

## Hakkuutähteiden paalaus ja paalien metsäkuljetus



**Hakkuutähteiden paalaus- eli risutukki-tuotantoketju tuli Ruotsista Suomeen runsaat neljä vuotta sitten. Laajoja tuottavuustutkimuksia paalauksesta ja paalien metsäkuljetuksesta ei ole tehty. Metsätehossa tutkittiin hakkuutähteiden paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuutta sekä tarkasteltiin korjuulojen vaikutusta tuottavuuteen. Lisäksi selvitettiin paalaus-tuotantoketjun kustannuksia ja verrattiin niitä muiden käytetyimpien hakkuutähdehakkeen tuotantoketjujen kustannuksiin.**

**Hakkuutähdekasojen laatu vaikutti merkittävästi hakkuutähdekertymiin ja paalauksen tuottavuuteen.** Kun kasat olivat huonoja, tuottavuus oli 20 % pienempi kuin paalattaessa hakkuutähteitä hyväkuntoisista kasoista (latvat hakattu kasoihin samansuuntaisesti ja kasojen päältä ei ajettu). Tutkimuksessa vain joka toisella paalaustyömaalla kasojen kunto oli hyvä.

Useimmiten hakkuutähteet oli hakattu kasoihin molemmille puolille ajouraa. Hakkuutähteiden kuormaus molemmilta puolilta ajouraa nosti paalauksen tuottavuutta: työpisteiden koko kasvoi ja kuormausajo väheni. Hakkuutähteiden kuormaus yhdeltä puolelta ajouraa oli kuitenkin nopeampaa erityisesti Timberjack 1490D- ja Pika RS 2000 -paalaimilla: hakkuutähteitä ei tarvinnut nostaa yli paalainyksikön paalaimen syöttöpöydälle. Paalauksen käyttötuntituottavuus oli seurantatutkimuksessa keskimäärin 18,1 paalia/h (8–10 m<sup>3</sup>/h).

**Paalaimen kuljettajalla oli merkittävä vaikutus tuottavuuteen.** Kuljettajittain käyttötuntituottavuus oli työmailla keskimäärin 13–26 paalia/h (6–13 m<sup>3</sup>/h). Paalaus-kustannukset olivat 10 €/m<sup>3</sup>, kun hakkuutähteiden ajouranvarsitiheys oli 15 m<sup>3</sup> / 100 m, kasat olivat hyvälaatuisia, hakkuutähteitä kuormattiin molemmilta puolilta ajouraa ja kun paalien koko oli 0,5 m<sup>3</sup>. Tehtyjen laskelmien mukaan paalaus-kustannukset on mahdollista laskea alle 6,5 euron/m<sup>3</sup>.

**Metsätraktorin laajennettuun kuormatilaan mahtui kaksi paaliriviä.** Laajennetulla kuormatilalla varustetun keskiraskaan metsätraktorin kuorman keskikoko oli 19,0 paalia (8,6 m<sup>3</sup>). Vastaavanlaisella kuormatilalla varustetun raskaan metsätraktorin kuormakoko oli keskimäärin 25,4 paalia (12,5 m<sup>3</sup>). Vakiorakenteisen metsätraktorin kuormaan mahtui vain yksi paalirivi, keskimäärin 12,5 paalia (5,2 m<sup>3</sup>).

Kun metsäkuljetusmatka oli 250 m ja ajouranvarsitiheys 15 m<sup>3</sup> / 100 m, paalien metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuus oli 16,6 m<sup>3</sup>/h ja metsäkuljetuskustannukset 3,4 €/m<sup>3</sup> vakiorakenteisella metsätraktorilla. Laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla metsätraktorilla vastaavat luvut olivat 26,0 m<sup>3</sup>/h ja 2,5 €/m<sup>3</sup>.

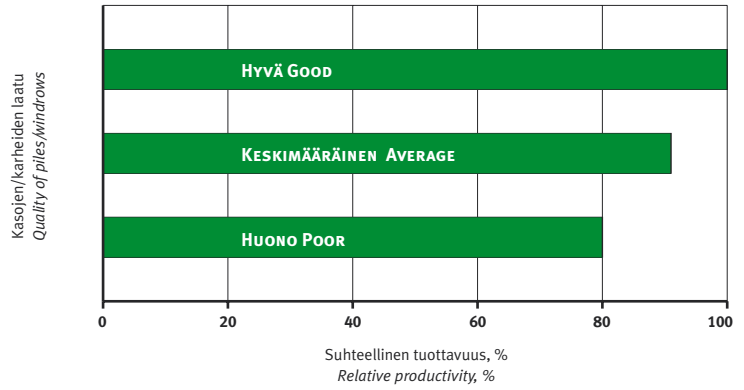
Aikatutkimuksessa tutkittiin Timberjack-pohjaisia (Fiberpac 370 ja Timberjack 1490D) paalaimia sekä Pika RS 2000-että Valmet WoodPac -paalaimia. Seurantatutkimuksessa oli neljä Timberjack-pohjaista paalainta. Aineistot olivat laajat: Aikatutkimuksissa paalattiin ja kuljetettiin lähes 2 000 paalia. Paalauksen seuranta-aineisto muodostui lähes 100 000 paalista. Paalien metsäkuljetuksen seuranta-aineisto koostui yli 30 000 paalista.

**KUVA 1.**

**Hakkuutähdekasojen ja -karheiden kunnan vaikutus paalauksen tuottavuuteen. Kasat ja karheet hyviä = 100 = 20,1 paalia/käyttötunti.**

**PICTURE 1.**

Effect of logging residue pile and windrow quality on bundling productivity. Good quality of logging residue piles and windrows = 100 = 20.1 bundles/operating hour (E<sub>15</sub>).

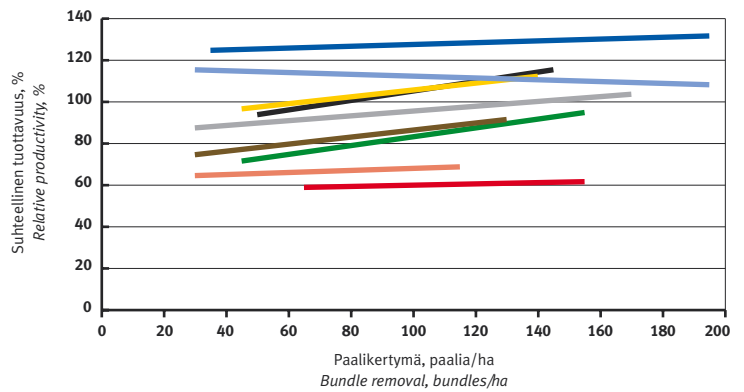


**KUVA 2.**

**Kuljettajan vaikutus paalauksen tuottavuuteen hakkuutähdepaalikertymän suhteen. Tuottavuustaso 100 = keskimääräinen tuottavuus. Jokainen suora kuvaa yhtä kuljettajaa.**

**PICTURE 2.**

The operator's influence on bundling productivity as a function of slash bundle removal. Productivity level 100 = average productivity. Each line represents a single driver.

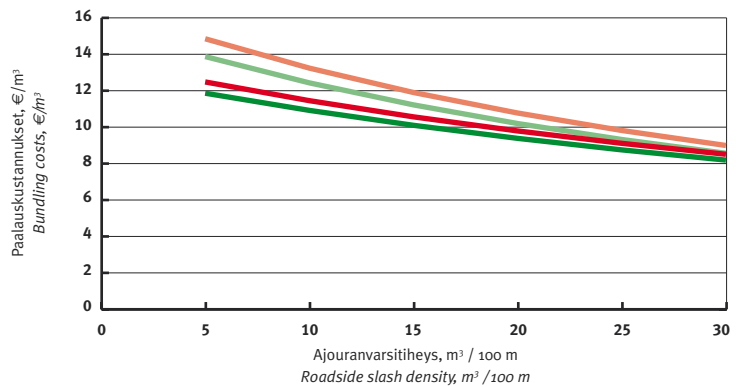


**KUVA 3.**

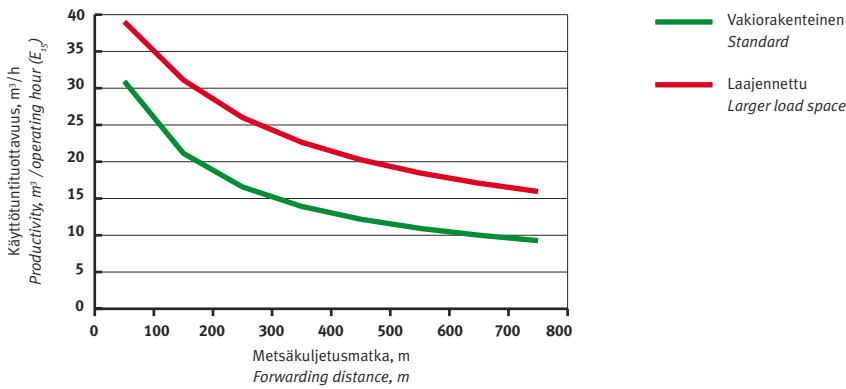
**Paalaukustannukset Timberjack 1490D -paalaimella, kun hakkuutähdekasojen laatu ja käytetty kuormaustapa vaihtelevat. Hakkuutähteet hakattu kasoihin molemmille puolille ajouraa. Paalin koko 0,5 m<sup>3</sup>.**

**PICTURE 3.**

Bundling costs with a Timberjack 1490D slash bundler when slash pile quality and loading method are the variables. Logging residues stacked in piles on both sides of the strip road. Bundle size 0.5 m<sup>3</sup>.



- HYVÄT KASAT**  
**GOOD QUALITY PILES**
- kuormausta kahdelta puolelta  
loading from both sides
- kuormausta yhdeltä puolelta  
loading from one side
- KESKIMÄÄRÄISET/HUONOT KASAT**  
**AVERAGE/POOR QUALITY PILES**
- kuormausta kahdelta puolelta  
loading from both sides
- kuormausta yhdeltä puolelta  
loading from one side

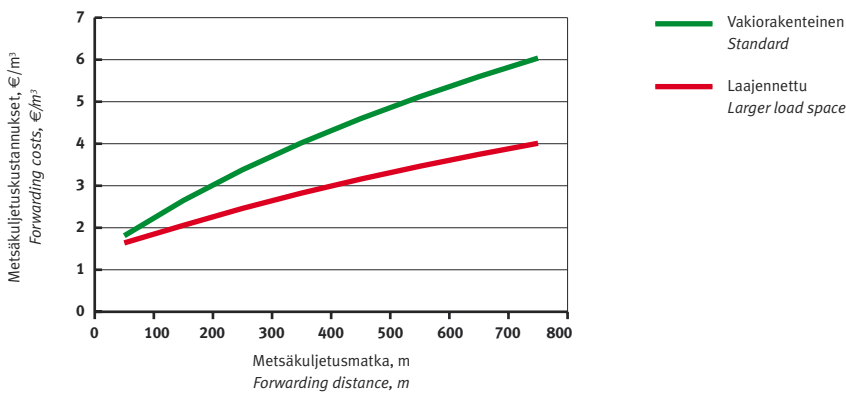


KUVA 4.

**Metsäkuljetusmatkan vaikutus paalien metsäkuljetuksen käyttötuntituottavuuteen. Ajouranvarsitiheys 15 m³ / 100 m, kuormakoko 5,2 m³ (vakiorakenteinen metsätraktori) ja 12,5 m³ (laajennetulla kuormatilalla varustettu raskas metsätraktori).**

PICTURE 4.

Effect of forwarding distance on the operating hour (E<sub>op</sub>) productivity of bundle forwarding. Roadside slash density 15 m³ / 100 m; load size as realized in the study (standard forwarder: 5.2 m³ and heavy-duty forwarder equipped with a larger load space: 12.5 m³).

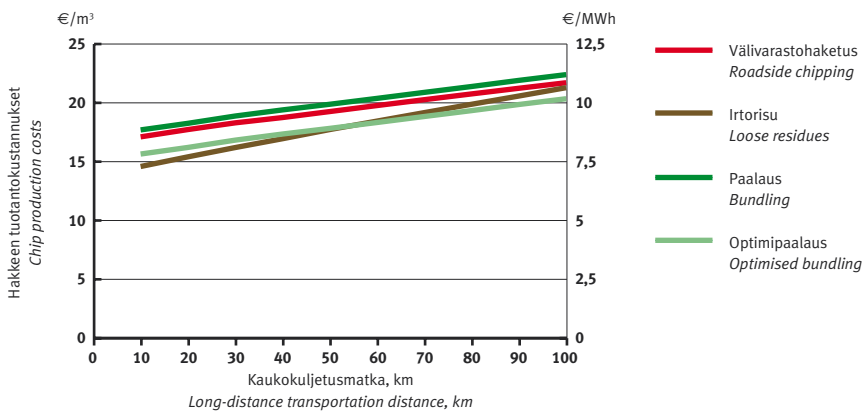


KUVA 5.

**Paalien metsäkuljetuskustannukset vakiorakenteisella keskiraskaalla (kuormakoko 5,2 m³) ja laajennetulla kuormatilalla varustetulla raskaalla (kuormakoko 12,5 m³) metsätraktorilla metsäkuljetusmatkan funktiona. Ajouranvarsitiheys 15 m³ / 100 m.**

PICTURE 5.

Bundle forwarding costs as a function of forwarding distance with a standard medium weight forwarder (load size 5.2 m³) and a heavy-duty forwarder equipped with a larger load space (12.5 m³). Roadside slash density 15 m³ / 100 m.



KUVA 6.

**Hakkuutähdehakkeen tuotantokustannukset kaukokuljetusmatkan suhteen välivarastohaketus-, irtorisu- ja paalaus-tuotantoketjuilla sekä optimipaalaus-tuotantoketjulla, jossa paalausta on tehostettu.**

PICTURE 6.

Production costs of logging residue chips as a function of long-distance transportation distance in roadside chipping, loose residue and bundling production chains and in an optimised bundling production chain with power-assisted bundling.

**PAALAUSKUSTANNUSTEN LASKENTAPERUSTEET PAALAUS- JA OPTIMIPAALAUS-TUOTANTOKETJUISSA:  
CALCULATION PARAMETERS FOR BUNDLING COSTS IN STANDARD BUNDLING AND OPTIMISED BUNDLING PRODUCTION CHAINS:**

	PAALAUS-TUOTANTOKETJU BUNDLING PRODUCTION CHAIN	OPTIMIPAALAUS-TUOTANTOKETJU OPTIMISED BUNDLING PRODUCTION CHAIN
Käyttötunnit, h/v	2 650	3 000
Käyttötuntituottavuus, m³/h (paalia/h)	10,0 (18,1)	12,1 (20,1)
Paalin koko, m³	0,55	0,60
Paalausmäärä, m³/v (paalia/v)	26 490 (48 160)	36 180 (60 300)
Paalausnaruna	SISAL-NARU SISAL CORD	MUOVINARU PLASTIC CORD
Käyttötuntikustannukset, €/h	85	77
Paalauskustannukset, €/m³	8,5	6,4
Operating hours, h/v		
Operating hour (E <sub>op</sub> ) productivity, m³/h (bundles/h)		
Size of bundle, m³		
Bundling quantity, m³/y (bundles/y)		
Bundling cord		
Operating hour costs, €/h		
Bundling costs, €/m³		



METSÄTEHO OY  
ERIKOISTUTKIJAJA  
MMT, KTM  
KALLE KÄRHÄ  
KALLE.KARHA@  
METSATEHO.FI

## Kohti tehokkaampaa paalaus-tuotantoketjua

**N**kyisin hakkuutähteitä paalataan jo lähes 30 paalaimella Suomessa. Valtaosin hakkuutähteitä paalataan Timberjack-pohjaisilla (Fiberpac 370 ja Timberjack 1490D) paalaimilla. Lisäksi hakkuutähteitä paalataan Pika RS 2000- ja Valmet WoodPac-paalaimilla. Vuonna 2003 Suomessa paalattiin hakkuutähteitä noin 350 000 m<sup>3</sup>.

Paalausvolyymien kasvu edellyttää, että paalaus-tuotantoketjun kalleimman osavaiheen – paalauksen – kustannuksia saadaan pienennettyä. Tämä puolestaan edellyttää, että

- paalaustyömaiden korjuuolaja saadaan parannettua
- paalauksen tuottavuutta saadaan nostettua
- tehdyt paalit ovat isokokoisia
- työtä tehdään tehokkaimmilla paalaimilla kahdessa vuorossa ja
- kuljettajien työskentelytavat ovat tehokkaita.

Kun paalaus-tuotantoketjun metsäpään kehittämistoimenpiteet saadaan toteutettua, paalaus-tuotantoketju on tuotantokustannuksiltaan kilpailukykyisin metsähakkeen tuotantoketju pidemmällä, yli 60 km:n kaukokuljetusmatkoilla.

### Korjuuolaja parannettava

Hakkuutähdekasojen laadun lisäksi on kiinnitettävä huomiota kasojen sijoitteluun hakkuussa. Mikäli mahdollista, hakkuutähteet olisi pyrittävä hakkaamaan yhdelle puolelle ajouraa isoihin kasoihin varsinkin silloin, kun hakkuutähdekertymä ei ole suuri.

Ihanteellista paalausleimikkoo voidaan luonnehtia isokokoiseksi päätehakuukuusi-

koksi, josta on hakattu yli 1 000 m<sup>3</sup> ainespuuta. Leimikossa olleen alikasvoksen tulee olla raivattu ennen hakkuuta.

### Paalaimia kehitettävä

Usean paalainkuljettajan ja -yrittäjän mukaan paalainten syöttöä olisi parannettava niin, ettei hakkuutähteitä tarvitsisi työnnellä runsaasti kuormaimella paalaimen syöttörullille. Lisäksi paalin pituuden mittaamista paalaimissa olisi kehitettävä. Tutkimuksessa tehtyjen paalien pituusvaihtelu oli liian suurta.

Vihreällä hakkuutähteellä paalin tavoitekokona voidaan pitää 0,60–0,65 m<sup>3</sup>. Kun paalataan ruskeaa hakkuutähdeä, paalien tavoitekokona on 0,55–0,60 m<sup>3</sup>. Paalien kokoa on kontrolloitava koehaketuksin. Paalaimiin olisi kehitettävä myös paalikkoon mittaus.

### Kuormaustyön lomitus

Paalaustyön tekee haasteelliseksi se, että useaa työvaihetta on kyettävä tekemään samanaikaisesti ja eri työvaihetta on pystyttävä lomittamaan jouhevasti toisiinsa. Erityisen tärkeää on, että hakkuutähteiden kuormaustyö kyetään valtaosin lomittamaan muihin työvaiheisiin.

### Laajennettu kuormatila

Metsätraktorin kuormatilan laajentaminen (kuormatilan päähän asennettu jatke, jossa yksi lisäkarikkapari) kasvatti kuormakokoa keskiraskealla metsätraktorilla vajaat kymmenen paalia ja raskaalla metsätraktorilla runsaat kymmenen paalia. Kun paaleja kuljetetaan pidempiä matkoja, metsätraktorin kuormatilan on oltava laajennettu.

*Katsaus perustuu Metsätehon Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus -projektiin.*

## Slash bundling and bundle forwarding

Metsäteho undertook a study into the productivity of the bundling of logging residues and bundle forwarding and, the effects of harvesting conditions on productivity. In addition, the bundling production chain costs were also assessed and compared with those of the other most commonly used, logging residue chip production chains.

The prerequisite for increased bundling volumes is a reduction in the costs of the most expensive substage of the bundling production chain, i.e. bundling itself. This

requires improved harvesting conditions at bundling sites, increased bundling productivity, larger sized bundles, and the execution of bundling operations in two shifts using an efficient bundler and effective operator working methods.

Implementation of these development measures will bring the bundling production chain up to a speed making it the most competitive production chain for forest chips in terms of production costs for long-distance transportation distances of more than 60 km.