



**AINES- JA ENERGIAPUUN KOR-
JUUMENETELMÄT NUORISSA
METSISSÄ POHJOIS-SUOMEN
OLOISSA**

Joonas Vaaramaa

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013
Metsätalous
Puunhankinta

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalous
Puunhankinta

JOONAS VAARAMAA:

Aines- ja energiapuun korjuumenetelmät nuorissa metsissä Pohjois-Suomen oloissa

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Huhtikuu 2013

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla eri korjuumenetelmien soveltuvuuksia nuorten metsien ensiharvennuksilla Pohjois-Suomen oloissa. Tutkimuksessa vertailtiin kolmea eri hakkuumenetelmää, jotka olivat aines- ja energiapuun integroitu korjuu yhden ja kahden kasan menetelmänä joukkokäsittelyä hyödyntäen sekä normaali kuitupuun yksinpuin hakkuu. Korjuumenetelmien välisiä ajanmenekki- ja tuottavuuseroja selvitettiin aikatutkimuksen avulla.

Jokaista tutkittua korjuumenetelmää varten perustettiin maastoon yksi koeala, jotka käsiteltiin korjuumenetelmäkohtaisesti. Kaikkien koealojen korjuusta vastasi sama kuljettaja. Tutkimuksessa käytetty hakkuukone oli Ponsse Beaver varustettuna H5-hakkuulaitteella. Kaikkien koealojen korjuu videokuvattiin opinnäytetyön tekijän toimesta ja aikatutkimus suoritettiin tulkitsemalla videolta saatavaa informaatiota. Aikatutkimusaineiston perusteella laadittiin runkokohtaiset ajanmenekki- ja tuottavuusmallit korjuumenetelmittäin sekä koostettiin keskeiset korjuutiedot. Tutkimuksessa saadut tuottavuustiedot ovat luottamuksellisuutensa vuoksi vain työntilajaan käytössä ja ne on esitetty erillisenä liitemateriaalina.

Aikatutkimuksessa hakattiin yhteensä 918 runkoa joista 79 % oli mäntyä, 16 % kuusta ja 5 % koivua. Tutkimuskoealoilla hakkuun poistuman tiheys oli keskimäärin 1370 runkoa/ha poistettujen runkojen keskikoon ollessa 42 dm³. Integroiduilla menetelmillä päästiin keskimäärin 18 % suurempaan hehtaarikohtaiseen hakkuukertymään normaaliin kuitupuun hakkuuseen verrattuna. Tutkimustulosten perusteella aines- ja energiapuun integroitu korjuu ei lisännyt merkittävästi runkokohtaista tehoajanmenekkiä, joten tuloksia voidaan pitää lupaavina. Kahden kasan integroidun korjuun osalta tulokset olivat kuitenkin ennakko-oletuksia heikommat.

Tutkimustulosten yleistämisessä tulee kuitenkin huomioida aineiston pieni koko sekä korjuuolosten ja etenkin hakkuukoneen kuljettajan vaikutukset tuloksiin. Tutkimuksessa kuljettajan vaikutus korostui etenkin pienten runkojen käsittelyssä. Kuljettajan kokemuksen karttuessa olisi mielenkiintoista suorittaa uudestaan vastaava aikatutkimus suuremmalla aineistolla jolloin kuljettajan vaikutuksesta saataisiin luotettavaa tietoa.

Asiasanat: integroitu korjuu, ensiharvennus, aikatutkimus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Forestry
Wood procurement

JOONAS VAARAMAA

Young Stands Harvesting Methods for Pulp- and Energywood in Northern Finland Conditions

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 9 pages
APRIL 2013

The objective of this study was to compare different harvesting methods in the first thinnings in the conditions of Northern Finland conditions. Three different harvesting methods were tested: the traditional single tree processed pulpwood harvesting, integrated pulp- and energy wood harvesting methods where timber assortments was cut in the same pile or apart at two different piles. Integrated harvesting methods also utilized multi-tree handling. This study was carried out as time study.

Harvesting methods were studied by establishing three plots which were harvested with different harvesting methods. Every plot was harvested by the same harvester driver and the harvester used in this thesis was Ponsse Beaver equipped with H5-harvesterhead. The harvesting of the plots was videotaped (by the author of this thesis) and the actual time study was conducted with information gathered from the videos. Based on time study material stem specific effective times and productivities were modeled. Productivity results are classified material and available only for the commissioner of this thesis.

The collected data consists of observations of 918 stems which were processed during the time study. Three species were divided as follows, Scots Pine 79 %, Norway Spruce 16 % and Silver Birch 5 %. The density of removal was average 1370 stems per hectare and volume of single stem was average 42 dm³. Integrated pulp- and energy wood harvesting methods gave 18 % bigger harvesting accumulation compared with traditional single tree processed pulpwood harvesting. Integrated harvesting was not significantly more time consuming than normal pulpwood harvesting so the results are promising.

When looking at the results, one has take into account the small size of the study material as well the harvesting conditions and especially the impact of the harvester driver. The study highlighted the impact of the driver especially in small size stems. When the driver gains more experience it would be interesting to re-run the time study with bigger study material to get more valuable information about the driver impact.

Key words: integrated harvesting, first thinning, time study

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	TAUSTA	6
2.1	Metsäteollisuuden puunkäyttö	6
2.2	Nuoret metsät ja ensiharvennukset	7
2.3	Pohjois-Suomen erityispiirteet.....	8
2.4	Kuitu- ja energiapuun integroitu korjuu	9
3	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TOTEUTUS.....	11
3.1	Tutkitut menetelmät.....	11
3.2	Korjuukalusto ja kuljettaja.....	12
3.3	Tutkimuskoealat ja mitatut tunnuksset.....	13
3.4	Työvaihejaottelu	15
4	TULOKSET	18
4.1	Korjuutiedot.....	18
4.2	Ajanmenekin rakenne	19
4.3	Käsittely- ja tehoajanmenekki.....	20
4.4	Tuottavuus	23
5	TULOSTEN VERTAILU	24
5.1	Aineisto ja menetelmät	24
5.2	Korjuutiedot.....	25
5.3	Ajanmenekin rakenne	27
5.4	Rungon prosessoinnin ajanmenekki	28
6	POHDINTA.....	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	35
	Liite 1. Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöt.....	35
	Liite 2. Näslundin (1936) pituusmalli	36
	Liite 3. Poistuman jakauma tilavuuden suhteen.....	37
	Liite 4. Koealakohtaiset siirtymis- ja apuajanmenekit, cmin/runko.....	38
	Liite 5. Taakkakokojakauma	39
	Liite 6. Tuottavuus (luottamuksellinen)	40

1 JOHDANTO

Suomelle metsäteollisuuden merkitys on ollut historian saatossa varsin keskeisessä asemassa. Metsiä on pyritty hoitamaan taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävästi. Metsäomaisuuden turvaamiseksi tuleville sukupolville on metsiä myös hoidettava kasvatushakkuiden avulla. Ensiharvennus on metsän kehityksen kannalta tärkeässä asemassa, sillä siinä luodaan kasvuolot tulevia vuosia varten. Valtakunnan metsien inventoinneista on käynyt ilmi valtava ensiharvennusten hyödyntämismahdollisuus. Ensiharvennusten korjuun lisääntymistä hidastavat kuitenkin korkeat korjuukustannukset ja haastavat korjuuolot. Ensiharvennusten korjuuta on pyritty tehostamaan 2000-luvulla uudella teknologialla ja työmenetelmillä, kuten joukkokäsittelyllä ja integroidulla aines- ja energiapuun korjuulla.

Suomessa metsäntutkimuksella on pitkät perinteet ja suomalaisen metsäntutkimuksen laatu on myös kansainvälisesti tunnustettua. Tällä vuosituhanella uusien korjuumenetelmien hyödyntämisen mahdollisuutta on tutkittu varsin laajasti erilaisten aika-tuotos tutkimusten avulla. Aikatutkimuksissa on tyypillisesti vertailtu eri korjuumenetelmien, hakkuukoneiden ja hakkuulaitteiden välisiä ajanmenekki- ja tuottavuuseroja kuljettaja-kohtaisesti. Muutamissa tutkimuksissa on myös vertailtu kuljettajien välisiä eroja ja havaintojen perusteella kuljettajan kokemuksella näyttäisi olevan suurin vaikutus hakkuun onnistumiseen. Aikatutkimukset on suoritettu pääasiassa Oulun eteläpuolella eikä Pohjois-Suomen oloissa ole aikaisemmin tehty vastaavia aikatutkimuksia.

Kesällä 2012 ollessani harjoittelussa Stora Enso Metsän palveluksessa Keminmaalla minulle tarjottiin mahdollisuutta suorittaa aikatutkimus nuorten metsien korjuumenetelmistä. Työn tilaajalla oli perusteltu tarve selvittää eri korjuumenetelmien välisiä eroja ensiharvennuksilla Pohjois-Suomen oloissa. Aihe vaikutti minusta hyvin rajatulta ja erittäin mielenkiintoiselta, joten päätin tarttua haasteeseen. Haluan kiittää tästä mahdollisuudesta Stora Enson yrittäjäesimies Mikko Ylimartimoa sekä Tampereen ammattikorkeakoulun puunhankinnan lehtori Jukka Tohua erittäin ammattitaitoisesta opinnäytetyön ohjauksesta.

Yksityismetsien hakkuista suurin osa, noin 81 %, hakattiin pystykaupoilla Yksityismetsien lisäksi raakapuuta korjattiin metsäteollisuusyhtiöiden omista metsistä sekä valtion metsistä yhteensä 11,4 milj. m³. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012, 173.)

2.2 Nuoret metsät ja ensiharvennukset

Ensiharvennuksilta korjattava ainespuu on ollut tärkeä raaka-aine metsäteollisuudelle jo pitkään. Ensiharvennuspuuta korjataan pääasiassa kehitysluokaltaan nuorista kasvatusmetsistä. Metsikkö luokitellaan kehitysluokaltaan nuoreksi kasvatusmetsäksi silloin, kun nuoren kasvatusmetsän vallitsevan jakson puuston pituus on rinnankorkeusläpimitaltaan 8–16 cm. Puuston valtipituus on mänty- ja kuusivaltaisissa nuorissa kasvatusmetsissä yli 7 m ja koivuvaltaisissa yli 9 m. (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006.)

Keskimäärin 2000-luvulla ensiharvennuksia on tehty n. 190 000 ha/v ja puuta ensiharvennuksilta on kertynyt metsäteollisuuden käyttöön n. 7 milj. m³/v, joka vastaa noin 14 %:n osuutta metsäteollisuuden kokonaiskäytöstä (Kärhä & Keskinen 2011). Kansallisessa metsäohjelmassa 2015 (2010) on asetettu vuotuiseksi ensiharvennusten tavoitepinta-alaksi 250 000 ha/v. Tavoitteesta on kuitenkin selvästi jääty vuosittain ja tämä tavoite on saavutettu ainoastaan vuonna 2008 ensiharvennuspinta-alan oltua 256 000 ha (Metinfo 2013). Kansallisessa metsäohjelmassa 2015 asetetut tavoitteet perustuvat n. 70 milj. m³:n vuotuisiin hakkuumääriin ja vuosina 2008–2011 hakattiin keskimäärin 50 milj. m³/v. Kokonaishakkuumäärien jäätyä alhaisiksi – osin 2008 alkaneen taantuman takia – ei asetettuja tavoitteita ole saavutettu. (Metsätilastollinen vuosikirja 2012.)

Nuorten kasvatusmetsien ensiharvennukset ovat korjuukustannuksiltaan kalliita, mikä osaltaan rajoittaa ensiharvennustavoitteiden toteutumista. Korkeiden korjuukustannusten taustalla ovat haasteelliset korjuuolosuhteet. Kärhän ja Keskinen (2011) mukaan ensiharvennuksilla poistettavien puiden keskikoko jää usein pieneksi, jolloin hehtaari- ja leimikkokohtaiset kertymät jäävät pieniksi korjuutyön tuottavuuden samalla laskiessa ja korjuukustannusten noustessa. Korjuuoloissa on kuitenkin runsaasti vaihtelua alueittain. Parhaat ensiharvennuspuun korjuuolosuhteet ovat Etelä-Suomessa ja heikoimmat puolestaan Pohjois- ja Itä-Suomessa. Pohjois-Suomen korjuuolosuhteita heikentävät turvemaakohteiden suuri osuus, pieni poistuman tiheys sekä pitkät metsäkuljetusmatkat.

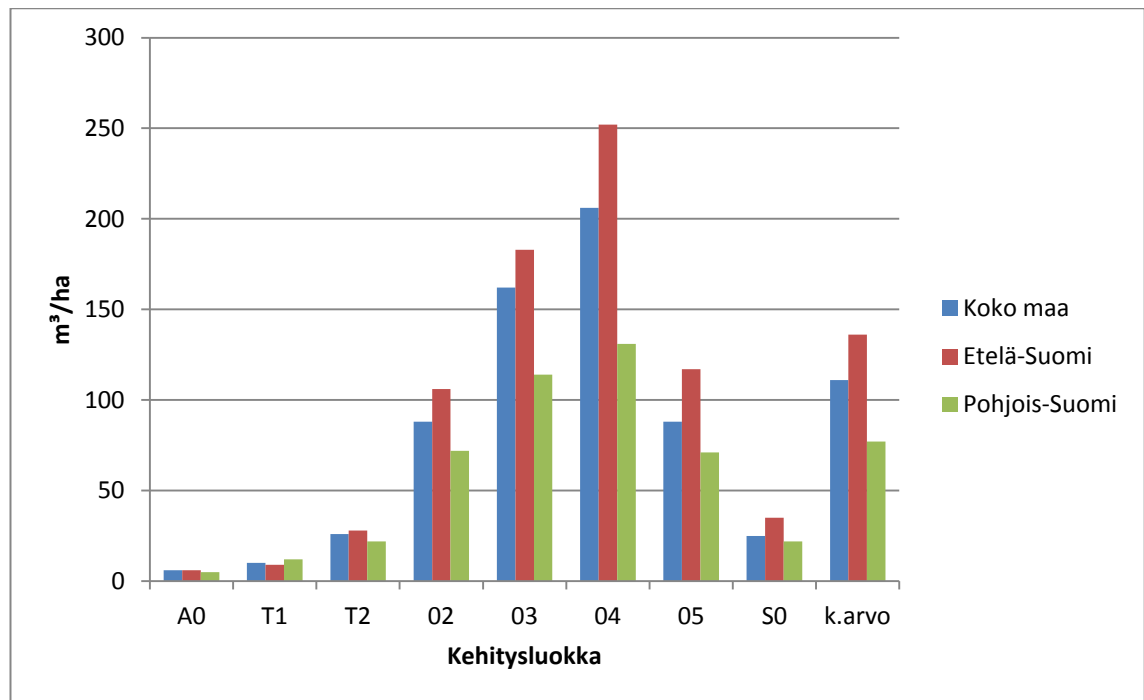
Pohjois-Suomessa leimikon pinta-alaa kasvattamalla on korjuun kannattavuutta kuitenkin saatu parannettua. (Kärhä & Keskinen 2011.)

2.3 Pohjois-Suomen erityispiirteet

Suomessa metsätaloutta harjoitetaan pääasiassa metsätalousmaalla, joksi Suomen maapinta-alasta luokitellaan 86 % (26 milj. ha). Metsätalousmaasta n. 54 % (14,2 milj. ha) sijaitsee Pohjois-Suomessa, joka käsittää kolme pohjoisinta metsäkeskusaluetta. Kuitenkin Pohjois-Suomen osuus koko maan puuston tilavuudesta on vain kolmasosa. (Metsätalastollinen vuosikirja 2012, 37.) Lyhyemmän kasvukauden vuoksi Pohjois-Suomen puuston vuotuinen kasvu hehtaaria kohden on lähes puolet pienempi eteläiseen Suomeen verrattuna. Pohjois-Suomessa suurempi osuus metsätalousmaasta sijaitsee rämeillä ja korvissa, joilla puuston kasvu ei yllä kangasmaan tasolle. Metsätalousmaasta soiden osuus on Pohjois-Suomessa 41 %, kun taas Etelä-Suomessa vain 25 %. (Metsätalastollinen vuosikirja 2012, 37.)

Valtakunnan metsien inventoinneissa on havaittu Suomen metsien puuston määrän kasvaneen jatkuvasti 1970-luvulta lähtien (Metsätalastollinen vuosikirja 2012, 38). Tämän kehityksen myötä myös puuston keskitilavuus metsätalousmaalla on kasvanut. Pohjois-Suomessa toteutettiin 1940–1970 luvuilla laajamittaisia avohakkuita, pääasiassa valtion mailla. Tuolloin uudistetut metsiköt olivat yli-ikäisiä ja heikosti tuottavia, kun taas nykyään uudistusaloilla sijaitsevat nuoret kasvatusmetsiköt kasvavat kovaa vauhtia ja niitä on osin jo harvennettu (Valtanen, J. 1994). Laajamittaisten avohakkuiden johdosta Pohjois-Suomen metsien ikärakenne on muuttunut vuosien saatossa.

Pohjois-Suomessa puuston hehtaarikohtaiset kuutiomäärät eivät yllä Etelä-Suomen tasolle. Suomessa metsämaalla on puustoa keskimäärin 111 m³ hehtaaria kohden. Kuviossa 2 havaitaan Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen välillä olevan hyvin merkittäviä eroja puuston tilavuuden suhteen koko kierron ajan (Metinfo 2013). Uudistuskypsissä metsissä on Etelä-Suomen oloissa keskimäärin yli 100 m³ enemmän puuta hehtaarilla. Tämä on huomioitu Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksissa (2006) siten, että uudistamiskypsyysrajat ovat keskimäärin 5 cm alhaisemmat Pohjois-Suomessa verrattuna Etelä-Suomeen.



KUVIO 2 Puuston keskitilavuus metsämaalla kehitysluokittain (Metinfo 2013)

2.4 Kuitu- ja energiapuun integroitu korjuu

Energiapuun korjuu ja kasvatusta on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina. Yleistymisen taustalla on EU:n komission energia- ja ilmastonmuutospaketti. Suomi on sitoutunut nostamaan uusiutuvan energian osuuden energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä 38 prosenttiin (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008). Tämä tarkoittaa nykyisen n. 7 milj. m³ metsähakemäärän kasvattamista kaksinkertaiseksi (Metinfo 2013). Suurin osa tästä bioenergiasta voidaan saavuttaa lisäämällä nuorten metsien hoitokohteiden ja ensiharvennusten korjuumääriä. Nuorten metsien korjuun kustannustehokkuutta voidaan lisätä aines- ja energiapuun integroidulla korjuulla. Menetelmä sopii hyvin nykyiseen puunhankintalogistiikkaan, mikä on edesauttanut sen yleistymistä (Metsätehon opetusvideo 1b 2011).

Integroidussa korjuussa samalta leimikolta korjataan kuitupuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttävää ainespuuta metsäteollisuuden käyttöön sekä energiapuuta, joka ohjautuu energiantuotantoon. Energiapuuta koostuu pieniläpimittaisista kuitupuiksi kelpaamattomista rungoista, ainespuurunkojen latvaosista sekä huonolaatuisista "susipuista". Energiapuuta voidaan korjata leimikolta kokopuuna tai karsittuna rankana. (Metsätehon opetusvideo 1b 2011.) Mikäli energiapuuta korjataan osin tai kokonaan karsimattomana, tu-

lee kohteen olla ravinnetasoltaan vähintään kuivahko kangas tai vastaava turvemaakohde, jotta ravinnehäviöt eivät vaikuttaisi jäävän puuston kasvuun merkittävästi (Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen 2010).

Integroitu korjuu voidaan toteuttaa yhden- tai kahden kasan menetelmänä hakkuulaitteen joukkokäsittelytoimintoa hyödyntäen, jolloin voidaan käsitellä useita runkoja samanaikaisesti. Yhden kasan menetelmässä kaikki rungot hakataan latvoineen samaan kasaan. Tällöin aines- ja energiapuuositteiden erottelu tapahtuu sellutehtaan kuorimorummussa siten, että pieniläpimittainen jae ohjautuu kuoren tavoin sivutuotteena prosessin ulkopuolelle (Ylimartimo, M. 2012). Kahden kasan menetelmässä leimikolta saatava aines- ja energiapuu erotellaan kahteen eri kasaan: ainespuukasaan ja energiapuu-kasaan (Metsätehon opetusvideo 1b 2011).

Integroidussa korjuussa kuljettajan ammattitaidolla on suuri merkitys korjuun onnistumiseen, ja oikeiden työskentelytapojen osaaminen on ensiarvoisen tärkeää. Jotta työskentely olisi mahdollisimman tehokasta, tulisi hakkuukoneen puomin liikkeet pyrkiä minimoimaan sekä hyödyntämään joukkokäsittelyä tarkoituksenmukaisesti. Joukkokäsittelyä kannattaa hyödyntää silloin, kun poistettavat rungot sijaitsevat lähekkäin, ryp-päissä tai linjassa. Joukkokäsittelyssä taakkaan kannattaa poimia samankokoisia runkoja, ja sopiva taakkakoko on 2–5 runkoa. Ahtaissa paikoissa ja isoja runkoja käsiteltäessä on järkevää hakata rungot yksinpuin. (Kokkarinen 2012, 66–67.)

3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TOTEUTUS

3.1 Tutkitut menetelmät

Integroitua korjuuta on pyritty lisäämään ja kehittämään Stora Ensossa kotimaan organisaatiossa jo usean vuoden ajan, mutta menetelmän soveltuvuudesta Pohjois-Suomen oloihin ei ollut aiempaa tutkimustietoa. Tutkimukseen valittiin integroidut yhden ja kahdenkasan menetelmät, joita verrattiin normaaliin kuitupuun hakkuuseen. Tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin energiapuun korjuu kokopuuna pääasiassa ravinnepoistumien minimoimiseksi sekä osin menetelmän vähäisen käytön takia yhtiössä. Molemmissa integroiduissa menetelmissä päätettiin valmistaa kaikki koivut suoraan energiapuuksi, jotta puutavaralajien määrää saataisiin pienennettyä.

Kuitupuun yksinpuin hakkuu (YP)

Normaali kuitupuun hakkuu ilman joukkokäsittelytoimintoa. Havukuitupuulla tavoitepituus oli 2,7 m – 4,5 m ja koivukuitupuulla 2,7 m – 3 m. Minimiläpimitat olivat seuraavat: mäntykuitupuu 6 cm, kuusikuitupuu 7 cm ja koivukuitupuu 5 cm.

Integroitu yhden kasan menetelmä (Int 1)

Aines- ja energiapuun integroitu hakkuu joukkokäsittelyä hyödyntäen, jossa aines- ja energiapuu prosessoitiin samaan kasaan. Energiapuu korjattiin karsittuna rankana ravinnehäviöiden minimoimiseksi. Rankapuulle ei asetettu minimiläpimitä, puutavara syötettiin latvan päähän asti. Rankojen pituuden tuli kuitenkin olla vähintään 2,7 m, jotta metsäkuljetus onnistuisi. Kuljettajaa ohjeistettiin jättämään rinnankorkeusläpimitaltaan alle 5 cm:n rungot käsittelemättä.

Integroitu kahden kasan menetelmä (Int 2)

Aines- ja energiapuun integroitu hakkuu joukkokäsittelyä hyödyntäen, jossa ainespuun mitat täyttäneistä rungoista tyvipölkkyt valmistettiin kuitupuuksi omaan kasaansa ja latvaosat karsittuna rankana omaan kasaansa. 5–7 cm rungot käsiteltiin suoraan energiaksi. Ainespuun puulajipuhtaan korjuun sijaan mänty- ja kuusikuidut prosessoitiin samaan havukuitukasaan. Tyvipölkystä tehdyllä kuitupuulla käytettiin samoja pituus- ja läpimitattävyyksiä kuin kuitupuun yksinpuin hakkuun koealalla.

3.2 Korjuukalusto ja kuljettaja

Tutkimuskoealojen korjuusta vastasi paikallinen yrittäjä. Kaikki koealat hakattiin samalla hakkuukoneella, ja hakkuun suoritti aina sama hakkuukoneenkuljettaja. Hakkuukoneena tutkimuksessa oli Ponsse Beaver vuosimallia 2012. Ponsse Beaver on kuusi-pyöräinen keskiraskas yleisharvesteri, jonka tyypillinen omapaino on valmistajan ilmoituksen mukaan 17 100 kg. Ponsse Beaver soveltuu hyvin ensiharvennuksille maastokelpoisuutensa ja ketteryytensä ansiosta. (Ponsse Oyj 2012.)

Kyseinen hakkuukone oli varustettu 950 kg:n painoisella Ponsse H5 -hakkuulaitteella sekä ulottumaltaan 11 metriä olevalla Ponsse C22 -liikeratanosturilla. Ponsse H5 -hakkuulaite on harvennushakkuiden tehokas yleisharvesteripää, jonka suunnittelussa on keskitytty etenkin joukkokäsittelyn sujuvuuteen. Harvesteripäässä joukkokäsittely perustuu karsimaterien ja syöttörullien automaattiseen toimintalogiikkaan. Syöttörullien pitäessä kiinni harvesteripäässä olevasta nipusta voidaan karsimaterillä samalla tarttua uuteen runkoon. Harvesteripäässä oli kolme syöttörullaa, neljä liikkuvaa karsintaterää ja yksi kiinteä karsintaterä. Syöttöyksikön suurin avauma oli valmistajan ilmoituksen mukaan 530 mm. (Ponsse Oyj 2012.)



KUVA 1. Joukkokäsittelyä Int 1 -koealalla (Joonas Vaaramaa 2012)

Tutkimuskoealojen korjuusta vastanneella kuljettajalla oli alalta neljän vuoden kokemus. Tänä aikana hän oli työskennellyt pääasiassa hakkuukoneen kuljettajana. Tutkimuksessa mukana olleella koneella kuljettaja oli työskennellyt nelisen kuukautta. Kuljettajalla oli vankka kokemus normaalista kuitupuun yksinpuin hakkuusta, ja hänellä oli myös kahden vuoden kokemus energiapuuharvennuksista joukkokäsittelyä hyödyntäen. Integroidusta hakkuusta kuljettajalla oli sen sijaan hyvin vähäinen kokemus; Kyseisellä menetelmällä hän oli oman arvionsa mukaan valmistanut 50–100 m³ aines- ja energia-puuta.

3.3 Tutkimuskoealat ja mitatut tunnuksset

Tutkimusta varten pyrittiin löytämään pinta-alaltaan tarpeeksi suuri ja puustoltaan riittävän tiheä ensiharvennusmännikkö. Yhtiön varannosta valittiin kymmenen leimikkoa maastotarkastuksiin sopivan leimikon löytämiseksi. Työntutkijan toimesta kaikki leimikot kierrettiin läpi, ja maastotarkastelujen perusteella tutkimusleimikoksi valittiin Tervolassa sijainnut Tornator Oy:n leimikko. Leimikon valintaan vaikuttivat ensisijaisesti lähtöpuuston tunnuksset, leimikon koko, korjuukelpoisuus sekä maantieteellinen sijainti.

Tutkimusleimikko oli 35–40 vuoden ikäinen männikkö ja ravinnetasoltaan tuore kangas. Lähtöpuuston runkoluku ja keskiläpimitta eivät vaihdelleet suuresti leimikon sisällä, kun taas puulajisuhteissa esiintyi jonkin verran vaihtelua (taulukko 1). Puulajisuhteiden vaihtelu ei kuitenkaan vaikuttanut olennaisesti tutkimusasetteluun. Tutkimuskoealojen korjuu tapahtui 17.–19.10.2012 ja metsäkuljetus 22.10.2012.

TAULUKKO 1. Koealojen korjuuolot

Koeala	Lähtöpuusto, r/ha	Keskilpm, cm	Mänty	Kuusi	Koivu
YP	2440	10,8	77 %	11,5 %	11,5 %
Int 1	2680	10,5	80,6 %	14,9 %	4,5 %
Int 2	2520	11,4	93,7 %	3,2 %	3,2 %

Jokaista korjuumenetelmää varten perustettiin yksi koeala. Koealat olivat mitoiltaan identtiset. Koealojen pituudeksi muodostui 100 metriä ja leveydeksi 20 metriä. Näillä mitoilla poistettavia runkoja saatiin jokaisella menetelmällä yli 200 kpl, jota voidaan pitää luotettavan aineiston ohjeellisena raja-arvona (Kärhä 2012). Koealat rajattiin etu-

käteen maastoon merkitsemällä hakkuu-uran keskilinja maastoon kuitunauhalla. Koealoilla ei ollut tarvetta ennakkoraivaukseen.

Jokaiselta hakkuumenetelmän koealalta otettiin viisi neljän metrin säteistä ympyräkoealaa 20 metrin välein hakkuu-uran keskilinjan molemmin puolin. Koealoilta kirjattiin runkoluku sekä kaikkien koealalla olleiden runkojen rinnankorkeusläpimitat. Rinnankorkeusläpimita mitattiin mittasaksilla yhden sentin tarkkuudella. Lisäksi jokaisesta rinnankorkeusläpimittaluokasta valittiin vähintään neljä lukupuuta, joista mitattiin myös pituus. Lukupuut olivat pääsääntöisesti mäntyjä, mutta myös kuusen ja koivun osalta lukupuista pyrittiin saamaan mahdollisimman paljon pituushavaintoja.

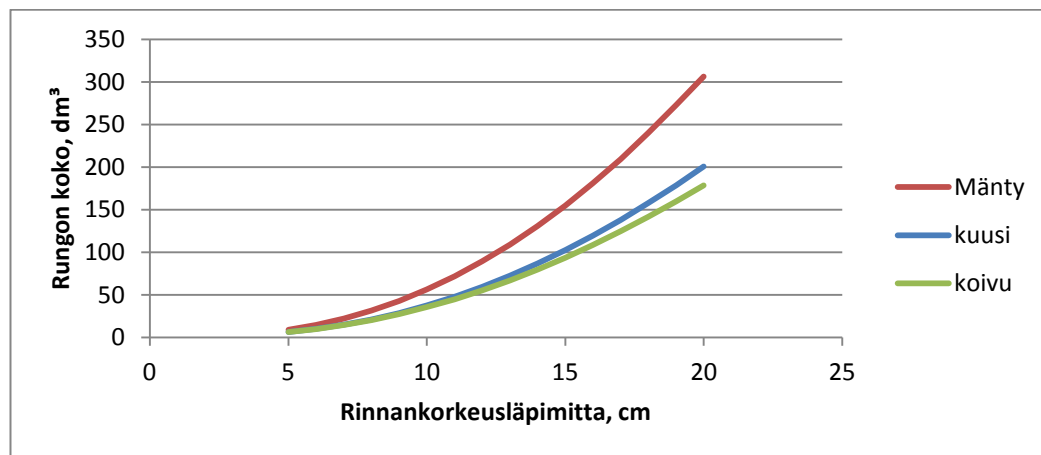
Koealojen hakkuu videokuvattiin siten, että työntutkija istui hakkuukoneen hytissä ja kuvasi kaikkien koealojen hakkuun alusta loppuun. Koealojen hakkuiden jälkeen jokaiselta hakkuumenetelmän koealalta otettiin uudestaan viisi neljän metrin säteistä ympyräkoealaa 20 metrin välein hakkuu-uran keskilinjan molemmin puolin kuitenkin niin, ettei ajoura vaikuttanut mittaustuloksiin. Ympyräkoealoilta kirjattiin runkoluku sekä kaikkien koealalla olleiden runkojen rinnankorkeusläpimitat. Mahdolliset korjuuvauriot kirjattiin ylös koealoittain. Tutkimuksen pääpainon ollessa korjuun toteutuksessa ei systemaattista korjuujäljen laadunarviointia katsottu tarpeelliseksi.



KUVA 2. Näkymä Int 1 -koealalta hakkuun jälkeen (Joonas Vaaramaa 2012)

Hakattu puumäärä mitattiin koealakohtaisesti punnitsemalla kuitu- ja rankapuuositteet metsätraktorin kuormainvaa'alla metsäkuljetuksen yhteydessä. Ainespuun tuoretiheys määritettiin yksinpuin hakkuun koealalta saatujen tilavuustietojen sekä metsäkuljetuksesta saatujen massojen avulla. Ainespuun tuoretiheyden arvoksi saatiin 891 kg/m^3 . Energiapuun tuoretiheytenä käytettiin 930 kg/m^3 energiapuun mittaussoppaan mukaan (Lindblad ym. 2008).

Yksittäisten puiden runkotilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöiden avulla (kaava 1; liite 1). Kaavoissa tarvittavat puulaji- ja rinnankorkeusläpimittatiedot saatiin työntutkijan keräämistä aikatutkimushavainnoista. Pituustietona käytettiin koealoilta kerättyjen lukupuiden pituus- ja läpimittatietojen perusteella muodostettua Näs-lundin (1936) pituusmallia (kaava 2; liite 2). Kuviossa 3 on havainnollistettu rinnankorkeusläpimitan vaikutusta rungon kokoon puulajeittain. Laskennallisesti saatuja runkotilavuusarvoja käytettiin teho- ja käsittelyajanmenekkiyhtälöiden laadinnassa (kaava 3; kaava 4).



KUVIO 3 Rungon koon (kokopuuta) suhde rinnankorkeusläpimittaan

3.4 Työvaihejaottelu

Aikatutkimuksen toteutus videokuvausta hyödyntäen antoi edellytykset erittäin yksityiskohtaiselle työvaihejaottelulle. Aikatutkimuksessa sovellettiin kuitenkin Metsätehossa vakiintunutta hakkuutyön työvaihejaottelua (Kärhä ym. 2006a). Tutkimuksessa käytettyyn työvaihejaotteluun päädyttiin työntutkijan päätöksestä. Kyseessä oli työntutkijan ensimmäinen aikatutkimus, joten työvaihejaottelua ei kannattanut toteuttaa liian yksityiskohtaisena. Tutkimuksen vertailtavuuden kannalta oli myös perusteltua käyttää

samankaltaista työvaihejaottelua kuin vastaavissa tutkimuksissa. Työn tilaajalla ei myöskään ollut tarvetta erittäin yksityiskohtaiseen työvaihejaotteluun.

Videokuva tulkitsemalla jokaisesta käsitellystä rungosta kirjattiin ylös puulaji ja arvioitu rinnankorkeusläpimitta työntutkijan toimesta. Mikäli useampia runkoja käsiteltiin samanaikaisesti joukkokäsittelyllä, kirjattiin runkojen kappalemäärä hakkuulaitteessa. Tällöin yksittäiseen runkoon kohdistuva ajanmenekki saatiin jakamalla kouranipun prosessointiin kulunut kokonaisaika hakattujen runkojen kappalemäärällä, jolloin jokaiselle rungolle saatiin yhtä suuri osuus käytetystä kokonaisajasta. Yksittäiseen runkoon käytetty aika jakautui edelleen yksittäisille työvaiheille, joiden ajanmenekit voitiin erottaa videomateriaalia tulkitsemalla. Mikäli työvaiheita tehtiin samanaikaisesti, esimerkiksi siirtymisen aikana aloitettiin hakkuulaitteen vienti, jaettiin työvaiheisiin kulunut yhteisaika siinä suhteessa molemmille vaiheille, kuin ne olivat videonauhalla tarkasteltuna todellisuudessa jakautuneet.

Aikatutkimuksessa käytettiin seuraavanlaista työvaihejaottelua:

Siirtyminen

Siirtymisellä tarkoitetaan hakkuukoneen siirtymistä työpisteeltä toiselle. Työvaihe alkoi, kun hakkuukone lähti liikkeelle, ja päättyi, kun monitoimiosan siirto kaadettavalle puulle alkoi.

Vienti

Vienti tarkoittaa monitoimiosan siirtoa kaadettavalle rungolle ja runkoon tarttumista. Työvaihe alkoi, kun monitoimiosaa alettiin siirtää poistettavan puun tyvelle, ja päättyi monitoimiosan ollessa kiinni puun tyvellä.

Kaato

Kaato tarkoittaa poistettavan puun tai puiden hallittua kaatamista. Työvaihe alkoi, kun monitoimiosa oli tuotu ensimmäisen kaadettavan puun tyvelle, ja päättyi, kun viimeisen kouraan kerätyn puun kaatosahaus oli tehty. Kaadosta kirjattiin puiden määrä hakkuulaitteessa, kaadettujen puiden puulajit sekä taakassa olleiden runkojen läpimitat työntutkijan arvioimana.

Tuonti käsittelypaikalle

Tuonti käsittelypaikalle tarkoittaa kaadettujen runkojen siirtoa työskentelypaikalle, jossa rungot karsitaan ja katkotaan. Työvaihe alkoi, kun viimeisen kouraan kerätyn rungon kaatosahaus oli tehty, ja päättyi, kun monitoimiosan syöttörullat alkoivat syöttää puutaakkaa karsintaa ja katkontaa varten.

Karsinta ja katkonta

Karsinta ja katkonta -työvaihe sisältää runkojen karsinnan, katkonnan, koneellisen mittauksen ja pölkkyjen tavanomaisen kasauksen. Työvaihe alkoi, kun syöttörullat alkoivat syöttää puutaakkaa, ja päättyi, kun viimeinen ainespuupölkky oli katkaistu.

Latvan käsittely

Latvan käsittely tarkoittaa integroidulla kahden kasan menetelmällä latvaosan valmistamista karsituksi rangaksi. Työvaihe alkoi, kun ainespuupölkky oli katkaistu, ja päättyi, kun karsittu ranka oli energiapuukasassa.

Energiapuun prosessointi

Energiapuun prosessointi tarkoittaa integroiduilla menetelmillä nipun karsintaa ja katkontaa suoraan energiarangaksi. Työvaihe alkoi, kun puutaakkaa alettiin syöttää ja lopui puutaakan ollessa energiapuukasassa.

Apuajat

Apuajoilla tarkoitetaan normaalista työskentelystä poikkeavia tilanteita, kuten hakkuuta haittaavan aliskasvoksen raivausta, kasojen siirtelyä tai työn suunnittelua. Syy kirjattiin.

Keskeytykset

Työvaihe sisälsi normaalista hakkuutyöstä poikkeavat alle 15 minuutin keskeytykset. Keskeytyksen syy (koneen huolto, korjaus tai häiriö; kuljettaja, tutkimus, muu) kirjattiin.

4 TULOKSET

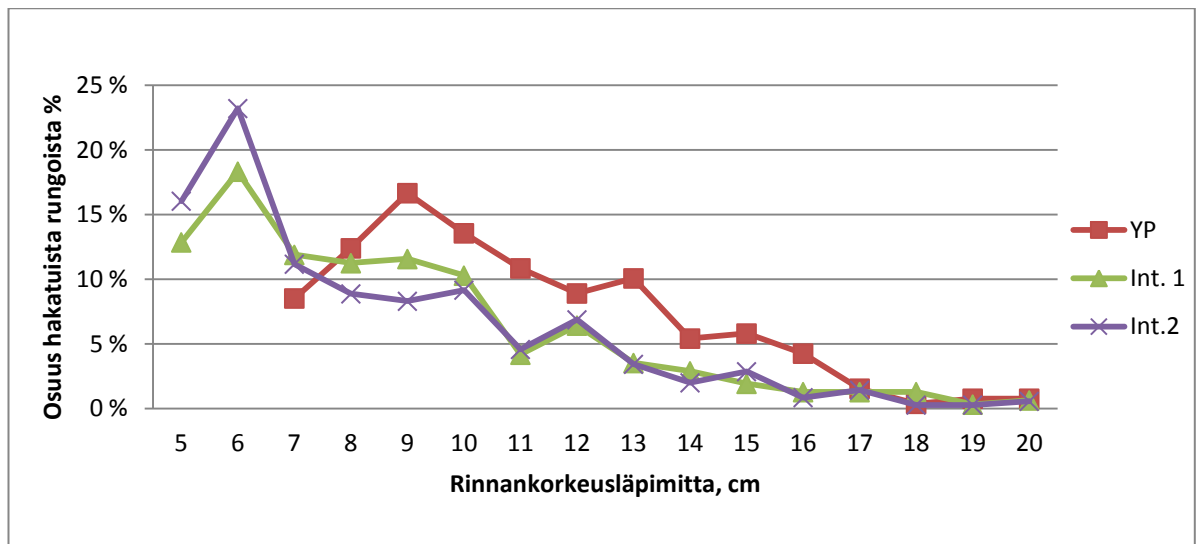
4.1 Korjuutiedot

Kaikkiaan aikatutkimuksessa hakattiin yhteensä 918 runkoa, joista suurin osa oli männyä. Integroiduilla menetelmillä kuusen osuus oli hieman suurempi normaalisti raivattavien pieniläpimittaisten kuusten mennessä energijakeeseen. Poistuman keskikoko dm^3 laskettiin koelakokoista havaintoaineistoista liitteen 1 kaavalla muodostettujen runkokohtaisten tilavuuksien keskiarvona. Poistuman keskikoko oli suurin yksinpuin menetelmän koelalla. (Taulukko 2.) Integroitujen menetelmien rungon keskikokoa pienensi erityisesti 5–7 cm läpimittaisten runkojen suurehko osuus käsitellyistä rungoista (kuvio 4 s.19).

TAULUKKO 2. Tutkimuskoalojen korjuuolot hakkuumenetelmäkohtaisesti

Hakkuu- mene- telmä	Lähtö- puusto r/ha	Poistuma r/ha	Poistuman keskikoko dm^3	Hakkuukertymä m^3/ha	Poistuman puulajisuhteet		
					mänty	kuusi	koivu
Int 2	2520	1510	37	64,5 (34,1+30,4)	72,5 %	22,1 %	5,4 %
Int 1	2680	1620	42	65,4 (0+65,4)	78,1 %	16,1 %	5,8 %
YP	2440	980	49	55,2 (55,2+0)	85,7 %	9,7 %	4,7 %

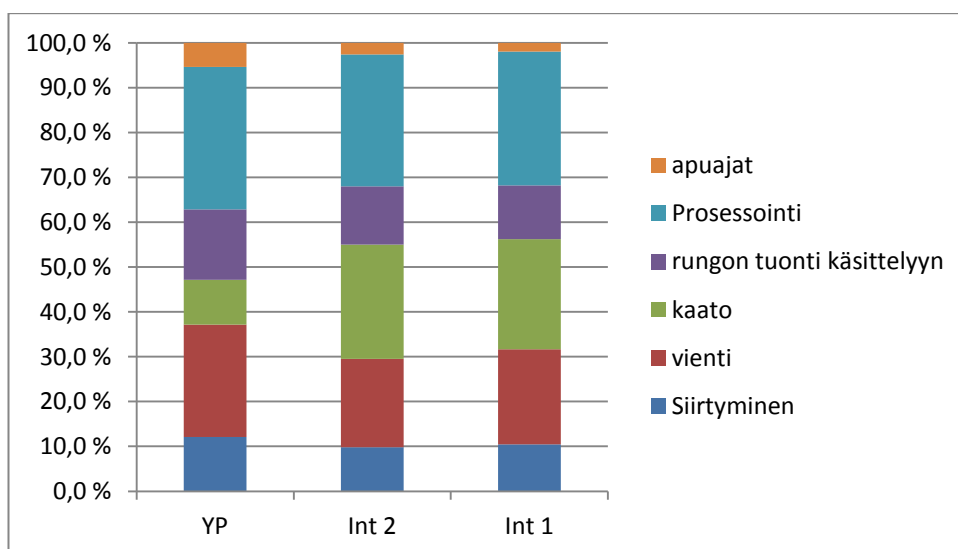
Poistuman rinnankorkeusläpimittajakaumassa esiintyi jonkin verran eroavaisuutta hakkuumenetelmien välillä. Integroiduissa menetelmissä 5–7 cm läpimittaisten runkojen osuus poistumasta oli keskimäärin 45 % (kuvio 4). Liitteessä 3 on esitetty poistuman jakauma rungon tilavuuden mukaan, josta havaitaan, että 5–7 cm läpimittaiset rungot muodostivat kuitenkin vain 13,5 % poistuman tilavuudesta. Hakattaessa yksinpuin pelkkää kuitupuuta poistumasta 66 % oli rinnankorkeusläpimitaltaan 9–14 cm, keskiläpimitan ollessa 11,0 cm. Integroiduilla menetelmillä poistuman keskiläpimitat jäivät pienemmiksi keskiarvon ollessa 8,6 cm. Integroiduissa menetelmissä läpimitaltaan 7–12 cm olleet rungot muodostivat n. 50 % poistumasta (kuvio 4).



KUVIO 4 Poistuman rinnankorkeusläpimittajakauma

4.2 Ajanmenekin rakenne

Tutkimuskoealojen hakkuun tehoajanmenekistä eniten aikaa kului kaikilla menetelmillä rungon prosessointiin eli karsintaan ja katkontaan (kuvio 5). Prosessoinnin osuus tehoajanmenekistä oli noin 30 % kaikilla hakkuumenetelmillä. Prosessoinnin tehoajanmenekkiä tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että Int 2 -menetelmässä prosessointi sisälsi myös latvan käsittelyn ja energiapuun prosessoinnin työvaiheet. Tämä ei kuitenkaan lisännyt prosessointiin kulunutta kokonaisaikaa. Eniten aikaa rungon prosessointiin kului yksinpuin menetelmällä (31,7 %). Joukkokäsittelyn ansiosta integroiduissa menetelmissä prosessointiin kului vähemmän aikaa, kun useampia runkoja käsiteltiin samanaikaisesti.



KUVIO 5. Hakkuun tehoajanmenekki hakkuumenetelmittäin

Integroiduissa menetelmissä toiseksi eniten aikaa kului rungon kaatamiseen. Molemmissa menetelmissä hyödynnettiin hakkuulaitteen joukkokäsittelytoimintoa jolloin useita runkoja kerättiin samaan kouranippuun. Tämän vuoksi työvaiheen osuus tehoajanmenekistä oli keskimäärin 15 % suurempi yksinpuin menetelmään verrattaessa (kuvio 4). Int 1 -menetelmässä joukkokäsittelyprosentti oli 65,6 % ja keskimäärin käsiteltiin 1,6 runkoa/nippu. Int 2 -menetelmässä joukkokäsittelyprosentti oli 67,0 % ja keskimäärin käsiteltiin 1,7 runkoa/nippu. Liitteessä 5 on esitetty joukkokäsittelyn taakkakoon rakennetta tarkemmin.

Yksinpuin menetelmässä toiseksi aikaa vievin työvaihe oli hakkuulaitteen vienti kaadettavalle rungolle. Integroiduissa menetelmissä työvaihe oli vasta kolmanneksi aikaa vievin työvaihe. Integroiduissa menetelmissä vientiin kului vähemmän aikaa, koska työvaihe sisälsi hakkuulaitteen viennin ensimmäiselle poistettavalle rungolle ja seuraavien runkojen poimiminen hakkuulaitteeseen sisältyi näin ollen kaato-työvaiheeseen. Integroiduissa menetelmissä kaukana sijainneet rungot voitiin joukkokäsittää, jolloin hakkuulaitetta liikutettiin vain kerran kauas hakkuukoneesta. Yksinpuin menetelmässä kaukana sijainneet rungot jouduttiin käsittelemään yksitellen, jolloin vienti piti toistaa useita kertoja ajanmenekin näin ollen kasvaessa.

Siirtymien osuus tehoajasta koaloilla vaihteli 9,8–12,1 %:n välillä. Eniten aikaa siirtymisiin kului yksinpuin menetelmässä. Yksinpuin menetelmässä myös apuaikoihin kului eniten aikaa menetelmiä vertailtaessa ajanmenekin osuuden ollessa 5,4 % tehoajanmenekistä. Suurempi apuaikojen ajanmenekki johtui pääasiassa aliskasvoksen raivauksesta. Integroiduilla menetelmillä haittaavaa aliskasvosta ei tarvinnut raivata, vaan sitä voitiin prosessoida suoraan energiarangaksi. Integroiduissa menetelmissä suurin osa apuajan ajanmenekistä kului kasojen järjestelyyn ja hakkuutähteiden siirtelyyn.

4.3 Käsittely- ja tehoajanmenekki

Käsittelyajanmenekki

Runkokohtaiset käsittelyajanmenekit laskettiin Metsätehon yhtälöllä (kaava 3, Kärhä ym. 2006a) koaloittain ja hakkuumenetelmittäin. Käyrät sovitettiin aikatutkimuksesta saatuihin arvoihin Excelin solverohjelmalla. Käyrät sovitettiin koko koaloittaiseen käsittelyajanmenekki aineistoon, eikä mallinnuksessa tehty rajausta rungon koon suhteen. Laskennassa jokaisesta rungosta tuli oma havaintopisteensä. Mikäli taakassa oli enem-

män kuin yksi runko, käsittelyajanmenekki jaettiin tällöin runkomäärällä, jolloin jokaiselle taakan rungolle tuli sama käsittelyaika läpimitasta riippumatta. Muodostamalla jokaisesta rungosta oma havaintopiste saatiin havaintoparven tiheys vastaamaan todellisuutta. Käsittelyajanmenekkiin laskettiin tutkimusmenetelmissä hakkuulaitteen vienti, kaato, rungon tuonti käsittelyyn ja rungon prosessoinnin työvaiheet.

$$y = a + b \times \text{LN}(x - c) + d \times \exp(e - x) \quad (3)$$

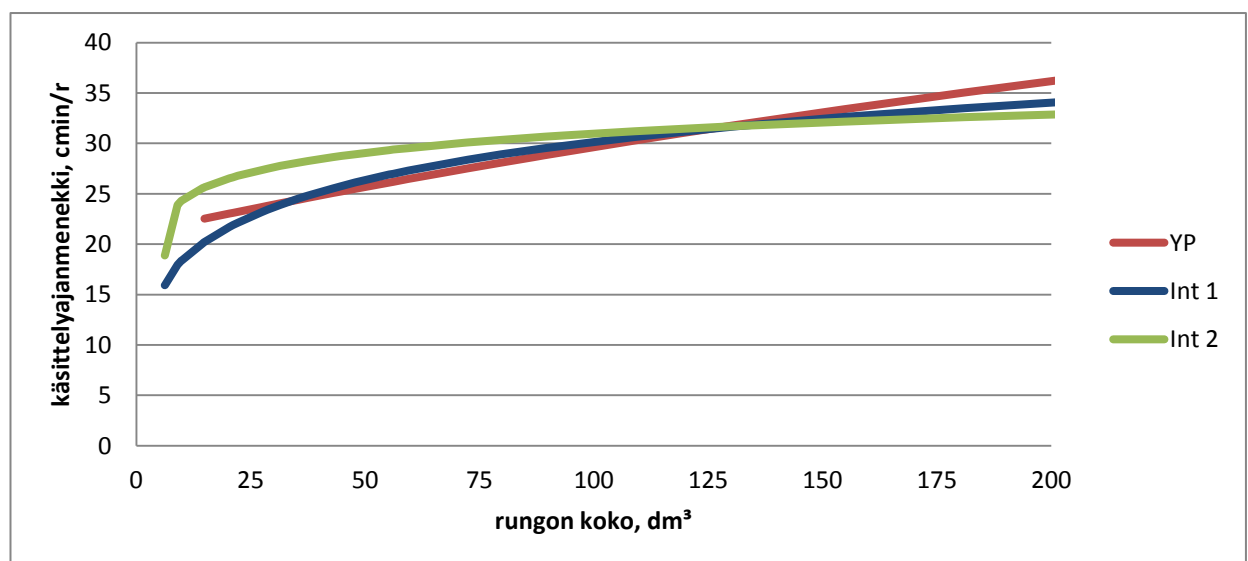
missä

y = rungon käsittelyajanmenekki, cmin/r

x = kokopuurungon koko, dm³

a,b,c,d,e = muuttujien kertoimet

Käsittelyajanmenekkejä tarkasteltaessa hitain menetelmä käyrien perusteella on Int 2 -menetelmä (kuvio 6). Int 2 -menetelmää tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että käsittelyajanmenekissä on mukana energialatvojen käsittely sekä energiarunkojen prosessointi. Int 1 -menetelmä näyttäisi olevan paras menetelmä alle 30 dm³ läpimittaisilla rungoilla. Rungon koon ollessa 30–120 dm³ yksinpuin menetelmä on integroituja menetelmiä nopeampi, tosin ero ei ole suuri Int 1 -menetelmään nähden. Yli 130 dm³ kokoisia runkoja käsiteltäessä molempien integroitujen menetelmien ajanmenekit ovat yksinpuin menetelmää paremmat. Hakkuumenetelmien väliset erot ovat kuitenkin melko pieniä, alle 4 cmin lähes koko tarkasteluvälillä, lukuun ottamatta aivan pienimpiä runkoja.



KUVIO 6. Käsittelyajanmenekki hakkuumenetelmittäin

Tehoajanmenekki

Hakkuutyön tehoajanmenekit laskettiin Metsätehon yhtälöllä (kaava 4, Kärhä ym. 2006a) koealoittain ja hakkuumenetelmittäin. Menetelmien tehoajanmenekkien rakenne erojen (kuvio 5 s.19) vuoksi jokaiselle hakkuumenetelmällä muodostettiin omat apuajat ja työpistesiiirtymiset. Kaikkien runkojen kohdalla ei myöskään ilmennyt siirtymisiä tai apuaikoja, joten oli perusteltua muodostaa laskennallinen kuvaus tasapuolistamaan aineistoa. Ajanmenekit saatiin jakamalla siirtymisiin ja apuaikoihin käytetty kokonaisaika koealalta hakattujen runkojen kappalemäärällä ja ne on esitetty liitteessä 4.

$$y = x_1 + x_2 + x_3 \quad (4)$$

missä

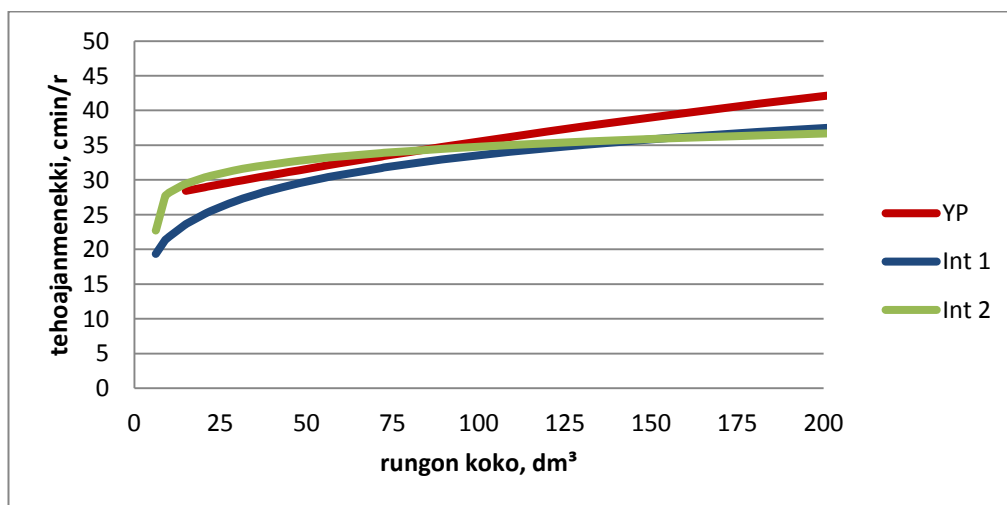
y = tehoajanmenekki, cmin/r

x_1 = työpistesiiirtyminen, cmin/r

x_2 = rungon käsittelyajanmenekki, cmin/r

x_3 = apuajat, cmin/r

Kuvion 7 perusteella voidaan todeta Int 1 -menetelmän olevan lähes koko tarkasteluvälillä nopein menetelmä. Menetelmä on koko tarkasteluvälin ajan vähintään 3 cmin nopeampi kuin yksinpuin menetelmä. Yksinpuin menetelmän korkeampi tehoajanmenekki selittyy apuaikojen suuremmalla osuudella. Int 2 -menetelmä on 15–80 dm³ kokoisilla rungoilla hitain menetelmä, tosin vain hieman yli 1 cmin verrattuna yksinpuin menetelmään. Yli 80 dm³ järeillä rungoilla molemmat integroidut menetelmät ovat yksinpuin hakkuuta nopeampia käyrien perusteella.



KUVIO 7. Tehoajanmenekki hakkuumenetelmittäin

4.4 Tuottavuus

Hakkuutyön tuottavuutta selitettiin tehotuntuottavuudella $\text{m}^3/\text{tehotunti}$ sekä tuottavuudella runkoa/tehotunti. Tuottavuudet esitettiin laskennallisena mallina, jossa rungon koko dm^3 perustui runkopuun tilavuuteen. Tehotuntuottavuuksien vaihteluväli oli keskimäärin $0,8 \text{ m}^3/\text{tehotunti}$ alle 125 dm^3 kokoisilla rungoilla. Tarkasteltaessa tuottavuutta runkoa/tehotunti todettiin molempien integroitujen menetelmien olevan selvästi parempia hyvin pienikokoisilla rungoilla. Koealojen hakkuutietojen perusteella laskettiin myös toteutuneet tuottavuustiedot. Toteutuneet tehotuntuottavuudet laskettiin jakamalla koealalta kertynyt puumäärä hakkuutyön tehoajanmenekillä. Toteutunut käyttötuntuottavuus laskettiin jakamalla koealalta kertynyt puumäärä hakkuutyöhön käytetyllä kokonaisajalla. Kokonaisaika muodostettiin lisäämällä tehoikaan keskeytysten ajanmenekki. Hakkuutyön tuottavuutta on tarkemmin käsitelty liitteessä 6, joka on luottamuksellisuutensa vuoksi vain työn tilaajan käytössä.

5 TULOSTEN VERTAILU

5.1 Aineisto ja menetelmät

Aikatutkimuksessa korjattu runkomäärä (918 runkoa) oli suppeahko verrattuna vastaaviin laajempiin aikatutkimuksiin (Ryynänen & Rönkkö 2001; Kärhä ym. 2006a). Pienemmän otoskoon tutkimuksia kuitenkin löytyy (Heikkilä ym. 2005; Kärhä ym. 2010, 2011b), joissa korjattu runkomäärä oli lähellä tämän tutkimuksen kokoa. Pieneen aineistoon vaikutti ensisijaisesti käytetty tutkimusasettelu, jossa kullekin hakkuumenetelmälle perustettiin vain yksi koeala yhden leimikon sisällä. Samanlainen asettelu oli käytössä ainoastaan Kärhä ym. (2010, 2011b) aikatutkimuksissa.

Pieni otoskoko johtui pääasiassa työntutkijan käytössä olevista resursseista ja aiemman aikatutkimuskokemuksen vähäisyydestä. Kaikissa muissa 2000-luvulla tehdyissä aikatutkimuksissa työntutkijat ovat olleet erittäin kokeneita ammattilaisia, joten tuloksia on vertailtava tämä tosiasia huomioiden. Otoskoon pienuudesta ja työntutkijan kokemuksesta huolimatta tuloksia voidaan pitää riittävän vertailukelpoisina muihin tutkimuksiin nähden, sillä videonauhalla suoritettu työvaiheiden kellotus minimoi työntutkijasta johtuvat inhimilliset virheet. Videokuvauksen ansiosta yksittäisiä työvaiheita voitiin tarkastella useita kertoja epäselvissä tilanteissa ja näin varmistua ajanmenekkien oikeasta jakautumisesta eri työvaiheille.

Aikatutkimuksessa käytetty tutkimusasettelu poikkesi hieman muista 2000-luvulla tehdyistä aikatutkimuksista, sillä kuitupuuta ei hakattu puulajipuhtaana eikä kokopuun korjuuta tutkittu lainkaan. Tutkimuksessa vertailtiin kolmea eri hakkuumenetelmää, kun taas muissa tutkimuksissa on yleensä vertailtu 3–6 menetelmää. Aiemmissä vastaavallisissa tutkimuksissa on testattu joukkokäsittelyä hyödyntäviä hakkuumenetelmiä vaihtelevasti joko yhdellä koneyksiköllä tai useammalla. Metsäkuljetuksen osalta ei suoritettu erillistä aikatutkimusta, joten tutkimusten vertailu keskittyy hakkuumenetelmien välisten erojen tarkasteluun.

Kaikkien aikatutkimuskoealojen hakkuusta vastasi sama kuljettaja. Kuljettajan hyvin vähäinen kokemus integroidusta hakkuumenetelmästä ei voinut olla vaikuttamatta tuloksiin. Kuljettajan vaikutuksen voi havaita etenkin Int 2 -menetelmän käsittely- ja te-

hoajanmenekkien kuvaajista, jotka osoittavat menetelmän olleen tutkimuksen heikoin etenkin pienellä rungon koolla (kuvio 6 s.21; kuvio 7 s.22). Samankaltaisia tuloksia on saatu Kärhä ym. (2010, 2011b) tutkimuksissa, jossa kuljettaja on myös ollut melko kokematon ja vastannut kaikkien eri menetelmien koealojen hakkuusta. Kuljettajan ammattitaidon merkitystä korostivat myös Ryyänen ja Rönkkö (2001) laajassa tutkimuksessaan, jossa havaitut tuottavuuserot saman koneen eri kuljettajien välillä olivat jopa 40 %.

5.2 Korjuutiedot

Kärhä ja Keskinen (2011) selvittivät laajassa tutkimuksessa ensiharvennusleimikoiden korjuuoloja Suomessa ja havaitsivat, että mäntyvaltaisessa ensiharvennuksessa korjattiin keskimäärin 45 m³/ha puuta poistuman keskikoon ollessa 77 dm³. Kun verrataan tämän tutkimuksen leimikon korjuuoloja (taulukko 2 s.18) edellä mainittuun, voidaan todeta tutkimusleimikon olleen keskijäreydeltään selvästi pienempi. On kuitenkin huomioitava, että Kärhän ja Keskinen poistumatiedot on esitetty koko maan keskiarvona ja työmenetelmänä on ollut normaali yksinpuin menetelmä, joten tietoja ei voi suoraan verrata tähän tutkimukseen.

Samankaltaisten aikatutkimusten korjuuoloja on esitetty taulukossa 3, josta voidaan havaita tämän tutkimuksen korjuuolosten (taulukko 2 s.18) olleen keskijäreydeltään kaikkia muita pienempi paitsi Kärhä ym. (2006a) tutkimus. On kuitenkin huomioitava, että Kärhän ym. (2006a) tutkimus käsitteli kokopuun korjuuta pieniläpimittaisissa leimikoissa, joten se ei ole täysin vertailukelpoinen tämän tutkimuksen kanssa. Myös Mäkelä ym. (2002, 2003) tutkivat eri korjuumenetelmien soveltuvuutta ensiharvennuksille, mutta tutkimusten korjuuoloja ei ole koostettu taulukkoon puutteellisten tietojen takia. Kaikki taulukossa 3 esitetyt aikatutkimukset on toteutettu Oulun eteläpuolella, joka osaltaan selittää suhteessa suurempaa keskijäreyttä ja hakkuukertymää parempien kasvuolojen perusteella.

Aikatutkimuskoealat olivat rinnankorkeusläpimittajakaumaltaan samankaltaisia kuin osa aikaisemmista tutkimuksista (Mäkelä ym. 2002, 2003; Heikkilä ym. 2005; Kärhä ym. 2006a) joissa suurin osa hakatuista rungoista oli rinnankorkeusläpimitaltaan 3–8 cm, kuten tässä tutkimuksessa integroitujen menetelmien osalta (kuvio 4 s.19). Vastavasti Kärhä ym. (2010) tutkimuksessa puolet poistumasta oli rinnankorkeusläpimital-

taan 9–12 cm ja Kärhä ym. (2011a) tutkimuksessa puolet poistumasta oli 7–10 cm koko tutkimusaineistojen osalta. Tässä tutkimuksessa YP koealalla n. 62 % poistumasta oli rinnankorkeusläpimitaltaan 8–12 cm. Aikaisempia tutkimuksia tarkasteltaessa voidaan havaita poistuman rinnankorkeusläpimittajakaumalla olevan suora vaikutus poistuman keskijäreytyen. Mitä enemmän on hakattu pieniläpimittaisia runkoja sitä pienempi on rungon keskijäreys ollut.

Taulukko 3. 2000-luvulla tehtyjen aikatutkimusten korjuuololoja

Tutkimus	Lähtöpuusto, r/ha	Poistuma, r/ha	Keskijäreys, dm ³	Hakkuukertymä, m ³ /ha(kuitu+ranka)	Otos- koko
Ryynänen & Rönkkö 2001	1665	642	69	44 (44+0)	15 000 runkoa
Heikkilä ym. 2005 (Int 2)	2164	1174	41	43,6 (35+8,6)	899 runkoa
Kärhä ym. 2006a	Ei ilmoitettu	2880	24	52 (0+52)	400 m ³
Kärhä ym. 2010 (Int 2)	2854	1841	38	69 (45+24)	789 runkoa
Kärhä ym. 2011a (YP)	1480	760	59	45 (45+0)	3313 runkoa
Kärhä ym. 2011a (Int 2)	1730	1000	51	51 (32+19)	
Kärhä ym. 2011a (Int 1)	1990	1270	58	74 (0+74)	
Kärhä ym. 2011b (YP)	2420	1420	73	104 (104+0)	1875 runkoa
Kärhä ym. 2011b (Int 2)	2900	2050	58	120 (103+17)	
Kärhä ym. 2011b (Int 1)	2780	1990	57	113 (0+113)	

Suurella pieniläpimittaisten runkojen osuudella näyttäisi olevan jonkin verran riippuvuutta kuljettajan kokemukseen etenkin integroitujen menetelmien kohdalla. Kärhä ym. (2010, 2011b) tutkimuksissa kuljettajalla oli integroidusta hakkuusta hyvin vähäinen

kokemus kuten tässäkin aikatutkimuksessa. Vähäisen kokemuksen vuoksi pieniläpimitäisiin runkoihin kiinnitettiin tarvetta enemmän huomioita korjuussa, mikä ei suinkaan ole integroidun korjuun päätarkoitus. Korjuun tulisi painottua ainespuumitat täyttävien runkojen käsittelyyn ja näiden runkojen latvakappaleisiin, eikä suinkaan pieniin runkoihin. Työn tilaajan pyynnöstä tässä tutkimuksessa ilmennyttä suurten alamittaisten runkojen vaikutusta ajanmenekkiin ja tuottavuuteen tutkittiin tarkemmin. Tulokset ovat luottamuksellisuutensa vuoksi vain työntilaajan käytössä eikä niitä ole tässä työssä esitetty lainkaan.

Suurella pieniläpimittaisten runkojen osuudella saatiin kuitenkin hehtaariohtaista hakkuukertymää nostettua selvästi normaaliin yksinpuin menetelmään verrattuna. Kertymää lisäsi myös ainespuurunkojen latvakappaleiden talteenotto karsittuna rankana. Tässä aikatutkimuksessa kertymän lisäys oli integroiduilla menetelmillä keskimäärin 17,4 %. Saman suuruista kertymän lisäystä saatiin myös Kärhä ym. (2011b) tutkimuksessa Int 2 -menetelmällä kertymän kasvaessa 16,5 %. Vastaavasti Mäkelä ym. (2002) tutkimuksessa talteen saatava energiapuu lisäsi hakkuukertymää 23–30 % molemmilla integroiduilla menetelmillä. Kertymien lisäyksiä on kuitenkin vertailtava maltillisesti eriävien laskentaperusteiden ja vaihtelevien korjuuolojen vuoksi.

Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu joukkokäsittelyyn ja kannattavuuteen keskeisimmin vaikuttavien tekijöiden olevan korjuussa käytettävän hakkuukoneen ja hakkuulaitteen järeys, leimikon poistuman rakenne sekä hakkuukoneenkuljettajan kokemus tutkittuista työmenetelmästä (Kärhä ym. 2011a, 2011b). Tehty tutkimus vahvistaa aiempia havaintoja, sillä tutkimuksessa käytetty hakkuukone ja etenkin hakkuulaite olivat suhteellisen keveitä verrattuna muihin tutkimuksiin. Kaikilla tutkimuskoealoilla yli 90 % hakatuista rungoista oli rinnankorkeusläpimitaltaan alle 15 cm, mikä vastaa puulajista riippuen 100–150 dm³ rungon kokoa (kuvio 3 s.15; kuvio 4 s.19). Nämä tekijät yhdistettynä kuljettajan vaikutukseen – joka on varsin keskeinen – selittävät suurelta osin pieneksi jäänyttä poistetun rungon keskijäreyttä.

5.3 Ajanmenekin rakenne

Tehoajanmenekin jakautuminen eri työvaiheille oli tarkasti esitetty ainoastaan Rynäsén ja Rönkön (2001) sekä Kärhä ym. (2006b) tutkimuksissa. Molemmissa tutkimuksissa aikaa vievin työvaihe oli vienti ja kaato, jonka osuus tehoajanmenekistä ensiharvennuk-

sella oli keskimäärin Ryynäsellä ja Rönköllä 40–44% ja Kärhä ym.:lla 30 %. Tässä tutkimuksessa vienti ja kaato oli esitetty erikseen, mutta jos työvaiheet yhdistetään, on työvaiheiden yhteenlaskettu tehoajanmenekin osuus kokonaisajanmenekistä 35–45 %, joka on hyvin lähellä Ryynäsen ja Rönkön (2001) tulosta. Tosin Ryynäsen ja Rönkön (2001) sekä Kärhä ym. (2006a) tutkimuksissa työmenetelmänä oli normaali yksinpuin hakkuu eikä joukkokäsittelyä näin ollen hyödynnetty. Tulosten vertailun perusteella voidaan todeta joukkokäsittelyn nopeuttavan jonkin verran hakkuutyöskentelyä viennin ja kaadon osalta. Samaan tulokseen on päästy myös Kärhän ym. (2010, 2011a, 2011b) tutkimuksissa.

Toiseksi aikaa vievin työvaihe oli Ryynäsen ja Rönkön (2001) sekä Kärhän ym. (2006b) tutkimuksissa karsinta ja katkonta, jonka osuus tehoajanmenekistä oli keskimäärin 25 %. Tämän tutkimuksen osalta rungon prosessointi eli karsinta ja katkonta oli eniten aikaa vievin työvaihe, jonka osuus tehoajanmenekistä oli kaikilla menetelmillä n. 30 % (kuvio 5 s.19). Int 2 -menetelmässä rungon prosessoinnin ajanmenekissä oli karsinnan ja katkonnan lisäksi latvan käsittelyn työvaihe, joka lisäsi prosessointiin kulunutta kokonaisaika. Tästä huolimatta rungon prosessoinnin ajanmenekin osuus tehoajanmenekijakaumasta oli lähes sama kuin muilla tutkituilla menetelmillä.

5.4 Rungon prosessoinnin ajanmenekki

Tässä tutkimuksessa runkokohtaiset käsittelyajanmenekit on muodostettu laskennallisesti Metsätehon yhtälöllä (kaava 3 s.21) ja käsittelyajanmenekit on esitetty hakkuumenetelmittäin kuviossa 6. Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella Int 1 -menetelmä on alle 30 dm³ rungon koolla kaikista nopein menetelmä ja rungon koon ollessa 30–120 dm³ ovat yksinpuin menetelmä ja Int 1 -menetelmä hyvin lähellä toisiaan. Int 2 -menetelmä oli sen sijaan ajanmenekiltään hitaampaa kuin yksinpuin menetelmä alle 130 dm³ rungon kokoon asti. Tätä suuremmilla rungoilla molemmat integroidut menetelmät ovat yksinpuin menetelmää nopeampia käyrien perusteella. (kuvio 6 s.21.) Kaikkien tässä tutkimuksessa esitettyjen käyrien voidaan kuitenkin olettaa olevan luotettavia vain tiettyyn rajaan saakka. Integroitujen menetelmien osalta käyrien luotettavuus on kyseenalaista yli 100 dm³ rungon koolla, sillä tätä suurempia runkoja hakattiin molemmilla menetelmillä vain 8 %. Vastaavasti yksinpuin käyrät ovat luotettavia korkeintaan 130 dm³ saakka, sillä tätä suurempia runkoja käsiteltiin vain 9 %. (kuvio 4 s.19.)

Int 2 -menetelmässä rungon käsittelyajanmenekissä oli karsinnan ja katkonnan lisäksi latvan käsittelyn työvaihe, joka lisäsi prosessointiin kulunutta kokonaisaikaa merkittävästi verrattuna yksinpuin menetelmään. Lisäys oli yksinpuin menetelmään verrattuna keskimäärin 4 cmin rungon koon ollessa 25–75 dm³ välillä, joka vastaa n. 16 % lisäystä. (kuvio 6 s.21.) Tulos on samankaltainen kuin Heikkilän ym. (2005) tutkimuksessa, jossa latvojen käsittely aiheutti prosessoinnin ajanmenekkiin 15 % lisäyksen. Heikkilän ym. (2005) tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut joukkokäsittelyä käytössä, mikä selittää suurelta osin aiheutuneen ajanmenekin lisäyksen kun rungot jouduttiin käsittelemään yksinpuin. Tässä tutkimuksessa merkittävimpana tekijänä ajanmenekin lisäykseen voidaan pitää kuljettajan vähäistä kokemusta Int 2 -työmenetelmästä. Samaan johtopäätökseen päädyttiin myös Kärhä ym. (2010) tutkimuksessa, jossa Int 2 -menetelmän 4–7 % korkeamman käsittelyajanmenekin katsottiin johtuneen kuljettajan vähäisestä kokemuksesta.

Runkokohtaisia tehoajanmenekkejä tarkasteltaessa voidaan kuitenkin todeta Int 2 -menetelmän olevan keskimäärin vain 1 cmin hitaampaa rungon koon ollessa 25–75 dm³ välillä (kuvio 7 s.22). Vastaavasti Int 1 -menetelmä on nopein menetelmä aina 150 dm³ rungon kokoon asti. Runkokohtaisessa tehoajanmenekissä on käsittelyajan lisäksi siirtymisten ja apuaikojen ajanmenekit, jotka olivat yksinpuin menetelmällä huomattavasti suuremmat kuin molemmilla integroiduilla menetelmillä. Tämä johtui yksinpuin menetelmällä pääasiassa suuresta aliskasvoksen raivaustarpeesta. Integroiduilla menetelmillä haittaavaa aliskasvosta ei tarvinnut raivata hakkuukoneella. Sen sijaan sitä voitiin prosessoida suoraan energiapuuksi joukkokäsittelyä hyödyntäen. Näin ollen integroiduilla menetelmillä aliskasvoksen raivaus sisältyi rungon käsittelyajanmenekkiin, koska se oli prosessoitavaa puuta eikä menetelmien tehoajanmenekki noussut yhtä paljon kuin yksinpuin menetelmän osalta.

Tulokset osoittavat, etteivät integroidut menetelmät lisää rungon prosessoinnin tehoajanmenekkiä merkittävästi. Käsittelyajanmenekissä puolestaan on eroja integroitujen menetelmien välillä vertailtaessa yksinpuin hakkuuseen. Aiemmissa joukkokäsittelyä käsittelevissä tutkimuksissa on saatu pääosin samansuuntaisia tuloksia kuin tässä tutkimuksessa tarkasteltaessa poistetun rungon koon vaikutusta rungon prosessoinnin ajanmenekkiin. Kaikissa 2000-luvun aikautkimuksissa Int 1 -menetelmän käsittelyajanmenekki on ollut selvästi parempi tai vähintään samaa tasoa kuin yksinpuin menetelmä.

Suurimmat eroavaisuudet tutkimuksissa on saatu Int 2 -menetelmällä. Esimerkiksi Kärhä ym. (2011b) tutkimuksessa Int 2 -menetelmässä käsittelyajanmenekki oli selvästi muita menetelmiä korkeampi, kun taas Kärhä ym. (2011a) tutkimuksessa käsittelyajanmenekki oli lähes samaa tasoa muiden menetelmien kanssa. Tämän tutkimuksen ja aiempien tutkimusten perusteella voidaan todeta Int 2 -menetelmän onnistuvan sitä paremmin mitä enemmän kokemusta hakkuukoneen kuljettajalla on kyseisestä työmenetelmästä.

6 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia ei voida suoraan verrata vastaaviin aikatutkimuksiin, koska erilaiset korjuuolot, työvaihejaottelut, käsittelyajanmenekin ja tuottavuuden laskentatavat sekä rungon koon määrittämiset vaikeuttavat sen tekemistä. Tässä tutkimuksessa käytetyn aineiston koko oli myös varsin pieni verrattuna muihin tutkimuksiin, joten tuloksia kannattaa pitää lähinnä suuntaa antavina. Työntutkijan vaikutus pitää myös huomioida tuloksissa, sillä kaikkien runkojen rinnankorkeusläpimitat arvioitiin työntutkijan toimesta, joten rinnankorkeusläpimittajakaumat eivät varmasti vastaa täysin todellisuutta. Ajanmenekkitietoja voidaan sen sijaan pitää varsin luotettavina, koska työvaiheiden kellotus videonauhalla käytännössä minimoi työntutkijasta johtuvat inhimilliset virheet. On myös muistettava, että aikatutkimustilanne ei vastaa täysin normaalia hakkuutyöskentelyä ja tämä saattaa vaikuttaa kuljettajan työskentelyyn.

Tässä aikatutkimuksessa saadut havainnot vahvistavat aiempien tutkimusten tuloksia integroitujen menetelmien soveltuvuudesta ensiharvennuksille. Integroiduilla menetelmillä voidaan kasvattaa hehtaarikohtaista hakkuukertymää lisätyönä tehdyn energiapuun ansiosta eikä tämä aiheuta merkittävää lisäystä runkokohtaiseen tehoajanmenekkiin. Tulosten perusteella integroidulla korjuulla on mahdollista parantaa hakkuun kannattavuutta Pohjois-Suomen oloissa, jossa ainespuukertymät jäävät yleensä varsin pieniksi. Tulokset vahvistavat myös aikaisempien tutkimusten havaintoja hakkuukoneen kuljettajan osaamisen ja kokemuksen merkityksestä integroidun korjuun onnistumiseen.

Tässä tutkimuksessa integroitu yhden kasan menetelmä osoittautui tutkimuksen parhaaksi kun taas kahden kasan menetelmä oli tutkimustulosten perusteella heikoin. Kahden kasan menetelmässä kuljettajan kokemattomuus menetelmästä vaikutti tuloksiin huomattavasti. Tämän tutkimuksen tuottavuustietojen perusteella ei Int 2 -menetelmän käyttöä pidä kuitenkaan vähentää vaan pikemminkin lisätä, sillä kuljettajan kokemuksen kehittyessä päästään varmasti parempiin tuottavuuksiin. Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista suorittaa uusi aikatutkimus samalla kuljettajalla kun menetelmät ovat tulleet tutummiksi, jolloin kuljettajan vaikutuksesta voitaisiin saada luotettavaa näyttöä. Kustannuksia eri hakkuumenetelmille ei laskettu, koska metsäkuljetus ei sisältynyt aikatutkimukseen. Eri hakkuumenetelmien kustannusten vertailusta saisi jo itsessään varsin laajan tutkimuksen ja aihetta kannattaisi mielestäni tutkia laajemmin.

LÄHTEET

Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen, A. 2010. Energiapuun mittausopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. Luettu 7.2.2013.

http://www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/aineistoja/energiapuun_mittausopas_EM_T_hyvaksyty_27092010.pdf

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metlan työraportteja 10. Luettu 13.3.2013.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf>

Hyvän metsänhoidon suositukset. 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. Helsinki: F.G. Lönnberg.

Kokkarinen, J. (toim.) 2012. Koneellinen puunkorjuu. Hallitusti hyvään tulokseen. Joensuu: Metsäteho.

Metsätilastollinen vuosikirja 2012. 2012. Metsäntutkimuslaitos. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy.

Kärhä, K. (toim.) 2001. Harvennuspuun koneelliset koneelliset korjuuvaihtoehdot. Työtehosteuran julkaisuja 382. Helsinki: Tummavuoren Kirjapaino Oy.

Kärhä, K., Keskinen, S., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006a. Kokopuun korjuu nuorista metsistä. Metsätehon raportti 193. Metsäteho Oy. Luettu 10.3.2013.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_193.pdf

Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006b. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsätehon raportti 187. Metsäteho Oy. Luettu 10.3.2013. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_187.pdf

Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. 2010. Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko- vai rankapuuna? Metsätehon tulosalvosarja 2/2010. Metsäteho Oy. Luettu 26.2.2013.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_02_Integroidusti_vai_erilliskorjuuna_kk_1.pdf

Kärhä, K. & Keskinen, S. 2011. Ensiharvennukset metsäteollisuuden raaka-ainelähteenä 2000-luvulla. Metsätehon tulosalvosarja 2/2010. Metsäteho Oy. Luettu 26.2.2013.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2011_02_Ensiharvennukset_metsateollisuuden_raaka-ainelahteenä_kk_slk.pdf

Kärhä, K., Kumpare, T., Keskinen, S. & Petty, A. 2011a. Ponsse Ergo/H7 rankapuun hakkuussa ensiharvennuksella. Metsätehon tulosalvosarja 1/2011. Metsäteho Oy & Metsähallitus. Luettu 26.2.2013.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2011_01_PonsseErgoH7_kk_ym.pdf

- Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. 2011b. Valmet 901.4/350.1 rankapuun hakkuussa ensiharvennuksella. Metsätehon tulosalvosarja 11/2011. Metsäteho Oy & TTS tutkimus. Luettu 20.3.2013.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2011_11_Valmet_901_350_kk.pdf
- Kärhä, K. kehityspäällikkö. 2012. Suullinen tiedoksianto 11.9.2012. Keminmaa.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Feanniae* 108.
- Metla. Metinfo tilastopalvelu. Tilastot. Hakkuut ja poistuma. Luettu 20.1.2013.
http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/hakkuut/hakkuut_poistuma_mk_t.html
- Metsätehon opetusvideo 1b/2011. 2011. Aines- ja energiapuun integroidun korjuun mahdollisuudet. Metsäteho Oy. Katsottu 10.1.2013.
<http://www.metsateho.fi/opetusvideot/opetusvideo?id=19962988&year=>
- Mäkelä, M., Poikela, A. & Liikanen, R. 2002. Joukkohakkuu aines- ja energiapuun korjuussa. Metsätehon raportti 137. Metsäteho Oy. Luettu 10.3.2013.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_137.pdf
- Mäkelä, M., Poikela, A. & Liikanen, R. 2003. Energiapuun korjuu harvennusmetsistä. Metsätehon raportti 161. Metsäteho Oy. Luettu 10.3.2013.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_161.pdf
- Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 29.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Luettu 7.2.2013. http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf
- Ponsse Beaver. Ponsse Oyj. Tuotteet. Luettu 25.1.2013.
<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/harvesterit/beaver>
- Ponsse C22. Ponsse Oyj. Tuotteet. Luettu 25.1.2013.
<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/nosturit-ja-kuormaimet/harvesterinosturit/liikeratanosturit/c22>
- Ponsse H5. Ponsse Oyj. Tuotteet. Luettu 25.1.2013.
<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/harvesteripaati/h5>
- Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Työtehoseuran julkaisuja 381. Helsinki: Tummavuoren Kirjapaino Oy.
- Valtanen, J. 1994. Pohjois-Suomen suuret avohakkuut 1946–1970. Yhteiskunnallinen tausta, toteutus ja vaikutukset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 533. Oulu: Mattilan kirjapaino.
- Ylimartimo, M. yrittäjäesimies. 2012. Suullinen tiedoksianto 19.10.2012. Keminmaa.

Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.) 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja. Luettu 26.2.2013
http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf

LIITTEET

Liite 1. Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöt

Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöt (1)

$$\text{Mänty (v)} = 0,036089 \times d^{2,01395} \times (0,99676)^d \times h^{2,07025} \times (h-1,3)^{-1,07209}$$

$$\text{Kuusi (v)} = 0,022927 \times d^{1,91505} \times (0,99147)^d \times h^{2,82541} \times (h-1,3)^{-1,53547}$$

$$\text{Koivu (v)} = 0,011197 \times d^{2,10253} \times (0,98600)^d \times h^{3,98519} \times (h-1,3)^{-2,65900}$$

missä

v = rungon tilavuus, dm³

d = rinnankorkeusläpimitta, cm

h = pituus, m

Liite 2. Näslundin (1936) pituusmalli

Näslundin (1936) pituusmalli (2)

$$h = 1,3 + d^2/(a + bd)^2$$

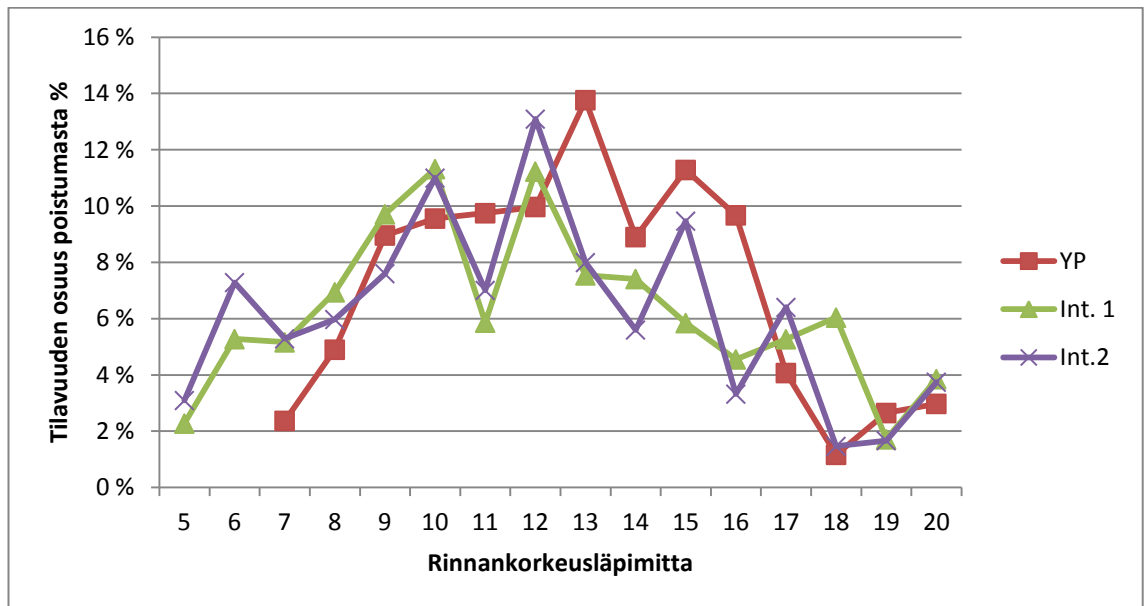
missä

h = pituus, m

d = rinnankorkeusläpimitta, cm

a,b = muuttujien kertoimet

Liite 3. Poistuman jakauma tilavuuden suhteen



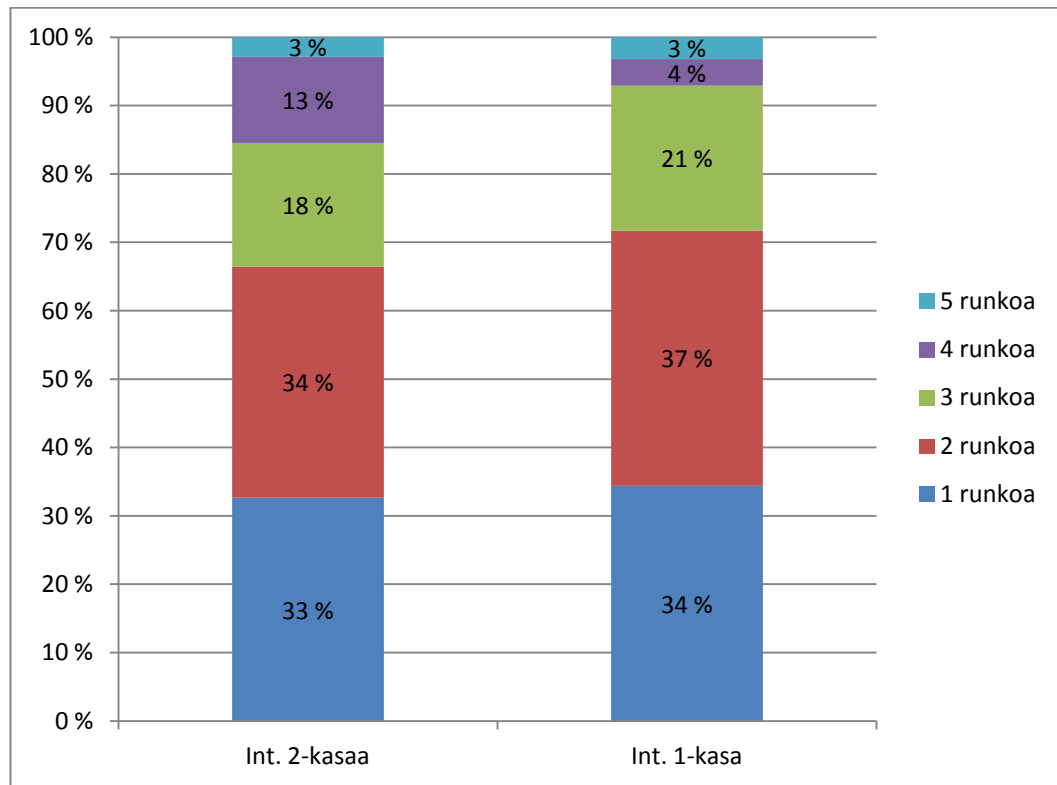
KUVIO 8. Poistuman jakauma tilavuuden suhteen

Liite 4. Koealakohtaiset siirtymis- ja apuajanmenekit, cmin/runko

TAULUKKO 4. Koealakohtaiset siirtymis- ja apuajanmenekit, cmin/runko

	Int 1	Int 2	YP
siirtyminen, cmin	1,72	1,81	4,09
apuajat, cmin	0,32	0,49	1,82

Liite 5. Taakkakokojakauma



KUVIO 9. Taakkakokojakauma

Liite 6. Tuottavuus (luottamuksellinen)

Tuottavuus

1(4)