



Matti Sirén



Vesa Tantt

Matti Sirén ja Vesa Tantt

## Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa

**Sirén, M. & Tantt, V.** 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2001: 599–614.

Tutkimuksessa vertailtiin pienten hakkuukoneiden ja korjurin työn tuottavuutta, korjuujälkeä ja työmenetelmiä rämemännikön ensiharvennuksessa. Hakkuukoneilla tutkittiin kahta menetelmävaihtoehtoa. Ensimmäisessä metsäkuljetusurat sijoitettiin ojien päälle ja ojalinjojen keskiväliin. Metsäkuljetusuraväli oli 20 metriä. Hakkuukone työskenteli metsäkuljetusurilla ja tarvittaessa niiltä poikkeavilla pistourilla. Toisessa vaihtoehdossa metsäkuljetusurat sijoitettiin ainoastaan ojien päälle. Metsäkuljetusuraväliksi tuli tällöin 40 metriä. Metsäkuljetusurien väliin sijoitettiin kaksi hakkuu-uraa. Hakkuukone työskenteli metsäkuljetusurilla ja hakkuu-urilla. Korjurilla ajouraväli oli 20 metriä.

Työn tuottavuus hakkuukoneilla oli keskimäärin 8,6–12,5 ja korjurilla 5,0 m<sup>3</sup> tehottunnissa. Hakkuukoneilla työn tuottavuus käytettäessä 20 metrin ajouraväliä oli 9 % korkeampi kuin hakkuu-uramenetelmällä. Hakkuukoneilla vaurioiden osuus jäävän puuston runkoluvusta oli 20 metrin uravälillä 2,7 % ja hakkuu-uramenetelmällä 5,9%. Hakkuu-uramenetelmällä vaurioiden osuus lähellä kapeita hakkuu-uria, joilla vain hakkuukone kulkee, oli 10,0%. Luvut sisältävät myös metsäkuljetuksen vauriot. Korjurilla vaurioitui 2,2 % jäävästä puustosta. Jäävän puuston määrä vastasi kaikilla tutkituilla vaihtoehdoilla ohjeita. Hakkuu-uramenetelmällä jäävä puusto jakautui tasaisemmin kuin 20 metrin uravälillä.

Korjuukustannukset ja korjuujäljen seurauskustannukset sisältävää korjuun kokonaistaloutta verrattiin tutkituilla hakkuukone-kuormatraktoriketjun ajouravaihtoehdoilla. Korjuujäljen kustannukset laskettiin kiertoaajalle. Nyt todetun korjuujäljen oletettiin toteutuvan myös 15 vuoden kuluttua tehtävässä toisessa harvennuksessa. Käytettäessä 20 metrin uraväliä korjuukustannukset olivat 3 685 mk/ha. Puustovaurioiden ja ajourien nykyarvo 3 %:n korolla oli 278 mk/ha. Hakkuu-uramenetelmällä korjuukustannukset olivat 3 855 mk/ha ja korjuujäljen kustannukset vastavasti 196 mk/ha. Hakkuu-uramenetelmän käyttö on perusteltua laadultaan epätasaisissa männiköissä.

Asiasanat: hakkuukone, korjuri, ensiharvennus, korjuujälki, turvemaat, kustannukset  
Yhteystiedot: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa. Puhelin (09) 857 051, sähköposti matti.siren@metla.fi  
Hyväksytty 19.10.2001

## 1 Johdanto

Turvemaiden puunkorjuun ongelmat keskittyvät ensiharvennuksiin. Perusongelmat ovat samat kuin kivennäismaillakin: runkojen pieni koko, alhainen hehtaarikohtainen kertymä ja korjattavan raaka-aineen vähäinen arvo verrattuna korjuukustannuksiin. Lisäongelmia turvemailla aiheuttavat huono kantavuus, ojat ja niiden kunnostustarpeiden huomioon ottaminen. Turvemaihin on investoitu paljon ja tuotto-odotukset ovat suuret. Odotusten toteutuminen edellyttää suoriutumista harvennus- ja kunnostusojitusurakasta.

Högnäs (1997) toteaa turvemaiden puunkorjuun ongelman olevan taloudellinen, ei tekninen. Kehittämistyössä tulee panostaa innovaatioita, joilla korjuun talous pysyy kurissa. Samaan johtopäätökseen on tullut Metsäntutkimuslaitos, jonka turvemaiden puunkorjuun kehittämishanke selvittää vähemmän pääomavaltaisen tekniikan, pienten hakkuukoneiden ja korjurien käytömahdollisuuksia.

## 2 Tutkimustehtävä

Ojitusalueiden ajouraverkkoa suunniteltaessa on otettava huomioon sekä puunkorjuun että kunnostusojituksen tarpeet. Kunnostus- ja täydennysojalijat muodostavat ajouraverkoston rungon. Ojalinjalle tulevat ajourat voidaan sijoittaa joko ojien päälle tai viereen. Ajourien sijoittaminen ojien päälle edellyttää, etteivät ojien koko sekä kantavuus haittaa koneiden liikkumista ja kohde kunnostusojitetaan hakkuun jälkeen.

Tutkimusalueella sarkaleveys oli 40 metriä. Högnäs (1997) ojitusalueille laatiman ajourien sijoittelun päätösmallin ja koalueen olosuhteiden perusteella seuraavat ajourien sijoittelu- ja hakkuumenetelmävaihtoehdot valittiin tutkittaviksi:

- Metsäkuljetusurat sijoitettiin ojien päälle ja ojalinjoiden keskiväliin (metsäkuljetusuraväli 20 metriä). Hakkuukone työskenteli metsäkuljetusurilla ja tarvittaessa niiltä poikkeavilla pistourilla.
- Metsäkuljetusurat sijoitettiin ainoastaan ojien päälle (metsäkuljetusuraväli 40 metriä). Metsäkuljetusurien väliin sijoitettiin kaksi hakkuu-uraa. Hakkuukone työskenteli metsäkuljetusurilla ja hakkuu-uril-

la. Menetelmästä käytetään nimeä hakkuu-uramenetelmä.

Alustakoneen rakenne vaikuttaa korjurin työmenetelmään. Tutkittavaksi valittiin seuraava, tutkimuskoneen kuljettajille tuttu kuormatraktoriperustaiselle korjurille soveltuva menetelmä:

- 1) Ajoura avattiin ohjaamon yli työskennellen, jolloin ajouralla ja sen välittömässä läheisyydessä olevat poistettavat rungot valmistettiin kasoihin uran varrelle. Yksittäisiä taakkoja kuormattiin pohjakuormaksi.
- 2) Kone käännettiin avatun ajouran päässä. Ajourien välialueet hakattiin mahdollisuuksien mukaan ensimmäisessä vaiheessa valmistettujen kasojen yhteyteen ja puutavara kuormattiin. Työskentely tapahtui koneen sivuilla.
- 3) Ajettiin kuormattuna varastolle ja kuorma purettiin.

Tutkimukselle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Selvittää työn tuottavuus ja korjuujälki sekä niihin vaikuttavat tekijät valituilla vaihtoehdoilla.
- Selvittää hakkuumenetelmän vaikutus metsäkuljetukseen vaikuttaviin tekijöihin, kuten ajouranvarsi-tiheyteen, kasojen kokoon ja sijaintiin.
- Vertailla hakkuukone-kuormatraktoriketjun ja korjurin työn tuottavuutta, korjuujälkeä ja liiketyön määrää.
- Tarkastella eri kone- ja menetelmävaihtoehtojen kokonaistaloutta. Korjuun kokonaistaloudella tarkoitetaan korjuun välittömiä kustannuksia lisätynä korjuujäljen seurauskustannuksilla.

## 3 Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

### 3.1 Tutkimuskoneet ja -kuljettajat

Kokeeseen osallistui kolme hakkuukonetta. Sampo Rosenlew 1046X on suunniteltu erityisesti nuorten harvennuseen, sekä Nokka 6 WD että Ässä 810 soveltuvat myös myöhempiin harvennuksiin ja pienirunkoisiin päätehakkuisiin. Metsäkuljetus tehtiin kantavuudeltaan 11 tonnin Ponsse S

**Taulukko 1.** Tutkimuskoneiden tekniset tiedot.

Peruskone	Tyyppi	Sampo Rosenlew 1046X	Nokka 6WD	Ässä 810	Pika 278T
	Massa, kg	7000	11500	10000	-kuormatraktori 12500
	Leveys, mm	2300	2500	2600	2600
Moottori	Tyyppi	Valmet 420 DRS	Perkins 100-4T	Perkins 1006-6T	Perkins 1006-6T
	Teho, kW	73,5	85	114	114
	Voimansiirto	Hydrostaattis- mekaaninen	Hydrostaattinen	Hydrostaattinen	Hydrostaattis- mekaaninen
Kuormain	Tyyppi	Mowi	Logmer 990	Logmer 990	Marttiini
	Ulottuvuus, m	7,2	9,0	9,0	10,0
Hakkuulaite	Tyyppi	Keto 51	Keto 51	Keto 100	Pika 310 -korjuukoura

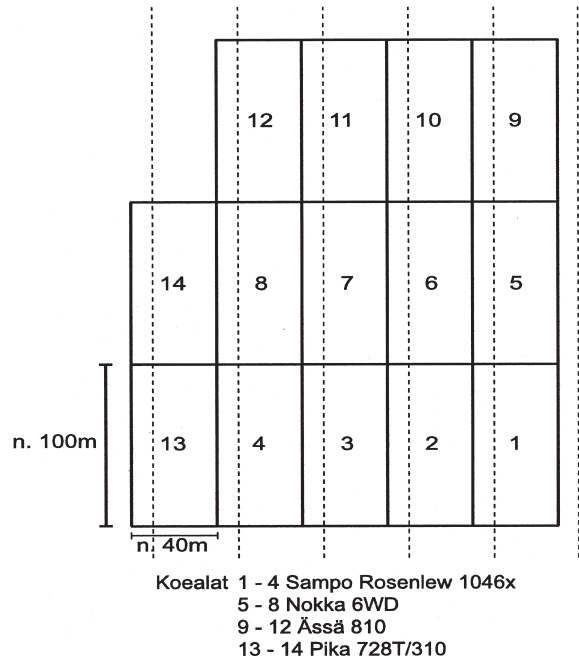
15 Ergo -kuormatraktorilla. Toisena korjuuvaihtoehdona tutkittiin hakkuun ja metsäkuljetuksen suoritettavaa kuormatraktori-perusteista korjuria. Peruskone oli Pika 728T -kuormatraktori, johon oli asennettu Pika 310 -korjuukoura. Tutkimuskoneiden tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.

Kokeessa oli mukana kuusi kuljettajaa. Sampolla (kuljettajat A ja B) ja Pika-korjurilla (kuljettajat E ja F) kuljettajia oli kaksi. Nokalla (kuljettaja C) ja Ässällä (kuljettaja D) oli kummallakin yksi kuljettaja. Kuljettajat A ja D olivat käyttäneet hakkuukonetta alle vuoden. Muilla oli pitempiaikainen kokemus metsäkoneilla työskentelemisestä. Ainoastaan Sampon kuljettajalla B oli hakkuu-uramenetelmästä aiempaa kokemusta.

### 3.2 Tutkimusolot

Tutkimusaineisto kerättiin Polvijärvellä noin 40-vuotiaassa Metsähallituksen rämemännikössä, jossa tehtiin ensiharvennus. Ohutturpeinen, kuivatusvaiheeltaan osin turvekangasta vastaava kuvio, oli metsikön perustamisvaiheessa ojitettu 40 metrin sarkaleveyteen. Tämän jälkeen metsikössä oli suoritettu voimakas taimikonhoito sekä lannoitus. Koealueelle sijoitettiin 14 noin 100 metriä pitkää ja 40 metriä leveää aikatutkimuskoealaa (kuva 1) siten, että koneille ja menetelmille saatiin mahdollisimman vertailukelpoiset olosuhteet.

Koealue oli pohjoiskarjalaiseksi rämemänniköksi



**Kuva 1.** Tutkimustyömaan koealojen sijoittelu. Katkoviiva kuvaa ojalinjaa.

puustoinen ja järeärunkoinen. Tutkimuksessa hakattiin 5,8 hehtaarin pinta-alalta 3039 runkoa, 288 m<sup>3</sup> puutavaraa. Puutavarasta mäntyä oli 88, kuusta 10 ja koivua 2%. Koetyömaan puustotiedot on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Koealojen puustotiedot ennen ja jälkeen harvennuksen sekä tutkimuksessa hakattu puusto.

Kone	Koeala	Puusto ennen harvennusta		Harvennuksessa hakattu puusto				Puusto harvennuksen jälkeen	
		m <sup>3</sup> /ha	runkoa/ha	m <sup>3</sup>	runkoa	m <sup>3</sup> /ha	dm <sup>3</sup> /runko	m <sup>3</sup> /ha	runkoa/ha
Sampo 1046X	1	100	1238	10,1	150	35	67	65	888
	2	142	1371	24,7	296	50	83	92	694
	3	170	1400	31,4	284	61	111	109	782
	4	148	1380	28,5	270	59	105	89	735
	1–4	145	1360	94,6	1000	54	95	91	792
Nokka 6WD	5	145	1415	24,4	272	43	90	102	892
	6	106	1106	14,5	203	33	71	73	636
	7	142	1336	33,6	277	68	121	74	803
	8	133	1327	17,5	155	57	113	76	819
	5–8	133	1304	90,0	907	50	99	83	799
Ässä 810	9	100	1062	7,4	107	26	69	74	652
	10	107	1238	19,7	247	45	80	62	642
	11	120	1150	20,8	196	50	106	70	637
	12	148	1250	19,8	211	48	94	100	604
	9–12	120	1186	67,7	761	44	89	76	696
Pika 728T/310	13	142	1220	21,0	227	46	93	96	716
	14	125	1200	14,9	144	51	104	74	832
	13–14	134	1210	37,9	371	44	102	90	763

Sää- ja lumiolosuhteet vaihtelivat neljäviikkoisen koejakson aikana koneittain seuraavasti:

Kone	Lämpötila, °C	Lumen syvyys, cm	Puiden lumisuus
Sampo	–1	45	Lumeton
Nokka	–12	55	Lumeton
Ässä	–20	60	Luminen
Pika	–10	70	Luminen

### 3.3 Aikatutkimusaineiston keruu ja käsittely

Aikatutkimus tehtiin vertailevana aikatatutkimuksena. Aineisto kerättiin Husky Hunter -tiedonkeruulaitteella Siwork 3 -ohjelmistolla. Työvaiheiden ja puun käsittelypaikan määrittelyssä käytettiin Sirénin (1998) esittämää jaottelua. Aikatutkimuksen yhteydessä kirjattiin liiketyömäärät, joilla tarkoitettiin peruskoneen liikkeitä sekä hakkuulaitteen tai puutavarakouran liikkeitä nosturin tyven suhteen. Liiketyömäärät kerättiin korjurin koealoilta 13 ja 14, hakkuusta Nokan koealoilta 5 ja 6 metsäkuljetuksesta koealoilta 6 ja 8.

Tutkimusaineisto laskettiin SPSS-ohjelmistolla. Tehoajanmenekin laskennassa siirtymisiin, raivamiseen ja järjestelyihin kulunut ajanmenekki koh-

dennettiin saman suuruisena kaikille koealalta hakatuille puille. Hakkuukoneiden ja kuljettajien välinen vertailu tehtiin kaksivaiheisesti. Ensin muodostettiin kuljettajakohtaiset tuottavuusfunktiot hakattujen koealojen runkojen pohjalta. Näin saaduilla funktioilla laskettiin tuottavuudet muille samalla menetelmällä hakattujen koealojen runkolukusarjoille. Menetelmien välinen tarkastelu suoritettiin hakkuukoneilla (Sampo kuljettaja A ja Ässä), joilta kerättiin aineistot sekä 20 että 40 metrin ajouraväleillä.

Pieni aineisto ei antanut mahdollisuuksia työn tuottavuutta kuvaavien yleismallien laatimiseen. Tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä kuvattiin regressiomalleilla, joiden laadinnassa käytettiin valemuuttujatekniikkaa. Valemuuttujatekniikkaa ovat esitelleet mm. Montgomery ja Peck (1992).

Korjurin ja hakkuukone-kuormatranktorikoruuketjun ajanmenekkejä ja liiketyömääriä vertailtiin laskeamalla korjattua puukuutiometriä kohti kulunut työvaiheittainen tehoaika ja liiketyö. Työpisteiden välisten siirtymisten liiketyötä tarkasteltiin korjurilla hakkuun ja metsäkuljetuksen yhteensovittamisen vuoksi yhtenä kokonaisuutena. Tyhjänä- ja kuormattuna-ajossa metsäkuljetusmatkat vakioitiin 250 metriksi.

Hakkuumenetelmän vaikutusta ajouranvarsitihey-

teen, kasojen kokoon ja sijaintiin selvitettiin mitaamalla hakatusta puutavarasta laji, kasan sijainti ja pölkkyjen lukumäärä. Puutavaran määrä mitattiin yhteensä 750 metrin matkalta, jolla oli yhteensä 2007 puutavarapölkkyä 532 kasassa. Tarkastelu rajattiin koskemaan mäntykuitupuuta, jota oli 95 % mitatuista pölkkyistä. Kasaksi määriteltiin samaa puutavaralajia oleva pölkkytuodostelma, jonka työntutkija arvioi kuljettajan nostavan kuormaan yhdellä nosturin kouraisulla.

### 3.4 Korjuujäljen tutkimus

Korjuujälki mitattiin Sirénin (1998) esittämällä menetelmällä, jossa korjuujälki mitataan ajourien reunoille sijoitettavilta, vyöhykkeisiin jaetuilta suorakaiteen muotoisilta koaloilta. Hakkuu-uramenetelmällä metsäkuljetusurien väli oli 40 metriä. Puuston rakenteen selvittämiseksi mitattiin kuusi kolmen metrin levyistä vyöhykettä, jolloin uloin vyöhyke ulottui 18 metrin etäisyydelle metsäkuljetusurasta. Kunkin vyöhykkeen keskeltä mitattiin etäisyys hakkuu-uran keskelle.

Koaloilta mitattiin jäävän puuston ja poistuman määrä, puulajisuhteet sekä puustovaurioiden määrä, laatu ja sijainti. Hakkuuvaiheen jälkeen vauriot merkittiin hakkuun ja metsäkuljetuksen aiheuttamien vaurioiden erittelemiseksi. Vaurio luokiteltiin syvävaurioksi, jos puun kuidut olivat rikkoontuneet. Pintavaurioissa ainoastaan kuori oli irronnut. Ajouratiedot mitattiin koalan kohdalta ajouralta. Ajouraleveys mitattiin SLU-menetelmällä (Björheden ja Fröding 1986). Aineisto käsitti 42 koalalta mitatut 288 mittausvyöhykettä.

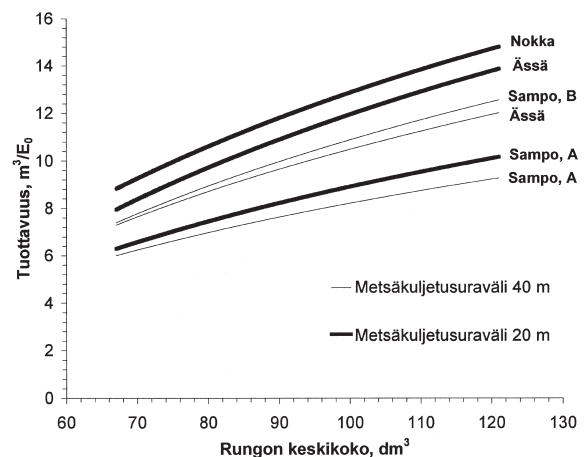
## 4 Tulokset

### 4.1 Työn tuottavuus

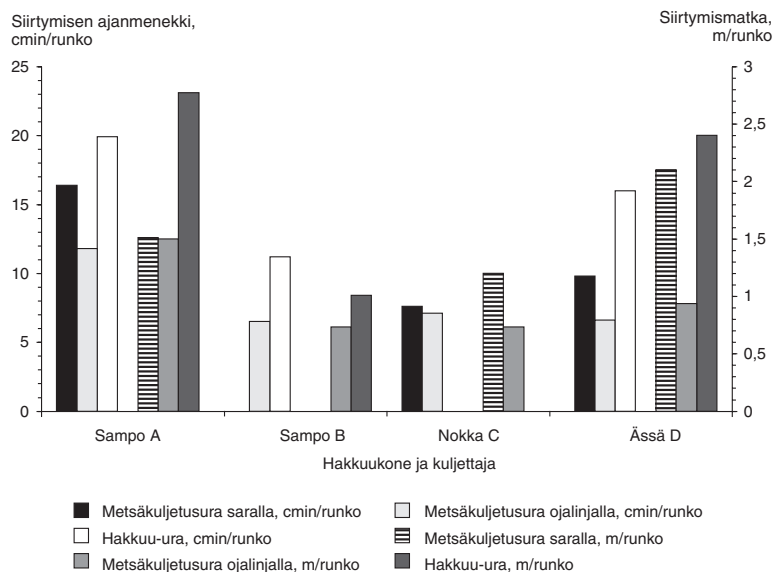
Hakkuun ja korjuun (korjuri) tuottavuudet olivat taulukon 3 mukaiset. Metsäkuljetuksen tehotuntituottavuudeksi ( $E_0$ ) 250 metrin ajomatkaa käytettäessä saatiin koalalla kuusi  $15,6 \text{ m}^3$  ja koalalla kahdeksan  $18,3 \text{ m}^3$ . Hakkuukoneiden tuottavuus rungon koon funktiona esitetään kuvassa 2.

**Taulukko 3.** Hakkuun ja korjuun tehotuntituottavuus ( $E_0$ ). Hakkuumenetelmä 1 = metsäkuljetusurien väli 20 metriä, hakkuumenetelmä 2 = metsäkuljetusurien väli 40 metriä.

Hakkuukone	Koala	Kuljettaja	Hakkuumenetelmä	Hakkuun tehotuntituottavuus runkoa $\text{m}^3$	
Sampo 1046X	1	A	1	97	6,5
	2	A	1	88	7,3
	3	B	2	104	11,5
	4	A	2	82	8,6
	Keskim.	A, B	1, 2	91	8,6
Nokka 6WD	5	C	1	131	11,8
	6	C	1	129	9,2
	7	C	1	115	14,0
	8	C	1	134	15,1
	Keskim.	C	1	126	12,5
Ässä 810	9	D	1	97	6,7
	10	D	1	124	9,9
	11	D	2	103	10,7
	12	D	2	110	10,3
	Keskim.	D	1, 2	110	9,8
Korjuri	Koala	Kuljettaja	Hakkuumenetelmä	Hakkuun tehotuntituottavuus runkoa $\text{m}^3$	
Pika	13	E	1	55	4,9
	14	F	1	49	5,1
	Keskim.	E, F	1	52	5,0



**Kuva 2.** Hakkuun tehotuntituottavuus rungon koon funktiona 20 metrin ja 40 metrin ajouravälillä.



**Kuva 3.** Siirtymisten keskimääräiset ajanmenekit ja siirtymismatkat eri ura-tyypeillä.

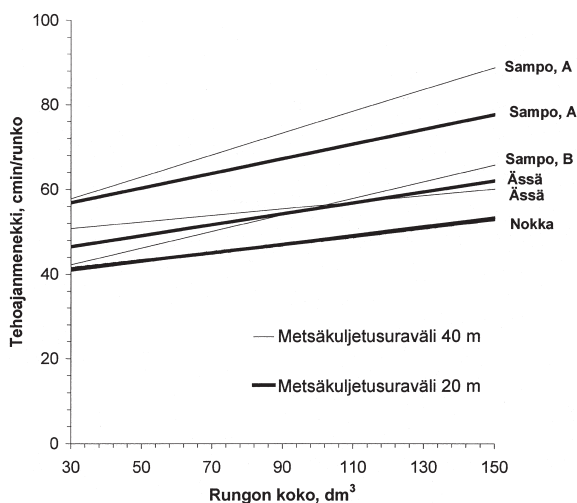
## 4.2 Hakkuukoneiden ajanmenekki ja siihen vaikuttavat tekijät

### 4.2.1 Siirtymisten ajanmenekki

Työpisteiden väliset siirtymismatkat ja siirtymisajat (kuva 3) vaihtelivat työskentelypaikoittain selvästi. Hakkuu-urilla siirtymismatkat ja -ajat olivat suuremmat kuin varsinaisilla ajourilla työskennellessä.

### 4.2.2 Runkokohtainen tehoajanmenekki

Hakkuun tehoajanmenekit rungon koon funktiona 20 metrin ja 40 metrin ajouravälillä esitetään kuvassa 4. Runkokohtainen tehoaika 20 metrin uravälillä oli Nokalla keskimäärin 46,6 cmin, Ässällä 54,2 cmin ja Sampolla kuljettaja A:lla 68,2 cmin. Käytettäessä 40 metrin ajouraväliä runkokohtainen tehoaika Sampoin kuljettaja A:lla oli 72,7 cmin, Ässällä 55,8 cmin ja Sampoin kuljettajalla B 55,5 cmin. Runkokohtaista tehoaikaa kuvattiin valemuuttujamalleilla, joissa perustasoksi valittiin yksi koneista. Valemuuttujilla kuvattiin muutoksen tasoa ja suun-



**Kuva 4.** Rungon koon vaikutus runkokohtaiseen tehoajanmenekkiin. Alla kuvaajien yhtälöt.

taa perustasoon verrattuna. Regressioyhtälöt rungon koon vaikutuksesta runkokohtaiseen tehoaikaan 20 metrin ja 40 metrin uraväleillä esitetään taulukoissa 4 ja 5.

**Taulukko 4.** Runkokohtaista tehoajanmenekkiä kuvaava malli 20 metrin uravälillä työskenneltäessä. Perustaso Nokka 6 WD.

$$y = a + bx + c_1k_1 + c_2k_2 \quad (1)$$

missä

$y$  =runkokohtainen tehoaika, cmin

$x$  =rungon koko, dm<sup>3</sup>

$k_1$  =valemuuttuja=1, jos kone on Ässä, muulloin 0

$k_2$  =valemuuttuja=1, jos kone on Sampo ja kuljettaja A, muulloin 0

$a$  =vakio

$b, c_1, c_2$  =muuttujien kertoimet

Kerroin	Kertoimen estimaatti	Keski- virhe	t-arvo	Pr>[T]
$a$	35,678	0,795	44,851	0,000
$b$	0,127	0,006	21,295	0,000
$c_1$	7,612	0,851	8,941	0,000
$c_2$	21,611	0,861	25,086	0,000
		$n=2396$	$R^2=0,293$	

**Taulukko 5.** Runkokohtaista tehoajanmenekkiä kuvaava malli 40 metrin uravälillä työskenneltäessä. Perustaso Sampo kuljettaja B.

$$y = a + bx + c_1k_1 + c_2k_2 \quad (2)$$

missä

$y$  =runkokohtainen tehoaika, cmin

$x$  =rungon koko, dm<sup>3</sup>

$k_1$  =valemuuttuja=1, jos kone on Ässä, muulloin 0

$k_2$  =valemuuttuja=1, jos kone on Sampo ja kuljettaja A, muulloin 0

$a$  =vakio

$b, c_1, c_2$  =muuttujien kertoimet

Kerroin	Kertoimen estimaatti	Keski- virhe	t-arvo	Pr>[T]
$a$	42,261	1,676	25,219	0,000
$b$	0,139	0,011	12,756	0,000
$c_1$	0,240	1,533	0,157	0,875
$c_2$	17,194	1,679	10,240	0,000
		$n=971$	$R^2=0,214$	

Kone ja menetelmä	Kuvaajan yhtälö	R <sup>2</sup>
Nokka, 20 m:n uraväli	$y = 37,770 + 0,104 \cdot x$	0,194
Ässä, 20 m:n uraväli	$y = 42,616 + 0,129 \cdot x$	0,160
Ässä, 40 m:n uraväli	$y = 48,426 + 0,078 \cdot x$	0,055
Sampo B, 40 m:n uraväli	$y = 36,376 + 0,196 \cdot x$	0,395
Sampo A, 20 m:n uraväli	$y = 51,741 + 0,172 \cdot x$	0,258
Sampo A, 40 m:n uraväli	$y = 57,076 + 0,258 \cdot x$	0,160

Rungon koko oli tärkein runkokohtaisen tehoajan selittäjä. Sekä Ässä että Sampon runkokohtaiset tehoajat erosivat tilastollisesti merkitsevästi perustasona olleesta Nokasta. Sampon taso oli 21,6 cmin perustasona alempi. Erot voivat kuitenkin johtua yhtä hyvin kuljettajista kuin koneistakin.

Tulos kuvaa kuljettajan suurta vaikutusta kone-työn tuottavuuteen. Ässä ei eronnut tehoajamenekiltään perustasona olevasta Sampon kuljettajasta B. Sen sijaan Sampon toisen kuljettajan A tasoero kuljettajaan B oli 17,2 cmin.

#### 4.2.3 Työskentely- ja käsittelypaikan vaikutus tehoajamenektiin

Työskentelypaikan vaikutusta runkokohtaiseen tehoajamenektiin verrattiin Sampolla (kuljettaja A)

ja Ässällä, joilta oli aineistoa eri uravaihtoehdoista. Työskentelypaikan vaikutusta runkokohtaiseen tehoajamenektiin esittää taulukossa 6 esitettävä malli.

Hakkuu-uralla työskentely oli sekä Sampolla että Ässällä hitaampaa ja työskentely ojalinjalla nopeampaa kuin työskentely saralla. Sampon kuljettaja A ja Ässäin kuljettaja eivät olleet ennen koetta työskennelleet hakkuu-uramenetelmällä. Työskentelypaikan vaikutusta selvitettiin myös hakkuu-uramenetelmällä aiemmin työskennelleen Sampon kuljettajalla B, joka työskenteli kokeessa vain 40 metrin uravaihtoehdolla. Sampon kuljettajalla B kovarianssianalyysin (kovariaattina rungon koko) jälkeisessä runkokohtaisten tehoajien sovitettujen keskiarvojen vertailussa ojalinjalla työskentely ja hakkuu-uralla työskentely erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Runkokohtaisen tehoajan sovitettu keskiarvo ojalinjalla oli 55,4 cmin, hakkuu-uralla vastaavasti 59,4 cmin. Tulos tukee muilta kuljettajilta saatua tulosta.

Työskentelypaikan, puun sijainnin ja käsittelypaikan vaikutusta tutkittiin Sampon kuljettajalla A. Puut jaettiin työskentelypaikoittain (sarka, ojalinja, hakkuu-ura) urapuihin, uran sivulta otettuihin puihin, jotka käsiteltiin ottopuolella uraa sekä sivulta

**Taulukko 6.** Työskentelypaikan vaikutus runkokohtaiseen tehoajanmenekkiin. Perustasot Sampon kuljettaja A ja työskentely saralla.

$$y = a + bx + c_1u_1 + c_2u_2 + d_1k_1 + d_2k_1u_1 + d_3k_1u_2 \quad (3)$$

missä

$y$  = runkokohtainen tehoaika, cmin

$x$  = rungon koko, dm<sup>3</sup>

$u_1$  = valemuuttuja = 1, jos ura on ojalinjalla, muulloin 0

$u_2$  = valemuuttuja = 1, jos ura on hakkuu-ura, muulloin 0

$k_1$  = valemuuttuja = 1, jos kone on Ässä, muulloin 0

$a$  = vakio

$b, \dots, d_3$  = muuttujien kertoimet

Kerroin	Kertoimen estimaatti	Keski- virhe	t-arvo	Pr> T
$a$	55,182	1,265	43,625	0,000
$b$	0,160	0,009	18,771	0,000
$c_1$	-5,058	1,469	-3,443	0,001
$c_2$	8,918	1,816	4,912	0,000
$d_1$	-13,932	1,581	-8,813	0,000
$d_2$	-21,699	1,466	-14,801	0,000
$d_3$	-1,740	1,751	-0,994	0,321
		$n = 1492$	$R^2 = 0,322$	

**Taulukko 7.** Saralle ja ojalinjoiden päälle sijoitetuilta metsäkuljetusurilta sekä hakkuu-urilta hakattujen puiden suhteelliset osuudet hakkuumenetelmittain.

Kone	Osuus hakatuista rungoista, %			
	Ajouraväli 20 m		Ajouraväli 40 m	
	Metsäkuljetus- ura saralla	Metsäkuljetus- ura ojalinjalla	Hakkuu- ura	Metsäkuljetus- ura ojalinjalla
Sampo 1046X	50	50	42	58
Nokka 6WD	52	48	-	-
Ässä 810	54	46	52	48

otettuihin puihin, jotka vietiin uran yli. Tarkasteltavaksi saatiin yhdeksän luokkaa. Puun sijainnin ja käsittelypaikan vaikutusta runkokohtaiseen tehoajaan tutkittiin kovarianssianalyysillä rungon koon ollessa kovariaattina ja sovitettujen keskiarvojen parittaisilla vertailuilla. Ainostaan hakkuu-uralla työskenneltäessä yli uran viedyt puut erosivat tilastollisesti merkittävästi perustasoksi asetetusta saralla olevasta urapuusta 5%:n merkitsevyydestä käytettäessä. Hakkuu-urilla yli uran vietyjen puiden

runkokohtainen tehoajanmenekki oli lähes 15 cmin suurempi kuin saralla olevilla urapuilla.

Käytettäessä 20 metrin ajouraväliä hakatut puut jakautuivat tasaisesti ojalinjoille ja saralle. Käytettäessä 40 metrin metsäkuljetusuraväliä ja hakkuu-uria pysyivät eri uratyypeiltä hakattujen puiden suhteelliset osuudet Ässällä saman suuruisina. Sampolla ojalinjalta hakattujen puiden suhteellinen osuus lisääntyi selvästi. Eri uratyypeiltä hakattujen puiden suhteelliset osuudet esitetään taulukossa 7.

Hakattaessa 20 metrin ajouravälillä kaikilla hakkuukoneilla jouduttiin tekemään pistoja välialueen hakkaamiseksi. Pistojen tarve oli suurin lyhimmän ulottuvuuden omaavalla Sampolla. Nelipyöräisellä pienellä koneella pistojen tekeminen oli hankalampaa ojalinjalla kuin saralla. Sarkaleveys oli suurimmillaan 46 metriä. Tämä leveys todettiin liian suureksi hakkuu-uramenetelmälle.

### 4.3 Hakkuumenetelmän vaikutus ajouranvarsitiheyteen

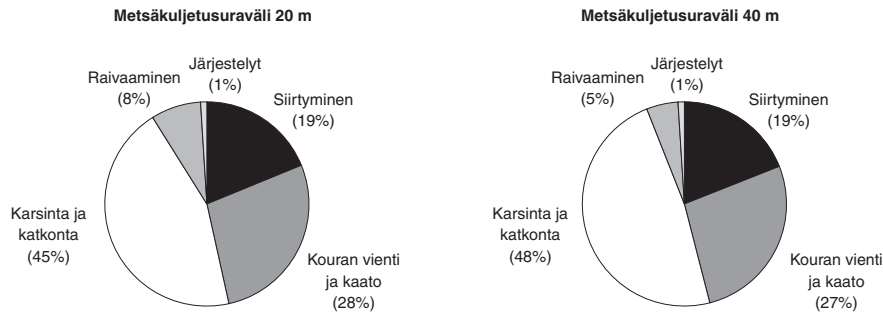
Taulukossa 8 on esitetty mäntykuitupuupölkkyjen hakkuukertymä ja puutavaran ajouranvarsitiheys eri hakkuumenetelmillä. Koealat olivat kertymiltään vertailukelpoisia.

Hakkuumenetelmän vaikutus kasojen keskikokoon oli vähäinen. Käytettäessä 20 metrin metsäkuljetusuraväliä kasojen keskikoko Sampolla oli 4,3 pölkkyä, Ässällä 4,1 pölkkyä ja Nokalla alhaisesta uranvarsitiheydestä huolimatta 6,1 pölkkyä. Nokalla kasojen suuri koko oli seurausta kuljettajan järjestelmällisestä työskentelytekniikasta. Hakkuu-ura-

**Taulukko 8.** Mäntykuitupuun hakkuukertymät sekä ajouranvarsitiheydet menetelmittain ja -koneittain. Menetelmä 1 = ajouraväli 20 metriä. Menetelmä 2 = ajouraväli 40 metriä.

Kone	Menetelmä	Hakkuukertymä, pölkkyä/ha	Ajouranvarsitiheys	
			pölkkyä/100 m	kasaa/100 m
Sampo 1046X	1	1176	235	56
	2	1122	543	104
Nokka 6WD	1	765	153	25
	Ässä 810	1	985	195
2		794	317	72





Kuva 5. Tehoajan jakautuminen hakkuukoneilla.

menetelmällä kasojen keskikoko Sampolla oli 4,3 pölkkyä ja Ässäällä 4,4 pölkkyä. Kasojen keskimääräinen etäisyys ajouran keskilinjasta oli Sampolla 20 metrin uravälillä hakattaessa 4,4 m ja 40 metrin uravälillä 4,9 m. Ässäällä kasojen etäisyydessä ei ollut eroa menetelmien välillä.

#### 4.4 Hakkuukoneiden tehoajan jakautuminen

Hakkuukoneiden tehoaika jakautui kuvan 5 mukaisesti. Raivaukseen käytettiin keskimäärin 2,6 cmin/runko. Raivausaika oli 20 metrin uravälillä keskimäärin 3,2 ja 40 metrin uravälillä 1,7 cmin/runko. Ässän kuljettaja käytti raivaamiseen selvästi eniten aikaa. Hakattujen puutavarapölkkyjen ja hakkuutähteiden järjestelemisen ajanmenekki oli keskimäärin 0,5 cmin/runko vaihdellen kuljettajittain ja uratyypeittäin välillä 0,1–2,3 cmin/runko. Järjestelemiseen käytettiin 20 metrin uravälillä keskimäärin 0,4 ja 40 metrin uravälillä 0,7 cmin/runko. Järjestelemiseen käytetyt ajat olivat suurimmat Sampon kuljettajilla.

#### 4.5 Korjurin ajanmenekkiin vaikuttavat tekijät puutavaran valmistuksessa

Korjurin ajanmenekki muodostuu sekä hakkuuseen että metsäkuljetukseen kuuluvista työvaiheista. Lisäksi aikaa kuluu työvaiheisiin (työpisteiden väliset siirtymiset, järjestelyt ja raivaaminen), joita ei voida suoraan kohdistaa kummallekaan päätyövaiheelle. Kokonaisajanmenekin kannalta onkin tärkeää yh-

#### Taulukko 9. Puutavaran valmistuksen tehoajanmenekki korjurilla. Perustaso uran sivuilta otetut puut.

$$y = a + bx + cu \quad (4)$$

missä

$y$  = puutavaran valmistuksen runkokohtainen tehoaika, cmin

$x$  = rungon koko, dm<sup>3</sup>

$u$  = valemuuttuja, jos puu on urapuu, muulloin 0

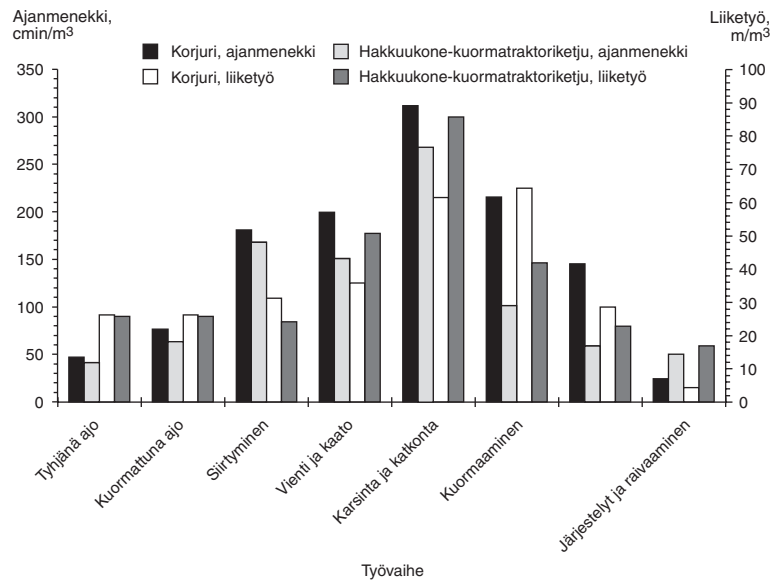
$a$  = vakio

$b$  ja  $c$  = muuttujien kertoimet

Kerroin	Kertoimen estimaatti	Keski- virhe	t-arvo	Pr>[T]
$a$	28,226	2,430	11,615	0,000
$b$	0,289	0,026	11,350	0,000
$c$	-3,836	2,239	-1,713	0,088
		$n = 379$	$R^2 = 0,254$	

teensovittaa työvaiheet siten, että saadaan ajanmenekin ja liiketyömäärien kannalta paras mahdollinen työskentelyjärjestys.

Puutavaran valmistuksessa (korjuukouran vienti puulle, kaato, karsinta ja katkonta) ajanmenekin keskeinen selittäjä oli rungon koko. Rungot jaettiin uraa avattaessa valmistettuihin (urapuut ja aivan uran reunoilla sijaitsevat puut) sekä takaisin tultaessa uran sivuilta valmistettuihin runkoihin. Valmistuksen ajanmenekkiä kuvasi taulukossa 9 esitettävä yhtälö. Ottoetäisyys uraa avattaessa oli keskimäärin 1,6 metriä ja uraa takaisin palattaessa 6,7 metriä. Urapuiden käsittely oli nopeampaa kuin uran sivulta otettujen puiden. Syynä tähän olivat erot ottoetäisyyksissä.



**Kuva 6.** Korjurin ja hakkuukone-kuormatraktorikoruuketjun tehoaikojen ja liiketyömäärien jakautuminen työvaiheittain.

#### 4.6 Korjuumenetelmien ajanmenekkien ja liiketyömäärien vertailu

Puutavarakuutiometriä kohti käytetty tehoaika oli korjurilla 1 193 cmin ja hakkuukone-kuormatraktoriketjulla 902 cmin. Liiketyön määrä korjurilla oli 309 m/m<sup>3</sup> ja korjuuketjulla 326 m/m<sup>3</sup>. Tästä tehollista liiketyötä (hakkuulaitteen tai puutavarakouran liikuma matka) korjurilla oli 70 % ja korjuuketjulla 74 %. Työvaiheiden ajanmenekit (cmin/m<sup>3</sup>) ja liiketyön määrät (m/m<sup>3</sup>) esitetään kuvassa 6.

Erot tyhjänä- ja kuormattuna-ajon ajanmenekkeissä selittyvät osin korjurin kuormatraktoria pienemmällä kuormakoolla. Korjurilla kuorman keskikoko oli 8,6 m<sup>3</sup>, kuormatraktorilla vastaavasti 9,1 m<sup>3</sup>. Puiden kaato, karsinta ja katkonta oli hakkuukoneilla nopeampaa kuin korjurilla. Taakan keskikoko kuormattaessa oli korjurilla 155 dm<sup>3</sup> ja kuormatraktorilla 298 dm<sup>3</sup>. Purkamisessa vastaavat taakan koot olivat 289 dm<sup>3</sup> ja 492 dm<sup>3</sup>. Taakkakoon erot näkyivät myös ajanmenekkieroina korjurin ja kuormatraktorin välillä.

Kuormausvaiheen taakkakokojen erot selittyivät osin kasojen kokoeroilla. Hakkuukoneen jäljiltä ka-

sat olivat suurempia kuin korjurilla. Purkamistaakkojen kokoero johtui lähes yksinomaan puutavarakouran ja korjuukouran rakenne-eroista. Korjuukouralla myös yksittäisten puiden poimiminen kuormasta oli hankalampaa kuin puutavarakouralla. Puutavaralajien määrän lisääntymisen voidaankin olettaa vaikuttavan korjurilla tuottavuuteen metsäkuljetuksessa enemmän kuin kuormatraktorilla.

Liiketyön määrä puutavaran valmistuksessa oli hakkuukoneella suurempi kuin korjurilla, vaikka ajanmenekki hakkuukoneella oli pienempi. Tämä johtui hakkuukoneen erilaisesta työskentelytekniikasta kuormatraktoriperustaiseen korjuriin verrattuna sekä hakkuulaitteen korjuukouraa suuremmasta nopeudesta puulle viennissä ja kaadetun puun siirtelyssä. Korjuri valmisti sivulta otetut puut poikkeuksetta ottopuolelle uraa, kun taas hakkuukone vei osan puista uran yli. Korjurin metsätraktoria suurempi liiketyön määrä kuormaamisessa ja purkamisessa johtui pienemmästä taakkakoosta.

## 4.7 Korjuujälki

### 4.7.1 Puustovauriot ja ajourat

Puustovaurioiden määrä laskettiin vauriopuiden määränä, runkoa/ha, ja vauriopuiden osuutena jäävän puuston runkoluvusta, vaurioprocentina. Koko tutkimusaineistossa vaurioprocentti oli keskimäärin 3,5. Vaurioituneita puita oli keskimäärin 23 hehtaarilla. Keskimääräinen vaurioprocentti hakkuukoneketjulla oli 3,6 ja korjurilla 2,2. Hakkuukoneketjun vaurioprocentti 20 metrin ajouravälillä oli 2,7 ja hakkuu-uramenetelmällä 5,9. Vaurioprocentit ja vaurioiden määrät/ha koneittain ja työmenetelmitäin esitetään taulukossa 10.

Kaikki tutkimuksessa todetut vauriot olivat runkoon kohdistuneita pintavaurioita. Vaurioiden pinta-ala oli keskimäärin 24 cm<sup>2</sup>. Vauriopuut sijaitsivat keskimäärin 7,4 metrin etäisyydellä ajouran keskeltä. Vauriot sijaitsivat keskimäärin 2,8 metrin korkeudella rungossa.

Hakkuu-uratyöskentelyn vaikutusta puustovaurioiden määrään tutkittiin vertailemalla korkeintaan kahden metrin etäisyydellä hakkuurasta sijaitsevia vyöhykkeitä kauempana oleviin vyöhykkeisiin. Alle kahden metrin etäisyydellä hakkuu-uran keskeltä olevat vyöhykkeet sijaitsevat enintään 3,5 metrin päässä hakkuu-uran keskeltä. Tällä alueella vaurioprocentti Sampolla oli 10,0, kun se muualla oli 4,2. Vastavat vauriopuiden osuudet Ässällä olivat 10,4 % ja 4,4 %. Vauriomäärät sisältävät myös metsäkuljetuksen vauriot. Yhdenmukainen tulos osoittaa hakkuu-uratyöskentelyn vaurioriskin ajouralta työskentelyyn verrattuna. Hakkuu-urilla työtila on pieni. Toisaalta puita, jotka sijaitsevat hakkuu-urien välissä, joudutaan siirtämään hakkuu-uran yli metsäkuljetuskoneen ulottuville. Puiden siirtely sisältää vaurioriskin.

Hakkuukoneiden aiheuttamat vauriot merkittiin ennen metsäkuljetusta. Korjuuketjun vauriot jaettiin hakkuun ja ajon osalle. Korjurin osalta vaurioiden erittely hakkuun ja ajon osalle perustui työn tutkijan arvioon. Korjuuketjulla 76,5 % vaurioista syntyi hakkuussa ja 23,5 % metsäkuljetuksessa. Vaurion aiheuttivat puu kaadettaessa tai käsitellessä (osuus kaikista vaurioista 41,1 %), hakkuulaitte (35,3 %), nosturi (11,8 %) ja puutavara kuormattaessa (11,8 %). Korjurilla kaikki vauriot syntyivät hakkuuvaiheessa puuta kaadettaessa.

**Taulukko 10.** Hakkuukoneketjun vauriomäärät eri hakkuumenetelmillä. Menetelmä 1 = metsäkuljetusurien väli 20 metriä. Menetelmä 2 = metsäkuljetusurien väli 40 metriä.

Hakkuukone	Menetelmä	Vauriopuita	
		%	kpl/ha
Sampo 1046X	1	3,0	10,3
Sampo 1046X	2	5,9	18,5
Nokka 6WD	1	2,3	17,4
Ässä 810	1	3,6	31,3
Ässä 810	2	5,9	27,8

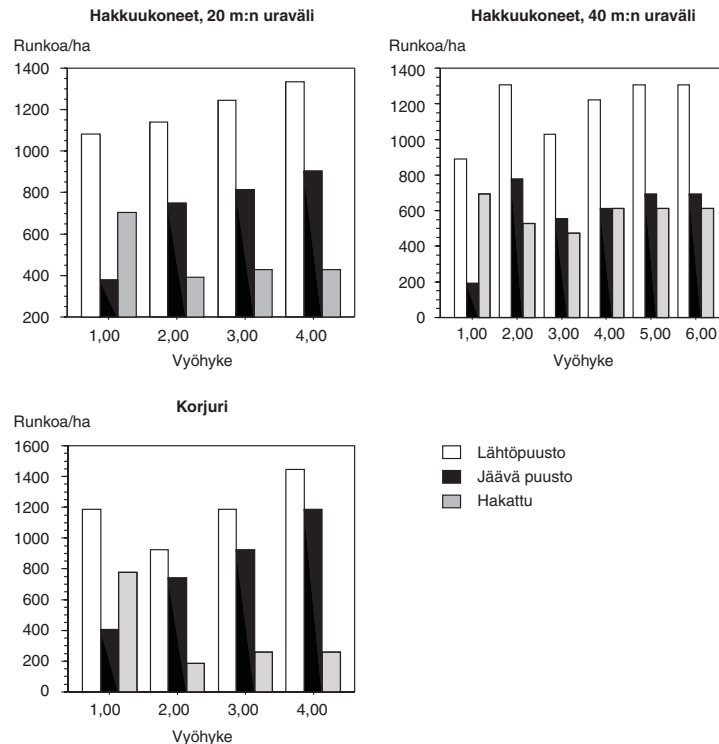
Ojalinjoille oli ohjeena avata vähintään 4,5 metrin ura työtilan saamiseksi tulevassa kunnostusojituksessa käytettävälle kaivinkoneelle. Ojien päälle avattujen metsäkuljetusurien leveys oli keskimäärin 6,3 metriä ja saralle avattujen 4,6 metriä. Saralla olleiden urien leveys kuvaa todellista uran leveystarvetta metsäkuljetusta ajatellen. Koneiden raitteenmuodostus oli vähäistä. Turve ei ollut roudassa, mutta lumi suojasi maaperää. Metsäkuljetuksessa syntyi vähäistä painumaa ainoastaan muutamaani kohtiin ojalinjoille.

### 4.7.2 Jäävän puuston ja poistuman rakenne

Jäävän puuston ja poistuman rakenne ovat korjuujäljen keskeisiä tekijöitä. Hakkuu-uramenetelmän tavoitteena on, että hakkuu-ura on niin kapea, ettei se vaikuta hakkuu-ura alueen puuston määrään. Aiempi nimitys ”haamu-ura” kuvasi uran näkymättömyyttä. Jäävän puuston rakenne hakkuukoneilla ja korjurilla eri menetelmävaihtoehdoilla esitetään kuvassa 7.

Käytettäessä 20 metrin uraväliä jäävän puuston määrä kasvoi uralta pois päin siirryttäessä sekä korjurilla että hakkuukoneilla. Hakkuu-uramenetelmällä jäävän puuston määrä oli tasaisempi. Vyöhykkeiden 1 alhainen jäävä puusto johtuu siitä, että osa urista oli kunnostettavien ojien päällä.

Puuston määrää alle kahden metrin etäisyydellä hakkuu-urista verrattiin muuhun ajouravyöhykkeiden ulkopuoliseen puustoon. Sampolla puita oli hakkuu-ura-alueilla keskimäärin 750 runkoa/ha ja muualla ajourien ulkopuolella 708 runkoa/ha. Vas-



**Kuva 7.** Puuston rakenne eri menetelmävaihtoehdoilla. Lähtöpuusto, jäävä puusto ja hakattu puusto eri vyöhykkeillä. Vyöhykkeiden etäisyydet uran keskeltä: vyöhyke 1: 0–3 m, vyöhyke 2: 3–6 m, vyöhyke 3: 6–9 m, vyöhyke 4: 9–12 m, vyöhyke 5: 12–15 m ja vyöhyke 6: 15–18 m.

taavat määrät Ässällä olivat 556 runkoa/ha ja 627 runkoa/ha.

Jäävän puuston ja poistuman rakennetta tarkasteltiin vertaamalla jäävien ja poistettujen puiden läpimittoja. Koko tutkimusaineistossa jäävien puiden rinnankorkeusläpimitta oli keskimäärin 15,5 cm ja poistettujen 13,7 cm. Käytettäessä 20 metrin uraväliä jäävien puiden rinnankorkeusläpimitta oli keskimäärin 15,2 cm ja poistettujen 13,3 cm. Hakkuu-uramenetelmällä vastaavat keskiarvot olivat 16,3 cm ja 14,5 cm.

#### 4.8 Korjuujäljen taloudelliset vaikutukset ja kokonaistalous

Kokko ja Sirén (1996) ovat esittäneet laskentaoh-

jelman ajourien, urapainumien ja puustovaurioiden aiheuttamien kasvu- ja laatutappioiden laskentaan. Laskentaohjelmalla verrattiin korjuujälkeä 20 metrin uraväliin perustuvalla menetelmällä ja hakkuu-uramenetelmällä. Leimikon oletettiin olevan puhdas männikkö. Metsäkuljetusurien leveytenä käytettiin saralla sijainneiden urien leveyttä, joka oli keskimäärin 4,6 metriä.

Vertailtavina olivat seuraavat vaihtoehdot:

- 1) Ajouraväli on 20 metriä, uraleveys 4,6 metriä ja urapainumia ei ole. Toisessa harvennuksessa käytetään ensiharvennuksen ajouria. Vauriopuiden osuus molemmissa harvennuksissa on 2,7%.
- 2) Hakkuu-uramenetelmä, jossa ajouraväli on 40 metriä. Urapainumia ei ole. Myös toinen harvennus tehdään hakkuu-uramenetelmällä. Vauriopuiden osuus molemmissa harvennuksissa on 5,9%.

3) Hakkuu-uramenetelmä ensiharvennuksessa. Toisessa harvennuksessa avataan metsäkuljetusurien väliin uusi 4,6 metriä leveä ura, jolloin uraväliksi tulee 20 metriä. Urapainumia ei ole. Vaurioiden osuus on ensiharvennuksessa 5,9 % ja toisessa harvennuksessa 2,7 %.

Vaurioiden laatu ja pinta-alat vastasivat tutkimuksessa todettuja. Mäntykuitupuulle annettiin hinnaksi 90 mk/m<sup>3</sup> ja mäntyukille 275 mk/m<sup>3</sup>. Tappioiden nykyarvot laskettiin 3 %:n korolla. Seuraukustannukset eri vaihtoehdolla esitetään taulukossa 11. Metsikön käsittelyn oletettiin tapahtuvan seuraavasti:

Käsittely	Ikä, a	Lähtöpuusto, r/ha	Jäävä puusto, r/ha	Kasvu, m <sup>3</sup> /a
1. harvennus	40	1193	676	5,5
2. harvennus	55	676	400	4,5
Päätehakkuu	80	400		

Menetyksen nykyarvon laskentakorko vaikuttaa voimakkaasti seuraukustannusten arvoon. Jos korkoprosentti olisi 0, seuraukustannukset menetelmällä 1 olisivat 695,91 mk/ha, 368,19 mk/ha menetelmällä 2 ja 467,79 mk/ha menetelmällä 3.

Hakkuumenetelmien kokonaistaloutta vertailtiin yhdistämällä korjuukustannukset ja korjuujäljen seuraukustannukset. Korjuukustannukset laskettiin Sampolle ja keskikokoiselle metsätraktorille seuraavin oletuksin:

- Sampon tuntikustannus 300 mk
- metsätraktorin tuntikustannus 300 mk
- metsäkuljetusmatka 250 m
- rungon koko 100 dm<sup>3</sup>, kertymä 50 m<sup>3</sup>/ha
- Sampon käyttötuntituottavuus (E<sub>15</sub>) 20 metrin uravälillä 5,8 m<sup>3</sup> ja 40 metrin uravälillä 5,3 m<sup>3</sup>
- metsäkuljetuksen ajouranvarsitiheys 20 metrin uravälillä 10 m<sup>3</sup>/100 m ja 40 metrin uravälillä 20 m<sup>3</sup>/100 m
- metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuus (E<sub>15</sub>) 20 metrin uravälillä 13,5 m<sup>3</sup> ja 40 metrin uravälillä 14,6 m<sup>3</sup>.

Korjuukustannuksiksi saatiin 20 metrin uravälillä 74 mk/m<sup>3</sup> ja hakkuu-uramenetelmällä 77 mk/m<sup>3</sup>. Hehtaarikohtaiset korjuukustannukset olivat vastaavasti 3 685 mk ja 3 855 mk. Kun korjuujäljen kustannukset laskettiin mukaan, hehtaarikohtaiseksi kus-

## Taulukko 11. Korjuujäljen seuraukustannukset (mk/ha) kiertoaikana eri vaihtoehdoilla.

Seuraukustannusten aiheuttaja	Korjuujäljen seuraukustannukset, mk/ha		
	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Ajourat	272,11	136,05	187,04
Puustovauriot	5,62	12,04	8,63
Yhteensä	277,73	148,09	195,67

tannukseksi saatiin 20 metrin uravälillä 3 963 mk ja hakkuu-uramenetelmällä (toisessa harvennuksessa käytetään 20 metrin ajouraväliä) 4 052 mk.

## 5 Tulosten tarkastelu

Työn tuottavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuvattiin regressiomalleilla valemuuttujatekniikkaa käyttäen. Malleilla esitettiin työn tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä aineistossa, joka varsinkin konekohtaisesti oli pieni. Konetyön tuottavuutta luotettavasti kuvaavien yleismallien laatimiseen aineisto oli riittämätön. Tuloksia ei pidä käyttää konemerkkien vertailuun, sillä kuljettajan merkitys työn tuottavuuteen on suuri (Sirén 1998). Sen sijaan työmenetelmien vertailuun aineisto antoi mahdollisuuksia. Näihin vertailuihin valemuuttujatekniikka, jossa valemuuttujilla kuvataan muutoksen määrä ja suunta perustasoon verrattuna, soveltui hyvin. Hakkuukoneiden kuljettajista vain yksi oli aiemmin työskennellyt hakkuu-uramenetelmällä. Kuljettajien kokeamattomuus hakkuu-uramenetelmästä on saattanut korostaa työmenetelmien välisiä eroja.

Hakkuukoneiden työn tuottavuus tutkimusleimikolla vaihteli koneittain ja menetelmittäin välillä 82–131 runkoa/tehotunti ja 6,5–15,1 m<sup>3</sup>/tehotunti. Tuottavuuslukuja tarkasteltaessa on otettava huomioon tuottavuuden riippuvuus kuljettajasta. Sampon kuljettajalla B tuottavuus hakkuu-uramenetelmää käytettäessä oli lähes 30 % suurempi kuin kuljettajalla A.

Konemerkkejä vertailtaessa on muistettava erot koneiden hinnoissa ja tuntikustannuksissa. Korkeimman tuottavuuden saavuttanut Nokka 6 WD on

kallein ja Sampo halvin mukana olleista hakkuukoneista. Konemerkkien kustannusvertailuja ei tehty, koska samanaikaisesti käynnissä olevat hankkeet (Ryynänen 2000) tuovat lisätietoa tuntikustannuksiin vaikuttavista tekijöistä.

Tutkimuksessa todetut työn tuottavuudet olivat korkeita. Runkokohtaiset tehoajat olivat pienemmät kuin Sirénin (1990) ja Mäkelän (1990b) tutkimilla pienillä hakkuukoneilla (1990) ja lähellä keskikokoisten hakkuukoneiden tehoajanmenekkitasoa 1990-luvun alkupuolella (Kuitto ym. 1994). Tuloksia vertaillaessa on kuitenkin otettava huomioon hakkuukoneiden nopea kehitys.

Ryynäsen ym. (2000) tutkiessa Nokka Profi, Sampo Rosenlew 1046X, Timberjack 770 ja Valtra Forest 120 -hakkuukoneita käyttötuntituottavuus oli ensiharvennuksessa keskimäärin 6,9–7,8 m<sup>3</sup>, toisessa harvennuksessa 9,8–10,2 m<sup>3</sup> ja väljennysshakuussa 17,0–17,1 m<sup>3</sup>. Kuljettajien väliset tuottavuuserot olivat koneiden välisiä eroja suuremmat.

Käyttöaika laskettiin lisäämällä tehoaikaan 19,7 % alle 15 minuutin keskeytysten osuutena (Kuitto ym. 1994) ja tekemällä tähän vielä seurantatutkimusten tulosten perusteella 27,6 %:n tasokorjaus.

Työn tuottavuus hakkuu-uramenetelmällä oli alempi kuin pelkästään metsäkuljetusurilla työskenneltäessä. Kummallakaan menetelmävertailun kuljettajalla ei ollut kokemusta hakkuu-uramenetelmästä. Kokemattomuus saattoi vaikuttaa menetelmien välisiin eroihin. Toinen Sampon kuljettajista oli aiemmin työskennellyt hakkuu-uramenetelmällä. Tälläkin kuljettajalla runkokohtaiset tehoajat olivat hakkuu-uralla suuremmat kuin ojalinjalla. Hakkuu-uratyöskentelyn ajanmenekkiä nostivat hakkuu-urien väliltä poistettavat rungot, joiden puutavara valmistetaan yli hakkuu-uran metsätraktorin olottuville. Hakkuu-uramenetelmä alensi hakkuun tuottavuutta, mutta lisäsi metsäkuljetuksen uranvarsitiheyttä. Sampolla ajouranvarsitiheys 40 metrin ajouravälillä oli 2,3-kertainen, Ässällä vastaavasti 1,6-kertainen 20 metrin ajouraväliin verrattuna. Kasojen kokoon hakkuumenetelmä ei vaikuttanut.

Ryynäsen (1994) tutkimuksessa, jossa tutkimuskoneena oli Fendt-maataloustraktori varustettuna Keto 51 -hakkuulaitteella, siirtyminen 20 metrin uravälistä 30 metrin uraväliin ja hakkuu-uraan metsäkuljetusurien välissä lisäsi runkokohtaista tehoaika 8 %. Menetelmien kokonaisajanmenekki ero

oli kuitenkin 30 %, koska siirtymisiin kului hakkuu-uramenetelmällä enemmän aikaa. Työn tuottavuus 20 metrin uravälillä oli 108 puuta ja 30 metrin uravälillä 81 puuta tehotunnissa. Hakkuu-uratyöskentelyn ajouratyöskentelyä suurempi tehoajanmenekki todettiin myös Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa (Brunberg 1997), jossa hakkuu-uralla työskentely lisäsi runkokohtaista tehoaikaa keskimäärin 3,4 cmin ajouralla työskentelyyn verrattuna.

Kuormatraktorialustaisen korjurin tuottavuus oli keskimäärin 5,0 m<sup>3</sup> tehotunnissa. Kuljettajien väliset tuottavuuserot olivat pienet. Korjurin ajanmenekki metsäkuljetuksessa oli suurempi kuin kuormatraktorilla. Tähän vaikuttivat kuormakoko ja korjuukouran puutavarakouraa huonompi soveltuvuus puutavaran kuormaamiseen ja purkamiseen.

Korjureista on verraten vähän tutkimustietoa. Rieppo ja Pekkola (2001) tutkivat kahta pyöriväohjaamoista sekä yhtä kuormatraktorialustaista korjuria. Koneiden tuottavuus käsillä olevan tutkimuksen keskimääräistä vastaavalla runkokoolla oli hieman yli 6,0 m<sup>3</sup> tehotunnissa. Konetyyppien tuottavuudet eivät eronneet rungon koon ollessa pieni, mutta rungon keskikoon ollessa 200 dm<sup>3</sup> tuottavuusero pyöriväohjaamoisen koneen eduksi oli 20 %. Osittain tähän vaikutti kuormatraktorialustaisen korjurin pyöriväohjaamoihin verrattuna pienempi kuormatila. Kuormatraktorialustainen korjuri oli kustannuksiltaan pyöriväohjaamoista edullisempi alle 75 dm<sup>3</sup>:n runkokoolla.

Korjurilla voidaan yhdistää hakkuun ja metsäkuljetuksen työvaiheita. Korjurin ja korjuuketjun liiketyön määrät kuvaavat osaltaan onnistumista työvaiheiden yhdistämisessä. Liiketyön määrä korjuuketjulla oli 326 metriä/m<sup>3</sup>, korjurilla vastaavasti 309 metriä/m<sup>3</sup>. Hehtaarikohtaisen kertymän ollessa 50 m<sup>3</sup> liiketyön määräksi hehtaarilla saatiin korjuuketjulla 16 300 m ja korjurilla 15 450 m. Korjuuketjun liiketyön määrä oli noin 6 % suurempi kuin korjurilla. Ero oli yllättävän pieni.

Hellgren (1997) vertaili liiketyön ja työpisteiden määriä korjurilla ja hakkuukone-kuormatraktori korjuuketjulla. Liiketyöksi katsottiin nosturin liikkeet. Ensiharvennuksessa korjurin liiketyön määrä oli 22 % ja työpisteiden määrä 13 % pienempi kuin korjuuketjulla. Toisessa harvennuksessa vastaavat erot olivat 36 % ja 50 %. Liiketyön määrä/m<sup>3</sup> oli korjurilla 70 metriä, korjuuketjulla vastaavasti 89 metriä.

Hehtaarin kokoisessa ensiharvennusleimikossa korjuri teki liiketyötä 3 318 metriä ja korjuuketju 4 257 metriä.

Björheden (1999) vertaili hakkuukoneketjun ja korjurin liikkumistarvetta harvennusleimikolla. Korjuuketjun kulkema matka oli keskimäärin 4,5–5,0 kertaa ja korjurin vastaavasti 2,5–3,0 kertaa ajourien kokonaispituus. Koska ajokertojen määrän ja raiteenmuodostuksen välillä vallitsee selkeä yhteys (Sirén ym. 1987), ajokertojen pienempi määrä saattaa olla merkittävä korjuujälkitekijä.

Tutkimuksessa todettu puustovaurioiden määrä oli lähellä aiemmissa tutkimuksissa todettua tasoa. Sirénin (1998) tutkimuksessa vaurioiden osuus keskikokoisilla hakkuukoneilla oli 4,6%. Luvussa ei ole mukana metsäkuljetuksen vaurioita. Pienillä hakkuukoneilla vaurioiden osuus oli keskimäärin 5,0% (Sirén 1990). Turvemaiden kesäaikaisessa puunkorjuussa keskimääräinen vaurioiden osuus oli keskimäärin 3,0% (Mäkelä 1990a). Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion tarkastamissa konehakuuleimikoissa vaurioiden keskimääräinen osuus vuonna 1997 oli 3,5%, 2,2% vuonna 1998 ja 3,0% vuonna 1999 (Ranta 2000).

Käsillä olevassa tutkimuksessa hakkuukoneketjulla vaurioiden osuus oli 20 metrin uravälillä 2,7% ja hakkuu-uramenetelmällä 5,9%. Ruotsissa Brunberg ja Nilsson (1988) tutkivat pientä hakkuu-urilla toimivaa hakkuukonetta. Männiköissä vaurioiden osuus oli 1,6–2,9 ja kuusikoissa 0,9–4,3%. Vauriot keskittyivät hakkuu-urien varsille. Ryyänen (1994) vertaili Fendt-maataloustraktoria 20 ja 30 metrin uraväleillä, jolloin 30 metrin uravälillä metsäkuljetusurien väliin avattiin hakkuu-ura. Käytettäessä 20 metrin uraväliä vaurioiden osuus oli 3,8 ja 30 metrin uravälillä 1,7%. Tulos oli puustovaurioiden osalta päinvastainen kuin käsillä olevassa tutkimuksessa. Ryyänen ym. (2000) selvittivät tutkimuksessaan pienten hakkuukoneiden korjuujälkeä. Harvennuksessa vaurioitui 2,3–3,6% jäävistä puista. Hakkuu-urilla työskentely lisäsi ensiharvennuksessa vaurioiden määrää.

Jäävä puusto jakautui tasaisemmin 40 metrin kuin 20 metrin uravälillä. Hakkuu-urat pystyttiin avaamaan pienillä hakkuukoneilla ”näkyttömänä” urina. Myös Ryyänen ym. (2000) tutkimuksessa jäävä puusto jakautui hakkuu-uramenetelmällä tasaisemmin kuin 20 metrin ajouraväliä käytettäessä.

Käytettäessä 20 metrin uraväliä korjuukustannukset olivat pienemmät ja korjuujäljen seurauskustannukset suuremmat kuin käytettäessä 40 metrin uraväliä. Menetelmien ero oli pieni. Ainakin laadultaan epätasaisissa männiköissä hakkuu-uramenetelmä voi olla kilpailukykyinen työmenetelmä. Kuusikoissa puustovaurioriski ja näkyvyys saattavat rajoittaa hakkuu-uramenetelmän käyttöä. Kapeilla hakkuu-urilla työskentely asettaa suuria vaatimuksia kuljettajan ammattitaidolle.

## Kiitokset

Tutkimus on osa turvemaiden puunkorjuun kehittämishanketta, joka kuuluu Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusohjelmaan ”Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä kasvatusta ja käyttö”. Tutkimusta on rahoittanut Maa- ja metsätalousministeriö.

Tutkimuksen toteuttamisen mahdollisti koneyrityksien ja koneenvalmistajien myönteinen suhtautuminen ja aktiivinen mukanaolo. Tutkimuskohteen tarjosi käyttöön Metsähallitus. Tiimiesimies Risto Ryyänen ja hankintaesimies Kari Sormunen Metsähallituksen Nurmeksen toimipaikasta auttoivat ratkaisevasti tutkimuksen käytännön järjestelyissä.

Kaikille edellä mainituille, kahdelle tutkimusartikkelin esitarkastajalle samoin kuin monille muille tutkimukseen myötävaikuttaneille tekijät esittävät parhaimmat kiitoksensa.

## Kirjallisuus

- Björheden, R. 1999. Some operational properties of the harvester-forwarder. Julkaisussa: Keane, M.G. & Kofman, P.D. (eds.). The thinning wood chain. Proceedings of a IUFRO (Research Unit 3.09.00) conference on harvesting and economics of thinnings. Ennis, Ireland, 4–7th May 1999. s. 128–135.
- & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. Julkaisussa: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och Resultat 52: 71–76.
- Brunberg, T. 1997. Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Summary: Basic data for productivity forms for single-grip harvesters in thin-

- ning. SkogForsk, Redogörelse 8. 18 s.
- & Nilsson, N. 1988. FMG 0470 Lillebror, bestånds-gående engreppsskördare för klana gallringar. Skogsarbeten, Resultat 13. 4 s.
- Hellgren, U. 1997. Drivare. En beskrivning, jämförelse och utveckling av ett nytt maskinsystem. Summary: Drivare. A description, comparison and development of a new machine-system. Skogsmästarskolan, Skinnskatteberg. Examensarbete 1997:3 i ämnet operativ planering. 35 s.
- Högnäs, T. 1997. Puunkorjuu turvemaalla. Metsähallituksen aikaisemman kokeilutoiminnan tuloksia. Metsähallitus, Metsätalouden kehittämissyksikkö, Tiedote 2/1997. 13 s.
- Kokko, P. & Sirén, M. 1996. Harvennuspuun korjuujälki, korjuujäljen seurausvaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 592. 70 s.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Summary: Mechanized cutting and forest haulage. Metsätehon tiedotus 410. 38 s.
- Montgomery, D.C. & Peck, E.A. 1992. Introduction to linear regression analysis. Second edition. A Wiley-Interscience publication. 527 s.
- Mäkelä 1990a. Turvemaiden koneellinen puunkorjuu ke-säaikaisissa ensiharvennuksissa. Summary: Mechanized first thinning of unfrozen peatland. Metsätehon katsaus 4. 6 s.
- 1990b. Pienet kuormainharvesterit – Farmi Trac 5000 ja Nokka-Joker – ensiharvennusten hakkuukoneina. Summary: The use of small one-grip harvesters – Farmi Trac 5000 and Nokka Joker – for first thinning. Metsätehon katsaus 12. 4 s.
- Ranta, R. 2000. Metsänkayttöilmoitusten ja hakkuiden tarkastusten tulokset vuonna 1999. Tapio. 25 s.
- Rieppo, K. & Pekkola, P. 2001. Korjurien käyttömahdollisuuksista. Metsätehon raportti 121. 43 s.
- Ryynänen, S. 1994. Maataloustraktoriharvesteri männikön ensiharvennuksessa. Summary: Farm tractor harvester in first thinning of pine. Työtehoseuran julkaisuja 338. 68 s.
- 2000. Laaja tutkimushanke harvennuspuun koneelliseen korjuuseen. Teho 1: 4–5.
- , Rönkkö, E. & Sirén, M. 2000. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja korjuujälki. Summary: Productivity and logging trace of thinning harvesters. Työtehoseuran metsätiedote 15/2000 (628). 6 s.
- Sirén, M. 1990. Pienet hakkuukoneet varhaisissa harvennushakkuissa. NSR-tutkimus. Summary: Small multi-function machines in early thinning operations. A joint Nordic NSR-study. Folia Forestalia 743. 29 s.
- 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Summary: One-grip harvester operation, its silvicultural result and possibilities to predict tree damage. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 694. 179 s.
- , Ala-Ilomäki, J. & Högnäs, T. 1987. Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus. Summary: Mobility of forwarding vehicles used in thinnings. Folia Forestalia 692. 60 s.

## 19 viitettä