

Metsätehon raportti 164
31.12.2003

Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä

Kalle Kärhä
Janne Peltola
Antti Korpilahti
Asko Poikela
Reima Liikkanen

Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä

**Kalle Kärhä
Janne Peltola
Antti Korpilahti
Asko Poikela
Reima Liikkanen**

Metsätehon raportti 164
31.12.2003

Ryhmähanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy ja Yksityismetsätalouden Työnantajat r.y.

Asiasanat: nuoret metsät, energiapuu, hakkuu, hakkuulaitteet, joukkokäsittely, korjuri, tuottavuus, kustannukset

© Metsäteho Oy

Helsinki 2003

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
1 TAUSTA JA TAVOITTEET	6
2 TOTEUTUS	7
2.1 Aikatutkimukset.....	7
2.1.1 Tutkitut hakkuulaitteet.....	7
2.1.2 Peruskoneet ja kuljettajat.....	7
2.1.3 Aikatutkimusleimikot	10
2.1.4 Menetelmät	11
2.1.5 Työvaiheet	12
2.1.6 Hakatun ja kuljetetun puumäärän mittaus	12
2.1.7 Kustannuslaskenta	12
2.2 Syrjän korjuri	13
2.2.1 Korjurin nykyrakenne.....	13
2.2.2 Vaihtoehtoiset korjurimenetelmät	13
2.2.3 Korjurin kustannustarkastelujen laskentaperusteet	15
3 TULOKSET	17
3.1 Hakkuun aikatutkimus	17
3.1.1 Ajanmenekki ja sen rakenne.....	17
3.1.2 Joukkokäsittely	19
3.1.3 Tuottavuus	20
3.1.4 Hakkuukustannukset.....	21
3.2 Metsäkuljetuksen aikatutkimus.....	22
3.2.1 Kuorman koko	22
3.2.2 Ajanmenekki ja sen rakenne.....	23
3.2.3 Tuottavuus	24
3.2.4 Metsäkuljetuskustannukset.....	25
3.3 Syrjän korjuri	26
3.3.1 Korjuukustannukset.....	26
3.3.2 Korjurin ja korjuuketjun kustannusvertailu.....	26
4 TARKASTELU	27
4.1 Aikatutkimukset.....	27
4.2 Syrjän korjuri	30
KIRJALLISUUS	31

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin kahden energia- ja ainespuun integroituun korjuuseen soveltuvan hakkuulaitteen (Keto Forst Energy ja Valmet 945 -saksikoura) joukkokäsittelyominaisuuden toimivuus, hakkuutyön tuottavuus ja kustannukset. Lisäksi tutkittiin suppeasti kahdessa leimikossa energia- ja ainespuun metsäkuljetuksen tuottavuutta ja kustannuksia. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös laskennallisesti Syrjän prototyypikorjurilla korjatun ensiharvennuspuun korjuukustannuksia. Erilaisilla korjurimenetelmillä korjatun puun kustannuksia verrattiin tavanomaisella korjuuketjulla korjatun puun kustannuksiin. Tutkimus oli osa Vaihtoehtoista korjuutekniikkaa -tutkimushanketta.

Kone-Ketonen Oy on kehittänyt Keto Forst Energy -hakkuulaitteen. Hakkuulaitteessa on tiltilukko, joka lukitsee hakkuulaitteen tiltin kaatoasentoon ja mahdollistaa näin joukkokäsittelyn. Keto Forst Energy -hakkuulaitteessa on myös normaalia paksumpi terälaippa. Partek Forest Oy Ab on kehittänyt leikkaavat saksiterät Valmet 945 -hakkuulaitteeseen. Saksiterät asennetaan hakkuulaitteeseen ketjusahan paikalle.

Koneurakoitsija Pekka Syrjä on rakentanut prototyypikorjurin, jossa kuormatila on sen rungon alla. Nykyisellä korjurikonstruktioilla puu kaadetaan hakkuulaitteella ja siirretään korjurin rungon etuosassa oleviin pihteihin. Puu karsitaan liikuttamalla hakkuulaitetta korjurista pois päin. Puu työnnetään korjurin rungon alle ja katkaistaan, karsitaan, työnnetään taas rungon alle ja katkaistaan. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös karsinnan ja katkonnan automatisoinnin ja joukkokäsittelyn merkitystä Syrjän korjurilla korjatun puun kustannuksiin.

Aikatutkimuksessa Keto Forst Energy -hakkuulaite oli Farmi Trac 775 -pienharvesterissa ja Valmet 945 -saksikoura Valmet 901-4 -hakkuukoneessa. Aikatutkimuksissa käytettiin kahta hakkuumenetelmää, jotka olivat energia- ja ainespuun hakkuu eri kasoihin ja kaikkien puiden hakkaaminen samoihin kasoihin energiapuuksi. Keto Forst Energy -hakkuulaitetta tutkittiin kahdessa ja Valmet 945 -saksikouraa kolmessa ensiharvennusleimikossa.

Keto Forst Energy -hakkuulaitteella hakatuissa leimikoissa puut hakattiin valtaosin yksin puin. Vaikka Keto Forst Energy mahdollistaa käsiteltävien puiden joukkokäsittelyn, ainespuumitat täyttäviä runkoja ei tutkimuksessa hakattu joukkokäsittelynä. Valmet 945 -saksikouralla hakatuista puista 70–80 % hakattiin joukkokäsittelynä. Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa leimikoissa taakassa oli keskimäärin 2,6–2,9 runkoa.

Rungon koon ollessa 50 dm³ Valmet 945 -saksikouralla päästiin runsaan 11 m³:n tehotuntituottavuuteen hakattaessa kaikki puut energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot). Kun kuitupuupölkkyt hakattiin eri kasoihin aikatutkimusleimikoissa 1, 2 ja 5 (Keto 1/E&A ja 2/E&A ja Valmet 5/E&A -leimikot), tuottavuus jäi 8–10 m³:iin tehotunnissa (poistuman koko 50 dm³).

Hakkuutyö hidastui selvästi sekä Keto Forst Energy -hakkuulaitteella että Valmet 945 -saksikouralla, kun rungon koko oli yli 150 dm³.

10 €/m³:n hakkuukustannustaso saavutettiin Valmet 945 -saksikouralla poistuman koon ollessa 35 dm³. Energia- ja ainespuun hakkaaminen erilleen (Valmet 5/E&A -leimikko) oli noin yhden euron kuutiolta kalliimpaa kuin kaikkien hakattavien puiden teko energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot). Keto Forst Energy -hakkuulaitteella 10 €/m³:n kustannustasoon päästiin poistuman ollessa kooltaan 55–65 dm³.

Tutkitut hakkuulaitteet osoittautuivat aikatutkimuksissa ensiharvennusoloissa tehokkaiksi ja kilpailukykyisiksi muihin markkinoilla oleviin, joukkokäsitteliivisiin hakkuulaitteisiin verrattuna. Keto Forst Energy soveltuu hyvin hakkuulaitteeksi pieniin hakkuukoneisiin. Valmet 945 -saksikouran peruskoneena on oltava keskiraskas hakkuukone. Valmet 945 -saksikoura oli *energiapuuhakkuussa* tuottavuudeltaan samalla tasolla joukkokäsitteliivän Timberjack 745 -hakkuulaitteen kanssa, ja selvästi korkeammalla tasolla kuin markkinoilla olevien joukkokäsitteliivien (Naarva-Koura 1600-40, Timberjack 720 ja Timberjack 730) kaato-kasauslaitteiden tuottavuus.

Ainespuun hakkaaminen omiin kasoihin pienensi hakkuun tuottavuutta ja nosti hakkuukustannuksia. Tutkimuksessa ei ylletty *energia- ja ainespuun integroidussa hakkuussa* Valmet 945 -saksikouralla eikä Keto Forst Energy -hakkuulaitteella joukkokäsitteliivän Timberjack 745 -hakkuulaitteen tuottavuuteen. Pienellä rungon koolla tämän tutkimuksen hakkuulaitteiden tuottavuus oli samalla tasolla kaato-kasauslaitteiden kanssa. Poistuman järeyydessä Valmet 945 -saksikouran ja Keto Forst Energy -hakkuulaitteen tuottavuus oli selvästi korkeampi kuin kaato-kasauslaitteiden tuottavuus.

Energia- ja ainespuun metsäkuljetustutkimuksessa pienten ainespuukertymien kuljettaminen oli kallista. Kuljetettaessa pieniä määriä ainespuuta ensiharvennusleimikosta kuormauksen ja kuormausajon ajat ovat suuret. Lisäksi vajaita kuormia tulee useammin, jolloin kuormattuna-ajon ajanmenekki kasvaa. Vaikka ainespuuta tutkituilla hakkuulaitteilla pystytäänkin hakkaamaan omiin kasoihin, pieniä määriä (10–20 m³/ha) ainespuuta ei kannata erotella omiin kasoihin nuorten kasvatusmetsien hakkuissa, vaan kaikki puut on korjuukustannuksien kannalta kannattavampaa hakata samoihin kasoihin energiapuuksi.

Tehdyt kustannuslaskelmat osoittivat, että nykyisellä konstruktiolla ja toimintatavalla Syrjän korjurilla päädytään tavanomaista korjuuketjua suurempiin korjuukustannuksiin. Syrjän korjurin kilpailukyky voi perustua joukkokäsittelyyn ja automaattiseen prosessointiin, jolloin karsinnan ja katkonnan aikana voidaan kaataa seuraavia puita. Syrjän prototyypikorjuri pidentää metsätraktorin ajouraväliä. Pidentyneen ajouravälin ja korjurilla tehdyn esikasauksen ansiosta varsinainen metsäkuljetus on edullisempaa kuin tavanomaisessa korjuussa. Lisäksi kasvatettavaan jaksoon kuuluvia puita jää enemmän, kun ajouraväli kasvaa. Kustannuslaskelmien mukaan Syrjän korjuri on toimiva koneyksikkö, jota kannattaa kehittää edelleen.

1 TAUSTA JA TAVOITTEET

Kansallisessa metsäohjelmassa vuotuinen ensiharvennustavoite asetettiin 250 000 hehtaariksi ajalle 1999–2010 (Kansallinen metsäohjelma ... 1999). Asetettua harvennustavoitetta ei ole saavutettu, vaikkakin ensiharvennukset ovat lisääntyneet 1990-luvun puolivälin 100 000 hehtaarin tasosta viime vuosien runsaan 170 000 hehtaarin tasolle (Västilä ja Herrala-Ylinen 2002, 2003). Lisäksi ensiharvennusrästejä arvioidaan kertyneen yli 400 000 hehtaaria (Valkonen 1999).

Ensiharvennuksissa pieni rungon koko, pieni hehtaarikohtainen hakkuukertymä, jäävien puiden suuri lukumäärä ja tiheä alikasvos merkitsevät alhaista tuottavuutta ja korkeita korjuukustannuksia. Korkeat korjuukustannukset ovat puolestaan osasyynä ensiharvennuspuun huonoon kysyntään. Eräs potentiaalinen keino ensiharvennuspuun korjuukustannuksien pienentämiseen on hakattavien puiden joukkokäsittely. Puiden joukkokäsittelyllä voidaan parantaa erityisesti pieniläpimittaisten puiden hakkuun tuottavuutta.

Parin viime vuoden aikana kone- ja laitevalmistajat ovat tuoneet markkinoille uusia joukkokäsitteleviä hakkuulaitteita (Pentin Paja Oy: Naarva-Koura 1600-40; Timberjack Oy: Timberjack 720 ja Timberjack 730). Nuorista kasvatusmetsistä korjattavan puun hakkuukustannuksia ei näilläkään laitteilla kuitenkaan pystytä merkittävästi laskemaan (Kärhä ym. 2002, Laitila ja Asikainen 2002, Mäkelä ym. 2003). Hakkuukustannuksien pienentämiseksi tarvitaan entistä tehokkaampia hakkuulaitteita nuorten metsien kasvatushakkuihin. Kone-Ketonen Oy ja Partek Forest Oy Ab ovat myös tuoneet markkinoille nuorten kasvatusmetsien hakkuihin soveltuvat hakkuulaitteet (Keto Forst Energy ja Valmet 945 -saksikoura).

Myös korjurilla voitaneen pystyä laskemaan ensiharvennuksilta korjattavan puun korjuukustannuksia. Pälkäneläinen koneurakoitsija Pekka Syrjä on rakentanut korjuriprototyypin. Syrjän prototyypikorjuri, joka katkoo puut suoraan korjurin kuormatilaan ja kuljettaa niitä mukanaan kuorman täyttämiseen asti, pidentää metsätraktorin ajouraväliä. Metsäkuljetuskustannuksien voidaan olettaa näin pienenevän. Lisäksi kasvatettavaan jaksoon kuuluvia puita jää enemmän, kun ajouraväli kasvaa.

Tutkimuksessa selvitettiin kahden energia- ja ainespuun integroituun korjuuseen soveltuvan hakkuulaitteen (Keto Forst Energy ja Valmet 945 -saksikoura) joukkokäsittelyominaisuuden toimivuus, hakkuutyön tuottavuus ja kustannukset. Lisäksi tutkittiin kahdessa leimikossa energia- ja ainespuun metsäkuljetuksen tuottavuutta ja kustannuksia. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös laskennallisesti Syrjän korjurilla korjatun ensiharvennuspuun korjuukustannuksia. Erilaisilla korjurimenetelmillä korjatun puun kustannuksia verrattiin tavanomaisella korjuuketjulla korjatun puun kustannuksiin.

Tutkimus oli osa Vaihtoehtoista korjuutekniikkaa -tutkimushanketta. Kärhä, Poikela ja Liikkanen tutkivat energia- ja ainespuun hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuutta ja kustannuksia. Peltola ja Korpilahti tekivät Syrjän korjurin kustannustarkastelut.

2 TOTEUTUS

2.1 Aikatutkimukset

2.1.1 Tutkitut hakkuulaitteet

Kone-Ketonen Oy on kehittänyt Keto Forst Energy -hakkuulaitteen. Hakkuulaitteessa on tiltilukko, joka lukitsee hakkuulaitteen tiltin kaatoasentoon ja mahdollistaa näin joukkokäsittelyn, usean puun keruun hakkuulaitteeseen. Keto Forst Energy -hakkuulaitteessa on myös normaalia paksumpi terälaippa (10 mm) (kuva 1). Hakkuulaitteen maksimikaatoläpimitta on 30 cm. Hakkuulaitteella kaadetut rungot karsitaan kuten normaalissa ainespuuhakkuussa. Järeälaippaisella Keto Forst Energy -hakkuulaitteella pystytään hakkaamaan ensiharvennus- ja energiapuuleimikoita ilman, että teräketju lähtee helposti pois terälaipalta tai terälaippa vääntyy. Keto Forst Energy -hakkuulaitteen hankintahinta on 21 357 € (alv 0 %). Hakkuulaitteita on toimitettu yhteensä 13 kappaletta. Keto Forst Energy -hakkuulaite painaa 320 kg, joten se soveltuu hyvin hakkuulaitteeksi pieniin hakkuukoneisiin.

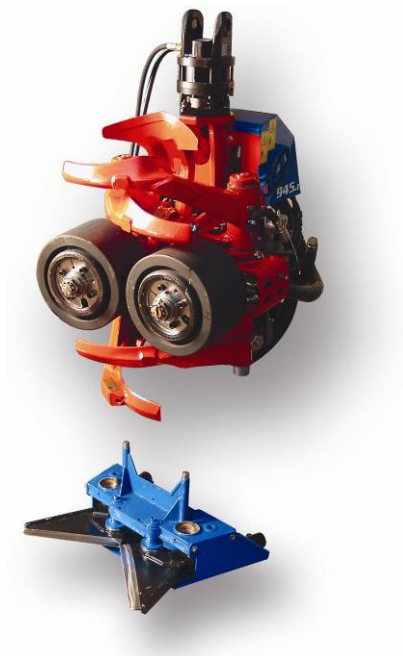
Partek Forest Oy Ab on kehittänyt leikkaavat saksiterät Valmet 945 -hakkuulaitteeseen (kuva 2). Saksiterät asennetaan hakkuulaitteeseen ketjusahan paikalle. Vaihtotyö vie nelisen tuntia. Valmet 945 -saksikouralla pystytään hakkaamaan kertakatkaisulla kantoläpimitaltaan 20–22 cm paksuja havupuita ja 18 cm paksuja koivuja. Saksiterävarustus maksaa 9 600 € (alv 0 %). Hakkuulaitteella on painoa noin 800 kg, joten peruskoneena on oltava keskiraskas hakkuukone. Saksiterät on asennettu seitsemään Valmet 945 -hakkuulaitteeseen.

2.1.2 Peruskoneet ja kuljettajat

Aikatutkimuksessa Keto Forst Energy -hakkuulaite oli Farmi Trac 775 -pienharvesterissa, jossa oli Logmer 787 -liikeratanosturi (ulottuvuus 8,9 m) (kuva 3). Hakkuukoneen kuljettajana oli 23-vuotias ajoneuvoasentaja, jolla oli kahden vuoden kokemus ensiharvennustyöstä. Yrittäjä oli hankkinut Keto Forst Energy -hakkuulaitteen lokakuussa 2002. Aikatutkimus tehtiin Savitaipaleella maaliskuussa 2003. Ilman lämpötila oli kumpanakin tutkimuspäivänä +4 °C. Lunta oli maassa noin 40 cm.



Kuva 1. Keto Forst Energy -hakuulaitteen 10 mm paksu terälaippa. Kuva: Kone-Ketonen Oy



Kuva 2. Valmet 945 -saksikouran saksiterät asennetaan Valmet 945 -hakuulaitteeseen ketjusahan paikalle.
Kuva: Partek Forest Oy Ab



Kuva 3. Aikatutkimuksessa Keto Forst Energy -hakkulaite oli Farmi Trac 775 -pienharvesterissa.



Kuva 4. Energia- ja ainespuuta kuljetettiin aikatutkimuksessa Valmet 840-8 -metsätraktorilla.

Valmet 945 -saksikoura oli aikatutkimuksessa Valmet 901-4 -hakkuukoneessa, jossa oli Valmet 998 -nosturi (ulottuvuus 10,0 m). Hakkuukoneen nosturin hydraulikassa oli vika, jota ei pystytty korjaamaan kuntoon aikatutkimuksien aikana. Koehenkilönä oli 19-vuotias hakkuukoneen kuljettaja-opiskelija. Hän oli hakannut Valmet 945 -saksikouralla kaksi kuukautta. Lisäksi hän oli työskennellyt kuukauden ajan kesällä Naarva-Koura 1600-40 -kaato-kasauslaitteella. Saksiterät oli asennettu Valmet 945 -hakkuulaitteeseen toukokuussa 2003. Aikatutkimus tehtiin Tohmajärvellä lokakuussa 2003.

Valmet 945 -saksikouralla hakatun energia- ja ainespuun kuljettamisessa käytettiin Valmet 840-8 -metsätraktoria, jossa oli Cranab 720 C -kuormain (ulottuvuus 7,2 m) (kuva 4). Koehenkilönä oli 40-vuotias metsäkoneen kuljettaja, jolla oli lähes 20 vuoden kokemus ainespuun ajosta. Energia- ja ainespuun kuljetuksen aikatutkimus tehtiin viikko hakkuun jälkeen.

2.1.3 Aikatutkimusleimikot

Keto Forst Energy & Farmi Trac 775 -koneyksikköä tutkittiin kahdessa leimikossa. Taulukossa 1 on esitetty tutkimusleimikoiden korjuuolosuhteet. Tutkimusleimikko 1 (Keto 1/E&A) oli ensiharvennumännikkö, joka oli kylvetty 30 vuotta sitten. Leimikossa oli runsaasti alikasvoskuusta (kuva 3). Leimikosta hakattiin 1 600 runkoa/ha. Poistuma koostui alikasvoskuusista ja -koivuista sekä männyistä. Tutkimusleimikko 2 (Keto 2/E&A) oli ojitetulla suolla oleva ensiharvennumännikkö, jonka ikä oli 40 vuotta. Keto 2/E&A -leimikossa poistuman tiheys oli lähes 3 000 runkoa/ha, josta pääosa oli mäntyä. Kummassakin leimikossa ajouraväli oli noin 16 metriä, ja ajouran leveys oli noin neljä metriä.

TAULUKKO 1 Aikatutkimusleimikoiden korjuuolosuhteet. Merkintä E&A tarkoittaa, että energia- ja ainespuu hakattiin eri kasoihin ja merkintä E sitä, että kaikki hakatut rungot tehtiin energiapuuksi.

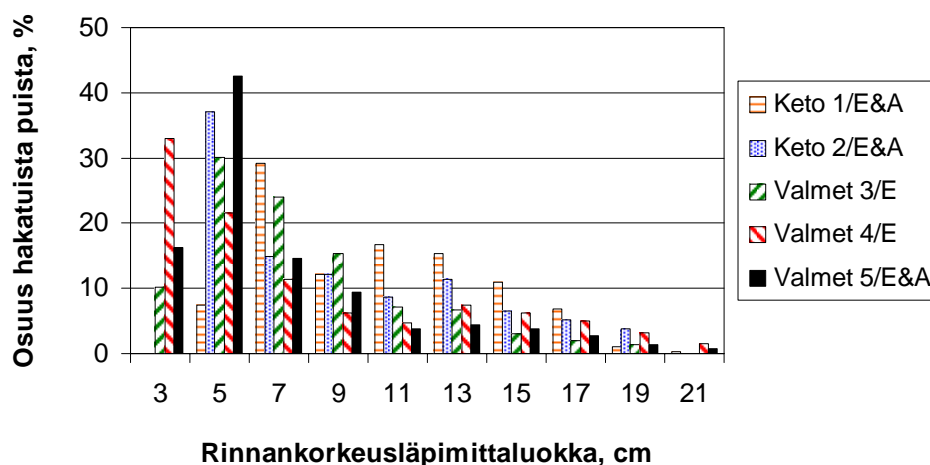
Leimikko	Hakattuja puita, kpl	Lähtöpuuston tiheys, r/ha	Poistuman tiheys, r/ha	Rungon keski-koko (runkopuuta), dm ³	Hakkuukertymä, m ³ /ha	Hakkuumenetelmä
Ensiharvennumännikkö 1 (Keto 1/E&A)	365	2 600	1 600	70	111	Energia- ja ainespuu erilleen
Ensiharvennumännikkö 2 (Keto 2/E&A)	288	3 900	2 800	51	146	Energia- ja ainespuu erilleen
Ensiharvennumännikkö 3 (Valmet 3/E)	900	3 500	2 500	24	60	Kaikki energiapuuksi
Ensiharvennuskoivikko 4 (Valmet 4/E)	404	2 690	2 020	51	103	Kaikki energiapuuksi
Ensiharvennuskoivikko 5 (Valmet 5/E&A)	498	3 150	2 490	37	92	Energia- ja ainespuu erilleen

Valmet 945 -saksikouraa tutkittiin kolmessa leimikossa. Tutkimusleimikko 3 (Valmet 3/E) oli ensiharvennumännikkö, jossa puusto oli iältään 40-vuotiasta. Leimikko koostui kahdesta palstasta. Toinen palsta oli turvemaa-kohde, jossa oli runsaasti alikasvoskuusta. Palstalta hakattiin 300 puuta.

Toinen palsta oli kangasmaakohde, jossa oli paljon lehtipuuvesakkoa. Palsalta hakattiin 600 runkoa. Koska hakkuutyön ajanmenekit todettiin palstoilla samanlaisiksi, palstojen aikatutkimusaineistot yhdistettiin. Ajouraväli oli leimikossa 13–15 metriä, ja ajouran leveys oli noin neljä metriä. Kapea ajouraväli selittyi korjuuolosuhteilla: aikatutkimuksessa hakkuutyötä tehtiin rinteiden rajaamalla, kapeilla koealoilla.

Tutkimusleimikot 4 ja 5 (Valmet 4/E ja 5/E&A) olivat 30-vuotiaita ensiharvennuskoivikoita, jotka kummatkin harvennettiin tiheyteen 670 runkoa/ha. Poistuma koostui lähes yksinomaan koivuista. Ajouraväli oli leimikoissa 15–17 metriä, ja ajouran leveys oli noin neljä metriä.

Kuvassa 5 on esitetty poistuman rinnankorkeusläpimittajakaumat aikatutkimusleimikoissa. Pääosin leimikoista hakattu puusto oli rinnankorkeusläpimitaltaan 3–7 cm paksua pienpuuta. Ensiharvennusmänniköstä 1 (Keto 1/E&A -leimikko) hakattiin myös runsaasti ainespuumitat täyttäviä puita. Keto 1/E&A -leimikossa poistettujen runkojen keskitilavuus oli 70 dm³. Ensiharvennusmännikössä 3 (Valmet 3/E -leimikko) poistetut rungot olivat keskikooltaan pienimpiä: Valmet 3/E -leimikosta poistettujen puiden keski-koko oli 24 dm³.



Kuva 5. Poistuman rinnankorkeusläpimittajakaumat aikatutkimusleimikoissa.

2.1.4 Menetelmät

Aikatutkimuksissa käytettiin kahta hakkuumenetelmää: Aikatutkimusleimikoissa 1, 2 ja 5 energia- ja ainespuu hakattiin omiin kasoihin (energia- ja ainespuun integroitu hakkuu). Tässä raportissa hakkuumenetelmää on kuvattu E&A-merkinnällä. Leimikoissa 3 ja 4 energia- ja ainespuuta ei hakattu eri kasoihin, vaan kaikki hakatut rungot tehtiin energiapuuksi (energiapuu-hakkuu). Hakkuumenetelmästä käytetään tässä raportissa E-merkintää. Keto Forst Energy -hakkuulaitteella hakattiin pääosin 3,0 m pitkää ja Valmet 945 -saksikouralla 4,5 m pitkää kuitupuuta. Energiapuu hakattiin metsäkuljetusta varten noin 5–6 metrin pituuteen.

Energia- ja ainespuun metsäkuljetusta tutkittaessa ensiharvennuskoivikosta 4 (Valmet 4/E -leimikko) kuljetettiin kaksi kuormaa (kuormat 1/e&a ja 2/e&a) ja ensiharvennuskoivikosta 5 (Valmet 5/E&A -leimikko) kolme kuormaa. Energiapuukuormissa 1/e&a ja 2/e&a oli ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta, ainespuupölkkyjä ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja. Ensiharvennuskoivikosta 5 kuljetettiin ensiksi kaksi energiapuukuormaa (kuormat 3/e ja 4/e) ja sen jälkeen yhdessä kuormassa ainespuu (kuorma 5/a). Kuormissa 3/e ja 4/e oli ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja.

2.1.5 Työvaiheet

Hakkuun aikatutkimuksessa tehoajanmenekki mitattiin työvaiheittain: siirtyminen, hakkuulaitteen vienti kaadettavan puun tyvelle ja kaato, puun tuonti, energiapuun prosessointi, ainespuun prosessointi, kasojen järjestely, alikasvoksen raivaus ja työn suunnittelu. Hakkuulaitteen vienti ja kaato, puun tuonti sekä energia- ja ainespuun prosessointi olivat runkokohtaisia aikoja. Siirtyminen, kasojen järjestely, alikasvoksen raivaus ja työn suunnittelu vaikoitiin leimikkokohtaisesti kullekin rungolle samaksi.

Metsäkuljetuksessa työvaiheet olivat tyhjänäajo, kuormaus, kuorman järjestely, kuormausajo, kuormattuna-ajo, purkaminen ja työn suunnittelu. Kuorman järjestely -työvaihe liitettiin kuormaukseen.

2.1.6 Hakatun ja kuljetetun puumäärän mittaus

Hakattujen puiden runkopuu kuutioitiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöillä. Hakkuukertymänä pidettiin *runkopuukertymää*, vaikkakin hakattujen puiden latvat jäivät karsimatta kaikissa leimikoissa. Tutkimuksessa kuljetetut energia- ja ainespuukuormat punnittiin pyöräpainovaaioilla. Lisäksi hakenäytteistä määritettiin kosteusprosentti ja tuoretiheys.

2.1.7 Kustannuslaskenta

Hakkuutyön kustannukset laskettiin tutkituille koneyksiköille seuraavasti: Farmi Trac 775 & Keto Forst Energy -koneyksikön hankintahintana käytettiin 180 330 € (alv 0 %) ja Valmet 901-4 & Valmet 945 -saksikoura -koneyksikön hankintahintana 310 780 € (alv 0 %). Vuotuinen käyttötuntimäärä oli laskelmissa 2 537 h/v. Harvennusten osuus oli 100 % Farmi Trac 775 -pienharvesterilla ja 60 % Valmet 901-4 -hakkuukoneella. Hakkuun käyttötuntituottavuus harvennuksella oli 7,0 m³/h Farmi Trac 775 -pienharvesterilla ja 9,8 m³/h Valmet 901-4 -hakkuukoneella ja päätehakkuulla 15,0 m³/h. Edellä esitetyillä lähtöarvoilla laskien käyttötuntikustannukset olivat 61,4 €/h Farmi Trac 775 -pienharvesterille ja 74,2 €/h Valmet 901-4 -hakkuukoneelle.

Energia- ja ainespuun kuljettamisessa käytetyn Valmet 840-8 -metsätraktorin käyttötuntikustannukset laskettiin käyttäen seuraavia lähtöarvoja: Valmet 840-8 -metsätraktorin hankintahintana käytettiin 194 200 € (alv 0 %). Vuotuinen käyttötuntimäärä kustannuslaskelmissa oli 2 686 h/v. Harvennusten osuus oli 40 %. Käyttötuntituottavuus oli harvennuksella 11,0 m³/h ja päätehakkuussa 15,0 m³/h. Valmet 840-8 -metsätraktorin käyttötuntikustannukset olivat 53,8 €/h.

2.2 Syrjän korjuri

2.2.1 Korjurin nykyrakenne

Koneurakoitsija Pekka Syrjä on rakentanut korjuriprototyypin, jossa kuormaimena on Logmer 787 -liikeratanosturi (ulottuvuus 8,9 m) (kuva 6). Hakkuulaitteena on Syrjän itsensä rakentama 160-kiloinen hakkuulaite, jossa on ketjusaha ja karsintaterät (kuva 7). Korjurin kuormatila on sen rungon alla. Kuormatilan poikkipinta-ala on noin 1 m². Valmistettavan puutavaran pituuden ollessa noin 4,5 m korjurin kuormatilaan mahtuu noin 2,5 m³ kuitupuuta (kuva 7).

Nykyisellä korjurikonstruktiolla puu prosessoidaan seuraavasti: Puu kaadetaan hakkuulaitteella ja siirretään korjurin rungon etuosassa oleviin pihteihin. Puu karsitaan liikuttamalla hakkuulaitetta korjurista pois päin. Puu työnnetään korjurin rungon alle ja katkaistaan, karsitaan, työnnetään taas rungon alle ja katkaistaan.

2.2.2 Vaihtoehtoiset korjurimenetelmät

Syrjän korjurilla tarkasteltiin kolmea erilaista korjurimenetelmää. Korjurimenetelmä 1 oli menetelmä, jolla korjurilla työskennellään nykyisin. Korjurimenetelmät 2 ja 3 olivat sellaisia menetelmiä, jotka vaativat muutoksia korjurin nykyrakenteisiin. Kussakin korjurimenetelmässä varsinainen metsäkuljetus tehtiin metsätraktorilla.

- *Korjurimenetelmä 1:*

Korjurin puomin päässä olevassa hakkuulaitteessa on ketjusaha ja karsintaterät. Korjurin rungossa on pihdit ja ketjusaha. Hakkuulaite kaataa puun ja siirtää sen korjurin rungossa oleviin pihteihin. Puu karsitaan liikuttamalla hakkuulaitetta korjurista pois päin. Puu työnnetään korjurin rungon alle ja katkaistaan, karsitaan, työnnetään taas korjurin alle ja katkaistaan jne.

- *Korjurimenetelmä 2:*

Puomin päässä on ketjusahalla varustettu kaatolaite. Korjurin rungossa on hakkuulaite, jossa on syöttörullat, karsintaterät ja ketjusaha. Puu kaadetaan ja siirretään korjurin rungossa olevalle hakkuulaitteelle, joka tekee automaattisesti karsinnan ja katkonnan. Hakkuulaitteen automatiikan käsitellessä edellistä puuta kuljettaja voi valita seuraavan puun, kaataa ja siirtää sen pysty-asennossa korjurin eteen.

- *Korjurimenetelmä 3:*

Puomin päässä on hakkuulaite, joka katkoo puut suoraan korjurin kuormatilaan. Hakkuulaite kaataa puun ja siirtää sen korjurin rungon eteen, jossa hakkuulaite karsii ja katkoo puun suoraan korjurin rungon alla olevaan kuormatilaan.



Kuva 6. Syrjän prototyypikorjurissa kuormatila on sen rungon alla.



Kuva 7. Korjurin kuormatilaan mahtuu noin 2,5 m³ kuitupuuta. Kuvassa karsittua runkoa työnnetään kuormatilaan.

2.2.3 Korjurin kustannustarkastelujen laskentaperusteet

Poistuman rinnankorkeusläpimittajakauman oletettiin olevan korjuukohteella taulukon 2 mukainen. Hakattavat puut olivat rinnankorkeusläpimitaltaan 8–14 cm. Poistuma oli yhteensä 900 runkoa/ha (46 m³/ha). Rinnankorkeusläpimitaltaan 8 ja 10 cm:n puista oletettiin saatavan yksi kuitupuupölkky ja 14 cm:n puista kaksi pölkkyä.

TAULUKKO 2 Poistuman rinnankorkeusläpimittajakauma korjuukohteella.

	Rinnankorkeusläpimitta, cm		
	8	10	14
Poistuman tiheys, r/ha	150	450	300
Rungon koko, dm ³	15	31	98
Kuitupuupölkyn pituus, m	2,7	4,5	2 x 4,5

Korjurin kuormatilaan oletettiin mahtuvan 2,6 m³. Lisäksi arvioitiin, että kuormatilaa voitaisiin helposti suurentaa 25 %. Tällöin kuormakooksi saadaan 3,3 m³. Ajouraväliä voidaan kasvattaa suurentamalla korjurin kuormatilan kokoa tai pienentämällä hakkuukaistan leveyttä (taulukko 3). Korjurilla tehtävän esikuljetuksen ansiosta metsätraktorin ajouravälin oletettiin olevan 29–72 m.

TAULUKKO 3 Oletetut ajouravälit ja hakkuukaistojen leveydet.

	Kuormatilan poikkipinta-ala, m ²			
	1,0		1,25	
Hakkuukaistan leveys, m	10	20	10	20
Ajouraväli, m	57	29	72	36

Tehoajanmenekki ja käyttötuntituottavuus Syrjän korjurille määritettiin hakkuukoneita ja metsätraktoreita koskevien tutkimusten perusteella. Tuottavuutta laskettaessa tehoaika muutettiin käyttöajaksi kertoimella 1,36. Tuottavuus määritettiin sekä hakkuulle yksin puin että joukkohakkuulle (taulukko 4). Joukkohakkuussa 25 % puista oletettiin hakattavan yksi kerrallaan, 50 % kahden puun ja 25 % kolmen puun taakkoina.

TAULUKKO 4 Arvioidut käyttötuntituottavuudet eri korjurimenetelmillä.

Käyttötuntituottavuus, m ³ /h	Korjuri- menetelmä 1	Korjuri- menetelmä 2	Korjuri- menetelmä 3
- Yksin puin hakkuu	3,1	5,4	3,7
- Joukkohakkuu	4,7	7,0	5,4

Tuottavuuden ja vuotuisen käyttöajan avulla eri korjurimenetelmille laskettiin vuosisuoritteet (taulukko 5). Laskelmissa korjurin vuotuinen käyttöaika oli 2 688 h/v. Korjurin kustannukset laskettiin 2,6 m³:n kuormakoolla ja 20 metrin hakkuukaistalla sekä yksin puin että joukkohakkuuna. Kaato- ja karsintalaitteiden hankintahintaan kuului puomin päässä olevan hakkuuyksikön lisäksi korjurin rungossa tarvittavat laitteet puun käsittelyyn. Hankintahintojen arvioinnissa käytettiin muiden samankokoisten valmistuksessa olevien koneiden (esim. Sampo-Rosenlew 1046X -harvennusharvesteri ja Harverikorjuri) hankintahintoja. Esitetyillä oletuksilla laskien Syrjän korjurin käyttötuntikustannukset olivat 45,6–49,4 €/h.

TAULUKKO 5 Syrjän korjurin vuotuiset työmäärät, hankintahinnat (alv 0 %) ja käyttötuntikustannukset eri korjurimenetelmillä.

	Korjurimenetelmä 1		Korjurimenetelmä 2		Korjurimenetelmä 3	
	Yksin puin hakkuu	Joukko-hakkuu	Yksin puin hakkuu	Joukko-hakkuu	Yksin puin hakkuu	Joukko-hakkuu
Työmäärä, m ³ /v	8 310	12 530	14 520	18 840	9 950	14 380
Korjurin hankintahinta, €	125 000	125 000	150 000	150 000	135 000	135 000
josta kaato- ja karsintalaitteet, €	17 000	17 000	38 000	38 000	25 000	25 000
Käyttötuntikustannus, €/h	45,6	46,0	48,9	49,4	46,8	47,3

Verrattaessa eri korjuumenetelmiä (Syrjän korjuri vs. tavanomainen korjuuketju) keskenään korjuuketjun kustannukset laskettiin seuraavasti: Hakkuukoneen hankintahinta oli 274 000 € (alv 0 %), ja metsätraktorin hinta oli 187 000 € (alv 0 %). Hakkuukoneen käyttötuntituottavuus oli 4,8 m³/h (yksin puin hakkuu). Metsätraktorin tuottavuus oli 12,4–14,1 m³/käyttötunti riippuen ajouravälistä leimikossa (taulukko 6). Taulukossa 6 on myös esitetty hakkuukoneen ja metsätraktorin vuotuiset työmäärät. Hakkuukoneen käyttötuntikustannukset olivat 63,6 €/h, ja metsätraktorin kustannukset olivat 53,0–53,5 €/käyttötunti.

TAULUKKO 6 Hakkuukoneen ja metsätraktorin vuotuiset työmäärät sekä käyttötuntituottavuudet ja -kustannukset ja korjuukustannukset eri ajouraväleillä.

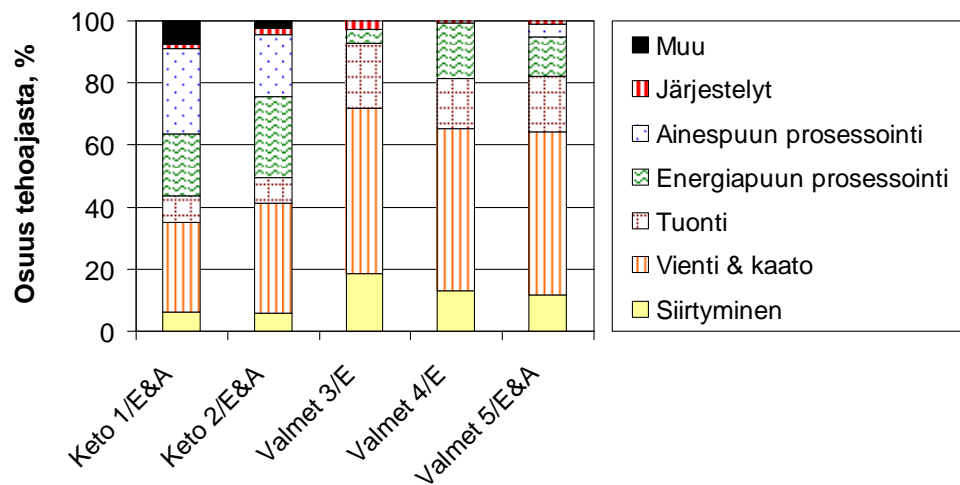
	Ajouraväli, m	Käyttötuntituottavuus, m ³ /h	Työmäärä, m ³ /v	Käyttötuntikustannus, €/h	Korjuukustannus, €/m ³
Hakkuukone		4,8	12 860	63,6	13,3
Metsätraktori	20	12,4	13 530	53,0	4,3
	29	13,0	37 248	53,2	4,1
	36	13,3	38 092	53,3	4,0
	57	13,9	39 558	53,4	3,9
	72	14,1	40 157	53,5	3,8

3 TULOKSET

3.1 Hakkuun aikatutkimus

3.1.1 Ajanmenekki ja sen rakenne

Eniten tehoaikaa kaikissa leimikoissa vei hakkuulaitteen vienti ja kaato -työvaihe (kuva 8). Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa leimikoissa vienti ja kaato -työvaiheen osuus tehoajasta oli yli 50 %. Keto Forst Energy -hakkuulaitteella vienti ja kaato -työvaiheeseen meni noin kolmannes tehoajasta. Puun tuonti vei Keto Forst Energy -hakkuulaitteella hakatuissa leimikoissa vajaan 10 % tehoajasta. Valmet 945 -saksikouralla puun tuontiin meni 16–21 % tehoajasta. Ensiharvennusmännikössä 3 (Valmet 3/E -leimikko) puun tuonti -työvaiheeseen meni 21 % tehoajasta, mitä osittain selittää suhteellisen pitkä (keskimäärin 6,4 m) puun ottoetäisyys.



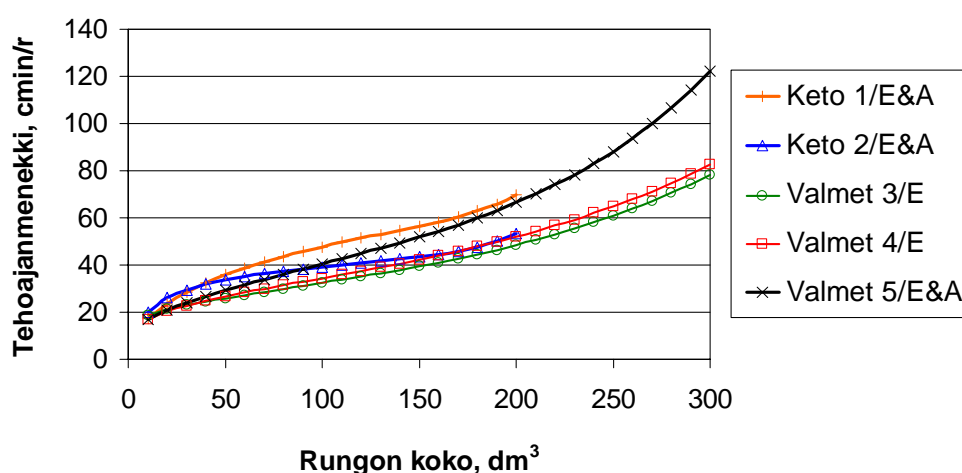
Kuva 8. Hakkuun tehoajanmenekkejakaumat aikatutkimusleimikoissa.

Energiapuun prosessointi (runkojen syöttö karsintaterien läpi, katkaisu ja kasaus) vei leimikoittain 4–26 % tehoajasta. Suhteellisesti vähiten aikaa (4 %) energiapuun prosessointiin meni pienirunkoisessa ensiharvennusmännikössä 3 (Valmet 3/E -leimikko), jossa kaikkia taakkoja ei tarvinnut syöttää karsintaterien läpi ja katkaista, vaan puunippu voitiin vain kasata ajouran varteen. Ainespuun prosessointiin (kuitupuun mitat täyttävien runkojen karsinta, katkaisu ja erilleen kasaus) meni Keto Forst Energy -hakkuulaitteella hakaten 20–27 % tehoajasta. Ensiharvennuskoivikossa 5 (Valmet 5/E&A -leimikko) ainespuun prosessointi vei vain 4 % tehoajasta. Valmet 5/E&A -leimikossa puusto oli huomattavasti pienempää kuin Keto-leimikoissa. Valmet 5/E&A -leimikosta kuitupuuta kertyi vain 21 m³/ha.

Keto-leimikoissa työpistesiihtymiset veivät 6 % tehoajasta. Siirtymismatkat olivat keskimäärin 1,1–1,5 m/siirtyminen. Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa leimikoissa siirtymismatkat olivat keskimäärin 1,7–2,0 m/siirtyminen.

Työpistesiiirtymisiin kului Valmet-leimikoissa 12–19 % tehoajasta. Muihin työvaiheisiin (kasojen järjestelyt, alikasvoksen raivaus ja työn suunnittelu) meni 1–9 % tehoajasta. Ensiharvennusmännikössä 1 (Keto 1/E&A -leimikko) kuljettaja käytti suhteellisen paljon aikaa (8 % tehoajasta) tiheän kuusialikasvoksen raivaukseen.

Kuvassa 9 on esitetty tehoajanmenekkikuvaajat Keto Forst Energy -hakkuulaitteella ja Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa leimikoissa aikatutkimuksissa toteutuneilla taakoilla. Kuvasta havaitaan, että Keto 1/E&A -leimikossa hakkuutyö oli hitaampaa kuin Keto 2/E&A -leimikossa johtuen Keto 1/E&A -leimikon tiheästä kuusialikasvoksesta. Keto-leimikoissa tehoajanmenekki alkoi kasvaa selvästi poistuman ollessa kooltaan 160–180 dm³. Keto-tutkimuksessa suurimmat hakatut puut olivat tilavuudeltaan 215 dm³.



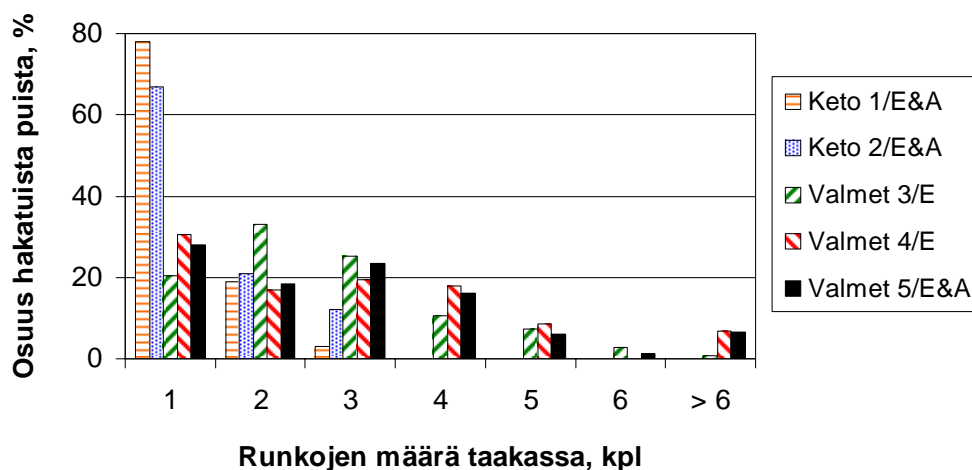
Kuva 9. Tehoajanmenekkikäyrät Keto Forst Energy -hakkuulaitteella ja Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa leimikoissa.

Energia- ja ainespuun hakkuu eri kasoihin (Valmet 5/E&A -leimikko) oli hitaampaa kuin kaikkien puiden hakkaaminen samoihin kasoihin energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot) (kuva 9). Pienellä (10–40 dm³) rungon koolla eroa ei ollut, koska hakatut puut eivät täyttäneet kuitupuun mittoja. Isommilla rungoilla ero ajanmenekissä hakkuumenetelmien välillä oli merkittävä: Rungon koon ollessa 100 dm³ ainespuun hakkaaminen omiin kasoihin (Valmet 5/E&A -leimikko) vei 17 % enemmän aikaa kuin kaikkien puiden hakkaaminen energiapuuksi (Valmet 4/E -leimikko). Kun rungon koko oli 150 dm³, ainespuun erilleen hakkaamiseen meni jo 22 % enemmän aikaa kuin kaikkien puiden energiapuuksi hakkaamiseen.

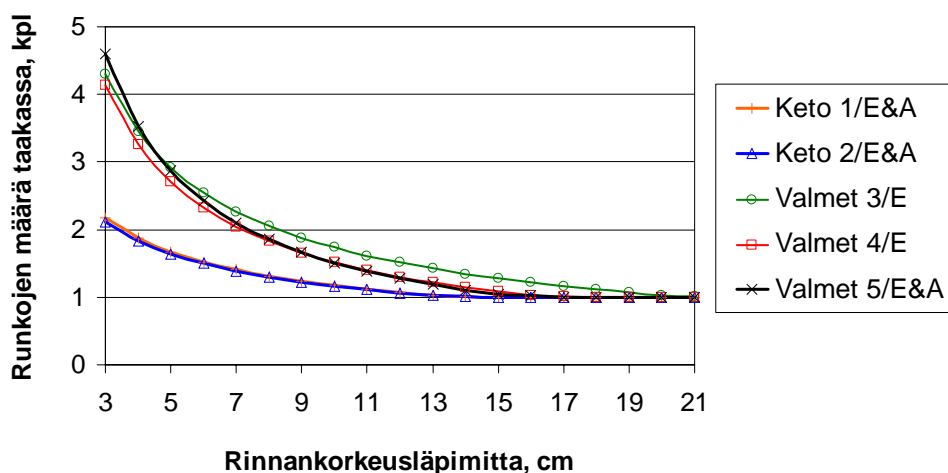
Lisäksi kuvasta 9 havaitaan, että männyllä (Valmet 3/E -leimikko) tehoajanmenekki oli hieman pienempi kuin koivulla (Valmet 4/E -leimikko). Myös Valmet 945 -saksikouralla tehoajanmenekki alkoi kasvaa voimakkaammin, kun hakattavat puut olivat tilavuudeltaan yli 150 dm³. Tosin Valmet 945 -saksikouralla ajanmenekin kasvu ei ollut aivan yhtä voimakas kuin Keto Forst Energy -hakkuulaitteella rungon koon lähestyessä 200 dm³:ä. Aikatutkimuksissa Valmet 945 -saksikouralla hakatut suurimmat rungot olivat kooltaan hieman yli 300 dm³.

3.1.2 Joukkokäsittely

Keto Forst Energy -hakkuulaitteella hakatuissa ensiharvennumänniköissä 1 ja 2 (Keto 1/E&A ja 2/E&A -leimikot) puut hakattiin valtaosin yksin puin (kuva 10). Joukkokäsittelyprosentit jäivät alhaisiksi: Ensiharvennumännikössä 1 hakatuista puista vain 22 % hakattiin joukkokäsittelynä (taakassa useampi kuin yksi puu). Ensiharvennumännikössä 2 joukkokäsittelyprosentti oli 33 %. Ensiharvennumännikössä 1 taakan keskikoko oli 1,3 runkoa/taakka ja ensiharvennumännikössä 2 1,4 runkoa/taakka. Vaikka Keto Forst Energy -hakkuulaite mahdollistaa käsiteltävien puiden joukkokäsittelyn, ainespuumitat täyttäviä runkoja ei tutkimuksessa hakattu joukkokäsittelynä. Joukkokäsittelynä hakatut puut olivat pieniläpimittaisia energiapuurunkoja (kuva 11).



Kuva 10. Runkojen lukumäärä taakoissa aikatutkimusleimikoissa.

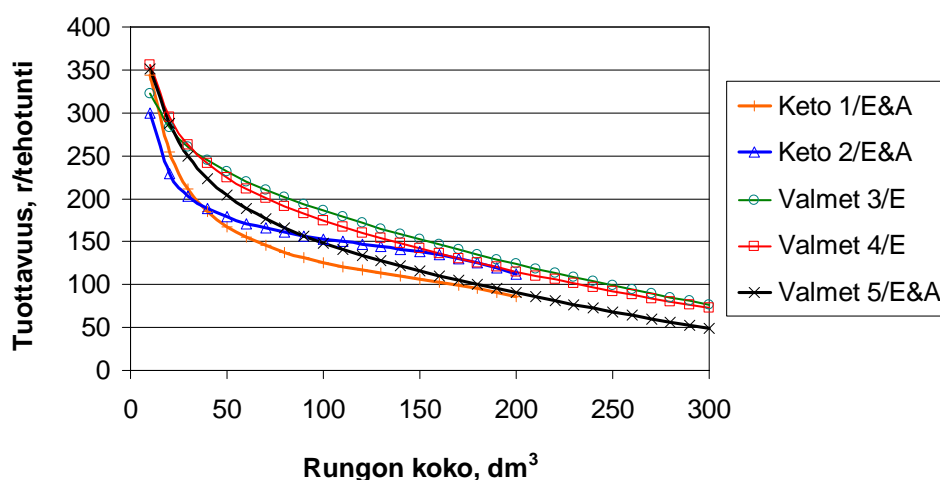


Kuva 11. Hakattujen puiden rinnankorkeusläpimitan vaikutus taakkojen keskikokoon.

Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa leimikoissa vain 20–30 % hakatuista puista käsiteltiin yksin puin. Joukkokäsittelyprosentit olivat täten 70–80 % Valmet-leimikoissa. Isoimmissa Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa taakkoissa oli yhdeksän runkoa. Taakan keskikoko oli ensiharvennusmännikössä 3 (Valmet 3/E -leimikko) 2,6, ensiharvennuskoivikossa 4 (Valmet 4/E -leimikko) 2,8 ja ensiharvennuskoivikossa 5 (Valmet 5/E&A -leimikko) 2,9 runkoa/taakka. Valmet 945 -saksikouralla taakkojen keskikoko oli näin olleen kaksinkertainen verrattuna Keto-leimikoiden taakoihin. Hakkuulaitteiden ominaisuudet ja myös käytetyt peruskoneet selittävät havaitun taakkakoon eron.

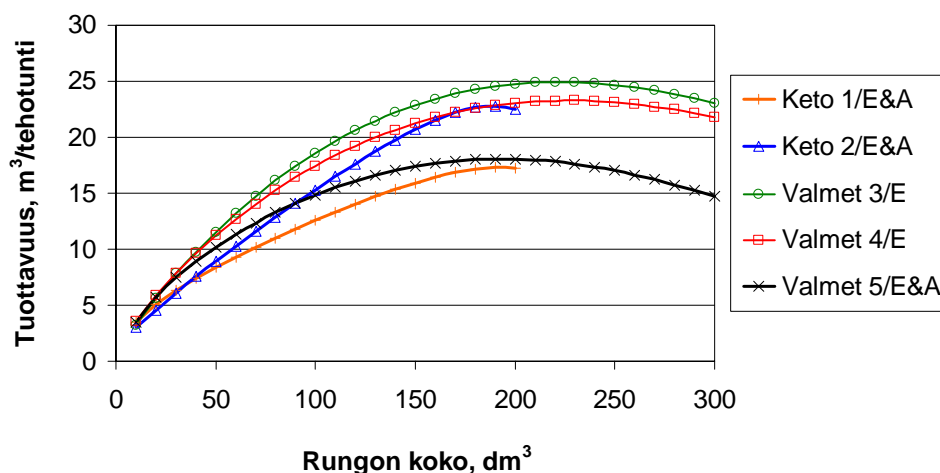
3.1.3 Tuottavuus

Keto Forst Energy -hakkuulaitteella tuottavuus oli 168–179 runkoa/tehotunti, ja Valmet 945 -saksikouralla hakatussa ensiharvennuskoivikossa 5 (Valmet 5/E&A -leimikko) tuottavuus oli 204 runkoa/tehotunti ja ensiharvennusmännikössä 3 ja -koivikossa 4 (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot) (ainespuuta ei hakattu erilleen) 225–231 runkoa/tehotunti poistettavan rungon koon ollessa 50 dm³ (kuva 12). Kun poistuman tilavuus oli 100 dm³, Keto-leimikoissa tehotuntituottavuus oli 126–153 runkoa/h, Valmet 5/E&A -leimikossa 148 runkoa/h ja Valmet 3/E ja 4/E -leimikoissa 174–186 runkoa/h. Täten tuottavuus hakattaessa kaikki puut samoihin kasoihin energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot) oli runsaat 20 runkoa/tehotunnissa korkeampi kuin ainespuun erilleen hakkuussa (Valmet 5/E&A -leimikko).



Kuva 12. Hakkuutyön tuottavuus (runkoa/tehotunti) aikatutkimusleimikoissa.

Tuottavuus tutkituilla hakkuulaitteilla on esitetty kuvassa 13. Rungon koon ollessa 50 dm³ Valmet 945 -saksikouralla päästiin runsaan 11 m³:n tehotuntituottavuuteen hakattaessa kaikki puut energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot). Kun kuitupuupölkyt hakattiin eri kasoihin aikatutkimusleimikoissa 1, 2 ja 5 (Keto 1/E&A ja 2/E&A ja Valmet 5/E&A -leimikot), tuottavuus jäi 8–10 m³:iin tehotunnissa (poistuman koko 50 dm³).



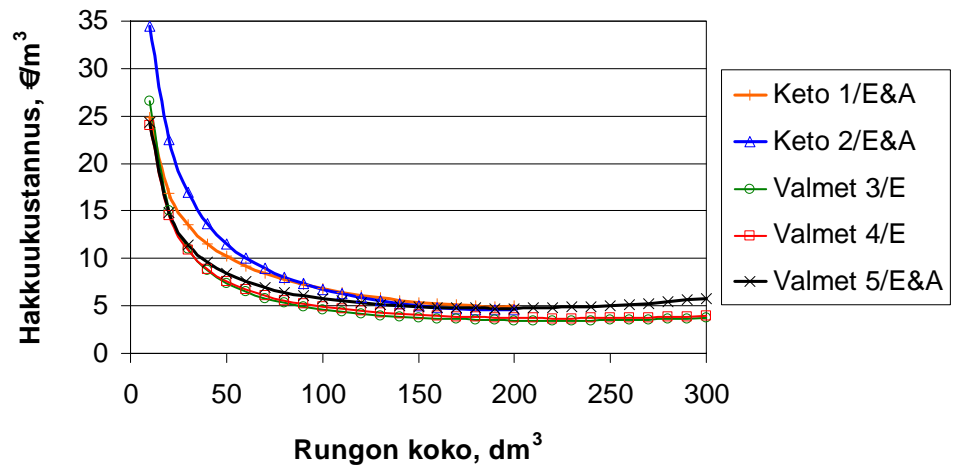
Kuva 13. Hakkuutyön tehotuntuottavuus aikatutkimusleimikoissa.

Rungon koon ollessa 100 dm³ tuottavuus nousi 17–18 m³:iin tehotunnissa Valmet 945 -saksikouralla hakatuissa ensiharvennusleimikoissa 3 ja 4 (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot). Ensiharvennusleimikossa 2 Keto Forst Energy -hakkuulaitteella päästiin 15 m³:iin tehotunnissa (poistuman koko 100 dm³). Valmet 945 -saksikouralla hakaten tuottavuus oli lähes 15 m³/tehotunti ensiharvennusleimikossa 5, kun rungon koko oli 100 dm³.

Kuten kuva 9 edellä osoitti, Keto Forst Energy -hakkuulaitteella hakkuutyö hidastui selvästi, kun poistuman koko oli yli 150 dm³. Maksimituottavuus Keto Forst Energy -hakkuulaitteella saavutettiin hakattaessa puita, joiden koko oli 190–200 dm³. Samalla rungon koolla saavutettiin myös Valmet 945 -saksikouran maksimituottavuustaso, kun ainespuu hakattiin omiin kasoihin (Valmet 5/E&A -leimikko). Kun kaikki puut hakattiin energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot), maksimituottavuus saavutettiin hieman järeämmässä puustossa (poistuman koko 220–230 dm³).

3.1.4 Hakkuukustannukset

Aikatutkimuksessa mitattu tehoaika muutettiin käyttöajaksi kertoimella 1,393. Kuvassa 14 on esitetty hakkuukustannukset tutkituilla koneyksiköillä. Kuva osoittaa, että 10 €/m³:n kustannustaso voitiin saavuttaa Valmet 945 -saksikouralla poistuman koon ollessa 35 dm³. Energia- ja ainespuun hakkaaminen erilleen (Valmet 5/E&A -leimikko) oli noin yhden euron kuutiolta kalliimpaa kuin kaikkien hakattavien puiden teko energiapuuksi (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot). Keto Forst Energy -hakkuulaitteella 10 €/m³:n kustannustasoon päästiin poistuman ollessa kooltaan 55–65 dm³.



Kuva 14. Hakkuun kustannukset aikatutkimusleimikoissa.

5 €/m³:n kustannustaso saavutettiin Valmet 945 -saksikouralla energiapuuhakkuussa (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot), kun poistuman järeys leimikossa oli 90–100 dm³. Energia- ja ainespuun erilleen hakkuussa 5 €/m³:n kustannustasoon päästiin Keto Forst Energy -hakkuulaitteella ja Valmet 945 -saksikouralla, kun rungon koko oli 150 dm³. Poistuman koon ollessa noin 200 dm³ hakkuukustannukset olivat pienimmillään sekä Keto Forst Energy -hakkuulaitteella että Valmet 945 -saksikouralla hakattaessa. Tämän jälkeen hakkuukustannukset alkoivat nousta molemmilla koneyksiköillä.

3.2 Metsäkuljetuksen aikatutkimus

3.2.1 Kuorman koko

Aikatutkimusleimikosta 4 (kaikki puut hakattu energiapuuksi) kuljetettujen energiapuukuormien (kuormat 1/e&a ja 2/e&a) koot olivat 8,2 ja 5,8 m³ (taulukko 7). Kuorma 1/e&a oli hieman yli karikoiden. Vastaavasti kuorma 2/e&a oli vajaa (30 cm alle karikoiden päiden tason).

TAULUKKO 7 Kuorman koko energia- ja ainespuun metsäkuljetuksessa aikatutkimusleimikoista 4 ja 5.

Kuorman koko	Kuorma				
	1/e&a	2/e&a	3/e	4/e	5/a
- kg	6 530	4 620	5 440	4 010	3 340
- m ³	8,2	5,8	6,9	5,1	4,2

Aikatutkimusleimikossa 5 (energia- ja ainespuu hakattu eri kasoihin) energiapuukuormien (kuormat 3/e ja 4/e) koot olivat 6,9 ja 5,1 m³, eli ne olivat selvästi pienempiä kuin kuormat 1/e&a ja 2/e&a, joissa oli ainespuuksi kelpaamattoman pienpuun ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvojen lisäksi ainespuupölkkyjä. Kuorma 3/e oli täysi, ja kuorma 4/e oli 50 cm alle

karikoiden päiden tason. Täten ainespuupölkkyt tiivistivät energiapuukuormia 1/e&a ja 2/e&a, ja niihin mahtui enemmän energiapuuta kuin energiapuukuormiin 3/e ja 4/e. Ainespuukuorma (kuorma 5/a) jäi vajaaksi; sen koko oli vain 4,2 m³. Kuljetettujen energia- ja ainespuurunkojen kosteus oli 42 % (tuoretiheys 792 kg/m³).

3.2.2 Ajanmenekki ja sen rakenne

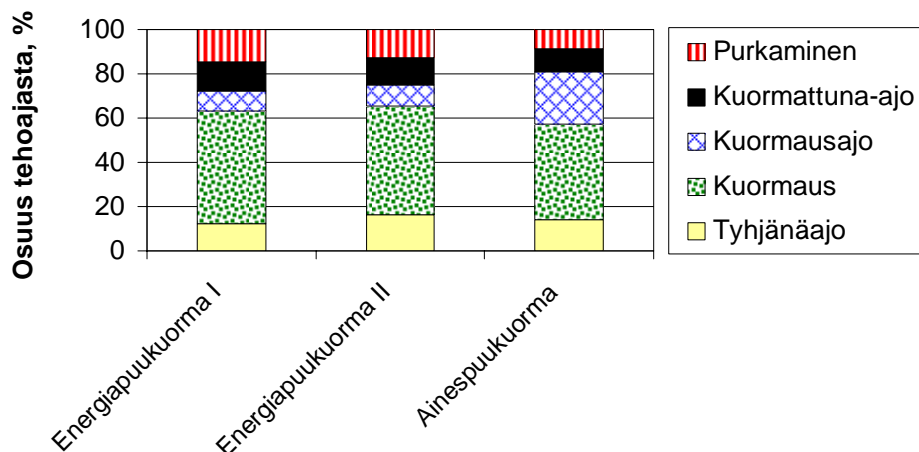
Energia- ja ainespuun metsäkuljetuksen ajanmenekkiä ja tuottavuutta määrittäessä energiapuukuormien kokoina käytettiin 8,0 m³ (energiapuukuorma I) ja 7,0 m³ (energiapuukuorma II), eli tutkimuksessa kuljetettuja täysisiä kuormia 1/e&a ja 3/e (vrt. taulukko 7). Ainespuukuorman kokona käytettiin 9,0 m³.

Energiapuukuormien I ja II ja ainespuukuorman kuormauksen, kuormausajon ja purkamisen ajanmenekkeinä käytettiin tutkimuksessa toteutuneita ajanmenekkejä. Energiapuukuorman I ajanmenekit laskettiin tutkimuksessa kuljetettujen energiapuukuormien 1/e&a ja 2/e&a ajanmenekkien perusteella. Energiapuukuorman II ajanmenekkien määrittämisessä käytettiin energiapuukuormien 3/e ja 4/e ajanmenekkejä.

Energiapuukuorman I kuormauksen ajanmenekki oli 236 cmin/m³, kuormausajon ajanmenekki 42 cmin/m³ ja purkamisen ajanmenekki 68 cmin/m³. Energiapuukuorman II vastaavat ajanmenekit olivat 244 cmin/m³ (kuormaus), 47 cmin/m³ (kuormausajo) ja 64 cmin/m³ (purkaminen). Ainespuukuormalla ajanmenekit olivat 180 cmin/m³ (kuormaus), 98 cmin/m³ (kuormausajo) ja 36 cmin/m³ (purkaminen). Tyhjänä- ja kuormattuna-ajon ajanmenekit laskettiin Metsätehon metsäkuljetuksen ajanmenekkiyhdytelöillä.

Tarkasteltaessa metsäkuljetuksen tehoajanmenekkiä metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m eniten aikaa kaikilla kuormilla meni kuormaus-työvaiheeseen (kuva 15). Energiapuukuorman I kuormaukseen meni yli puolet tehoajasta ja energiapuukuorman II ja ainespuukuorman kuormaukseen lähes puolet tehoajasta. Energiapuukuorman I kuormauksessa ajanmenekki oli 68 cmin/taakka. Taakan keskikoko oli 0,29 m³/taakka. Yhdestä työpisteestä kuormattiin keskimäärin 0,43 m³. Energiapuukuorman II kuormauksessa ajanmenekki (52 cmin/taakka) oli hieman pienempi kuin energiapuukuorman I kuormauksessa, mutta toisaalta taakatkin olivat pienempiä (keskimäärin 0,21 m³/taakka). Ainespuun kuormauksessa ajanmenekki oli 32 cmin/taakka. Ainespuuta yhdestä työpisteestä kuormattiin vain keskimäärin 0,20 m³.

Ainespuukuorman kuormausajoon kului neljännes tehoajasta, koska ainespuukertymä oli pieni (21 m³/ha ensiharvennuskoivikossa 5). Energiapuukuormien I ja II kuormausajoon meni vajaa 10 % tehoajasta. Tyhjänä- ja kuormattuna-ajoon kului kuormittain 25–29 % tehoajasta. Ainespuukuorman purkaminen oli nopeampaa kuin energiapuukuormien purkaminen. Ainespuukuorman purkamisessa ajanmenekki oli keskimäärin 31 cmin/taakka, ja taakan keskikoko oli 0,84 m³/taakka. Energiapuukuormien purkamisessa ajanmenekki oli keskimäärin 40–46 cmin/taakka, ja taakan keskikoko oli 0,63–0,67 m³/taakka.

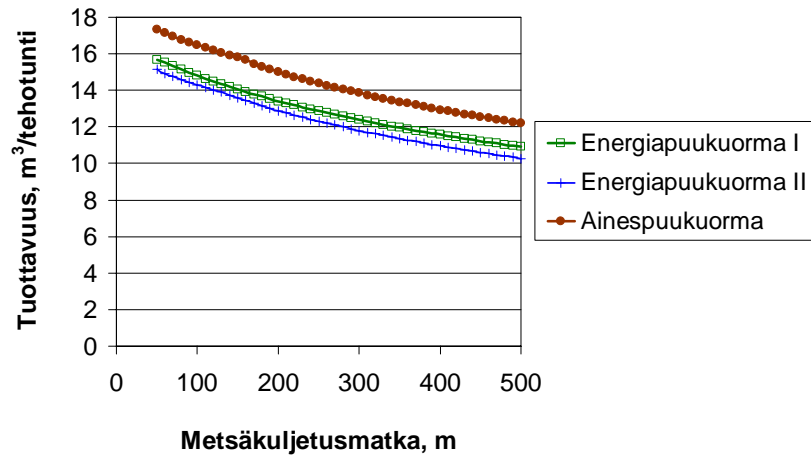


Kuva 15. Metsäkuljetuksen työvaiheiden tehoajanmenekkien osuudet energiapuukuormalla I (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta, ainespuupölkkyjä ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja), energiapuukuormalla II (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja) ja ainespuukuormalla. Metsäkuljetusmatka 250 m. Energiapuukuormalla I koko 8,0 m³, energiapuukuormalla II koko 7,0 m³ ja ainespuukuormalla koko 9,0 m³.

3.2.3 Tuottavuus

Energia- ja ainespuun metsäkuljetuksen tehotuntituottavuus metsäkuljetusmatkan funktiona on esitetty kuvassa 16. Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m energiapuukuormien I ja II metsäkuljetuksessa tuottavuus oli 12,3–12,9 m³/tehotunti. Energiapuukuormalla I, jossa oli ainespuuksi kelpaamattoman pienpuun ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvojen joukossa ainespuupölkkyjä, saavutettiin tehotuntituottavuus 14 m³/h alle 150 m:n metsäkuljetusmatkalla. Energiapuukuormalla II (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja) tuottavuus oli noin 0,8 m³/tehotunnissa pienempi kuin energiapuukuormalla I.

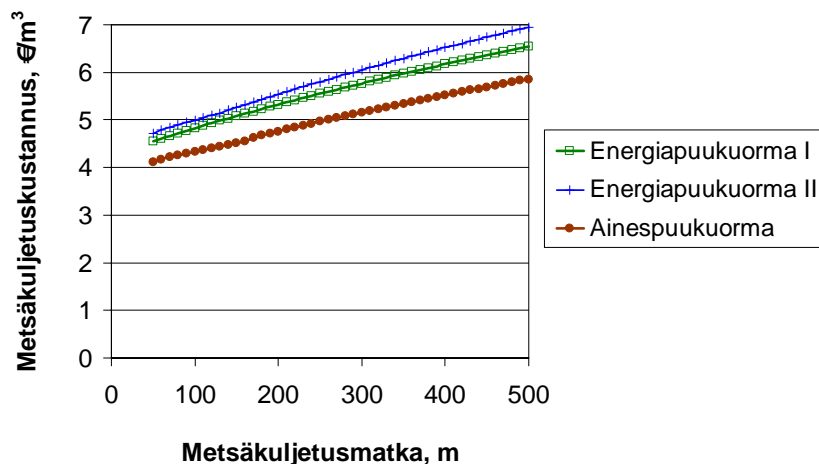
Ainespuukuormalla tuottavuus oli selvästi korkeampi kuin energiapuukuormilla, vaikkakin ainespuukertymä (21 m³/ha) oli melko pieni leimikossa. Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m ainespuun metsäkuljetuksen tuottavuus oli 14,4 m³/tehotunti.



Kuva 16. Tehotuntituottavuudet energiapuukuormalla I (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta, ainespuupölkkyjä ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja), energiapuukuormalla II (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja) ja ainespuukuormalla. Energiapuukuorman I koko 8,0 m³, energiapuukuorman II koko 7,0 m³ ja ainespuukuorman koko 9,0 m³.

3.2.4 Metsäkuljetuskustannukset

Aikatutkimuksessa mitattu tehoaika muutettiin käyttöajaksi kertoimella 1,327. Pienten ainespuukertymien kuljettaminen oli kallista. Metsäkuljetusmatkan ollessa 250 m ainespuun metsäkuljetuskustannukset olivat 4,9 €/m³ (kuva 17). Vastaavalla metsäkuljetusmatkalla energiapuun kuljetuskustannukset olivat 5,5–5,8 €/m³.



Kuva 17. Metsäkuljetuskustannukset energiapuukuormalla I (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta, ainespuupölkkyjä ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja), energiapuukuormalla II (kuormassa ainespuuksi kelpaamatonta pienpuuta ja ainespuun mitat täyttäneiden puiden latvoja) ja ainespuukuormalla. Energiapuukuorman I koko 8,0 m³, energiapuukuorman II koko 7,0 m³ ja ainespuukuorman koko 9,0 m³.

3.3 Syrjän korjuri

3.3.1 Korjuukustannukset

Syrjän korjurilla korjatun ensiharvennuspuun korjuukustannukset vaihtelivat suuresti riippuen siitä, millä korjurimenetelmällä toimittiin (taulukko 8). Korjuukustannukset olivat pienimmät korjattaessa puuta korjurimenetelmällä 2, jossa korjuri toimi kaksioteharvesterin tavoin (korjurin puomin päässä olevalla kaatolaitteella puut kaadettiin ja tuotiin korjurin rungossa olevalle hakkuulaitteelle, joka karsi ja katkoi rungot kuormatilaan). Yksin puin hakkuussa korjurimenetelmällä 2 korjuukustannukset olivat 9,1 €/m³ ja joukkohakkuussa 7,1 €/m³. Lisäksi verrattiin perustasoa 25 % kalliimman korjurin vaikutuksia korjuukustannuksiin. 25 % kalliimpi korjuri nosti korjuukustannuksia 5–7 % (taulukko 8).

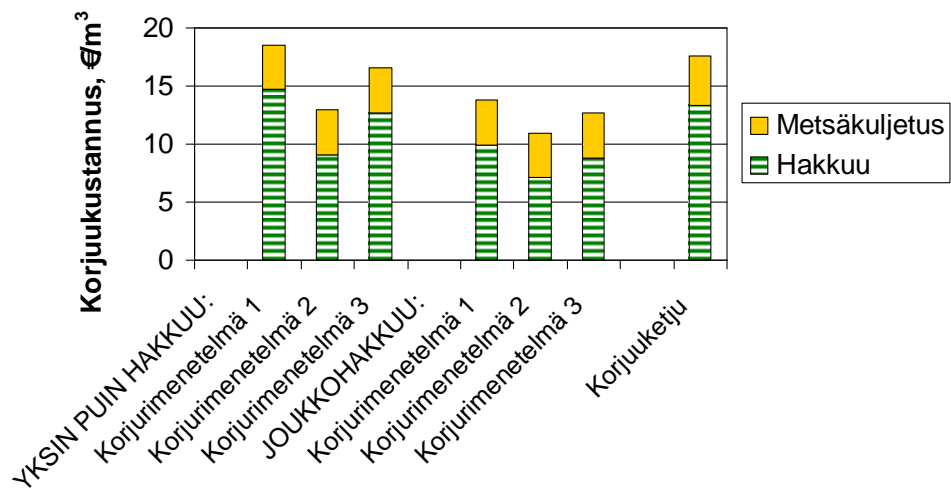
TAULUKKO 8 Korjuukustannukset perustasolla ja tasolla, jolloin korjurin hankintahinta 25 % perustasoa korkeampi (vrt. taulukko 5).

Korjuukustannus, €/m ³	Korjurimenetelmä 1		Korjurimenetelmä 2		Korjurimenetelmä 3	
	Yksin puin hakkuu	Joukkohakkuu	Yksin puin hakkuu	Joukkohakkuu	Yksin puin hakkuu	Joukkohakkuu
- Perustaso	14,7	9,9	9,1	7,1	12,7	8,8
- Korjuri 25 % kalliimpi	15,5	10,4	9,7	7,5	13,4	9,4

3.3.2 Korjurin ja korjuuketjun kustannusvertailu

Korjurin ja tavanomaisen korjuuketjun kustannukset on esitetty kuvassa 18. Korjurimenetelmissä ajouraväli oli 57 m. Kun hakattiin yksin puin, korjurimenetelmä 1, jossa karsinta tehtiin puomin liikkeellä, johti selvästi tavanomaista korjuuketjua suurempiin kustannuksiin. Korjurimenetelmä 2, jossa runkojen karsinta ja katkonta oli automatisoitu, oli selvästi edullisempi kuin korjuuketju. Kun korjuri toimi harvesterin tapaan (korjurimenetelmä 3), korjuukustannukset asettuivat samalle tasolle korjuuketjulla korjuun kanssa. Kun ajouraväliä kasvatettiin 20 m:stä 29 m:iin, metsäkuljetuskustannukset laskivat 4,2 % (0,18 €/m³). Ajouravälin kasvaessa 20 m:stä 57 m:iin kustannukset pienenevät 9,3 % (0,40 €/m³).

Joukkohakkuu oli kaikilla korjurimenetelmillä edullisempi kuin korjuuketjulla yksin puin hakkuuseen perustuva korjuu. Hakkuukoneella joukkohakkuu voi vähentää kustannuksia noin 20 %. Tällöin korjuuketjun kustannukset olisivat yhtä suuret kuin joukkohakkuu korjurimenetelmällä 1.



Kuva 18. Syrjän korjurilla sekä yksin puin hakkuuseen että joukkohakkuuseen perustuvan korjuun ja tavanomaisella korjuuketjulla (yksin puin hakkuu) korjatun ensiharvennuspuiden korjuukustannukset.

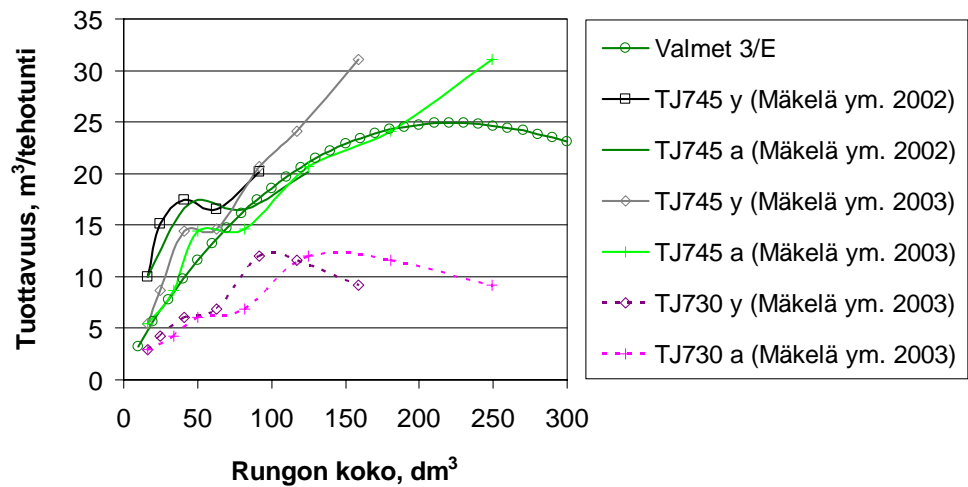
4 TARKASTELU

4.1 Aikatutkimukset

Mäkelä ym. (2003) ovat tutkineet Naarva-Koura 1600-40 ja Timberjack 730 -kaato-kasauslaitteiden ja joukkokäsittävän Timberjack 745 -hakkuulaitteen toimintaa sekä energiapuuhakkuussa että energia- ja ainespuun integroidussa hakkuussa. Vuonna 2002 Mäkelä ym. raportoivat tuloksista energiapuuhakkuussa Timberjack 745 -hakkuulaitteesta joukkokäsittelyvarustuksella. Kuvassa 19 on verrattu tämän tutkimuksen Valmet 945 -saksikouran tuottavuutta Mäkelän ym. (2002, 2003) tutkimustuloksiin hakattaessa energiapuuta ensiharvennusmänniköstä.

Kuvasta 19 havaitaan, että Valmet 945 -saksikouran tuottavuus oli samalla tasolla kuin joukkokäsittävän Timberjack 745 -hakkuulaitteen tuottavuus. Timberjack 730 -kaato-kasauslaitteen tuottavuus jäi sen sijaan selvästi alemmalle tasolle kuin Valmet 945 -saksikouran tuottavuus. Kuvaan ei ole piirretty tuottavuuskäyrää Naarva-Koura 1600-40 -kaato-kasauslaitteesta. Sen tuottavuus oli Mäkelän ym. (2003) tutkimuksessa samalla tasolla Timberjack 730 -kaato-kasauslaitteen kanssa.

Kärhän ym. (2002) tutkimuksessa Naarva-Koura 1600-40 -kaato-kasauslaitteen tuottavuus oli 4,7 m³/tehotunti hakattujen runkojen keskikoon ollessa 32 dm³. Laitila ja Asikainen (2002) ovat mitanneet Timberjack 720 -kaato-kasauslaitteen tehotuntuottavuudeksi 5,9 m³/h poistettavien runkojen keskikoon ollessa 24 dm³. Tällä rungon koolla Valmet 945 -saksikouran tuottavuus oli ensiharvennusmännikössä (Valmet 3/E -leimikko) 6,6 ja ensiharvennusköivikossa (Valmet 4/E -leimikko) 6,7 m³/tehotunti. Tulosten perusteella Valmet 945 -saksikoura oli energiapuuhakkuussa tuottavuudeltaan samalla tasolla joukkokäsittävän Timberjack 745 -hakkuulaitteen kanssa, ja selvästi korkeammalla tasolla kuin markkinoilla olevien joukkokäsittävien kaato-kasauslaitteiden tuottavuus.



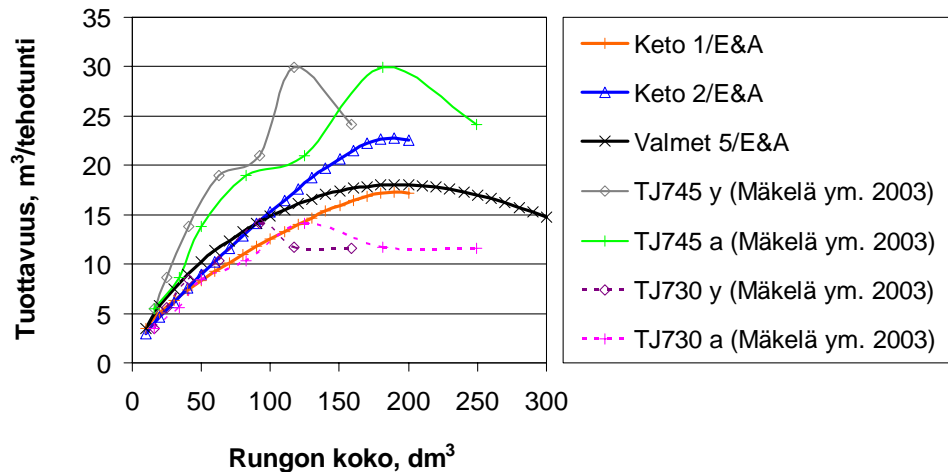
Kuva 19. Tutkittujen hakkuu- ja kaato-kasauslaitteiden tuottavuus ensiharvennusmännikössä energiapuuhakkuussa (kaikki puut hakataan energiapuuksi). Merkintä TJ745 tarkoittaa Timberjack 745 -hakkuulaitetta joukkokäsittelyvarustuksella ja TJ730 Timberjack 730 -kaato-kasauslaitetta. Merkintä y tarkoittaa rungon tilavuutta Mäkelän ym. (2002, 2003) raportoiman rinnankorkeusläpimittaluokan yläpäässä (pitkät puut) ja merkintä a rungon tilavuutta rinnankorkeusläpimittaluokan alapäässä (lyhyet puut).

Tutkimuksessa energia- ja ainespuuta korjattiin integroidusti kahdessa ensiharvennusmännikössä (Keto 1/A&E ja 2/A&E -leimikot) ja yhdessä ensiharvennuskoivikossa (Valmet 5/E&A -leimikko). Kuvassa 20 on tarkasteltu tuottavuutta tutkimuksen leimikoissa ja Mäkelän ym. (2003) tutkimuksessa energia- ja ainespuun integroidussa hakkuussa ensiharvennusmännikössä. Kuva osoittaa, ettei tutkimuksessa ylletty Valmet 945 -saksikouralla eikä Keto Forst Energy -hakkuulaitteella joukkokäsittelyvarustuksen Timberjack 745 -hakkuulaitteen tuottavuuteen. Tuottavuusvertailua tehtäessä on muistettava, että Valmet 945 -saksikouralla hakattiin koivikossa ja muilla laitteilla on työskennelty männikössä.

Verrattaessa tässä tutkimuksessa tutkittujen hakkuulaitteiden tuottavuutta Timberjack 730 -kaato-kasauslaitteen tuottavuuteen havaitaan, että pienellä rungon koolla tämän tutkimuksen hakkuulaitteiden tuottavuus oli samalla tasolla Timberjack 730 -kaato-kasauslaitteen kanssa. Puuston järeytyessä (rungon koko yli 100 dm³) Valmet 945 -saksikouran ja Keto Forst Energy -hakkuulaitteen tuottavuus oli selvästi korkeampi kuin Timberjack 730 -kaato-kasauslaitteen tuottavuus.

Saatujen tulosten vertailua aiemmin tehtyihin tutkimuksiin vaikeuttaa eri tutkimuksissa olleet eri kuljettajat, koska kuljettajalla on ratkaisevan tärkeä vaikutus hakkuun tuottavuuteen (esim. Sirén 1998, Kärhä 2001, Kariniemi 2003). Täten hakkuulaitteiden tuottavuuseroihin oli syynä myös kuljettaja.

Silmävaraisesti arvioituna kumpikin tutkimuksen hakkuukoneenkuljettaja oli hieman keskimääräistä tasoa joutuisampi, vaikka kummallakaan ei ollut useiden vuosien kokemusta ensiharvennustyöstä. Kuljettajan lisäksi hakkuulaitteiden tuottavuuksiin vaikuttavat käytetyt peruskoneet ja korjuuolosuhteet leimikoissa (mm. poistuman koko ja tiheys sekä alikasvoksen määrä). Tutkimuksessa Valmet 945 -saksikouran peruskoneena olleen Valmet 901-4 -hakkuukoneen nosturin hydrauliiikassa oli ilmaa, joka kuljettajan mukaan hidasti jonkin verran nosturin liikkeitä ja häiritsi näin hakkuutyötä.



Kuva 20. Tässä tutkimuksessa tutkittujen hakkuulaitteiden tuottavuus ja Mäkelän ym. (2003) tutkimien hakkuulaitteiden tuottavuus ensiharvennusmännikössä energia- ja ainespuun integroidussa hakkuussa (energia- ja ainespuu hakataan eri kasoihin). Merkintä TJ745 tarkoittaa Timberjack 745 -hakkuulaitetta joukkokäsittelyvarustuksella ja TJ730 Timberjack 730 -kaato-kasauslaitetta. Merkintä y tarkoittaa rungon tilavuutta Mäkelän ym. (2003) raportoiman rinnankorkeusläpimittaluokan yläpäässä ja merkintä a rungon tilavuutta rinnankorkeusläpimittaluokan alapäässä.

Tutkitut hakkuulaitteet osoittautuivat aikatutkimuksissa nuorten metsien kasvatushakkuissa tehokkaiksi ja kilpailukykyisiksi muihin markkinoilla oleviin, joukkokäsittelyviin hakkuulaitteisiin verrattuna. Tutkituilla hakkuulaitteilla voidaan vielä hakata kooltaan 200 dm³:n puita, mutta hakkuutyön tuottavuus alkaa olla heikompi kuin mitä se on pienemmillä puilla. Valmet 945 -saksikoura ei sovellu hakkuulaitteeksi pieniin, tela-alustaisiin hakkuukoneisiin (esim. Farmi Trac 775) ja harvennusharvestereihin (esim. Sampo-Rosenlew 1046X). Näihin pieniin hakkuukoneisiin Keto Forst Energy on tehokas energia- ja ainespuun hakkuulaite. Hakkuukustannuksiltaan Farmi Trac 775 & Keto Forst Energy -koneyksikkö oli hieman kalliimpi kuin Valmet 901-4 & Valmet 945 -saksikoura -koneyksikkö.

Tutkimuksessa ainespuun hakkaaminen omiin kasoihin pienensi hakkuun tuottavuutta. Hakattavan puuston järeytyessä tuottavuusero kasvoi. Mäkelä ym. (2003) ovat saaneet vastakkaisia tuloksia. Heidän mukaansa ainespuun erilleen hakkuu ei laske merkittävästi hakkuun tuottavuutta.

Tutkimuksessa korjuujälkeä ei inventoitu. Silmävaraisen tarkastelun perusteella mihinkään leimikkoon ei syntynyt merkittävästi puustovaurioita. Ajouran leveys leimikoissa oli noin neljä metriä, joten se oli Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ohjeiden mukainen (Niemelä ym. 1997). Ajouraväli oli leimikoittain 13–17 metriä. Ajouraväli olisi voinut olla huomattavasti pidempi (noin 20 m) kuin mitä se oli. Kapea ajouraväli selittyi osin tutkimuksen korjuuolosuhteilla.

Tutkimuksessa keskityttiin lähinnä Keto Forst Energy -hakkuulaitteen ja Valmet 945 -saksikouran tuottavuuden selvittämiseen. Metsäkuljetuksen aikatutkimuksen aineisto oli suppea. Energia- ja ainespuuta kuljetettiin vain kahdesta leimikosta viisi kuormaa, joista vain kaksi kuormaa oli täysisiä. Metsäkuljetusaikatutkimuksen tulokset ovat täten vain suuntaa-antavia. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että ainespuun määrä nostaa energiapuukuorman kokoa noin yhden kuutiometrin (vrt. kuormat 1/e&a ja 3/e).

Sen lisäksi, että ainespuun hakkaaminen erilleen laskee hakkuun tuottavuutta, pienten ainespuukertymien kuljettaminen oli kallista, 5 €/m³ 250 m:n metsäkuljetusmatkalla. Kuljetettaessa pieniä määriä ainespuuta ensiharvennusleimikosta kuormauksen ja kuormausajon ajat ovat suuret. Lisäksi vajaita kuormia tulee useammin, jolloin kuormattuna-ajon ajanmenekki (cmin/m³) kasvaa. Vaikka ainespuuta tutkituilla hakkuulaitteilla pystytäänkin hakkaamaan, pieniä määriä (10–20 m³/ha) ainespuuta ei kannata erotella omiin kasoihin nuorten kasvatusmetsien hakkuissa, vaan kaikki puut on korjuukustannuksien kannalta kannattavampaa hakata samoihin kasoihin energiapuuksi, kuten aikatutkimusleimikoissa 3 ja 4 (Valmet 3/E ja 4/E -leimikot) tehtiin.

Suomessa energiapuun hakkuuta on tutkittu monissa tutkimuksissa esimerkiksi Bioenergian tutkimusohjelmassa ja Puuenergian teknologiaohjelmassa. Tuottavuusfunktioita pienpuustojen korjuuseen ei kuitenkaan ole tehty. Jatkossa tulisikin tehdä tuottavuusfunktiot energiapuun hakkuuseen ja metsäkuljetukseen nuorista kasvatusmetsistä. Kasvavat energiapuun korjuuvoilymit ovat omiaan lisäämään tarvetta tuottavuusmallien työstämiseen.

4.2 Syrjän korjuri

Nykyisellä konstruktiolla ja toimintatavalla Syrjän korjurilla päädyttiin tavanomaista korjuuketjua suurempiin korjuukustannuksiin. Tehtyjen kustannuslaskelmien mukaan Syrjän korjurin kilpailukyky voi perustua joukkokäsittelyyn ja automaattiseen prosessointiin, jolloin karsinnan ja katkonnan aikana voidaan kaataa seuraavia puita. Korjurimenetelmissä varsinainen metsäkuljetus on korjurilla tehdyn esikasauksen ansiosta noin 5–10 % edullisempaa kuin tavanomaisessa korjuussa. Tehdyt laskelmat osoittivat, että Syrjän korjuri on toimiva koneyksikkö, jota kannattaa kehittää edelleen. Syrjän korjurin käyttöalue rajoittuu lähinnä ensiharvennushakkuisiin.

Korjurimenetelmillä voidaan vähentää metsäkuljetuksen ajourien määrää ja siten lisätä puuston käytettävissä olevaa pinta-alaa. Tutkimuksin on osoitettu, että 20 m:n ajouraväli merkitsee ensiharvennusemetsikössä 11 %:n (0,11 ha/1 ha:n leimikko) menetystä puuston kasvualaan (Niemistö 1992). Jos ajouraväli voidaan suurentaa 60 metriin, ajourat sitovat noin 4 % puuston kasvualasta metsikössä. Puuston kasvuala suurenee 0,07 ha/1 ha. Jos puuston kasvatustiheys on 20 m:n ajouravälillä esimerkiksi 1 200 puuta/ha, Syrjän korjurin mahdollistaman harvemman ajouraverkon ansiosta voidaan kasvattaa noin 85 puuta/ha enemmän.

KIRJALLISUUS

- Kansallinen metsäohjelma 2010. 1999.** Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/1999.
- Kariniemi, A. 2003.** Hakkuukoneenkuljettaja tiedonkäsittelijänä. Metsätehon katsaus, julkinen jakelu nro 1.
- Kärhä, K. (toim.). 2001.** Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. HARKO-projektin (1999-2001) loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382.
- Kärhä, K., Jouhiahon, A., Mutikainen, A. & Mattila, S. 2002.** Joukkokäsittelevä Naarva-Koura energiapuun hakkuussa. Työtehoseuran metsätiedote 655.
- Laasasenaho, J. 1982.** Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108.
- Laitila, J. & Asikainen, A. 2002.** Koneellinen energiapuun korjuu harvennusemetsistä. PuuEnergia 3/2002: 8–9.
- Mäkelä, M., Poikela, A. & Liikkanen, R. 2002.** Joukkohakkuu aines- ja energiapuun korjuussa. Metsätehon raportti 137.
- Mäkelä, M., Poikela, A. & Liikkanen, R. 2003.** Energiapuun korjuu harvennusemetsistä. Metsätehon raportti 161.
- Niemelä, H., Ranta, R. & Hartikainen, S. 1997.** Hakkuuiden ja metsänhoitotöiden tarkastaminen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Moniste 26.6.1997.
- Niemistö, P. 1992.** Runkolukuun perustuvat harvennusemallit. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 432.
- Sirén, M. 1998.** Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 633.
- Valkonen, S. 1999.** Ensiharvennus. Julkaisussa: Reunala, A., Halko, L. & Marila, M. (toim.). Kansallinen metsäohjelma 2010. Taustaraportti. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/1999: 78–79.
- Västilä, S. & Herrala-Ylinen, H. 2002.** Metsänhoito- ja perusparannustyöt, vuosi 2001. Metsäntutkimuslaitos, Metsätilastotiedote 646.
- Västilä, S. & Herrala-Ylinen, H. 2003.** Metsänhoito- ja perusparannustyöt, vuosi 2002. Metsäntutkimuslaitos, Metsätilastotiedote 697.