

Joukkokäsittelyhakkuun tuottavuus kaivukonealustaisella hakkuukoneella ja Naarva EF 28 hakkuulaitteella

Juha Laitila ja Kari Väättäinen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute - sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisu toiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111

sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
puh. 029 532 2111

sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Laitila, Juha & Väätäinen, Kari			
Nimeke Joukkokäsittelyhakkuun tuottavuus kaivukonealustaisella hakkuukoneella ja Naarva EF 28 hakkuulaitteella			
Vuosi 2012	Sivumäärä 29	ISBN 978-951-40-2381-1 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Itä-Suomen alueyksikkö / Forestenergy2020 / 3561 Toimitusvarmat ja tehokkaat puubiomassan hankintaketjut metsästä loppukäyttäjälle			
Hyväksynyt Antti Asikainen, professori, 18.9.2012			
Tiivistelmä Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuitupuun ja energiarangan joukkokäsittelyhakkuun tuottavuus sekä hakkuun työvaiheiden ajanmenekit, kun peruskoneena oli tela-alustainen metsävarusteltu kaivukone ja hakkuulaitteena Naarva EF 28. Kerätyn aikatutkimusaineiston perusteella laadittiin runkokohtaiset ajanmenekki- ja tuottavuusmallit karsitun puun joukkokäsittelyhakkuulle. Hakkuun ajanmenekkimallissa tuottavuutta selitettiin puun käyttöosan tilavuudella sekä hakkuupoistuman tiheydellä (poistuma runkoja hehtaarilta). Työn tuottavuus ilmaistiin kiintokuutiometreinä tehotunnissa (m^3/E_0h). Aikatutkimuksissa joukkokäsittelyhakkuun tehontituottavuuden keskiarvo oli $12,8 m^3/E_0h$ ja 233 runkoa/ E_0h . Hakkuun tehontituottavuus (m^3/E_0h) kasvoi puuston järeyden kasvaessa. Aikatutkimuskoealoilta mitattu joukkokäsittelyhakkuun tehontituottavuus oli alimmillaan $8,7 m^3/E_0h$ ja ylimmillään $19,9 m^3/E_0h$. Hakkuukohteen tutkimuskoealoilla rungon tilavuus vaihteli välillä 26–83 dm^3 (keskiarvo 57 dm^3) ja hakkuupoistuman tiheys välillä 538–2558 runkoa hehtaarilta (keskiarvo 1309). Rungon koko vaikutti hakkuulaitteeseen sopivien runkojen kappalemäärään, minkä vuoksi tehotunnissa hakattujen runkojen kappalemäärä laski puuston järeyden kasvaessa. Runkoina mitattu hakkuun tehontituottavuus oli korkeimmillaan 347 runkoa/ E_0h ja alimmillaan 183 runkoa/ E_0h . Hakkuulaitteella käsiteltiin keskimäärin 1,9 runkoa kourasykliä kohden, ja joukkokäsittelymenetelmällä (kourassa vähintään kaksi runkoa) hakattujen kourataakkojen osuus oli koko aineistossa 57 %. Aikatutkimuksissa hakattiin yhteensä 2267 runkoa, josta 71 m^3 oli mäntykuitupuuta ja 53 m^3 polttorankaa. Ajanmenekkimalleilla laskien runkokohtaisen hakkuupoistuman kolminkertaistuminen 800 rungosta 2400 runkoon hehtaarilta nosti joukkokäsittelyhakkuun tehontituottavuutta noin yhdellä kiintokuutiometrillä, kun taas runkokoon kasvu 23 litrasta 89 litraan kaksinkertaisti hakkuun tehontituottavuuden. Tulosten yleistämisessä ja vertailuissa muihin tutkimuksiin tulee ottaa huomioon aineiston koko sekä korjuukohteen ja kuljettajien vaikutukset tulokseen. Tutkimustulosten perusteella kaivukoneharvesterin ja Naarva EF 28 hakkuulaitteen tuottavuus oli erittäin hyvä, sillä se oli samalla tasolla tai jopa parempi, kuin tavanomaisin joukkokäsittelylaittein varustetuilla pyöräalustaisilla hakkuukoneilla. Tutkittu konekonsepti on hyvin varteenotettava vaihtoehto integroitua aines- ja energiapuun hakkuuseen. Aikatutkimuksissa koneyksikkö toimi ongelmitta, eikä konerikosta aiheutuneita keskeytyksiä ollut. Lisäksi hakkuutyön työpäälki oli suositusten mukainen.			
Asiasanat Integroitu puunkorjuu, ranka, kuitupuun, ensiharvennukset, monikäyttöisyys, kaivukone, joukkokäsittely			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp243.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Juha Laitila, Metsätutkimuslaitos, Yliopistokatu 6, 80101 Joensuu. Sähköposti: juha.laitila@metla.fi			
Muita tietoja			

Sisällys

1 Johdanto	5
1.1 Aines- ja energiapuun korjuu ensiharvennuskohteilla	5
1.2 Peruskoneen monikäyttö kausivaihtelun tasaajana	6
1.3 Tutkimuksen tavoitteet	7
2 Aineisto ja menelmät	8
2.1 Naarva EF 28 hakkuulaite ja New Holland Kobelco E 135 B SR LC D kaivukone.....	8
2.2 Hakkuukohde ja hakkuun aikatutkimukset.....	10
2.3 Koealoilta hakatun puutavaran määrän mittaus	13
2.4 Korjuujäljen ja puustotietojen mittaus	15
3 Tulokset	16
3.1 Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit	16
3.2 Joukkokäsittelyhakkuun tuottavuus koealoilla	17
3.3 Joukkokäsittelyhakkuun ajanmenekkimallit	19
3.4 Korjuujälki ja puustomittaukset	23
4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	25
Lähteet	27

1 Johdanto

1.1 Aines- ja energiapuun korjuu ensiharvennuskohteilla

Vuotuinen ensiharvennustarve on Suomessa yli 300 000 hehtaaria (Korhonen ym. 2007). Nykyiset hakkuumäärät ovat kuitenkin huomattavasti pienemmät mitä metsien metsänhoidollinen tarve vaatisi ja 2000-luvulla ensiharvennuksia on tehty vain vajaat 190 000 hehtaaria vuodessa (Juntunen ja Herrala-Ylinen 2010). Pitkällä aikavälillä harvennusten laiminlyönti kostautuu luonnonpoistuman lisääntymisenä sekä puuston järeyskehityksen ja metsänomistajan tulovirran hiipumisena (Hakkila 1995 ym.). Syynä ensiharvennusrästien syntyyn ovat korkeat korjuukustannukset, jotka aiheutuvat harvennettävien puiden pienestä koosta, alhaisesta hehtaarikertymästä sekä huonoista korjuuolosuhteista (Kärhä ym. 2006ab, Oikari ym. 2010, Kärhä ja Keskinen 2011). Myös raaka-aineen arvo voi olla korjuukustannuksiin nähden vähäinen (Sirén ja Tanttu 2001, Jylhä ym. 2010, Jylhä 2011). Kiinnostus ensiharvennusten hyödyntämiseen on kuitenkin lisääntynyt hakkuumahdollisuuksien kasvun, metsähakkeen käytön lisääntymisen sekä aines- ja energiapuun integroidun korjuun myötä. Vuonna 2011 ensiharvennuksien osuus koneellisen hakkuun puumäärästä oli 10,7 %, muiden harvennusten 30,8 % ja uudistushakkuiden 58,5 % (Strandström 2012). Valtaosa (n. 60 %) vuosina 2000–2007 korjatuista ensiharvennusleimikoista oli mäntyvaltaisia (Kärhä ja Keskinen 2011). Sekapuustoisten leimikoiden osuus oli 20 % (Kärhä ja Keskinen 2011).

Aines- ja energiapuun korjuun integroinnilla tarkoitetaan sitä, että aines- ja energiapuun korjuu on hankintaketjun jossakin vaiheessa yhdistetty toisiinsa. Korjuun integroinnilla on tarkoitus päästä pienempiin kokonaishankintakustannuksiin kuin aines- ja energiapuujakeiden erillishankinnassa (Kärhä ym. 2009, Laitila ym. 2010, Jylhä ym. 2010, Jylhä 2011, Kärhä ym. 2011a, Kärhä 2011). Ensiharvennusten integroidussa korjuussa yleisin hakkuutapa on ns. kahden kasan menetelmä, jossa ainespuu hakataan omaan kasaansa ja latvat sekä ainespuuksi kelpaamaton harvennuspuu omaan kasaansa joko karsittuna tai oksineen (Kärhä ym. 2009, Laitila ym. 2010, Kärhä ym. 2011a, Kärhä 2011, Lehtimäki ja Nurmi 2011). Hakkuussa puiden pituuskatkonta tapahtuu joko silmävaraisesti tai mittalaitteen avulla ja hakatut määrät mitataan kuormainvaa’an avulla yleensä metsäkuljetuksen yhteydessä (Lilleberg 2012).

Integroidun puunkorjuun korjuumäärät ovat sidoksissa aines- ja energiapuun kysyntään sekä puuraaka-aineesta maksettavaan hintaan. Kuitupuun katkontapitouksia ja latvaläpimittaan säätelämällä voidaan vaikuttaa aines- ja energiapuun kertymään leimikkotasolla puumarkkinoiden tarpeiden mukaan. Suurentamalla latvaläpimittaa pienennetään ainespuun osuutta, mutta samalla kuitupuun laatu voi nousta (Lilleberg 2012). Integroidussa korjuussa kustannukset ovat korkeammat kuin energiapuun erilliskorjuussa, koska erillään pidettäviä tavaralajeja on yhden sijaan vähintäänkin kaksi. Kun aines- tai energiaa puun kertymä leimikolla jää pieneksi, integroidu korjuu ei ole järkevää, vaan kohteen puusto kannattaa korjata yhtenä tavaralajina (Kärhä 2011, Di Fulvio ym. 2011, Iwarson Wide 2011, Rieppo ym. 2011).

Tehokkaan integroidun korjuun reunaehtona pidetään, että hakkuulaitteessa on sekä joukkokäsittely- että karsintaominaisuus. Pienten energiapuurunkojen joukkokäsittely tehostaa hakkuutyötä ja teollisuuden ainespuun yleiset laatuvaatimukset edellyttävät kuituositteiden karsintaa. Harvennusmetsien monikäyttökourat ovat käyttökelpoisimmillaan puustoltaan vaihtelevilla työmailla, joilla on kuitu- ja energiapuukuvioita sekä näiden yhdistelmiä. Hakkuulaitteen moni-

käyttöisyydellä voidaan lisätä peruskoneen käyttöastetta ja tasata puunkorjuun kausivaihtelua. Rulla- ja telasyöttöisillä hakkuulaitteilla voidaan tehdä sekä karsittua rankaa että korjata puut oksineen kokopuuna. Energiapuun korjuu karsittuna rankana lisää maaperään varisevan biomassan määrää. Integroidun korjuun vahvuutena voidaan pitää myös sitä, että tällä keinolla metsähakkeen raaka-ainepohjaa voidaan laajentaa perinteisille ainespuuharvennuksille ja näin parantaa metsähakkeen saatavuutta.

1.2 Peruskoneen monikäyttö kausivaihtelun tasaajana

Suomessa korjataan puuta vuosittain keskimäärin 1900 hakkuukoneella ja 1970 metsätraktorilla (Metsätalastollinen vuosikirja 2011). Täyskäytössä puunkorjuukalusto on vain runsaat puoli vuotta, syyskuulta maaliskuulle (Metsätalastollinen vuosikirja 2011). Puunhankinnan kausiluonteisuus johtaa metsäkoneiden vajaakäyttöön ja työvoiman lomautuksiin. Seisokit laskevat metsäkoneiden käyttöasteita ja nakertavat koneyrittämisen kannattavuutta (Kärhä ja Peltola 2004). Kone- ja kuljetuskaluston monikäyttöisyys on yksi keino ympärivuotiseen työllistymiseen sekä ammattitaitoisen työvoiman saatavuuden ja pysyvyyden varmistamiseksi.

Energiapuunkorjuu on eräs merkittävimmistä keinoista tasata kausivaihtelua ja etsiä metsäkoneille sopivia lisätöitä puunkorjuun sesonkiaikojen ulkopuolella ilman merkittäviä muutostöitä tai lisälaitteinvestointeja (Kärhä ja Peltola 2004). Toinen keino tasata korjuun kausivaihtelua on hyödyntää maanrakennuksessa, metsänparannuksessa tai turvetuotannossa sesonkiluonteisesti käytettäviä työkoneita hakkukoneen alustakoneina syys- ja talvikauden hakkuissa ja samalla vähentää perinteisten hakkuukoneiden määrää. Suurina sarjoina valmistettävien työkoneiden ja traktoreiden etu on niiden metsäkoneita edullisempi hankintahinta sekä se, että puunkorjuun sesonkiaikojen ulkopuolella metsävarustus voidaan riisua ja käyttää peruskonetta sille suunnitelluissa perinteisissä töissä. Metsävarusteltu uusi kaivukone tai traktori voi olla myös varteenotettava vaihtoehto käytettynä ostettavalle hakkuukoneelle. Lisälaitteinvestointi ja sillä suoritettu konetyö parantaa peruskoneiden käyttöastetta ja alentaa peruskoneeseen sitoutuneen pääoman määrää käyttötuntia kohden. Yrittäjän on kuitenkin aina muistettava, että paljonko ja millä hinnalla työtä pitäisi tehdä, jotta peruskoneen lisälaitteinvestointi kannattaa ja siihen sijoitetulle pääomalle saadaan riittävä tuotto (Jaakkola 2011).

Kaivukoneiden käyttö hakkuutöissä on suhteellisen vähäistä Suomessa, kun taas Pohjois- ja Etelä-Amerikassa, Uudessa Seelannissa, Isossa-Britanniassa ja Irlannissa, niiden käyttö on varsin yleistä (Väättäinen ym. 2004). Kaivukonekauppiaiden ja hakkuulaitevalmistajien listaamien kaivukoneharvesteritoimitusten perusteella hakkuutöissä on Suomessa nykyisin noin 60–70 tela-alustaista kaivukonetta (Kärhä ja Palander 2012). Kaivukoneharvestereiden käytön kannattavuudesta on saatu pääosin positiivisia tuloksia, jotka puoltaisivat niiden laajempaa käyttöä hakkuilla myös Suomessa (Niemi ym. 2002, Wang ja Haarla 2002, Väättäinen ym. 2004). Kaivukoneharvestereiden käyttötunti- ja hakkukustannusten on osoitettu olevan kilpailukykyisiä pyöräharvesteriin verrattuna, vaikka tuottavuus on ollut hieman alempi kuin varsinaisilla hakkukoneilla (Niemi ym. 2002, Wang ja Haarla 2002, Väättäinen ym. 2004).

Metsätehon ja Joensuun/Itä-Suomen yliopiston tekemissä tutkimuksissa (Bergroth ym. 2006, Bergroth ym. 2007, Palander ym. 2012, Kärhä ja Palander 2012) selvitettiin syitä kaivukoneharvestereiden vähäiseen käyttöön hakkuutyössä Suomessa. Tärkeimmäksi syyksi kaivukoneiden nykyiseen hyödyntämistasoon hakkuilla haastatellut nimesivät kaivukoneiden huonon maastoliikkuvuuden. Erityisen huonoksi se arvioitiin kivikoissa ja rinteillä. Sen sijaan turve-

mailla ja muiden tasaisten maiden harvennushakkuilla kaivukoneiden maastoliikkuvuuden arvioitiin olevan huipputasoa. Toiseksi suurimmaksi syyksi kaivukoneharvestereiden suhteellisen vähäiseen käyttöön hakkuilla nousi perinteisen pyöräharvesterin parempi soveltuvuus hakkuutyöhön. Myös kaivukoneharvestereiden ergonomian sanottiin olevan heikompi kuin perinteisten hakkuukoneiden. Muita merkittäviä syitä olivat metsänomistajien ja puunhankintaorganisaatioiden negatiivinen suhtautuminen kaivukoneharvestereihin, pohjoismainen perinne käyttää pyöräharvestereita, kaivukoneharvestereiden alhaisempi tuottavuus, kaivukoneharvesterimallien puute sekä hakkuuvarustuksen kallis hankintahinta.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuitupuun ja energiarangan joukkokäsittelyhakuun tuottavuus ja hakkuun työvaiheiden ajanmenekit, kun peruskoneena oli tela-alustainen metsävarusteltu kaivukone. Tutkittu hakkuulaite oli Naarva EF 28. Kerätyn aikatutkimusaineiston turvin laadittiin runkokohtaiset ajanmenekki- ja tuottavuusmallit karsitun puun joukkokäsittelyhakuulle. Hakkuun ajanmenekkimallissa tuottavuutta selitettiin puun käyttöosan tilavuudella sekä hakkuupoistuman tiheydellä (poistuma runkoja hehtaarilta). Työn tuottavuus ilmaistiin kiintokuutiometreinä tehotunnissa (m^3/E_0h). Lisäksi saatuja tuloksia verrattiin aiempiin tutkimustuloksiin aines- ja energiapuun hakkuusta joukkokäsittely- ja yksinpuinmenetelmällä.

Joukkokäsittelyhakuun työtekniikkaa tallennettiin koneeseen asennetulla videokameralla aikatutkimuksien yhteydessä. Kerätyn videomateriaalin avulla selvitetään tarkemmin korjuuteknikaaltaan toisistaan poikkeavien työsykliä vaikutusta tuottavuuteen sekä työpisteen tehokkaita toteutustapoja ja työtekniikoita aines- ja energiapuun integroidussa korjuussa. Työtekniikan videoanalysoinnin tulokset julkaistaan myöhemmin ilmestyvässä erillisessä tutkimusraportissa.

2 Aineisto ja menelmät

2.1 Naarva EF 28 hakkuulaite ja New Holland Kobelco E 135 B SR LC D kaivukone

Naarva EF 28 on rullasyöttöinen, joukkokäsittelyominaisuudella ja giljotiinikatkaisulla varustettu hakkuulaite, joka on suunniteltu aines- ja energiapuun hakkuuseen nuorista metsistä. Kouran korkeus on kaatoasennossa 116 cm (Kuva 1) ja kouran avauma on 83 cm. Kouraa avattaessa syöttörullat menevät piiloon (Kuva 2). Koura painaa 700 kg ja suurin katkaisuläpimitta on 28 senttimetriä. Giljotiinin katkaisuvoima on 240 kN ja rullien syöttönopeus on 4 m/s. Puut voidaan karsia ja katkoa nipuissa. Peruskoneelta vaadittava hydraulipaine ja öljynvirtaus ovat 240 bar ja 170 l/min. Kourassa on puiden kappalelaskuri ja syöttörullien kautta toimiva pituuden mittaus mutta ei kuutioivaa mittalaitetta. Naarva EF 28 hakkuulaitteeseen saa lisävarusteena kantokäsittelylaitteen maannousemasiemen ja tyvitervastaudin torjuntaan.

Kaivukoneharvesterin alustakone oli lyhytperäinen New Holland Kobelco E 135 B SR LC D kaivukone vuosimallia 2011 ja se oli varustettu Kesla Xtender 15H jatkopuomilla (Kuva 3 ja 4). Jatkopuomilla varustettuna hakkuukoneen ulottuvuus oli 9,6 m. Kaivukoneessa oli myös puskulevy maansiirtotöitä varten (Kuva 4). Peruskoneen työpaino oli 16 600 kg ja nelisylinterisen Mitsubishi DO4 FR moottorin teho oli 74 kW/99 hv. Kaivukoneen leveys 700 mm teloilla oli 2490 mm ja maavara oli 445 mm. Kantokäsittelynesteen säiliö oli sijoitettu ohjaamon päälle (Kuva 3). Naarva EF 28 hakkuulaitteessa puut katkaistaan giljotiiniterällä, minkä vuoksi koneen ohjaamoon ei tarvitse jälkiasentaa ketjuluodilta suojaavia turvalaseja.



Kuva 1. Naarva EF 28 hakkuulaite sivustapäin kuvattuna. Kuva Metla/Juha Laitila.



Kuva 2. Naarva EF 28 hakkuulaite edestäpäin kuvattuna. Kuva Metla/Juha Laitila.



Kuva 3. New Holland Kobelco E 135 B SR kaivukoneharvesteri ja Naarva EF 28 hakkulaite.
Kuva Metla/Kari Väätäinen.



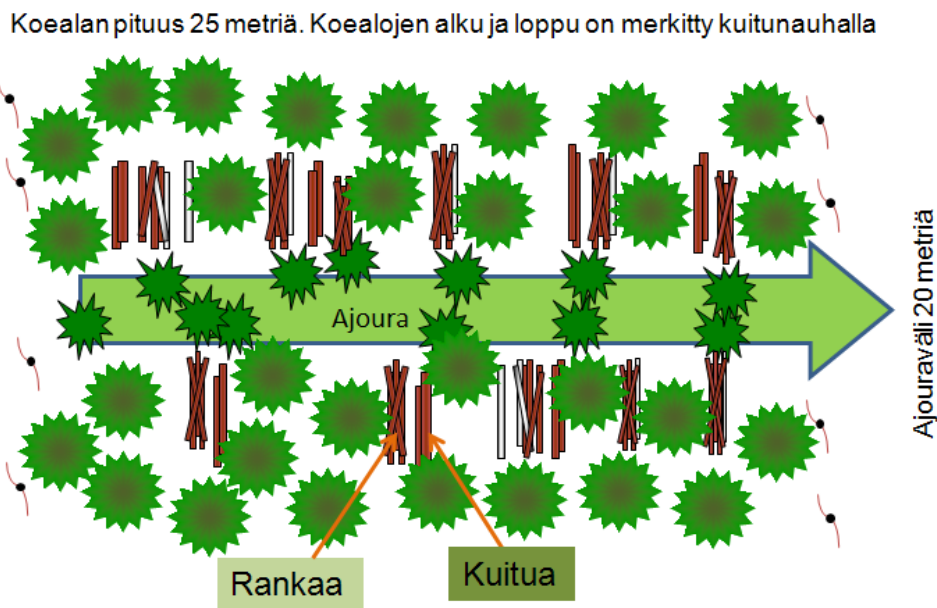
Kuva 4. Kaivukoneharvesteri odottamassa lavettikuljetusta. Hakkulaite on sidottu kuljetusta varten Kesla Xtender 15H jatkoapuomiin. Kuva Metla/Juha Laitila.



Kuva 5. Kaivukoneharvesteri hakkuukoealalla Kuva Metla/Kari Väätäinen.

2.2 Hakkuukohte ja hakkuun aikatutkimukset

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Outokummun Metalli Oy:n, Metsänkorjuu Pulkkinen Oy:n ja UPM Metsän kanssa 11–14.6.2012 Punkaharjulla Etelä-Savossa. Hakkuukokeet tehtiin 11–12.6. ja hakatun puutavaran metsäkuljetus hakkuukoeloilta sekä siihen yhdistetty kuormainvaakamittaus suoritettiin 13–14.6.2012. Koetyömaa sijaitsi UPM:n mailla. Koealojen hakkuusta ja puutavaran metsäkuljetuksesta vastasi Metsänkorjuu Pulkkinen Oy. Hakkuukoetyömaa oli harvennuksen tarpeessa oleva ennakkoraivattu mäntyvaltainen ensiharvennusmetsä (Kuva 5). Maaperä hakkuukoeloilta oli kantava ja maasto oli helppokulkuista. Harvennus toteutettiin Tapion harvennusohjeiden mukaan. Koetyömaalle perustettiin 37 suorakaiteen muotoista hakkuukoelaa (Kuva 6), joiden pituus oli 25 metriä ja leveys 20 metriä (=oletettu koneen työskentelyleveys). Suorakaiteen muotoiset hakkuukoelat merkittiin maastoon merkkimaalin ja kuitunauhalla avulla niin, että perustetuista koealoista ei aiheutunut pysyviä jälkiä tai vaurioita maastoon tai puustoon. Koealojen sijoittelun tavoitteena oli, että puiden runkotilavuus ja hakkuupoistuman tiheys vaihtelevat koealojen välillä (Taulukko 1).



Kuva 6. Periaatekuva hakkuukoelasta.

Taulukko 1. Hakkuukoealojen puustotiedot.

Koeala	Lähtöpuusto, kpl/ha	Poistuma, kpl/ha	Poistuman keskitilavuus, dm ³	Jäävän puuston keskiläpimitta, mm	Jäävän puuston keskipituus, m
1	2557	1362	68,4	152	11,7
2	2421	1088	71,3	130	11,1
3	2343	1382	52,9	130	10,6
4	2544	1104	58,6	142	11,1
5	2277	1223	74,9	147	11,0
6	2787	1361	60,4	141	11,3
7	2230	936	56,4	115	9,9
8	2414	1096	67,2	125	11,4
9	2631	1382	60,6	131	10,4
10	2396	1250	59,8	126	11,0
11	2271	1203	62,7	150	11,4
12	2502	1261	74,1	150	11,8
13	2992	1356	57,0	99	10,0
14	3417	1595	53,1	123	10,4
15	4707	2354	30,7	106	9,6
16	4184	2558	31,0	153	10,3
17	3266	1673	45,8	122	10,6
18	2429	1131	67,1	166	12,0
19	2310	1115	66,2	115	10,6
20	2155	1231	61,9	128	10,9
21	2285	1229	67,8	140	11,3
22	3903	1712	42,1	169	12,2
23	1848	863	83,0	150	12,6
24	3416	1360	64,3	175	12,9
25	2859	1285	60,6	142	11,9
26	1917	865	58,0	145	11,4
27	2079	979	56,4	142	12,2
28	2333	1217	54,4	173	12,3
29	3416	1992	26,3	131	9,6
30	3616	1503	28,7	122	9,4
31	2392	538	29,6	102	9,4
32	2602	1375	43,5	128	10,3
33	2217	1109	45,4	167	11,6
34	2304	1091	73,2	139	11,2
35	2734	1470	47,0	145	11,4
36	2605	1290	63,9	122	10,9
37	2076	885	79,0	131	10,9

Hakkuutapana oli aines- ja energiapuun integroitu korjuu joukkokäsittelymenetelmällä tai yksinpuin hakkuuna. Rinnankorkeudelta 10–15 senttimetrinen, kuitupuun laadun täyttävien puiden tyviosasta tehtiin yksi ja rinnankorkeudeltaan yli 15 senttimetrinen puiden tyviosasta kaksi 5-metristä kuitupuupölkkyä minimilatvaläpimitan ollessa 6 senttimetriä (Kuva 7). Kuljettaja arvioi rinnankorkeusläpimitat silmävaraisesti. Puiden latvaosat sekä rinnankorkeusläpimitaltaan



Kuva 7. Hakkuukoealoilta korjattua mäntykuitupuuta sekä energiarankaa.
Kuva Metla/Juha Laitila.

alle 10 senttimetriset rungot tehtiin energiapuuksi omaan kasaan karsien latvaläpimitan ollessa 3–6 senttimetriä. Nippukarsinnassa karsinta tehtiin karsimaterät hieman avattuina, minkä vuoksi energiaosittien karsinta jäi vajaaksi ja korjatun puutavaran joukossa oli jonkin verran oksantynkiä (Kuva 7). Edellä kuvattu hakkuutapa oli puiden kasauksen ja katkonnan osalta sama, kuin TTS:n tekemässä tutkimuksessa Naarva EF 28-hakkuulaitteesta (Rieppo ja Mutikainen 2011) sekä Metlan tekemässä tutkimuksessa Nisula 400C hakkuulaitteesta ja metsävarustellusta Valtra T171 turvetuotantotraktorista (Laitila ja Väättäinen 2012).

Aikatutkimusaineisto kerättiin jatkuvaan kelloaikatutkimukseen ja havainnointiin perustuvalla menetelmällä, missä työvaiheet kirjataan niiden vaihtumisajankohdan mukaan (Nuutinen ym. 2008). Työvaiheiden ajanmenekit tallennettiin Rufco 901-maastotietokoneella sekunnin kymmenesosan tarkkuudella. Aikatutkimuksissa maastotyöntekijä oli hakkuukoneen takana riittävän turvaetäisyyden päässä niin, ettei hänestä aiheutunut haittaa hakkuutyön suorittamiselle. Maastotyöntekijällä oli hakkuutyömaalla vaadittavat turvavarusteet, eli oranssi huomioliivi sekä kuulosuojaimin varustettu turvakypärä.

Aikatutkimuksissa hakkuukoneiden työskentelyaika jaettiin seuraaviin hakkuukonetutkimuksissa yleisesti käytettyihin työvaiheisiin:

- Työpistesiiro
- Hakkuulaitteen vienti puun tyvelle (kourasyklin ensimmäinen puu)
- Keräilykaato / kaato yksinpuin ("kaatosahaus", runkojen keruu kouraan & kaato)
- Puunipun/puun tuonti prosessointipaikalle
- Prosessointi (karsinta ja katkonta)
- Pölkkyjen kasaus ja järjestely
- Peruuttaminen
- Raivaus
- Ajouran havutus yms. järjestelyt
- Häiriöt ja keskeytykset

Hakkuukokeeseen osallistuneella kuljettajalla oli 20 vuoden työkokemus hakkuutyöstä erityyppisillä hakkuukoneilla ja 1–2 kuukauden työkokemus metsävarustellun kaivukoneharvesterin käytöstä. Kuljettaja oli erittäin taitava ja tutkimuskoneen ja hakkuulaitteen käyttöön riittävästi harjaantunut. Hakkuukokeet tehtiin päivänvalon aikaan kello 7:00 ja 19:00 välillä.

2.3 Koealoilta hakatun puutavaran määrän mittaus

Joukkokäsittelyhakkuun aikatutkimuskoealoilta hakatun puutavaran määrän mittaus perustui kuormainvaakamittaukseen. Hakattu puutavara punnittiin kalibroidulla kuormainvaakalla metsäkuljetuksen yhteydessä kaksivaiheisesti. Ensimmäisen kerran puut punnittiin palstalla koealoittain (= kuormauksen kourataakkojen massojen yhteissumma per koeala) (Kuva 9). Koealat oli merkitty siten, että koealojen rajat havaittiin vaivattomasti metsäkuljetuksen yhteydessä (värimerkinnät kourakasoihin koealan rajoille ja koealojen numerointi) (Kuva 8). Toisen kerran koealan/koealojen puut punnittiin tienvarsivarastolla kuorman purkamisen yhteydessä (Kuva 10).

Mittaustulosten laskennassa purkamisen aikaisen punnituksen kuormakohtainen kokonaismassa jaettiin kunkin kuorman kuormaustaakkojen punnitusten kokonaismassalla ja em. osamäärä oli korjauskerroin, jolla tarkennettiin kuormausvaiheessa saatuja aikatutkimuskoealakohtaisia punnitustuloksia. Metsäkuljetus tehtiin John Deere 1110E kuormatraktorilla (Kuva 9 ja 10), jossa oli Tamtron TBL-10 kuormainvaaka. Kuormain oli mallia CF 510. Metsäkuljetus tehtiin välittömästi hakkuukokeen päätyttyä. Metsäkuljetuksen yhteydessä mitatut tuoremassat muunnettiin kiintokuutiometreiksi Metsäntutkimuslaitoksen julkaisemilla tuoretiheysluvuilla (Lindblad ym. 2010, MMM:n asetus 2010). Mäntykuitupuulla muuntokerroin oli 861 kg/m^3 ja rangalla 930 kg/m^3 . Hakkuupoistuma aikatutkimuksissa oli yhteensä 2267 runkoa, josta 71 m^3 oli kuitupuuta ja 53 m^3 polttorankaa.



Kuva 8. Hakkuukoealan nro 5 etureuna aikatutkimustyömaalla. Kuva Metla/Juha Laitila.



Kuva 9. Mäntykuitupuun kuormainvaakamittauksen ensimmäinen vaihe palstalla kuormauksen yhteydessä. Kuva Metla/Juha Laitila.



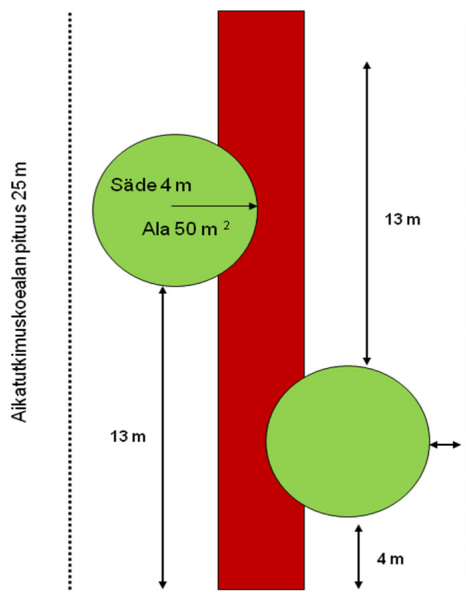
Kuva 10. Mäntykuitupuun kuormainvaakamittauksen toinen vaihe tienvarsivarastolla purkamisen yhteydessä (Juha Laitila/Metla).

Tienvarsivarastolla kuormista otettiin kuorman purkamisen yhteydessä näytteitä puuaineen kosteuden määrittystä varten. Noin 1 cm paksuisia puunäytekiekkoja otettiin joka kuormasta ja niitä sahattiin moottorisahalla rungon eri osista eri korkeuksilta (tyvi-, väli- ja latvapölkky). Kiekkojen sahaus jälkeen puunäytteet pakattiin välittömästi kaksinkertaisiin ilmatiiviisiin pakastepusseihin, jotka käärittiin jätesäkkiin ja asetettiin lopuksi pahvilaatikkoon odottamaan jatkokuljetusta laboratorioon. Näytopusseihin merkittiin näyteenoton päivämäärä, kelloaika sekä puunäytteen puutavaralaji (kuitupuuh/ranka). Puunäytteitä otettiin yhteensä 12 kappaletta ja näytteiden tuoreudessa oli 13,9 kg ja kuivamassa oli 5,4 kg. Laboratoriossa puun kosteus määritettiin CEN/TS 14774-2 –standardin mukaan. Puunäytteiden kosteus vaihteli välillä 58–64 % ja keskiarvo oli 61 %.

2.4 Korjuujäljen ja puustotietojen mittaus

Puustotiedot inventoitiin hakkuun jälkeen koaloittain ja niiltä mitattiin kasvatuskelpoisten puiden lukumäärä hehtaarilla (kpl/ha), keskiläpimitta 1,3 m korkeudelta (mm), valtapituus (m) sekä puuston pohjapinta-ala (m^2/ha). Kasvatuskelpoiseksi puuksi luettiin kasvatettavaan jaksoon kuuluva elävä puu, jonka läpimitta oli vähintään 70 mm (Korjuujälki harvennushakkuussa... 2003). Mittaus suoritettiin ympyräkoaloilta, joiden säde oli 3,99 m (50 m^2). Puustokoealoja sijoitettiin systemaattisesti kaksi jokaiselle hakkuukoealalle, yksi ajouran kummallekin puolelle (Kuva 11). Lähtöpuuston tiheys saatiin laskettua lisäämällä jäävän puuston runkolukuun hakkuukoealalta hakattujen runkojen kappalemäärä. Hakkuupoistuman määrä ja rungon keskitilavuus määritettiin kuormainvaakamittauksen avulla. Hakkuukoealoilla rungon tilavuus oli välillä $26\text{--}83 \text{ dm}^3$ (keskiarvo 57 dm^3) ja hakkuupoistuman tiheys oli $538\text{--}2558$ runkoa hehtaarilta (keskiarvo 1309) (Taulukko 1).

Puustotietojen lisäksi hakkuutyömaalta mitattiin ajourien leveys ja ajouraväli. Mittaukset tehtiin 40 metrin välein hakkuukoealoilta. Ajouran leveydellä (cm) tarkoitetaan ajouraa reunustavien lähimpien puiden kylkien kohtisuoraa etäisyyttä uran keskelle ja ajouravälillä (m) kahden rinnakkaisen ajouran keskilinjojen välistä kohtisuoraa etäisyyttä toisistaan (Korjuujälki harvennushakkuussa... 2003). Ajouraleveys mitattiin 10 metrin jaksolta määrittämällä uran oikealta ja vasemmalta puolelta lähimmän puun etäisyys ajouran keskilinjaan ja summaamalla nämä kaksi etäisyyttä yhteen (Björheden ja Fröding 1985). Uraleveys mitattiin aina, kun runkoluku oli yli 600 runkoa/ha (Korjuujälki harvennushakkuussa... 2003). Raiteen syvyyttä ei tässä tutkimuksessa mitattu, koska se ei ollut mielekäästä maaston hyvän kantavuuden vuoksi. Em. mittausten lisäksi hakkuukoealoilta mitattiin hakkuussa toteutuneet todelliset koalojen pituudet ja pintaalat koalojen rajamerkitöjen (Kuva 8) perusteella. Jälkimittausten mukaan koalojen keskipituus oli 25,5 metriä.

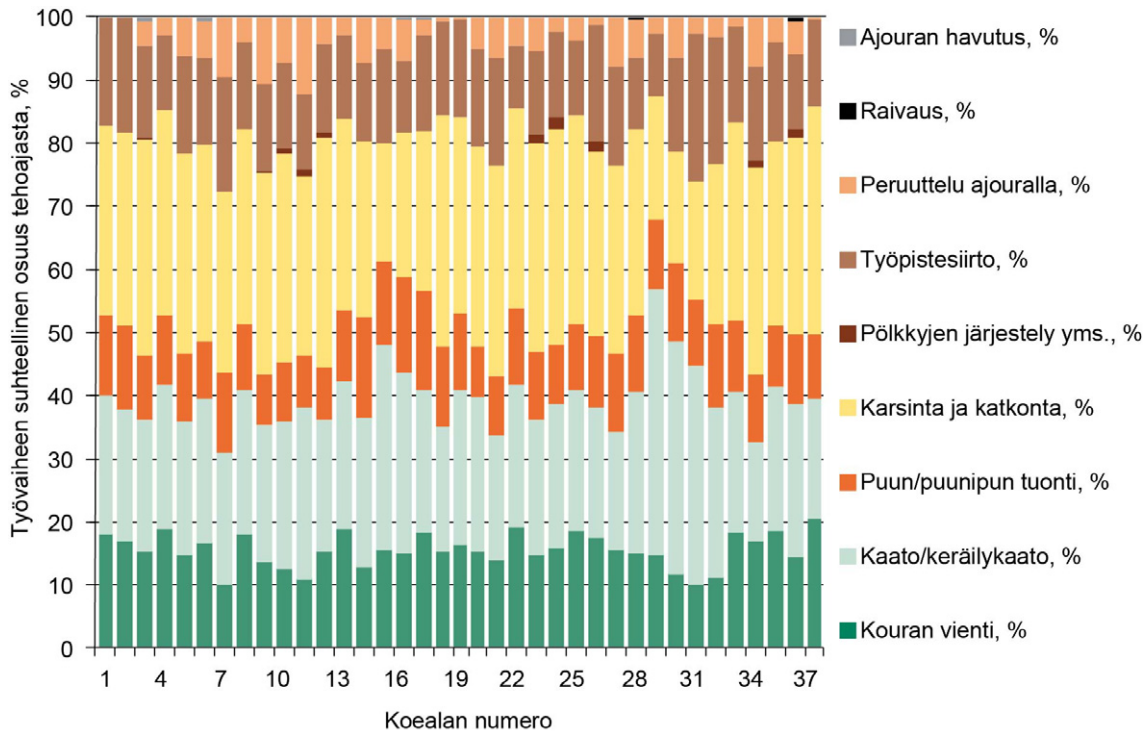


Kuva 11. Puustokoealojen sijoittuminen 20 m x 25 m hakkuukoealalle.

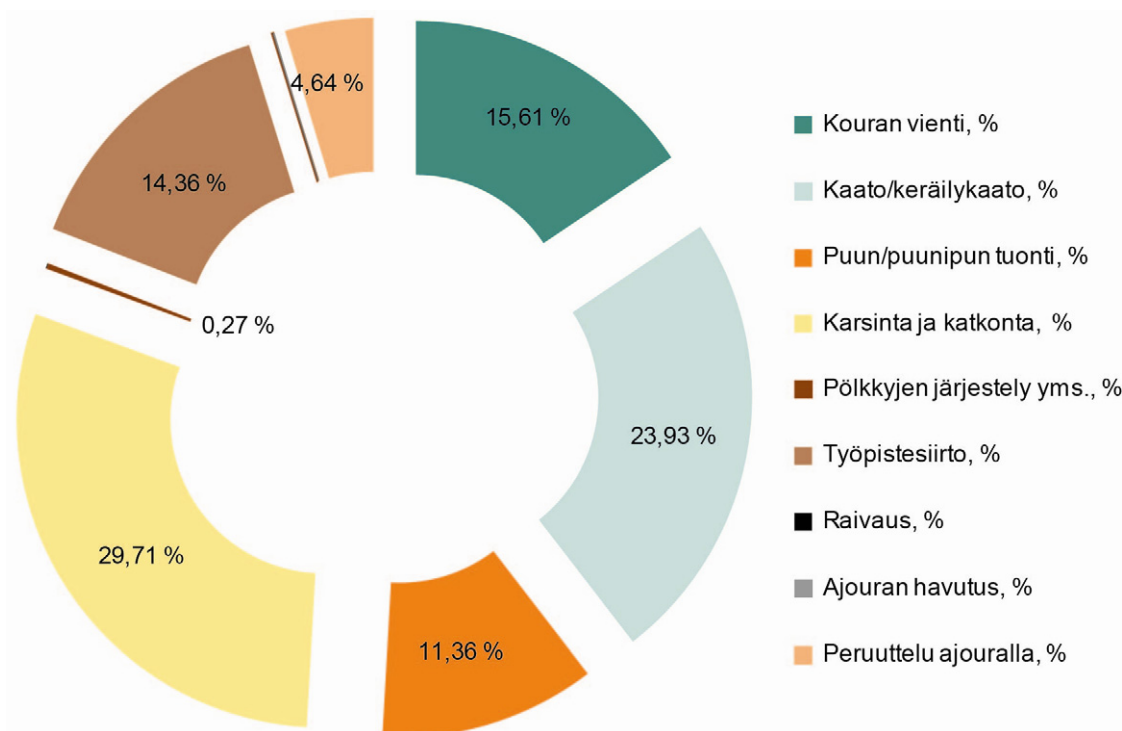
3 Tulokset

3.1 Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit

Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit vaihtelivat hakkuukoaloittain (Kuva 12). Koko aineiston perusteella vajaa kolmannes tehotyöajasta kului puiden karsintaan ja katkontaan, ja noin neljännos puiden keräilykaatoon (Kuva 13). Kouran vientiin ensimmäisen kaadettavan puun tyvelle kului 16 % tehotyöajasta ja työpistesiiirtoon 14 %. Kaadetun puun tai puunipun tuontiin karsinta- ja katkontapaikalle kului 11 % tehotyöajasta ja koneen peruutteluun työpisteellä käytettiin 5 % tehotyöajasta. Koneen peruuttelulla ajouralla nopeutettiin puunipun tuontia ajouran varteen karsintaa ja katkontaa varten. Huolellisesti ennakkoraivatulla työmaalla ei ollut tarvetta hakkuulaitteella tehtävälle erilliselle raivaukselle. Pölkkyjen järjestelyyn tai ajouran havuttamiseen käytettiin 0,3 % tai 0,1 % tehotyöajasta (Kuva 13).



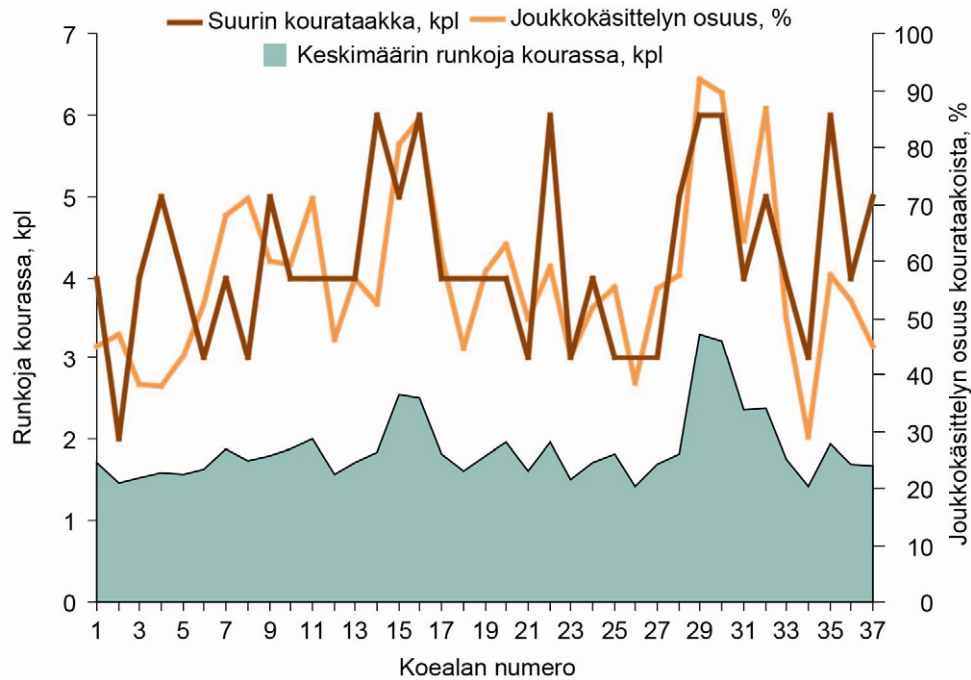
Kuva 12. Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit tehotyöajasta koealoittain.



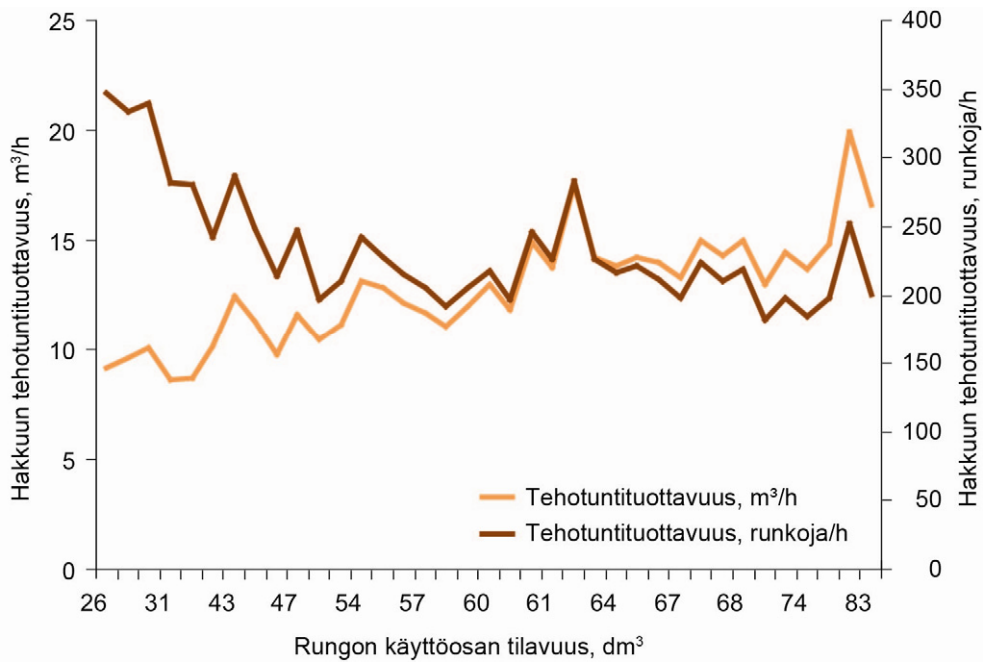
Kuva 13. Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit koko aineiston perusteella.

3.2 Joukkokäsittelyhakkuun tuottavuus koealoilla

Hakkuulaitteessa oli aikatutkimusaineiston perusteella keskimäärin 1,9 runkoa per kourasykli ja joukkokäsittelymenetelmällä (kourassa vähintään kaksi runkoa) hakattujen kourataakkojen osuus oli aineistossa 57 %. Rungon keskikoon kasvu laski runkojen määrää kourataakassa ja vastaavasti poistuman keskitilavuuden pieneneminen nosti sitä. Koealakohtaisesti tarkasteltuna alimmillaan taakkakoko oli keskimäärin 1,4 runkoa/taakka ja korkeimmillaan 3,3 runkoa/taakka (Kuva 14). Suurin havaittu kourataakka oli 6 runkoa hakkuusykliä (Kuva 14). Joukkokäsittelymenetelmällä hakattujen kourataakkojen osuus kourasykliä kokonaismäärästä oli hakkuukoaloilla ylimmillään 92% ja alimmillaan 29% (Kuva 14). Joukkokäsittelyhakkuun tehotuntituottavuuden keskiarvo oli 12,8 m³/E₀h ja 233 runkoa/E₀h. Hakkuun tehotuntituottavuus (m³/E₀h) kasvoi puuston järeyden kasvaessa (Kuva 15). Aikatutkimuskoealoilta mitattu joukkokäsittelyhakkuun tehotuntituottavuus oli alimmillaan 8,7 m³/E₀h ja ylimmillään 19,9 m³/E₀h. Rungon koko vaikutti hakkuulaitteeseen sopivien runkojen kappalemäärään, minkä vuoksi tehotunnissa hakattujen runkojen kappalemäärä luonnollisesti laski puuston järeyden kasvaessa (Kuva 15). Runkoina mitattu hakkuun tehotuntituottavuus oli korkeimmillaan 347 runkoa/E₀h ja alimmillaan se oli 183 runkoa/E₀h.



Kuva 14. Runkojen keskimääräiset kappalemäärät kourassa, suurin kourataakka sekä joukkokäsittelynä hakattujen kourataakkojen suhteellinen osuus kaikista kourataakoista koealoittain.



Kuva 15. Koealakohtainen hakkuutyön tehotuntuottavuus kiintokuutiometreinä ja hakattuina runkoina rungon käyttöosan tilavuuden mukaan.

3.3 Joukkokäsittelyhakuun ajanmenekkimallit

Joukkokäsittelyhakuun ajanmenekin mallinnuksessa työvaiheet koottiin kolmeksi päätyövaiheeksi, jotka olivat: työpistesiiirtyminen (Kuva 16), hakkuulaitteen vienti, keräilykaato & tuonti (Kuva 17 ja 18) sekä prosessointi (Kuva 19).

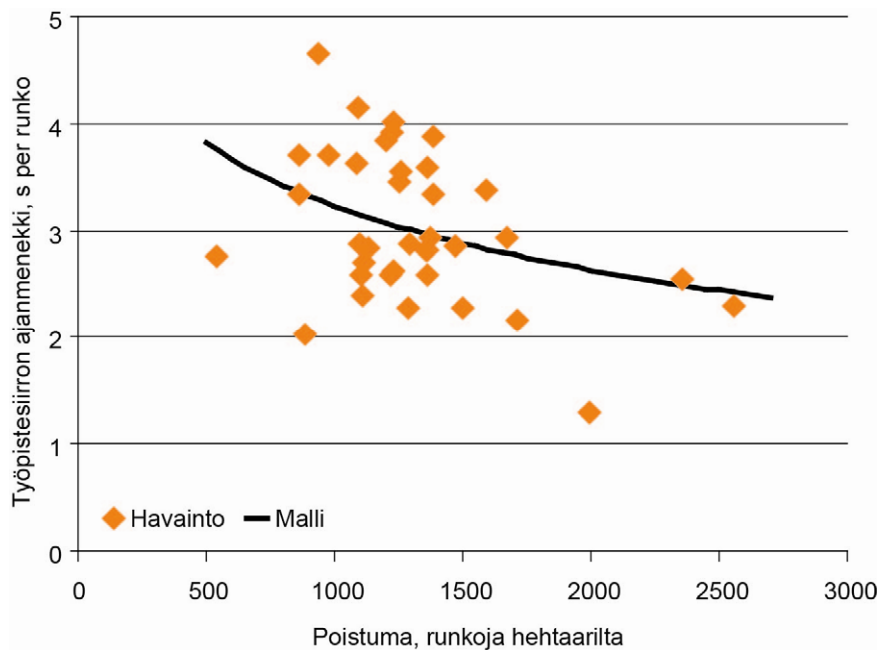
Hakkuutyön mallinnuksessa työpistesiiirtymisen ($T_{\text{Työpistesiiirto}}$) ajanmenekkiä selitettiin hakkuupoistuman tiheydellä (Kuva 16). Poistuman tiheyden kasvaessa runkokohtainen työpistesiiirtymisen ajanmenekki pieneni, kun samasta työpisteestä voitiin käsitellä useampia runkoja. Mallinnuksessa ajanmenekkiin laskettiin mukaan työpistesiiirtoon sekä peruutteluun ajouralla kulunut aika. Työpistesiiirtymisen ajanmenekkimalli oli muotoa:

$$T_{\text{Työpistesiiirto}} = 9,163 - 0,859 \ln(x_1)$$

$T_{\text{Työpistesiiirto}}$ = runkokohtainen työpistesiiirron ajanmenekki, s

x_1 = hakkuupoistuman tiheys, runkoja hehtaarilta

$$r^2 = 0,120$$



Kuva 16. Hakkuupoistuman tiheyden vaikutus työpistesiiirtymisen tehoajanmenekkiin, sekuntia per runko.

Hakkuulaitteen vienti puulle, puiden keruu hakkuulaitteeseen sekä puunipun tuonti prosessointipaikalle mallinnettiin yhtenä työvaiheena ja sen ajanmenekki laskettiin runkokohtaisesti. Hakkuulaitteessa olevien runkojen kappalemäärä per kourasykli ($N_{\text{Runkoja kourassa}}$) laskettiin rungon keskitilavuuden mukaan (Kuva 17). Hakkuulaitteen viennin, keräilykaadon ja puunipun tuonnin runkokohtainen ajanmenekki ($T_{\text{Vienti, keräilykaato \& tuonti}}$) mallinnettiin puolestaan kourassa olevien runkojen kappalemäärän mukaan (Kuva 18). Aikatutkimusaineiston pohjalta laaditut mallit olivat muotoa:

$$N_{\text{Runkoja kourassa}} = 0,761 + 58,194 \cdot 1/x_2$$

$$N_{\text{Runkoja kourassa}} = \text{runkoja kourassa keskimäärin, kpl}$$

$$x_2 = \text{rungon keskitilavuus, dm}^3$$

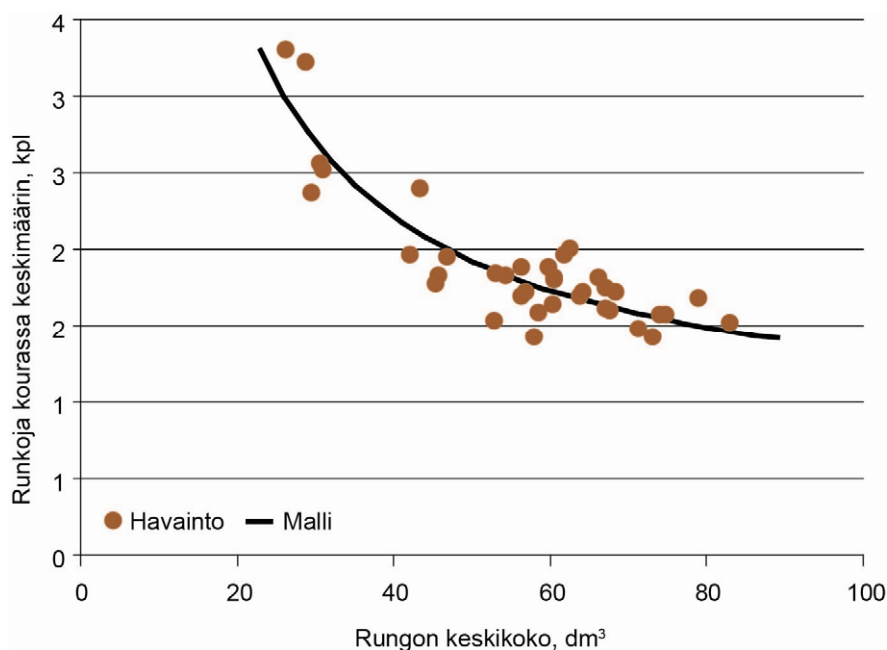
$$r^2 = 0,809$$

$$T_{\text{Vienti, keräilykaato \& tuonti}} = 4,542 + 6,176 \cdot 1/x_3$$

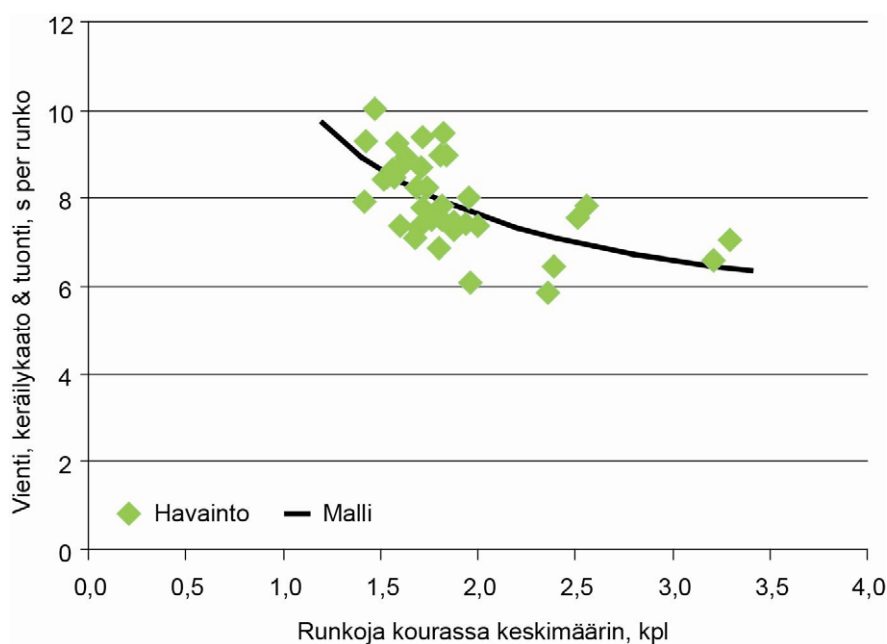
$$T_{\text{Vienti, keräilykaato \& tuonti}} = \text{runkokohtainen viennin, keräilykaadon ja tuonnin ajanmenekki, s}$$

$$x_3 = \text{runkoja kourassa keskimäärin, kpl}$$

$$r^2 = 0,369$$



Kuva 17. Koealakohtaisen rungon keskitilavuuden vaikutus runkojen kappalemäärään kourassa.



Kuva 18. Kouran viennin, keräilykaadon ja puunipun tuonnin puukohtainen tehoajanmenekki kourassa olevien runkojen keskipälemäärän mukaan koelakohtaisesti laskettuna.

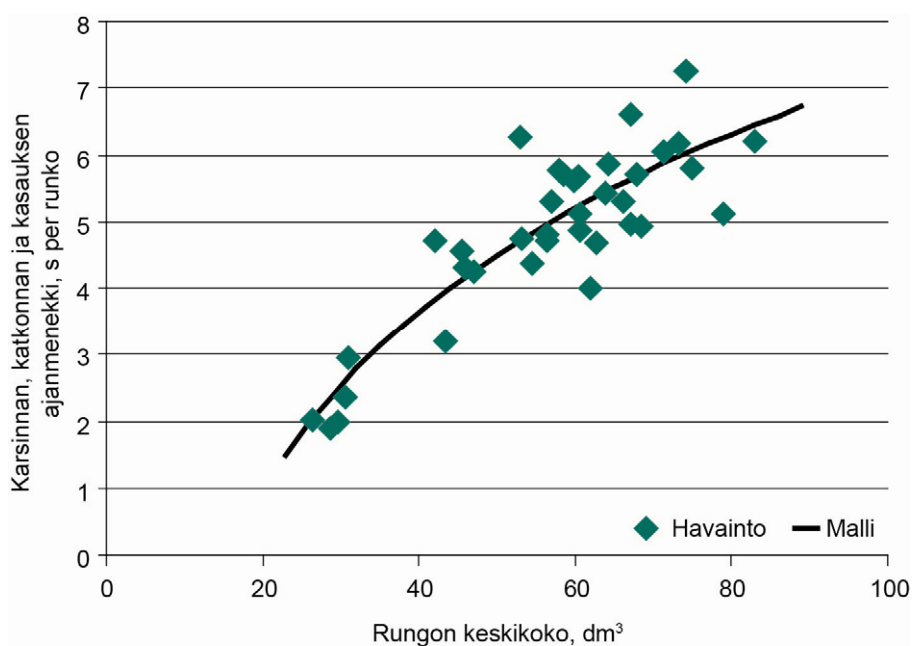
Karsinnan, katkonnan ja kasauksen ajanmenekille laadittiin malli ($T_{Karsinta, katkonta \& \text{kasaus}}$), jossa ajanmenekkiä selitettiin hakkuupoistuman rungon keskikokoalla (Kuva 19). Laadittu ajanmenekkimalli oli muotoa:

$$T_{Karsinta, katkonta \& \text{kasaus}} = -10,592 + 3,857 \ln(x_2)$$

$T_{Karsinta, katkonta \& \text{kasaus}}$ = karsinnan, katkonnan ja kasauksen runkokohtainen ajanmenekki, s

x_2 = rungon keskikoko, dm^3

$$r^2 = 0,775$$



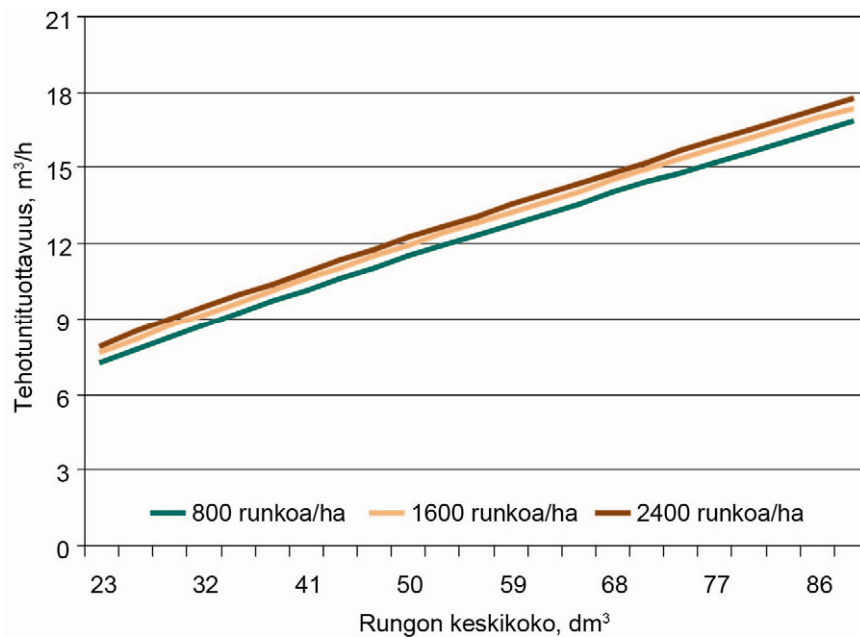
Kuva 19. Karsinnan, katkonnan ja kasauksen tehoajanmenekki rungon tilavuuden mukaan.

Joukkokäsittelyhakuun runkokohtainen ajanmenekki sekunteina (T_{Runko}) saatiin osatyövaiheiden summana:

$$T_{Runko} = T_{Työpistesiiro} + T_{Vienti, keräilykaato \& tuonti} + T_{Karsinta, katkonta \& kasaus}$$

Joukkokäsittelyhakuun tehotuntituottavuus runkoina (kpl/E₀h) laskettiin jakamalla 3600 sekuntia (= 1 tunti) runkokohtaisella tehoajanmenekillä (T_{Runko}). Runkoina ilmoitettu tehotuntituottavuus muutettiin kiintokuutiometrikohtaiseksi tehotuntituottavuudeksi (m³/E₀h) kertomalla tehotunnissa hakattujen runkojen kappalemäärä laskennassa käytetyn keskikokoisen rungon kiintotilavuudella (m³).

Kuvassa 20 laskettiin runkokohtaisen ajanmenekkimallin avulla joukkokäsittelyhakuun tehotuntituottavuus, kun hakkuupoistuman tiheys oli joko 800, 1600 tai 2400 runkoa hehtaarilta ja rungon keskikoko oli 23–89 dm³. Ajanmenekkimallien perusteella runkokohtaisen hakkuupoistuman kolminkertaistaminen nosti joukkokäsittelyhakuun tuottavuutta noin yhdellä kiintokuutiometrillä per tehotunti, kun taas runkokoon nelinkertaistaminen kaksinkertaisti hakkuun tuottavuuden (Kuva 20).

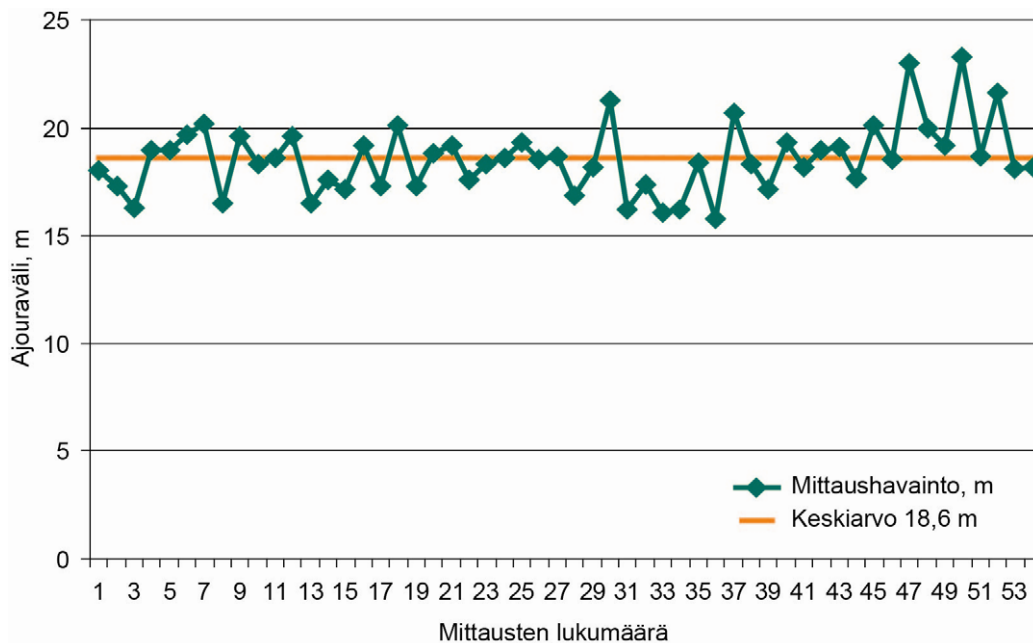


Kuva 20. Hakkuun tehotuntituottavuus rungon keskitilavuuden ja hakkuupoistuman tiheyden mukaan.

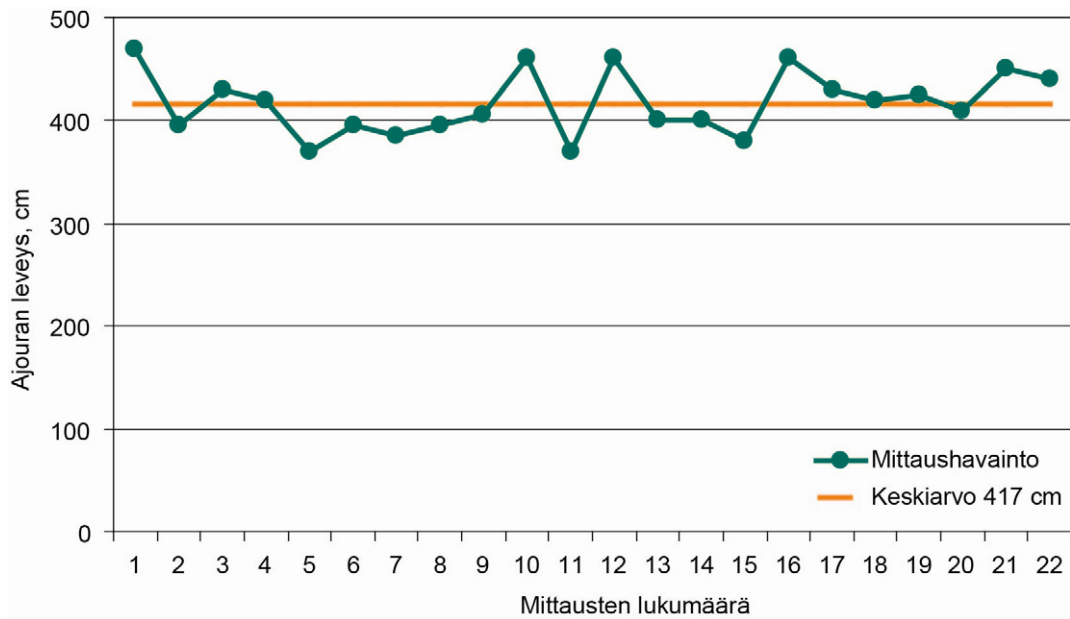
3.4 Korjuujälki ja puustomittaukset

Mittausten perusteella ajouraväli vaihteli aikatutkimuskoealoilla välillä 15,8 – 23,3 m ja mittaushavaintojen keskiarvo oli 18,6 m (Kuva 21). Hakkuukoealoilla ajouraverkoston tiheys oli hieman suurempi kuin korjuusuositusten mukainen vähintään 20 metrin ajouraväli (Korjuujälki harvennushakkuissa... 2003). Tulosten laskennassa hakkuukoealojen pinta-alat laskettiin keskimääräisen (18,6 m) ajouravälin mukaan. Ajouran leveys vaihteli aikatutkimuskoealoilla välillä 370 – 470 cm ja keskiarvo oli 417 cm (Kuva 10). Mitattu ajouran leveys oli valtaosin suositusten mukainen (Korjuujälki harvennushakkuissa... 2003).

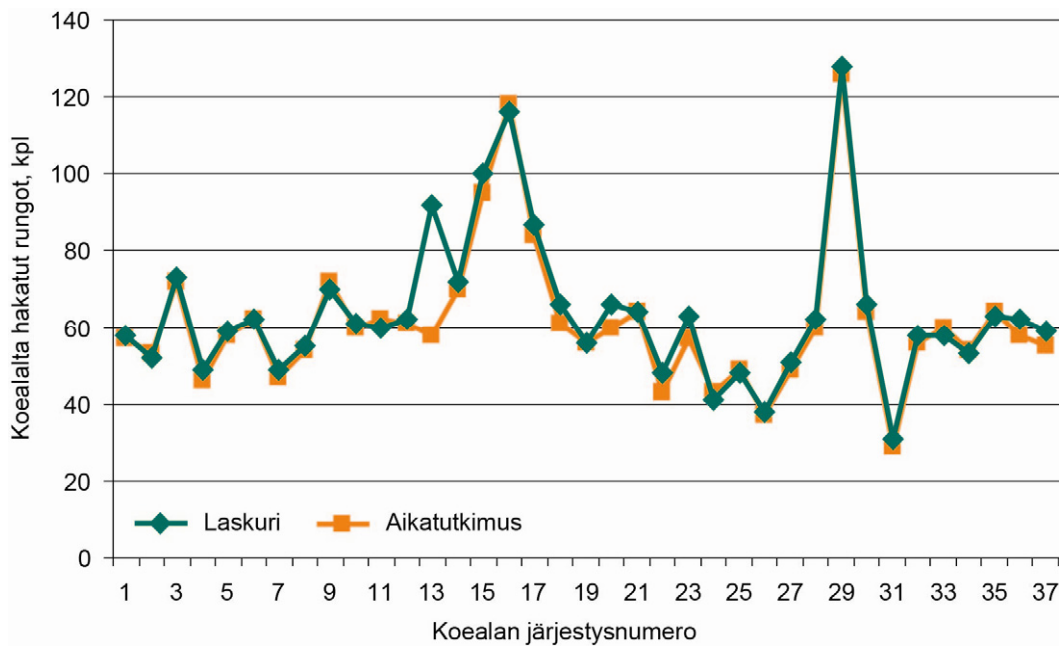
Naarva EF 28 hakkuulaitteen runkolaskurin lukutarkkuus oli hyvä (Kuva 23). Koko aineiston perusteella laskien (pl. koeala 13) ero runkolaskurin ja maastotyöntekijän lukemissa oli 2 %. Ero lukemissa oli samaa suuruusluokkaa, kuin Metsätehon tutkimuksessa (Kärhä ja Mutikainen 2011). Koealalla 13 oleva ero runkolaskurin ja maastotyöntekijän välillä johtui virheestä muisiinpanoissa tms. kirjaamisvirheestä, eikä sitä sen vuoksi otettu lukuun, kun laskettiin runkoluokujen välistä prosenttiero.



Kuva 21. Mitattu ajouraväli aikatutkimustyömaalla.



Kuva 22. Mitattu ajouran leveys aikatutkimustyömaalla.

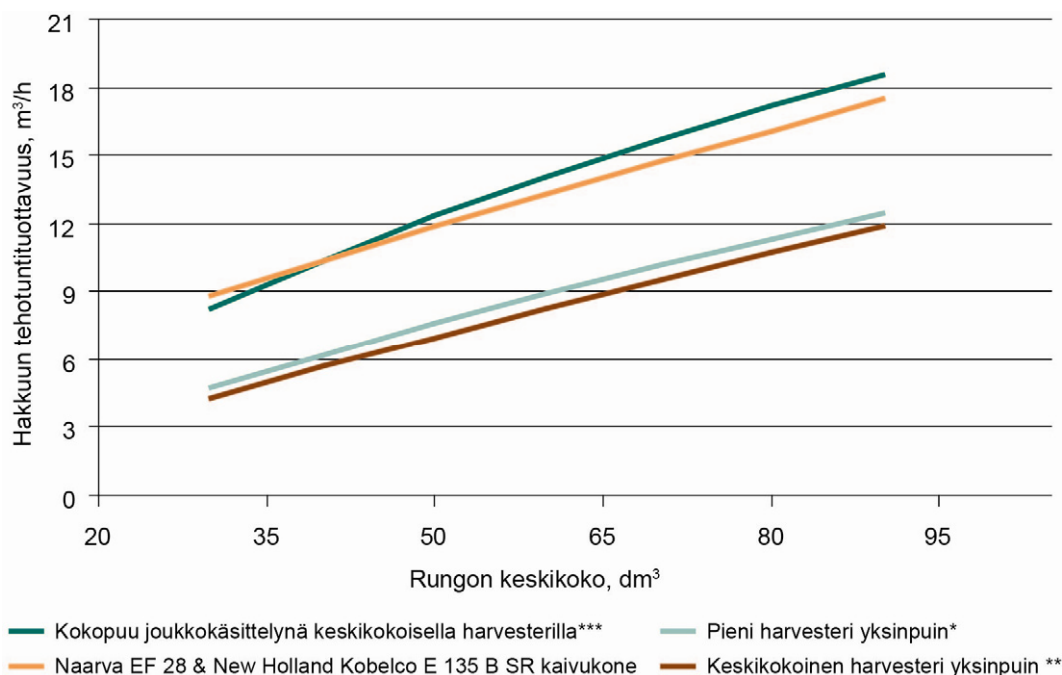


Kuva 23. Hakkuukoneen laskurilla ja aikatutkimuksessa rekisteröityjen runkojen kappalemäärät koealoittain.

4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella kaivukonealustaisen joukkokäsittelyharvesterin tehokkuutta ja toimivuutta. Tulosten perusteella Naarva EF 28 hakkuulaitteen ja kaivukonealustaisen hakkuukoneen tuottavuus oli erittäin hyvä, minkä vuoksi koneyhdistelmää ja hakkuulaitetta ei sovi perusteetta unohtaa, kun etsitään toimivia, tehokkaita ja taloudellisesti turvallisia koneratkaisuja sekä aines- että energiapuun korjuuseen nuorista harvennuspuiden metsistä.

Kuvassa 24 verrattiin tutkimuksessa saatuja tuottavuuksia aiempiin tutkimustuloksiin kokopuuhakkuusta joukkokäsittelymenetelmällä (Kärhä ym. 2006b) sekä ainespuun hakkuusta yksinpuinmenetelmällä (Ryynänen ja Rönkkö 2001, Kärhä ym. 2006a) pyöreäalustaisilla hakkuukoneilla ja tavanomaisilla syöttävillä hakkuulaitteilla. Vertailun perusteella Naarva EF 28 hakkuulaitteella varustetun kaivukoneharvesterin hakkuutyön tuottavuus oli selvästi parempi kuin hakkuun tuottavuus yksinpuinmenetelmällä ja likimain samalla tasolla kokopuun joukkokäsittelyhakkuun kanssa (Kuva 24). Tulosten vertailussa on lisäksi muistettava, että tässä tutkimuksessa työtapana oli ns. kahden kasan menetelmä, jonka on havaittu alentavan tuottavuutta kokopuuhakkuuseen (yksi korjattava tavaraalaji) verrattuna noin 10 % (Kärhä ja Mutikainen 2008). Lisäksi sekä aines- että energiapuuosite korjattiin karsittuna, eli hakkuun tuottavuus oli periaatteessa vielä karsintahävikin verran alempi kokopuuhakkuuvaihtoehtoon verrattuna (Heikkilä ym. 2005).



Kuva 24. Vertailu aiempiin tutkimustuloksiin harvennuspuiden hakkuun tuottavuudesta.

* Ryynänen S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvesterien tuottavuus ja kustannus. Työtehoseuran julkaisuja 381. 67 s.

** Kärhä K., Keskinen S., Kallio T., Liikkanen R. & Lindroos J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuiden korjuuta. Metsätehon raportti 187. 77 s.

*** Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. 79 +s.

Tässä tutkimuksessa saatu tuottavuus oli jonkin verran korkeampi, kuin Työtehoseuran tekemässä tutkimuksessa Naarva EF 28 hakkuulaitteesta ja ProSilva 910 pyörialustaisesta hakkuukoneesta (Rieppo ja Mutikainen 2011). TTS:n tutkimuksessa hakkuutyön tehotuntuottavuus yhdistetyssä aines- ja energiapuun hakkuussa oli 11,9 m³/E₀h, kun poistettavien puiden koko oli keskimäärin 79 dm³. Kun kaikki puut hakattiin karsittuna energiapuuksi, oli tehotuntuottavuus 82 dm³ rungon koolla 15,2 m³/E₀h (Rieppo ja Mutikainen 2011).

TTS:n tutkimuksessa saama tuottavuus oli samalla tasolla, kuin Metsätehon viimeaikaisissa tutkimuksissa on saatu tuottavuudeksi yleisimmillä ammattikäyttöisillä aines- ja energiapuun hakkuulaitteilla (Kärhä ym. 2010, Kärhä ym. 2011b, Kärhä ym. 2011c). Tässä ja em. tutkimuksissa saatuja tuloksia ei kuitenkaan pidä erehtyä käyttämään konemerkkienvertailuun, sillä kuljettajan merkitys työn tuottavuuteen on suuri erityisesti harvennusolosuhteissa (Sirén 1998, Ryytänen ja Rönkkö 2001, Kariniemi 2003, Väätänen ym. 2005). Sen sijaan saatuja tuloksia tulisi katsoa siitä näkökulmasta, että kaivukoneharvesterilla samoin kuin Naarva EF 28 hakkuulaitteella on mahdollista päästä, sille sopivilla kohteilla ja taitavan kuljettajan käyttämänä, samalle tuottavuustasolle perinteisten hakkuukoneiden ja -laitteiden kanssa.

Naarva EF 28:n moitteeton toiminta varsinkin nippukarsinnassa ja katkonnassa oli yksi perusta hyvälle tuottavuudelle, koska ketjurikon aiheuttamia keskeytyksiä ei ollut. Giljotiinikatkaistu toimi hyvin myös kaatoleikkausta tehtäessä. Hyvää tuottavuutta selittää myös kuljettajan hyvä ammattitaito ja se, että hän hyödynsi järkevästi ja samalla tehokkaasti hakkuulaitteen joukkokäsittelyominaisuutta. Lisäksi hän osasi hyödyntää kaivukoneen pyörivää alavaunua hakkuutyössä ja nopeuttaa puomin liikkeitä siirtämällä alustakonetta työpisteellä joko eteenpäin tai taaksepäin. Tuloksia tarkasteltaessa tulee myös muistaa, että hakkuukohde oli hakkuulaitteen sekä peruskoneen ominaisuuksia kuin myös työtapaa ajatellen optimaalinen yhden puulajin hyvin hoidettu metsikkö.

Tuloksia tarkasteltaessa on myös otettava huomioon se, että ne perustuvat yhteen, melko suppeaan kokeeseen, eivätkä ne sen vuoksi voi toimia tuottavuusperusteena määritettäessä hakkuun yksikkökustannuksia aines- ja energianpuun integroidulle korjuulle. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että seurantatutkimukseen perustuvat tuottavuuskäyrät ovat selvästi alemmalla tasolla kuin aikatutkimuksien perusteella lasketut käyttötuntuottavuudet (Mäki 1999, Ryytänen ja Rönkkö 2001, Sirén ja Aaltio 2003). Syynä tähän on mm. se, että lyhyinä koealurupeamina toteutettavat aikatutkimukset eivät täysin vastaa käytännön työtilanteita. Sen vuoksi pitkäkestoinen seurantatutkimus antaa luotettavamman kuvan käytännössä vallitsevasta tuottavuudesta (Ryytänen ja Rönkkö 2001, Sirén ja Aaltio 2003) samoin kuin peruskoneen ja hakkuulaitteen toiminnallisesta ja teknisestä käyttöasteesta olosuhteiltaan vaihtelevissa leimikko-olosuhteissa eri vuodenaikoina.

Lähteet

- Bergroth, J., Palander, T. & Kärhä, K. 2006. Excavator-based harvesters in wood cutting operations in Finland. *Forestry Studies* 45:74–88.
- Bergroth, J., Kärhä, K., Palander, T. & Keskinen, S. 2007. Tela-alustainen kaivukone hakkuukoneena. *Metsätehon raportti* 199. 36 s.
- Björheden, R. & Fröding, A. 1986. Ny rutin för gallringsuppföljning. Julkaisussa: Tänk till gallringsfrågan. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och Resultat 52: 71–76.
- Di Fulvio, F., Kroon, A., Bergström, D. & Nordfjell, T. 2011. Comparison of energy-wood and pulpwood thinning systems in young birch stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 26(4): 339–349
- Hakkila, P., Kalaja, H. & Saranpää, P. 1995. Etelä-Suomen ensiharvennushakkuukoneiden kuitu- ja energialähteenä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 582. 93 s.
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. ja Korhonen, K.T.. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. *Metlan työraportteja* 10. 56 s.
- Iwarson Wide, M. 2011. Var går gränsen? Massaved och/eller energiuttag i klen gallring. *Resultat från Skogforsk* 9/2011. 4 s.
- Jaakkola, S. 2011. Vaadi tuottoa lisälaitteinvestoinnille. *Koneyrittäjä* 8/2011. s. 20–21.
- Jylhä, P. 2011. Harvesting of undelimited Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from first thinnings for integrated production of kraft pulp and energy. *Dissertationes Forestales* 133. 73 s. + 4 osajulkaisua.
- Jylhä, P., Dahl, O., Laitila, J. & Kärhä, K. 2010. The effect of supply system on the wood paying capability of a kraft pulp mill using Scots pine harvested from first thinnings. *Silva Fennica* 44(4): 695–714.
- Juntunen, M-L. & Herrala-Ylinen, H. 2010. Metsien hoito. Teoksessa: Ylitalo, E. (toim.). *Metsätalustilastollinen vuosikirja 2010. Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2010. Metsäntutkimuslaitos.* s 121–166.
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. *Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja* 38. 127 s.
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 149–213
- Korjuujälki harvennushakkuussa –opas. 2003. *Metsäteho Oy*. 33 s.
- Kärhä, K. 2011. Integrated harvesting of energy wood and pulpwood in first thinnings using the two-pile cutting method. *Biomass and Bioenergy* 35 (8): 3397–3403.
- Kärhä, K. & Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. *Metsätehon raportti* 181. 23 s.
- Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2008. Moipu 400 ES ensiharvennuspuun integroidussa hakkuussa. *TTS:n tiedote* 726. 6 s.
- Kärhä K., Keskinen S., Kallio T., Liikkanen R. & Lindroos J. 2006a. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. *Metsätehon raportti* 187. 77 s.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006b. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. *Metsätehon raportti* 193. 79 s.
- Kärhä K., Laitila J., Jylhä P., Nuutinen Y. & Keskinen S. 2009. Kokopuun paalaus tuotantoketjun tuottavuus ja kustannukset. *Metsätehon raportti* 211. 61 s.
- Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S., Petty, A. 2010. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna. *Metsäteho Oy:n tulosalvosarja* 2/2010.
- Kärhä, K. & Keskinen, S. 2011. Ensiharvennukset metsäteollisuuden raaka-ainelähteenä 2000-luvulla. *Metsätehon tulosalvosarja* 2/2011. 29 s.
- Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2011. Hakkuukoneen runkolaskurin lukutarkkuus. *Metsätehon tulosalvosarja* 14/2011. 35 s.

- Kärhä, K., Jylhä, P. & Laitila, J. 2011a. Integrated procurement of pulpwood and energy wood from early thinnings using whole-tree bundling. *Biomass & Bioenergy* 35(8): 3389–3396.
- Kärhä, K., Kumpare, T., Keskinen, S., Petty, A. 2011b. Ponsse Ergo/H7 rankapuun hakkuussa ensiharvennuksella. *Metsäteho Oy:n tulosalvosarja* 1/2011.
- Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S., Petty, A. 2011c. Valmet 901.4/350.1 rankapuun hakkuussa ensiharvennuksella. *Metsäteho Oy:n tulosalvosarja* 11/2011.
- Kärhä, K. & Palander, T. 2012. Kaivukoneilla lisäresursseja talvihakkuille. *Koneyrittäjä* 2/2012. s. 16–17.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. *VTT Tiedotteita – Research Notes* 2564. 143 s.
- Laitila, J. & Väätäinen, K. 2012. Hakkuutyön tuottavuus metsävarustellulla turvetuotantotraktorilla karsitun aines- ja energiapuun korjuussa. *Käsikirjoitus Metsätieteen aikakauskirjaan*. 21 s.
- Lehtimäki, J. & Nurmi, J. 2011. Energy wood harvesting productivity of three harvesting methods in first thinning of scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Biomass and Bioenergy* 35 (8): 3383–3388
- Lilleberg, R. 2012. Energiapuun hankinnan niveltäminen osaksi metsäteollisuuden puunhankintaa. *Esitelmä: Lapin 54. Metsätalouspäivät* 9.–10.2.2012 Levi.
- Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun mittaus (27.9.2010). *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos*. 31 s.
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus kuormainvaa’an käytöstä puutavaran mittauksessa ja erien erillään pidosta annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. 2010. (Dnro 666/14/2010, Nro 8/10). 8 s.
- Metsätalostollinen vuosikirja 2011. Suomen virallinen tilasto: Maa-, metsä- ja kalatalous. 472 s.
- Mäki, J-P. 1999. Runko-ohjattavat erikoistraktorit harvennushakkuussa. *Työtehoseuran monisteita* 4/1999 (74): 78 s.
- Niemi, S., Pulkkanen, T., Väätäinen, K. & Sikanen, L. 2002. Suometsien harvennushakkuiden korjuukalusto. Teoksessa: Niemi, S., Finér, L., Laukkanen, H., Nousiainen, H, M., Sikanen, L. & Väätäinen, K. (toim.). suometsät – tulevaisuuden tukkipuustot. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 830. s. 33–57.
- Nuutinen, Y., Väätäinen, K., Heinonen, J., Asikainen, A. & Röser, D. 2008. The accuracy of manually recorded time study data for harvester operation shown via simulator screen. *Silva Fennica* 42(1): 63–72.
- Oikari, M., Kärhä, K., Palander, T., Pajuoja, H. & Ovaskainen, H., 2010. Analyzing the views of wood harvesting professionals related to the approaches for increasing the cost-efficiency of wood harvesting from young stands. *Silva Fennica* 44 (3): 481–495.
- Palander, T., Bergroth, J. & Kärhä, K. 2012. Excavator technology for increasing the efficiency of energy wood and pulp wood harvesting. *Biomass and Bioenergy* (40) May 2012:120–126.
- Rieppo, K. & Mutikainen, A. 2011. Naarva EF28 integroidussa ja energiapuun hakkuussa. *TTS:n tiedote: metsätyö, -energia ja yrittäjyys* 8/2011 (753). 6 s.
- Rieppo, K., Mutikainen, A. & Jouhiaho, A. 2011. Energia- ja ainespuun korjuu nuorista metsistä. *TTS:n julkaisuja* 411. 102 s.
- Ryynänen S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannus. *Työtehoseuran julkaisuja* 381. 67 s.
- Sirén, M. 1998. Hakkukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 694. 179 s.
- Sirén, M. & Tantt, V. 2001. Pienet hakkukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa (Small one-grip harvesters in first thinnings of pine bogs). *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2001: 599–614.
- Sirén, M. & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvesters and harvester-forwarders. *International Journal of Forest Engineering* 14(1): 39–48.
- Stranström, M. 2012. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2011. *Metsätehon katsaus* nro 48. 4 s.
- Wang, J. & Haarlaa, R. 2002. Production analysis of an excavator-based harvester: A case study in Finnish forest operations. *Forest Products Journal* 52(3): 85–90.

- Väätäinen, K., Sikanen, L. & Asikainen, A. 2004. Feasibility of excavator-based harvester in thinning of peatland forests. *International Journal of Forest Engineering* 15(2): 103–111.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. ja Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukonekuljettajanhiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. *Finnish Forest Research Institute Research Papers* 937. 100 s.