



ITÄ-SUOMEN
YLIOPISTO

University of Eastern Finland

*Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta
Faculty of Science and Forestry*

Korjuriin asennettavan kannonnostolaitteen työnajanmenekin, kuljettajan työergonomian ja
kantopuun laadun tarkastelu

Joel Sahlman

Metsätieteen pro gradu, erikoistumisala, metsä-, energia- ja puuteknologia

JOENSUU 2015

Sahlman, Joel. 2015. Korjuriin asennettavan kannonnostolaitteen työnajanmenekin, kuljettajan työergonomian ja kantopuun laadun tarkastelu. 40 s.

TIIVISTELMÄ

Kaivinkonepohjaisen kantojen noston tuottavuutta on tutkittu paljon 2000- luvulla pohjoismaissa. Kantopuun laatu, laadun parantaminen sekä kuljettajan ergonomian tutkiminen on jäänyt vähemmälle painoarvolle. Kantopuun laatu ja kosteus vaikuttaa suoraan kannon lämpöarvoon. Kaivinkonepohjaisessa kantojen nostossa tienvarsivarastointiajat ovat pitkiä, jolloin varastoihin sitoutuu merkittävästi pääomaa. Tienvarsivarastoinnin pitkä aika johtuu hyvin pitkälti siitä, että kantopuun kosteus alenee ja kuivaessa epäpuhtaudet karisevat kannosta pois, joiden seurauksena myös lämpöarvo paranee. Perinteisen kaivinkonepohjaisen kantojen noston ongelmia on huono maastoliikkuvuus, pilkkonnan toteuttaminen, pilkkonnan seurauksena syntyvä hävikki ja koneen tärinä.

Kaivinkonepohjaisessa kantojen nostokoneissa kuljettajaan kohdistuva tärinä on yli valtioneuvoston asettaman tärinän raja-arvon. Tärinä vaikuttaa kuljettajan työhyvinvointiin ja kuljettajan terveydenhoitokustannuksiin. Korjuriin asennettavan kannonnostolaitteen eli ajokonekantokouran olettamuksena ennen tutkimusta oli, että kuljettajaan kohdistuva tärinä on vertailukelpoinen ajokoneen ja hakkuukoneen kuljettajien tärinäarvoihin. Tässä tutkimuksessa alustakoneena oli Ponsen-Dual yhdistelmäkone.

Tässä tutkimuksessa ajokonekantokouran soveltuvuutta ja tuottavuutta kantojen nostossa tutkittiin aikatutkimuksen avulla. Aikatutkimusaineisto kerättiin loka-marraskuussa Kuopion Kurkimäestä UPM:n tilalta. Aikatutkimuksessa ajokonekantokouralla nostetuista kannoista vietiin yksi kuorma nopealla toimitusketjulla UPM:n voimalaitokselle Kaipolaan, jossa tutkittiin kantopuun laatu- ja kosteus. Kurkimäen kuorman laatu ja kosteustietoja verrattiin aiemmin tutkittuihin laatu- ja kosteustietoihin, joita UPM oli suorittanut. Aikatutkimuksen aikana Kuopion Työterveyslaitos toteutti kuljettajaan kohdistuvan tärinämittauksen ja tavoitteena oli, että ajokonekantokouran tärinä vastaisi ajokoneen tärinäarvoja. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ajokonekantokouran toimivuus, tuottavuus, työergonomia sekä kantojen noston laatu nopeassa toimitusketjussa.

Kantojen noston keskimääräinen tehotuntituottavuus aikatutkimuksessa oli 2,7 m³/h. Tulosten pohjalta voidaan todeta, että kuljettajan työergonomia on hyvällä tasolla ja ajokonekantokouran tärinäarvot vastaavat ajokoneen kuljettajan tärinäarvoja ja ovat alle valtioneuvoston asettaman tärinän raja-arvon. Kantopuun epäpuhtaudet olivat kuljettajan kokemukseen, prototyypin teknisiin ongelmiin nähden sekä ohjeistukseen nähden kohtuullisella tasolla. Epäpuhtauksia Kurkimäen kuormassa oli 23,3 %, joka on saman verran kuin aikaisemmin Kaipolassa mitatuissa kuormissa. Tulosten pohjalta voidaan todeta, että ajokonekantokoura soveltuu kantojen nostoon, mutta teknisiä ominaisuuksia on kehitettävä, jotta parempi kantopuun laatu ja korkeampi tuottavuus saadaan aikaiseksi.

AVAINSANAT

tuottavuus, ajokonekantokoura, kuljettajaan kohdistuva tärinä, kantopuun laatu ja kosteus

ABSTRACT

Excavators in stump lifting have been researched a lot in Nordic countries. However study of the stump quality and operators work ergonomics has received less attention. The quality of the stumps and stump humidity affects directly on the caloric value. Stumps which are lifted with excavator must be stored a long time at the roadside because the long time roadside storing helps the process of purifying and drying the stumps. Excavator based stump lifting problems are poor off-road mobility, cleavage and machine vibration.

In excavator-based stump lifting the vibration on the operator is over limit which is appointed by the Finnish council of state. The vibration by the machine affects to the operator negatively and compounds work ergonomics. It was supposed before the study that the operator working with harwarder fitted with stump lifting device exposes lower vibration. The stump lifting device was fitted to Ponsse -Dual harwarder in this study.

The objective in this study was to explore the productivity and utility on harwarder fitted with a stump lifting device by time study and the operators vibration caused by the machine. Also one objective was to explore the quality of the lifted stumps. The time study was implemented in Kurkimäki, Kuopio.

The average productivity of the harwarder fitted with stump lifting device in stump lifting were in time study 2,7 m³/h. Productivity were effective time in this study which did not include less than 15 minutes delays. The purity of the lifted stumps in this study was at the average level. Lifted stumps contained 23,3 % soil. The operators work ergonomics were at a good level under the council of states appointed level.

KEYWORDS

Productivity, vibration, quality of the stumps, humidity

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää UPM Kymmene Oyj:n Tero Anttilaa sekä Itä-Suomen Yliopiston Jukka Malista pro gradun tutkielman maltillisesta ja ammattitaitoisesta ohjauksesta.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tutkimuksen taustaa	7
1.2	Kantopuu metsäenergian lähteenä	7
1.3	Kantopuun käytön kasvu	8
1.4	Kantopuun kosteus ja lämpöarvo.....	9
1.5	Kantojen nostokoneet Suomessa.....	9
1.6	Kannon noston tuottavuus	10
1.7	Kannon tilavuuden mittaaminen	11
1.8	Kuljettajaan kohdistuva tärinä	11
1.9	Kantojen korjuun edut ja haitat.....	12
1.10	Tutkimuksen tavoitteet.....	13
2	AINEISTO JA MENETELMÄT	13
2.1	Tutkimusaineisto.....	13
2.2	Tutkittavat koneet	15
2.3	Kuljettajan kokemus	16
2.4	Ajanmenekit pääaineistossa.....	16
2.5	Ajanmenekit lisäaineistossa.....	17
2.6	Kantopuun tilavuuden määrittäminen.....	18
2.7	Tärinämittaukset	19
2.8	Kantojen maa-ainestutkimus.....	21
2.9	Aineiston käsittely ja tulosten analysointi	22
3	TULOKSET	23
3.1	Tehotuntituottavuus pääaineistossa ja lisäaineistossa.....	23
3.2	Ajanmenekkien mallit.....	26
3.3	Prosessointiaika pääaineistossa.....	29
3.4	Tärinämittaukset (TTL)	31

3.5	Kantopuun kosteus ja maa-ainestutkimus.....	31
4	TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	33
4.1	Aikatutkimus ja tuottavuus	33
4.2	Tärinämittaukset (TTL)	35
4.3	Kantojen maa-ainestutkimus.....	35
	KIRJALLISUUS	38

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Nykyisessä kantojen korjuussa on ilmennyt ongelmia mm. telakaivurin heikko maastoliikkuvuus ja lyhyt ulottuvuus. Kantojen pilkonta on tapahtunut vain yhdestä suunnasta, jonka seurauksena syntyy paljon hävikkiä. Kaivinkoneilla kantojen puhdistaminen on konetta ja kuljettajaa kuluttavaa. Toisena kantopuun puhdistamiskeinona on suosittu tienvarsivarastointia, jolloin kantopuun kuivumisen seurauksena maa-aines karisee irti kannoista. Kauan aikaa kestävä tienvarsivarastointi pitkittää toimitusketjua huomattavasti, mutta myös sitoo pääomaa enemmän. Kantopalojen keräily on ollut tehotonta ja kaivinkoneissa käytetyt kantokourat ovat soveltuneet keräilyyn huonosti. Kantojen metsäkuljetus on edellyttänyt erillistä ajokoneen siirtoa, mikä taas lisää huomattavasti kustannuksia.

1.2 Kantopuu metsäenergian lähteenä

Puun energiakäyttö on noussut tasaisesti 1990-luvun alkupuolelta tähän päivään asti. Puun energiakäytön tasaiseen nousuun on vaikuttanut EU:n päästökauppa. Päästökauppa on lisännyt merkittävää kiinnostusta päästövapaisiin energiajakeisiin, kuten metsäenergiaan (Metla News 2010). Metsäenergiaa syntyy pääosin perinteisten metsätalouden jalostusprosessin sivutuotteina, jota käytetään usein laitoksen sähköntuotannossa. Metsäenergiaa hankitaan nuorista metsistä korjattavasta energiapuusta, uudistusalojen latvuksista ja kannoista, järeästä lehtipuusta sekä kirjanpainajien tuhopiusta. Kansainväliset ja kansalliset sopimukset pakottavat metsäenergian käytön lisäämistä, että EU:n ilmastopoliittiset tavoitteet täyttyvät (Metla News 2010).

Metsäenergian käyttömäärien kasvaessa korjuu- ja kuljetuskustannuksista on jouduttu tinkimään ja metsäenergian hankintasäde ulotettu kauemmaksi käyttöpaikoista eli tehtaista. Suurimpien käyttöpaikkojen käyttömäärien kasvamisen vuoksi on tultu kuitenkin siihen tulokseen, että ei ole kannattavaa laajentaa latvusmassan hankintasädettä, vaan rinnalle on pitänyt löytää muita metsäenergian lähteitä, jotta korjuu- ja kuljetuskustannukset eivät nouse liian korkeiksi. Latvusmassan kaukokuljetus- ja korjuukustannusten nousua on pyritty hillitsemään kehittämällä uutta korjuutekniikkaa muille metsäenergian lähteille. Kannot ovat potentiaalinen metsäenergian lähde sekä lämpöarvon että kertymän puolesta (Laitila 2010).

Kantomurskeesta on tullut voimalaitosten arvostama polttoaine sen tasalaatuisuuden, alhaisemman kosteuden ja korkeamman lämpöarvon vuoksi (Laitila ym. 2007). Kantopaloja säilötään usein varastossa pitkään siksi, että epäpuhtaudet karisisivat pois varastolla ja kosteushaihduntaa tapahtuisi mahdollisimman paljon. Varastoituna kantopalat eivät vety niin nopeasti kuin latvusmassa, minkä vuoksi käyttöpaikat keskittävät kantojen käytön kylmille talvikuukausille, jolloin energiantarve on korkeimmillaan (Hakkila 2003).

Tämä tutkimus tehtiin osana BEST – tulevaisuuden kestävä bioenergiaratkaisut – ohjelmaa. BEST – tutkimusohjelma on kahden SHOK – yhtiön CLEEN Oy:n ja FIBIC Oy:n yhteinen tutkimusohjelma, joka ylittää metsä- ja energiateollisuuden rajat. Ohjelman tavoitteena on luoda näkemys tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksista bioenergiaan liittyen ja kehittää kykyä niiden luomiseen. Tutkimusohjelman keskeiset alueet ovat: bioenergiaskenaariot- ja strategiat paikallisella ja globaalilla tasolla, bioenergian hankinta-ketjujen kehittäminen, integroidut konseptit ja kestävä kehityksen varmistamisen kautta lisääntyvät markkinat. BEST- tutkimusohjelmassa on mukana energia-, metsä-, teknologia- ja konsultointiyrityksiä sekä yliopistoja ja tutkimuslaitoksia (BEST - Ohjelma). UPM:n rooli tutkimuksessa kantoenergian osalta on selvittää kuinka kantuun laatua voitaisiin parantaa teknologisten innovaatioiden avulla ja täten nopeuttaa koko kantuun toimitusketjua.

1.3 Kantopuun käytön kasvu

Kantuun käytettiin sulfaattisellun raaka-aineena jo 1970 – 80 luvulla, mutta käyttö kuitenkin tyrehtyi korkeiden korjuu- ja kuljetuskustannusten ansiosta (Hakkila 1976). Kantojen korjuu on lisääntynyt huomasti 2000 – luvulla ja vuonna 2010 kantuun käytettiin noin 1 milj. m³, kun metsähakkeen kokonaiskäyttö oli noin 6,9 milj. m³ (Ylitalo 2011). Kantopuun hankinta ja korjuu tapahtuu pääosin kuusivaltaisilta päätehakuukohteilta. Männyn kantojen korjuumäärä on valtakunnallisesti huomattavasti pienempi kuin kuusen kantojen korjuumäärä. Kantopuun korjuun on mahdollista olla kannattavaa, mikäli kohde on pinta-alaltaan tarpeeksi suuri yli 1ha, kuusivaltainen ja keskimääräiseltä kantolämpimitaltaan järeä yli 30cm. On arvioitu, että Suomessa kantojen korjuupotentiaali on 2,5 milj. m³ vuodessa, mutta kuitenkin koko korjuupotentiaali ei ole käytössä voimalaitosten maantieteellisen sijainnin vuoksi (Laitila 2008a). Kantojen korjuu Suomessa on painottunut voimalaitosten läheisyyteen, koska kalliit kaukokuljetuskustannukset tekevät kantuun hankintasäteen kasvattamisen taloudellisesti mahdottomaksi. Metsähakkeen käyttö kasvoi

Suomessa edelleen vuodesta 2010 vuoteen 2013 1,1 milj. m³, kun vuonna 2013 metsähaketta käytettiin voimalaitoksilla jo 8,0 milj. m³ (Torvelainen ym. 2014).

1.4 Kantopuun kosteus ja lämpöarvo

Männyn kantojen lämpöarvo absoluuttisen kuivaa puukiloa kohti on 19,5 MJ/kg ja kuusen kantojen lämpöarvo hieman alhaisempi 19,1 MJ/kg (Hakkila 1978). Lämpöarvo on suoraan verrannollinen kosteusprosenttiin, ja kun kosteusprosentti kasvaa niin lämpöarvo laskee suoraviivaisesti (Hillebrand ja Nurmi 2001, Kärkkäinen 2007). Metsäenergian hankinnassa laadunhallinta ja -valvonta on tärkeässä asemassa, jotta metsäenergian kosteus saadaan mahdollisimman alhaiseksi. Kosteuden avulla määritetyt laatu- ja määräsuureet antavat tarkan tiedon energiapuun käyttöarvolle, joka palvelee loppukäyttäjää parhaiten. Kosteuden määrittämiseen liittyy ongelmia, koska metsäenergian kosteus pystytään määrittämään tarkasti vasta käyttöpaikalle tultuaan. Kosteuden määrittäminen tapahtuu uunikuivausmenetelmällä. Energiapuun kosteuden mittaaminen on haastavaa mitattavan raaka-aineen ominaisuuksien vuoksi. Energiapuutavaralajit ovat heterogeenisiä ja kosteus jakautuu jakeiden sisällä epätasaisesti (Ronkainen ym. 2014).

Kannot kerätään noston yhteydessä kuivumaan noin 2 – 3 metriä korkeisiin kasoihin palstalle. Kantojen metsäkuljetus suoritetaan 2 – 4 viikon kuluessa nostohetkestä, jotta kannot ehtivät kuivaa palstalla ennen tienvarteen ajoa. Kantopuun kuivattamisella palstalla tavoitellaan metsäkuljetuksen aikana tapahtuvaa kantopuun puhdistumista. Kantopalojen liikuttelu metsäkuljetuksen yhteydessä edesauttaa kuivan maa-aineksen irtoamista kannoista. Kantopuun kosteuden aleneminen on nopeinta ensimmäisen kuukauden aikana, jonka jälkeen kosteushaihdunta hidastuu (Laurila ym. 2010). Epäpuhtaudet, kuten liian suuret kivet ja muu maa-aines voi aiheuttaa ongelmia kantojen kaukokuljetuksessa ja murskauksessa. Myös kokonaiset tai huonosti pilkotut ns. hylkykannot aiheuttavat tehtailta kantojen murskauksessa ongelmia (Laitila ym. 2007). Kantojen korjuuohjeiden mukainen paloittelu noston yhteydessä edesauttaa kuivumista, nostaa kuormakokoa, lisää kuorman tiheyttä sekä parantaa murskaustyön tuottavuutta (Laitila ym. 2007).

1.5 Kantojen nostokoneet Suomessa

Suomessa vuonna 2007 kantojen nostokoneita oli yhteensä käytössä yli 100 kappaletta. Kaikki kyseiset koneet olivat kaivinkonepohjaisia kantojen nostokoneita. Alustakoneena toimiva kaivinkone painaa keskimäärin 17 – 21 tonnia, mutta pääasiassa käytössä olevat

koneet asettuvat 21 – 24 tonnin painoluokkaan. Käytössä olevista kantojen nostokoneista noin puolessa on halkaiseva kantojen nostolaite ja loppuissa kantojara (Kärhä 2007). Kantojarassa ei ole erillistä paloittelulaitetta vaan kannon paloittelu tapahtuu repäisemällä kantoa juuren niskasta noston yhteydessä. Pilkkovilla kantojen nostolaitteilla kannon paloittelu tapahtuu hydraulisella leikkuuterällä. Kaivinkoneet ovat hankintahinnaltaan edullisia verrattuna metsätraktoreihin tai hakkuukoneisiin ja käytöltään monipuolisempia. Kantojen nostokoneet on suunniteltu raskaaseen maanrakennustyöhön, jonka vuoksi niitä voidaan käyttää maanmuokkauksessa laikutuksessa tai mätästyksessä. Maanmuokkaus on liitetty monesti osaksi kantojen nostotyötä (Laitila 2010).

Suomessa kantojen nosto on perustunut kaivinkonepohjaiseen korjuukalustoon eikä metsäkoneita ole juuri käytetty kantojen nostossa. Metsäkoneiden käyttöönottoa kantojen noston alustakoneena on epäilty puomin kestävyuden ja nostovoiman riittävyuden vuoksi. Kantojen nosto on repivää nostotyötä, joka rasittaa konetta, puomia sekä kuljettajaa valtavasti (Kärhä & Peltola 2004). Kantopuun korjuussa laatuvaatimuksena on mm. pieni palakoko. Pilkonnan hallittu toteuttaminen helpottaa kannon irrottamista maasta, joka myös säästää kantojen nostokonetta. Lämpimitaltaan alle 30cm kannot halkaistaan ja sitä suuremmat pilkotaan 4 – 6 kantopalaan. Pilkonta tulisi suorittaa siten, että kantopalassa saisi olla ainoastaan yksi pääjuuri. Mikäli kantopalassa pääjuuria on kaksi tai enemmän, on kantopala pilkottu virheellisesti ja voimalaitoksella kyseinen kantopala luokitellaan hylkykannoksi. Markkinoilla ei ole ollut yksittäisiä prototyypilaitteita lukuun ottamatta kantojen pilkantaan ja nostoon soveltuvia kantokouria (Heiskanen 2004).

1.6 Kannon noston tuottavuus

Laitila (2007) tutki metsätraktorialustaista kantokorjuria ja sen tuottavuutta. Laitilan tutkimuksessa kantolämpimitaltaan 15 – 55 cm kantojen noston tehotuntituottavuus oli kuusen kannoilla 1 – 5,4 m³/h ja männyn kannoilla hieman pienempi. Vastaavilla kantolämpimiteilla kaivukonealustaisten kantojen nostokoneiden tehotuntituottavuus oli Laitilan (2007) tutkimuksessa 1,3 – 20,6 m³/h. Ihalainen & Niskanen (2010) tutki yhdistetyn maanmuokkauksen ja kantojen noston tuottavuutta käyttäen aikaisemmin tutkittua ajanmenekki aineistoa. Ihalaisen & Niskasen (2010) tutkimuksessa kantojen noston käyttötuntituottavuus oli 8,3 m³/h. Käyttötuntituottavuuteen sisältyy alle 15 min keskeytykset, kun taas tehotuntituottavuudessa ei ole minkäänlaisia keskeytyksiä. Ihalainen & Niskanen (2010) muutti tehotuntituottavuuden käyttötuntituottavuudeksi kertoimella 1,17. On havaittu,

että kantopuun korjuuta hidastaa ja vaikeuttaa käsiteltävien kappaleiden pienikoko, pieni kertymä hehtaarilta mutta myös koneilta vaadittavat suuret voimat, jotka vaikuttavat selkeästi kantopuunkorjuun tuottavuuteen (Hakkila 1976). Kannon tuottavuus on laskettu Laitilan tutkimuksessa Hakkilan (1972) mallilla.

1.7 Kannon tilavuuden mittaaminen

Kantopuun tilavuuden määrittämistä ovat tutkineet mm. (Hakkila 1972, Laitila ym. 2007, Repola ym. 2007, Palander ym. 2009). Hakkilan mallissa (1972) saatu kuivamassa muutetaan kiintotilavuudeksi kuivatuoretiheydellä. Laitilan ym. (2007) mallissa Hakkilan (1972) mallin tulos on kerrottu 1,15, jotta Hakkilan (1972) mallien harhaiset massan ennusteet korjataan lähemmäksi oikeita kantobiomassamääriä. Palanderin ym. (2009) mallissa on käytetty hakkuukoneesta saatua dataa kantopuun tilavuuden mallintamiseksi. Palander ym. (2015) vertaili tutkimuksessaan kantopuun tilavuuden mittaamisen yhtälöiden eroja. Palanderin ym. (2009) malli antaa kannolle suuremman tilavuuden suhteessa kantoläpimittaan kuin Hakkilan (1972) tai Laitilan ym. (2007) malli, jolloin myös kantojen noston tuottavuutta määritettäessä tuottavuus on huomattavasti korkeampi. Palanderin ym. (2009) antaa noin 10% korkeamman tilavuuden kuin Laitilan (2007) malli. Palanderin ym (2009) mallia tulisi käyttää kannon tilavuuden määrittämisessä, koska se voidaan tehdä hakkuukoneella etukäteen eikä tehtaalla jälkikäteen. Palanderin ym. (2009) malli on myös tuoreinta tietoa kantopuun tilavuuden määrittämisessä ja yhtä tarkka kuin Repolan ym. (2007) malli. Repolan mallin yhtenä heikkoutena voidaan pitää sen epätarkkuutta leimikkotason tarkasteluissa, joissa Palanderin ym. (2009) malli kalibroitu automaattisesti aikaisempien mittauksien perusteella (Vesa & Palander 2010).

1.8 Kuljettajaan kohdistuva tärinä

Metsähakkeen tuotannon kasvun vuoksi työntekijöiden työturvallisuus on saatava alan ammattilaisten hallintaan työhyvinvoinnin ylläpitämiseksi. (Laitinen ym. 2014) Työhyvinvointia on pystyttävä kehittämään jatkossa samalla tavalla kuin muitakin työmenetelmiä tai teknologisia ratkaisuja. Bioenergian tuotantoketjuissa työntekijöihin kohdistuu hyvin samanlaisia työterveys ja työturvallisuus riskejä kuin perinteisessä metsätaloustyössä. Näitä työturvallisuuden ja työterveyden riskitekijöitä ovat mm. pakokaasut, melu, tärinä ja tapahtumariskit (Laitinen ym. 2014). Nykyisin jo koneen hankintavaiheessa on otettava huomioon työturvallisuus ja -terveystekijät, koska näitä

voidaan pitää tasavertaisina tuloksen tekijöinä kuin tekniset ja tuotannolliset ominaisuudet (Laitinen ym. 2014).

Valtioneuvoston asetuksessa 48/2005 16 § työnantajan on selvitettävä työntekijöiden mahdollinen altistuminen tärinälle ja tunnistettava sen mukaisesti tärinää aiheuttavat tekijät. Mikäli työntekijän tärinäaltistus ylittää toiminta-arvon, niin työnantajan tulisi riskin arvioinnin perusteella laatia ja toimeenpantava tärinätorjuntaohjelma, jonka tavoitteena olisi vähentää tärinäaltistusta sekä minimoida siihen liittyviä terveydelle tai turvallisuudelle aiheutuvia vaaroja. Mikäli työntekijän altistuminen kehontärinälle ei yleensä ylitä toiminta-arvoa, mutta saattaa satunnaisesti ylittää altistuksen raja-arvon, ei työnantajan tarvitse ryhtyä 16 §:ssä tarkoitettuihin toimenpiteisiin. (Finlex 48/2005).

1.9 Kantojen korjuun edut ja haitat

Kantopuun korjuun suurimpana haittana voidaan pitää maanpinnan rikkoutumista, joka vaikuttaa maaperän ravinteiden ja maa-aineksen huuhtoutumiseen. Haittana nähdään myös ravinteiden vähentyminen ja eloperäisen aineksen häviäminen. Kantojen korjuun haittojen välttämiseksi tulee noudattaa annettuja korjuuohjeita. Korjuuohjeet ovat valtakunnallisesti hyvin yhtenäiset, joissa on mainittu selkeästi jätettävien säästökantojen määrä sekä kantojen nostoon soveltuvat kasvupaikat. Myös turhaa maanpinnan rikkomista suositellaan välttämään. (Äijälä ym. 2010).

Kantojen korjuun tärkeimpänä etuna on kuusen- ja männynjuurikäävän leviämisen riskin ehkäiseminen tapauksissa, joissa puulajia ei voida kasvupaikan vuoksi vaihtaa uudistamisen yhteydessä. Kantojen korjuu lisää luontaisesti syntyvien taimien määrää, joka nähdään etuna viljelytaimikon täydentymiselle ja haittana varhaisperkauksen ja taimikonhoidon korkeimmille kustannuksille. Kun luontaisesti syntyvien taimien määrä on kohteella korkea, niin se usein mahdollistaa energiapuunkorjuun nuoresta metsästä. Kantojen nosto alentaa myös maanmuokkauksen hintaa. (Äijälä ym. 2010).

Maanmuokkaus on mahdollista yhdistää kantojen nostoon. Useimmissa kantojen nostolaitteissa on maanmuokkauslevy maanmuokkausta esimerkiksi mätästystä varten. Kantojen korjuu helpottaa myös maanmuokkauksen toteuttamista, jos muokkausta ei ole kantojen noston yhteydessä tehty (Saksa 2002). Kantojen korjuun jälkeen koneellinen metsänviljely on helpompaa (Harstela 2004).

Edellä mainittujen kantopuun korjuun ongelmien seurauksena on tehty ehdotus ajokonekantokourasta. Erilliset työlajit yhdistetään yhdeksi työlajiksi, jolloin kannon nosto ja metsäkuljetus voi tapahtua samana työlajina. Lyhyttä ulottumaa pidennetään ja näin turhaan koneen liikuttelemiseen ei kulu aikaa. Kantojen pilkkomiseen liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi kantokourasta on tehty pyörivä, jolloin kannot voidaan pilkkoa hallitusti monesta eri suunnasta, jonka seurauksena hävikin määrä minimoituu. Kantojen puhdistamisesta aiheutuvaa tärinää ei tapahdu niin paljon, kun kantokoura on eristetty alustakoneesta.

Tutkimuksen toteuttajana toimii UPM ja yhteistyökumppaneina ovat Ponsse, Terosa, Hitsacon, Metsä Groupin korjuuyrittäjä sekä Kuopion työterveyslaitos.

1.10 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää korjuriin asennetun kantojen nostolaitteen toimintaa, tuottavuutta, koneen aiheuttamaa kuormitusta kuljettajalle sekä nostetun kantopuun laatua. Kantojen nostolaitteen toimintaa selvitettiin analysoimalla kantojen nostolaitteen tuottavuus aikatutkimuksella. Kuopion työterveyslaitos selvitti kuljettajaan kohdistuvan tärinän PIMEX-laitteistolla. Aikatutkimuksessa nostetuista kannoista selvitettiin kantopuun kosteus ja epäpuhtauksien osuus maa-aines tutkimuksella sekä röntgen mittauksella UPM:n voimalaitoksella Kaipolassa. Tavoitteena oli myös analysoida pystytäänkö tuottamaan riittävän laadukasta polttoainetta nopealla toimitusketjulla ilman pitkäaikaista tienvarsivarastointia ja kuivumista palstalla.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto kerättiin Pohjois-Savosta Kurkimäestä UPM:n Tetrjärven tilalta. Kohde oli ylivuotinen kohtalaisen järeä lehtomaisen kankaan (OMT) kuusikko, jossa maalajina oli hietamoreeni (HtMr) ja pintakasvillisuudesta n. 80% oli ruohikkoa. Työmaata valittaessa valintakriteerinä käytettiin puulajia eli kuusta, ja kohteeksi haluttiin haastavuudeltaan keskivertoa vastaava kohde. Työmaan koko oli noin viisi (5) hehtaaria. Alueelle perustettiin 25m pitkiä ja 100m leveitä tutkimuskaistoja, joissa työskentely tapahtuu. Alue rajattiin kuitunauhoilla selkeästi. Tutkimuskaistoilta mitattiin ristimitalla ja numeroitiin 300 kpl

kantoja (Kuva 1). Kantoläpimittajakauma oli kohteella 22,1 – 48,5 cm, joka koostui kuusen kannoista kahta koivun kantoa lukuun ottamatta. Kantojen keskiläpimitta oli 32,7 cm. Kannot numeroitiin säätä kestäväillä pinolapuilla riittävän selkeästi, että kannon numero voitiin tarkastaa videolta kellotuksen yhteydessä. Kuvaaaja ohjeistettiin niin, että kannon numeron tulisi näkyä videolla aina silloin, kun kuljettaja vie kouran kannolle, jotta pysyttiin kartalla työskentelyjärjestyksestä. Mikäli videoidussa materiaalissa kannon numeroa ei näkyisi, niin työskentelyjärjestyksestä pidettiin jatkuvaa kirjanpitoa. Aineisto kerättiin 27.10 – 6.11.2014. Aikatutkimus suoritettiin keskiviikkona 29.10.2014 ja lisäaineisto kuvattiin 6.11.2014.



Kuva 1. Kannon merkkäminen.

Työmaalla liikuttaessa käytettiin ohjeistuksien mukaista turvavarustusta. Turvallisuusohjeet kerrattiin osallistuneiden kesken ennen aikatutkimuksen aloittamista. Kaikkien osapuolien oli käytettävä turvaliiviä, suojakypärää, turvakenkiä sekä suojalaseja. Yksinkertainen riskinarviointi tehtiin ennen aikatutkimuksen suorittamista, jonka kävimme osallistuneiden kesken läpi.

Aikatutkimusaineisto videoitiin Kuopion Työterveyslaitoksen toimesta, jonka jälkeen se kellotettiin laboratoriossa. Kuljettajaa ohjeistettiin siten, että videointi ei saa vaikuttaa työskentelyyn ja kantoja saa nostaa missä tahansa järjestyksessä, jotta aikatutkimus ei vaikuttaisi kuljettajan työskentelyyn. Aikatutkimuksessa kuljettaja sai työskennellä parhaaksi katsomallaan työmenetelmällä. Kuljettaja ohjeistettiin, niin että työskentely tapahtuisi 25

metrin tutkimuskaistoissa, jonka jälkeen videointi pysäytettäisiin ja odotettaisiin, että kuljettaja saisi rauhassa kääntää koneen ennen seuraavaa tutkimuskaistaa. Kuljettaja sai totuttautua koneeseen puolentoista työpäivän verran ennen aikatutkimusta.

Aikatutkimusta edeltävät viikot olivat olleet kylmiä, jonka seurauksena maan pintakerros oli hieman roudassa ja kantoja peitti ohut lumipeite. Routaisen maan arvioitiin ennen aikatutkimusta vaikuttavan tutkimukseen niin, että työvaiheista varsinkin puhdistus hidastuisi, koska routainen maa sitoisi epäpuhtaudet tiukemmin kiinni kannon juurin.

Tavoitteena oli, että aikatutkimusaineisto saadaan kuvattua yhden kahdeksan (8) tunnin työpäivän aikana, siten että välttyttäisiin turhilta keskeytyksiltä.

Kurkimäen kuorma ajettiin Kaipolaan maa-ainestutkimukseen ja röntgen mittaukseen, jossa määritettiin kantopuun suhteellinen kosteus ja epäpuhtauksien suhteellinen osuus. Kurkimäen kuormaa verrattiin aikaisemmin Kaipolassa 2012 – 2013 ja Tervasaassa 2014 mitattuihin maa-ainestutkimuksien ja röntgenin suhteellisiin keskiarvoihin. Vertailemalla Kurkimäen kuormaa aikaisemmin mitattuihin tunnuksiin, saimme konkreettisen tiedon kurkimäen kuorman laadusta.

2.2 Tutkittavat koneet

Alustakoneena kantokouralle käytettiin Ponssen -Dual yhdistelmäkonetta, johon kantokoura liitettiin. Kantokoura oli Terosan suunnittelema ja Hitsaconin valmistama koura. UPM oli mukana suunnittelemassa prototyyppiä. Prototyyppiä lähdettiin suunnittelemaan Terosa Oy:n vanhan kantokouran KK900 pohjalta. KK900 osoittautui tehokkaaksi ja kuljettajaa sekä konetta säästäväksi ratkaisuksi. Tavoitteena oli muokata KK900 ominaisuuksia tehokkaammaksi ja suunnitella kantokoura kuormatraktoriin kytkettäväksi. Kantokouran paino on noin 700kg. Ponsse-Dualin valmistajan ilmoittama paino on 18400kg (Ponsse Oyj 2015). Prototyypin suunnittelun lähtökohtana oli, että käsittely-yksikkö suunnitellaan mahdollisimman kevyeksi ja yksinkertaiseksi, kuitenkin niin, että riittävä irrotusvoima saavutetaan. Prototyypin halkaisu ja puhdistusominaisuudet tuli olla tehokkaita ja integroitu siten, että puhdistusta tapahtuisi noston ja läjityksen aikana, jotta joutoaika hyödynnetään. Kantokoura on noin kaksi metriä korkea. Vihreänväriset vastapiikit suorittavat täristävän liikkeen, joiden vastapuolella oleva musta piikki suorittaa halkaisun. Mustassa piikissä on liukuva alaosa, jotta se voi tunkeutua syvemmälle maahan ja keräilyominaisuudet ovat paremmat (Kuva 2.)



Kuva 2. Ponssen- dual yhdistelmäkonne tutkimusmaastossa Kurkimäessä varustettuna kantokouralla.

2.3 Kuljettajan kokemus

Ajokoneen kuljettajana toimi kokenut Karttulan metsätyö Oy:n yrittäjä. Kuljettajalla oli kokemusta enimmäkseen hakkuukoneen ja ajokoneen työskentelystä ainespuuhakkuilla, mutta myös kantojen nostosta. Kuljettaja oli käyttänyt Ponssen -Dual yhdistelmäkonetta ajokoneena sekä hakkuukoneena aiemmin, mutta kantojen nostoon koneen käyttötarkoitus oli kuljettajalle tuntematon. Kuljettaja sai totutella ohjaimiin ja kantokouran käyttäytymiseen lähes identtisessä maastossa, missä aikatutkimus suoritettiin.

2.4 Ajanmenekit pääaineistossa

Tutkimusaineisto jaoteltiin pääaineistoon ja lisäaineistoon. Pääaineisto sisälsi yhteensä 84 kantoa, joiden työvaiheittaiset ajanmenekit kuvattiin. Kuvausmateriaalia jouduttiin kuitenkin karsimaan heikon laadun tai kuvakulman vuoksi ja karsimisen jälkeen pääaineisto koostui 64 kannon ajanmenekistä.

Aikatutkimuksessa kantojen noston ajanmenekit määritettiin tehotyöaikana, joka ei sisällä keskeytyksiä. Keskeytyksiä ei otettu tässä tutkimuksessa huomioon vähäisen aineiston vuoksi.

Ajokonekantokouran tehotyöaika jaettiin seuraaviin työvaiheisiin:

1. kouran vienti kannolle
2. prosessointi (halkaisu, nosto, paloittelu, puhdistaminen ja kasaus)
3. siirtyminen työpisteestä toiseen

Työvaiheista kouran vienti kannolle käsittää ajan, jolloin kone on siirtynyt uudelle työpisteelle ja vie kouran kannolle. Kouran vienti kannolle -työvaihe päättyy kun koura on kiinni kannossa. Prosessointi käsittää ajan jolloin kantojen nostokone halkaisee, pilkkoo, puhdistaa ja kokoaa kantuun metsäkuljetusta varten kasoille. Siirtyminen alkaa silloin, kun prosessointi työvaihe on päättynyt ja kone lähtee liikkeelle kohti uutta työpistettä. Siirtyminen päättyy kun kantojen nostokone on pysähtynyt uudelle työpisteelle. Huomattavaa on, että kantojen nostokoneen ei tarvitse siirtyä jokaisen kannon kohdalla, vaan voi prosessoida usean kannon samalta työpisteeltä. Aikatutkimuksen tehotyöaika jaoteltiin kolmeen työvaiheeseen Laitilan (2010) tutkimuksen työvaiheiden mukaisesti. Laitila (2010) jaotteli tutkimuksessaan kantokorjurin työvaiheet kouran vientiin kannolle, prosessointiin sekä siirtymiseen työpisteeltä toiselle. Aikatutkimuksen ajanmenekkejä vertailtiin Laitilan (2010) saamiin ajanmenekkeihin. Kantokorjurin aikatutkimuksessa on haastavaa tutkia useita työvaiheita ja jaotella prosessointia eri työvaiheisiin, koska työvaiheet eivät etene selkeästi työvaiheesta toiseen ja esimerkiksi puhdistusta tapahtuu koko kannon prosessoinnin ajan.

2.5 Ajanmenekit lisäaineistossa

Lisäaineisto kuvattiin sen vuoksi, että saataisiin lisätietoa prosessoinnin ajanmenekistä. Pääaineistossa prosessointi käsittää halkaisuun, nostoon, paloitteluun, puhdistamiseen ja kasaukseen kuluva ajanmenekin. Pääaineistossa työvaiheita oli kolme: kouran vienti kannolle, prosessointi, siirtyminen. Lisäaineistossa prosessointi jaoteltiin pilkontaan, puhdistukseen ja prosessoinnin apuaikoihin. Tavoitteena oli saada lisätietoa pilkonnan ja puhdistuksen ajanmenekistä.

Lisäaineiston kerääminen tapahtui samalla menetelmällä kuin aikatutkimusaineistokin. Työskentely tapahtui pääaineistoa varten perustetuissa tutkimuskaistoissa, joissa kannot oli numeroitu ja mitattu. Lisäaineisto koostui 9 havainnosta. Lisäaineiston kantoläpimitat vaihtelivat 21 – 37 cm ja kantojen keskiläpimitta oli 29,7 cm. Aikatutkimuksen lisäaineistossa ajanmenekit määritettiin tehotyöaikana, joka myöskään sisällä keskeytyksiä.

Ajokonekantokouran tehotyöaika jaettiin lisäaineistossa seuraaviin työvaiheisiin:

1. kouran vienti kannolle
2. pilkonta
3. puhdistus
4. prosessoinnin apuajat
5. siirtyminen työpisteestä toiseen

Työvaiheista kouran vienti kannolle käsittää ajan, jolloin kone on siirtynyt uudelle työpisteelle ja vie kouran kannolle. Pilkonta käsittää ajan kun kantokoura halkaisee kannon ja pilkkoo sen useampaan osaan prosessointia varten. Pilkontaa voi tapahtua myös kantopalan irrottamisen jälkeen. Puhdistus käsittää työajan, kun kantojen nostokone on irrottanut kantopalan maasta ja poistaa siitä epäpuhtaudet. Prosessoinnin apuajat käsittävät sen ajan, jolloin koura irrottaa kantopalaa maasta tai siirtää kouraa kantokasalta kannolle.

2.6 Kantopuun tilavuuden määrittäminen

Tässä tutkimuksessa käytettiin Laitilan ym. (2007) mallia, koska Laitilan (2007) mallia on käytetty aiemmin kantokorjurien työn tuottavuuden määrittämisessä. Laitilan (2007) mallin käyttäminen mahdollistaa myös tasavertaisen vertailun tuottavuustuloksien välillä. Hakkilan (1972) mallista saatu kuivamassa muutettiin kiintotilavuudeksi kuivatuoretiheydellä. Männyllä kuivatuoretiheys on 473 kg/m^3 ja kuusella 432 kg/m^3 . Kantojen tilavuudet ja kuivamassat korjattiin Laitilan ym. (2007) kerrointa 1,15 käyttäen, jotta Hakkilan (1972) mallien harhaiset biomassan ennusteet korjataan lähemmäksi oikeita kantobiomassamääriä.

Kuusen kantojen tilavuusyhtälö on muotoa:

$$y_l = -7,0 + 0,051d^2 * 1.15 \quad (1)$$

missä

y_l = kuusen kannon kuivamassa, kg

d = kantoläpimitta, cm.

Männyn kantojen tilavuusyhtälö on vastaavasti muotoa:

$$y_2 = -2,0 + 0,039d^2 * 1,15 \quad (2)$$

missä

y_2 = männyn kannon kuivamassa, kg

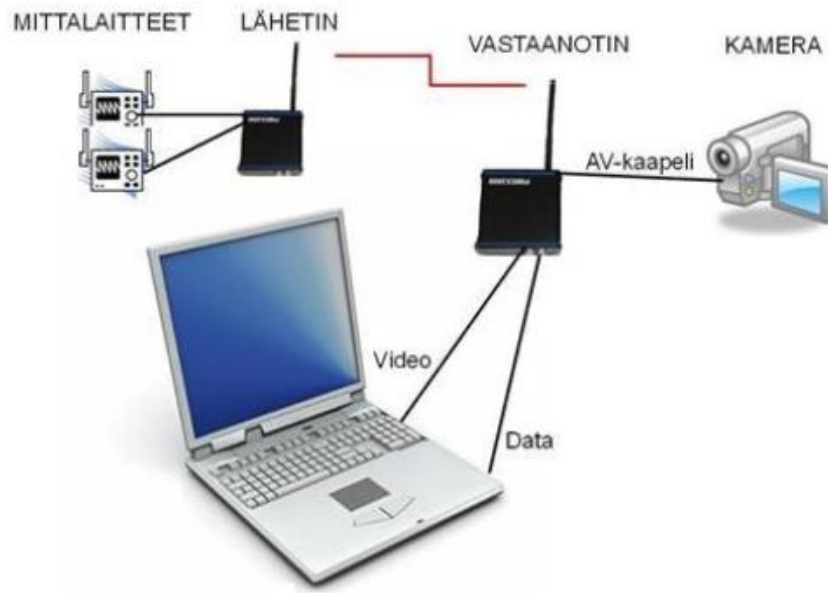
Hakkilan (1972) yhtälö laskee kannon kuivamassan juuren niskan yläpuolelta mitatun kantoläpimitan perusteella.

2.7 Tärinämittaukset

Aikatutkimuksen yhteydessä Kuopion Työterveyslaitos suoritti kuljettajan työergonomiaan liittyvät tärinämittaukset kuljettajan istuimeen kohdistuvasta tärinästä. Istuimen tärinämittaukset tehtiin Larson & Davis HVM100 -mittarilla ja kehotärinäanturilla PCB 356B41 standardin ISO 2631-1:1997 (2) mukaisesti. Kehotärinäanturi asetettiin mitattavan koneen istuimelle (Kuva 3). Pimex -järjestelmä toimii videokuvauksen yhteydessä, jolloin tärinäarvot piirtyvät samanaikaisesti näytölle, jolloin työvaihe on helppo kohdistaa tiettyyn tärinätasoon (Kuva 4.).



Kuva 3. Tärinäanturi istuimella. (Laitinen ym. 2010).



Kuva 4. Pimex -menetelmän periaate. (Laitinen ym. 2010).

(Kuvassa 5) on kaikkien kolmen suunnan eli pitkittäissuunnan x , poikittaissuunnan z , ja pystysuunnan y tärinäkihtyvyydet (m/s^2) siten, että istuimen poikittaissuunnan tärinäkuvaaja on vihreä, pystysuunnan sininen sekä pitkittäissuunnan violetin värinen (Laitinen ym. 2014). Vertailuarvona käytettiin kahdeksan tunnin keskiarvoa. Valtioneuvoston tärinäasetuksessa 48/2005 on määritelty kahdeksan tunnin vertailu aikaan suhteutettu kehotärinän toiminta-arvo, joka on $0,5 \text{ m/s}^2$ (Finlex 48/2005). Tärinää mitattiin kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa, josta mittaussignaalit siirrettiin langattomasti tietokoneelle, jossa mittaustulokset yhdistettiin videokuvaan.



Kuva 5. PIMEX- visualisointi menetelmä.(Laitinen ym. 2010)

2.8 Kantojen maa-ainestutkimus

Kurkimäen tutkimuskuormasta ajettiin suoraan nuppikuorma röntgenmittaukseen, joka oli murskaimen yhteydessä (Kuva 6). Röntgen mittasi kannoista epäpuhtauksien suhteelliset osuudet sekä kosteuden. Kosteus mitattiin kantomurskeesta sekä maa-aineksesta uunikokeella. Toinen osa kuormasta ajettiin Kaipolan pihalle karistekokeeseen. Kannoista karisteltiin enimmäkseen epäpuhtaudet pois energiapuuautolla. Kuormasta mitattiin kokonaispaino, hylkykantojen paino, pihakaristeen paino ja lavakaristeen paino. Hylkykannoiksi määriteltiin kantopalat, jossa pääjuuria oli kaksi tai enemmän (Kuva 7).



Kuva 6. Kaipolan murskaimen yhteydessä oleva röntgenmittaus laite (INRAY), jolla kantopuun kosteutta ja epäpuhtauksien osuutta myös mitattiin.



Kuva 7. Kantojen maa-ainestutkimus käynnissä UPM:n voimalaitoksella Kaipolassa. Hylkykannot ovat eroteltuna vasemmalla.

Nykyisin voimalaitoksilla ei enää paloitella tai murskata kantoja, vaan kaikki ajetaan suoraan murskaimeen, joten kantopalat on pilkottava murskaimeen sopivaksi jo palstalla kantojen noston yhteydessä. Kantopuun epäpuhtauksista: karisteista lavan pohjalla, pihalla, hylkykannoista ja kivistä laskettiin prosentuaaliset osuudet kuorman painoon nähden. Kosteus määritettiin kymmenen uunikoepalan keskiarvona, jossa myös otettiin huomioon maa-aineksen kosteus. Kurkimäen kuorman maa-ainestutkimuksen tuloksia verrattiin aiempiin Kaipolassa tai Tervasaassa tehtyihin maa-ainestutkimusten suhteellisiin keskiarvoihin.

2.9 Aineiston käsittely ja tulosten analysointi

Aikatutkimuksen maastotyöosion jälkeen aineisto kelloitettiin laboratoriossa. Videot pilkottiin osiin, jotta kellotusta ei tarvitse tehdä yhtäjaksoisesti. Kellotus suoritettiin senttisekunneina, jotka muutettiin kellotuksen jälkeen sekunneiksi kertoimella 0,6. Aineisto käsiteltiin Microsoft Excel ohjelmalla ja siirrettiin SPSS- ohjelmaan, jossa käsittelyä jatkettiin regressioanalyysillä. Regressioanalyysin tavoitteena on kuvata riippuvuuden matemaattista muotoa ja riippuvuuden voimakkuutta (Mellin 2006) ja sen avulla voidaan analysoida ja tutkia tekijän tai muuttujan riippuvuutta toisista tekijöistä ja muuttujista (Mattila ym. 2008).

Aineistosta poistettiin outlier- havainnot. Outlier havainnoiksi luokiteltiin kannot, jotka olivat lahoja, haastavassa paikassa tai työskentelyyn tuli keskeytyksiä. Myös kaikki koivun kannot poistettiin aineistosta. Regressioanalyysissä poikkeavilla havainnoilla eli outlier- tapauksilla

voi olla suuri vaikutus regressioanalyysin tuloksiin. Jos outlier- tapauksille löytyy hyvä selitys, joka voidaan mitata ja todistaa, niin se voitaisiin sisällyttää analyysiin uutena muuttujana, jolloin analyysin tulokset eivät enää vääristyisi. (Mattila ym. 2008).

Regressiomallien sopivuutta testattiin F-testillä. F-testi on tilastollinen testi, josta voidaan tulkita pystytäänkö mallissa olevalla muuttujalla selittämään selitettävän muuttujan vaihtelua. F-testillä on merkitsevyystaso eli p-arvo. Mikäli F-testin p-arvo oli suurempi kuin 0,05, niin nollahypoteesi pysyy voimassa ja tuottavuuden tai ajanmenekin havaintojen vaihtelevuus johtuu muusta satunnaisesta tekijästä kuin kantoläpimitan vaihtelevuudesta. Mikäli malli oli normaalijakautunut ja F-testin p-arvo oli tilastollisesti merkitsevä, niin malli otettiin mukaan tarkasteluun. Regressiomallin selitysaste (R^2) selittää kuinka kyseinen malli selittää riippuvan muuttujan vaihtelua. Mallien selitysasteita ei voi vertailla keskenään, mikäli malleissa on eri määrä selitettäviä muuttujia (Niemi 2003). Mitä lähempänä mallin selitysaste on 1, sitä paremmin malli selittää riippuvan muuttujan vaihtelua. Selitysaste kertoo tässä tutkimuksessa ajokonekantokouran tuottavuusmallien kyvyn selittää tuottavuutta kannon läpimitan tai tilavuuden vaihdellessa.

Maa-ainestutkimuksien tulokset Kaipolassa 2012 -2013 ja Tervasaassa 2014 käsiteltiin Microsoft Excel -ohjelmalla ja mitatuista tunnuksista laskettiin suhteelliset keskiarvot ja niiden vaihteluväli. Kuljettajaan kohdistuvat tärinäarvot laskettiin Kuopion Työterveyslaitoksen toimesta.

3 TULOKSET

3.1 Tehotuntituottavuus pääaineistossa ja lisäaineistossa

Kantojen noston tehotuntituottavuus kuvattiin koko aineistossa lineaarisella regressiosuoralla. Lineaarinen regressiosuora soveltui parhaiten hajanaiseen pisteparveen. Lineaarinen suora soveltuu parhaiten kantojen noston luonteeseen, jossa olettamuksena on, että ajanmenekki ja tuottavuus kasvavat kantoläpimitan kasvaessa.

Kantojen noston tuottavuus määritettiin tutkimuksessa tehotuntituottavuutena. Tehotuntituottavuuden kaava on muotoa:

$$P = 3600 * (v/T), \quad (3)$$

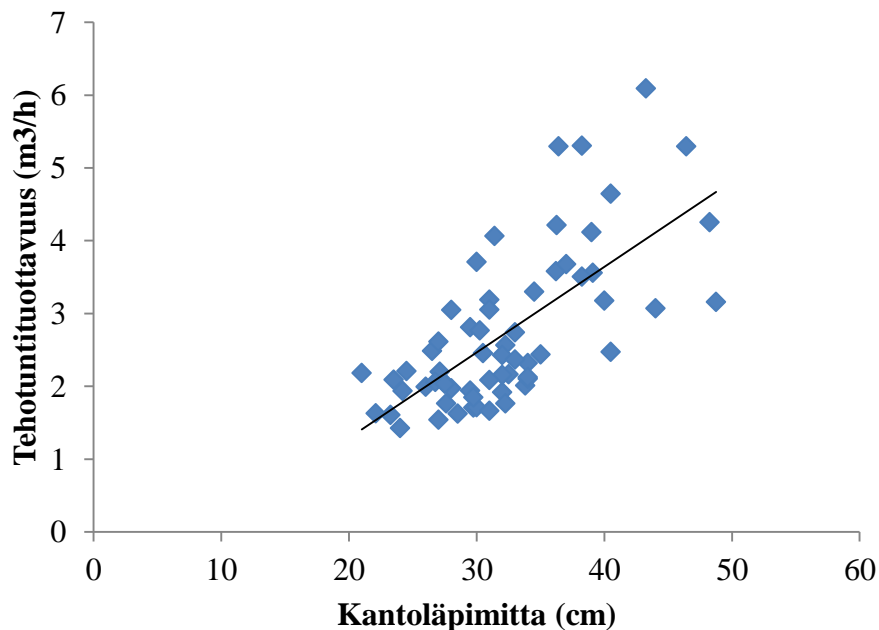
missä

P = tehotuntituottavuus m^3/h

v = kannon tilavuus (m^3)

T = kokonaisajanmenekki (s)

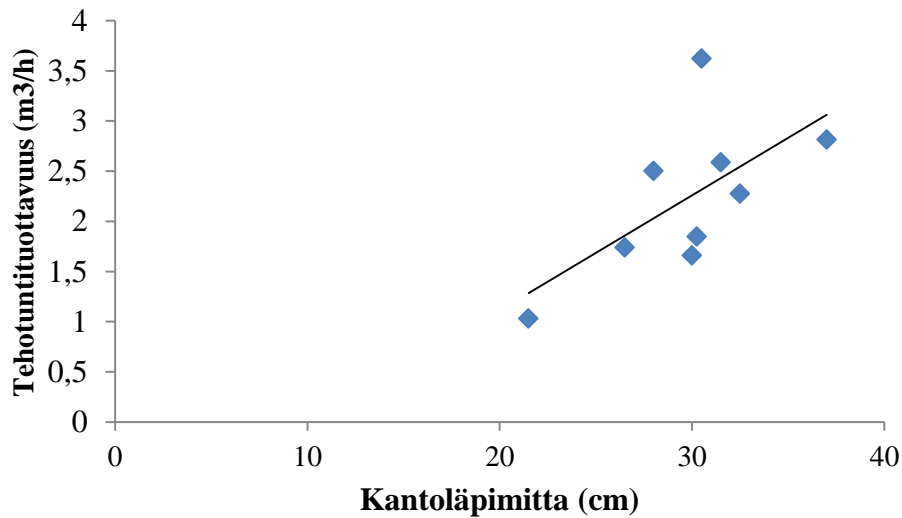
F-Testin nollahypoteesina oli, että kantoläpimita ei vaikuta tuottavuuteen. F-testin p-arvon ollessa 0,00 voidaan tulkita, että kantoläpimitalla voidaan selittää tuottavuuden vaihtelua pääaineistossa ja nollahypoteesi voidaan hylätä (Taulukko 1). Merkillepantavaa on, että tehotuntituottavuuden hajonta on huomattavasti suurempaa kantoläpimitan kasvaessa. Tehotuntituottavuuden hajontaa voidaan selittää sillä, että osa kannoista on tiukemmin maassa kiinni ja haastavampia prosessoida, joka korostuu läpimitaltaan suurissa kannoissa. Kantojen noston tuottavuus malleista on haasteellista johtaa korkeita selitysasteita, koska jokainen kanto on hyvin erilainen ja ei ole ns. vakiokantoja (Kuva 8). Tehotuntituottavuus vaihteli aikatutkimuksessa 1,4 – 6,1 m^3/h . Keskimääräinen tehotuntituottavuus oli pääaineistossa 2,7 m^3/h . Tehotuntituottavuus vaihteli aikatutkimuksen lisäaineistossa 1,03 – 3,62 m^3/h . Keskimääräinen tehotuntituottavuus lisäaineistossa oli 2,23 m^3/h (Kuva 9). Lisäaineistossa havaintoja oli vähäinen määrä, jonka vuoksi F-testiä ei lisäaineistolle tehty.



Kuva 8. Tehotuntituottavuus (m^3/h) kantoläpimitan (cm) funktiona aikatutkimuksessa. $Y = 0,119x - 1,116$, missä y = tehotuntituottavuus (m^3/h) ja x = kantoläpimita (cm). Selitysaste $R^2 = 0,49$.

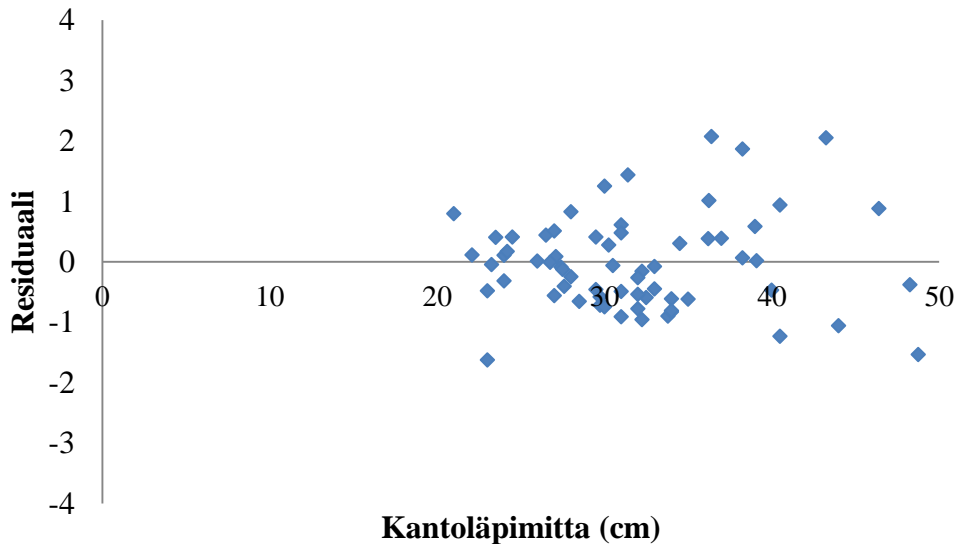
Taulukko 1. Tehotuntituottavuuden malli pääaineistossa, jossa x = kannon läpimitta (cm) ja y = tehotuntituottavuus (m^3/h).

Työvaihe	Riippuva muuttuja	R^2	F-arvo	p	N	Muuttuja	T-arvo	p
Tuottavuus	y	0,49	60,3	<0,0001	64	vakio x	-2,23 7,77	0 <0,0001



Kuva 9. Tehotuntituottavuus (m^3/h) kantoläpimitan (cm) funktiona lisäaineistossa. $y = 0,1147x - 1,182$, missä y = tehotuntituottavuus (m^3/h) ja x = kantoläpimitta (cm). Selitysaste $R^2 = 0,42$

Regressioanalyysin mallissa on aina mukana virhettä, jota kuvataan jäännöstermin eli residuaalin avulla. Residuaali saadaan vähentämällä estimoitu arvo havaitusta arvosta. Residuaalien tarkastelu osoitti, että residuaalit ovat normaalijakautuneita, lineaarisia sekä toisistaan riippumattomia (Kuva 10.)



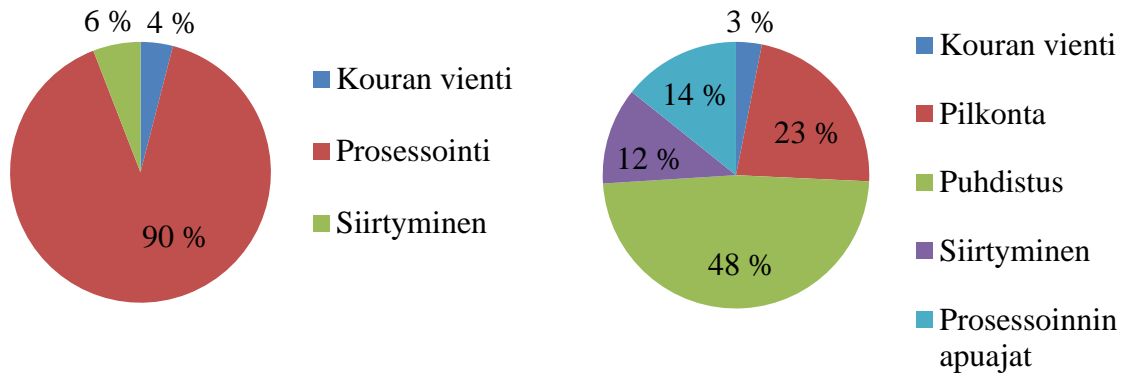
Kuva 10. Tehotuntituottavuuden (m^3/h) kantoläpimitan (cm) funktiona mallin residuaalien tarkastelu pääaineistossa, missä y = residuaali ja x = kantoläpimitta (cm).

3.2 Ajanmenekkien mallit

Pääaineistossa työvaiheista prosessointi käsitti suurimman ajanmenekin kokonaisajanmenekistä. Prosessointiin sisältyi kannon halkaisu, pilkonta, puhdistaminen sekä kantopalan vienti kantokasalle. Ajokonekantokouran erityinen ominaisuus oli, että se pystyi puhdistamaan kantoa täristävällä liikkeellä muun muassa silloin kun kantopala vietiin kasalle.

Lisäaineisto eroaa pääaineistosta siten, että työvaiheita on pienaineistossa enemmän. Lisäaineiston tärkein tavoite oli antaa lisätietoa prosessoinnin ajanmenekin jakautumisesta, ei niinkään tuottavuudesta tai muiden työvaiheiden ajanmenekistä. Aikatutkimusaineistossa prosessointi käsitti suuren osan kokonaisajanmenekistä, joten haluttiin selvittää, mistä prosessointi -työvaihe koostuu. Pienaineistossa prosessointi jaettiin pilkontaan, puhdistukseen sekä prosessoinnin apuaikaan. Vaikka havaintoja lisäaineistossa on vähän, niin lisäaineiston kuvaus onnistui hyvin ja kuljettaja normaalisuorituksen.

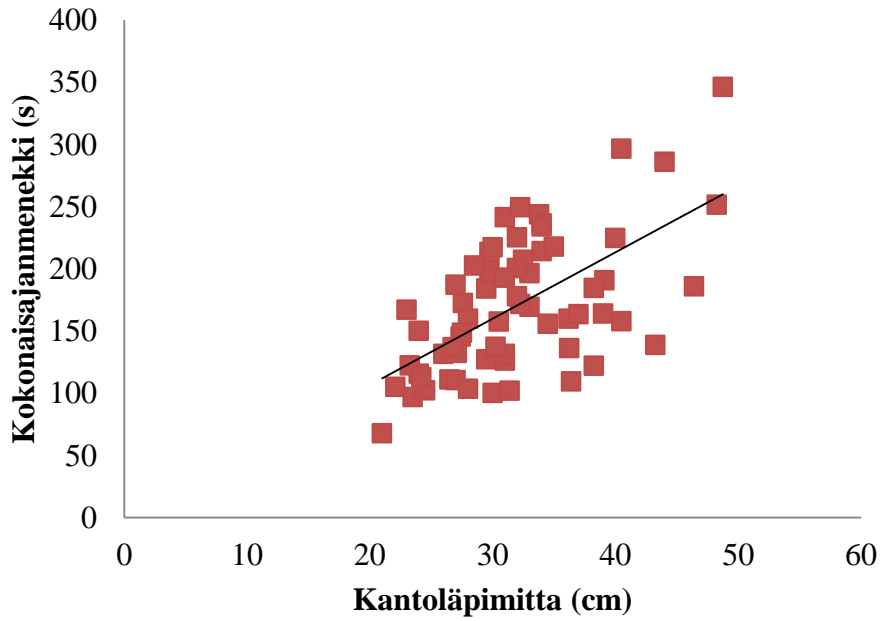
Pienaineistossa prosessointi työvaihe oli jaoteltu pilkontaan, puhdistukseen ja prosessoinnin apuaikoihin. Puhdistus vei kokonaisajanmenekistä lähes puolet. Pilkontaan kului kokonaisajanmenekistä noin neljännes. Puhdistus on työvaiheena hitain työvaihe, mutta myös tärkein työvaihe. Vaikka kantokourassa oli integroitu täristävä liike, niin silti puhdistukseen kului työvaiheista eniten aikaa (Kuva 11.)



Kuva 11. Työvaiheiden ajanmenekit kokonaisajanmenekistä pääaineistossa (vas) ja lisäaineistossa (oik).

Kantojen noston ajanmenekkien malleista on haasteellista johtaa korkeita selitysasteita, koska jokainen kanto on hyvin erilainen ja ei ole ns. vakiokantoja. Kokonaisajanmenekin hajontaa aiheuttaa myös se, että puhdistukseen kuluva aika on vaihteleva jokaisella kannolla, koska kantoihin sitoutuu erilainen määrä epäpuhtauksia. (Kuva 12). Kantokohtaiset ajanmenekit vaihtelivat pääaineistossa 67 – 346 sekuntiin. Keskimääräinen kantokohtainen ajanmenekki oli tutkimuksen pääaineistossa 176 sekuntia ja lisäaineistossa 171,6 sekuntia. Lisäaineistossa havaintoja oli vähäinen määrä, jonka vuoksi F-testiä ei lisäaineistolle tehty.

Kokonaisajanmenekki (s) kantoläpimitan funktiona (cm) kuvattiin lineaarisella regressioanalyysillä. Lineaarinen regressiosuora soveltui paremmin kuvaamaan hajanaista pisteparvea, vaikka muilla mallinnuksilla selitysaste oli korkeampi. Kokonaisajanmenekki kasvaa kantoläpimitan kasvaessa, jolloin lineaarinen suora on paras vaihtoehto. F-Testin nollahypoteesina oli, että kantoläpimita ei vaikuta kokonaisajanmenekkiin. F-testin p-arvon ollessa 0,00 voidaan tulkita, että kantoläpimitalla voidaan selittää kokonaisajanmenekkiä vaihtelua pääaineistossa ja nollahypoteesi voidaan hylätä (Taulukko 2). Merkillepantavaa on, että kokonaisajanmenekin hajonta on huomattavasti suurempaa kantoläpimitan kasvaessa. Kokonaisajanmenekin hajontaa voidaan selittää sillä, että osa kannoista on tiukemmin maassa kiinni ja haastavampia prosessoida, joka korostuu läpimitaltaan suurissa kannoissa.

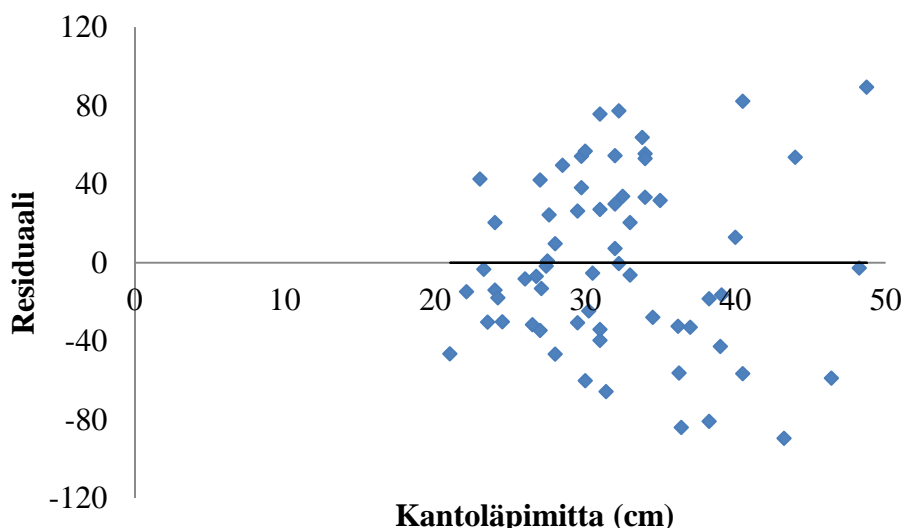


Kuva 12. Kokonaisajanmenekki (s) kantoläpimitan (cm) funktiona. $y = 4,893x + 14,606$, missä y = kokonaisajanmenekki (s) ja x = kantoläpimitta (cm). Selitysaste $R^2 = 0,35$.

Taulukko 2. Kokonaisajanmenekin malli, jossa x = kannon läpimitta (cm) ja y = kokonaisajanmenekki (s)

Työvaihe	Riippuva muuttuja	R^2	F-arvo	p	Havainnot	p
Kokonaisajanmenekki	$t1+t2+t3$	0,35	33,90	<0,0001	64	<0,0001

Regressioanalyysin mallissa on aina mukana virhettä, jota kuvataan jäännöstermin eli residuaalin avulla. Residuaali saadaan vähentämällä estimoitu arvo havaitusta arvosta. Residuaalien tarkastelu osoitti, että residuaalit ovat normaalijakautuneita, lineaarisia sekä toisistaan riippumattomia (Kuva 13.)



Kuva 13. Kokonaisajanmenekki (s) kantoläpimitan (cm) funktiona mallin residuaalien tarkastelu pääaineistossa, missä y = residuaali ja x = kantoläpimita (cm).

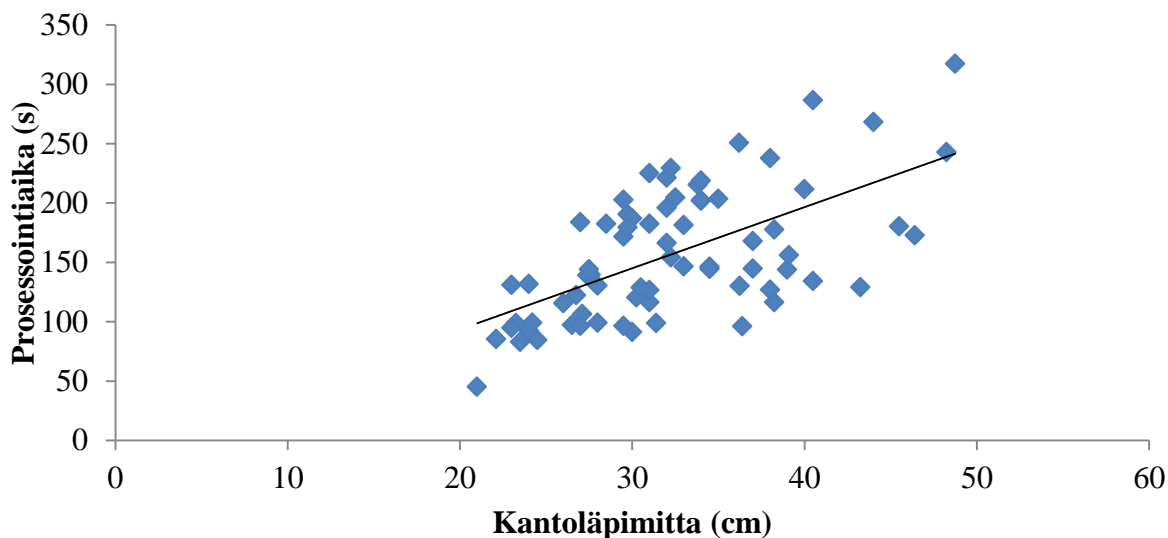
3.3 Prosessointiaika pääaineistossa

Kantojen noston prosessointiaika kantoläpimitan funktiona kuvattiin pääaineistossa lineaarisella regressiosuoralla. Lineaarinen regressiosuora soveltui parhaiten hajanaiseen pisteparveen vaikka muilla mallinnuksilla selityssaste oli korkeampi. Lineaarinen regressiosuora soveltuu parhaiten prosessointiajan kuvaamiseen, koska prosessointiaika pitenee kantoläpimitan kasvaessa ja muut mallinnukset eivät soveltuneet prosessoinnin ajan kuvaamiseen.

Prosessoinnin mallista kantoläpimitan funktiona on haasteellista johtaa korkeita selityssasteita, koska jokainen kanto on vaihteleva ja puhdistamiseen kuluva aika eroaa hyvinkin paljon samaa kokoluokkaa olevilla kannoilla. Puhdistukseen kuluva aika on vaihteleva jokaisella kannolla, koska kantoihin sitoutuu erilainen määrä epäpuhtauksia. Kantokohtaiset prosessoinninajanmenekit vaihtelivat aineistossa 45 – 317 sekuntiin. Lisäaineistossa havaintoja oli vähäinen määrä, jonka vuoksi F-testiä ei lisäaineistolle tehty. Keskimääräinen prosessoinninajanmenekki oli tutkimuksen pääaineistossa 155 sekuntia. (Kuva 14).

Testin nollahypoteesina oli, että kantoläpimita ei vaikuta prosessoinninajanmenekkiin. F-testin p-arvon ollessa 0,00 voidaan tulkita, että kantoläpimitalla voidaan selittää prosessoinninajanmenekin vaihtelua pääaineistossa ja nollahypoteesi voidaan hylätä (Taulukko 3). Merkillepantavaa on, että prosessointiajan hajonta on huomattavasti suurempaa kantoläpimitan kasvaessa. Kokonaisajanmenekin hajontaa voidaan selittää sillä, että osa

kannoista on tiukemmin maassa kiinni ja haastavampia prosessoida, joka korostuu läpimitaltaan suurissa kannoissa.

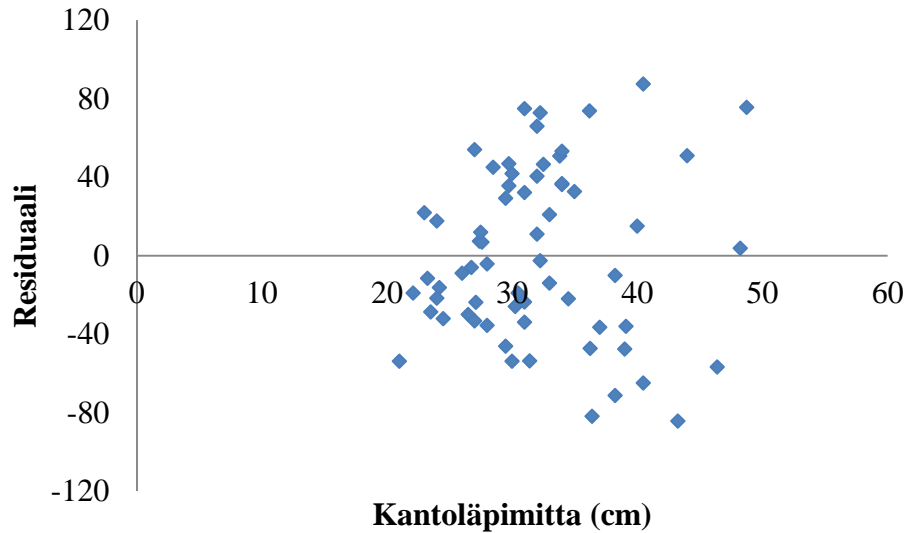


Kuva 14. Prosessointiaika (s) kantoläpimitan (cm) funktiona. $y = 5,014x + -6,410$, missä y = prosessointiaika (s) ja x = kantoläpimitta (cm). Selitysaste $R^2 = 0,37$.

Taulukko 3. Prosessointiajanmenekin malli, jossa x = kannon läpimitta (cm) ja y = Prosessointiaika (s)

Työvaihe	Riippuva muuttuja	R^2	F-arvo	p	Havainnot	Termi	T-arvo	p
Prosessoinninajan menekki	YI	0,37	39,82	<0,0001	64	constant x	-0,24 6,31	0 <0,0001

Regressioanalyysin mallissa on aina mukana virhettä, jota kuvataan jäännöstermin eli residuaalin avulla. Residuaali saadaan vähentämällä estimoitu arvo havaitusta arvosta. Residuaalien tarkastelu osoitti, että residuaalit ovat normaalijakautuneita, lineaarisia sekä toisistaan riippumattomia (Kuva 15.)



Kuva 15. Prosessointiaika (s) kantoläpimitan (cm) funktiona mallin residuaalien tarkastelu pääaineistossa, missä y = residuaali ja x = kantoläpimitta (cm).

3.4 Tärinämittaukset (TTL)

Kuopion työterveyslaitos mittasi kuljettajaan kohdistuvan tärinän toiminta-arvon tärinäkiihtyvyyden pitkittäissuunnan, poikittaissuunnan ja pystysuunnan kahdeksan tunnin keskiarvona. Kuljettajaan poikittaissuunnasta kohdistuva tärinä oli suurinta, jota tapahtui eniten koneen siirtyessä työpisteestä toiselle. Pystysuunnan ja pitkittäissuunnan tärinätasot olivat samansuuruisia. Ajokonekantokouran kuljettaja voi itse vaikuttaa tärinätasoihin jonkin verran maastonkohdan valinnalla siirtymisen aikana. Kaivinkoneella työskenneltäessä kuljettajaan kohdistuva tärinä on suurinta puhdistuksen aikana. Tärinäkiihtyvyyden keskiarvojen summa oli alle valtioneuvoston asettaman toiminta-arvon rajan, joka on kahdeksan tunnin keskiarvo $0,5 \text{ m/s}^2$. (Taulukko 4).

Taulukko 4. Tärinäkiihtyvyydet jokaisesta kolmesta mitatusta suunnasta. X = poikittaissuunta, Y = pitkittäissuunta ja Z = pystysuunta

X Akseli	Y Akseli	Z Akseli	Summa	Yksikkö
0,262	0,185	0,192	0,488	m/s^2

3.5 Kantopuun kosteus ja maa-ainestutkimus

Kurkimäen kuorman nettopaino oli pienempi maa-ainestutkimuksessa kuin vertailukuormien suhteellinen keskiarvo, koska Kurkimäen kuormasta ajettiin nuppikuorma röntgenmittaukseen. Kantomurskeen ja maa-aineksen kosteus laskettiin keskiarvona kymmenestä

mittaustuloksesta: murskeen kosteus oli 55,4 % ja maa-aineksesta puhdistetun murskeen kosteus oli 43,9 %. Karisteen kosteus oli 49,3 %. Lavan pohjalla karisteiden paino oli 500kg ja pihalla olevan maa-aineksen paino 1691 kg. Hylkykantoja oli 1040kg. Kuormassa ei ollut kiviä. Karisteita oli yhteensä 23,3 % ja mikäli hylkykannoista huomioitaisiin vain niiden maa-aines noin 50 %, olisi karisteiden kokonaisuus 19,59 %. Vertailtaessa Kurkimäen kuorman epäpuhtauksien osuutta aikaisemmin mitattuihin kuormiin Kaipolassa, huomataan että Kurkimäen kuorman epäpuhtauksien on keskimäärin sama kuin 13.12.2012 - 22.1.2013 mitatuissa kuormissa. Hylkykantojen määrä Kurkimäen kuormassa 7,51 % on suuri verrattaessa aikaisempiin maa-ainestutkimuksiin, joissa hylkykantojen määrä on ollut 0,36 - 3,95 %. Mikäli Kurkimäen kuormassa hylkykantoja olisi 3,95 % niin epäpuhtauksien osuus olisi 19,8 % tai 0,36% niin epäpuhtauksien osuus olisi 16,09 %. Kurkimäen kuormassa ei ollut kiviä, joka erottaa sen aikaisemmista tutkimuskuormista. Aikaisemmin mitattujen kuormien epäpuhtauksien suhteellinen osuus on ollut 7 – 35,8 %. (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kurkimäen kuorman maa-ainestutkimuksen tulokset vertailussa aikaisempiin Kaipolassa ja Tervasaassa mitattuihin maa-ainestutkimuksien keskiarvoihin.

PVM Kuljetus	Kok.paino (Kg)	Kosteus, kannot(%)	Kosteus, kariste(%)	Karisteet: Lavan- pohjalla(kg)	Karisteet: Pihalla (kg)	Hylky- kannot (kg)	Kivet (kg)	Karisteet yht.(kg)	Karisteet yht.(%)	Karisteiden osuuden vaihtelu(%)
KAIPOLA*** 14.01.15 Kurkimäki	13840,0	55,4 43,9*	49,3	500,0	1691,0	1040,0	0	3231,0	23,3	-
KAIPOLA** 13.12.12- 22.01.13	24568,9	32,5	50,0	140,0	3313,1	973,4	26,6	5713,2	23,3	11,5 - 35,8
TERVASAARI** 23-24.9.14	24413,3	25,0	28,2	1225,0	2881,7	88,3	140	4335,2	17,2	7,0 - 28,0

*puhdistettu

**keskiarvoina

***kurkimäen kuorma

Kurkimäen kuorman epäpuhtauksien osuus röntgenillä mitattuna oli 7,2 %. Keväällä 2014 Kaipolassa röntgenillä mitattujen 22 kuorman epäpuhtauksien keskiarvo oli 3,5 %. Epäpuhtauksien prosentuaalinen vaihtelevuus oli keväällä 2014 mitatuissa kuormissa 1,7 – 10,7 %. Röntgenin mittaama epäpuhtauksien suhteellinen osuus on huomattavasti pienempi kuin maa-ainestutkimuksessa mitatut epäpuhtauksien suhteelliset osuudet. Röntgenillä mitattuja kantoja voidaan pitää samanvertaisena maa-ainestutkimuksen kantojen kanssa, koska koko kuorma kuljetettiin Kurkimäestä aikatutkimus koelaitteilla. Röntgen antaa oikean

suuntaisen epäpuhtauksien osuuden suhteellisen eron, kun verrataan Kurkimäen kuorman epäpuhtauksia aikaisempiin mittaustuloksiin. (Taulukko 6).

Taulukko 6. Kurkimäen kuorman röntgen mittaustuloksien vertailu aikaisempiin Kaipolassa keväällä röntgen mitattuihin kuormiin.

Kuormien lkm	Kosteus (%) ka.	Kosteuden vaihtelevuus (%)	Epäpuhtaudet (%) ka.	Epäpuhtauksien vaihtelevuus (%)
22	37,2	26,8 - 49,7	3,5	1,7 - 10,7
1*	55,4 43,9**	43,9 - 58,2	7,2	

* Kurkimäen kuorma

** Puhdistetun kantomurskeen kosteus

4 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Aikatutkimus ja tuottavuus

Aikatutkimuksessa selvitettiin ajokonekantokouran tehotuntuottavuutta, joka vaihteli tutkimuksessa 1,14 – 6,1 m³/tehotunti. . Keskimääräinen tehotuntuottavuus oli aineistossa 2,7 m³/h. Tehotuntuottavuus on alhainen verrattuna kaivinkonepohjaisiin kantojen nostokoneisiin, joiden tehotuntuottavuus vaihteli muun muassa Laitilan (2007) tutkimuksessa 1,3 – 20,6 m³/tehotunti. Aikatutkimuksen yhteydessä kuljettaja huomautti koneen reagoitakyvystä eli viiveestä, jota esiintyi noin sekunnin verran. Yksi tekijä alhaiselle tehotuntuottavuudelle tässä tutkimuksessa on viive laitteen ohjaimen ja kouran välillä. Jatkossa laitteiston reagoitukykyä on parannettava, että kuljettajan työskentely helpottuisi.

Kuljettajan on sanottu olevan suurin yksittäinen tuottavuuteen vaikuttava tekijä, jonka vaikutuksen ovat todenneet mm. (Rajamäki 1997, Siren 1998, Kariniemi 2006). Tässä aikatutkimuksessa kuljettaja oli kokenut hakkuukoneen kuljettaja ja kuljettajalla oli jonkin verran ammattitaitoa ja kokemusta myös kantojen nostosta. Kuitenkaan kuljettaja ei ollut nostanut kantoja kyseisellä menetelmällä kuin vasta 1,5 työpäivää ennen aikatutkimuksen aloittamista ja totesi itsekkin, että harjoittelua olisi voinut tehdä enemmän. Vaikka työmaan viereen oli varattu harjoitteluun soveltuva lähes identtinen kohde aikatutkimuskohteen kanssa, niin 1,5 työpäivää on liian lyhyt aika harjaantua uuden laitteiston käyttöön. Aikatutkimuksessa koneen hydraulikka ei toiminut toivotulla tavalla, koska koneen integroitu

täristävä kantopuun puhdistukseen tarkoitettu liike oli liian hidas ja voimaton, joka johtui liian pienestä sylinteristä. Tämän vuoksi kuljettaja joutui uhraamaan kantopalan puhdistamiselle aikaa, joka taas pienentää kantojen noston tuottavuutta. Ennen aikatutkimuksen aloittamista kuljettajaa tulisi perehdyttää pilkontaan huolellisemmin, että suurelta hylkykantojen määrältä välttyttäisiin. Ajokonekantokouran integroitua puhdistusominaisuutta tulisi jatkossa kehittää iskevämmäksi ja tehokkaammaksi, jonka seurauksena kantoihin sitoutunut kivennäismaa irtoaisi paremmin kantopalasta. Puhdistusominaisuutta kehittämällä koko toimitusketju lyhenisi ja kantovarastot eivät sitoisi niin paljon pääomaa. Aikatutkimuksessa ajokonekantokouran teknisillä ongelmilla oli vaikutusta koneen käyttöön ja kantojen noston ajanmenekkiin.

Aikatutkimuksen työmaa oli haastava ylivuotinen lehtomaisen kankaan (OMT) kuusikko, jossa pintakasvillisuudesta lähes 80 % oli ruohikkoa. Muutamaa päivää ennen aikatutkimusta maa oli ehtinyt jo routaantua, mikä aiheutti sen, että kantojen noston yhteydessä maa-ainesta nousi entistä enemmän kantopalan mukana, joka hidasti kantopuun puhdistusta huomattavasti. Ruohikko sitoi kivennäismaan kantojen pääjuuriin tiukasti kiinni, jonka vuoksi kantopala tuli kääntää ylösalaisin, jotta ns. nurmitalja tippuisi kantopalasta pois. Pintakasvillisuus ja routa vaikuttivat paljon kantopuun puhdistuksen ajanmenekkiin sekä kantopuun puhtauteen. Tutkimuksessa ei määritetty kantojen nostoon tuottavuustavoitteita vaan vain ja ainoastaan tavoitteena oli, että ajokonekantokoura todella toimii keskeytyksittä.

Ajokonekantokouran selkeä etu on se, että työpistesiiirtoihin ei kulu aikaa vaan siirtyminen työpisteiden välillä on nopeaa ja vaivatonta. Siirtymistä ei tarvitse tehdä yhden kannon nostamisen jälkeen vaan useampi kanto voidaan prosessoida samasta työpisteestä. Ennen tutkimusta oletettiin, että ajokonekantokouran ulottuma on pitkä, mutta kuljettajalle mieluisin työskentelytapa oli prosessoida kanto koneen läheltä. Ajokonekantokouran työskentelyleveys vaihteli 8 – 12 metriin.

Tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä haluttiin määrittää lisäaineiston avulla, jossa työvaiheita oli enemmän. Lisäaineiston perusteella kokonaisajanmenekistä eniten aikaa vei kantopuun puhdistaminen 48 %. Puhdistamisen hitautta selittää työmaan haasteellisuus ja kuljettajan tottumattomuus koneen käyttöön. Kuitenkin puhdistaminen on myös tärkein työvaihe, koska tehtaille on ensiarvoisen tärkeää, että energiakäyttöön tuleva kantopuu on mahdollisimman puhdasta ja ihanne on, että epäpuhtauksia kantopuussa on alle 15 %. Puhdistamisen jälkeen hitain työvaihe oli pilkonta, joka vei kokonaisajanmenekistä 23 %. Aikatutkimuksen suuremmassa aineistossa prosessointi oli hitain työvaihe, joka käsitti 90 % kokonaisajanmenekistä. Prosessointiin sisältyi pilkonta ja puhdistus. Regressioanalyysi

osoitti, jossa selitettävänä muuttujana oli tehotuntuottavuus (m^3/h) ja kantoläpimitta (cm), että kantoläpimitan kasvaessa myös tuottavuus nousee.

4.2 Tärinämittaukset (TTL)

Kuopion työterveyslaitoksen suorittamat tärinämittaukset aikatutkimuksen yhteydessä onnistuivat odotetulla tavalla. Tärinää mitattiin kolmessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa ja suhteutettiin vastaamaan kahdeksan tunnin vertailu aikaa. Kehotärinän tärinäkiikkyvyys oli $0,488 \text{ m/s}^2$, joka on alle valtioneuvoston asettaman toiminta arvon $0,5 \text{ m/s}^2$. Valtioneuvoston tärinäasetuksessa 48/2005 on määritelty kahdeksan tunnin vertailu aikaan suhteutettu kehotärinän toiminta-arvo, joka on $0,5 \text{ m/s}^2$ (Finlex 48/2005). Ajokonekantokouran työskentely vastasi ajokoneen tärinäkiikkyvyysarvoa, joka on huomattavasti alhaisempi ja ergonomisempi kuin kaivinkonepohjaisissa kantojen nostokoneissa, joissa valtioneuvoston asettama toiminta-arvo ylittyy reilusti. Ajokonekantokouran työskentely maastossa on kuljettajalle ergonomista ja ei aiheuta terveydellisiä riskejä, jonka vuoksi myös yrittäjä voi säästää merkittävästi terveydenhuolto kuluissa. Ajokonekantokouran kuljettajan työikä saattaisi olla huomattavasti pidempi kuin kaivinkoneen kuljettajan, koska ajokonekantokouran kuljettajaan kohdistuva tärinä on puolet vähäisempää kuin kaivinkoneen kuljettajan Kaivinkonepohjaisissa kantojen nostokoneissa puhdistusmenetelmät ovat alustakonetta ja kuljettajaa kuormittavia. Integroitu puhdistus saattaisi mahdollistaa myös koneen käyttöään pitenemisen.

4.3 Kantojen maa-ainestutkimus

Kurkimäen kuorman mittaustulokset maa-ainestutkimuksessa Kaipolan pihalla oli vertailukelpoisia aiemmin Kaipolassa tai Tervasaassa mitattujen kuormien epäpuhtauksien osuuksien kanssa. Kurkimäen kuormassa hylkykantojen määrä oli suuri 1040 kg , joka vaikutti epäpuhtauksien osuuteen reilusti, ja ilman hylkykantoja Kurkimäen kuormasta epäpuhtauksien osuus olisi ollut $19,59 \%$. Kuljettajaa olisi tullut opastaa ennen aikatutkimuksen suorittamista, että millainen kanto on hylkykanto. Hylkykannoksi määritettiin kantopala, jossa pääjuuria oli kaksi tai useampi. Aikaisemmissa kantojen maa-ainestutkimuksissa Kaipolassa tai Tervasaassa hylkykantojen määrä vaihteli $88,3 - 974,3 \text{ kg}$ kuormissa, joiden kokonaispaino oli keskiarvoltaan noin 24500 kg , kun Kurkimäen kuorman kokonaispaino oli 13840 kg . Kurkimäen kuorman kivisyys ja maa-aineksen määrä lavalla sekä pihalla oli vertailukelpoinen aiemmin mitattuihin kuormien maa-aineksen määriin.

Ajokonekantokouran tärisevä liike aikatutkimuksessa ei ollut tarpeeksi tehokas, joka vaikutti kantopuun puhtauteen negatiivisesti. Aikatutkimuksen työmaa oli erityisen haastava vaikka ennen tutkimusta tavoitteena oli etsiä ns. normaalikohde. Kantopuun puhtautta silmällä pitäen kohde oli kuitenkin erityisen vaikea, joka johtui siitä, että kohteen pintakasvillisuus oli 80 % ruohikkoa, routaisesta maasta sekä siitä, että kohde oli ylivuotinen kohde, jolloin ruohikko nitoi epäpuhtaudet kantoon kiinni.

Kantopuun ja maa-aineksen kosteus mitattiin Kaipolassa uunikokeella. Kantopalat ja maa-ainespalat vietiin mittausuuniin ja annettiin olla siellä yön yli, jonka jälkeen kosteudet laskettiin. Kantopuun kosteus vaihteli mittauksessa 43,9 – 58,2 %. Lämpöarvo on suoraan verrannollinen kosteusprosenttiin, ja kun kosteusprosentti kasvaa niin lämpöarvo laskee suoraviivaisesti (Hillebrand ja Nurmi 2001, Kärkkäinen 2007). Kosteusprosentti on korkeahko, kun verrataan Kaipolassa aiemmin mitattuihin kantopuun kosteusprosentteihin (26,8 – 49,7 %). Korkeaa kosteusprosenttia voidaan selittää sillä, että kantopuu ei ehtinyt kuivaa palstalla kuin muutaman päivän ennen kuin se kuljetettiin tienvarsivarastoon. Kurkimäen kuorman kannot nostettiin loka-marraskuussa. Loka- ja marraskuun aikana kantopuun kosteusprosentti ei laske korkean ilmankosteuden ja suuren sademäärän vuoksi. Kantopuun kosteudesta jouduttiin tinkimään tavoitteeksi asetetun nopean toimitusketjun vuoksi. Kantopuun potentiaalinen kuivumisaika alkaa huhtikuun lopusta ja päättyy syyskuuhun (Lindblad 2010). Syyskuun jälkeen haihduntaa ei käytännössä Suomen ilmasto-olosuhteissa enää tapahdu.

Kaipolan röntgenin mittaamat epäpuhtauksien osuuden erosivat aiemmin mitattuihin kuormien epäpuhtauksien osuuksiin noin puolella. Röntgenin mittaama epäpuhtauksien osuus kantomurskeesta oli 7,2 %, kun aikaisemmin mitattujen 22 kuormien epäpuhtauksien keskiarvo oli 3,5 % ja kuormakohtainen epäpuhtauksien osuuden vaihtelevuus 1,7 – 10,7 %. Aikaisemmat mittaukset oli tehty keväällä. Kevätaikana kantopuun puhdistumista tapahtuu huomattavasti enemmän myös kuljetuksen yhteydessä, jossa energiapuuauton kuormaaja voi ravistella enimmäkseen epäpuhtaudet pois. Kuljetusajankohta selittää alhaisempaa epäpuhtauksien määrää kantomurskeessa. Kurkimäen kuorma mitattiin tammikuussa noin 5 asteen pakkassäässä, jolloin epäpuhtaudet ovat silloin tiukasti kiinni jäisessä kannossa.

Kantopuun epäpuhtauksien osuus oli samalla tasolla 23,3 % kuin aikaisemmin Kaipolassa tehdyissä maa-ainestutkimuksissa. Kun Kurkimäen kuormaa verrataan aikaisempiin tutkimuksiin, on huomattava, että kuljettajaa ei opastettu kantopuun epäpuhtaus vaatimuksiin. Ajokonekantokouran puhdistusominaisuudet eivät olleet myöskään toivotulla tasolla

aikatutkimuksessa. Mikäli laitetta käytettäisiin, niin puomin kestävyys tulisi selvittää, kun työtunteja lisätään reilusti.

Aikatutkimuksessa kuljettaja työskenteli vain yhdellä parhaaksi katsomallaan työmenetelmällä. Aikatutkimuksessa käytetty työmenetelmä ei ole välttämättä tuottavin. Jatkossa olisi hyvä tutkia kantojen noston työmenetelmiä ja löytää kuljettajalle tehokkain ja tuottavin työmenetelmä. Tässä tutkimuksessa tutkittiin ainoastaan kantojen nostoa, mutta jatkossa olisi hyvä tutkia metsäkuljetuksen tuomia kustannushyötyjä, koska yhdistelmäkone antaa siihen mahdollisuuden. Kustannushyöty laskentaan tulisi lisätä myös leimikkokohtainen kannattavuuslaskenta: minkä kokoluokan leimikolle ajokonekantokoura soveltuu. Olisiko edelleen jatkossa kannattavaa nostaa kannot suurilta kantokohteilta kaivinkoneilla? Ja toisiko ajokonekantokoura pienille kantokohteille lisäarvoa.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että ajokonekantokoura toimii kantojen nostokoneena. Integroitua puhdistusominaisuutta kehittämällä ajokonekantokoura mahdollistaisi kantopuun nopean toimitusketjun, mikäli tehdas hyväksyisi hieman korkeamman kosteusprosentin. Mikäli aikatutkimus olisi suoritettu kesällä, niin kosteushaihduntaa olisi tapahtunut huomattavasti enemmän ja kosteusprosentti olisi huomattavasti alhaisempi. Maa-ainestutkimuksesta saatujen tulosten perusteella nostetut kannot olivat laadultaan keskinkertaisia, kun tuloksia verrataan aikaisemmin mitattuihin tuloksiin.

KIRJALLISUUS

- BEST- Ohjelma. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.pohjolanvoima.fi/hankkeet/tutkimushankkeet/best-tulevaisuuden-kestavat-bioenergiaratkaisut> [Viitattu 7.4.2015].
- Finlex. 48/2005. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuville vaaroilta. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050048> [Viitattu 22.04.2015]
- Hakkila, P. 1972. Kanto- ja juuripuun korjuu. Metsätutkimuslaitoksen julkaisuja 77.1. s. 71.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Folia Forestalia 292. s. 39.
- Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Folia Forestalia 342. s. 38.
- Hakkila, P. 2003. Juurakot polttoainelähteenä. Bioenergia 4/03, s. 32 – 35.
- Harstela, P. 2004. Metsähake ja metsätalous. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 913. s. 80.
- Heiskanen, S. 2004. Kantonosturi koekäytössä kentällä – lunastuvatko lupaukset? Koneyrittäjä 9/2004. s. 26 – 27.
- Henningsson, M., Nordfjell, T. 2008. Stump harvesting: Best practice and 25 years old innovative approaches. Julkaisussa: The Nordic-Baltic Conference on Forest Operations. Copenhagen September 23–25. 2008. Forest & Landscape Working Papers no. 30/2008. s. 59–60.
- Hillebrand, K., Nurmi, J. 2001. Hakkuutähteiden laadunhallinta. VTT Energian raportteja 2001. s. 51.
- Ihalainen, T., Niskanen, A. 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergia tuotannon arvoketjussa. Metlan työraportteja 166. s. 47.
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuutyön malli – työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/443/KASIKIRJOITUS_FINAL_A4.pdf?sequence=1. [Viitattu 24.3.2015].
- Kärhä, K. 2007. Metsähakkeen tuotantokalusto Suomessa 2007. Metsätehon tulosalvosarja 11/2007.
- Kärhä, K., Peltola, J. 2004. Metsäkoneiden monikäyttöisyys. Metsätehon raportti 181. s. 17.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. s. 468.
- Laitila, J. 2010. Kantojen korjuun tuottavuus. Metlan työraportteja 150. s. 29.
- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamäki, T., Ranta, T., Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. Metlan työraportteja 46. s. 26.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008a. Energiapuuvarat. Julkaisussa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuun korjun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. Saatavissa: www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti. s. 6–12. [Viitattu 22.04.2015]
- Laitinen, S., Rytönen, E., Jumpponen, M., Ojanen, K. 2014. [Verkkodokumentti]. Työympäristöriskien hallinta tienvarsihaketuksessa. Kuopion työterveyslaitos. Saatavissa: <http://www.ttl.fi/fi/verkkokirjat/Documents/Tienvarsihaketus.pdf> [Viitattu 22.04.2015]

- Laurila, J., Lauhanen, R. 2010. Moisture Content of Norway Spruce Stump Wood at Clear Cutting Areas and Roadside Storage Sites. *Silva Fennica* 44(3). s. 427–434.
- Lindblad, J. 2010. [Verkkodokumentti]. Ajankohtaisia näkymiä energiapuun mittauksessa. Metsäenergiafoorumi Joensuu 23.11.2010. Saatavissa: <http://www.forestenergy.org/pages/79> [Viitattu 22.04.2015]
- Mattila, M., Paaso, E., Borg, S., Alastalo, M., Ellonen, N., Sivonen, J., Keckman-Koivuniemi, H., Antikainen, S., Pasanen, T., Alaterä, T.-J. 2008. [Verkkodokumentti]. KvantiMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto- Regressioanalyysi. Saatavissa: <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/ohjeet/kvantiohjeet.html> [Viitattu 24.4.2015].
- Mellin Ilkka. 2006. [Verkkodokumentti]. Tilastolliset menetelmät: Lineaarinen regressioanalyysi. Saatavissa: <http://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Regranal.pdf>. [Viitattu 7.4.2015].
- Metla News. 2010. Kantojen nosto yleistyy ja muuttaa muokkausolosuhteita. Saatavissa: <http://www.metla.fi/uutiskirje/mkl/2010-1/uutinen-1.htm> [Viitattu 22.04.2015]
- Niemi, M. 2003. Puutteiden lukumäärän estimointi toisen asteen polynomien avulla. Saatavissa: <ftp://ftp.cs.joensuu.fi/pub/Reports/A-2003-5.pdf> [Viitattu 22.04.2015]
- Palander, T., Smolander, J., Kärhä, K. 2015. [Verkkodokumentti]. Work system study of three stump-lifting devices in Finland. *Scandinavian Journal of forest engineering*. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2015.1027731> [Viitattu 24.4.2015].
- Palander, T., Vesa, L., Tokola, T., Pihlaja, P., Ovaskainen, H. 2009. Modelling the stump biomass of stands for energy production using a harvester data management system. *Biosystems engineering* 102: s. 69 – 74.
- Ponsse Oyj. 2014. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/dual-yhdistelmakoneet/buffalodual> [Viitattu 24.4.2015].
- Rajamäki, J., Kariniemi, A., Oijala, T. 1996. Koneellisen harvennushakkuun tuottavuus. *Metsätehon raportti* 8.
- Repola, J., Ojansuu, R., Kukkola, M. 2007. Biomass functions for scots pine, Norway spruce and birch in Finland. *Metlan työraportteja* 53. s. 28.
- Ronkainen, P., Sirkiä, S., Lindblad, J. 2014. Harvennusenergiapuun ja latvusmassan kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2014. s. 211 – 228.
- Saksa, T., Tervo, L., Kautto, K. 2002. Hakkuutähde ja metsänuudistaminen. Hakkuutähden korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen tutkimushankkeen loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 851. 41 s
- Siren, M. 1998. Hakkuukonetyö, sen korjuujälki ja puustovaurioiden ennustaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 694.
- Torvelainen, J., Ylitalo, E., Nouro, P. 2014. [Verkkodokumentti]. Puun energiakäyttö. *Metsätilastotiedote*. Saatavissa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2014/puupolttoaine2013.htm> [Viitattu 7.4.2015].
- Vesa, L., Palander, T. 2010. Modelling stump biomass of stands using harvester measurements for adaptive energy wood procurement. *Energy* 10/2010.

Ylitalo, E. 2011. [Verkkodokumentti]. Puun energiakäyttö 2010. Metsätilastotiedote 16/2011. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/mtt/2011/puupolttoaine2010.pdf> [Viitattu 7.4.2015].

Äijälä, O., Kuusinen, M. ja Koistinen, A. 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset: Energiapuun korjuu ja kasvatus.