

Juha Nurmi

Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen

Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1994(2): 113–122.

Hakkuutähteen korjuu energiapuuksi päätehakkuualoilta edellyttää yksioteharvesterityön uudelleen organisointia. Uusien työtapojen tavoitteena on saada hakkuutähteet keruutyötä helpottaviin kasoihin. Työtapojen vaikutus hakkuukoneen ajankäytön jakaumaan, tehotunti-tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen selvitettiin.

Työtavat ja puuston keskitilavuus eivät vaikuttaneet merkittävästi ajankäytön jakautumiseen. Tehoaajasta noin puolet kului karsintaan ja katkontaan. Kaato ja puun siirtely vei työtavasta riippuen 16,7–19,2 % tehoaajasta. Korjuutyön tuottavuus oli ajouran molemmilta puolilta hakattaessa noin 36 m³/h ja yhdeltä puolelta hakattaessa noin 31 m³/h. Hakkuutähteistä paljaaksi jääneen maan osuus perinteisen ainespuunkorjuun jäljiltä oli 43 % ja uusilla työtavoilla 50–57 % hakkuualasta. Perinteisellä työtavalla hakkuutähteen kuivamassasta vain 20 % kertyi yli 50 cm korkeisiin kasoihin. Uusilla työtavoilla vastaava luku oli 70–80 %.

Asiasanat: bioenergia, hakkuutähteet, puunkorjuu, hakkuukoneet, metsäkoneet, tuotos
Kirjoittajan yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus. Faksi (968) 871 164, sähköposti juha.nurmi@metla.fi
Hyväksytty 18.11.1994

1 Johdanto

Ainespuun korjuun yhteydessä metsään jää vuosittain noin 21 Mm³ latvusmassaa (Hakkila 1992). Se on yksi suurimmista käyttämättömistä biomassareserveistämme. Hakkuutähteen hyödyntämistä harkittaessa on otettava huomioon sen korjuusta puun kasville ja ympäristölle aiheutuvat haitat. Onkin arvioitu, että metsämaan ravinnetalous,

kantavuus, kivisyys sekä päätehakkuuleimikoitten pieni koko rajoittavat korjuukelpoisen neulasettoman hakkuutähteen määrän noin 3 Mm³:iin (Hakkila 1992). Korjuu keskittyisi ainoastaan päätehakkuihin, sillä harvennushakkuissa jäljelle jäävän puuston kannalta on oleellista, että tähteitten sisältämät ravinteet palautuvat luonnon kiertoon. Hakkuutähteen korjuu harvennusemetsästä on myös oleellisesti kalliimpaa kuin päätehakkuualoilta. Hakkuutähteen korjuun mukanaan tuomana lisätuna

on pidettävä maanmuokkauksen ja metsän uudistamisen helpottumista. Toisaalta kulituksen mahdollisuus saattaa hävitä.

Hakkuutähteiden leviämistä laajalle alalle leimikon sisällä on pidettävä niiden talteenoton kannalta haitallisena. Toisaalta hakkuutähteen etuna esimerkiksi pienpuun korjuuseen verrattuna on pidettävä sitä, että se ei vaadi yksin kappalein käsittelyä. Tämän vuoksi sen korjuu voidaan koneellistaa.

Hakkuutähteen korjuuta ovat aiemmin Suomessa tutkineet moottorisahatyöskentelyn jälkeen Hakki-la ja Kalaja (1974), sekä hakkuukoneen jäljiltä Harstela ja Takalo (1974), Mäkelä (1975) ja Kuitto (1982a, 1982b ja 1983). Simulointimenetelmiä hyväksikäyttäen ovat Asikainen ja Kärhä (1994) todenneet hakkuutähteen korjuun olevan kannattavinta silloin, kuin se tapahtuu samanaikaisesti ainespuun korjuun kanssa. Kannattavuuden ehtona on kuitenkin, että metsätraktorin kuormatila on helposti laajennettavissa ja kuormaimen kouran tulee soveltua sekä ainespuun että hakkuutähteen korjuuseen.

Aiemmin laajassa käytössä olleiden kaksiotharvesterien työskentelytekniikka on sellainen, että hakkuutähdde jää kasoihin osana normaalia ainespuun korjuuta. Tämä hakkuukonetyyppi on kuitenkin väistynyt muutamaa konetta lukuunottamatta yksiotharvestereiden tieltä. Yksiotharvesteri edustaa erästä merkittävintä puunkorjuun alalla viime vuosina tapahtunutta uudistusta. Suomessa tehdäänkin päätehakkuuta suhteellisesti enemmän yksiotharvestereilla kuin missään muussa maassa (M. Kahala, Metsäteho, suullinen tieto 17.12.1993). Sen työtapana on kuitenkin sellainen, että ainespuun korjuun jäljiltä hakkuutähteen keruutyön tuotos on alhainen, koska hakkuutähteet polkeutuvat sekä hakkuukoneen että metsätraktorin pyörien alle.

Ruotsissa hakkuutähdettä korjataan huomattavia määriä. Brunbergin (1994) mukaan vuonna 1988 korjatun hakkuutähteen määrä oli 2 500 000 m³. Siksi myös alan tutkimus on ollut vilkasta viime vuosina. Erityisesti Wigren (1990, -91, -92a,b,c) on tutkinut yksi- ja kaksiotharvestereiden työskentelytekniikkaa sekä hakkuutähteen metsäkuljetusta. Lisäksi Mellström ja Thörlind (1981) sekä Mårdberg (1992) ovat tutkineet hakkuutähteen keräilyä ja metsäkuljetusta. Brunbergin (1991) julkaisu *Tillvaratagande av skogsbränsle – träddeklar*

och trädräster antaa yksityiskohtaisen selvityksen hakkuutähteiden korjuusta Ruotsissa.

Koska mielenkiinto biopolttoaineita kohtaan on jälleen virinnyt, on katsottu tarpeelliseksi tutkia hakkuutähteen talteenottoa muun ainespuun korjuun yhteydessä. Yksiotharvesterin soveltuvuus sellaiseen integroituun puunkorjuuseen, missä hakkuutähteet korjataan ainespuun korjuun yhteydessä, on yksi tällainen aihe.

Normaalissa päätehakkuutyöskentelyssä yksiotharvesterin kuljettaja kaataa puut tottumuksensa mukaan joko koneen yhdeltä tai kahdelta puolelta. Karsinta ja katkonta tapahtuvat koneen edessä. Koneen siirryessä eteenpäin hakkuutähteet polkeutuvat sen alle. Tämä menettely on monesti välttämättömyyden parantamiseksi. Milloin kantavuus ja ympäristötekijät antavat myöten, voitaisiin hakkuutähteet korjata talteen mikäli polkeentumista ei tapahtuisi. Keruun kannalta hakkuutähteiden olisi hyvä olla painumattomissa, selvästi näkyvissä kasoissa. Wigrenin (1990) ja Jonssonin (1989) mukaan hakkuutähteiden metsäkuljetuksen tuotos kasvaa 20–40 % puustosta riippuen, mikäli ainespuun teon yhteydessä hakkuutähteet on saatu kasautumaan. Wigrenin (1991 ja 1992a) tutkimuksissa, jotka käsittivät yhteensä noin 1 100 runkoa, todettiin harvesterin työtavan muutoksen laskevan tehotuntituotosta 2–4 %.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten yksiotharvesterin työ voidaan järjestellä sellaiseksi, että hakkuutähteet saadaan kertymään keruuta helpottaviin kasoihin aiheuttamatta haittaa ainespuun korjuulle. Tavoitteeseen pyrittiin tarkastelemalla yhden yleisesti käytössä olevan ja kahden vaihtoehdoisen työtavan vaikutusta yksiotharvesterin ajanmenekkiin, tuottavuuteen ja hakkuutähteen kertymään. Tutkimus on osa KTM:n rahoittamaa Metsäntutkimuslaitoksen johtamaa ”Biomassatase ja energiapuun kertymä” -hanketta.

2 Aineiston keruu ja käsittely

Tutkimusaineisto muodostuu yksiotharvesterin aikatutkimusaineistosta sekä hakkuutähddekasojen paksuuden ja massan mittauksista. Tässä tutkimuksessa hakkuutähteeksi luetaan kuuluviksi elävät ja

Taulukko 1. Korjatun puuston määrä työmaittain ja puulajeittain.

Työmaa	Harvesteri	Puuston kokonaistilavuus, m ³			Runkoluku			Keskitilavuus, m ³	
		Kuusi	Mänty	Yht.	Kuusi	Mänty	Yht.	Kuusi	Mänty
Jämsä	FMG 990	540	178	718	1356	352	1708	0,40	0,51
Asikkala	LAKO	128	19	147	161	19	180	0,79	1,01
Kälviä	Ponsse HS 1	152	11	163	803	42	845	0,19	0,27
Ullava	Ponsse HS 1	311	2	313	530	4	534	0,59	0,54
Yht.		1131	210	1341	2850	417	3267	0,40	0,50

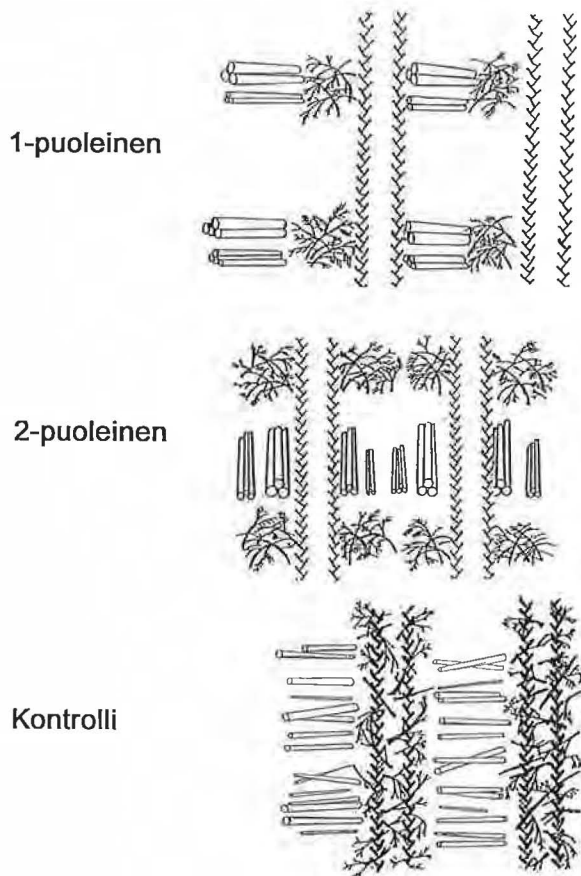
kuolleet oksat, neulaset sekä rungon ainespuuksi kelpaamaton osa. Aineisto kerättiin neljältä työmaalta, joissa kussakin harvesteria käytti yksi kuljettaja. Puustot olivat kuusivaltaisia. Kuusten keskitilavuus vaihteli työmaittain välillä 0,2–0,8 m³/runko. Kaikkiaan kuusta korjattiin 1 131 m³ ja mäntyä 211 m³ (taulukko 1).

Puutavaran teossa käytettiin kolmea harvesterin työtappaa, joita kutsutaan tässä yhteydessä yksipuoleiseksi, kaksipuoleiseksi ja kontrolli-työtavaksi. Yksipuoleisella työtavalla puun kaato sekä rungon karsinta ja katkonta tapahtuvat vain koneen toisella sivulla siten, että hakkuutähde jää kasoille ajouran ja ainespuun väliin. Ainespuu kasataan koh-tisuoraan ajouraan nähden (kuva 1). Kaksipuolei-sella työtavalla karsinta ja katkonta tehdään ajo-uran molemmin puolin. Tällöin pölkkyt jäävät ajo-uran suuntaisiksi ja hakkuutähteet ajouran varteen pölkkykasojen väliin. Kontrollina käytettiin yleisesti Suomessa käytettyä työtappaa, missä kaato tapahtuu yhdeltä puolelta konetta ja karsinta sekä katkonta tapahtuvat harvesterin edessä ajouralla. Tämä työtapa valittiin kontrolliksi, koska tutkimuk-siin osallistuneista kuljettajista kolme neljästä käytti sitä normaalissa työtilanteessa.

2.1 Aika- ja tuotostutkimus

Aikatutkimuksella selvitettiin työtavan vaikutusta työn tuottavuuteen sekä tehollisen työajan jakau-maan. Tehoaika jaettiin osa-aikoihin seuraavalla tavalla:

1) harvesterin siirto: harvesterin liikkelle lähdestä sen pysähtymiseen työpisteiden välillä



Kuva 1. Hakkuutyön jälki työtavoittain.

2) kouran siirto tyhjänä: harvesterin pysähtymisestä kaatosahauksen alkuun, tai kouran aukaisusta latvakapaleen katkaisun jälkeen harvesterin liikkeelle läh-töön

- 3) aluskasvillisuuden raivaus: tapahtui koura tyhjänä siirron ja kaadon välissä joko puskemalla, repimällä tai sahaamalla kaatoa haittaava aluskasvillisuus.
- 4) kaato ja puun siirtely: kaatosahauksen alusta syöttöruullien liikkeelle lähtöön
- 5) karsinta ja katkonta: syöttöruullien liikkeelle lähdestä kouran aukaisuun latvakappaleen katkaisun jälkeen

Ajanotto tapahtui käsikellolla. Tutkimusaineisto koostui 59 koealasta. Niiden puustotiedot (puulaji, runkoluku, keski- ja kokonaistilavuus) saatiin harvesterin tietokoneelta. Koe-alojen tarkkoja pinta-aloja ei kuitenkaan voitu mitata alojen epämääräisen muodon takia. Työmaiden kokonaispinta-ala oli 7 hehtaaria. Työtavan vaikutusta tehoajan jakautumiseen osa-aikoihin testattiin ensin kovarianssianalyysillä, jossa kovariaattina käytettiin koealalta kaadettujen runkojen keskitilavuutta. Koska kovariaatti ei osoittautunut merkitseväksi testattiin keskiarvojen yhtäsuuruudet yksisuuntaisella varianssianalyysillä sekä merkitsevien erojen tapauksissa myös Tukey:n testillä parittaisten erojen testaamiseksi.

Työtavan vaikutusta hakkuutyön tuottavuuteen testattiin kovarianssianalyysillä, jossa runkojen keskitilavuudesta aiheutuva koe-alojen välinen ero pyrittiin poistamaan käyttämällä keskitilavuutta kovariaattina. Valittu kovariaatti ei kuitenkaan täyttänyt kulmakertoimien yhtäsuuruutta koskeva ehto. Sensijaan kovariaatin ollessa keskitilavuuden käänteisluku tuli kulmakertoimia koskeva ehto täytetyksi. Työtapojen parittaisissa vertailuissa käytettiin kovariaattimuunnoksen jälkeistä t-testiä.

Tuottavuuden riippuvuutta rungon tilavuudesta kuvattiin $y = \alpha x^b$ muotoa olevalla epälineaarisella yhtälöllä, jossa x on koe-alan runkojen keskitilavuus. Koska työtavoittain laskettujen regressioyhtälöiden kulmakertoimien yhtäsuuruus ehto ei toteutunut ($p = 0,014$), kullekin työtavalle laskettiin oma yhtälö. Lisäksi logaritimuunnoksen antama keskiarvo on geometrinen, on se alhaisempi kuin aritmeettinen keskiarvo (Finney 1941). Tämä muunnoksesta aiheutunut aliarviointi korjattiin lisäämällä vakioon korjauskerroin $s^2_{y,x}/2$ (Baskerville 1972).

2.2 Hakkuutähteen kasautuminen

Hakkuutähdemasan paksuudet mitattiin linja-arviointimenetelmällä työmaittain ainespuun metsäkuljetuksen jälkeen. Kullakin työmaalla määritettiin ensin päälinja, jolta vedettiin varsinaiset mittauslinjat suuntakehää käyttäen. Mittauslinjat olivat kohtisuorassa päälinjaan nähden ja niiden etäisyys toisistaan oli viisi metriä. Kullakin mittauslinjalla hakkuutähteen paksuus mitattiin metrin välein senttimetrin tarkkuudella. Hakkuutähteen paksuudesta tehtiin yhteensä 4 000 havaintoa 14 koe-alalta, joiden keskipinta-ala oli 14 aaria. Aineiston perusteella laskettiin hakkuutähteen paksuuden jakautuminen työtavoittain paksuusluokkiin (0, 1–20, 20–40, 40–60, 60–80, >80 cm), sekä hakkuutähteen kumulatiiviset frekvenssit kasan paksuuden suhteen.

Koska havainnot korkeista kasoista edustavat suurempaa hakkuutähdemassaa, selvitettiin myös massan riippuvuus kasan korkeudesta. Tämä tehtiin punnitsemalla hakkuutähteet neliömetrin alalta 10–140 cm korkeista kasoista. Hakkuutähteen massan riippuvuutta kasan korkeudesta kuvattiin regressioyhtälöllä. Polkeutuneille ja polkeutumattomille kasoille laskettiin omat yhtälöt. Tämän jälkeen laskettiin eri työtavoille hakkuutähteen kumulatiiviset massat ko. regressioyhtälöä apuna käyttäen. Lisäksi työtavan vaikutusta hakkuutähdemasan kertymään paksuusluokkien sisällä testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä (Tukey:n testi).

Hakkuutähteen massa mitattiin 33:lta 1- ja 2-puoleisilla työtavoilla korjatulta koealalta teollisuuspuun korjuun jälkeen. Hakkuutähteet nostettiin maataloustraktorin kuormaimen tukkikouralla 5 × 5 metrin kokoiselle kuormapeitteelle. Peite hakkuutähteineen nostettiin ilmaan, ja paino mitattiin taakan ja kouran välisen sähköisen vetoanturin näytöltä. Tällä menetelmällä saatiin punnituksi yli 90 % koealojen hakkuutähteestä. Loput hakkuutähteet kerättiin ja punnittiin käsin. Keräilytyössä käytettiin neljää eri traktoria ja kuutta kuljettajaa. Yhteensä punnittiin 96 tonnia kuivamassaa, mikä tässä tutkimuksessa vastasi noin 640 m³:n tilavuisen kuusikon hakkuutähteitä. Kosteuden, kuivamassan ja neulasosuuden määrittämiseksi kultakin uralta otettiin hakkuutähteestä näytteet punnitukseen yhteydessä sahaamalla hakkuutähdemasoja ristiin ras-

tiin moottorisahalla ja keräämällä näyte sahatuista kappaleista. Määrittäjä varten kerättiin 420 näytettä, joiden tuorepaino oli 200–500 g.

3 Tulokset ja päätelmät

3.1 Ajankäytön jakauma

Ajankäytön jakautumassa oli hyvin vähän eroja työtapojen kesken. Karsinnan ja katkonnan osuus oli puolet tehoajan käytöstä. Kouran siirto tyhjänä sekä kaato ja siirtely veivät kumpikin työtavasta riippuen 17–19 % tehoajasta, sekä koneen siirtymisen 10 %. Alustan raivauksen osuus oli noin 3 % (kuva 2). Ruotsalaisissa tutkimuksissa on todettu samansuuntainen ajankäytön jakauma (Wigren 1991 ja 1992a). Tukey:n testillä ei työtavoille saatu merkitseviä eroja 5 %:n riskitasolla yhdellekään osa-ajalle. Yksipuoleisen työtavan kaato ja siirtely veivät keskimäärin pari prosentti-yksikköä enemmän tehoaikaa kuin muilla työtavoilla.

3.2 Harvesterityön tuottavuus

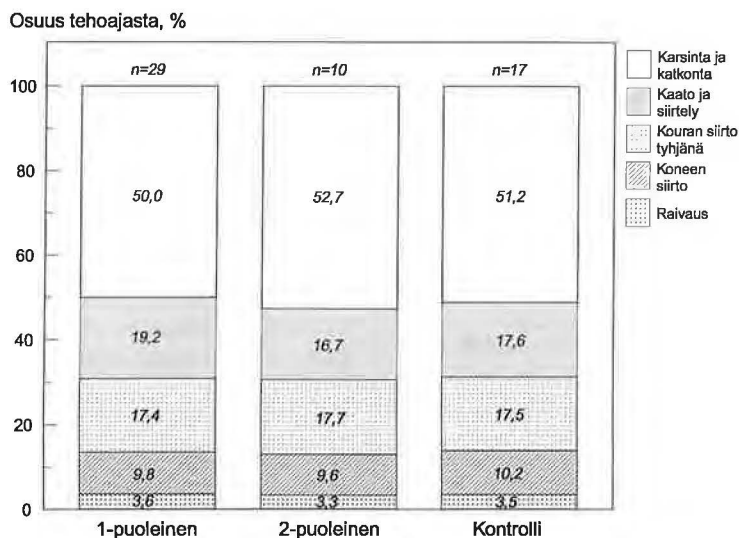
Kovarianssianalyysin tulos ei tukenut nollahypo-

teesia, joka oletti tuotoksen keskiarvojen olevan samat kaikilla työtavoilla (kuva 3). Kaksipuoleisen työtavan keskimääräinen tuotos oli 13–20 % korkeampi kuin muiden työtapojen. Eroa on pidettävä melko suurena. Parittaisessa vertailussa t-testin tulos osoittaa sen olleen merkitsevästi sekä yksipuoleista että kontrollia korkeamman. Hakkuutähtien talteenoton kannalta tulosta voidaan pitää rohkaisevana. Kontrolli-työtavan tuotos oli 1,5 % yksipuoleista korkeampi, mutta ero ei ollut merkitsevä. Myös Wigren on raportoinut saman suuruisen eron (1991).

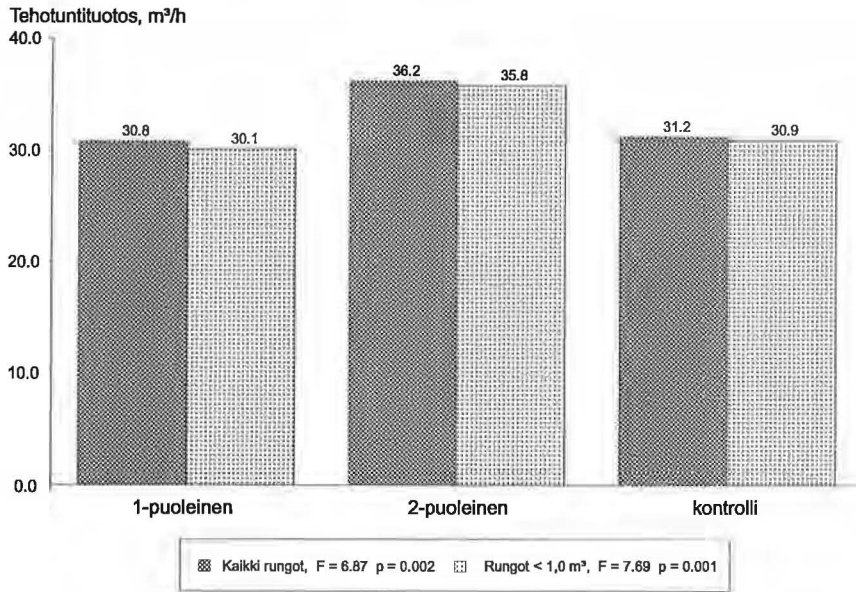
Kuvassa 4 on esitetty harvesterityön tehotuntituotos y (m^3/h) eri työtavoille rungon keskitilavuuden x (m^3) funktiona. Riippuvuutta kuvattiin yhtälöllä $y = \alpha x^\beta$. Kertoimien arvot työtavoittain olivat seuraavat:

Työtapa	α	β	r^2	$s_{x,y}$
Yksipuoleinen	4,752	0,303	0,58	0,782
Kaksipuoleinen	1,830	0,481	0,84	0,723
Kontrolli	2,826	0,398	0,53	0,847

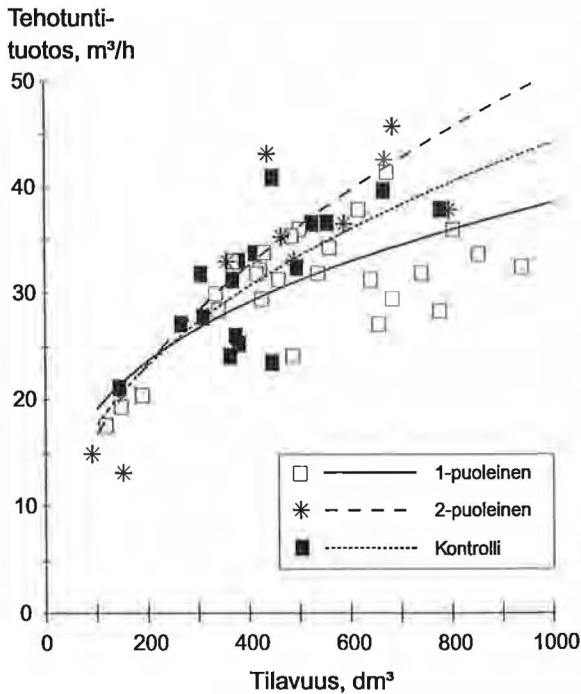
Kaksipuoleinen työtapa oli herkin rungon tilavuuden muutokselle. Yksipuoleisen työtavan ja kontrollin selitysasteet olivat heikot. Tähän on saattanut vaikuttaa koe-alojen erilaiset runkolukujakaumat.



Kuva 2. Tehoajan jakautuminen osa-aikoihin. Työtapojen keskinäisessä vertailussa ei osa-aikojen keskiarvoille saatu Tukeyn testillä merkitseviä eroja ($p > 0,05$).



Kuva 3. Ainespuun tehotuntituotokset eri työtavoilla koko aineistolle ja niille koelohjoille joilla runkojen keskitilavuus oli alle 1 000 litraa. Parittaisessa vertailussa (t-testi) kaksipuoleisen työtavan tuotos erosi merkitsevästi ($p < 0,05$) molemmista muista työtavoista.

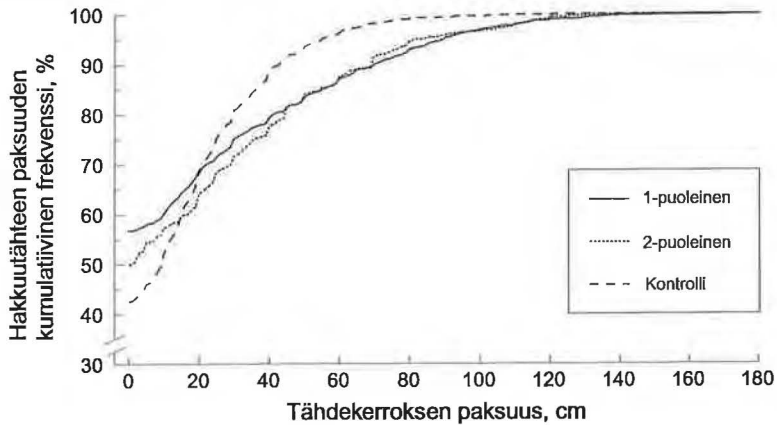


Kuva 4. Eri työtavojen tehotuntituotosten riippuvuus rungon tilavuudesta.

3.3 Hakkutähteen kasautuminen

Noin 30 % hakkutähteestä oli neulasmassaa. Lopu oli oksien ja rungon latvaosan puu- ja kuoriainetta (taulukko 2). Tässä tutkimuksessa saatu keskimääräinen neulasprosentti oli noin 5 %-yksikköä alhaisempi kuin Hakkilan (1991) tuloksissa, jotka edustavat pelkkää latvumassaa. Ero johtuu osaksi siitä, että tutkimuksen aineistossa oli mukana myös tähteeksi jäävä latvakappale. Runkokuutiometriä kohti laskettu hakkutähteen kuivamassa vaihteli suuresti työmaittain. Tämä johtui puuston käsittelyn historiasta, kasvupaikasta sekä otantavirheestä. Pienimmät massat olivat alle 100 kg/m^3 ja suurimmat yli 200 kg/m^3 . Aineiston keskiarvo oli $148,9 \text{ kg/m}^3$.

Hakkutähteen paksuudesta tehdyt havainnot kumuloituivat työtavoille eri tavoin (kuva 5). Eniten paljasta maapinta-alaa oli yksipuoleisen ja toiseksi eniten kaksipuoleisen työtavan jäljiltä. Tämä osoittaa, että hakkutähteet leviävät kontrollina käytetyssä työtavassa suuremmalle pinta-alalle. Havainto tukee näinollen oletusta työtavan vaikutuksesta



Kuva 5. Hakkuutähdekerroksen paksuusjakauma eri työtavoilla.

Taulukko 2. Hakkuutähteen kuivamassat työmaittain kasoihin puidusta hakkuutähteestä määritettynä.

Työmaa	Korjuu- tapa	Rungon tilavuus, l	Hakkuutähteen kuivamassa, kg/m ³ runkopuuta			Osuus hakkuutähteestä, %		n
			Puu ja kuori	Neulaset	Yhteensä	Puu ja kuori	Neulaset	
Jämsä	1-puoleinen	446	102,9	41,0	144,0	71,5	28,5	201
Jämsä	2-puoleinen	422	89,2	35,6	124,8	71,5	28,5	201
Asikkala	1-puoleinen	842	97,7	44,5	142,3	68,7	31,3	56
Kälviä	1-puoleinen	164	76,0	46,8	122,8	61,9	38,1	43
Kälviä	2-puoleinen	160	60,6	32,8	93,4	61,9	38,1	43
Ullava	1-puoleinen	508	147,0	72,4	219,4	67,0	33,0	34
Ullava	2-puoleinen	719	149,6	73,7	223,2	67,0	33,0	34
Painotettu keskiarvo		406	103,2	45,7	148,9	69,3	30,7	334

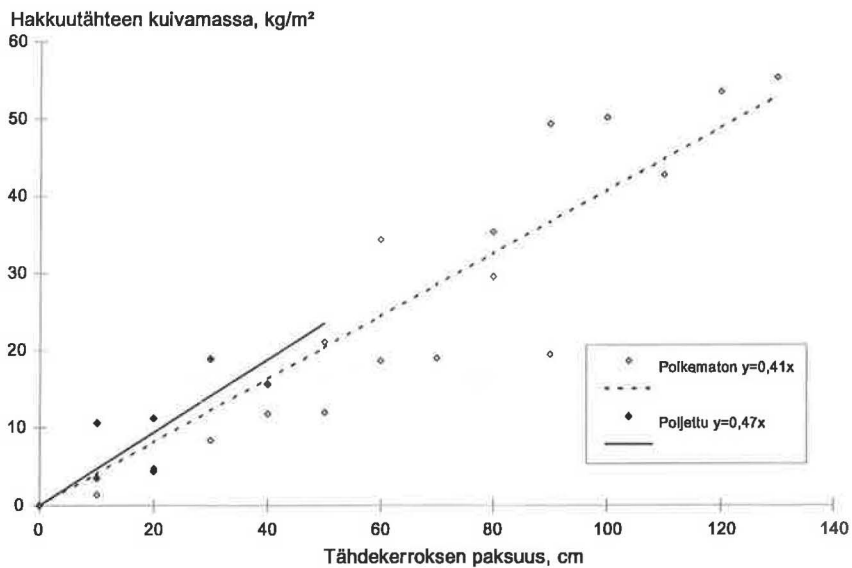
hakkuutähteen kasautumiseen.

Yksisuuntaisella varianssianalyysillä tarkasteltiin hakkuutähteen paksuuden jakautumista 20 cm:n paksuusluokittain. Tilastollisesti merkitsevät erot (Tukey) havaittiin yli 40 cm:n paksuisissa kerroksissa kontrollin ja vaihtoehtoisten työtavojen välillä. Paksuista kasoista tehtyjen havaintojen määrä oli vaihtoehtoisilla työtavoilla kontrollia suurempi (taulukko 3).

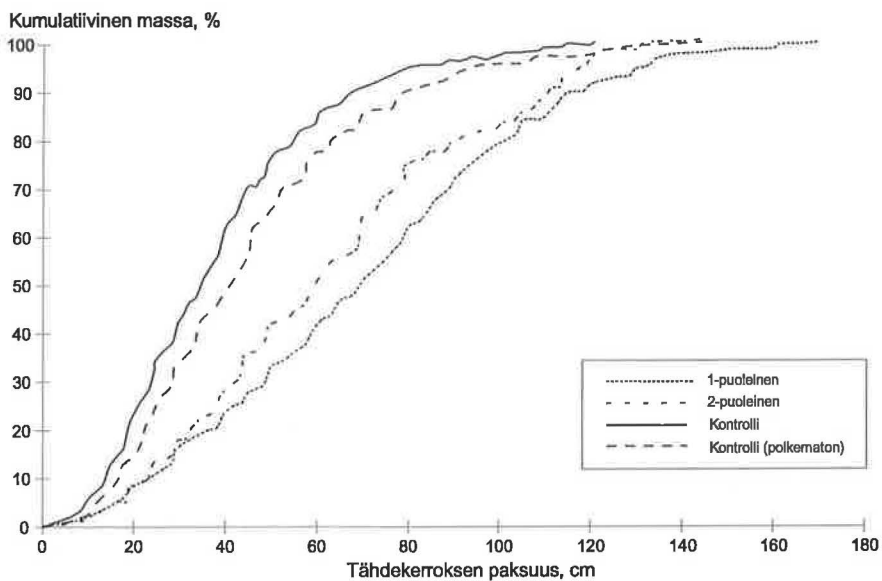
Havaintojen jakautuminen paksuusluokkiin ei kuitenkaan kerro kaikkea hakkuutähteen kasautumisesta. Edustaaan yksittäinen havainto paksusta kasasta huomattavasti suurempaa biomassan mää-

rää kuin havainto matalasta kasasta. Massan riippuvuutta kasan korkeudesta kuvattiin regressioyhtälöllä (kuva 6). Kontrollia käytettäessä 80 % hakkuutähteestä tiivistyy koneitten pyörien alle 50 cm:n paksuisiksi kerroksiksi. Siksi tälle tiivistyneelle massalle laskettiin oma hakkuutähdemassan tiiviyttä kuvaava yhtälö. Tämän jälkeen laskettiin kuvan 6 yhtälöitä hyväksikäyttäen kumulatiiviset massat hakkuutähteen paksuuden suhteen. Tämä tapahtui korjaamalla kontrollin tulos vastaamaan polkematonta massaa.

Kuvasta 7 nähdään, että esimerkiksi yli 50 cm paksuihin kerroksiin kontrollissa kertyi vain 20 %



Kuva 6. Hakkuutähteen polkematon ja poljettu massa tähdekerroksen paksuuden funktiona.



Kuva 7. Hakkuutähteen massan kumulatiivinen frekvenssi tähdekerroksen paksuuden suhteen eri työtavoilla.

Taulukko 3. Hakkuutähteen jakauma paksuusluokittain työskentelymenetelmästä riippuen. Vaakariveillä samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eroavat parittaisessa (Tukey) vertailussa toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$).

Hakkuutähteen paksuus, cm	Osuus pinta-alasta, %			p
	1-puoleinen	2-puoleinen	Kontrolli	
0	56,7	49,9	42,5	0,279
1–20	12,3	14,3	25,9	0,078
20–40	10,5	13,6	20,7	0,052
40–60	7,7	9,7 _a	7,3 _a	0,042
60–80	5,8 _a	7,1 _b	2,7 _{ab}	0,001
> 80	7,0 _a	5,4 _b	0,9 _{ab}	0,003
Työmaita, n	5	4	5	

hakkuutähteen massasta. Vastaava luku 1- ja 2-puoleisella työtavalla oli 70–80 %. Yli 80 cm:n korkuisiin kasoihin kontrollissa kertyi ainoastaan 5 % massasta, kun taas yksipuoleisella työtavalla vastaava luku oli 45 % ja kaksipuoleisella 30 %.

Vaihtoehtoisten työtapojen keskinäinen ero johtui siitä, että 1-puoleisessa työtavassa hakkuutähde kertyy yhdelle puolelle ajouraa ja näin ollen suppeammalle alalle. Tällöin korkeitten kasojen osuus kasvaa. Kaksipuoleisessa työtavassa taasen kasat kertyvät molemmin puolin ajouraa, pinta-alaa tulee lisää ja kasat madaltuvat. Kontrollina käytetyssä työtavassa korkeita kasoja ei pääse syntymään, koska koneet polkevat ne tiiviiksi, mataliksi kerroksiksi. Tätä osoittaa myös kuvan 7 'kontrolli'-käyrä. Päätelmää vaihtoehtoisten työtapojen tehokkuudesta vahvistaa vielä takautuvasti laskettu 'kontrolli(polkematon)'-käyrä. Se ilmaisee hakkuutähteen kumulatiivisen massan ennen polkeutumista. Vertailu vaihtoehtoisten työtapojen kanssa osoittaa kasautumisen olevan todellista eikä riippuvaista siitä, ajetaanko hakkuutähteen yli vai ei.

4 Tulosten tarkastelu

Yksioteharvesterilla tehtävässä päätehakkuussa yksipuoleisen, hakkuutähteen talteenottoon tähtäävän työtavan ja kontrollina käytetyn tavanomaisen työtavan tuotosluvut ovat samansuuntaiset, mutta erot

pienemmät kuin ruotsalaisessa tutkimuksessa (Wigren 1991). Tässä tutkimuksessa ero oli keskimäärin vain 1,2 % eikä tilastollisesti merkitsevä. Ero saattaa hävitä kokonaan kuljettajan harjaantuessa ja motivoituessa uuteen työtapaan. Kaksipuoleinen työtapa oli noin 14 % muita työtapoja tuottoisampi. Tämäkin vahvistaa Ruotsissa saatua tulosta (Wigren 1992c). Näyttääkin siltä, että mitä tuottavuuteen ainespuun korjuussa tulee, niin kaksipuoleista työtappaa tulisi suosia riippumatta siitä korjataanako hakkuutähteet energian raaka-aineeksi vai ei.

Tulokset osoittavat, että yksioteharvesterin työtappaa muuttamalla hakkuutähteen kasaantumista voidaan edistää. Paras kasautuminen saavutettiin yksipuoleisella työtavalla. Työtapojen paremmuutta arvioitaessa ei kuitenkaan tule unohtaa sitä ainespuun korjuun kannalta tärkeätä seikkaa, että yksioteharvesterin tuotos ainespuun teossa on kaksipuoleisella työtavalla suurin. Ruotsalaistutkimusten (Brunberg 1991) perusteella on pääteltävissä, että hakkuutähteen tehokkaampi keräily on mahdollista tässä tutkimuksessa esiteltyjä uusia korjuutapoja käytettäessä. Jatkotutkimuksissa tuleekin keskittyä hakkuutähteen keräilytyön ja metsäkuljetuksen tuotoksen selvittämiseen. Tässä yhteydessä tulisi tutkia erityisesti uusia teknisiä ratkaisuja kuormatilan kasvattamiseksi. Tällöin metsäkuljetuksen tuotos kasvaisi huomattavasti ja kuljetuskustannukset vastaavasti laskisivat.

Kiitokset

Puunkorjuusta vastasivat metsäkoneurakoitsijat Olli Karjalainen ja Markku Montonen, aineiston keräsivät Taisto Jaakola ja Jaakko Miettinen, näytteiden käsittelyn teki Reetta Kolppanen, aineiston käsittelyssä avusti Seppo Vihanta ja tulostuksessa Keijo Polet. Käsikirjoituksen lukivat prof. Pentti Hakki-la, MML Jyrki Hytönen ja MML Risto Lauhanen. Kiitän kaikkia tutkimukseen osallistuneita.

Kirjallisuus

- Asikainen, A. & Kärhä, K. 1993. Hakkuutähteen talteenotto osana puunkorjuun kokonaisurakointia. Tutkimusraportti. Metsätieteellinen tiedekunta, Joensuun yliopisto. Käsikirjoitus.
- Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regressions on the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 2: 49–53.
- Brunberg, B. 1991. Tillvaratagande av skogsbränsle – träddeklar och trädrester. Skogsarbeten, redogörelse 5. 54 s.
- 1994. Bioenergia-ohjelman 'Puupolttoaineiden tuotantotekniikan' seurantaryhmän kokous Jyväskylässä 19.1.1994. Esitelmä.
- Finney, D.J. 1941. On the distribution of a variate whose logarithm is normally distributed. *Journal of Royal Statistical Society. Ser B* 7: 155–61.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Summary: Crown mass of trees at the harvesting phase. *Folia Forestalia* 773. 24 s.
- 1992. (toim.). Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- & Kalaja, H. 1974. Oksaraaka-aineen kasaus Melroe Bobcat M-600 kuormaajalla. Summary: Bunching of branch material by Melrose Bobcat M-600 loader. *Folia Forestalia* 204. 16 s.
- Harstela, P. & Takalo, S. 1974. Kokeita oksaraaka-aineen kuormauksesta ja kuljetuksesta. Summary: Experiments on loading and transportation of branch raw material. *Folia Forestalia* 215. 12 s.
- Jonsson, T. 1989. Skotning av trädrester. Skogsarbeten, stencil 1989-02-21. 18 s.
- Kuitto, J-P. 1982a. Hakkuutähteen korjuun tuottavuus pohjoissuomalaisissa korjuuolosuhteissa. Metsätehon moniste 26.3.1982.
- 1982b. Hakkuutähteen metsäkuljetus Pika-75 -monitoimikoneen jälkeen. Metsätehon moniste 6.5.1982.
- 1983. Hakkuutähteiden korjuu monitoimikonehakuun jälkeen. Metsätehon moniste 25.1.1983. 24 s.
- Mellström, C. & Thörlind, M.U. 1981. Skotning av hyggesrester. Skogsarbeten, ekonomi 1. 4 s.
- Mårdberg, S. 1992. Skotning av avverkningsrester – en presentationsstudie. Examensarbete 13. Skogmästar-skolan. 38 s.
- Mäkelä, M. 1975. Oksaraaka-aineen kasaus ja kuljetus. Summary: Bunching and transportation of branch raw material. *Folia Forestalia* 237. 19 s.
- Wigren, C. 1990. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med tvågresskördare. Skogsarbeten, stencil 1990-09-06. 41 s.
- 1991. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med engreppsskördare – studie av en bränsleanpassad metod hos Mälarskog. Skogsarbeten, stencil 1991-11-08. 16 s.
- 1992a. Studie av bränsleanpassad avverkning med engreppsskördare hos Mellanskog. Skogsarbeten, stencil 1992-02-14. 6 s.
- 1992b. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med tvågreppsskördare – studie av en bränsleanpassad metod hos Skaraborgs Skogsägare. Skogsarbeten, stencil 1992-02-14. 12 s.
- 1992c. Uttag av trädrester efter slutavverkning med engreppsskördare. Skogsarbeten, resultat 8. 4 s.

21 viitettä