

METSÄTEHO

KATSAUS

8/1995



CHIPSET 536 C -HAKEHARVESTERI POLTTORAACA-AINEEN HANKINNASSA

Asko Poikela Kaarlo Rieppo

CHIPSET 536 C on Oy Logset Ab:n kehittämä paltalla toimiva hakeharvesteri. Metsäteho tutki hakeharvesterin käyttöä polttoraaka-aineen hankinnassa syyskuussa 1994 Keski-Suomessa. Kohteina olivat kolme tiheydeltään ja keskijäreydeltään erilaisista ensiharvennusmännikköä, yksi ensiharvennuskoi-vikko, yksi haavikko ja yksi avohakkuukuusikon hakkuutähdekohde. Koealoja oli yhteensä 21.

Tavanomainen menetelmä oli manuaalinen kokopuun siirtelykaato sekä haketus ja lähikuljetus hakeharvesterilla. Järeimmässä ensiharvennusmännikkössä ainespuun koneellinen hakkuu tehtiin 10 cm:n latvaläpimittaan ja latvat sekä ainespuujäreyttä pienemmät rungot haketettiin hakeharvesterilla. Avohakkuukohteella hakkuutähteet kasattiin hakkuun yhteydessä.



Valok. Metsäteho



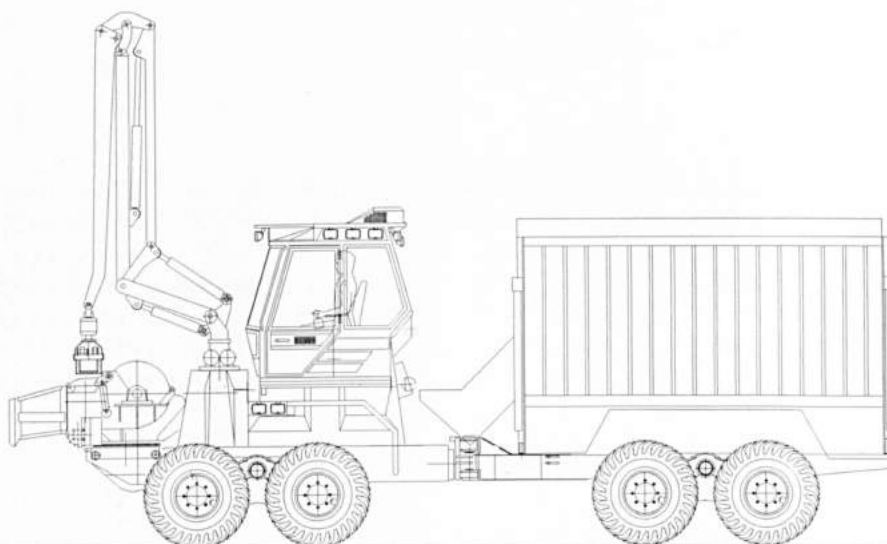
METSÄTEOLLISUUS

Kuljettajien välistä tuottavuuseroa tutkittiin ainoastaan tiheässä ensiharvennusmännikössä. Kuljettajan 1 tuotos oli 56 % suurempi kuin kuljettajan 2. Kuljettaja 1 oli kokeneempi. Kuljettaja 2 saavutti parhaimman käyttötuntituotoksen (22,6 i-m³) tiheydeltään tavallisessa ensiharvennusmännikössä, kun hakepalan koko oli säädetty tavanomaista suuremmaksi. Yhtä hyvä tuottavuus saavutettiin järeimmässä ensiharvennusmännikössä latvoja ja pieniä kokopuita hakettaessa. Koivukokopuun haketus oli lähes yhtä nopeata kuin mäntykokopuun.

Avohakkuutähteen haketuksessa käyttötuntituotokset olivat vaatimattomia, 10,8 - 11,4 i-m³. Syynä oli syöttölaitteen huono soveltuvuus hakkuutähteen käsittelyyn. Syöttölaitetta onkin valmistajan mukaan kokeiden jälkeen kehitetty paremmin hakkuutähteen käsittelyyn soveltuvaksi.

Kannattavinta polttoraaka-aineen hankinta CHIPSET-hakeharvesterilla on avohakkuun hakkuutähteistä, kun hakeharvesteri varustetaan hakkuutähteen käsittelyyn sopivalla syöttöpöydällä. Optimisinaan avohakkuutähteistä tehdyn hakkeen hinta käyttöpaikalla 40 kilometrin kaukokuljetusmatkalla on noin 40 mk/MWh. Jos puusto on järeydeltään 30 - 50 dm³:n ensiharvennuskokopuuta, ovat hakkeen hankintakustannukset noin 60 - 70 mk/MWh. Manuaalisen siirtelykaadon kustannukset ovat etenkin pienirunkoisissa kohteissa suuret hankintaketjun kokonaiskustannuksiin verrattuna. Kehitystä pitäisi-kin suunnata nimenomaan pienten puiden kaatoon ja kasaukseen. Tätä ongelmaa tuskin ratkaisevat nykyiset kaato-kasauslaitteet.

Yksityiskohtaiset tulokset on julkaistu Metsätehon monisteessa 27.3.1995.



CHIPSET 536 C -hakeharvesterin tekniset tiedot (lähde: Oy Logset Ab)

Omapaino	15 000 kg	Pyörät edessä ja takana	600/50x22,5
Kantavuus	6 000 kg	Voimansiirto	täyshydrostaattinen
Vetovoima	120 kN	8-pyöräveto	
Leveys	2 550 mm	Kuormaimen ulottuvuus	6,5 m
Pituus	9 730 mm	Hakelaite:	
Työskentelykorkeus	6 000 mm	Etuasennettu rumpuhakkuri	
Kuljetuskorkeus	3 800 mm	Kääntökulma	+/- 90°
Keräyssäiliö	16 m ³	Maksimi puunhalkaisija	350 mm
Moottori	PERKINS Turbo Diesel	Automaattinen hakkeen syöttö	
Teho/2200 rpm	205 Kw	keräyssäiliöön	
Vääntömomentti/1550 rpm	1 098 Nm	Vakiovarusteisiin kuuluu videokamera	
Polttoainesäiliö	250 l	peruutusta varten	

TAUSTA

Oy Logset Ab on Bioenergia-tutkimusohjelmassa kehittänyt palstalla kulkevan CHIPSET 536 C -hakeharvesterin. Tutkittavana oli uusin eli toinen prototyyppi.

Hakeharvesterin toimintaperiaatteena on

- kerätä valmiiksi kaadettuja tai kaatamiaan puita tai kerätä hakkuutähteitä eteen sijoitetulla nosturilla ja kouralla
- syöttää puut ja hakkuutähteet eteen sijoitettuun rumpuhakkuriin, joka kääntyy 90° molemmille sivuille, jolloin kone pystyy yhdellä ajokerralla poimaan puuaineksen ajouran molemmilta puolilta
- hakettaa hakkuutähteet sekä puut, joiden suurin halkaisija on 350 mm
- syöttää hake taakse sijoitettuun 16 m³:n konttiin
- kuljettaa hakekuorma pois metsästä ja tyhjentää hakekontti kippaamalla autotien varressa sijaitsevaan irtokonttiin, vaihtolavalle tai irtoperävauvuun.

TAVOITE JA RAJAUKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hakeharvesterin tuottavuus ja haketuskustannukset koneelle soveltuvimmissa olosuhteissa, joiksi määritettiin:

- kokopuiden haketus manuaalisen siirtelykaadon jälkeen
- kuitupuurunkojen latvojen ja pienten kokopuiden haketus hakkuukoneen jäljiltä
- hakkuutähteiden haketus avohakkuualalta.

Tavoitteena oli edelleen kartoittaa hakeharvesterin kehitystarpeita sarjatuotantoa varten sekä selvittää mahdollisia jatkotutkimustarpeita.

Tutkimuksessa rajoituttiin selvittämään hakeharvesterin käyttökelpoisuus polttokäyttöön tarkoitetun hakkeen tuottamisessa. Maastokokeissa ei tutkittu haketusta edeltävää manuaalista siirtelykaatoa eikä hakkeen jatkokuljetusta konteissa käyttöpaikalle. Näiden työvaiheiden kustannukset määritettiin Metsätehossa olevan tutkimustiedon ja laskentamallien perusteella. Kokeissa ei selvitetty myöskään kaatopään vaikutusta hakeharvesterin tuottavuuteen.

TOTEUTUS

Metsäteho vastasi koesuunnitelman laatimisesta, kenttäkokeista, tulosten analysoinnista ja raportoinnista. VTT Energia auttoi kenttäkohteiden etsinnässä sekä koealojen määrittämisessä ja alkumittauksissa Keski-Suomen Metsäenergia -projektin puitteissa. VTT Energia analysoi myös hakenäytteet. Oy Logset Ab järjesti koneen ja kuljettajat.

Tutkimuskohteina oli kolme ensiharvennusmännikköä, yksi ensiharvennuskoiavikko, yksi haavikko ja yksi kuusikon avohakkuun hakkuutähdekohte. Ensiharvennusmänniköistä osa oli lähtöpuustoltaan tiheitä (4 500 - 8 600 runkoa/ha) ja osa tavallisen tiheitä (2 300 - 4 000 runkoa/ha). Lehtipuukohteilla lähtöpuuston tiheydet olivat 1 300 - 2 200 runkoa/ha. **Lähtöpuustoon luettiin mukaan kaikki rinnan-korkeusläpimittaluokaltaan 3 cm ja sitä suuremmat rungot.**

TAULUKKO 1 Hakeharvesteritutkimuksen koealat

Puulaji tai hakkuutapa	Haketettu rungon osa	Kuljettaja	Lähtöpuuston tiheys	Hakkeen palakoko	Koealat, kpl
Ensiharvennusmänty	Kokopuu	1	Tiheä	Tavall.	3
		2	Tiheä	Tavall.	3
		2	Tavall.	Tavall.	3
		2	Tavall.	Suuri	2
Ensiharvennuskoiu	Kokopuu	2	Tavall.	Tavall.	3
Haapa	Kokopuu	2	Tavall.	Tavall.	1
Ensiharvennusmänty	Latva, <100 mm	2	Tavall.	Tavall.	2
Avo-hakkuu	Hakkuutähti	2	510 runkoa/ha	Tavall.	2
		2	420 runkoa/ha	Tavall.	2

Harvennuskohteilla hakkuu tehtiin manuaalisesti siirtelykaatona. Kaadetut puut siirrettiin kouraisuyksiköihin kuormaimen ulottuville korkeintaan 6 metrin päähän ajouran keskeltä. Osalla koealoista hakkuu-uralla oli kaadettuja puita ja osalla ajoura oli jätetty vapaaksi. Ajouravälitavoite oli 20 metriä. Lisäksi tutkittiin järeimmässä ensiharvennusmännikössä menetelmää, jossa koneellinen tavaralajihakkuu tehtiin käyttäen minimiläpimittana 10 cm:ä. Hakkuukone kasasi latvat ja ne rungot, joista ei kertynyt ainesrunkopuuta (yleensä d_{1,3} <13 cm) uran varteen haketusta varten.

Avohakkuukohteella hakkuukoneen kuljettaja kasasi hakkuutähteet sopiviin kasoihin hakeharvesterilla tehtävää haketusta varten.

Kukin koeala pyrittiin määrittämään puustoltaan mahdollisimman homogeeniseksi. Koealan leveys määräytyi ajouravälin mukaan (19 - 21 m), ja koealojen pituudet olivat 50 - 80 metriä. Koealoilta määritettiin haketettujen puuston runkolukusarjat. Avohakkuulla koealojen sijoittelu oli vapaa ja tavoiteko-ko 40 x 40 metriä.

Kokeisiin osallistui kaksi kuljettajaa. Kuljettaja 1 oli vertailukuljettaja, joka työskenteli ainoastaan tiheässä ensiharvennusmännikössä. Hän oli hyvin tottunut hakeharvesterin käyttöön. Kuljettajalla 2 oli kokeiden alussa vain muutaman päivän kokemus hakeharvesterin käytöstä. Hän oli kuitenkin hyvin tottunut metsätraktorin käyttäjä.

Hakeharvesterin työskentelyä tutkittiin vertailevan aikatutkimuksen periaatteen mukaisesti. Aikajaottelussa **pääajat** olivat ajo tyhjänä, haketus eli prosessointi, ajo kuormattuna ja tyhjennys. **Haketusaajan jaotteluna** oli siirtyminen ja hakkuriosan kääntö, kouran vienti ja tarttuminen, järjestely (kasaus), taakan tuonti, syötön auttaminen ja haketuksen odotus.

Koealoittain haketettiin vähintään yksi hakeharvesterin kuormallinen. Kuormittainen irtotilavuus määritettiin tyhjennyksen jälkeen irtokonteissa. Kunkin irtokontillisen paino määritettiin tehdasva'alla, jonka erottelukyky oli 50 kg. Koe-eristä otettiin näytteet, joista analysoitiin kosteus, tuoretiheys ja tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa. Haketuksen jälkeen jokaiselta harvennuskohdeelta määritettiin ajourien painumat sekä runko- ja juuristovauriot.

TULOKSET

Kohteiden puustotiedot

Poistettu puusto jaettiin aines- ja energiarunkopuuhun (rungan haketettava osa) sekä latvusmassaan (taulukko 2). Energiarunkopuu ja latvusmassa haketettiin. **Puuston tiheyden osalta on syytä ottaa huomioon, että runkoluvussa ovat mukana kaikki d_{1,3}-luokat 3 cm:iin asti.**

Hakkeen tiheydet ja lämpöarvot

Hakkeen kosteus oli 47 - 57 %. Pienin se oli haapakokopuusta ja suurin männyn latvaosista tehdyssä hakkeessa. Pienin tuorepaino, 757 kg/m³, oli haapakokopuuhakkeella ja suurin, 903 kg/m³, avohakkuutähdehakkeella. Keskimääräinen tiiviys koko aineistossa oli 0,43 m³/i-m³ (0,42 - 0,46). Keskimääräinen lämpöarvo saapumistilassa oli 0,75 MWh/i-m³ (0,70 - 0,82). Kuivatonna kohden lämpöarvo saapumistilassa oli keskimäärin 4,60 MWh (4,55 - 4,68).

Hakeharvesterin käyttötuntikustannukset

Hakeharvesterin käyttötuntikustannusten laskennassa käytettiin seuraavia pääolettamuksia:

- hakeharvesterin verollinen hinta 1 980 000 mk
- pitoaika 12 000 tuntia
- arvonaleneminen 30 % / vuosi
- käyttötuntien määrä vuodessa 2 640 (2 vuoroa, 16 työmaatuntia/päivä)
- käyttöaste 75 %
- polttoaineen kulutus 25 litraa/käyttötunti
- korjaus ja huolto 56,40 mk/käyttötunti
- kuljettajan urakkapalkka 47 mk/tunti
- välilliset työskustannukset 68,8 %.

Hakeharvesterin käyttötuntikustannuksiksi ilman siirtoja ja ilman arvonnalisäveroa muodostui 372 mk. **Siirtojen kanssa käyttötuntikustannukset olivat 409 mk.**

Työpäivän pituudella on merkittävä vaikutus käyttötuntikustannuksiin. Jos konetta käytetään yhdessä vuorossa (10 työmaatuntia/päivä), ovat käyttötuntikustannukset siirtoineen 455 mk eli 11 % suuremmat kuin peruslaskelmassa.

Haketuksen ajanmenekki, tuottavuus ja kustannukset

Prosessointiajan jakautuminen työnvaiheisiin

Prosessointiaikaan sisältyy työskentely palstalla ilman keskeytyksiä. Prosessointi jaettiin kuuteen työnvaiheeseen. Kuormaintyöskentely oli ensisijainen aikajaottelun peruste, ts. mikäli työnvaiheet limityivät (esim. siirtyminen ja kouran vienti), ajanmenekki kirjattiin kuormaintyöskentelyyn.

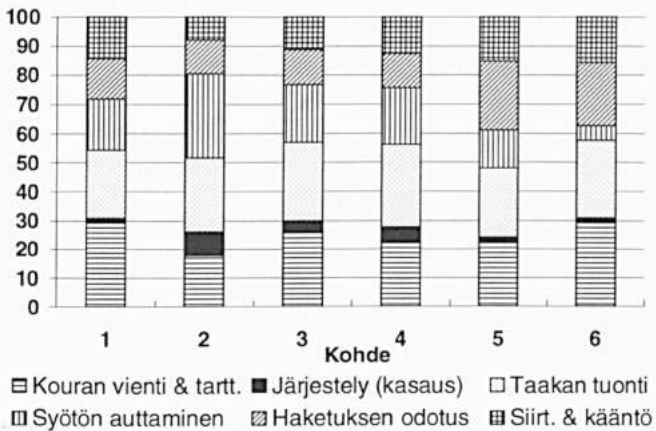
Prosessointiin käytetystä ajasta kului noin puolet siirtymiseen, hakkuriosan kääntöön, haketuksen odotukseen ja syötön auttamiseen. Näitä työnvaiheita voidaan kehitystyöllä nopeuttaa ja limittää muihin luonteeltaan kiinteämpiin työnvaiheisiin, kuten kouran vientiin, järjestelyyn ja taakan tuontiin. Esi-merkiksi hakkuutähteen haketuksessa (kohde 2) kului haketuksen odotukseen ja syötön auttamiseen

TAULUKKO 2 Puustotiedot kohteittain

Koh- de	Puu- raa- ka- aine)	Poistettu puusto					
		Tiheys, run- koa/ ha	Kuorellinen runkopuu				Lat- vus- mas- sa, kg/ runko
			Aines- runkopuu		Energia- runkopuu		
			dm ³ / runko	kg/ runko	dm ³ / runko	kg/ runko	
1	1	4 790	-	-	9,6	3,9	1,1
2	2	467	564,0	212,1	11,5	4,3	81,5
3	1	2 060	-	-	28,1	11,6	3,5
4	3	980	-	-	41,2	18,6	2,7
5	4	1 730	-	-	50,4	20,2	2,5
6	5	1 188	17,6	7,1	31,5	12,8	4,8

*) 1 = mäntykokopuu, 2 = avohakkuutähde,
3 = koivukokopuu, 4 = haapakokopuu,
5 = ensiharvennusmännyn latvaosa (läpimitta < 10 cm)
ja kokopuu (d_{1,3} < 13 cm)

Osuus prosessointiajasta, %



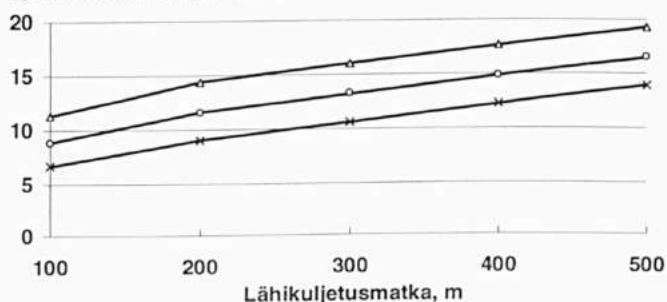
Kuva 1. Prosessointiajan jakautuminen eri työvaiheisiin CHIPSET-hakeharvesterilla

noin 40 % prosessointiajasta. Mikäli hakeharvesterissa olisi ollut hakkuutähteiden käsittelyyn soveltuva syöttöpöytä, hakkuri olisi hakettanut hakkuutähdettä ilman auttamista kuormaimen samalla noutaessa seuraavaa taakkaa tai harvesterin siirtäessä seuraavaan työpisteeseen.

Lähikuljetuksen ja tyhjennyksen ajanmenekki

Lähikuljetuksen ajanmenekki määritettiin *laskennallisesti* kolmelle eri vaihtoehdolle: ajouralla kaadettuja puita, ajoura vapaana puista ja avohakkuu. Ajanmenekki poikkeaa näissä vaihtoehdoissa sekä ajonopeuden (taulukko 3) että ajomatkan vaihtelusta johtuen. Avohakkuu ja harvennusvaihtoehto, jossa ajoura on vapaana puista, eivät edellytä yleensä peruuttamista kuorman täytyttyä ja ovat siten kuor-

Ajanmenekki, min/kuorma



—△— Ajouralla kaadettuja puita —○— Ajoura vapaana —×— Avohakkuu

Kuva 2. Lähikuljetuksen ja tyhjennyksen ajanmenekki hakeharvesterilla

mattuna ajon osalta nopeampia. Jos ajouralla on puita, peruutetaan kuormattuna metsästä tielle, jotta ajouralle kaadetut puut pysyisivät ehjinä ja puhtaina.

TAULUKKO 3 Lähikuljetuksen ajonopeudet ja tyhjennyksen ajanmenekki hakeharvesterilla

Lähikuljetustapa	Keskinopeus, m/min
Harvennuksella etuperin tyhjänä	32,9
Avohakkuulla etuperin tyhjänä	43,9
Harvennuksella etuperin kuormattuna	24,2
Harvennuksella peruuttaen kuormattuna	17,0
Avohakkuulla etuperin kuormattuna	36,4
Metsäauto- ja paikallistiellä	122,9
Tyhjennys (vaihteluväli 105 - 295)	165 cmin/kuorma

Haketuksen käyttötuntituotos ja haketuskustannukset

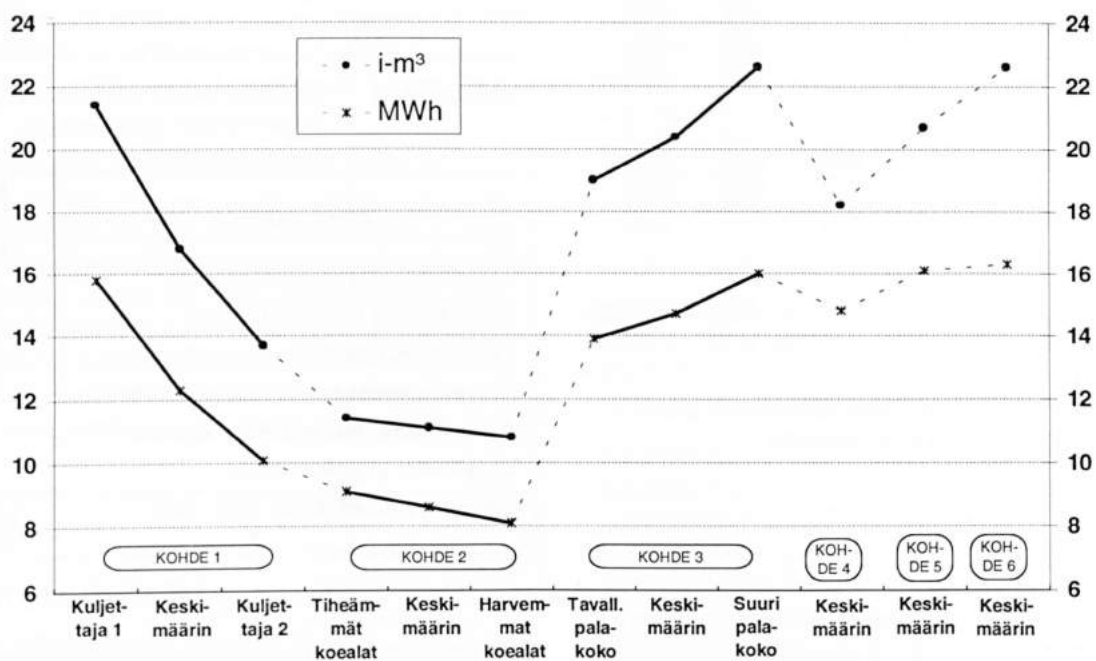
Tiheässä ensiharvennusmännikössä käyttötuntituotos oli 21,4 i-m³ kuljettajalla 1 ja 13,7 i-m³ kuljettajalla 2 (kuva 3, s. 6). Haketuskustannukset megawattituntia kohden olivat 26 mk kuljettajalla 1 ja 40 mk kuljettajalla 2 (kuva 4, s. 6).

Kun hakkeen palakoko oli suuri, käyttötuntituotos oli 19 % parempi kuin tavallisella palakoolla. Tiheän ensiharvennusmännikön koealoilla käyttötuntituotos oli puolestaan 28 % pienempi kuin tiheydeltään tavallisissa puustoissa.

Paras käyttötuntituotos (22,6 i-m³) saavutettiin tiheydeltään tavallisessa ensiharvennusmännikössä (suuri hakkeen palakoko) ja männyn latvaosan haketuksessa. Lehtipuun hakuus oli i-m³:einä mitattuna keskimäärin yhtä nopeaa ja MWh:eina mitattuna hieman nopeampaa kuin mäntykokopuun hakuus.

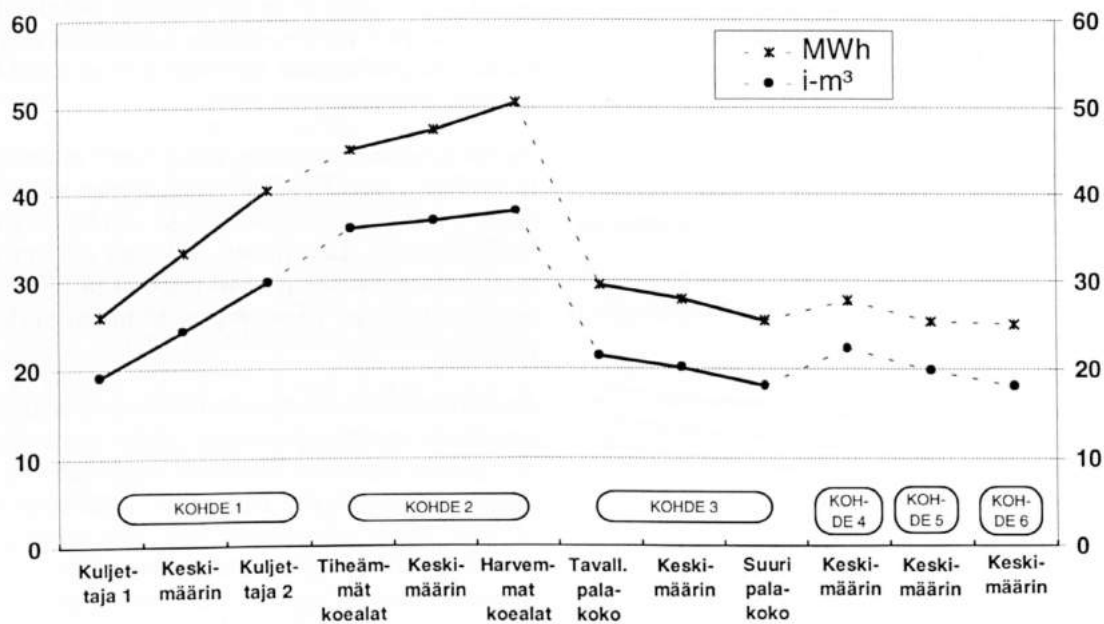
Avohakkuutähteen haketuksessa käyttötuntituotokset jäivät vaatimattomiksi, 10,8 - 11,4 i-m³. Tämä johtui syöttölaitteen huonosta sopivuudesta hakkuutähteen käsittelyyn. Hakkurin tehollinen hakuusaika jäi hyvin alhaiseksi, noin 25 - 40 %:iin prosessointiajasta. Kokopuita hakettaessa vastaava osuus oli 64 %. Mikäli hakeharvesterin syöttölaite saataisiin toimimaan optimaalisesti, olisi avohakkuulla mahdollista nostaa tehollisen haketusaajan osuus jopa kaksinkertaiseksi. Tällaisessa *optimivaihtoehdossa* käyttötuntituotos nousisi 200 metrin ajomatkalla lähes 20 i-m³:iin. Haketuskustannukset olisivat 27 mk/MWh edellyttäen, että hakeharvesterin käyttökustannukset eivät nousisi.

i-m³ tai MWh / käyttötunti



Kuva 3. CHIPSET-hakeharvesterin käyttötuntituotos 200 metrin lähikuljetusmatkalla

mk / i-m³ tai MWh



Kuva 4. CHIPSET-hakeharvesterin haketuskustannukset 200 metrin lähikuljetusmatkalla

Hakkuukustannukset

Siirtelykaatokustannuksia määritettäessä oletettiin pienimmätkin rungot kasattaviksi. Erityisesti kohteella 1 oli runsaasti tavallisesti alikasvoksena raivattavaa puustoa. Mikäli pienimpään d₁₀-luokkaan (3 cm) kuuluvat puut olisi raivattu siirtelykaadon sijaan, olisivat hakkuun kokonaiskustannukset laskeneet 25 % kohteella 1 ja 13 % kohteella 3. Poistettavan puuston biomassasta olisi menetetty raivauspuuston mukana tiheimmällä kohteella noin 10 % ja tavallisessa ensiharvennusmännikössä noin 5 %. Jos myös 5 cm:n luokka olisi sisällytetty raivauspuustoon, olisivat hakkuukustannukset vähentyneet jyrkästi, mutta samalla olisi menetetty tiheimmällä kohteella yli 40 % ja kohteella 3 15 % biomassasta. Tällä olisi ollut vaikutusta myös hakeharvesterin tuottavuuteen sekä raivauspuuston aiheuttaman haitan että työpisteestä ja työmaalta toiselle tapahtuvien siirtymisten lisääntymisen kautta.

Siirtelykaatokustannukset sisältävät metsurimittauksen ja ajourasuunnittelun kustannukset (taulukko 4). Metsurimittauksesta luopumalla säästyisi hakkuun kokonaiskustannuksista 15 - 20 %.

TAULUKKO 4 Siirtelykaatokustannukset

Kohde	Puuraaka-aine	Rungon keski-koko, dm ³	Siirtelykaatokustannukset			
			mk/kuiva-ainetonne	mk/runko-puu-m ³	mk/bio-massa-m ³	mk/MWh
1	Tiheä ensiharvennusmäntykopuu	9,6	194	100	69	43
3	Tavallinen ensiharvennusmäntykopuu	28,1	105	49	38	23
4	Ensiharvennuskoi-vukopuu	41,2	90	46	36	19
5	Haapa-kopuu	50,4	62	42	25	13

Kohteella 6 hakattiin ainespuurungot koneellisesti 10 cm:n minimilatvaläpimitaan saakka. Loppuosat kasattiin uran varteen haketusta varten. Tästä aiheutui ainespuun hakkuukustannusten nousu, joka energiaosuudelle kohdistettuna oli 21 mk/MWh.

Kohteen 2 avohakkuulla tavanomaiset konehakkuukustannukset ovat noin 16 mk/m³. Hakkuutähtien kasauksen vuoksi hakkuun tuottavuuden ole-

tettiin alenevan 6 %. Tästä johtuva hakkuukustannusten nousu on 1,0 mk/ainespuu-m³. Se aiheuttaa lisäkustannuksia energiaosalle 2,6 mk/MWh.

Kaukokuljetuskustannukset

Kaukokuljetuskustannusten määrittämiseksi tehtiin seuraavat oletukset: Hakeauto ottaa kyytiinsä kolme irtokonttia, joiden kunkin tilavuus on 35 m³ eli kokonaistilavuus 105 m³. Yhteensä käytössä on 3 + 3 konttia eli toiset kontit ovat ajossa ja toiset varastolla. Hakeauton omapaino on 24 tonnia. Sallittu kuorman paino on tällöin 36 tonnia maksimikantavuudella. Tuore-irtotiheydellä 370 kg/i-m³ tämä vastaa 97 i-m³:n kuormaa. Työaika on 3 520 tuntia/vuosi ja käyttöaika 3 140 tuntia. Konttien lastaaminen kestää 15 min/kontti eli 45 minuuttia kuormaa kohden. Konttien purkaminen odotuksineen hakkeen käyttöpaikalla kestää yhtä kauan.

Hakeauton verollinen hinta, 1 496 000 mk, muodostui seuraavista seikoista: vetoauto 1 000 000 mk, perävaunu 200 000 mk, kontinkäsittelyvarustus asennuksineen 200 000 mk ja 6 konttia (á 16 000 mk) 96 000 mk.

Kun oletetaan, että hakkeen keskimääräinen kosteusprosentti on 55 ja lämpöarvo saapumistilassa 4,60 MWh/kuiva-ainetonne, ovat kaukokuljetuskustannukset taulukon 5 mukaiset.

TAULUKKO 5 Hakkeen kaukokuljetuskustannukset

Kuljetusmatka, km	Kuljetusmäärä, i-m ³	Kaukokuljetuskustannukset		
		mk/kuivatn	mk/i-m ³	mk/MWh
20	125 900	41	6,8	8,8
40	98 300	57	9,5	12,0
60	82 400	72	12,0	16,0
80	71 600	87	14,0	19,0

Polttoraaka-aineen hankinnan kokonaiskustannukset

Puupolttoraaka-aineen hankinnan kokonaiskustannukset CHIPSET-hakeharvesteriin perustuvalla ketjulla eri oloissa on esitetty taulukossa 6. Laskelmassa puulle ei ole otettu huomioon kantohintaa. Organisointi-, mittaus-, ym. kustannukset perustuvat Mikkelin seudun Puuha-projektissa toteutuneisiin kustannuksiin.

Polttoraaka-aineen hankinta on edullisinta avohakkuun hakkuutähteistä. *Tämä edellyttää kuitenkin muutoksia hakeharvesterin syöttölaitteistoon.* Kesikooltaan 30 - 50 dm³:n ensiharvennuspuun (mänty, koivu tai haapa) hankintakustannukset ovat 59 - 73 mk/MWh perustuen kuljettajalta 2 mitattuun haketuksen tuottavuuteen. Kuljettajan 1 käyttötunti-

Erittely	Kohde					
	1	2	3	4	5	6
	Tiheä ensiharvennusmäntykokopuu	Avohakkuutähde	Tavall. ensiharvennusmäntykokopuu	Ensiharvennuskoivukokopuu	Haapa-kokopuu	Ensiharvennusmänty, latvaosa
Kustannukset, mk/MWh						
Kantohinta	0	0	0	0	0	0
Organisointi, mittaus ym.	8	4	8	8	8	8
Siirtelykaato	43	-	23	19	13	-
Konehakkuun hidastumiskustannukset	-	3	-	-	-	21
Kaukokuljetus (40 km)	12	12	12	12	12	12
Haketus, kuljettaja 2	40	27*)	29	28	25	25
Yhteensä, kuljettaja 2	103	46*)	73	67	59	67
Haketus, kuljettaja 1	26	17**)	19**)	18**)	16**)	16**)
Yhteensä, kuljettaja 1	89	36**)	62**)	57**)	50**)	58**)

*) Laskennallinen optimi

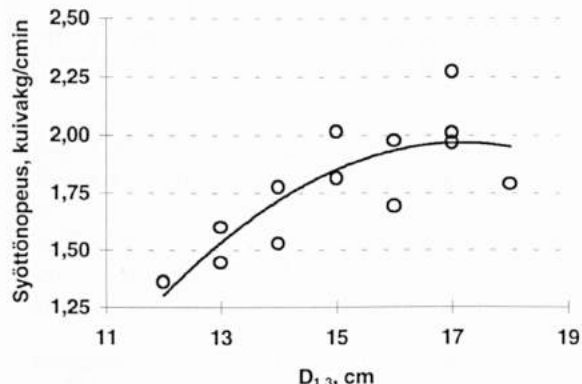
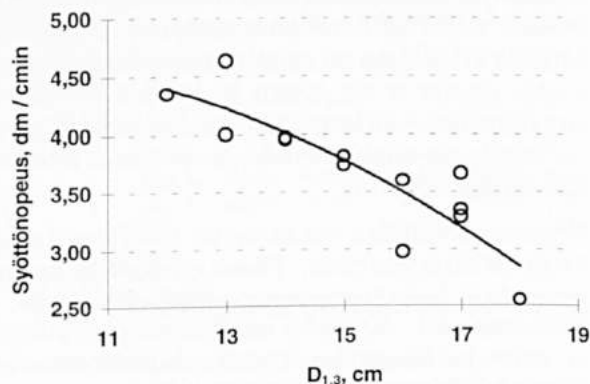
**) Kohteella 1 todetun kuljettajien välisen tuottavuuseron on oletettu toteutuvan kaikilla kohteilla

tuotos oli tiheässä ensiharvennusmännikössä yli 50 % parempi kuin kuljettajan 2. Jos tämä olisi toteutunut muillakin kohteilla, olisivat haketuksen kokonaiskustannukset muodostuneet taulukon 6 alimman rivin mukaisiksi.

Yksinpuinkokeet

Kohteella 3 (tavallinen ensiharvennusmänty) tehtiin suppea koe, jossa hakeharvesteri haketti erikokoisia yksittäisiä runkoja tyvi ja latva edellä. Havain- toja, joissa puut haketettiin latva edellä, kertyi vain 5 kappaletta, koska järeimmät koeput katkesivat

kuormaimen tarttuessa latvaan tai viimeistään syöttövaiheessa. Latva edellä hakettaminen oli ongelmallista myös puustovaurioiden vuoksi. Kun runkoa juonnettiin kuormaimella "vastakarvaan", oksia katkeili runsaasti ja oksantyingät vaurioittivat jäävää puustoa. Tyvi edellä hakettaminen oli huomattavasti jouheampaa. Syöttönopeus pituusyksiköllä ilmaistuna hidastui tasaisesti runkojen järeytyessä. Kun syöttönopeutta tarkastellaan kuivamassatuotoksena aikayksikköä kohti, osoittautuu järeä kuitupuurunko selvästi joutuisimmaksi raaka-aineeksi yksinpuin haketettaessa (kuva 5). Kuivamassaan sisältyy myös latvus.



Kuva 5. CHIPSET-hakeharvesterin syöttönopeus yksittäisillä rungoilla tyvi edellä

Yksinpuinkokeet antavat viitteitä kaatolaitteen käytön vaikutuksesta hakeharvesterissa. Kaatolaittehan edellyttää yleensä yksinpuin tapahtuvaa haketusta. Korkein kuivamassatuotos saavutettiin lähellä minimi-¹³tukkirungon järeyttä. Jos kaatolaitteella varustettu kuormain syöttäisi yksittäisiä runkoja *taut-ta* hakkuriin, jäisi kuivamassatuotos tavallisessa ensiharvennusleimikossa ($d = 9 - 13$ cm) noin puoleen todetusta maksimista. Kun otetaan huomioon myös kaatotyöstä aiheutuvat hakkurin tyhjänäpyörimisajat, vähenee tuotos entistä jyrkemmin keskijäreyden laskiessa optimijäreydestä tavalliseen ensiharvennusjäreyteen.

Siirtelykaatokustannukset olivat esim. tavallisessa ensiharvennusmännikössä 23 mk/MWh. Tämän verran saavat kaatolaitteella varustetun hakeharvesterin haketuskustannukset nousta, jotta kokonaiskustannukset pysyvät muuttumattomina. Se merkit-sisi tämän tutkimuksen aineistojen perusteella sitä, että hakkurin prosessoinnin ajanmenekki saisi lähes kaksinkertaistua kokonaiskustannusten nousematta.

Puusto- ja maastovauriot

Kultakin kohteelta määritettiin kasvatettavan puuston vauriot sekä maastovauriot. Vaurioituneet rungot luokiteltiin vaurion vakavuuden (lievä/vakava), vaurion sijainnin (runko/juuristo) ja rungon sijainnin (ajouran reunapuu/muu) mukaan. Puustovauriot eivät poikenneet merkittävästi tavallisessa ensiharvennuksessa syntyvistä vaurioista. Kasvatettavaksi jääneestä puustosta 3,5 % todettiin vaurioituneeksi. Vakavasti vaurioituneiden runkojen osuus vaihteli kohteittain välillä 1,4 - 2,1 %. Vaurioituneista puista 45 % määritettiin vakavasti vaurioituneiksi, ja vauriot sijaitsivat pääsääntöisesti rungossa (83 %). Juuristovaurioiden pieni osuus johtuu siitä, ettei painumia syntynyt lainkaan yhtä koealaa lukuun ottamatta (yht. 1,7 % uran kokonaispituudesta). Noin puolet kaikista vauriopuista sijaitsi ajouran reunassa.

Vauriot määritettiin vain tutkimuskoealoilta, vaikka hakeharvesteri työskenteli myös niiden välisellä alueella. Koealoilta määritetyt vauriot eivät siten anna aivan oikeaa kuvaa käytännön tilanteesta, koska niihin ei sisältynyt risteysalueita eikä jyrkkiä mutkia. Painumat ja puustovauriot painottuvat tavallisesti juuri näihin ongelmakohtiin.

PÄÄTELMÄT

CHIPSET-hakeharvesterin tuottavuus- ja kustanusanalyysissä tehtiin useita olettamuksia. Tämän vuoksi esitettyjä polttoraaka-aineen hankinnan kokonaiskustannuksia on pidettävä lähinnä suuntaa-antavina. Tuloksia tarkasteltaessa voidaan olettaa, että *harjaantuneella kuljettajalla kokonaiskustannukset jäävät keskimäärin pienemmiksi kuin tämän tutkimuksen kuljettajalla 2.*

Hakkeen palakoon vaikutuksesta tarvitaan lisää tietoa. Palakoon suurentamisen todettiin nostavan hakeharvesterin käyttötuntituottavuutta. Tulisi edelleen selvittää, olisiko tuottavuuden kannalta järkevää vielä suurentaa palakokoa ja toisaalta, onko palakoon suurentamisella vaikutusta polttoon.

Avohakkuutähteen haketuksessa tuotos jäi alhaiseksi. Tämä johtui *hakeharvesterin syöttölaitteen huonosta soveltuvuudesta hakkuutähteen käsittelyyn*. Syöttölaitetta parantamalla tuottavuus on mahdollista jopa kaksinkertaistaa. Uuden syöttölaitteen tulisi taata nykyistä tasaisempi ja runsaampi hakkuutähdevirta hakkurille. Jos koneen hinnan lisäys syöttölaitteen vuoksi olisi 100 000 mk, nostaisi se koneen käyttötuntikustannuksia 7 markalla eli haketuskustannukset nousisivat 1,7 %.

Peruuttaminen kuormattuna oli selvästi hitaampaa kuin etuperin kuormattuna-ajo. Niinpä menetelmä, jossa ajouralta kaadettavat puut jätetään uralle, on varteenotettava vaihtoehto vain, jos hakkuukustannukset pienenevät ajon hidastumisesta aiheutuvaa kustannuslisäystä vastaavasti.

Hakkeen kuljetuskustannuslaskelmissa oletettiin, että hakeauto on koko ajan täystyöllistetty. Näin ei käytännössä kuitenkaan liene, koska *hakeauton ja hakeharvesterin muodostama ketju aiheuttaa odotusaikoja kummallekin. Tästä johtuen kuljetuskustannukset nousevat tässä tutkimuksessa esitetyistä.*

Alle 10 cm:n latvarunkopuun erottaminen hakkuussa ja haketus polttokäyttöön ei näytä olevan edullista ainakaan järeydeltään keskimääräisissä ensiharvennusleimikoissa. Esimerkiksi tutkitun harvennushakkuukohteen keskijäreys oli liian pieni tällaiseen menetelmään. Kokeiltu menetelmä vaatisi laajemman selvityksen vertailukohteineen. Myös metsäkuljetuksen tuottavuutta ja kustannusvaikutuksia olisi selvitettävä.

Avohakkuutähteen haketus näyttäisi CHIPSET-hakeharvesterilla olevan kustannuksiltaan kilpailukykyistä, jos tehdyt olettamukset toteutuvat konetta ja menetelmää kehitettäessä. Muiden menetelmien kannattavuutta heikentävät, varsinkin pienirunkoisissa kohteissa, siirtelykaadon kustannukset. *Kaatokustannusten pienentäminen on ehdoton edellytys ensiharvennuspuuston saamiseksi polttokäyttöön. Tämä ongelma tuskin ratkeaa nykyisen tyyppisillä keräävillä kaato-kasauslaitteillakaan.* Kaikkein pienimmät rungot ($d = 3 - 5$ cm) olisi ainakin nykyisillä menetelmillä todennäköisesti viisainta vain kaataa eikä kasata, koska näistä rungoista saatava kuivamassa on korjuukustannuksiin nähden vähäinen.

Asiasanat: hake, haketus, palstahaketus, hakeharvesteri, tuottavuus, kustannukset

CHIPSET 536 C CHIP-HARVESTER IN FUELWOOD PROCUREMENT

Developed by Oy Logset Ab, the CHIPSET 536 C is a chip-harvester for on-site operation. Metsäteho conducted fuelwood procurement tests with the harvester in September 1994 in Central Finland. The test sites were three first-thinning stand of pine differing in density and mean stem volume, one first-thinning stand of birch, one stand of aspen and one site with logging-waste left following the clear-felling of a stand of spruce. There were a total of 21 sample plots.

The conventional method was to motor-manually fell-and-bunch the trees and then to chip them and haul them to the roadside using the chip-harvester. On the clear-felled site the logging waste had been piled up in conjunction with the logging work. In the case of the first-thinning stand of pine of the largest mean volume, mechanised felling was applied on the pulpwood stems to a minimum top diameter of 10 cm and the tops and stems below merchantable timber diameter were chipped using the chip-harvester.

The output of two machine operators was examined only in the dense first-thinning stand of pine. Operator #1 achieved an output which was 56 % higher than that of operator #2. Operator #1 had more experience. Operator #2 achieved his highest output per gross effective hour (22.6 loose m³) in a first-thinning stand of pine of normal density when the chip size had been adjusted to above average. An equally high productivity level was achieved when chipping the tops and smaller stems in the first-

thinning pine stand with the highest mean stem volume. Chipping birch as whole-trees was almost as fast as chipping pine whole-trees.

The output figures per gross effective hour in chipping logging waste on the clear-felled site were modest, between 10.8 and 11.4 loose m³. The reason for this was in the feeding devices poor suitability for dealing with logging waste. Since the test, the feeding device has been modified by the manufacturer to improve its usability.

The procurement of fuelwood using the CHIPSET chip-harvester is at its most profitable when the raw material is presented in the form of logging waste on clear-felled sites with the chip-harvester equipped with a feeding device suitable for dealing with logging waste. The optimum price of chips made from clear-felling logging waste and delivered for consumption at a distance of 40 km could be ca. FIM 40 per MWh. The chip procurement costs are FIM 60 - 70 per MWh, if the chips are processed from 30 - 50 dm³ large first-thinning whole-trees. When compared to the total costs of the harvesting chain, the costs of motor-manual felling-bunching are high, especially in stands with small mean stem volumes. This being the case, endeavours should be made to focus development work on the felling and bunching of small trees. The currently available felling-bunching machines are unlikely to solve this problem.

Key words: chips, chipping, on-site chipping, chip-harvester, productivity, costs