak pr. daa. og tredimensjon. Maskinens prestasjoner i transport var i gjennomsnitt 9,1 m³ og 198 trær pr. virketime. Virketid pr. m³ var 6,6 minutter.

5. Diskusjon

5.1. Flertrekvisting

Felling og sammenføring med Lillebror gir et fleksibelt tynnings opplegg med store mulighe-

ter for å tilpasses varierende feltforhold. Sammenføringen øker prestasjonen på opparbeidningen betydelig, men sannsynligvis ikke nok til at det kan forsvares å opparbeide virke med en maskin som er konstruert for å kunne utføre felling og kvisting på 9–10 meters arm. Det kreves også at driftene er godt planlagte og arbeidet godt organisert for at en skal få kapasitetene på maskinene til å gå sammen og gi lønnsomhet. For virke som er lunnet til stikkvei stilles det små krav til basmaskinen for kvisteaggregatet. Opparbeiding med traktormontert utstyr er teknisk lett å gjennomføre og har en prestasjon som samsvarer godt med prestasjonen for Lillebror. Sammenføringskostnadene er også økonomisk tyngende for denne metoden, men på grunn av den forholdsvis rimelige opparbeidingen er metoden likevel særdeles interessant. Begge maskinene som er prøvd til flertrekvisting viser at prestasjonen øker vesentlig når flere trær kan mates-opparbeides samtidig.

52. Cellulose flising ved stubben

Analysen viser at den manuelle sammenføringsmetoden bare eger seg for små dimensjoner, og middel dimensjonen bør ikke komme over 60–75 dm³. Sammenføring med minilunner er ikke så dimensjonsavhengig, men avhenger mer av lastørrelsen. Sammenføring med minilunner øker prestasjonen for flisingen med ca. 10 %. Flisingen er mest effektiv for dimensjoner fra 7–8 cm dbh. Maskinen er følsom for kvist og krever også at ca. 1,5 m. av stammen er fri for kvist. Kravet til kvistfri rottdel øker også felle/sammenføringskostnadene. Transporten frem til bilvei er rasjonell så lenge driftsveilengden ikke overstiger ca. 380 m. Ved lengre transporter vil transporten falle dyrere enn ved tradisjonelle opplegg. Transporten er ellers lite følsom for dimensjonen på uttaket og uttaket pr. daa.

Systemet med manuell felling sammenføring er økonomisk det beste alternativet, men er samtidig en metode med stor andel av tungt manuelt arbeid som kan gjøre metoden lite tiltalende.

6. Konklusjon

Driftskostnader var 305 kr for metode 1, 270 kr for metode 2 og 280 kr for metode 3 (Dale 1989). Driftskostnadene kan virke høye. Markedspris for vanlige drifter med middeldimensjon på 75–85 dm³ er på ca. 200 kr. Justerer en så for dimensjonen gir dette en “markeds” pris på ca. 360 kr. med engreps hogstmaskin. Kostnaden for metode 1 og 2 (flertrekvisting) kan sannsynligvis reduseres med 3–5% på grunn av rasjonalisering av utkjøringsarbeidet når virket konsentreres i større hauger.

Forsøkene viser at det er store rasjonaliseringsgevinster å hente med å handtere flere trær samtidig i en eller flere deler av arbeidet. Dersom det skal være lønnsomt å opparbeide flere trær samtidig må ikke totalinvesteringen i maskiner gjøre effektiviseringen ulønnsom. For flisemetoden er det den store manuelle innsatsen som gjør at metoden er interessant samtidig med at en fjerner stykkhandteringen tidlig i systemet og går over til lass som enhet.

Litteratur

- Dale, Ø. 1989. Flising ved stubben et alternativ ved tynning i unge bestand. Manuskript Skog og Tre. 7 pp.
- Fløystad, H. 1989. Direkte produksjon av celluloseflis i tynning av gran. Manuskript Norsk Institutt for Skogforskning. 55 pp.
- Wien, M. 1989. Mekanisert førstegangstynning i furubestand med små dimensjoner. Hovedoppgave ved Norges Landbrukshøyskole. 74 pp.

Flertræsteknik i Danmark

Pieter D. Kofman

1. Baggrund

Som i alle andre lande er små træer fra første tyndninger også en problem i Danmark. Prisen for cellulosetræ er stigende og oparbejdningsomkostningerne — særlig ved de traditionelle metoder — stigende. De traditionelle metoder har altid anvendt enkelttræhåndtering og har derfor en naturlig begrænsning. Metoden at arbejde sig ud af små træes krisen er flertræshåndtering.

2. Metoder

I Danmark finder fire metoder med flertræshåndtering anvendelse, enten i dagligdagen eller på forsøgsbasis:

- høstning af energiflis fra tyndinger med fældemaskine og selvkørende flishugger (praksis)
- høstning af energiflis fra renafdrifter hvor træerne er fældet med fældemaskine, kørt til vejsiden med en udkørselstraktor og flist ved vejsiden af en storflishugger (forsøg)
- integreret høstning af en industriel sortiment sammen med energiflis. Skovning er enkelttræhåndtering men den efterfølgende flishugning er flertræshåndtering (forsøg)
- bundafkvistning med en cleaner, hvor træerne er fældet med en fældemaskine og efter cleaning flishugget til spånpladeflis (forsøg).

Den første og tredje metode er beskrevet i forsøgsrapporter, mens den anden og den sidste metode er stadig under udvikling, men nogle resultater af en første studie er indarbejdet i denne rapport.

3. Resultater

Resultaterne kan opdeles i tre hovedgrupper:

1. Fældning
2. Transport
3. Oparbejdning, som kan underfordes i flishugning og i afkvistning med cleaner

31. Fældning

Allerede i 1983 blev den første forsøg med mekaniseret fældning udført i både rækkehugst og selektiv hugst med moderne maskiner (Kofman 1983a). Forsøget blev udført med en Kockum 81–11 basismaskine med Kockum akkumulerende fældehoved. I samme år udførtes der også forsøg med Klippmyran (Kofman 1983b). Først i 1987–88 blev forsøgsrækken med mekaniseret fældning videreført nu med en ombygget Kockums 81–11 basismaskine forsynet med en MOWI kran og en Silvatec fældeaggregat (Kofman 1989) (hele maskinen refereres til som Silvatec sener). Medens de første to maskiner kun blev studeret i rødgrantyndinger er den sidst nævnte også studeret i renafdrifter af contorta fyr (Kofman 1990, Suadicanì 1989). Resultater af samtlige forsøg er videregivet i tabell 1.

Resultaterne af studiet på den første Kockum maskine er givet som studeret og omregnet fordi maskinen bundtede træerne i hovedsporet som derfor medførte meget køretid. Resultaterne kunne derfor ikke sammenlignes med de nuværende studier i tyndinger fordi der aflægges træerne direkte i sporet.

I tyndingsstudiet med Silvatec fælderer blev også indflydelsen af antal træer per krancyclus beregnet på basis af den eksisterende studiemateriale på 480 observationer. Desværre er antal observationer med tre træer i fældehoved megen sjælden. Et forsat studie på akkumulering er derfor planlagt. I tabell 2 er resultaterne af analysen videregivet. Der ses en klar forøgelse af produktiviteten med tiltagende antal træer per cyklus.

Fortsatte tidsstudier er planlagt på et akkumulerende fældehoved, samt på fældning kombineret med udslæbning (Lillebror metode).

32. Transport

I tyndning er der ikke udført nogen studier på udkørsel af heltræer; dog er der udført studier på udkørsel af trædele i første tyndning (Kofman

Tabell 1. Resultater af tidsstudier på fældemaskiner i udtrykt i træer/time G_0 .

Maskine	Hugstmønster	Aflægningssted	DBH	Træer/ time	Ref.
Kockum 81-11	række	hovedspor	6,5	128	1
			9,7	113	
			5,0	117	
	selektiv	hovedspor	7,1	100	1
			9,2	111	
			12,0	77	
kombineret	hovedspor	5,5	121		
		8,0	104		
Kockum 81-11	selektiv	spor	5,0	157	
			7,1	130	
			9,2	153	
			12,0	110	
Klippmyran	række	hovedspor	6,5	43	2
	selektiv		6,5	67	
	selektiv		7,8	55	
	kombineret		6,5	60	
Mikro	selektiv	spor	7,0	188	9
Silvatec	selektiv	spor	8,6	275	3
	renafdrift	vinkelret			4
	renafdrift	parallel			4
	renafdrift	30 grader			5
	renafdrift	30 grader			5

Tabell 2. Indflydelse af antal træer per krancyklus for Silvatec fælder i træer/ G_0 time.

	1	2	3
Antal træer/kran cyklus	1	2	3
Antal observationer	352	125	3
Tid/cyklus, cmin	24,6	34,7	39
træer/time	244	345	461

1988a) og af toppe efter maskinel skovning i en integreret høstningsforsøg i tredje tynding (Kofman 1989).

Flere studier er udført på renafdrifter af contorta fyr hvor tidsstudier blev udført på udkørsel af hele træer til vejsiden både kort tid efter fældning og efter sommertørring. Også blev udslebning med klembank af hele træer kort tid efter fældning studeret (Kofman 1990, Suadican 1989). Resultaterne af studierne findes i tabell 3.

Tabell 3. Resultater af studierne på udkørsel og udslebning af trædele, toppe og heltræer. Tider i G_0 .

Maskine	Sortiment	Hugstmønster	DBH	Træer/ time	Ref.
Mini Brunett	trædele	række+ selektiv	8,7	128	6
Silvatec F70	topper	selektiv	–	148	3
Silvatec F70	topper	renafdrift	–	127	3
Silvatec F70*	heltræer	renafdrift	9,7	195	4
				212	4
Silvatec F70**	heltræer	renafdrift	9,7	190	5

* Silvatec F70 udkørselstraktor hvor læssebredde er udvidet med en meter til hver side. I bagside af læssearealet er der anbragt en tværbjælke som holder toppene af træerne fri fra jorden

** Silvatec F70 udkørselstraktor forsynet med GREMO klembank.

Præstationerne på renafdrifter i contorta fyr kunne forbedres væsentlig hvis en større maskine med en større kran bliver anvendt. Både læssekapacitet og kørehastighed er for lav i studierne, fordi maskinen ikke råder over tilstrækkelig motorkraft. Det forventes også at studier på udslebning og udkørsel af hele træer og muligvis trædele vil fortsætte i de næste år.

33. Oparbejdning

Siden 1982 er talrige studier på flishugning i bevoksninger udført. I 1982-83 koncentrerede studierne sig mest på flishugning efter motor-manuel fældning (Kofman 1983c, 1983d, 1988b), medens man de sidste par år har fokuseret på flishugning efter maskinel fældning (Kofman 1989). Det sidste nyt er oparbejdning af heltræer ved vejsiden med en flishugger efter træerne er cleanet. Ved cleaning fjerner man samtlige nåle, kviste samt en del af barken ved at trække bundter af heltræer igennem cleaneren. Cleaneren er stadigvæk i forsøgsstadiet og er kun studeret for at få en antydning af dens produktivitet (Suadican 1989).

I januar-februar 1990 udføres mange studier på flishugning af heltræer ved vejsiden som er udkørt enten i juni 1989 eller september 1989. Det drejer sig i alt om mer en 1500 rm flis. Der sammenlignes med flishugning på renafdrifter i sammen afdelingerne. Resultaterne er sammenfattet i tabell 4 og udtrykt i træer per time G_0 .

Tabell 4. Resultater af studier på flishugning og oparbejdning i træer pr. time G_0 .

Maskine	Sted	Hugstmønster	Fældning	DBH	Træer/ Ref. time	
Silvatec	bevoks.	selektiv	mekan.	8,9	266	3
JL/TP	bevoks.	række	motman	4,8	209	7
				6,6	206	
				8,0	160	
		selektiv	motman	4,8	267	
				6,6	153	
				10,7	45	
kombi-neret	motman	3,9	196			
		5,3	251			
		7,6	184			
Fendt/SIBA	bevoks.	række	motman	3,9	183	8
				6,5	223	
				9,7	97	
		selektiv	motman	5,0	206	
				7,1	128	
				10,1	92	
kombi-neret	motman	4,8	220			
		5,5	230			
		8,0	128			
Fendt/TP	bevoks.	spor	motman	7,2	167	9
				9,1	133	
		selektiv	motman	6,7	170	
				8,5	144	
Flishund	bevoks.	kombi-neret	motman	8,2	266	9
Afnåler	vej	renafdrift	mekan.	9,7	197	5

4. Diskussion

De indsamlede resultater er anvendt som input til simuleringer i en regneark (spreadsheets). Først er det muligt at indtaste bevoksningsoplysninger, maskintime priser, og sortimentspriser efterfulgt af angivelser af maskinernes produktivitet i træer pr. arbejdspladstime. På basis af disse oplysninger udregner regnearket de totale omkostninger, indtægter og overskud (eller underskud) per hektar ud for specifikke maskinsammensætninger. Regnearket er udarbejdet for både tynding og renafrift.

I en anden form gør man faktisk omvendt: i

dette ark kan man se indflydelse af forskellige faktorer på en enkelt maskinens produktivitet. F.eks. kan man specificere bevoksningsoplysninger, maskintimepriser, sortimentspriser og produktivitet af de maskiner omkring den maskine man vil have oplysninger om. Regnearket svarer med et antal træer i timen som denne målmaskine skal opnå for at tilfredsstille de anførte krav.

Af samtlige studier der er udført de sidste år fremgår det meget klar at flertræshåndtering er vejen ud af småtræskrisen. En differentiering af slutprodukterne, som nu er under udvikling med cleaneren, byder på en velkommen udvidelse af flissortimentet. Også fordi energiflissprisen er under tryk på grund af overproduktion og for småt forbrug de sidste to vintre, som var meget milde. Det må forventes at priserne på industrielt småtræ også vil falde yderligere, hvorfor det er tvingende nødvendig med en indgribende rationalisering af småtræshøstningen.

Vejen frem er mekaniseret fældning med et akkumulerende fældehoved, eventuel koblet til transport ud af bevoksningen til hovedspor eller helt til vejsiden. Oparbejdningen kan der ske med cleaneren monteret foran flishuggeren som fremstiller flis til industriel formål. Særlig for tyndinger kunne det være interessant, hvis de nuværende flishuggere kunne ombygges med en cleaner, således at industriflishugger kunne køre i bevoksningserne ligesom de gør i dag.

Studierne vil i de kommende år koncentrere sig på mekaniseret fældning, transport af heltræer samt oparbejdning med cleaner.

Litteratur

- Kofman, P.D. 1983a. Kockum 81-11 fælder-bunkelægger. SI rapport 7.
- 1983b. Klippmyren, indledende studier på Klosterherdens skovdistrikt. Stencil 1983-07-07.
- 1983c. Høstning af grønflis i ung gran 1. SI rapport 4.
- 1983d. Høstning af grønflis i ung gran 2. SI rapport 6.
- 1988a. Harvesting summer dried tree sections for energy. Research report 4.
- 1988b. Improved chipping technology for adverse terrain conditions. Research report 3.
- 1989. Integreret skovning af brændselsflis og industritræ. SI rapport 1.
- 1990. Lagring af contorta heltræer ved vejsiden. (under udførelse)
- Suadicani, K. 1989. Pilotstudie af mekaniseret fældning, udslåbning og afnåling. (Internt notat)

Del II

Skonsamma maskiner och metoder

Små terrängmaskiner för skogsbruk

Tomas Nordfjell och Mikael Larsson

1. Sammanfattning

Intresset för små terrängmaskiner främst inom svenskt privatskogsbruk har ökat kraftigt de senaste åren. Virkestransport är mer krävande än vad annan terrängtransport vanligtvis är. Därför har ett antal små terrängmaskiner studerats angående deras egenskaper vid körning i terräng samt deras transportkapacitet och ergonomiska egenskaper. För att uppnå detta har ett antal standardiserade prov utförts. Proven avsåg hindertagningsförmåga, stjälpningsvinkel, kursstabilitet, vändradie, dragkraft, hastighetsregister, marktryck, backtagningsförmåga och manövrerbarhet. Dessa egenskaper är så betydelsefulla att de benämns med en terrängmaskins *tekniska basegenskaper*. På grundval av proven har en kravspecifikation upprättats. Avslutningsvis har bedömningar utförts angående vilka skogliga arbetsuppgifter som olika typer av små terrängmaskiner är bäst lämpade för.

2. Bakgrund och syfte

De senaste åren har försäljning av små terrängmaskiner och användning inom främst privatskogsbruket ökat kraftigt i Sverige. Dessa maskiner kan i många fall vara en förutsättning för självverksamhet eller möjlighet till småskalig entreprenadverksamhet. Främst beroende på låga kapitalkostnader och möjlighet till skonsamt skogsbruk, men även för att många maskiner har ett brett användningsområde.

I de flesta skogliga arbetsuppgifter som de används till ingår moment med virkestransport, vilket är mera krävande för maskinerna än normalt annan terrängkörning är. Lasten är tung, utrymmena små och möjligheten att välja väg begränsad. Därför måste också kraven på deras prestanda ställas högre i skogsbruk än vid annan användning.

Syftet med denna studie har varit:

- att granska små terrängmaskiners egenskaper vid terrängtransport
- att precisera krav som bör uppfyllas för att maskinerna skall vara användbara för skogliga arbetsuppgifter
- att identifiera olycksfallsrisker och ergonomiska brister
- att ge förslag till konstruktionsförbättringar
- att bedöma olika maskintypers användbarhet i enskilda skogliga arbetsuppgifter samt
- att bedöma olika maskintypers utvecklingsmöjligheter och lämplighet som basmaskin för mångsidig skoglig användning

3. Material och metoder

I denna undersökning har följande maskiner studerats:

Maskiner som körs av gående förare:

Goliat G8, en hydraulisk maskin numera tillverkad av EMT TRAC, Box 54, 672 00 Årjäng (kunde bara medverka i en begränsad del av proven p g a ett monteringsfel).
Vimek terrängvagn, tillverkad av Vimek AB, Box 8, 922 00 Vindeln.

Maskiner där föraren åker:

Polaris Trail Boss 4 x 4, tillverkad av Polaris Industrier, Roseau, Minnesota, USA. Säljs i Sverige av Loxkel AB, Nivåsvägen 2, 831 52 Östersund.
Yamaha 350 4 x 4 Big Bear, tillverkad av Yamaha Motor Co., Ltd., Iwata, Japan. Säljs i Sverige av Hallman & Eneqvist Motor AB, Box 600, 136 26 Handen.
Skogis, tillverkad av Lenko, Box 24, 831 21 Östersund.
Heby-trac, tillverkad av Alcab, 740 41 Morgongåva.

Förutom ovan nämnda maskiner har även vid vissa provmoment en tidigare studerad maskin medverkat. Den maskinen körs av en gående förare och har följande namn:

Järnhästen Pro, tillverkad av EMT TRAC, Box 54, 672 00 Årjäng.

De maskiner som körs av en gående förare — Goliat, Vimek och Järnhästen — kommer antagligen framgent att klassificeras som motor-

redskap. I avvaktan på det benämns de i denna studie med det i marknadsföring vedertagna, men missvisande, samlingsnamnet minilunnare. Polaris och Yamaha, som är väl avfjädrade allhjulsdrivna maskiner med en egenvikt under 400 kg har kategoribenämningen terränghjulingar. Skogis och Heby-trac, vilka väger mer än 400 kg, benämns småskotare.

Minilunnarna har motorstyrkor på 4–6 kW. Goliat och Järnhästen har två drivband och Vimek har fyra drivhjul. Priset för dessa försedda med lastbärare varierar mellan ca 46 000 och 48 000 kronor. Småskotarna har motorstyrkor på 13–15 kW, Skogis har ett drivband och midjestyning, medan Heby-trac har två drivband och bandstyrning. Priset varierar mellan ca 96 000 och 98 000 kronor exkl moms för dessa maskiner försedda med lastbärare, men utan griplastare.

De maskinegenskaper som provades samt motivering till proven anges i det följande.

Hindertagningsförmåga, backtagningsförmåga samt *stjälningsvinkel* sätter gränser för vilka markförhållanden maskinen klarar av vad avser ytstruktur och lutning.

Kursstabilitet, vändradie, hastighetsregister och *manövrerbarhet* mäter förmågan att röra sig på begränsade utrymmen och förmågan att positionera fordonet.

Dragkraft anger förmågan att övervinna de motstånd lasten ger upphov till.

Marktryck anger framkomligheten på mark med dålig bärighet.

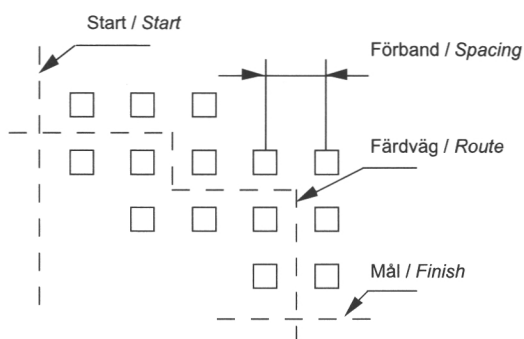
Manöverkraft på *styrreglage* mäter hur stora muskelbelastningar som föraren blir utsatt för.

Vid praktisk terrängkörning har man inverkan av många ovan uppräknade maskinegenskaper samtidigt. Detta belystes av prov på *körning på hygge och obärig mark*, och *körning på terrängbana*. Parallellt med alla prov utfördes även en *ergonomisk bedömning* med avsikten att identifiera de mest graverande olycksfallsriskerna och ergonomiska bristerna.

4. Resultat

Resultaten har utmynnat i en kravspecifikation för små terrängmaskiner vid barmarkskörning. De övergripande kraven har varit att:

- Maskinerna skall kunna köras på huvuddelen av Sveriges skogsmark
- Maskinerna skal vara användbara som virkestransportörer i förstagallringar



Figur 1. Det simulerade beståndets utseende.

Dessa övergripande krav har omsatts till mätbara storheter och kravspecifikationen innefattar egenskaperna hindertagning, backtagning, stjälningsvinkel, kursstabilitet, vändradie, manövrerbarhet, dragkraft, hastighetsregister och marktryck. Dessa egenskaper benämns *tekniska basegenskaper* (tabell 1).

Om maskinerna uppfyller kraven har man ett bruksvärde som bedöms göra dem användbara även till många andra skogliga arbetsuppgifter än förstagallringar och även arbetsuppgifter utanför skogsbruket. Mätvärdet på den tekniska basegenskapen manövrerbarhet kräver en förklaring. En speciell färdväg genom ett simulerat bestånd kördes och "trädens" kvadratförband minskades tills passage var omöjlig. Det simulerade beståndets utseende visas i figur 1.

Det är endast för momenten att "ta sig upp på hinder lastade" och "dragkraft" som ingen av de provade maskinerna helt uppfyller kraven. I övrigt var det alltid någon maskin som klarade kraven. Det gäller med andra ord för maskintillverkare att rätt utnyttja de fördelar som olika maskintyper har och konstruera maskinerna därefter.

Vid körning efter en terrängbana uppmättes maximalt lass som maskinerna kunde transportera samt transporthastighet och bränsleförbrukning. Terrängbanan hade en sammanlagd längd av 584 m och den totala nivåskillnaden var ca 18 m. Terrängsvårigheten var 2, 2, 1 — 2, 3, 2 (grundförhållande, ytstruktur och lutning enligt Skogsarbetens terrängtypschema). Av Sveriges skogsmark har 60 procent samma eller lättare terrängsvårighet. I tabell 2 redovisas det maximalt största lass som maskinerna klarade av efter terrängbanan samt ett rekommenderat största lass. Med den rekommenderade lasten var det mycket liten risk för fastkörning efter terrängbanan.

Tabell 1. Preliminär kravspecifikation på tekniska basegenskaper för små terrängmaskiner vid barmarkskörning.

Teknisk basegenskap	Maskintyp /Förut-sättningar	Bedömt krav/ Önskade prestanda	Teknisk basegenskap	Maskintyp /Förut-sättningar	Bedömt krav/ Önskade prestanda
<i>Hindertagning</i> Förmåga att ta sig upp på hinder	Alla	0,3 m En tvär kant (typ trappsteg) oberoende av om maskinen körs rakt mot, snett mot eller om halva maskinen är utanför hindret		Maskiner där föraren åker eller där föraren riskerar att skadas vid stjälpning	40° Som ovan
Förmåga att ta sig ned från ett hinder	Lastad maskin eller maskin som körs av en gående förare	0,4 m En tvär kant (typ trappsteg). Vid något högre hinderhöjd får maskinen fastna men ej välta	<i>Kursstabilitet</i>	Alla	+5 cm Vid körning rakt fram
	Olastad maskin där föraren åker med	0,5 m Som ovan	<i>Vändradie</i>	Lastade maskiner	Maskinen skall kunna rotera kring lastens/ efterfordonets markkontakt-punkt
<i>Stjälpningsvinkel</i>	Maskiner som körs av gående förare utan risk för förarskador vid stjälpning samt en maskins lastbärare	35° Statisk stjälpningsvinkel vid fullt lass		Lastade maskiner som styr med alla hjul och samspårar med hjulaxlarna	2,5 m + maskinens bredd
			<i>Dragkraft</i> (Med totalvikt avses vikten av maskin, lastbärare, last och eventuell förare)	Maskiner som inte bär sin last och vars totalvikt är lägre än ca 1 ton	6 kN På maskinens band eller hjul 4+3, på maskinens band eller hjul 7 x maskinens totalvikt i ton (kN)
			<i>Backtagning</i>	Alla maskiner vid körning med ett litet prod. lass	20° motlut (36 %)

Tabell 2. Maximalt samt rekommenderat största skotningslass (m³f) vid körning på terrängbana.

	Järnhästen	Polaris	Yamaha	Vimek	Skogis	Heby-trac
Maximalt skotn.lass m ³ f	0,8	0,7	0,7	1,6	0,9	1,3
Rekommenderat största skotn. lass m ³ f	0,7	0,5	0,5	1,0	0,5	0,8

Den genomsnittliga transporthastigheten efter terrängbanan var för terränghjulingarna 1,5–2 m/s och för övriga maskiner 0,9–1,0 m/s innan lasten blev för stor.

Som jämförelse kan nämnas att en konventionell gallringsskotare har en transporthastighet

på 1,1–1,5 m/s och moderna lantbrukstraktorer 1,0–1,4 m/s på samma terrängbana. Anmärkningsvärt är att hastigheten var lika hög för de maskiner som kördes av gående förare som för småskotarna Skogis och Heby-trac.

Energiförbrukningen vid maximalt lass efter terrängbanan var för terränghjulingarna och minilunnarna 17–26 MJ/tonkm — 500 m tomkörning och 500 m lasskörning. Som jämförelse kan nämnas att en konventionell gallringsskotare — Brunett Mini 678F — har en energiåtgång på 12,5 MJ/tonkm. En konventionell lantbrukstraktor — Valmet 615M — hade en energiåtgång på ca 19,5 MJ/tonkm vid samma tillfälle. De mest energieffektiva små terrängmaskinerna har högre energiförbrukning per transporterat ton än konventionella gallringsskotare, men lägre än moderna lantbrukstraktorer. Möjlighet till större lastvolym på de mest energieffektiva småmaskinerna bör dock minska deras energiåtgång

Tabell 1. Fortsättningen.

Teknisk basegenskap	Maskintyp /Förut-sättningar	Bedömt krav/ Önskade prestanda	Teknisk basegenskap	Maskintyp /Förut-sättningar	Bedömt krav/ Önskade prestanda
<i>Hastighetsregister</i>					
Minimihastighet	Fast utväxling	0,25 m/s Med stort lass på plan mark		Ej avfjädrade maskiner som man åker på och arbetsväxel	2,5 m/s Tomkörning efter bra basväg eller skogs-bilväg
	Variator, hydraulisk kraftöverföring eller annan transmission som tål slirning	0,5 m/s Som ovan		Ej avfjädrade maskiner som man åker på och transportväxel	6,9 m/s Som ovan
Maximihastighet	Maskin som körs av gående förare på arbetsväxel	1,6 m/s Tomkörning efter bra basväg eller skogs-bilväg	<i>Marktryck</i>	Lastade maskiner vid körning på obärig skogs-mark (grundför-hållandeklass 5)	40 kPa Medelmark-tryck
	Maskin som körs av gående förare på transportväxel	2,0 m/s Som ovan		Lastade maskiner vid körning på torvmark (grundför-hållandeklass 5)	25 kPa Medelmark-tryck
	Väl avfjädrade maskiner som man åker på och arbetsväxel	5,0 m/s Som ovan	<i>Manövrerbarhet</i>	Lastade maskiner	2,24 m Minsta kvadrat-förband i simulerat bestånd utan att backa
	Väl avfjädrade maskiner som man åker på och transportväxel	14 m/s Tomkörning efter bra basväg eller skogsbilväg alt 8,3 m/s (30 km/tim) vid krav på traktor registrering			

per transporterat ton avsevärt.

Småskotarna Skogis och Heby-trac hade mer än dubbelt så hög energiförbrukning per tonkm som övriga provade maskiner.

Vid den ergonomiska bedömningen framkom i huvudsak följande synpunkter.

Maskinerna bör generellt vara utrustade med ett nödstopp som aktivt påverkar bromsarna om föraren tappar kontrollen över maskinen. En sådan situation kan vara att föraren ramlar av eller att en gående förare blir påkörd. Ingen av de provade maskinerna hade ett fullgott nödstopp, men minilunnarna Goliat och Vimek var de maskiner som var bäst.

När man släppte reglagen på dem låstes bromsarna, men de bromsade inte om föraren kom i kläm utan att släppa reglagen. De mekaniskt drivna minilunnarna Järnhästen och Vimek gav föraren oacceptabelt stora slag och stötar via styrhandtaget, vilket den hydrauliskt drivna

Goliat inte gjorde. Alla minilunnarna medförde statiska belastningar på hand och arm samt felaktiga vinklar på armens leder.

Transporthastigheten med terränghjulningar är förhållandevis hög. Föraren riskerar att skadas av grenar och kvistar som kan komma i vägen. Olägenheterna borde minska om maskinerna utrustades med en avledande vindruta/kåpa av samma typ som hos snöskotrar. Föraren bör dessutom använda en hjälm av motorcykel/snöskotermodell med ögonskydd av slalomtyp. Terränghjulningarna hade kraftig stegringsbenägenhet i motlut med stora lass. Den olycksfallsrisken bör vara lätt att åtgärda genom att utforma kärrans drag på rätt sätt. Maskinen kan då bara lyfta framhjulen ett visst stycke innan kärrans dragstång tar i mot maskinens bakdel och hindrar överstegring. De borde även förses med någon enkel form av skyddsåge, som åtminstone förhindrar att maskinen kan komma i rullning vid

en eventuell stjälpning. På Polaris var förarens fötter väl skyddade men på Yamaha hade de ett utsatt läge. Terränghjulingar ställer höga krav på förarens omdöme. De har förmåga att ta sig fram i mycket oländig terräng och toppfarten är hög. En förare måste ha omdöme att utnyttja terränghjulingarnas prestanda på rätt sätt.

Även på småskotarna Skogis och Heby-trac efterlyses skydd mot grenar och kvistar trots att hastigheten har varit lägre. På Skogis var styrreglaget för känsligt och maskinen var instabil. På Heby-trac satt föraren i en mycket utsatt position i direkt anslutning till motor, bensin- och hydrauloljetank samt hydraulslangar. Körställningen var mycket låst och bullernivån hög.

På de flesta maskinerna förekom anmärkningar mot vassa kanter och hörn som föraren riskerade att skada sig på.

5. Diskussion

En bedömning av hur stor andel av Sveriges skogsmark som maskinerna kan ta sig fram på gav till resultat att lastade med normala lass bedömdes alla maskiner utom Skogis klara av mellan ca 55 och 85 procent. Den högre siffran avser att kunna ta sig fram vid ett mycket noggrant vägval. Skogis är hänvisad till relativt jämn mark, men kan å andra sidan även brukas vintertid.

Avslutningsvis utfördes en bedömning av olika typer av små terrängmaskiners lämplighet till skogliga arbetsuppgifter. Bedömningarna är begränsade till de skogliga arbetsuppgifter där små terrängmaskiner bäst bedöms hävda sig gentemot stora maskiner.

Arbetsuppgifterna är följande:

Arbetsuppgift	Innebörd
Sammanföring av virke i klena gallringar.	Virket koncentreras till ett glest stickvägsnät eller till beståndskant.
Uttransport i gallringar.	Transport av gallringsvirke till bilväg. Oftast har en mindre manuell sammanföring till mycket smala stickvägar redan utförts i samband med huggningen.
Planttransport.	Transport av skogsplantor från bilväg till små plantdepåer på hygget.
Transport av fröträd.	Virket körs till bilväg.
Transport av vindfällan och snöbrott.	Virket körs till bilväg eller sammanförs till traktorvägar.

Bärare av första-gallringsprocessor.

Persontransport.

Träden upparbetas och kan också med fördel sammanföras till ett glest stickvägsnät.

Transport av föraren och i vissa fall också passagerare.

För varje arbetsuppgift har de mest betydelsefulla maskinegenskaperna ställts samman. Dels tekniska, dels andra för arbetsuppgiften väsentliga maskinegenskaper. Utifrån denna sammanställning görs sedan bedömningen av vilka små terrängmaskiner som är lämpliga till olika arbetsuppgifter.

Bandgående minilunnare är speciellt lämpade för sammanföring i klena gallringar. De är även lämpade till sammanföring av vindfällan och snöbrott speciellt i täta gallringsbestånd, men även i grövre skog om de är försedda med motordrivna linspel/linkranar. I övrigt är de brukbara till all virkestransport, helst där transportavståndet är kort.

Snödjupet måste då vara ringa och terrängen ej för ojämn. De är speciellt lämpade för obäriga marker. De är även brukbara för planttransport om terrängen inte är för svår.

Hjulgående minilunnare är speciellt lämpade för planttransport och till sammanföring av vindfällan och snöbrott. I övrigt är de brukbara till all virkestransport, helst vid korta transportavstånd, jämn terräng och ringa snödjup. De har visserligen god förmåga att passera hinder, men ger i skrivande stund föraren för höga belastningar i fråga om slag och stötar. Hjulgående minilunnare klarar ej lika obäriga marker som bandgående.

Terränghjulingar är speciellt lämpliga för uttransport av gallringsvirke samt transport av fröträd och persontransport om snödjupet är ringa. I övrigt är de brukbara till all virkestransport, även vid långa transportavstånd. Långa transportavstånd kräver dock bra mark även om terränghjulingar har god förmåga att passera hinder.

En småskotare typ Skogis är lämplig till uttransport av gallringsvirke samt transport av fröträd vintertid. Den är även brukbar till transport av fröträd sommartid och vindfällan samt persontransport.

En småskotare typ Heby-trac — fast grundligt omgjord — har många lämpliga arbetsområden. Den bör vara lämplig för uttransport i gallringar, planttransport, transport av fröträd på barmark och transport av vindfällan. Men framförallt bör den vara lämplig bärare av en liten förstagallringsprocessor när tillräckligt små sådana har utvecklats.

Litteratur

Nordfjell, T. 1989. Små terrängmaskiner för skogsbruk — prestanda, krav. Garpenberg: Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 163.

Övrig publicerad litteratur inom problemområdet under projektiden:

Frisk, T. & Kjellstrand, M. 1988. Terränghjulingar — användning inom skogsbruket. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Intern stencil 116.

Jonsson, Y. 1989. Miniskotare för självverksamma skogsägare — en utvärdering baserad på Vimek 1300 terrängvagn. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 153.

Kihlberg, S., Attebrant-Eriksson, M. & Lindbeck, L. 1989. Belastning på förare vid körning med minilunnare. Stockholm. Arbetsmiljöinstitutet. Undersökningsrapport 12.

Larsson, M. 1988. Trädplanning med Järnhästen Piraya och Järnhästen Pro. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Uppsatser och Resultat 127.

—, 1989. Kravspecifikation för små skogskranar och efterfordon samt sammanställning av befintlig teknik och utrustning inom området. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Intern stencil 16.

— 1989. Mätning av dragkraften hos minilunnare. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Rapport 184.

Nordfjell, T. 1987. Små maskiner för terrängtransport. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Intern stencil 85.

— 1988a. Minilunnare — användare och driftserfarenheter 1987. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Intern stencil 96.

— 1988b. Små maskiner i gallring. Föredrag vid NSR:s forskarkonferens på Island 28 juni–2 juli 1988. Garpenberg. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för skogsteknik. Intern stencil 106.

Minilunnaren i gallring

Seppo Ryynänen

1. Sammandrag

Skogsavdelningen i TTS undersökte minilunnaren (Järnhästen) som hjälpmedel vid avverkning och terrängtransport. Enligt resultaten är den användbar vid förstagallring då man strävar efter att minimera de produktionsförluster som körstråken samt träd- och terrängskadorna förorsakar för skogen, samt då man strävar efter att förbättra ergonomin i avverkningsarbetet och att öka omväxlingen i det tunga avverkningsarbetet.

Då man använde lunnare minskade den sammanlagda andelen för fällning, kvistning och brossling från 63–75 % till 45–53 % av den effektiva arbetstiden. Avverkningen av massavedsstammar blev snabbare, men mindre än vad användningen av lunnare medförde tilläggsarbeten. Produktiviteten vid avverkning till körstråk (avstånd mellan körstråk 25–35 m) var 0,59–0,74 m³/verktimme då minilunnare användes och 0,74–1,14 m³/verktimme då den inte

användes. Lunnlastens storlek var 0,42–0,58 m³.

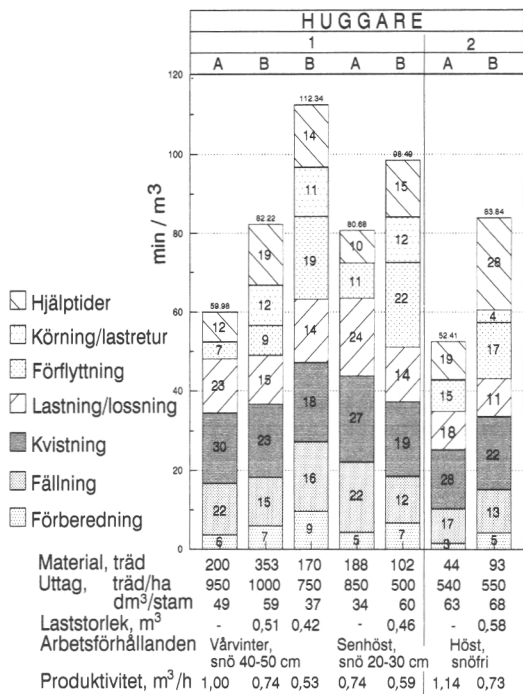
Minilunnaren medför tilläggskostnader, vilkas storlek beror i avgörande grad av den årliga användningen. Då lunnaren används 500–1000 h/år är tilläggskostnaden 15–25 mk/h. Samägo och entreprenadverksamhet gör det möjligt att sänka kostnaderna.

Förstagallringen är en skogsvårdande åtgärd, som görs för beståndets framtid. Det kvarställda beståndet borde inte få skadas vid drivningen. Även ett för tätt körstråksnät ökar produktionsförlusterna i beståndet. Dessa faktorer ställer hårda krav på planeringen och genomförandet av drivningen samt på den valda drivningsmetoden. Minilunnaren är en lösning på förtransporten av gallringsvirke.

I Finland torde det finnas några tiotal minilunnare som är i hel- eller deltid användning i virkesdrivning. Vid slutet av år 1989 var den totala försäljningsmängden ungefär 250 lunnare. De huvudsakliga märkena är Järnhästen, Goljat och Combitrac.



Figur 1. Minilunnaren gör skogsarbetarens arbete mera omväxlande. Lasten används som arbetsbänk, varvid kvistningen och lastningen sker lätt och säkert (Foto: Arto Mutikainen).



Figur 2. Tidsåtgången vid avverkning, andelarna för olika arbetsmoment och produktiviteten vid förstagallring i granbestånd. Avstånd mellan körstråk 25–35 m. Avverkning utan (A) och med (B) minilunnare.

2. Syftet med forskningen

Skogsavdelningen i TTS använde under två år Järnhästen 125-minilunnaren (figur 1). Den användes huvudsakligen i förstagallring som ett hjälpmedel vid avverkningen. Arbetsstudien utfördes på två arbetare på tre arbetsplatser. Som jämförelsemetod fungerade manuell avverkning med brossling till körstråk. Materialet och bestånds faktorerna framgår av figur 2.

3. Arbetsmetod

Vid avverkningen användes minilunnaren utan släpvagn. Den tre meter långa massaveden lastades på lunnbanken. Nackdelen härvid var att man varit tvungen att binda lasten alltid då man flyttade lunnaren. Det här var nödvändigt att göra flera gånger per last. Fördelen med lunning var att lasten kunde lossas snabbt.

Körstråken hade på förhand planerats och märkts ut på skiftena. Avståndet mellan körstråken var 25–35 m. Transportsträckan var i me-

deltal 20–30 m. Virkeshögarna var efter lunntransport 2–3 gånger så stora som då de görs för hand.

Samtidigt med avverkningen kan virket även lastas på en låg boggiavagn som kopplats till lunnaren. Lasten blir på detta sätt större än vid lunning. Lasten samt rullen som kopplats till kärran fungerar som arbetsbänk, varvid kvistningen och lastningen blir lättare och skadliga arbetsställningar kan undvikas.

4. Resultat

4.1. Fördelningen av arbetsmoment

Då minilunnaren togs med i avverkningen förändrades arbetet betydligt. Den sammanlagda andelen av fällning, kvistning och brossling av den effektiva arbetstiden var 63–75 % med traditionella metoder, men vid avverkning med minilunnare endast 45–53 % (figur 2). Då man använder lunnare undviker man den tunga brosslingen till körstråk. Den kvistade stammen kan sågas i bitar direkt i lasten. För små träd var tidsvinsten vid fällning, kvistning och brossling 10–15 %.

Arbetet planerades och de träd som skulle avlägsnas valdes huvudsakligen samtidigt som lunnaren flyttades. Arbetsmomentets andel av den effektiva arbetstiden var 4–17 %. Mest tid för förflyttning av lunnaren åtgick i glesa stämpningsposter. Ett tjockt snötäcke gjorde förflyttningen långsammare. Med hjälp av bl.a. kastfällning försökte man få många stammar till samma arbetspunkt. Till förflyttningen hörde fast- och uppbindning av lunnlasten. Till detta användes 2–6 % av arbetstiden. Under forskningens förlopp ersattes spännbältet med en vajer som var mera praktisk att använda.

4.2. Transporthastighet

Transporthastigheten var förhållandevis låg då man använde minilunnare på arbetsskiftet; lastad i medeltal 9,4–13,4 m/min och tom 13,5–16,9 m/min. Snö och ojämnheter i terrängen samt undvikande av skador på stående träd gjorde transporten långsammare. På snöpackat körstråk var körhastigheten ungefär tre gånger så stor både som lastad och som tom, d.v.s. den motsvarade en lantbrukstraktors körhastighet i terräng.

För att föra lasten, lossa den och för tomkörning (lastkörning/retur) åtgick 4–12 % av verktiden. Lossningen av lunnlast gick snabbt med hjälp av en banke som fälldes ut bakåt. Med bra planering kan kör- och returtiden förkortas. Nödvändiga hjälptider bl.a. för reparation och service av maskiner och arbetsredskap var klart mera vid användning av minilunnare än vid traditionell avverkning.

43. Produktivitet

Användningen av minilunnare minskade produktiviteten något på de undersökta skiftena, även om det egentliga avverkningsarbetet gick snabbare. Jämförelsen försvåras dock av skillnader i arbetsskiftenas täthet och i storleken på de fällda träden. Den upprepade bindningen av lasten i lunnbanken och andra tilläggsarbeten som är förknippade med användningen av lunnare tog mera tid än vad som sparades vid avverkning.

Även det faktum att de skogsarbetare som deltog i undersökningen hade en kortvarig erfarenhet av minilunnartekniken torde ha sänkt produktiviteten. Det här framgick vid avverkningen i form av onödigt långa transportsträckor. Det är uppenbart att minilunnarens fördelar framträder först då avståndet mellan körstråken är längre än normalt. Härvid drar man nytta av att släpvagnen har större lastutrymme än lunnbanken.

44. Terrängtransport

Med minilunnaren transporterades från griphögar på skiftet och från körstråken 33 laster. Den ringa laststorleken och den låga körhastigheten begränsade minilunnarens användning i terrängtransport. Det är tungt att utföra lastningen och lossningen manuellt. Lastningens och lossningens andel av verktiden var 45–50 % då körsträckan var 100 m.

Prestationen (m^3 /verktimme) sjönk från 1,4 till 0,9 då transportsträckan ökade från 50 m till 200 m. Laststorleken var i medeltal endast 0,4 m^3 . Produktiviteten förbättrades ungefär 20 % (vid 100 m körsträcka), då laststorleken fördub-

blades. Det lönar sig att använda släpvagn vid terrängtransporter. Den vid undersökningen använda lunningen kommer ifråga då virkesmängderna är små såsom t.ex. vid hopsamling av enstaka träd. Det förnuftigaste är att sammankoppla terrängtransporten med avverkningen, varvid det separata lastningskedet bortfaller.

5. Konklusioner

Som hjälpmedel vid avverkning lämpar sig minilunnaren tekniskt sett mycket bra i första-gällingar i lätt terräng året runt. Ojämnheter i terrängen och ythinder samt tjockt snötäcke försvårar betydligt förflyttningen av lunnaren. Vid terrängtransport borde körsträckan inte få överstiga 200 meter.

Minilunnaren förorsakar merkostnader vid avverkningen. Kapital- och räntekostnaderna beror närmast på maskinens årliga användningstid och avskrivningstiden. Tilläggskostnaden för detta är, uträknat enligt en årlig användning på 500–1000 timmar, 15–25 mk/h. En enskild skogsägare når vanligen inte upp till så här stora arbetsprestationer. Samägo, användning av hyrmaskin eller entreprenadverksamhet är vanligen de lönsammaste alternativen.

Jämförelsen av de direkta avverkningskostnaderna är dock endast en del av den ekonomiska granskningen. Genom att arbetet blir lättare, arbetsställningarna förbättras och variationen i arbetet ökar förbättras arbetsresultaten på lång sikt. Genom att körstråksnätet är gles eller helt saknas samt då stam- och rotskador på träden kan undvikas innebär detta direkta kostnadsinsparingar. De tillväxtförluster som drivningen förorsakar utgör nämligen en förlust för skogsägaren. Kostnader insparas också möjligen vid terrängtransporten, eftersom man med minilunnaren får större högar och större virkesutfall till körstråken än normalt.

Litteratur

- Ryynänen, S. & Mutikainen, A. 1988. Telajuonturit ja pyörämaasturit vuonna 1988. Miniskidders and ATV's in 1988. Työtehoseuran metsätiedote 444.
— 1990. Telajuonturi harvennushakkuussa. Minilunnare i förstagälling. TEHO 3.

Terränghjuling i skogen

Seppo Ryyänen

Sammandrag

Terränghjulingarna är i första hand avsedda som transportmedel i terräng. Eftersom de är fyrhjulsdrevna lämpar de sig också väl för virkes-transport. Terränghjulingarna har snabbt blivit vanligare också i Finland. Skogsavdelningen i TTS undersökte transport av förstagallringsvirke med terränghjuling både i sommar- och i vinterförhållanden.

Dragkraften hos den undersökta Honda TRX 350 var 0,90–3,10 kN och 2,10–3,50 kN ifall den förses med slirskydd. Med tilläggstyngder kan dragkraften något ökas. Den sammanlagda massan för släpvagnen och lasset får inte vara så stort att köregenskaperna för den relativt lätta terränghjulingen försämras för mycket.

Både som tom och som lastad var terränghjulingens körhastighet betydligt större än för en lantbrukstraktor. Vid transport av tremeters massaved i släpvagn var produktiviteten på en körsträcka av 100 meter ca 2,0 m³/effektimme. Lasstorleken var 0,53 m³. Vid lunning av tim-

mer blev produktiviteten något lägre p.g.a. att lasstorleken endast var 0,22 m³. En lunnkälke är nödvändig för att förhindra att släpet törnar mot terränghinder.

Huvudanvändningen av en terränghjuling är på annat håll än i skogsbruket. Användningsformerna också inom skogsbruket skulle öka med ett mekaniskt eller hydrauliskt kraftuttag.

1. Inledning

Terränghjuling är ett lätt terrängfordon, vanligen med fyra hjul, och kan användas året runt för såväl nytta som nöje. Den är tillverkad i första hand till ett fordon men lämpar sig som fyrhjulsdreven för många transportuppgifter inom jord- och skogsbruk. I slutet av år 1989 fanns det enligt uppgifter från importörerna ungefär 2500 terränghjulingar i Finland. I Finland fanns då fem olika märken med olika modeller till salu.

Skogsavdelningen i TTS provade en fyrhjuls-



Figur 1. Transport med en terränghjuling Honda 350 TRX.

driven 18 kW Honda TRX 350 (figur 1) som ett terrängfordon och i virkestransport under ett års tid. Under tidsstudien kördes 47 lass massaved från en förstagallring i en liten boggieförsedd släpvagn medan 25 släplass björktimmer kördes ut från en överständeravverkning.

2. Resultat

21. Köregenskaper

Frihöjden för en Honda TRX 350 är endast 16 cm. Trots detta skedde nästan inga fastkörningar i skogen. Men det är viktigt att planera körstråken och rutterna noga. Med en liten släpvagn kan man köra också inne på skiftena. Då lastas massaveden i samband med avverkningen direkt i en lång släpvagn och körs till avlägg.

I terränghjulingens dragkrok fästes en boggieförsedd släpvagn från en minilunnare. Lasstorleken hos denna var ca 0,5 m³ tremeters massaved. Dragkraften hos Hondan skulle möjliggöra ett betydligt större lass. I tabell 1 finns resultat från dragtest i olika förhållanden.

Dragkraften utgjorde inte minimifaktorn utan slirningen som berodde på det låga marktrycket hos lågprofildäcken. Med slirskydd och med tilläggstyngd fram och bak kunde slirningen minskas. Slirskydd var nödvändigt speciellt i sluttande terräng då man körde med lass. Ett snötäckte på mer än 30 cm gjorde att det tog betydligt längre tid att röra sig.

Tabell 1. Dragkraften (kN) hos Honda TRX 350 i olika förhållanden (förarens vikt 60 kg).

Försöksförhållanden	Utan tilläggsvikt	Med 50 kg tilläggsvikt
Torr asfalt	3,10	3,70
Isig väg, utan slirskydd	2,10	2,40
Isig väg, med slirskydd	2,30	2,60
Snöpackat körstråk, utan slirskydd	3,00	3,30
Snöpackat körstråk, med slirskydd	3,30	3,50
Snö (10 cm mjuk + 20 cm hård snö)		
utan slirskydd	3,10	4,00
med slirskydd	3,50	4,30
Snötrampad väg, med 15 graders motlut,		
utan slirskydd	0,90	1,10
med slirskydd	2,10	2,30

Tabell 2. Medelhastigheten för den fyrhjuldrivna Honda TRX 350 tom och lastade i jämn terräng. Lasstorleken på släpvagnen var 0,530 och vid lunning 0,220 m³.

Terrängtransport	Tom m / min	Lastad
Med släpvagn		
— snöfritt körstråk	57	50
— snöpackad körstråk	76	68
Lunning av timmer		
— snöpackad körstråk	138	82

Med terränghjuling körde man i jämn terräng med rätt hög hastighet både med och utan lass (tabell 2).

22. Produktivitet

Den tremeters långa barmmassaveden lastades manuellt i släpvagnen från griphögar vid körstråket. Produktiviteten för transportarbetet var i ett granbestånd 2,0 m³/effektimme vid en medelkörsträcka på 80 meter och i ett tallbestånd 1,6 m³/effektimme med en medelkörsträcka på 180 meter. Produktiviteten kan förbättras genom att något öka lasstorleken.

Vid lunning av timmer var produktiviteten 1,4 m³/verktimme vid en medelkörsträcka på 240 meter. Körhastigheten var betydligt större än då man körde med släpvagn. Produktiviteten sänktes dock av släplass på i medeltal endast 0,220 m³. Ifall dragvajern fästs ovanför bakaxeln minskar dragmotståndet men samtidigt minskar styrbarheten.

3. Tekniska förbättringar

Vid stora lasstorlekar krävs det tilläggstyngder på terränghjulingens främre pakethållare eller en styv dragbom på släpvagnen för att styrbarheten skall bibehållas. En ledförsedd dragbom skulle förhindra att släpvagnen ginar och att dragbommen törnar mot däck i kurvorna. Speciellt i sluttande terräng skulle säkerheten förbättras av att släpvagnen skulle förses med bromsar.

Hälften av den effektiva arbetstiden vid transport med släpvagn användes till lossning och lassning. De här är tunga då de utförs manuellt. Det är uppenbart att virkestransport måste ses endast som en kompletterande användningsform

för terränghjulingen. Därför är det inte lönsamt att mekanisera lastningen av små virkesmängder. Med en vinsch går det att underlätta lastningen av timmer.

4. Konklusioner

Terränghjulingen är avsedd som ett transportmedel i terräng. Med pakethållare kan man transportera t.ex. arbetsredskap och reservbränsle. Tungta lass höjer hjulingens tyngdpunkt och försvårar styrningen. För egentlig transport av gods behövs en släpvagn.

Det finns mycket få terränghjulingar som används enbart inom skogsbruket. De torde lämpa sig t.ex. för arbetsledningen i skogsvårdsföreningarna och inom industrins virkesanskaffningsenheter samt för skogsbruksplanerare. En lämp-

lig släpvagn samt ett hydrauliskt eller mekaniskt kraftuttag skulle öka användningsmöjligheterna inom skogsbruket. Virkestransport utsätter hjulingens konstruktion, bl.a. dragkroken och lågprofildäcken, för hårda påfrestningar.

I Finland får man inte köra på allmän väg med en terränghjuling. Det här motiverar myndigheterna med att fordonets konstruktion och egenskaper inte lämpar sig i trafiken. För att kunna registreras som traktor borde maximihastigheten fås ned drastiskt. För detta skulle det krävas att det görs vissa ändringar i växellådan. De här ändringarna är enbart positiva med tanke på användning i skogsbruk.

Litteratur

Ryynänen, S. 1988. Pyörämaasturi metsätöissä. Summary: ATVs in forestry use. TEHO 10.

Små avverkningsmaskiner i förstagallring

Matti Sirén

1. Inledning

Utvecklingen av engreppsskördare har varit snabb på 1980-talet. Maskinerna har blivit driftsäkra, ergonomin har förbättrats och kvantitetsmässigt kan man nå ett gott gallringsresultat. De går bra att använda i senare gallringar och slutavverkning, men i förstagallringar är kapitalkostnaden hög i relation till den förhållandevis låga produktiviteten.

I förstagallringar har man två sätt att minska kostnaderna. Man kan utveckla flertrådshalterande maskiner eller använda maskiner med lägre kapitalkostnad. Små avverkningsmaskiner med relativt låg investeringsnivå är ett sådant alternativ. De är mindre än två meter breda, väger 5–7 ton och kan arbeta "beståndsgående", mellan stickvägarna. Maskinerna kostar 600 000–800 000 FIM (Finska mark). I Sverige har Scherman (1988) funnit, att små avverkningsmaskiner är konkurrenskraftiga upp till 70 dm³ stamvolym i lätt terräng och i svår terräng ända till 40 dm³ stamvolym. Scherman förutsätter i dessa kalkyler att timkostnaden för små maskiner är högst 80% av de större skördarnas timkostnad. I detta projekt har man genom enskilda tidsstudier samlat data om små avverkningsmaskiner. Det finns resultat om engrepps- och tvågreppsskördare. En maskin studerades också som processor. I ett bestånd studerades underväxtens inverkan på maskinarbete genom att en del av beståndet röjdes manuellt.

För att noggrannare analysera engrepps- och tvågreppsskördarnas arbete utfördes en komparativ studie under jämförbara yttre förhållanden. I denna studie samlades också information om arbetsutrymmets inverkan och mängden av maskinrörelser i beståndet analyserades.

Resultaten möjliggör inte direkta jämförelser av olika maskiner eftersom tidsstudierna är utförda vid olika förhållanden och med olika förare. De studerade maskinerna var både tekniskt och organisatoriskt nya. Nästan alla entreprenörer i studien hade bara liten erfarenhet av mekaniserad avverkning. Detta kan ha inverkat på studieresultatet.

De första tidsstudierna gjordes på Telakarhu 2000 Multiworker utrustad med Pika 36 -processor med och utan Pika 37 -fällhuvud. Andra tvågreppsskördare i studien var Nokka Joker utrustad med Hakki 400 -processor och Nokka -fällhuvud. När de små engreppsskördarna hade marknadslanserats, fortsattes studien med Finntrac 4000 GS med två olika aggregat, Keto 51 och Tapio 250.

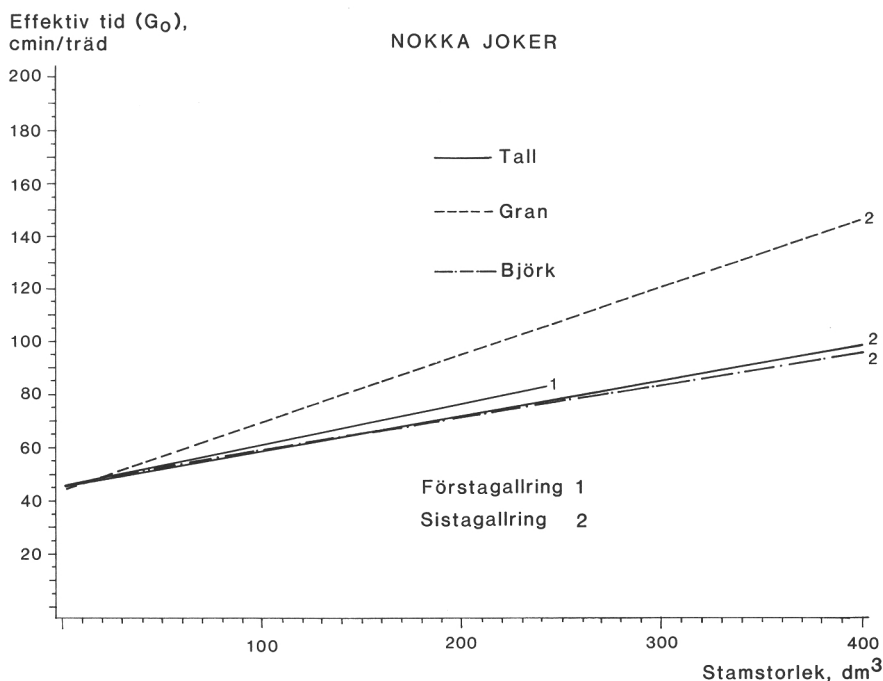
Det finns många små avverkningsmaskiner som inte studerats inom ramen för projektet. Farmi Trac 5000, FMG 0470 Lillebror och Terri studerades inte, främst eftersom de inte lanserades förrän studiens omfattning redan hade bestämts.

2. Prestation och tidsåtgång

Två Telakarhu-maskiner, en processor och en tvågreppsskördare studerades. Studiematerialet omfattade 5884 stammar, om totalt 502 m³, utfallande i både gallring och slutavverkning. Massaveden apterades i 3 m längder.

Tabell 1. Studieförhållanden och prestation med Nokka Joker -tvågreppsskördare.

	Förstagallring	Sistagallring
Areal, ha	1,28	1,80
Terrängklass	1	1
Stamantal/ha	1620	550
Uttag		
Stammar/ha	550	143
m ³ /ha	34,9	45,1
Stamantal efter gallring/ha	1070	407
Trädslagsfördelning, %		
Tall	89	83
Gran	6	15
Björk	5	2
Medelvolym av gallrade stammar, dm ³	63,5	314,3
Prestation (G ₀), m ³ /h	5,1	14,2



Figur 1. Stamstorleken inverkan på tidsåtgång med Nokka Joker -tvågreppsskördare.

Prestationen för Telakarhu-processorn varierade från 5,9 till 10,2 m³/G₀-timme. För att få information om relationen processor/skördare studerades en maskin i tallbestånd både som processor och skördare. Prestation (G₀) var med processorn 3,9 m³/timme och med skördaren 3,7 m³/timme. Tidsåtgången var i medeltal 51,9 cmin/träd för processorn och 56,4 cmin/träd för skördaren. Skördarsystemet hade lägst drivningskostnad.

Nokka Joker -tvågreppsskördare studerades i två bestånd. I förstagallring var det 40 cm snö, i sistagallring studerades maskinen under sommaren. Massavedens längd var 4–6 m. Studieförhållanden och prestation visas i tabell 1. Stamstorleken inverkan på tidsåtgång framgår av figur 1. Grundtidens (G₁₅) fördelning på olika moment visas i tabellen 2.

Viktigaste orsakerna till avbrott var driftstörning hos processoraggregat, fällhuvud och hydraulik.

Finntrac-engreppsskördare studerades med två aggregat, Tapio 250 och Keto 51. Maskinerna studerades på sommaren och hösten. Maskinerna apterade massaved i 3 m längder.

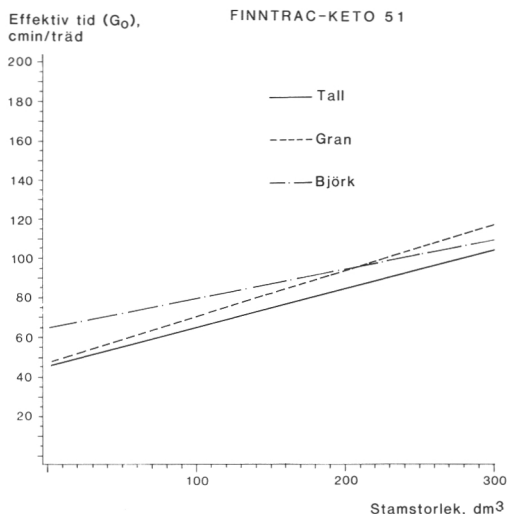
Finntrac-Tapio 250 studerades i tre gallringsbestånd och Finntrac-Keto 51 i två bestånd. I ett bestånd studerades underväxtens inverkan på prestationen för Finntrac-Tapio 250 genom att hälften av beståndet röjdes manuellt.

Tabell 2. Fördelning av grundtid (G₁₅) med Nokka Joker -tvågreppsskördare.

Arbetsmoment	Första-gallring % av arbetstiden	Sista-gallring % av arbetstiden
Förflyttning	14,4	17,2
Beredning	0,7	1,1
Fällhuvud till trädet (kran ut)	20,7	13,1
Positionering och fällning	10,7	9,2
Träd till processor (kran in)	16,3	12,8
Kvistning och kapning	18,0	30,3
Risplöckning	6,3	2,6
Sortering av virke	0,7	2,1
Avbrott	12,2	11,6
Totalt	100,0	100,0

Förhållanden och prestation visas i tabell 3. Stamstorleken betydelse för tidsåtgången med Finntrac-Keto 51 redovisas i figur 2. Arbetstidens fördelning på arbetsmoment framgår av tabell 4. De viktigaste orsakerna till avbrott var störning av fällsåg och hydraulik.

Underväxtens betydelse för prestationen studerades i bestånd med mycket underväxt. Beståndsförhållanden och prestation framgår av tabell 3.



Figur 2. Stamstorleken inverkan på tidsåtgång med Finntrac-Keto 51 -engreppsskördare.

Tabell 3. Studieförhållanden och prestation med Finntrac-Tapio 250 -engreppsskördare.

	Förstaga- gallring	Senare gallring	Förstaga Orörd	Rörd
Areal, ha	0,36	1,01	0,54	0,54
Terrängklass	1	1	1	1
Stamantal/ha	2100	1192	2024	1900
Uttag, stammar/ha	1197	655	624	600
m³/ha	39,2	51,1	18,3	20,5
Stamantal efter gallring/ha	840	387	1400	130
Trädslags- fördelning, %				
Tall	87	4	48	48
Gran	6	81	41	41
Björk	7	15	11	11
Stamstorlek, dm³	32,8	79,0	29,4	34,1
Prestation (G₀), m³/h	3,2	5,3	2,4	3,2

Tabell 4. Fördelning av grundtid (G₁₅) med Finntrac -engreppsskördare.

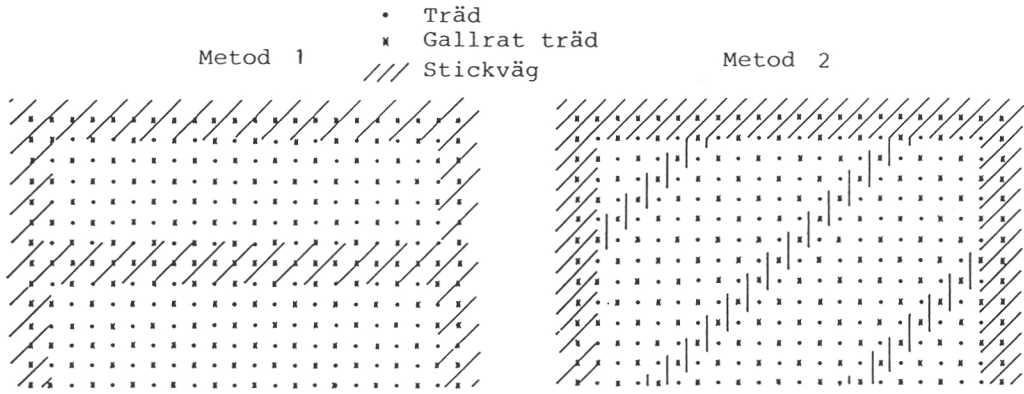
Arbetsmoment	Finnt- Keto 51	Finnt- Tapio 250
	% av arbetstid	
Förflyttning	16,4	11,7
Beredning	0,1	–
Kran ut	22,2	23,1
Positionering och fällning	11,3	11,4
Kvistning och kapning	34,2	43,1
Risplockning	3,1	–
Sortering av virke	0,2	–
Avbrott	12,5	10,7
Totalt	100,0	100,0

Huggaren röjde 1311 st 2–6 m långa träd på en areal av 0,54 ha. Tidsåtgången var 3,74 G₀-timme/ha och röjningskostnaden 175 FIM/ha. Med en maskinkostnad om 250 FIM/h blev maskinarbetet 225 FIM/ha dyrare på det oröjda området. Även om 50 FIM skillnad går lätt till organisatoriska kostnader, kan det under vissa förhållanden vara ekonomiskt att röja beståndet manuellt före mekaniserad avverkning. Manuell röjning förbättrar också skogsvårdens nivå.

3. Skador efter små avverkningsmaskiner

För att belysa gallringsresultatet inventerades 9 bestånd om totalt 11,5 ha. Några av dessa var tidsstudiebestånd. Tvågreppsskördare arbetade som kombinationsmaskiner, och de tog också hand om skotningen. I tvågreppsskördarnas bestånd är därför också skadorna på grund av skotning med.

De inventerade bestånden var övervägande tallbestånd där drivning utförts på sommaren. Skadeprocenten var i medeltal 5,1% med tvågreppsskördare och 5,0% med engreppsskördare. Skadeprocenten varierade inom intervallet 3,0–7,3.



Figur 3. Gallringsmetoder i Myllykoski.

Av skadorna var 86,7% stamskador, 7,7% rothallsskador och 5,6% rotskador. Av stamskadorna var 85% skavskador, där själva vedet inte skadats. Skadorna var huvudsakligen små, medelstorleken för stamskador var 37,6 cm² och över 90% av stamskadorna var mindre än 100 cm².

De skadade trädens avstånd till stickvägens mittlinje uppmättes. Rot- och rothallsskador var vanligast hos stickvägarnas kantträd medan stamskadade träd även fanns på längre avstånd från stickvägen. Över 30% av de stamskadade träden stod mer än 3 m från stickvägens mittlinje.

Nästan alla rotskador hade orsakats av band. Skördaraggregaten och träd under upparbetning hade orsakat de flesta stamskadorna. För smala stickvägar var ofta en bidragande orsak till skadorna.

Små maskiner har dålig konkurrenskraft i skotning. Oftast tar skotare med lång kran hand om skotningen efter små avverkningsmaskiner. Avståndet mellan stickvägarna för skotning är härvid 30 m. Mellan stickvägarna öppnar de små avverkningsmaskinerna två huggningsstråk.

I studiebestånden fanns i medeltal 781,4 m stickvägar/ha. Stickvägsbredden var 3,7 m och avståndet mellan stickvägarna var 13,2 m i medeltal. Detta innebär att teoretiskt så stor andel som 28,9% av beståndsarealen utgörs av stickvägar.

Dessa siffror bör emellertid tolkas med försiktighet. Stickvägsbredden är ett mycket svårdefinierat begrepp och i glesa bestånd blir kalkylerad stickvägsbredd lätt stor due de metoder som används vid mätningen. I inventeringsresultatet är även huggningsstråken med. På huggningsstråket går maskinen oftast bara en gång och den

visar stråket väl. Tillväxtförluster på grund av dessa stråk är sannolikt små.

Spårdjup efter de små avverkningsmaskinerna var i medeltal 1,9 cm. I sådana bestånd, där även skotningen utförts av små bandmaskiner, var spårdjupet 6,7 cm.

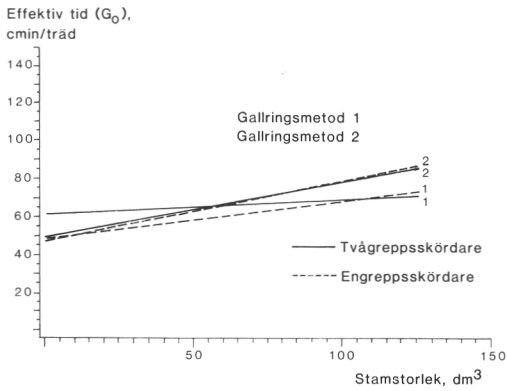
4. En jämförande studie av engrepps- och tvågreppsskördare

Det är svårt att jämföra maskiner och metoder på basis av enskilda tidsstudier. För jämförande studier behövs likartade förhållanden och detta är inte lätt att åstadkomma.

Myllykoski Pappersfabrik i Kymmenedalen planterade sina åkrar med gran på 1960-talet. Planteringen utfördes som ett förbandsförsök. Åkrarna var jämna och bördiga och nu växer där jämna granbestånd. De äldsta, 25-åriga bestånden, är nu i förstagallringsstadiet.

I rad planterade bestånd kan stämpling utföras systematiskt. Härvid erhålles likartade förhållanden för studier. På området studerades två olika arbetsprinciper för små avverkningsmaskiner, engreppsskördare och tvågreppsskördare. Finntrac 4000 GS med Keto 51 och Nokka Joker med Hakki 400 blev utvalda till studiemaskiner. Samma förare, som var med i de enstaka tidstudierna, var med i detta prov.

Man studerade två olika gallringsmetoder, där maskinernas arbetsutrymme och gallringsstyrka varierades. Stämplingen i dessa metoder visas i figur 3. Då man anlade stickvägar längs med planteringsraderna (metod 1), var stickvägsbredden 4,0 m. För metod 2, där stickvägarna löpte snett över trädraderna, var stickvägsbred-



Figur 4. Trädstorlekens inverkan på tidsåtgång i Myllykoski.

den 2,8 m. Beståndsdata framgår av tabell 5.

I samband med tidsstudien utfördes en noggrann analys av maskinarbetet genom att maskinrörelser i beståndet och inverkan av trädposition på arbetet studerades. Maskinens kontakter med kvarstående träd följdes upp och alla träd som vidrörts av maskinerna numrerades. Efter studien inventerades skadorna efter dessa kontakter.

Maskinerna arbetade väl i täta granbestånd. Granarna var kvistiga och kronan började nära markytan. Detta orsakade svårigheter vid fällning och i början av kvistningsmomentet. Tvågreppsskördare hade svårigheter vid kvistning vilket inverkade på prestation och mätning. Temperaturen vid studiens genomförande var nära 0°C, och detta inverkade på kvistningsarbetet. Prestation per effektiv timme (G_0) var följande:

	Tvågreppsskördare		Engreppsskördare	
	Metod 1	Metod 2	Metod 1	Metod 2
Genomsnittlig stamstorlek, dm ³	55,9	61,3	64,0	62,5
Genomsnittlig prestation, m ³ /h (G_0)	4,02	4,20	5,26	4,39
Genomsnittlig prestation, m ³ /h (G_{15})	3,72	4,18	4,71	3,94

Det finns klara skillnader i prestation mellan gallringsmetoder med engreppsskördare. Tvågreppsskördare kom bäst till sin rätt i metod 2 med mindre utrymme och lägre uttag. Den vikti-

Tabell 5. Beståndsdata i Myllykoski.

	Metod 1		Metod 2	
	Tvågreppsskördare	Engreppsskördare	Tvågreppsskördare	Engreppsskördare
Areal, ha	0,38	0,44	0,23	0,29
Stamantal/ha	2135	1958	2117	2056
Uttag, stammar/ha	1082	917	965	859
m ³ /ha	60,5	58,7	59,1	53,7
Stamantal efter gallring/ha	1053	1041	1152	1197
Medelvolym av gallrade stammar, dm ³	55,9	64,0	61,3	62,5
Stickvägsavstånd, m	12,5	14,8	14,9	14,9
Stickvägsbredd, m	4,05	3,80	2,80	2,80
Stickvägar, m/ha	834	681	675	675

gaste orsaken till detta är att kvistningsarbetet var lättare i metod 2. När maskinen arbetade med metod 2, var temperaturen låg och detta underlättade kvistningen. Maskinerna arbetade först med metod 1, vilket innebar att de var mer vana vid beståndsförhållandena då de övergick till metod 2.

Trädstorlekens inverkan på tidsåtgång visas i figur 4. Den effektiva tidsåtgången per träd var följande:

	Tidsåtgång, cmin/träd	
	Metod 1	Metod 2
Tvågreppsskördare	65,5	66,6
Engreppsskördare	60,5	67,5

Skillnaderna är små i fördelning av arbetstid mellan metoder. Risplöckning tog mera tid i metod 2, då maskinerna hade mindre arbetsutrymme. Den vanligaste orsaken till avbrott för tvågreppsskördare var hydraulikproblem. För engreppsskördare orsakade hydraulik och fällsåg de största problemen.

Maskinrörelser (flyttning, kranrörelser vid huggning och sortering av virke och ris) per upparbetat träd, arbetspost och upparbetad m³ var följande:

	Tvågreppsskördare		Engreppsskördare	
	Metod		Metod	
	1	2	1	2
m/träd	9,7	11,3	9,2	10,8
m/arbetspost	19,4	25,4	19,9	17,5
m/m ³	175,0	184,0	144,3	174,9

Mängden maskinrörelser är större för tvågreppsskördare. Den kan inte välja upparbeitungsplats som en engreppsskördare kan. Skillnaden i mängden rörelser skulle ha varit större om engreppsskördaren hade använt en annan arbetsmetodik. Nu upparbetades trädet nästan alltid över stickvägen för att få ris i stråket.

Den största inverkan av metod på tidsåtgången uppstod vid upparbetning av stickvägsträd. Upparbetning av stickvägsträd går snabbare, när man har mera utrymme för bearbetning.

Kontakter och skador efter kontakter inventerades. Förarna hade uppmanats att vara försiktiga, vilket märks på ett gott gallringsresultat. Kontakterna på kvarstående träd och skadorna efter dessa framgår av följande:

	Tvågreppsskördare		Engreppsskördare	
	Metod		Metod	
	1	2	1	2
Antal kontakter	36	29	1	8
Antal skador	27	9	–	5
Skadefrekvens, %	4,2	3,4	–	1,4

Endast stam- och rothalsskador är med i dessa siffror. Största delen av skadorna orsakades av kranen eller av träd under upparbetning.

Mätnoggrannhet för engreppsskördaren var god. Maskinerna gjorde 3 m massaved och bitlängden var i medeltal 2,99 m. Tvågreppsskördaren hade svårigheter i kvistning och därför var mätnoggrannheten låg. Bitarnas medellängd var 2,76 m för tvågreppsskördaren.

Engreppsskördarens kvistningskvalitet var mycket högre än tvågreppsskördarens. Högarna var bra efter engreppsskördaren. Tvågreppsskördarens processoraggregat sitter ganska högt över marken och bitarna sprids, när de faller ned, särskilt då snödjupet är ringa.

5. Diskussion

De små avverkningsmaskinernas prestation beror mycket på beståndsförhållandena. Eftersom kranens maximala räckvidd är 7 m, måste maskinen köra mycket och i svår terräng minskar prestationen. Det finns ingen anledning att använda manuell fällning vid avverkning med små maskiner. För samma förhållanden och förare var prestationen nästan lika hög för tvågreppsskördare och -processor.

I klena bestånd med mycket röjstammar kan det vara ekonomiskt att röja beståndet manuellt före avverkning. Röjstammarna påverkar kanske små avverkningsmaskiner mera än större. Orsaken till detta är att man har sämre sikt från små maskiner.

Det biologiska gallringsresultatet för små avverkningsmaskiner var nöjaktigt. Skadeprocenten var i medeltal 5. Mer än 90% av stamskadorna var under 100 cm² i storlek och nästan 85% var skavskador. Stickvägsandelen i de inventerade bestånden — 28,9% av arealen — är mycket hög. I siffran för stickvägsareal ingår också huggningsstråken. En bra förare kan troligen öppna huggningsstråk utan allvarliga förluster.

I en jämförande studie av en- och tvågreppsskördare var engreppsskördaren överlägsen. Engreppsskördaren kan smidigt välja sin upparbeitungsplats. Detta höjer prestation och minskar skaderisken. När maskinerna har mindre arbetsutrymme, blir arbetet svårare.

Det ekonomiska resultatet av de studerade avverkningarna var inte alltid godtagbart. En orsak till detta är att förare, planeringspersonal och maskintillverkare ännu inte fått vana vid små avverkningsmaskiner. Det uppkom en högre andel avbrott än för större maskiner. Små avverkningsmaskiner kan i alla fall inte avfärdas som ett alternativ för förstagallringar. Framtiden för dessa maskiner beror mycket på inköpskostnaden. Kapitalkostnaderna får inte bli för höga, om man vill konkurrera med de större maskinerna.

Litteratur

- Scherman, S. 1988. Nya lösningar i gallringar. Rationaliseringskonferens 1988. Skogsarbeten. Redogörelse 3: 64–68.
- Sirén, M. 1990. Pienet hakkuukoneet varhaisissa harvenushakkuissa. NSR-tutkimus. Summary: Small multi-function machines in early thinning operations. A joint Nordic NSR-study. Folia Forestalia 743. 29 s.

Rullbocken i skogen

Seppo Ryytänen och Maija Castrén

1. Sammandrag

Skogsavdelningen i TTS har undersökt användningen av en flyttbar gallringsbock (figur 1) vid förstagallring av gran och tall. Arbetsmoment i avverkningen, produktivitet samt huggarens arbetsställning och belastning undersöktes. I arbetsstudierna deltog tre och i den ergonomiska undersökningen en huggare som alla hade kortvarig erfarenhet av rullbocken. Som arbetsmetod användes avverkning till körstråk. Körstråksavståndet var 25–35 meter.

Den ergonomiska undersökningen gjordes vid gallring av gran med OWAS-arbetsställningsanalys, puls- och blodtrycksmätningar samt med mätning av muskelspänningen (EMG). I undersökningen utvecklades en ny metod för att samtidigt följa med arbetsställningen och muskelspänningen.

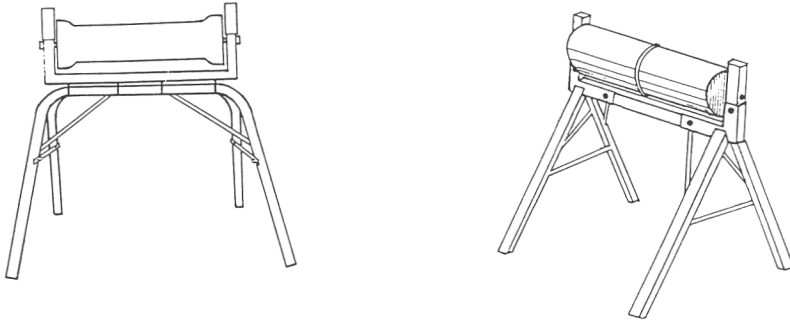
Gallringsbocken inverkar inte nämnvärt på avverkningsarbetets innehåll. Arbetet planerades och de träd som gallrades bort valdes huvudsakligen i samband med att bocken flyttades. Arbete med rullbocken verkade inte kräva mera planering än utan bocke. Planeringen är emellertid en krävande uppgift då huggaren försöker få möjligast stor nytta av gallringsbocken.

Produktiviteten (m^3 /verktimme) minskade för de undersökta huggarna vid användning av gallringsbocken i gran- och i tallbestånd med 10–25 % beroende på trädens grovlek. Orsaken till det här torde ha varit huggarens ringa erfarenhet av bocken. Avverkning av björkar med en diameter över 9 cm gick något snabbare med än utan rullbock.

Rullbocken bättrade på huggarens arbetsställning. Man fick trädet på en höjd som gjorde att huggaren inte måste kvista och kapa djupt ned-



Figur 1. Huggaren i arbete med rullbocken (Foto: Arto Mutikainen).



Figur 2. De rullbocker som säljs i Finland. Till vänster stålbock m. Berggren (11 kg) och till höger aluminiumbock m. Teittinen (6 kg).

böjd. Också brossling av virke blev lättare eftersom man inte alls behövde bära bitarna utan i stället flyttade hela stammen med hjälp av bocken. Det att arbetet blev lättare inverkade mest på de stödjande och rörliga organen i form av bättre arbetsställning, eftersom gallringsboken inte nämnvärt gjorde belastningen på hjärt- och blodcirkulationsorganen mindre.

2. Bakgrund och avsikt

Med hjälp av gallringsboken försöker man förbättra arbetshöjden vid kvistning samt minska belastningstopparna vid förflyttning och brossling av virke. Rullboken gör att man kan få en kvistningshöjd som möjliggör att man kan hålla ryggen rak och använda en säker kvistningsteknik. Det ständiga lyftandet och flyttandet förändras delvis till helt motsatta arbetsrörelser med andra ord till att trycka mot rullen och till dragrörelser. I Finland fanns i slutet av år 1989 ungefär 400 rullbocker i användning. Hälften av dessa hade stålbock modell Berggren och hälften aluminiumbock modell Teittinen (figur 2).

Avsikten med undersökning var att utreda hur gallringsrullen inverkar på arbetet vid avverkning av tre meters virke invid körstråket och i olika förstagallringsbestånd. De faktorer som undersöktes var arbetsmoment vid avverkningsgen, produktiviteten och ergonomin.

3. Forskningsmetod och -material

3.1. Tidsstudien

Materialet för tidsstudierna insamlades i tre förstagallringsbestånd; i ett av tall och i två av gran. Ett av granbestånden innehöll också rikligt med björk. Arbetet utfördes av tre unga skogshugga-

re vilka innan undersökningen började hade några veckors erfarenhet av att arbeta med gallringsboken.

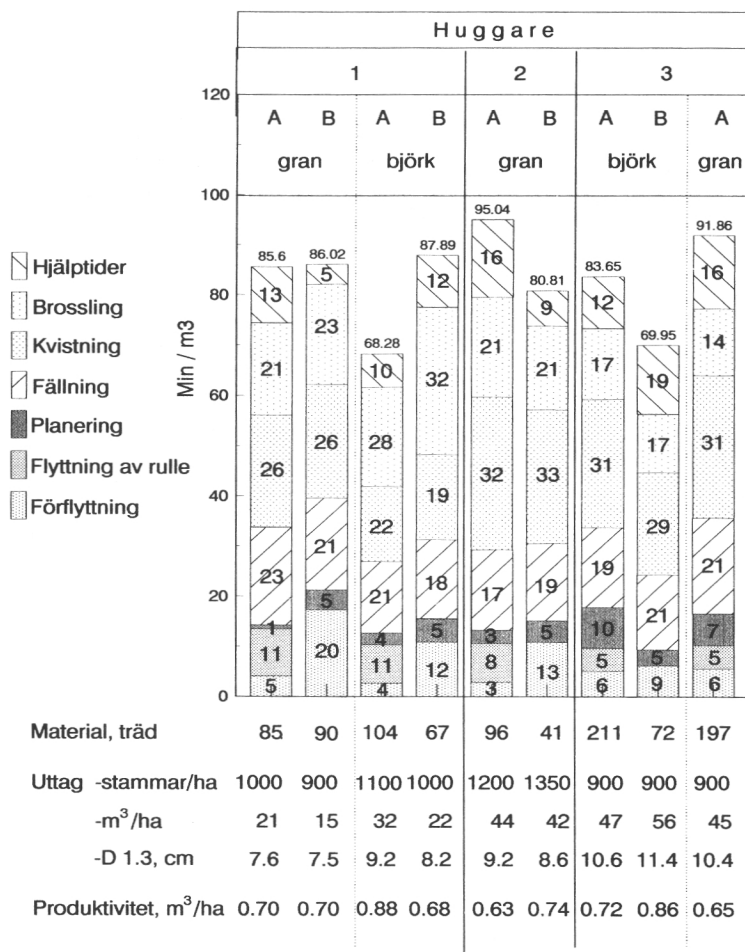
Huggarna valde själva vilka träd som skulle gallras bort. Tätheten för det kvarstående beståndet varierade på de olika skiften mellan 1100 och 1400 stammar per hektar. Före gallringen märktes körstråken ut med 25–35 meters mellanrum. Körstråkens bredd var 3–4 meter. Arbetet utfördes så att man högg 3 meters massaved i griphögar invid körstråket.

Avverkningarna utfördes under hösten och under förvintern med lite snö. De skiften där man för jämförelsens skull avverkade utan rullboken valdes så att de skulle vara möjligast lika de skiften där boken användes. De träd som avverkades på dessa var dock, förutom i tallbeståndet, i medeltal litet mindre. Vid undersökningen användes stålbock modell Berggren.

Arbetstiden delades in i förberedelser, planering, förflyttning, förflyttning av boken, fällning, kvistning, brossling, hjälptider och avbrott. På de träd som fälldes registrerades trädslag och mättes diametern med 2 cm:s klassindelningar och längden med en decimeters noggrannhet. Data samlades in med Rautaruukki Oy:s KTP-84 terrängdator. Insamlingen baserade sig på en blankett som kodats in i maskinens minne. Från terrängdatorn överfördes materialet direkt på en mikrodator i vilken materialet behandlades, räknades och analyserades med ett statistiskmatematiskt program. Studiematerial och fördelning av arbetstid visas i figur 3.

3.2. Den ergonomiska undersökningen

Den ergonomiska delstudien gjordes med en 23-årig huggare i en förstagallring i ett granbestånd under vintern. Terrängen var jämn och snötäcket 20–30 cm tjockt. Trädens storlek var



Figur 3. Den effektiva arbetstiden och dess struktur beståndsvis och huggarvis. Avverkning med (A) och utan (B) gallringsbock.

50–100 dm³. Massaveden drogs ihop till körstråken som var på 30 meters avstånd från varandra. Huggaren övade sig använda rullbocken en vecka innan undersökningen. Under sex dagar arbetade han tre timmar åt gången, hälften av tiden med och hälften utan rullbocken. Arbetet videofilmades dagligen 1–2 timmar.

Huggarens puls och blodtryck mättes med två minuters intervaller med hjälp av en Oxford Accutracker™-mätanordning. Från arbetet med bocken gjordes 74 noteringar och från normal avverkning 81.

Muskelspänningen uppmättes med en sekunds intervaller från de stora musklerna i ryggen (m. latissimus dorsi) på höjden av den tredje ländkotan. Som mätapparat användes en ME-3000 (Mega Elektroniikka Oy).

Värdena för muskelspänningen registrerades på videobilden med hjälp av ett tilläggskort till

datorn (VGO-AT/PAL, Matrox) (figur 4). Från det här bandet gjordes en analys av arbetsställningen med OWAS-metoden med 15 sekunders intervaller. Från arbetet med rullbock gjordes 1028 registreringar och från arbetet utan bock 1086.

4. Resultat

4.1. Arbetsmoment vid avverkning

Den effektiva avverkningstidens fördelning i arbetsmoment framställs i figur 3 uppdelad på olika huggare och arbetsmetoder. Till arbetsmoment hör också de förberedande tider som hänförs till respektive moment. Till exempel för fällningstid ingår eventuell röjning runt stam-



Figur 4. Med ett tilläggskort i datorn kan man på videobilden banda muskelspänningens storlek, som i televisionsbilden invid syns som en stapel skilt mätta för den vänstra och den högra ryggmuskeln. De nedre smala stolparna visar muskelspänningen under ca 10 sekunders tid. För att kunna analysera muskelspänningarna och arbetsställningarna samtidigt gjordes ett dataprogram (Foto: Nurmi-Foto).

men och kvistning av de nedersta grenarna.

Det var endast små skillnader mellan metoderna då man trädslagsvis och huggarvis jämför den effektiva arbetstidens fördelning i fällning, kvistning och kapning.

Till att förflytta rullbocken och till planering i samband med det här åtgick 5–10 % av den effektiva tiden. Den här tiden var minst i odlade och störst i naturligt uppkomna bestånd.

Den bästa bilden av totalbehovet av planering ger en jämförelse av summorna av andelarna för de arbetsmoment i vilka ingår planering, m.a.o. huggarens förflyttning, förflyttning av rullbocken och egentlig planering. De här summorna var vid avverkning med gallringsbock i naturligt uppkomna granbestånd 14 och 19 % (utan bock 17 och 25 %) och i de odlade tallbeståndet 21 % (utan bock 14 %) av verktiden.

42. Fällning

Att fälla granarna på bocken tog längre tid än vanlig riktad fällning (tabell 1). Att fälla små tallar, mindre än 11 cm vid brösthöjd, på bocken gick lika snabbt eller något snabbare. Att fälla över 13 cm stora tallar tog däremot betydligt längre tid. För att fälla björkar på bocken åtgick lika mycket eller lite mindre tid än vid ordinär avverkning.

Tabell 1. De proportionella fällnings-, kvistnings-, och brosslingstidernas beroende av huggare, trädslag och diameterklass vid användning av rullbock, då tidsåtgången utan bock får värdet 100.

Huggare/ trädslag/ arbetsmoment	Brösthöjdsdiameter, cm				
	7	9	11	13	
1/gran	fällning	125	133	137	141
	kvistning	110	121	126	129
	brossling	110	142	160	172
1/björk	fällning	110	98	93	90
	kvistning	105	93	88	85
	brossling	63	73	78	81
2/gran	fällning	174	122	105	97
	kvistning	198	133	117	110
	brossling	93	100	105	109
3/tall	fällning	77	91	99	105
	kvistning	148	128	125	123
	brossling	77	102	114	121

43. Kvistning

Ett överraskande resultat var att gallringsbocken gjorde kvistningsarbetet långsammare (tabell 1). Skillnaden minskade vid större diameter för två av huggarna men ökade vid kvistning av gran för en av huggarna. De minsta granarna av mas-savedsdimension och de planterade tallarna blev ofta på grund av sin kvistighet på rätt kvistningshöjd också utan bocken. Träd större än 13 cm fälldes ofta bredvid bocken och lyftes upp på rullen först efter att den nedersta biten kvistats och kapats.

44. Blossling

Skillnaderna i arbetsmetoder försvårade en jämförelse av blosslingen. Vid vanlig huggning drogs ofta bitarna från flera stammar ihop på en gång. Dessutom kapades stammen ofta redan i samband med kvistningen. Då man använde rullbocken kvistades och drogs ett träd ihop åt gången. Dessutom kapades ofta i samband med att virket travades. Vid arbetet med gallringsbock verkade blosslingstiden öka kraftigare med ökad träddimension än vid avverkning utan bock.

45. Produktivitet

I tabell 2 har produktivitetvärden för avverkning med gallringsbock uträknats beståndsvis med beaktande också av de träd som fällts utan rullbock. Då bocken används har man kvistat och dragit ihop bara de träd för vilka man inte kunnat utnyttja terrängen eller virkestravar vid fällningen för att få en lämplig kvistningshöjd.

Tabell 2. Den proportionella produktiviteten för avverkningsarbetet i förstagallring beroende på huggare, trädslag och diameterklass på de skiften där gallringsbock användes, då produktiviteten ($m^3/verktimme$) vid avverkning utan bock är 100.

Huggare/ trädsdrag	7	Brösthöjdsdiameter, cm			
		9	11	13	15
1/gran	91	83	79	77	—
1/björk	92	100	106	111	—
2/gran	76	81	83	85	86
3/tall	92	90	89	88	88

På de skiften där gallringsbocken användes högg huggarna 10–33 % av träden utan bock. Det kunde man ha gjort ännu oftare.

Med rullbock blev produktiviteten i granbestånden 9–24 % och i tallbeståndet 8–12 % mindre än vid normal avverkning. I björkbeståndet var skillnaden i produktivitet vid stammar över 11 cm 6–11 % större vid avverkning med hjälp av bock.

46. Ergonomi

Vid avverkning med gallringsbock var ryggen rak under en större del av tiden än vid avverkning utan bock. Bland de tio vanligaste arbetsställningarna fanns inte en kombination av böjd och vriden rygg vilken belastar ryggen mycket. Då ryggen är rak utsätts inte ryggradens kotbroskmellanskivor eller bindsenor för extra belastning. Arbetsställningen är stadig och muskelbelastningen är också liten.

Vid kvistning och kappning på rullbocken var det vanligare att huggare hade rak rygg än vid arbete utan rulle. Vid blossling förekom dock nedböjda ställningar mera i arbete med bocken än utan, medan tidsåtgången för det här arbetsmoment var ungefär hälften av tidsåtgången vid normalt avverkningsarbete.

Muskelspänningen ökade då ryggens ställning försämrades från rak till böjd, vriden eller till en kombination av dessa. Så skedde vid båda avverkningsmetoderna. Skillnaderna mellan ryggens högra och vänstra sida var mindre vid avverkning med gallringsbock. Det verkar som om bocken jämnar ut ryggens belastning (tabeller 3 och 4).

Värdena för puls- och blodtryck samt produkten av puls och blodtryck ($puls \times blodtryck / 100$) var för försökspersonerna något lägre vid arbete med rullbock. Skillnaderna var dock inte statistiskt signifikanta. Vid båda arbetsmetoderna var pulsen i medeltal över 140/min.

5. Konklusioner

Arbete med rullbocke är långsamt till en början eftersom planeringen är krävande. Arbetsplaneringen hänger vanligen ihop med flyttningen av bocken. Trots huggarnas ringa erfarenhet blev produktivitetsskillnaderna rätt små mellan arbete utan och med bock. En delorsak till den sänkta produktiviteten torde vara att arbetet utfördes

Tabell 3. Muskelspänningens storlek, $\bar{x} \pm 95\%$:s konfidensintervall, KI (n), i den stora ryggmuskeln från den vänstra och högra sidan vid arbete utan gallringsrulle. Ryggens OWAS-värden (1 = rak, 2 = böjd, 3 = vriden och 4 = böjd och vriden) uppdelad i klasser enligt kraftanvändning. Observationernas antal 1086. Den statistiska signifikansen är uträknad mellan motsvarande värden för den vänstra och högra delen.

OWAS-värde	Muskelspänning, μV									
	Vänster					Höger				
	≤ 10 kp	p	$\geq 10 \leq 20$ kp	p	> 20 kp	p	≤ 10 kp	$\geq 10 \leq 20$ kp	> 20 kp	
1	40 \pm 3 (440)	0,001	49 \pm 8 (51)	NS	36 \pm 8 (40)	NS	49 \pm 3 (440)	57 \pm 9 (51)	46 \pm 9 (40)	
2	54 \pm 3 (419)	0,001	54 \pm 7 (57)	NS	71 \pm 12 (22)	NS	66 \pm 3 (419)	62 \pm 8 (57)	68 \pm 11 (22)	
3	81 \pm 35 (11)	NS	70 \pm 3 (2)	0,01	59 (1)	–	104 \pm 40 (11)	51 \pm 4 (2)	109 (1)	
4	96 \pm 13 (37)	NS	73 \pm 29 (4)	NS	85 \pm 25 (2)	NS	114 \pm 15 (37)	66 \pm 12 (4)	63 \pm 26 (2)	

Tabell 4. Muskelspänningens storlek, $\bar{x} \pm$ KI (n), i den stora ryggmuskeln från den vänstra och den högra sidan vid arbete med gallringsrulle. Tabellen baserar sig på 1028 stycken mätvärden. Övriga uppgifter som i tabell 3.

OWAS-värde	Muskelspänning, μV									
	Vänster					Höger				
	≤ 10 kp	p	$\geq 10 \leq 20$ kp	p	> 20 kp	p	≤ 10 kp	$\geq 10 \leq 20$ kp	> 20 kp	
1	55 \pm 3 (521)	NS	57 \pm 10 (58)	NS	52 \pm 13 (22)	NS	55 \pm 3 (521)	60 \pm 10 (58)	43 \pm 13 (22)	
2	72 \pm 4 (273)	0,05	80 \pm 7 (65)	NS	82 \pm 16 (23)	NS	80 \pm 5 (273)	82 \pm 13 (65)	84 \pm 28 (23)	
3	87 \pm 10 (31)	NS	63 \pm 14 (7)	NS	103 \pm 42 (3)	NS	91 \pm 24 (31)	65 \pm 23 (7)	87 \pm 33 (3)	
4	91 \pm 12 (20)	NS	109 \pm 41 (3)	NS	162 \pm 118 (2)	NS	132 \pm 52 (20)	79 \pm 16 (3)	146 \pm 13 (2)	

litet schematiskt genom att gallringsbocken användes onödigt. Vid avverkning av de allra minsta massavedsträden är bocken ofta onödig.

De som använt gallringsbocken länge säger att största nyttan av den har en huggare som är motiverad och van att använda bocken. På längre sikt torde den förbättra produktiviteten genom att arbetet blir lättare, arbetsförmågan hålls och genom att sjukdagarna blir färre. Det här borde undersökas med fortsatta uppföljningsundersökningar.

Resultaten från den ergonomiska undersökningen baserar sig på ett litet material. Arbetsställningarna samt puls- och blodtrycksvärdena kan bli ännu fördelaktigare för rullbocken då huggaren bättre lär sig arbetstekniken med den. Speciellt personer med ryggsbesvär borde börja använda gallringsbocken. Den hjälper speciellt den självverksamma skogsägaren som måste trava massaveden vid körstråken.

Litteratur

- Castrén, M. 1989. Rullapukin vaikutus verenkiertoelimistön kuormittumiseen. Summary: The influence of the roller felling bench on the circulatory system load. Teho 3.
- Ryynänen, S. 1989. Rullapukki harvennushakkuussa. Summary: Roller bench as an aid in thinnings. Teho 3.
- & Castrén, M. 1989. Rullapukki ensiharvennuksessa. Summary: Roller felling bench in first thinning. Työteho-seuran metsätiedote 456.
- & Castrén, M. 1989. Rullapukki harvennushakkuun apuvälineenä. Summary: The roller felling bench as an aid in thinnings. Työteho-seuran julkaisuja 311.

Del III

Värdering av gallringssystem

Värdering av gallringsskador

Matti Sirén

1. Inledning

Vid mekanisering av gallringar har det blivit ett stort intresse för gallringskvaliteten. Med inventeringar och i samband med maskin- och metodprov har man samlat information om gallringsskador. Också inverkan av olika slags skador har studerats. Vi har information om tillväxtförluster på grund av trädkador, mark- och rotskador, gallringsmönster och uttagen näringsämnen. Kvalitetsförluster genom stam- och rotskador har också studerats samt sekundära förluster genom storm- och insektskador.

Trots att vi har mycket information om skador, har man ganska litet försökt värdera skadorna i ekonomiska termer. Vilka studieresultater kunde vara mest relevanta för värdering av skador? Hur ser skadorna ut i skogsägarens och i industrins synvinkel? Vilka saker har inverkan, när man kalkylerar de ekonomiska förlusterna av skador? Dessa frågor diskuteras i detta papper.

2. Grundinformation för värdering av gallringsförluster

För att efter inventeringsresultaten kunna räkna förluster, borde man vid mätning av skador veta, vilka faktorer som bäst korrelerar med skadeeffekter. I de nordiska länderna finns många studier, som kunde användas som basinformation, om man t. ex. skall bedöma rötans utveckling, inverkan av stickvägar och andra faktorer. Här visas några studieresultat, som kunde ligga som grund för kalkylering av skade-effekter.

2.1. Tillväxtförluster

Tillväxtförluster efter trädkador har studerats av Andersson (1984) med tall och Isomäki & Kallio (1974) med gran. Tillväxtförluster hos gran är lite större än hos tall. Skadeareal, djup och andel av trädets omkrets har största inver-

kan på skade-effekterna.

Mark- och rotskadornas inverkan på tillväxt kan granskas enligt Froehlichs (1976) idé. Skade-effekterna kan räknas, när man vet, hur stor del av kanträdens rotsystem har skadats. Kalkylering görs efter Wästerlund (1983) i två steg. Först beräknas andelen träd som får någon del av sin rotutbredning skadad och därefter beräknas den genomsnittliga tillväxtförlusten för dessa skadade träd. Andelen rotskadade träd kan beräknas, om vi känner trädens rotutbredning, stickvägsavståndet, trädens fördelning, och om vi har information om spårbildning på beståndet.

Wästerlund (1986) har visat en formel för genomsnittlig rotutbredning. När man känner trädets ålder, är den genomsnittliga rotutbredningen följande:

$$U = 0,21 \times A^{0,73}$$

U = genomsnittlig rotutbredning, m

A = trädets ålder, år

Med inventeringar har vi samlat information, hur kvarstående träd är fördelade efter gallringar. När man känner stickvägsbredden, avståndet mellan stickvägar och spårbildningen, kan man räkna ut, hur mycket träd är påverkade av mark- och rotskador.

Wästerlund (1983) har visat, hur stor tillväxtförlusten är för skadade träd med över 10 cm djupa spår. Så djupa spår är dock ganska sällsynta. För mindre spår kan man räkna med lägre tillväxtförluster. När förluster av påverkade träd summeras, har man en bild av den totala tillväxtförlusten.

Gallringsmönstret beskriver gallringsuttagets fördelning i beståndet och hur stor del av den gallrade arealen totalt upptas av stickvägar. Gallringsmönstret har flera effekter på virkesproduktionen. De viktigaste skade-effekterna av gallringsmönstret är arealeffekter och urvalseffekter.

Trots att stickvägarna nuförtiden placeras så, att man försöker spara de bästa träden, måste

man avvika från optimalt trädval. Areal-effekten kan förklaras så, att en viss areal under en viss tid inte kan producera virke. Stickvägens kantträd, om de inte är skadade, kan delvis kompensera arealeffekten. Enligt Isomäki (1986) kan kanteffekten aldrig totalt kompensera arealförlusterna.

Niemistö (1987) har studerat förluster orsakade av stickvägar med praktiska prov och simulering. Studieresultater är från granbestånd, men resultaten är nästan samma med tall på medelbonitet. Enligt Niemistö (1987) har stickvägar-na riktats så, att man förlorar ganska litet sådana träd, som borde stå kvar efter gallringen. Enligt undersökningen hade 4,4 % av sådana träd förlorats vid gallring.

Trots att stickvägens kanträd med ökad tillväxt kompenserar förluster, orsakar stickvägsarealen förluster. Enligt Niemistö (1987) kan stickvägarnas tillväxtförlust uträknas med följande formel:

$$VL = 100 \times (OW - \sqrt{10\,000/N} / SI)$$

där

VL = Tillväxtförlust, % av tillväxt

OW = Stickvägens utbredd, m

N = Stamantal

SI = Avstånd mellan stickvägar, m

Stickvägens utbredd är arealen mellan kanträd dividerad med längden av stickväg. Stickvägsbredden av inventeringsresultater är ca. 85 % av stickvägens utbredd.

När man använder gallringsmetoder, där trädets grenar och barr tas bort från skogen, kan näringsämnesförluster åstadkomma tillväxtförluster. I mekaniserad gallring är grenar och toppar ofta i högar, och även då kan det bli tillväxtförluster.

Näringsproblematiken är viktig, då skogens näringsbehov i finska förhållanden är som störst vid 30–50 års ålder. Då kan även en liten näringsförlust ha inverkan på tillväxten (Kukkola & Mälkönen 1987).

Olsson (1984) har samlat information om tillväxtnedläggning vid fullständigt uttag av grenar, toppar och barr. Tabell 1 (Olsson 1984) är baserat på Anderssons (1983) och Lundmarks (1983) studier.

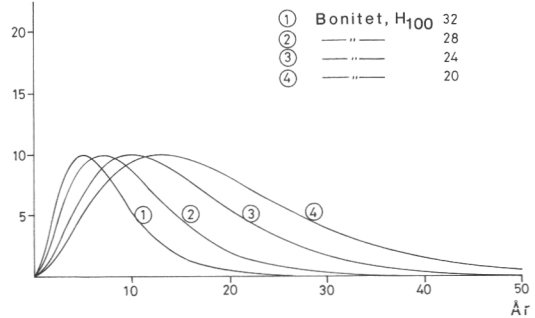
Siffrorna stämmer i situationen, där hela biomassan av gallrade träd tas bort, men detta är mycket sällsynt. När man vet, hur stor del av biomassan som tas bort i olika metoder, kan man estimerar tillväxtförlusten.

Det finns inte noggrann information om tillväxteffekternas varaktighet. Niemistö (1987)

Tabell 1. Tillväxtnedläggning vid fullständigt uttag av grenar, toppar och barr från gallring (Olsson 1984).

År efter gallring	Tillväxtnedläggning i % av löpande tillväxt			
	0–10	10–20	20–30	30–40
Tall, mager mark	-10	-8	-5	-2
Tall, medelmark	-10	-5	-2	0
Gran, mager mark	-10	-5	-2	0
Gran, god mark	-10	-2	0	0

Tillväxtnedläggning, % av löpande tillväxt



Figur 1. Utveckling av tillväxtförluster på olika boniteter (Olsson 1984).

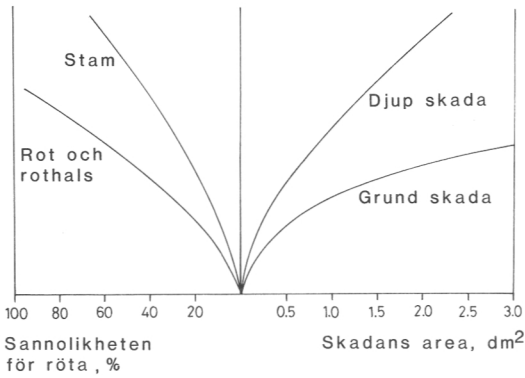
formel ger tillväxtförlusten för 10 års period, och därefter skulle det inte vara några förluster. Olsson (1984) antar, att tillväxtförluster följer skogens gallringsreaktion. Då på goda boniteter skulle tillväxtförluster kulminera snabbare än på dåligare boniteter. Utvecklingen av tillväxtförluster visas i figur 1 (Olsson 1984). Figuren baserar på gallringsreaktionsfunktioner.

22. Kvalitetsförluster

Kvalitetsförluster förorsakas av trädskador. Olika träslag reagerar olika på skadorna. Gran och björk drabbas lätt av röta, medan hos tallen orsakas de största förlusterna av lyror.

Både rot- och stamskador kan orsaka röta. Enligt Nilsson och Hyppel (1968) orsakade bara 5 % av rotskadorna längre borta än 1 m från stammen röta. Isomäki och Kallio (1974) studerade skadepåverkan på rötans utveckling. De viktigaste faktorerna var skadans area, bredd och djup. Skadorna under sommartiden var farligaste.

Olsson (1984) har sammanfattat resultaten av



Figur 2. Sannolikheten för röta med gran (Olsson 1984).

olika forskare, och visar i figur 2 sannolikheten för röta efter rot- och rothals- samt stamskador på gran. Denna figur kan användas, när man räknar förluster av rötan efter olika slags skador.

Isomäki & Kallio (1974) har studerat tillväxthastigheten för röta. De har också resultatet om tillväxthastighetens förändring under tiden.

Tallen får inte röta efter skadan, men ekonomiska förluster förorsakas av lyror, som minskar det ekonomiska resultatet av sågning. Nordberg (1987) visar i sitt papper en teoretisk modell för bedömning av dessa förluster.

23. Sekundära skador vid gallring

Gallringens utförande påverkar sannolikheten för att sekundära skador skall uppstå på beståndet. Sekundära skador som bör beaktas är stormfällning, snöbrott och insektskador.

Det är mycket svårt att ställa prognoser, hur stora dessa skador är efter gallring. I vissa fall kan t. ex. förluster av vindfällning vara stora. I alla fall är dessa skador mera lokala. Med ökande gallringsintensitet höjs risken för vindfällning och snöbrott. Markskador och spår ökar också vindfällningsrisken.

3. Basis för kostnadskalkyler

Kostnadskalkyler baserar sig på information om gallringsresultat. När olika drivningsmetoder jämförs, måste man ha inventeringar med stort material. Efter inventeringar har vi information om mängd, typ och läge av skador, stickvägsareal, spårbildning, antal och fördelning av träd efter gallring.

När man undersöker resultaten av skadeinventeringar, kan man se att risken för skador är stor i granbestånd under sommartiden. Då även förluster p.g.a. rötan är stora med gran, borde man dela bestånd efter trädslag och årstid.

Kostnaderna kan räknas för hela omloppstiden eller t. ex. för tiden mellan sista gallringen och slutavverkningen. När man vill jämföra olika metoder, är det logiskt att räkna kostnaderna för alternativa drivningsmetoder för hela omloppstiden.

I kalkylerna behövs information om utveckling, tillväxt och värde av bestånd. I Finland ger "Modeller för odlade barrskog" (Vuokila & Väliaho 1980) information om utveckling av typbestånd.

På hela omloppstiden måste man anta, hur stor del av skadade träden tas bort i andra gallringen, och hur stor del av skadorna i andra gallringen drabbar träd, som har skadats redan tidigare. Vid mekaniserad gallring är det inte lätt för föraren att se skadade träd. Man kunde anta, att i andra gallringen gallras skadade träd i nästan samma relation som oskadade träd.

4. Vad beror resultaten på?

Resultaten av kostnadskalkyler beror mycket på förutsättningarna. Förlusterna är olika för skogsägaren, industrin och nationalekonomin. Det är stor skillnad i förluster, om man t.ex. vid kalkylering av kvalitetsförluster använder priser vid bilvägen eller exportpriser för sågad vara.

En del av förstagallringens förluster blir reala först 50 år efter huggning. Om man diskonterar dessa förluster, är kostnaderna mycket små. Mellan sista gallringen och slutavverkningen är det ofta 15–20 år, och även då har diskonteringsprocenten stor inverkan på resultat. Om t. ex. värdet förlust för skadat träd är 30 FIM vid skadetillfället, är förlusten följande med olika diskonteringsprocent:

Ränta	År efter skadetillfället			
	10	20	30	50
3 %	22	17	12	7
5 %	18	11	7	3

Det är också mycket svårt att estimera prisrelationer av olika trädsortiment i framtiden. Ett alternativ är att närma sig problemområdet just i dagens situation. Hämäläinen (1973) använder i

sina kalkyler om olika hanteringsmöjligheter av skogen en princip för skogsräntan. Om man jämför olika metoder, och antar, att skogarna skall huggas kontinuerligt med vissa metoder, kunde man använda diskonteringsräntan 0 %. I alla fall får man inte använda för hög ränta vid diskontering.

Litteratur

- Andersson, L. 1984. Inverkan av stamskador på tillväxten hos tall. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 82(5): 53–62.
- Andersson, S-O. 1983. Helträdsutnyttjande vid gallring och dess effekt på trädets tillväxt. Sveriges lantbruksuniversitet. Uppsala. Skogsfakta 1: 18–23.
- Froehlich, H.A. 1976. The influence of different thinning systems on damage to soil and trees. IUFRO XVI, IV, Norway. s. 333–344.
- Hämäläinen, J. 1973. Contribution profit analysis for a fully regulated forest and its empirical application. Seloste: Normaalmetsän katetuottoanalyysi ja sen empiirinen sovellutus. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 80(1). 47 s.
- Isomäki, A. 1986. Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. Summary: Effects of line corridors on the development of edge trees. Folia Forestalia 678. 30 s.
- & Kallio, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Seloste: Puunkorjuukoneiden aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun. Acta Forestalia Fennica 136.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1987. Hakkuutähteen merkitys metsässä. Käytännön Maamies 12: 54–56.
- Lundmark, J.E. 1983. Produktionekologiska effekter på olika standortstyper vid helträdsutnyttjande — prognos baserad på biologisk grundsyn. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsfakta 1: 24–31.
- Niemistö, P. 1987. A method for evaluating the effect of strip roads on the growth and yield of coniferous stands. Swedish university of agricultural sciences. Faculty of forestry. Department of operational efficiency. Research notes 98.
- Nilsson, P.O. & Hyppel, A. 1968. Studier över rötangrepp i särskador hos gran. Sveriges Skogsförbundets tidskrift 66: 675–713.
- Nordberg, M. 1987. Teoretisk modell för bedömning av trädskadors ekonomiska konsekvenser. Skogsarbeten. Stencil, 13 s.
- Olsson, P. 1984. Beräkning av tillväxt- och kvalitetsnedsättning orsakad av skador i gallring. Skogsarbeten. Stencil. 16 s.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(2).
- Wästerlund, I. 1983. Kantträdens tillväxtförluster vid gallring p.g.a. jordpackning och rotskador i stickväg. Sveriges Skogsförbundets tidsskrift 2: 95–107.
- 1986. Skador i mark och rötter. I: Knutell, H. (ed.): Tänk i gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Uppsatser och resultat 52: 56–63.

Del IV

Automatisering

Delprojektet Automatisering

Dag Myhrman

1. Sammandrag

Delprojektet Automatisering har haft karaktär av "brainstorming" för att få fram idéer om hur man skulle kunna förenkla och förbättra arbetet i förstagallringar. Resultatet har blivit en lista över idéer som är mer eller mindre möjliga. Idéerna beskrivs närmare i det följande. Här ges några rubriker:

- Skadevarning och automatiserad styrningskontroll
- Navigeringssystem för positionsbedömning
- Slirningskontroll för markkontaktorgan
- Horisontering av maskinen eller förarplatsen
- Aktiv dämpning
- Automatisering av kranrörelser
- Fjärrstyrning av maskinen och aggregat
- Bildbehandling av resultat flerträdskvistning
- Tillståndskontroll och överlastskydd
- Automatisering av funktioner vid förarplatsen
- Expertsystem

Många av idéerna kräver ett omfattande forsknings- och utvecklingsarbete innan de kan komma till praktisk nytta.

2. Slirningskontroll för markkontaktorgan

Slirning mellan hjul och mark har stor betydelse för uppkomsten av markskador. Viss liten slirning tangentiellt behövs för att man ska kunna ta ut dragkraft, men all annan slirning är av ondo. Nuvarande skogsmaskiner har i allmänhet alla hjul mekaniskt drivna och sammankopplade så att periferihastigheten är möjligast lika när man kör rakt fram på jämnt underlag. När man styr, ger differentialen en viss anpassning av periferihastigheterna men om markgreppskoefficienterna varierar mellan hjulen behöver man spärra differentialerna och då uppstår kraftig slirning. Vid passage av hinder ger det stela transmissionsystemet också stor slirning. En boggiförd maskin ger slirning i sidled vid körning i kurva.

Genom att styra moment och varvtal individuellt till varje hjul, så att slirningen inte blir större än nödvändigt för framkomligheten, kan mark-

skadorna begränsas avsevärt. Styrningen görs med utgångspunkt från givare på hjulen, styrleden, boggilådorna och eventuellt från en givare för avkänning av hastigheten relativt marken. Det närmast till hands liggande drivsystemet är hydrostatiska hjulmotorer men man kan även tänka sig en variabel mekanisk transmission där man varierar skillnaden i varvtal mellan hjulen, "aktiva" differentialer.

Radering i sidled i en boggi kan undvikas med styrbara boggihjul där styrningen sker med i princip samma givare som för drivningskontrollen.

3. Horisontering av maskinen eller förarplatsen

Genom horisontering av maskinen ökar stabiliteten och hjultrycken utjämnas. Dessutom minskar kraven på kranens svängmoment. På en skotare minskar också utrymmesbehovet i sidled så att stickvägarna kan göras smalare. En annan fördel är att även förarplatsen kan hållas horisontell vilket avsevärt minskar belastningen på föraren.

Horisontering av hela maskinen kan erhållas genom att hjulen sätts på pendelarmar. Horisontering enbart i sidled kan fås genom att använda dubbla pendelaxlar. Horisonteringen kan styras manuellt eller automatiskt.

Hydrauliken för horisonteringen måste utformas så att den blir energi- och effektsnål. Man måste ha ett lagringssystem för energin.

Om man bara ser till förarens förhållanden kan enbart hytten horisonteras. Man får ett enklare system med mindre energiåtgång men tillgodosgör sig inte alla fördelar som en horisontering av hela maskinen ger.

4. Aktiv dämpning

Med aktiv dämpning menas att man styr t ex en hjulupphängning eller hyttupphängning så att hjulet följer markens ojämnheter utan att maskinen påverkas eller att hytten intar samma läge

även när maskinen rör sig på grund av hinder. Styrningen sker med givare på hjul/hytt respektive maskinen och behövlig kraft åstadkomms på hydrauliskt väg. Även här gäller att hydraulsystemet måste vara effektivt med någon form av energilagring för att förlusterna ska bli rimliga. Man får mindre påkänningar på maskinen, marken och föraren.

Aktiv dämpning är på väg att införas på bilar, och liknande teknik kan användas på skogsmaskiner. Den kombineras lämpligen med horisontering enligt föregående.

5. Automatisering av kranrörelsen

Kranen är ett viktigt arbetsorgan i allt skogsarbete. Idag måste föraren manövrera varje kranfunktion för sig.

Genom att automatisera kranfunktionerna med skranspetsstyrning, innebärande att föraren styr kranspetsens rörelser i alla riktningar i stället för den enskilda funktionerna, vinner man inlärningstid, prestation och precision samt kan dessutom automatiskt hindra att kranen överbelastas eller ger vibrationer i maskinen.

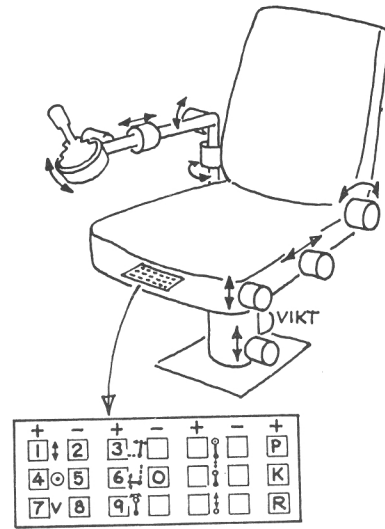
Kranen kan också automatiseras vidare så att kranspetsstyrningen utvidgas till att själv flytta kranen enligt förutbestämda rörelsemönster, t ex nå ett positionsbestämt träd eller föra ett träd till en given upparbetningsplats.

6. Bildbehandling av resultat vid flerträdskvistning

Vid kvistning av flera träd i en kvistningsmaskin, där trädbunten kvistas i någon form av trumma eller tråg, vill man avbryta kvistningen då alla kvistar försvunnit men innan för stora skador uppstått på stamvirket. Bildbehandling skulle kunna vara en lämplig metod att avgöra rätt tidpunkt utan medverkan från föraren. Bilden från en TV-kamera skulle då analyseras elektroniskt med avseende på kvistinnehåll med hjälp av identifiering av form och färg.

7. Automatisering av funktionen vid förarplatsen

De ergonomiska förhållandena är mycket viktiga på en gallringsmaskin. Automatisering kan förbättra ergonomin på många punkter. Nära till hands ligger automatisk kontroll av temperatu-



Figur 1. Automatiskt inställbar förarstol.

rer i hytten. Tidigare nämnda horisontering och aktiv dämpning ger också en förbättrad ergonomi.

Ytterligare möjligheter är automatisering av stol- och reglageinställning, som dels skulle göra det enkelt att ställa in stol och reglage, dels medge att en förutbestämd inställning för en förare uppnås genom att slå in en personlig kod (figur 1).

8. Expertsystem

Expertsystem eller kunskapssystem är programvara som självständigt eller i samverkan med användare löser problem och uppgifter. Skillnaden mot vanliga dataprogram ligger i metoden att lagra kunskap i datorn och principerna för att manipulera den lagrade kunskapen. Programmet kan nå lösningar genom att välja olika vägar i kunskapsbasen. Tekniken är under snabb utveckling.

Exempel på tillämpningsområden kan vara

- styr- och reglersystem för maskinen
- apteringssystem
- tillståndskontroll
- felsökning
- handledning vid reparation

Dessutom kan systemet användas vid konstruktion av maskiner och vid skoglig planläggning.

Möjligheter att undvika gallringsskador med skadevarning och automatisering av styrningskontroll

Jari Ala-Ilomäki

1. Bakgrund

Att undvika skador på växande träd och skogsmark har blivit mera och mera viktigt. Man har redan gjort ganska mycket för saken. Skogsmaskinerna är mindre, lättare och smidigare än för 10 år sedan. Ergonomin, kraftöverföringen samt hjul- och bandutrustningen har utvecklats. I följande betraktas nya möjligheter att minska antalet skador genom att använda ett skadevarningssystem eller att automatisera styrningskontrollen.

2. Skadevarningssystem

I ett skadevarningssystem mäter man maskinens eller maskindelens avstånd till ett träd med en givare. Systemet reagerar när avståndet är för kort med att:

- varna föraren med en signal
- stoppa den pågående funktionen.

Systemet kan inte ha en förmåga att styra maskinen eftersom systemet endast vet att maskinen ligger för nära ett träd, men inte vad som händer om riktningen ändras.

I princip kunde ett sådant system ganska enkelt och billigt byggas med att placera lämpliga givare nära de kritiska punkterna på en skogsmaskin, dvs. punkterna som oftast orsakar skador på träd. Givarna kunde använda t.ex. ultraljud eller IR-ljus. En hel del olika principer används redan i de moderna kameror. Naturligtvis borde givarna vara väl skyddade, vilket inte alltid är lätt.

Systemet lämpar sig bäst till att varna föraren om skador som basmaskinen orsakar, för att de kritiska punkterna är ganska få och vanligen lätta att definiera. Kranens rörelser bland träd är mycket svårare att kontrollera. Kranen rör sig snabbt, rörelsebanorna kan vara komplicerade och den arbetar mycket nära många träd. De kritiska punkterna är många och en del av dem flyttas hela tiden.

Skogen är en mycket svår miljö när man tänker på pålitligheten av givarna. Framförallt optiska givarna blir troligen nedsmutsade snabbt. I lastbilar används ultraljudsradar som automatiska backstopp med goda erfarenheter. Där är förhållandena i många avseenden lika krävande som i skogen. Ett problem är att givaren inte borde reagera för objekt under en bestämd storlek, för att i skogen finns det ju rejält med kvistar och små träd, som inte behöver aktas.

3. Automatisering av styrningskontroll

Automatisering av styrningskontroll, en automatisk navigeringssystem, hos en skogsmaskin förutsätter ett koordinatsystem, där både maskinens och trädens koordinater är kända. Ur maskinens synvinkel "vet" maskinen var träden ligger i förhållande till maskinen. Genom att automatisera styrningskontrollen kunde systemet:

- varna föraren med en signal
- stoppa pågående funktionen
- korrigera maskinens riktning
- automatisk styra maskinen.

Vad som behövs är en digiterad karta över skogen, där träden är utmärkta, och ett positionsbestämningssystem för skogsmaskinen. Individuella träd kan lokaliseras från flygbilder, som vanligen används som bas för digiterade kartor. Alltid är det nog inte så lätt att upptäcka varje träd från en flygbild. I varje fall är det inte möjligt att manuellt bestämma koordinater för träden i skogen.

Positionsbestämningssystemen är baserade på 2–4 radiosändare, vilkas lägen är kända, och en mobil mottagare. Signalerna registreras i mottagaren, varvid positionen räknas fram. I satellitnavigeringssystem ligger sändarna i satelliter medan sändarna är fasta i deccasystemet. Lägesnoggrannheten för de nutida systemen är inte tillräcklig, t.ex. noggrannheten av Decca Flying Flagman är 1-3 m.

Ett system, som använde digiterade kartor, ger mycket intressanta möjligheter. Kartan med bärighets- och topografi-information kunde möjliggöra databaserad planering av virkesdrivningen och intelligenta självstyrande skogsfordon. Positionsbestämningssystemet som också visste kranens läge, gjorde det möjligt, att undvika skador orsakade av kran och styra kranen automatisk.

4. Konklusioner

Realisering av till och med de enklaste skadevarningssystemen hos skogsmaskiner kan vara problematisk för att inte tala om de realtida navigeringssystemen. Särskilt svårt är det att ha ett system som fungerar i täta bestånd. Ett annat alternativ är att ändra beståndet så, att automatisering och undvikande av skador blir lättare. Om träden låg i rader, skulle automatiseringen bli enklare. Eller om träden låg i rutnät, skulle navigeringssystemet veta positionen av varenda träd baserad på positionen av ett träd, och då behövde själva navigeringssystemet inte vara så noggrant.

Fjernstyring av maskiner

Geir Stenseth och Reidar Jacobsen

1. Sammendrag

Med dagens teknologi lar det seg gjøre å fjernstyre maskiner. Maskintypen som er mest aktuell for dette formålet er mindre typer. De store skogsmaskinene som i dag går i tynning har en meget god kjørekomfort med klima kontroll i hytta og god sikt. Derfor er det lite å hente i å fjernstyre slike maskiner.

Ved fjernstyring betyr det at operatør beveger seg ved siden av maskinen. Spesielt egnet for fjernstyring er hydrostatisk drevne maskiner. Rent teknisk er det lettere, og antagelig billigere å få det til på disse. Det er i pent terreng det er mest aktuelt med dette systemet. Dette fordi veltefaren er mindre. I mere ulent terreng er det en klar fordel at operatør sitter på og kjører maskinen. Vedkommende føler på kroppen når maskinen når ett ytterpunkt før den velter. Går operatør ved siden av og styrer vil det helt sikkert oppstå flere velt.

Hva er hensikten ved fjernstyring av maskiner i tynning? Maskinkjører gå ved siden av og vil få en bedre oversikt over maskinen og maskinens nærområde. I tynning kan skader reduseres. På lengre sikt, med en avansert form for fjernstyring (radar) kan operatør frigjøres til andre arbeidsoppgaver. Ved å sette ut radiofyrt i terrenget kan maskinen oerientere seg etter disse, og dermed kjøre ut stikkvegen med f.eks. heltrær og inn igjen automatisk. I mellom tiden kan operatør tynne (felle). I dette tilfellet kan man tenke seg at kvistemaskinoperatør styrer avlesingen av heltrær ved velteplassen.

Ulempene ved fjernstyring er som jeg allerede har vært inne på bl.a. veltefaren. Videre er operatør prisgitt vær og vent. På en fjernstyrt maskin kan man kutte ut traktor hytta. Disse kostnadene frigjøres til f.eks. oppbyggingen av fjernstyringen. En annen ulempe er skadevarslingen på maskinen. Denne måtte bygges slikt at maskinen stopper når en bestemt faregrense overstiges. Noe man skal være obs på er operatørens sikkerhet. Han kan lett utsette seg for skader hvis han beveger seg nærme maskinen. Men ergonometrisk vil jeg tro at operatør har en sun-

ner arbeidsplass en operatør som kjører en hvilken som helst maskin tradisjonelt, er utsatt for store statiske påkjenninger. Følgende av dette kjenner vi alle; stiv nakke vonde skuldere o.s.v. Konklusjonen vedr. fjernstyring av maskiner må være at det er uthyre interessant, og det ligger utviklingsmuligheter på dette området. Samtidig som systemet har visse begrensninger vedr. bl.a. terreng og maskintyper.

2. Fjernstyring av vinsjer

Fjernstyring av vinsjer er utbredt i Norge. Vi har tre typer som er i bruk, Iglands infrarøde styring, Formeks enkanalsstyring og Sesam 250 radiostyring av vinsj.

Fordelen ved bruk av radiostyrt vinsj er mange. Man kan følge lasset når det vinsjes fram til stikkveg. Operatør går ved siden av og styrer hivet unna hindringer, og unngår ved dette fastkjøringer og skader på gjemnstående skog. Faren her er åpenbar. Operatør er veldig utsatt for klemskader. Under felling i tynning behøver ikke operatør være opptatt med å få trærne til å gå i bakken. Når man henger opp, noe som er svært vanlig i tynning, vinsjes trærne ned med radiostyringen. Operatør tar med seg ståltau og stroppe ut i terrenget før han starter felling. Dærmed spares også en tur fram og tilbake til traktoren.

En annen stor fordel med fjernstyringen er når man kommer til 2. og 3. gangs tynning med flere sortiment. Under kapping på velta kan operatør da styre visnjen utenifra traktoren. Traktoren kjøres helt fram til enden av velta og trærne vinsjes bortover ettersom de kappes. Man behøver ikke å gå på og av traktoren for å vinsje.

3. Automatisk stilstandkontroll av småmaskiner

Aktuelle varslingssystemer for småmaskiner, må være varslingssystemer for vanntemp., oljetrykk og temp. både for motorolje og hydraulikk olje.

Annet kan være magnetiske oljeavtappingsplugger som sier i fra når det kommer til en viss mende spon, noe som igjen tyder på at vi er nær forestående en brekkasje.

Som jeg var inne på, må det være et system som sier i fra, ved f.eks. å stanse motoren, nær faregrensen som er innlagt i systemet overstiges. Dette er meget viktig å få bygd inn i fjernstyrte maskiner.

Man kan videre bygge inn et system som sier i fra når man f.eks. må skifte bremseklosser. Det samme kan gjøre ved å bygge inn varslingsystem ved sensitive bolter. Systemet må varsle at bolten er på veg ut. Dette tatt som ett eksempel. Teoretisk kan man overvåke det meste. Men det er et prioriterings spørsmål, da slike system vil koste penger.

Del V

Seloste — Summary

Seloste

Puiden joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa

Pohjoismaiden Ministerineuvosto antaa taloudellista tukea metsäntutkimukselle Pohjoismaisen metsäntutkimuksen yhteistyöneuvoston (SNS) kautta. Sen alaisena toimii metsäteknologisen tutkimuksen yhteistyöelimenä vuonna 1953 perustettu Pohjoismainen metsätyöntutkimuksen neuvosto (NSR), jonka jäseninä ovat pohjoismaiset metsäteknologian tutkimusorganisaatiot.

Harvennuspuun korjuu on ollut vuodesta 1974 lähtien tärkeä osa NSR-yhteistyötä. Vuonna 1987–1989 toteutetun NSR-projektin "Joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa" perustana on ollut aiemmissa harvennusprojekteissa saatu tutkimustieto.

Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosasto toimi projektia johtavana laitoksena. Metsäteho, Työtehoseura ja Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos Suomesta, Norjan Metsäntutkimuslaitos (NISK) Norjasta, Maatalousyliopisto (SLU) ja Skogsarbeten Ruotsista sekä Skovteknisk Institut (SI) Tanskasta olivat mukana projektissa. Projekti jaettiin seuraaviin neljään osaan:

1. Joukkokäsittely
2. Kevyen teknologian koneet ja menetelmät
3. Harvennusmenetelmien arviointi
4. Automatisointi

Seuraavassa esitellään projektin tutkimustuloksia osaprojekteittain. Yksityiskohtaiset tulokset on julkaistu tutkimuslaitosten omissa julkaisusarjoissa.

1. Joukkokäsittely

11. Joukkokäsittelyn mahdollisuudet

Ruotsissa Skogsarbeten (Brunberg 1989) teki kirjallisuuskatsauksen joukkokäsittelyn kehityksestä. Joukkokäsittelyä on kokeiltu eri muodoissaan ainakin 20 vuoden ajan. Erityisen voimakasta kokeilutoiminta oli 1970-luvun alussa, jolloin tutkittiin joukkokarsintatekniikkaa ja joukkokäsittelyä puiden kaadossa.

Joukkokäsittelyn mahdollisuuksiin vaikuttavat erityisesti käytettävä harvennustekniikka ja toisaalta teollisuuden puuraaka-aineelle asettamat vaatimukset. Teoriassa ainakin seuraavat konetyypit soveltuvat joukkokäsittelyyn:

- kaato-kasauskone
- varastoivalla kaatopäällä varustettu harvesteri-kuormatraktori

- kourasahalla varustettu kuormatraktori, jonka kourassa on puukasojen karsintaan soveltuva laite
- joukkokarsija
- yksiotehakkukone
- ajouralla työskentelevä kone, joka joukkokäsittellee koneellisesti kasattuja puita
- kuormatraktori, joka annoksittain karsii kasoja tai karsii kuormaa jatkuvasti ajon aikana.
- kokopuuhaakuri

Joukkokäsittely kohottaa tuottavuutta. Kaatokoneilla mahdollinen tuottavuuden nousu on 5–40 %, kaksiotehakkukoneilla 30–40 % ja yksiotehakkukoneilla 50–60 %. Varastolla toimivilla joukkokarsijoilla tuottavuus moninkertaistuu yksin puin käsittelyyn verrattuna.

Helsingin yliopiston metsäteknologian laitoksella Kailola (1989) tutki simuloimalla metsässä tapahtuvan joukkokäsittelyn mahdollisuuksia. Analyysi perustui puunkorjuun osatekijöihin, joita olivat korjuuympäristö, käytössä oleva teknologia ja käsiteltävät materiaalit.

Harvennuksessa poistettavien puiden valinta perustuu puiden fyysisiin ominaisuuksiin ja puiden tilajärjestykseen. Joukkokäsittelyn kannalta poistettavien puiden valinnan pitäisi perustua entistä enemmän puiden sijaintiin. Tiukat laatu- ja mittavaatimukset huonontavat mutta pieni puutavaralajien määrä parantaa joukkokäsittelyn mahdollisuuksia.

Simulaattorilla voidaan kuvata korjuumenetelmien ja korjuulojen vaikutusta työvaiheiden ajanmenekkiin. Simulaattorin tärkeimmät rakenneosat ovat PUUSTO-tietokanta, MENETELMÄT-tietokanta ja KARTTA-graafinen käyttöjälki.

12. Taskukarsija joukkokäsittelyssä

Kiinteät, pääasiassa varastolla toimivat karsintalaitteet, voidaan jakaa riipimiskarsijoihin, piiskakarsijoihin, rumpukarsijoihin ja taskukarsijoihin. Näistä rumpu- ja taskukarsijat soveltuvat parhaiten pienten puiden karsimiseen. Ruotsin Metsäkorkeakoulussa Dahlin (1989) selvitti taskukarsijan karsintajälkeä, runkopuun hävikkiä ja tuottavuutta. Lisäksi analysoitiin karsintatapahtumaa, verrattiin erilaisia karsintaelimiä ja selvitettiin taskun rakenteen ja kuljettimen nopeuden vaikutusta karsintaan.

Tutkimus tehtiin taskukarsijalla, jonka sisäleveys oli 4,9 m. Karsintaeliminä tutkittiin kiinteitä veitsiä, avoimia ja yhtenäisiä valsseja sekä vasaroita. Kokeissa karsittiin mäntyä ja kuusta. Mäntysten rinnankorkeuslähimittana oli

keskimäärin 93 mm ja kuusien 103 mm. Karsinta keskeytettiin minuutin välein ja koepölkkyjen karsiutuminen mitattiin. Kun yli 75 % oksantyngistä oli pituudeltaan alle 25 mm, karsinta lopetettiin.

Varasarat osoittautuivat parhaiksi tutkituista karsinta-eliimistä. Kuljettimen kaltevuus vaikutti karsintaan ja paras karsintatulos saavutettiin 30°:n kaltevuudella. Kuljettimen nopeus vaikutti karsintatulokseen ja runkopuun hävikkiin. Optimaalinen nopeus oli noin 1,5 m/s. Karsinta-ajan pidentäminen lisäsi runkopuun hävikkiä.

13. Yksioteharvesteri joukkokäsittelyssä

Skogsarbeten (Brunberg ym. 1989b) ja Metsäteho (Lilleberg 1990) tutkivat kasattujen puiden joukkokäsittelyä. Myös Metsäntutkimuslaitos osallistui koejärjestelyihin. Puun syöttötavan vaikutusta joukkokäsittelyyn tutkittiin kolmella yksioteharvesterilla. FMG Lokomo 750 H:ssä syöttö tapahtuu neljällä rullalla, Keto 150:ssä on telat ja Tapio 400:ssä on sykesyöttö.

Useita puita kerrallaan käsiteltäessä syöttöelinten on saatava tukeva ote koko nipusta. Sekä tuottavuus että karsintajälki olivat FMG Lokomo 750 H:llä muita tutkittuja laitteita paremmat. Karsintajälki ei Lokomollakaan ollut moitteeton, sillä 5 % männyn ja 15 % kuusen pölkkyistä ei täyttänyt ruotsalaisia kuitupuun laatuvaatimuksia.

Skogsarbetenin Norjassa tekemässä kokeessa (Brunberg ym. 1989b) joukkokäsiteltiin koneellisesti kasattuja puita. Kaato-kasauskoneena oli FMG 0410 Lillebror ja joukkokäsittelylaitteena FMG 735 -yksioteharvesteri.

Tuottavuus oli parempi yksioteharvesterin käsitellessä puita suurista kasoista kuin käsiteltäessä pieniä, 2–4 puun nippuja. Koneellisesti kasattujen puiden joukkokäsittely tarkoitukseen suunnitellulla prosessorilla omaa suuren tuotospotentiaalin. Haittapuolena on ”ylimääräinen” kone korjuuketjussa. Jos kuitupuun laatuvaatimukset eivät ole korkeat, tällainen korjuuketju saattaa olla kilpailukykyinen.

Joukkokäsittely kohotti tuottavuutta. Yksin puin tapahtuvaan käsittelyyn verrattuna runkokohtainen ajanmenekki pieniä 40–60 %. Karsintatulos riippui puulajista, oksikkuudesta, lämpötilasta ja monitoimilaitteesta. Skogsarbetenin Norjassa tekemässä kokeessa raakkeja oli ainoastaan 1 %, joten hyvä karsintatulos on joukkokäsittelyä käytettäessä mahdollinen.

Varastoivalla kaatopäällä varustettu yksioteharvesteri on tällä hetkellä suuren mielenkiinnon kohteena joukkokäsittelyä kehitettäessä. Skogsarbeten (Brunberg ym. 1989a) tutki Valmet 892 -yksioteharvesterin soveltuvuutta joukkokäsittelyyn. Harvesterilaitteena oli Valmet 955, joka voi kasata useita puita kaatopäähänsä. Konetta tutkittiin nila-aikana kuusikossa ja talvella männikössä. Runkojen keskikoko oli leimikoittain 0,05–0,11 m³.

Joukkokäsittely kohotti voimakkaasti tuottavuutta männikön talvikorjuussa. Tuottavuus kokosi 45 % käsiteltäessä kaksi runkoa kerralla. Kolmen ja neljän puun joukkokäsittely lisäsi edelleen hieman tuottavuutta. Kuusikon korjuussa kesällä hyöty oli vähäisempi.

Joukkokäsittelyjen puiden määrä riippui poistettavien

puiden koosta ja määrästä. Edullisimmassa leimikossa käsiteltiin keskimäärin 1,9 puuta kerralla. Alimmillaan joukkokäsitteltyjen puiden osuus oli kertymältään pienessä kuusileimikossa, jossa käsiteltiin keskimäärin 1,1 puuta kerralla.

Kuitupuun laatu tutkimusleimikoissa oli tyydyttävä. Huonon karsinnan takia hylättiin 1–6 % ja väärän pituuden vuoksi 1 % pölkkyistä.

14. Joukkokäsittelykokeet Norjassa

Norjassa NISK (Dale 1989) tutki kolmen korjuuketjun soveltuvuutta joukkokäsittelyyn.

Menetelmällä 1 käsiteltyjen mäntyjen keskikoko oli 0,04 m³. FMG 0410 Lillebror kasasi ajouran varteen keskimäärin 146 puuta tehotunnissa (E₀). Koneen kaatopää pystyi varastoimaan yhden puun, ja keräilyä käytettiin 20 % tapauksista. Valmet 901/948 yksioteharvesteri karsi ja katkoi keskimäärin 2,25 puuta käsittelykerralla. Runkokohtainen ajanmenekki pieniä 50 % käsiteltäessä kaksi puuta yhden sijasta. Useampia puita käsiteltäessä runkokohtainen ajanmenekki pieniä vielä jonkin verran. Valmet 901:n tehotuntituotos oli 12,2 m³.

Menetelmässä 2 mäntyjen keskikoko oli 0,05 m³. Kaato-kasausmenetelmä oli sama kuin edellä. Karsinta ja katkanta tehtiin Valmet 705-Pika 36 prosessorilla, jonka tehotuntituotos oli 9,2 m³. Verrattuna koneyhdistelmän normaalityöskentelyyn, jolloin hakkuukone kaataa puut kaatopäällä, tuottavuuden nousu puiden käsittelyn osalta oli 200–300 %.

Menetelmässä 3 puut kasattiin joko miestyönä tai Järnhästen Piraya -telajuonturilla uran varteen ja hakettiin selluloosahakkeeksi Bruks IF 200 -hakkurilla. Kasauksen tehotuntituotos miestyönä oli 3,0–3,5 m³ ja telajuonturilla 1,6–1,9 m³. Selluhakehakkurin tehotuntituotos oli 4,0–4,5 m³ puiden keskikoon ollessa 0,05 m³. Hakkurin tuottavuus oli 10 % suurempi hakettaessa telajuonturilla kasattuja puita suuremman kasakoon ansiosta.

Kaato-kasauskoneeseen ja maataloustraktoriperustaiseen prosessoriin perustuva korjuuketju oli kustannuksiltaan edullisin ja yksioteharvesteri kallein korkeiden pääomakustannusten vuoksi.

15. Maataloustraktori joukkokäsittelyssä

Suomessa Työehoseura (Ryynänen & Mutikainen 1990) on ollut mukana kehittämässä maataloustraktoriin soveltuvaa joukkokäsittelytekniikkaa. Projektin aikana rakennettiin kolme prototyyppikonetta, joista vuoden 1989 lopussa TEKEVÄ-joukkokäsittelyprosessori oli valmis sarjatuotantoon.

Prosessori kiinnitetään maataloustraktorin kolmipistonestolaitteisiin. Prosessorissa on oma hydraulijärjestelmä. Sykesyötön pituus on 1 metri ja puut katkotaan hydraulisella ketjusahalla. Prosessorissa on kaksi erillistä karsintalinjaa. Se pystyy käsittelemään korkeintaan 25 cm:n läpimittaisia puita. Pienempiä puita prosessoriin mahtuu

2–3. Puut voidaan käsitellä joko tyvi tai latva edellä.

Konetta tutkittiin männikössä, jossa oli 2500 runkoa/ha. Harvennuksessa poistettiin 1000 runkoa, 35 m³/ha. Uraväli oli 25 m. Hakkuumies kaatoi ja kasasi puut. Peruskoneena oli Valmet 805 maataloustraktori varustettuna Patu-puutavaranosturilla.

Karsinnan ja katkonnan osuus tehotyöajasta oli 18 %. Taakan kasaus ja vienti prosessorille vei 40 % tehotyöajasta. Joukkokäsittely nosti tuottavuutta yksin puin käsittelyyn verrattuna. Kone käsitteli 100 keskimäärin 0,035 m³ puuta tehotunnissa, vaikka kuljettaja oli työmenetelmään tottumaton.

16. Joukkokäsittely Tanskassa

Tanskassa Skovteknisk Institut (Kofman 1989) on tutkinut seuraavia joukkokäsittelymenetelmiä:

1. Harvennuksessa puut kaadetaan kaatokoneella ja haketetaan itsekulkevalla hakkurilla energiahakkeeksi
2. Avohakkuussa puut kaadetaan kaatokoneella, kuljetaan kuormatraktorilla varastolle ja haketetaan energiahakkeeksi
3. Energiahaketta ja teollisuuden ainespuuta valmistetaan samanaikaisesti. Joukkokäsittelyä käytetään haketuksessa varastolla
4. Puut kaadetaan kaatokoneella, karsitaan joukkokarsijalla ja haketetaan lastulevyhakkeeksi.

Koneellista kaatoa tutkittiin mm. Kockums 81-11 kaato-kasaukoneella, Klippmyranilla ja Kockums 81-11 kaato-kasaukoneella varustettuna Silvatecin kaatolaiteella.

Silvatecin kaatolaite voi varastoida 1–3 puuta. Tuottavuus yksin puin käsittelyssä oli 244 puuta, kaksi puuta kerrallaan käsiteltäessä 325 puuta ja kolme puuta kerrallaan käsiteltäessä 461 puuta tehotunnissa. Kolmen puun käsittely kerrallaan onnistui vain harvoin.

Haketusta tutkittiin sekä miestyökaadon että koneellisen kaadon jälkeen. Haketuksessa oli suurin tuottavuus 266 noin 8 cm:n läpimittaista puuta tehotunnissa. Karsinnassa ennen haketusta kokeiltiin ketjukarsijan prototyypä, jonka tuottavuus varastolla oli 197 läpimitaltaan 10 cm puuta tehotunnissa.

Tulokset koottiin tietokoneohjelmaan, jolla hakkuutyön tuottavuus ja kustannukset eri menetelmiä käytettäessä voidaan laskea. Tutkimusten mukaan joukkokäsittely alensi kustannuksia pieniläpimittaisen puun korjuussa.

2. Kevyen teknologian koneet ja menetelmät

21. Telajuonturi ja pyörämaasturi puunkorjuussa

Ruotsin Metsäkorkeakoulussa tutkittiin pienten telajuontureitten ja pyörämaastureitten perusominaisuuksia ja soveltuvuutta metsäkäyttöön (Nordfjell 1989). Niiden

moottoritehot vaihtelivat 4–17 kW. Koneiden hinta oli alle 100 000 Ruotsin kruunua.

Tutkimuksessa selvitettiin koneiden esteidenylittämiskykyä, kääntösäädettä, nopeuksia, vetovoimaa, pintapaineita, ohjausominaisuuksia ja ergonomiaa. Mittaukset tehtiin vakioituissa oloissa. Lisäksi koneita ajettiin vaikeissa maasto-oloissa ja maastoradalla.

Maastoradalla suurin kuorman koko oli 0,7–1,3 m³. Keskimääräinen kulkunopeus pyörämaastureilla oli 1,5–2,0 m/s ja muilla koneilla 0,9–1,0 m/s. Kuormatraktorin nopeus vastaavissa oloissa olisi 1,1–1,5 m/s.

Ajoneuvojen ergonomiassa oli puutteita. Risut tai oksat saattavat vahingoittaa pyörämaasturin kuljettajaa, koska ajonopeus on suuri. Telajuontureissa kuljettaja kulkee koneen edessä, minkä vuoksi kompastumisen varalta ajoneuvon pysäyttimen tulisi toimia moitteettomasti. Kaikkien telajuontureiden turvalaiteissa oli parantamista. Maasto-ominaisuudet olivat keskimäärin hyvät, sillä yhtä lukuunottamatta ajoneuvojen käyttöalueen arvioitiin maastoajo-ominaisuuksien puolesta kattavan 70–90 % Ruotsin metsämaastosta.

Koneet soveltuvat puutavaran kasaukseen ajouran varteen, metsäkuljetukseen, taimien ja henkilöiden kuljetukseen ja isommat konetyypit myös pienten ensiharvennussprossoreiden alustakoneiksi. Myös metsätalouden ulkopuolella koneilla on monia käyttömahdollisuuksia.

Työteho-seura tutki telajuonturin ja pyörämaasturin soveltuvuutta harvennuksiin (Ryynänen 1990). Suomessa on myyty kaikkiaan noin 250 telajuonturia, joista muutamia kymmeniä käytetään metsäkuljetukseen. Tutkittu telajuonturi oli Järnhästen 125 varustettuna juontopankolla.

Telajuonturilla kasattiin 3-metristä puutavaraa ajouran varteen. Uraväli oli 25–30 m ja kasausmatka keskimäärin 20–30 m. Telajuonturia käytettäessä kaadon, katkonnan ja kasauksen yhteenlaskettu osuus hakkuumiehen työajasta pieneni. Normaalisissa hakkuutyöissä näiden työvaiheiden osuus oli 63–67 %, mutta telajuonturia käytettäessä vain 45–53 %. Vaikka kuitupuurunkojen hakkuu nopeutui telajuonturia käytettäessä, ajansäästö ei korvannut telajuonturin aiheuttamaa lisäajanmenekkiä. Tehotuntituotos telajuonturia käytettäessä oli 0,59–0,74 m³ ja ilman telajuonturia 0,74–1,14 m³. Kuorman koko telajuonturilla oli 0,42–0,58 m³.

Telajuonturi aiheuttaa puun korjuuseen lisäkustannuksia, joiden määrä riippuu vuotuisesta käyttöajasta. Kustannuksia voidaan pienentää esimerkiksi hankkimalla telajuonturi usean metsänomistajan yhteiskäyttöön. Jos telajuonturia käytetään 500–1000 tuntia vuodessa, lisäkustannus on 15–25 mk/tunti.

Suomessa oli vuoden 1989 lopussa noin 2500 pyörämaasturia, mutta pyörämaasturin pääkäyttöalueet eivät ole metsätaloudessa. Nelipyörävetoisena se soveltuu myös metsäkäyttöön. Mekaaninen tai hydraulinen voiman ulosotto lisäisi sen käyttömahdollisuuksia metsässä. Työteho-seura tutki pyörämaasturia ensiharvennuspään metsäkuljetuksessa sekä kesä- että talvioloissa. Tutkimuskone oli Honda TRX 350, jonka vetokoukkuun kiinnitettiin telajuonturin teliperävaunu. Perävaunuun mahtui 0,5 m³ 3-metristä kuitupuuta.

Pyörämaasturin vetovoima oli 0,9–3,1 kN, kitkaketjuilla varustettuna 2,1–3,5 kN. Sekä kuormattuna että tyhjää-

näajossa sen ajonopeus oli huomattavasti suurempi kuin maataloustraktorin. Kuljetettaessa 3-metristä kuitupuuta 100 m ajomatkalta tehotuntuotos oli 2,0 m³. Tukkeja juonnettaessa jouduttiin käyttämään juontopulkkaa, jolloin taakan koko oli ainoastaan 0,2 m³ ja työn tuottavuus pienempi kuin kuitupuun ajossa.

22. Karsintapenkki ensiharvennuksessa

Työtehoseura tutki karsintapenkin käyttöä kuusikon ja männikön ensiharvennuksessa (Ryynänen & Castrén 1990). Penkin avulla puiden karsintakorkeus on sopiva. Myös puutavaran siirtely ja kasaus helpottuu. Vuoden 1989 lopussa Suomessa oli käytössä noin 400 hakkuupenkkiä.

Aikatutkimusaineisto kerättiin kolmesta hakkuumiehstä ja työn kuormittavuutta tutkittiin yhdestä hakkuumiehestä. Koehenkilöillä oli lyhytaikainen kokemus karsintapenkin käytöstä. Tutkimustyömailla 3-metrinen kuitupuukaasattiin ajouran varteen. Uraväli oli 25–35 m. Ergonominen tutkimus tehtiin harvennuskuusikossa OWAS-työasentoanalyysillä sekä mittaamalla pulssia, verenpainetta ja lihasjännityksiä (EMG). Tutkimuksessa kehitettiin uusi menetelmä työasennon ja lihasjännityksen samanaikaiseen seurantaan.

Karsintapenkin käyttö ei vaikuttanut olennaisesti hakkuutyön sisältöön. Työn suunnittelu ja poistettavien puiden valinta tehtiin pääasiassa penkkiä siirrettäessä, eikä penkin käyttö lisännyt suunnittelun osuutta. Työn tuottavuus pieneni mänty- ja kuusipuutavaraa tehtäessä penkkiä käyttäen 10–25 %. Osasyynä tähän lienee hakkuumiesten vähäinen kokemus penkin käytöstä. Lämpimältään yli 9 cm:n koivujen hakkuuta penkin käyttö nopeutti jonkin verran.

Karsintapenkki paransi hakkuumiehen työasentoa. Karsinnassa ja katkonnassa puu oli sopivalla korkeudella. Kasaus helpottui, koska koko runkoa voitiin siirtää hakkuupenkin avulla ja pölkkyjen siirtelytarve pieneni. Työn keventyminen vaikutti eniten tuki- ja liike-elimiin. Sydän- ja verenkiertoelimistön kuormitusta penkin käyttö ei oleellisesti vähentänyt.

23. Pienet hakkuukoneet ensiharvennuksessa

Metsäntutkimuslaitos tutki projektissa pieniä hakkuukoneita (Sirén 1990). Viime vuosina on markkinoille tullut pieniä, leveydeltään noin 2 m ja massaltaan 6000–8000 kg:n hakkuukoneita. Muutama vuosi sitten kehitys alkoi kaksiothakkuukoneista, mutta tällä hetkellä myynti on keskittynyt yksiotharvestereihin. Tutkitut koneet olivat Telakarhu- ja Nokka Joker -kaksiotharvesterit ja Finn-trac-yksiotharvesteri.

Pienet hakkuukoneet pystyvät työskentelemään kuljetusurien välissä ilman, että optimaalisesta puuvalinnasta joudutaan oleellisesti poikkeamaan. Käytettäessä 30 m ajouraväliä työkonetta avaa yhden tai kaksi hakkuu-uraa kuljetusurien väliin.

Puuston koko, hehtaarikohtainen kertymä ja maasto vaikuttivat työn tuottavuuteen. Korkein tehotuntuotos oli 14,0 m³ väljennyshakkuussa ja alhaisin 2,5 m³ pienirunkoisessa ensiharvennusleimikossa, jossa työskentelyä haaittavaa aluspuustoa oli runsaasti.

Tutkittaessa kaksiotharvesteria ja -proessoria samalla leimikolla proessorin tehotuntuotos oli ainoastaan 0,2 m³ suurempi kuin harvesterin. Markkinakelvoton raivauspuusto vaikeutti pienten koneiden työskentelyä. Joissakin tapauksissa saattaa olla taloudellista raivata leimikko miestyönä ennen konehakkuuta.

Yksi- ja kaksiotharvesterin työskentelyn vertailemiseksi koneita tutkittiin istutuskuusikossa, jossa puut oli istutettu riveihin. Harvennuksessa käytettiin systemaattista leimausta ja kahta harvennustapaa, joissa poistuma ja koneiden käytössä oleva tila olivat erilaiset.

Yksiotharvesteri oli sekä tuottavuudeltaan että korjuujäljeltään soveltuvampi tiheäpuustoiseen ensiharvennukseseen. Työskentely vaikeutui käytettävissä olevan tilan pienetessä. Yksiotharvesterilla runkokohtainen tehoaika oli keskimäärin 60,5 cmin uraleveyden ollessa 3,8 m ja 67,5 cmin uraleveyden ollessa 2,8 m.

Keskimääräinen vaurioprosentti tutkimusleimikoissa oli 5,0. Vauriomäärät olivat samaa tasoa yksi- ja kaksiothakkuukoneilla. Vauriot olivat pääosin pienikokoisia ja pinnallisia runkovaurioita. Tutkimusleimikoissa oli ajouraa keskimäärin 781 m/ha, uraleveys oli keskimäärin 3,7 m. Suuri osa urista oli hakkuu-uria, joiden seurausvaikutukset eivät ole verrannollisia metsäkuljetusurien vaikutuksiin. Pieniä hakkuukoneita käyttäen on mahdollisuus päästä hyvään korjuujälkeen, sillä vertailukokeessa yksiotharvesteri vaurioitti ainoastaan 1,0 % jäävästä puustosta.

3. Harvennusmenetelmien arviointi

Puustovauriot, maaperä- ja juurivauriot, ajourat sekä ravinteiden poisvieminen aiheuttavat kasvutappioita. Puustovauriot aiheuttavat laatutappioita. Harvennus saattaa lisäksi antaa säsäyksen tuuli-, lumi- ja hyönteistuhoilille.

Harvennusten koneellistuksessa kiinnostus korjuujälkeen on kasvanut. Korjuujälkeä on selvitetty laajoilla inventoinneilla eri maissa, mutta tulosten vertailtavuutta heikentää inventointimenetelmien erilaisuus. Myös korjuuvaurioiden seurausvaikutuksista on olemassa runsaasti tutkimustuloksia. Kokonaiskuva korjuuvaurioiden taloudellisista vaikutuksista on kuitenkin varsin puutteellinen.

Metsäntutkimuslaitoksessa kerättiin kirjallisuuteen perustuen taustatietoa korjuuvaurioiden taloudellisten vaikutusten arvioimiseksi. Lähinnä pohjoismaisten tutkimustulosten pohjalta pyrittiin kuvaamaan vaurioiden seurausvaikutuksia.

Korjuuvaurioiden kustannuslaskenta perustuu tietoon korjuujäljestä. Kustannusten laskennan mahdollistamiseksi korjuujäljen mittaaminen olisi sovitettava yhteen seurausvaikutuksia koskevan tiedon kanssa.

Korjuuvaurioiden taloudelliset seuraukset riippuvat useista tekijöistä. Kun esimerkiksi osa ensiharvennuksen vauriokustannuksista realisoituu vasta 50 vuoden kulut-

tua, ja viimeisen harvennuksen ja päätehakkuun välikin on usein 20 vuotta, kustannusten määrä riippuu olennaisesti käytetystä korkokannasta. Jos 20 vuoden kuluttua realisoituvat tappiot diskontataan nykyhetken korkeaa korkoa käyttäen, kustannukset saadaan näyttämään merkityksettömiltä.

Kustannusten taso riippuu tarkastelunäkökulmasta. Esimerkiksi laatutappioiden kustannus on erilainen käytetäessä metsänomistajan saamaa kantohintaa, puun tehdashintaa tai sahatavarasta saatavaa vientihintaa laskentaperusteena. Eräs laskentaa vaikeuttava tekijä on kuitupuun ja tukkipuun hintasuhde, jonka arvioiminen pitkällä aikavälillä on vaikeaa.

Tätä projektia jatketaan Metsäntutkimuslaitoksessa, jossa pyritään laatimaan laskentamalli korjuuvaurioiden kustannusten laskemiseksi. Tärkeää olisi myös tehdä NSR:n puitteissa sopimus yhteispohjoismaisesta vaurioinventointirutiinista. Vain samaa menetelmää käyttäen voidaan eri maissa saatuja tuloksia verrata keskenään.

4. Automatisointi ensiharvennuksissa

Automatisointi ensiharvennuksissa -osaprojektin tarkoituksena oli kerätä aivoriihiyypisissä kokouksissa ideoita ensiharvennuksessa käytettävien korjuukoneiden toimintojen automatisoimiseksi sekä harvennustyön rationalisoimiseksi.

Suuri osa ryhmätyön tuloksena syntyneistä ideoista ei ole teknisesti toteutettavissa heti. Tällaisia ovat mm. tekoälyn käyttö metsätyökoneen toimintojen ohjauksessa ihmisen apuna sekä automaattiohjauksellinen työkone, joka tietää reaaliaikaisen sijaintinsa sekä puiden sijainnin.

Suurin osa ideoista on toteutettavissa teknisesti jo nyt ja kaupallisestikin lähitulevaisuudessa. Pyörien tai telojen luistonvalvonta, erikseen ajoneuvon rungon suhteen ohjattavat pyörät ja aktiivinen jousitus ovat jo teollisessa tuotannossa. Pienkoneiden kauko-ohjaus, kuormaimen liikkeiden automatisointi, kuvankäsittelytekniikan käyttö joukkokarsinnan ohjauksessa sekä koneen kallistumisen automaattinen korjaus ovat teknisesti mahdollisia.

Kolmantena ryhmänä ovat ideat, joiden toteuttaminen on täysin mahdollista, niin että kyse on ainoastaan niiden soveltamisesta korjuukoneisiin. Metsäkoneen teknisen kunnan seurantajärjestelmä, ohjaamon ergonomiaan liittyvien säätöjen automatisointi sekä kone-elinten ja vaurioaltiin kohteen etäisyyden seuranta ovat jo löytäneet sovellutuksen muilla tekniikan aloilla. Juontovinttureiden kauko-ohjaus on todellisuutta jo tämän päivän puunkorjuussa.

Summary

Multi-tree processing and light technology in first thinnings

The Nordic Council of Ministers provides financial support to forestry research through the Nordic Forest Research Cooperation Committee (SNS). The Nordic Research Council on Forest Operations (NSR) functions under the SNS as a cooperation group for forest technological research. The membership of the NSR is comprised of the Nordic forest technology research organizations.

Studies on thinnings have since 1974 been an important part of NSR cooperation. Data collected in previous studies on thinning has been used as a basis for the NSR project "Multi-tree processing and light technology in first thinnings".

The Department of Forest Technology at the Finnish Forest Research Institute functioned as a leader for the project. Metsäteho, the Work Efficiency Institute and the University of Helsinki, Department of Logging and Utilization of Forest Products in Finland, the Norwegian Forest Research Institute (NISK), the Swedish University of Agricultural Sciences and Skogsarbeten from Sweden, as well as Skovteknisk Institut (SI) from Denmark have participated in the project. The project was divided into the following four sections:

1. Multi-tree processing
2. Light technology machines and methods
3. Evaluation of thinning methods
4. Automation in first thinning

The following is a presentation of the results by section. Detailed reports have been published in the publication series of research institutes.

1. Multi-tree processing

1.1. Possibilities of multi-tree processing

Skogsarbeten in Sweden has done a literature survey on the development of multi-tree processing. Different methods of multi-tree processing have been tried for at least 20 years. The beginning of the 1970s was a time of particularly intense studies. At that time, multi-tree processing of delimiting and felling were studied.

The possibilities for multi-tree processing are affected in particular by the thinning technique used as well as the demands placed on the wood raw material by industry. At least in theory, the following machine types are suitable for multi-tree processing:

- feller-bunchers
- harvester-forwarder equipped with a accumulating felling head
- forwarder equipped with grapple saw, the saw equipped with a device for bucking bunches
- multi-tree delimber
- one-grip harvester
- machine working on the strip road, multi-tree processing mechanically piled stems
- forwarder which delimits bunches by parcels or delimits the load continually during driving
- whole tree chipper

Multi-tree processing raises productivity. The potential increase in productivity with fellers is 5 to 40 %, with two-grip harvesters 30 to 40 % and with one-grip harvesters 50 to 60 %. On landings, productivity is multiplied several times in multi-tree delimiting compared with processing single stems.

At the University of Helsinki, Kaivola (1989) studied through simulation the possibilities for multi-tree processing in the forest. The analysis was based on the contributory factors of timber harvesting, i.e. harvesting environment, the technology utilized and materials to be processed.

The selection of stems to be removed in thinning is based on the physical properties of the stems as well as spacing of the stems. From a multi-tree processing point of view, the choice of stems to be removed should to a greater extent be based on the location of the stems. The potential advantages of multi-tree processing are reduced with tight quality and measurement requirements and improved with a small number of timber assortments.

The effect of harvesting methods and harvesting conditions on time consumption for the various work phases can be studied with the simulator. The central parts of the simulator are the PUUSTO (growing stock) and MENE-TELMÄT (methods) data bases, and the KARTTA (map) graphic user interface.

1.2. Cradle delimber for multi-tree processing

Fixed delimiters which are generally used at the landings may be divided into rake delimiters, flail delimiters, drum delimiters and cradle delimiters. Of these, the drum and cradle delimiters are best suited for delimiting small stems. At the Swedish University of Agricultural Sciences, Dahlin (1989) studied delimiting results, stem wood waste and

productivity with a cradle delimber. Delimiting itself was also analyzed, different delimiting devices were compared and the effects of the structure of the cradle and the speed of the conveyor on delimiting were examined.

The study was carried out using a cradle delimber with an inside width of 4.9 meter. The use of fixed knives, open and joint rollers, as well as hammers as delimiting devices were investigated. During testing, pine and spruce were delimited. The DBH of the pine was an average of 93 mm and that of spruce was 103 mm. Delimiting was interrupted at one-minute intervals and the delimiting results on test logs were noted. When over 75 % of the branch stubs were under 25 mm in length the delimiting was stopped.

Hammers were found to be the best delimiting devices among those studied. The gradient of the conveyor affected delimiting and the best result was achieved at a 30 (degree) incline. The speed of the conveyor also affected the delimiting results and stem wood waste. The optimum speed was about 1.5 m/s. An increase in the delimiting time added to stem wood waste.

13. One-grip harvester in multi-tree processing

Skogsarbeten (Brunberg et al. 1989b) and Metsäteho (Lilleberg 1990) studied multi-tree processing of bunched trees. The Finnish Forest Research Institute also took part in the arrangements for the study. The effect of the feeding system of stems on multi-tree processing was studied using three one-grip harvester devices. With the FMG Lokomo 750 H, feeding is done using four rolls, the Keto 150 has feeding tracks, and the Tapio 400 uses stroke feeding.

When several stems are handled simultaneously, the feeding device must have a secure grip of the bunch. Both productivity and the delimiting result were better with the FMG Lokomo 750 H than with other devices studied. The delimiting result was not faultless even for the Lokomo, as 5 % of the pine stems and 15 % of the spruce stems did not fulfil the Swedish quality requirements for pulpwood.

Productivity was better when the one-grip harvester processed stems from large bunches than when small bunches of 2 to 4 stems were handled. Multi-tree processing of mechanically bunched stems using a processor designed for the purpose has great output potential. The disadvantage is an "extra" machine in the harvesting system. If the quality requirements for pulpwood are not high, this kind of harvesting system may be competitive.

Multi-tree processing raised productivity. Compared with single tree processing, the time consumption per stem decreased by 40 to 60 %. The delimiting result depends on tree species, branchiness, temperature and the harvester device. Skogsarbeten did in Norway a study resulting in only 1 % rejected material, which proved that it is possible to achieve a good delimiting result with multi-tree processing.

The one-grip harvester equipped with an accumulating felling head is generating great interest in developing of multi-tree processing. Skogsarbeten (Brunberg et al.

1989a) examined the suitability of the Valmet 892 one-grip harvester for multi-tree processing. The harvester device used was Valmet 955, which is able to accumulate several stems into its felling head. The machine was studied during the sap period in a spruce stand, and during the winter in a pine stand. The average stem size by tree stand was 0.05 to 0.11 m³.

Multi-tree processing raised the productivity significantly during winter harvesting of pine. Productivity increased by 45 % when two stems were processed simultaneously. Multi-tree processing of three and four stems further increased productivity slightly. The benefits in spruce harvesting during summer were smaller.

The number of multi-tree processed stems depended on the size and number of stems to be removed. In the most suitable stand, an average of 1.9 stems were processed at once. The proportion of multi-tree processed stems was lowest in a spruce stand with a small yield, where an average of 1.1 stems were processed simultaneously.

The quality of the pulpwood was good in the stands studied. A total of 1 to 6 % of the stems were rejected due to a poor delimiting result, and 1 % due to incorrect length.

14. Multi-tree processing studies in Norway

In Norway, NISK (Dale 1989) studied the suitability of three harvesting chains for multi-tree processing.

The average volume of the pines processed with method 1 was 0.04 m³. The FMG 0410 Lillebror bunched an average of 146 stems per effective hour (E_0) to the side of the strip road. The felling head of the machine was able to store one stem, and in 20 % of the work cycles storing was utilized. The Valmet 901/948 one-grip harvester delimited and bucked an average of 2.25 stems per processing time. Time consumption per stem decreased by 50 % when two stems were processed simultaneously. When more than two stems were processed, the time consumption per stem again decreased somewhat. The output per effective hour for the Valmet 901 was 12.2 m³.

The average volume of the pine stems used for method 2 was 0.05 m³. The felling-bunching method was the same as above. The delimiting and bucking was done using a Valmet 705 Pika 36 processor, whose output per effective hour was 9.2 m³. Compared with the normal work of the machine when the machine fells the trees with a felling head, the increase in productivity with multi-tree processing was 200 to 300 %.

In method 3, the stems were bunched either manually or using a Järnhästen Piraya mini skidder to the side of the strip road, and chipped into pulp chips with a Bruks IF 200 chipper. The output of bunching per effective hour was 3.0 to 3.5 m³ manually and 1.6 to 1.9 m³ with the mini skidder. The output per effective hour of the pulp chipper was 4.0 to 4.5 m³ with the average stem size of 0.05 m³. The productivity of the chipper was 10 % greater when chipping stems bunched with the mini skidder due to the larger bunch size.

15. Farm tractors in multi-tree processing

In Finland, the Work Efficiency Institute (Ryynänen & Mutikainen 1990) has been involved in developing multi-tree processing techniques for farm tractors. During the project, three prototype machines were constructed and at the end of 1989, the TEKEVÄ multi-tree processor was ready for serial production.

The processor is mounted to the three-point linkage of the farm tractor. The processor has a hydraulic system of its own. The length of the stroke feed is 1 meter and the stems are bucked with a hydraulic chain saw. The processor has two separate processing lines. The machine can process stems with a maximum diameter of 25 cm and two or three smaller stems can be processed simultaneously. The stems can be processed either butt or top end first.

The machine was studied in a pine stand with 2500 trees/ha. A total of 1000 stems were removed during thinning, i.e. 35 trees/ha. The strip interval was 25 m. The logger cut and bunched the trees. The basic machine was a Valmet 805 farm tractor with a Patu hydraulic loader.

Delimiting and bucking take up 18 % of the effective working time. Bunching and taking trees to the processor took up 40 % of the effective working time. Multi-tree processing increased productivity compared with processing single stems. The machine processed a total of 100 stems with an average size of 0.035 m³ per effective hour, even though the driver was unfamiliar with the working method.

16. Multi-tree processing in Denmark

In Denmark, Skovteknisk Institut (Kofman 1989) has studied the following multi-tree processing techniques:

1. In thinning, the trees are felled with a felling machine and chipped into chips for energy with a self propelled chipper
2. In clear cutting, the trees are felled with a felling machine, transported to a landing with a forwarder and chipped into chips for energy
3. Chips for energy and industrial round wood are produced simultaneously. Multi-tree processing is used at the landing in chipping.
4. Trees are felled with a felling machine, delimited using a bunch delimitter and chipped for raw material for particle board.

Mechanized felling was studied with Kockums 81-11 and Klippmyran feller-bunchers and Kockums 81-11 feller-bunchers equipped with a Silvatec felling head.

The Silvatec felling head is able to store one to three stems. Productivity was 244 stems per effective hour when processing single stems, 325 stems when processing two stems simultaneously, and 461 stems when three stems were processed simultaneously. Processing of three stems at once was successful only seldom.

Chipping was studied both after manual and mechan-

ized felling. The highest productivity in chipping was about 266 stems per effective hour with a tree diameter of about 8 cm. A prototype of a chain delimitter flail was tested for delimiting before chipping. The productivity at the landing was 197 stems per effective hour with a tree diameter of about 10 cm.

The results were collected into a computer program, with which the productivity and costs of logging with different methods can be calculated. The research proved that multi-tree processing resulted in lower costs when harvesting stems with a small diameter.

2. Light technology machines and methods

2.1. Mini skidder and ATV in logging

At the Swedish University of Agricultural Sciences, the basic properties and the suitability for forestry use of mini skidders and ATVs (All Terrain Vehicle) were studied (Nordfjell 1989). The engine power of the machines varied from 4 to 17 kW. The price of the machines was less than 100 000 Swedish Crowns.

In the study, the following machine characteristics were examined: ability to cross obstacles, turning radius, speed, pulling force, ground pressure, steering characteristics and ergonomics. The measurements were made under standardized conditions. The machines were also operated in difficult terrain and on a terrain track.

On the terrain track, the largest load size was 0.7 to 1.3 m³. The average driving speed with the wheeled vehicles was 1.5 to 2.0 m/s and with other machines 0.9 to 1.0 m/s. The speed of the forwarder under comparable conditions would be 1.1 to 1.5 m/s.

There were deficiencies in the ergonomics of the machines. Brushwood and branches may injure the operator of the ATV as a result of the high driving speed. When using mini skidders, the operator walks ahead of the machine, and therefore the controls for stopping the machine should work faultlessly, if the operator stumbles. There was room for improvement in the controls of all tracked skidders. The terrain qualities were good on average; with the exception of one machine, they were all judged as being able to cover 70 to 90 % of the entire range of Swedish forest terrain.

The machinery was suitable for bunching, forest haulage, transport of plants and people, and the larger types of machines also as basic machines for small first thinning processors. The machines are also usable in many ways outside the forestry.

The Work Efficiency Institute studied the suitability of the mini skidders and ATVs in thinnings (Ryynänen 1990). A total of about 250 mini skidders have been sold in Finland, a few dozen of which are used for forest haulage. The mini skidder studied was a Järnhästen 125 equipped with a skidding bunk.

The mini skidder was used for bunching 3 m pulpwood to the side of the strip road. The strip road interval was 25 to 30 m and the bunching distance 20 to 30 m on average. With the mini skidder, the proportion of bucking and

bunching decreased. In normal cutting work, these work phases account for about 63 to 67 % of the total time consumption, but for only about 45 to 53 % when a mini skidder was used. Even though felling of pulpwood was quicker when a mini skidder was used, the time saved did not offset the increase in time consumption resulting from the use of the skidder. The output per effective hour with a skidder was 0.59 to 0.74 m³ and without a skidder 0.74 to 1.14 m³. Load size with a skidder was 0.42 to 0.58 m³.

The mini skidder resulted in extra costs, the size of which is dependent on the annual use. Costs may be reduced for instance through cooperative ownership and use of the machine by several forest owners. If a mini skidder is used from 500 to 1000 hours annually, the extra cost is 15 to 25 marks/hour.

At the end of 1989, there were about 2500 ATVs in Finland, but forestry is not their main usage area. The ATV is suitable for forest use because of its four-wheel drive. Mechanical or hydraulic PTO (Power Take-Off) would increase the applications forestry. The Work Efficiency Institute studied the ATV in forest haulage of first thinnings both under winter and summer conditions. The machine studied was a Honda TRX 350, to which the trailer of the mini skidder was mounted. The trailer held 0.5 m³ of 3 m pulpwood.

The pulling force of the ATV was 0.9 to 3.1 kN, and 2.1 to 3.5 kN with chains. Both in driving loaded and unloaded the driving speed was significantly higher than with a farm tractor. When hauling 3 m pulpwood with a distance of 100 m the output per effective hour was 2.0 m³. When skidding logs a sled was used, and the total load size was only 0.2 m³ and the productivity was lower than in haulage of pulpwood.

22. Felling bench in first thinning

The Work Efficiency Institute examined the use of a felling bench in first thinning of spruce and pine stands (Ryyänänen & Castrén 1990). With the bench, the delimiting height is correct, and moving and bunching is easier. At the end of 1989, about 400 delimiting benches were in use in Finland.

The time study data was collected with three loggers, and work strain was studied with one logger. The test loggers had some experience with the use of the bench. At the work sites studied, 3 m pulpwood was bunched to the side of the strip road. The strip road interval was 25 to 35 m. Ergonomic studies were carried out in the thinning spruce stands using the OWAS working position analysis and by measurement of the pulse, blood pressure, and muscle tension (EMG). During the study, a new method for follow-up of working position and muscle tension simultaneously was developed.

The use of a bench did not significantly affect the contents of cutting. Work planning and choice of stems to be removed was done mainly when moving the bench, and using the bench did not increase planning time. Productivity decreased by 10 to 25 % when using the bench in cutting of pine and spruce. A part of the reason for this

may have been the lack of experience in the use of the bench. The use of the bench speeded up felling of birch with a diameter of over 9 cm somewhat.

The felling bench improved the logger's working position. The stem was at a suitable height for delimiting and bucking. Bunching was easier, since it was possible to move the entire stem by utilizing the felling bench, and the need to move decreased. The easing of the work load affected support and motion organs most. The strain on the heart and circulatory organs was not significantly reduced by using the bench.

23. Using small cutting machines in first thinning

The Finnish Forest Research Institute carried out studies on small cutting machines (Sirén 1990). In the past few years, small cutting machines with a width of about 2 m and net weight of 6000 to 8000 kg have come out on the market. A few years ago the development started with two-grip harvesters, but today sales have focused on one-grip harvesters. The cutting machines studied were the Telakarhu and Nokka Joker two-grip harvesters and the Finntrac one-grip harvester.

Small cutting machines are able to work between the strip roads without significantly deviating from optimal tree selection. When a 30 m strip road spacing is used, the cutting machine opens one or two cutting strips between the forwarding strip roads.

The tree volume yield per hectare and the terrain affected productivity. The highest output per effective hour was 14.0 m³ in last thinning, and the lowest 2.5 m³ in a small-stemmed first thinning stand with much unmerchantable undergrowth.

When a two-grip harvester and processor were studied in the stand, the output per effective hour for the processor was only 0.2 m³ larger than for the harvester. Unmerchantable undergrowth impeded the work of small machines. In some cases it may be economically feasible to clean a stand manually before mechanized cutting.

For purposes of comparison between one- and two-grip harvesters, the machines were studied in a spruce stand where trees were planted in rows. Systematic thinning with two methods was used, where the removal and working space for the machines were different.

The one-grip harvester was more suitable for first thinning of dense stands. Both productivity and harvesting trace were better with the one-grip harvester. Work became more difficult as the working space decreased. The effective time consumption of the one-grip harvester per stem was 60.5 cmin on average with a strip width of 3.8 m, and 67.5 cmin with 2.8 m strip roads.

The average damage percentage was 5.0 in the study stands. The damage percentages were the same for one- and two-grip harvesters. The damage consisted mainly of small superficial stem damage. The study stands had an average of 781 m³/ha of strip roads, and the average strip road width was 3.7 m. A large proportion of the strip roads were cutting strips, the resulting effects of which

are not comparable with those of forwarding strip roads. A good harvesting result is possible with small harvesters; in the comparative study of one- and two-grip harvester, the one-grip harvester caused damage to only 1.0 % of the remaining trees.

3. Evaluation of thinning methods

Damage to the stand, soil and root damage, strip roads and loss of nutrients result in growth losses. Damage to the growing stock results in quality losses. Thinning may also give impetus to wind, snow and insect damage.

With the use of more mechanized methods, interest in the harvesting result has increased. Harvesting result has been studied through extensive inventories in many countries, but it is difficult to compare the results due to different inventory methods. There is also a wealth of research results on the effects of harvesting damage. The overall view of the economic effects of harvesting damage is, however, quite imperfect.

The Finnish Forest Research Institute has carried out a literature survey for background data for evaluation of the economic aspects of harvesting damage. An attempt at describing the consequences of harvesting damage was made primarily on the basis of Nordic research results. The cost calculations for harvesting damage are based on harvesting trace. In order to make it possible to calculate costs, the measurement of the harvesting result should be integrated with the data concerning the consequences of damage.

The economic consequences of harvesting damage are dependent on several factors. When, for instance, a part of the costs for damage of first thinning is apparent only after 50 years, and when the time lapse even between the last thinning and final cutting is often 20 years, the costs are to a great extent dependent on the interest rate used. If today's damage which is realized after 20 years is discounted at today's high rate of interest, the costs can be made to look negligible.

The cost level depends of the point of view. For instance, the cost of quality loss is different depending on the price used as a basis for calculation, whether it is the stumpage price that the forest owner receives or the mill price of the timber, or the export price for the sawn goods. Another factor making calculation difficult is the price relationship between pulpwood and saw logs, which is difficult to evaluate in the long-run.

This project will be continued at the Forest Research Institute, where an attempt will be made to develop a calculation model. It would also be important to arrive at an agreement within the NSR concerning a common Nordic damage inventory routine. Only by using the same method can results be compared.

4. Automation in first thinning

The purpose of the research project Automation in first thinning was to use brainstorming to collect ideas for automation of various functions of machines used in first thinning, and for rationalizing of thinning work.

A large number of the ideas coming out of the brainstorming sessions were found not to be technically feasible immediately. These included utilizing artificial intelligence to help control the functions of the machines, as well as automatically controlled machines with a real time sense of location in the forest and the location of stems.

The major part of the ideas are technically realizable even now, and commercially even in the near future. Slip control of wheels and tracks, as well as active spring suspension are even now in industrial production. Remote control of small machines, automation of the crane movements, utilization image processing for control of multi-tree delimiting, and automatic correction of the machine's tilt are technically possible.

The third group of ideas were of a type that are quite possible to realize, and the only task is to apply them to harvesting machinery. A follow-up system for tracking the technical condition of the machine, automation of the cab seat and control lever adjustments for better ergonomics, and the measurement of the distance between the machine parts and the potential damage spot have already found applications in other fields. Remote control of skidding winches are already a reality in today's timber harvesting.

The problem for thinning is to find harvesting methods that combine a good economic and silvicultural result. The NSR project "Multi-tree processing and light technology in first thinning" dealt with two lines of development, multi-tree processing and the use of lighter and less expensive machinery for first thinning.

The project was divided into four parts. Testing and analytical methods were used in the parts "Multi-tree processing", "Light technology machines and methods" and "Evaluation of thinning methods". Brainstorming sessions were used to collect ideas for the utilization of automation in harvesting. Detailed results of the projects have been presented in the various publication series of the participating research institutes.

Auktorers adresser

Ala-Ilomäki, Jari
Skogsforskningsinstitutet
Avd. för skogsteknologi
Unionsgatan 40 A
SF-00170 HELSINGFORS
Finland

Brunberg, Bengt
Forskningsstiftelsen Skogsarbeten
Box 1184
S-16422 KISTA
Sverige

Castrén, Maija
Arbets effektivitetsföreningen rf.
PL 28
SF-00211 HELSINGFORS
Finland

Dahlin, Bo
Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogsteknik
S-77073 GARPENBERG
Sverige

Dale, Øystein
Norsk Institutt for Skogforskning
Pb 61
N-1432 Ås — NLH
Norge

Jacobsen, Reidar
Norsk Institutt for Skogforskning
Pb 61
N-1432 Ås — NLH
Norge

Kaivola, Auvo
Helsingfors universitet
Institution för skogsteknologi
Unionsgatan 40 B
SF-00170 HELSINGFORS
Finland

Kofman, Pieter D.
Skovteknisk Institut
Amalievej 20
DK-1875 FREDERIKSBERG C
Danmark

Larsson, Mikael
Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogsteknik
S-77073 GARPENBERG
Sverige

Lilleberg, Risto
Metsäteho
PL 194
SF-00131 HELSINGFORS
Finland

Mutikainen, Arto
Arbets effektivitetsföreningen rf.
PL 28
SF-00211 HELSINGFORS
Finland

Myhrman, Dag
Forskningsstiftelsen Skogsarbeten
Box 1184
S-16422 KISTA
Sverige

Nordén, Berndt
Forskningsstiftelsen Skogsarbeten
Box 1184
S-16422 KISTA
Sverige

Nordfjell, Tomas
Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogsteknik
S-77073 GARPENBERG
Sverige

Richardsson, Robin
FERIC
143 Place Frontenac
PTE. Claire, Qué
Canada H9R 4Z7
(Skogsforskningsinstitutet
Avd. för skogsteknologi
Unionsgatan 40 A
SF-00170 HELSINGFORS
Finland)

Ryynänen, Seppo
Arbets effektivitetsföreningen rf.
PL 28
SF-00211 HELSINGFORS
Finland

Sirén, Matti
Skogsforskningsinstitutet
Avd. för skogsteknologi
Unionsgatan 40 A
SF-00170 HELSINGFORS
Finland

Stenseth, Geir
Norsk Institutt for Skogforskning
Pb 61
N-1432 Ås — NLH
Norge

Svenson, Gunnar
Forskningsstiftelsen Skogsarbeten
Box 1184
S-16422 KISTA
Sverige

Tan, Jimin
Helsingfors universitet
Institutionen för skogsteknologi
Unionsgatan 40 B
SF-00170 HELSINGFORS
Finland

Tosterud, Anders
Forskningsstiftelsen Skogsarbeten
Box 1184
S-16422 KISTA
Sverige

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 5331 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 1381

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koeasema
Ojajoki Field Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoeasema
Ruotsinkylä Field Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420



1991

- No 768 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus incana*.
- No 769 Silfverberg, Klaus & Issakainen, Jorma: Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin.
Effects of ash fertilization on forest berries.
- No 770 Lipponen, Katriina: Juurikäävän kantotartunta ja sen torjunta ensiharvennusmetsiköissä.
Stump infection by *Heterobasidion annosum* and its control in stands at the first thinning stage.
- No 771 Selander, Jukka & Immonen, Auli: Lannoituksen vaikutus männyntaimen tuhoalttiuteen tukkimiehentäille.
Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis*.
- No 772 Sirén, Matti (toim.) Flerträdsteknik och skonsamma maskiner i förstagallring. Slutrapport från ett av Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR) genomfört forskningsprojekt, 1987 — 1989.
Puiden joukkokäsittely ja kevyt teknologia ensiharvennuksissa. Yhteispohjoismaisen NSR-projektin loppuraportti, 1987 — 1989.
Multi-tree processing and light technology in first thinnings.
Final report for a research project of the Nordic Research Council on Forest Operations (NSR), 1987 — 1989.