

## Korjuri pieniläpimittaisen kokopuun korjuussa



**Tutkimuksessa tarkasteltiin pieniläpimittaisen, rinnankorkeusläpimitaltaan < 10 cm:n, kokopuun korjuuta energiapuukorjurilla ja perinteisellä hakkuukone – kuormatraktori-korjuuketjulla. Tutkimuksessa laadittiin ajanmenekkimallit korjurille ja korjuuketjulle pieniläpimittaisen kokopuun korjuuseen, verrattiin kokopuun korjuukustannuksia korjurilla ja korjuuketjulla sekä pyrittiin löytämään keinoja entistä kustannustehokkaampaan kokopuun korjuuseen. Tässä katsauksessa esitetään tutkimuksen päätulokset.**

**Korjurilla hakkuun ja metsäkuljetuksen työvaiheita pystyttiin lomittamaan hyvin toisiinsa.** Korjurilla rungon käsittelyajanmenekki oli keskimäärin 8 % pienempi kuin hakkuukoneella, jossa oli kaato-kasauslaite. Lisäksi korjurilla kuormauksen ajanmenekki oli keskimäärin 13–17 % pienempi kuin kuormatraktorilla. Vastaavasti korjurilla kuorman purkamisen ajanmenekki oli keskimäärin kolmanneksen suurempi kuin kuormatraktorilla.

**Kokopuun hakkuussa pienillä puilla rungon käsittelyajanmenekki oli kaato-kasauslaitteilla pienempi kuin rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla.** Kun hakattavan puuston rungon koko oli yli 8 dm<sup>3</sup>, rungon käsittelyajanmenekki oli rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla pienempi kuin kaato-kasauslaitteilla. Kun hakattavan puuston rungon koko oli 20 dm<sup>3</sup>, kokopuun hakkuun tehotuntituottavuus oli rullasyöttöisillä hakkuulaitteilla 6,1 m<sup>3</sup>/h ja kaato-kasauslaitteilla 5,5 m<sup>3</sup>/h.

**Mitä pienempää kokopuuta korjattiin, sitä pienemmäksi kokopuukuorman koko jäi.** Kokopuun metsäkuljetuksessa kuorman koko oli keskimäärin 6,1 m<sup>3</sup> keskiraskailta kuormatraktoreilla. Raskaalla kuormatraktorialustaisella korjurilla kuorman keskikoko oli 6,0 m<sup>3</sup> ja keskiraskailta kuormatraktorialustaisilla korjureilla 4,9–5,3 m<sup>3</sup>. Raskaalla pyöriväohjaamoisella korjurilla kuorman koko oli keskimäärin 7,0 m<sup>3</sup>.

Kun kokopuukuorman koko oli 6 m<sup>3</sup> ja kokopuukertymä 60 m<sup>3</sup>/ha, kokopuun metsäkuljetuksen tuottavuus oli 10,0 m<sup>3</sup>/tehotunti 250 metrin metsäkuljetusmatkalla.

**Korjurilla korjattavan puuston rungon koko, kokopuukertymä, metsäkuljetusmatka, kuormakoko ja käytetty työmenetelmä vaikuttivat kokopuun korjuun tuottavuuteen.** Kun korjattavan puuston rungon koko oli 20 dm<sup>3</sup> (kokopuukertymä 57 m<sup>3</sup>/ha), metsäkuljetusmatka 250 m ja korjurilla hakattiin ensiksi ajoura ja takaisin palattaessa harvennettiin ajourien väliset alueet ja samalla kuormattiin ajouran varteen kasatut kokopuurungot (työmenetelmä A1/A2), kokopuun korjuun tuottavuus oli 3,4 m<sup>3</sup>/tehotunti kuormakoon ollessa 5 m<sup>3</sup>. Kun vastaavissa korjuuoloissa kuormakoko oli 7 m<sup>3</sup>, tuottavuus oli 3,6 m<sup>3</sup>/tehotunti.

Kun käytettiin pyöriväohjaamoista korjurilla, tehokkain työmenetelmä oli työskentelytapa, jossa samalla kertaan hakattiin ajoura ja harvennettiin ajourien väliset alueet (työmenetelmä B). Työmenetelmässä B työpisteestä toiselle tehtävät siirtymisajot puolittuivat verrattuna työmenetelmään A1/A2. Kun käytettiin työmenetelmää B, kokopuun korjuun tuottavuus oli noin 5 % korkeampi kuin työmenetelmässä A1/A2.

Raskaalla pyöriväohjaamoisella korjurilla korjuukustannukset olivat korkeammat kuin kuormatraktorialustaisilla korjureilla. Hakkuukone – kuormatraktori-ketju oli kilpailukykyisimmillään, kun korjuuketjussa käytettiin pientä hakkuukonetta.

1

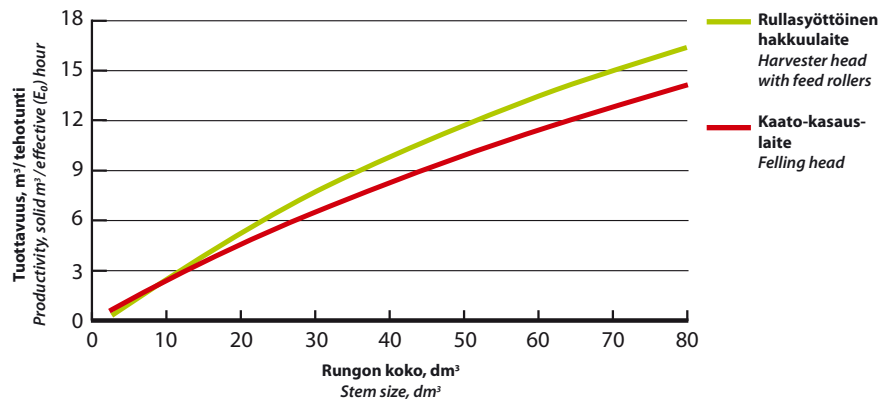
**Kokopuun hakkuun tehontuottavuus hakattavan puuston rungon koon suhteen.**

Hakkuukoneessa kaato-kasauslaite (Abab Klippen 250, Moipu 400E, Ponsse EH25) ja rullasyöttöinen hakkuulaite (Logset 4M Hamster, Valmet 945 Saksi). Poistuman tiheys laski 10 050 rungosta/ha (rungon koko 2 dm<sup>3</sup>) 1 230 runkoon/ha (80 dm<sup>3</sup>).

**The effective (E<sub>0</sub>) hour productivity of whole-tree cutting as a function of the stem size harvested.**

Harvester equipped with felling head (Abab Klippen 250, Moipu 400E, Ponsse EH25) or harvester head with feed rollers (Logset 4M Hamster, Valmet 945 Shear-head). Density of removal decreased from 10,050 stems/ha (stem size 2 dm<sup>3</sup>) to 1,230 stems/ha (80 dm<sup>3</sup>).

1



2

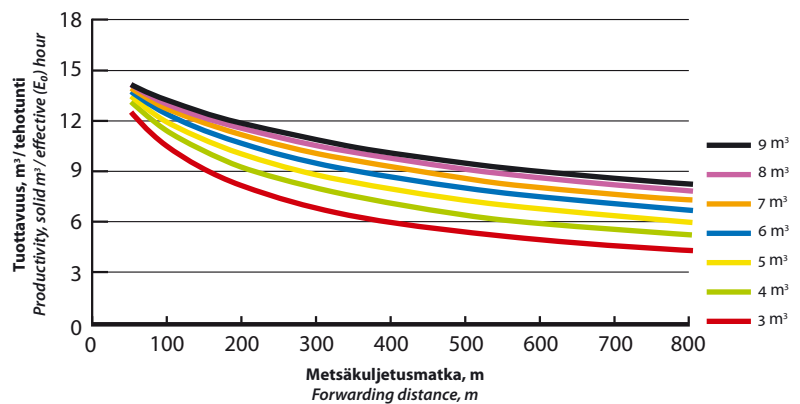
**Kokopuun metsäkuljetuksen tehontuottavuus metsäkuljetusmatkan suhteen eri kuormako'oilla.**

Kokopuun hakkuukertymä 60 m<sup>3</sup>/ha (ajourvarsiitiheys 21 m<sup>3</sup>/100 m).

**The effective (E<sub>0</sub>) hour productivity of whole-tree forest haulage as a function of forwarding distance for varying load sizes of the forwarder.**

Whole-tree removal was 60 solid m<sup>3</sup>/ha (roadside tree density 21 m<sup>3</sup>/100 m).

2



3

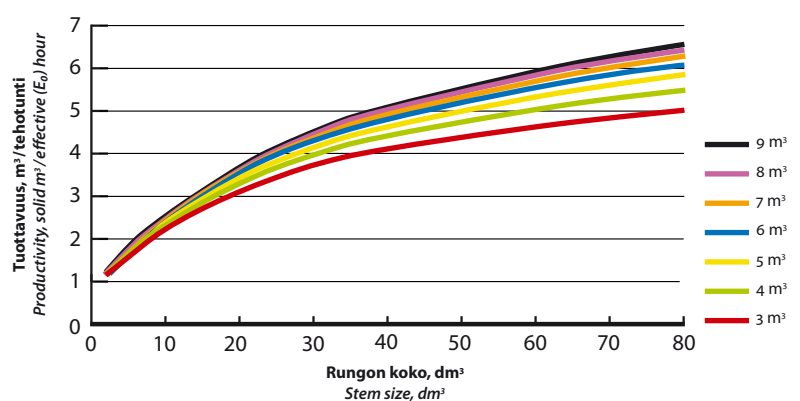
**Kokopuun korjuun tehontuottavuus korjurilla korjattavan puuston rungon koon suhteen eri kuormako'oilla.**

Kokopuukertymä kasvoi 20 m<sup>3</sup>:sta/ha (rungon koko 2 dm<sup>3</sup>) 99 m<sup>3</sup>:iin/ha (80 dm<sup>3</sup>), metsäkuljetusmatka oli 250 m ja käytettiin työmenetelmää A1/A2 (ks. kuva 5).

**The effective (E<sub>0</sub>) hour productivity of whole-tree harvesting with a harvester as a function of the stem size harvested for varying load sizes.**

Whole-tree removal increased from 20 solid m<sup>3</sup>/ha (stem size 2 dm<sup>3</sup>) to 99 solid m<sup>3</sup>/ha (80 dm<sup>3</sup>), the forwarding distance was 250 m, and the A1/A2 working method was used (see Fig. 5).

3



4

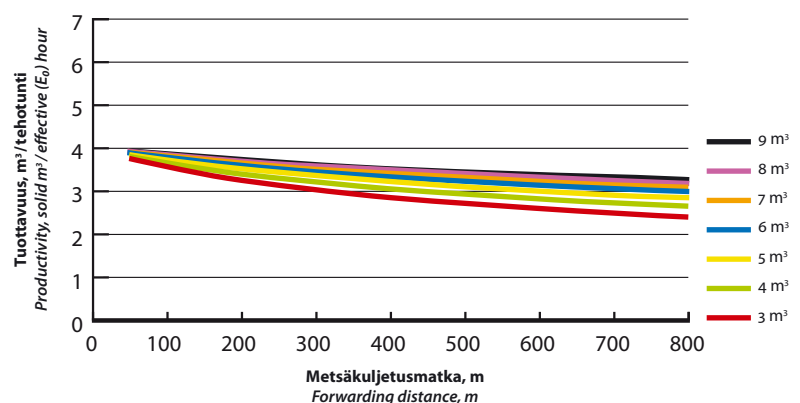
**Kokopuun korjuun tehontuottavuus korjurilla metsäkuljetusmatkan suhteen eri kuormako'oilla.**

Korjattavan puuston rungon koko 20 dm<sup>3</sup> (kokopuukertymä 57 m<sup>3</sup>/ha) ja käytettiin työmenetelmää A1/A2.

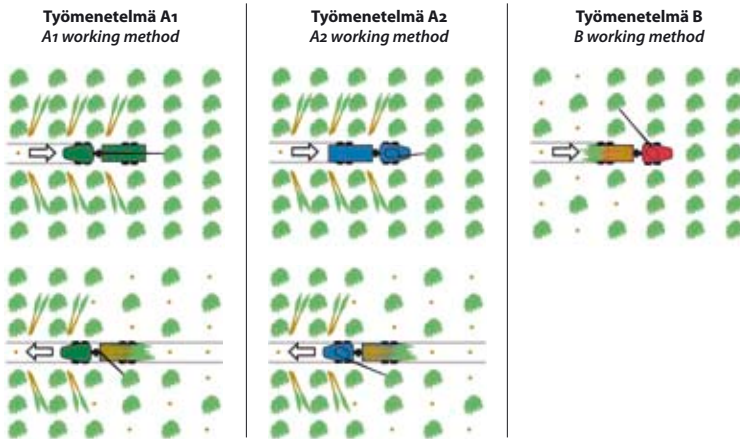
**The effective (E<sub>0</sub>) hour productivity of whole-tree harvesting with a harvester as a function of forwarding distance for varying load sizes.**

The stem size harvested was 20 dm<sup>3</sup> (whole-tree removal 57 solid m<sup>3</sup>/ha) and the A1/A2 working method was used.

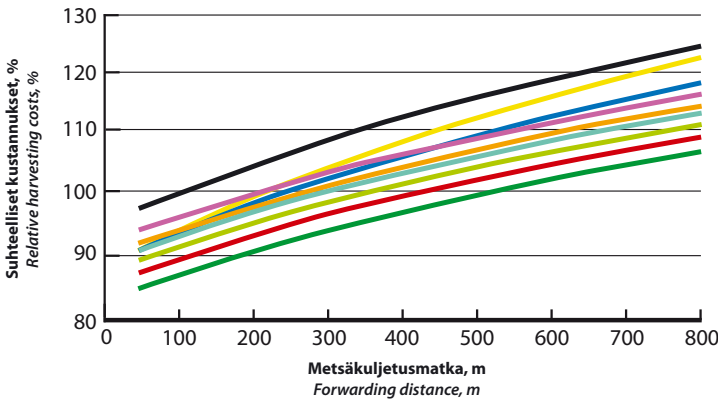
4



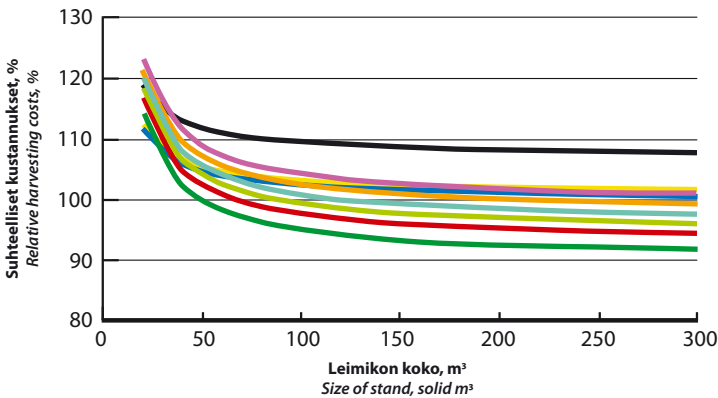
5



6



7



- Keskiraskas kuormatraktorialustainen korjuri  
Harwarder based on medium-duty forwarder
- Raskas kuormatraktorialustainen korjuri  
Harwarder based on heavy-duty forwarder
- Ketju (pieni hakkuukone & kaato-kasauslaite)  
Two-machine system (small harvester & felling head)
- Ketju (harvennuskone & kaato-kasauslaite)  
Two-machine system (harvester for thinnings & felling head)
- Ketju (keskiraskas hakkuukone & kaato-kasauslaite)  
Two-machine system (medium-duty harvester & felling head)
- Raskas pyöriväohjaamoinen korjuri  
Heavy-duty harwarder with rotating cab
- Ketju (pieni hakkuukone & rullasyöttöinen hakkuulaite)  
Two-machine system (small harvester & harvester head with feed rollers)
- Ketju (harvennuskone & rullasyöttöinen hakkuulaite)  
Two-machine system (harvester for thinnings & harvester head with feed rollers)
- Ketju (keskiraskas hakkuukone & rullasyöttöinen hakkuulaite)  
Two-machine system (medium-duty harvester & harvester head with feed rollers)

5

**Energiapuukorjareiden aikatutkimuksessa testatut kolme työmenetelmää.**

Kuormatraktorialustaisilla korjureilla tutkittiin työmenetelmää A1 ja pyöriväohjaamoisella korjurilla työmenetelmää A2 ja B.

**Three working methods tested in a time study of energy wood harwarders.**

The A1 working method was used with harwarders based on a conventional forwarder, and the A2 and B methods were used with the harwarder with a rotating cab.

6

**Metsäkuljetusmatkan vaikutus kokopuun suhteellisiin korjuukustannuksiin eri korjureilla ja korjuuketjuilla.**

Korjattavan puuston rungon koko 20 dm<sup>3</sup> (kokopuukertymä 57 m<sup>3</sup>/ha). Kuormatraktorialustaisilla korjureilla käytettiin työmenetelmää A1 ja pyöriväohjaamoisella korjurilla työmenetelmää B. Korjuukustannukset 100 = Ketju (harvennuskone, jossa kaato-kasauslaite) 250 metrin metsäkuljetusmatkalla.

**Effect of forwarding distance on the relative whole-tree harvesting costs with different harwarder and two-machine harvesting systems.**

The harvested stem size was 20 dm<sup>3</sup> (whole-tree removal 57 solid m<sup>3</sup>/ha). The A1 working method was used with harwarders based on a conventional forwarder, and the B working method was used with the harwarder with a rotating cab. Harvesting costs 100 = Two-machine system (Harvester for thinnings equipped with felling head) with a forwarding distance of 250 m.

7

**Leimikon koon vaikutus kokopuun suhteellisiin korjuukustannuksiin eri korjureilla ja korjuuketjuilla.**

Korjattavan puuston rungon koko 20 dm<sup>3</sup> (kokopuukertymä 57 m<sup>3</sup>/ha), metsäkuljetusmatka 250 m ja työmenetelmät korjureilla kuten kuvassa 6. Korjuukustannukset 100 = Ketju (harvennuskone, jossa kaato-kasauslaite) leimikon koolla 185 m<sup>3</sup>.

**Effect of stand size on the relative whole-tree harvesting costs with different harwarder and two-machine harvesting systems.**

The harvested stem size was 20 dm<sup>3</sup> (whole-tree removal 57 solid m<sup>3</sup>/ha), the forwarding distance was 250, and the working methods for the harwarders as shown in Fig. 6. Harvesting costs 100 = Two-machine system (Harvester for thinnings equipped with felling head) with a stand size of 185 solid m<sup>3</sup>.

## Kustannustehokkuutta kokopuun korjuuseen

Tutkimuksessa laadittiin energiapuukorjurille kokopuun korjuuseen ajanmenekkiyhtälöt, joita ei ollut julkaistu missään aiemmassa tutkimusraportissa. Tehdyn korjuuketjuvertailun tulokset osoittivat, että parhaimmillaan korjuri on korjuuoloissa, missä:

- korjataan pienirunkoista (< 20 dm<sup>3</sup>) kokopuuta
- hehtaari- ja leimikkokohtainen kokopuukertymä jää pieneksi (< 55 m<sup>3</sup>/ha, < 100 m<sup>3</sup>/leimikko) ja
- metsäkuljetusmatka on lyhyt, alle 150 m.

Vastaavasti hakkuukone–kuormatraktori-korjuuketju on kustannustehokkain korjuuoloissa, missä:

- korjataan keskimääräistä järeämpää (> 20 dm<sup>3</sup>) pienirunkoista kokopuuta
- hehtaarikohtainen kokopuukertymä on keskimääräistä suurempi (> 55 m<sup>3</sup>/ha)
- kokopuuleimikon koko on yli kaksi hehtaaria ja
- metsäkuljetusmatka on yli 150 m.

Kun pyritään tehostamaan kokopuun korjuuta, tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan käyttää energiapuun korjuuresurssien entistä tehokkaampaan suuntaamiseen erityyppisille energiapuuharvennuksille.

### Avainasemassa korjattavan rungon koko

Korjattavan puuston rungon koko vaikutti käytettyä korjuukalustoa voimakkaammin kokopuun korjuukustannuksiin. Kustannustehokkaan kokopuun korjuun ehdoton edellytys on, että energiapuuharvennusleimikossa poistuman rungon keskikoko on yli 10 dm<sup>3</sup> ja ettei sormenpaksuisia, rinnankorkeusläpimitaltaan 1–2 cm:n puita hakata lainkaan kokopuuksi. Tutkimuksen perusteella ohje kokopuun korjuuseen olisi oltava:

- yksittäisiä, rinnankorkeusläpimitaltaan alle 5 cm:n puita ei hakata ja
- puskissa kasvavia, rinnankorkeusläpimitaltaan 3–4 cm:n puita voidaan hakata.

Tämä tiukennettu ohjeistus nostaisi hakkuutyön tuottavuutta ja laskisi näin kokopuun korkeita hakkuukustannuksia.

Tehdyt kustannuslaskelmat osoittivat, että kokopuun hakkuun ohella kokopuun metsäkuljetus on kallista. Kun kuljetaan pienirunkoista (leimikon rungon keskikoko alle 20 dm<sup>3</sup>) kokopuuta, kuormakoko jää pieneksi. Pienellä, 2–4 m<sup>3</sup>:n kuormakoolla kokopuun metsäkuljetuksen kustannukset nousevat korkeiksi varsinkin pidemmällä metsäkuljetusmatkoilla.

Kuormakoko on maksimoitava metsäkuljetuksessa. Kuormakoon maksimoinnissa auttaa, kun hakatut puut katkotaan mahdollisimman pitkiksi, mieluummin 6–7-metrisiksi, jopa 8-metrisiksi.

### Korjuri kustannuspaineiden torjuntaan

Mikäli halutaan saavuttaa asetettu metsähakkeen käyttötaso vuonna 2010, edellyttää tämä 1,0–1,5 milj. m<sup>3</sup>:n pienpuuhakkeen käyttöä. Täten käyttö- ja korjuumäärien tulisi kaksinkertaistua nykyisestä vuoteen 2010 mennessä. Korjuuvolyymien kasvu merkitsee tehostunutta hankintaa: korjuu on ulotettava entistä pienemmille ja heikommille työmaille, mikä merkitsee kustannuspaineita pienpuuhakkeen tuotantokustannuksiin.

Kustannuspaineiden torjunnassa energiapuukorjuri on yksi mahdollisuus; tutkimuksessahan sen havaittiin olevan kilpailukykyisimmillään juuri pienikertymäisillä ja -alaisilla kokopuun korjuukohteilla, missä korjattavan puuston rungon koko on suhteellisen pieni.

## Harwarder harvesting small-diameter whole trees

The Metsäteho study looked at two mechanized harvesting systems used for small-sized ( $d_{1.3} < 10$  cm) thinning wood: 1) the traditional two-machine (harvester and forwarder) system, and 2) the harwarder system. The whole-tree harvesting costs for harwarders were compared with those of the two-machine system. The results clearly indicated what kind of machine resources can be profitably allocated to different whole-tree harvesting sites.

The energy wood harwarders should be directed towards harvesting sites where the forwarding distances are short (<150 m), the whole trees to be harvested are relatively small (<20 dm<sup>3</sup>), and

the total volume of whole trees removed is relatively low (<55 solid m<sup>3</sup>/ha, <100 solid m<sup>3</sup>/stand). Respectively, when the stem size removed in young stands is relatively large (>20 dm<sup>3</sup>), the whole-tree removal is higher than average (>55 solid m<sup>3</sup>/ha), the stand size is over 2 hectares, and the forwarding distance is more than 150 m, then the traditional two-machine system is more competitive.

In order for whole-tree harvesting to be cost-effective, the average stem size of whole trees in a young stand must exceed 10 dm<sup>3</sup>, and the trees with a breast height diameter ( $d_{1.3}$ ) of 1–2 cm should not be harvested as whole trees at all.