

YHDISTELMÄKONEKORJUUN TUOTTAVUUSTUTKIMUS
HARVENNUSHAKKUILLA POHJOIS-POHJANMAALLA

Seppo Sorvari
Opinnäytetyö
Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri
AMK

2015

Metsätalouden koulutusohjelma

Metsätalousinsinööri AMK

Tekijä	Seppo Sorvari	Vuosi	2015
Ohjaaja	Oiva Hiltunen		
Toimeksiantaja	SoForest Oy		
Työn nimi	Yhdistelmäkonekorjuun tuottavuustutkimus harvennushakkuilla Pohjois-Pohjanmaalla		
Sivu- ja liitemäärä	50 + 1		

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia yhdistelmäkoneen käytettävyyttä leimikoiden harvennukseen ja metsäkuljetukseen Metsänhoitoyhdistys Kalajokilaakson alueella. Tavoitteena on selvittää minkä tyyppisellä leimikolla yhdistelmäkoneen käyttö on tuottavinta. Tutkimuksessa selvitettiin myös millaisia puumääriä yhdistelmäkoneella kyettiin hakkaamaan ja kuljettamaan kahdeksalla eri leimikolla sekä millainen on näihin kuluva aika. Lisäksi tutkimuksessa pyrittiin selvittämään yhdistelmäkonekorjuun ongelmakohdat ja niihin liittyviä ratkaisuja. Pyrkimyksenä on, että tutkimuksessa löytyisiin ongelmiin kyettäisiin tarttumaan mm. leimikkosuunnittelun yhteydessä, jolloin leimikkotarjonta erilaisille metsäkoneille voidaan kohdistaa oikein. Tutkimuksessa mielenkiinto kohdistuu erityisesti poistuvan puun tilavuuteen, hehtaarikohtaiseen hakkuukertymään ja lähikuljetusmatkaan.

Työn tilaajana on SoForest Oy, joka on yhden yhdistelmäkoneen yritys Kalajoella. SoForest Oy urakoi Metsänhoitoyhdistys Kalajokilaakson alueella. Käsiteltävät metsät olivat pääasiassa ensiharvennusmetsiä, mutta jonkin verran tehtiin myös harvennuksia. Tutkimuksessa käytettävä metsäkone on vuosimallia 2010 oleva Ponsse Gazelle ajokone, joka on varustettu Nisulan 400C monikäyttö-kouralla.

Tiedonkeruu suoritettiin Excel-pohjaisella tutkimuslomakkeella, jonka kuljettajat täyttivät työvuoron päättyessä. Tutkimusmenetelmänä käytetään seurantatutkimusta, jossa tutkitaan eri leimikoilta kerättyjä aineistoja. Seuranta kesti noin neljän kuukauden ajan alkutalvesta 2014/2015.

Tutkimuksessa tuloksia on analysoitu tilavuusluokittain sekä työvuoro- että leimikkotasolla, jolloin päädyttiin siihen johtopäätökseen, että poistettavan puun tilavuuden vaikutus tuottavuuteen on merkittävä seikka yhdistelmäkonekorjuussa. Toisena merkittävänä seikkana tuli ilmi poistettavan puulajin merkitys tuottavuuteen. Mikäli poistettava puulaji on valtaosin koivua, on tuottavuus selvästi heikempi verrattuna sellaiseen leimikkoon, jossa suurin osa poistumasta on mäntyä. Metsäkuljetusmatkan vaikutus alkaa näkyä tuloksissa vasta 600 metrin jälkeen, jolloin tuottavuus heikkenee voimakkaasti. Hehtaarikohtaisella kertymällä ja maalajilla ei näyttäisi olevan suurta merkitystä tällä korjuumenetelmällä.

Avainsanat. Yhdistelmäkone, harvennushakkuu, tuottavuustutkimus

School of Industry and Natural
Resources
Forestry Programme

Author	Seppo Sorvari	Year	2015
Supervisor(s)	Oiva Hiltunen		
Commissioned by	SoForest Oy		
Subject of thesis	Productivity research of harwarder harvesting used in thinning sites in northern Ostrobothnia		
Number of pages	50 + 1		

The aim of the research was to study the usability of combined harvester and forwarder that is harwarder used in thinning stands and in haulage in the area of Kalajokilaakso forestry management association. Research aim was to clarify in which kind of stand using harwarder is most productive. Also the amount of wood that was able to harvest and transport from eight different stands and the time those took were clarified. The other aim of the study was to clarify the problems of harwarder harvesting and find solutions. Effort is to utilise the results of research for example when planning logging and thinning sites so that different forest machines could be directed to more suitable sites. Interest in this study is directed especially to volume of removable wood, removals per hectare and to haulage distance.

This study is commissioned by SoForest Oy which is one harwarder business in Kalajoki working as a contractor in the area of Kalajokilaakso forestry management association. Handled forests were mainly early thinning stands but some thinning stands were also included. Forest machine used in the study was Ponsse Gazelle the model year 2010 equipped with Nisula 400C versatile grab.

Gathering the data was performed with Excel based research template which was filled in by an operator after work shift. As a research method was used follow-up research where data gathered from different stands is explored. Follow-up was taken approximately four months during early winter 2014/2015.

The results of the research were analyzed by volume classes and also by levels of work shift and stand. The Conclusion was that the effect of removable trees volume to harwarder's productivity is a significant factor. Other important effect to productivity revealed to be removable tree species. If removable trees in stand are mostly birch, productivity is clearly lower compared to stand where most of removable trees are pine. The effect of haulage distance can be seen in results not until when distance is over 600 meters. Productivity decreases strongly after this point. Accrual per hectare and soil type seems not to have big significance in this harvest method.

Key words harwarder, thinning, productivity research

SISÄLLYS

KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	10
2 YHDISTELMÄKONEKORJUU	13
2.1 SoForest Oy	13
2.1.1 Yhdistelmäkone	13
2.1.2 Yhdistelmäkoneiden vahvuudet verrattuna koneketjuun	15
2.1.3 Hakkuu-uramenetelmä	17
3 HARVENNUSHAKKUIDEN TARVE SUOMESSA	18
3.1 Hakkuupotentiaali	18
3.1.1 Harvennushakkuut	18
3.1.2 Tuottavuus	21
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	24
4.1 Aineisto	24
4.2 Tutkimusmenetelmät	24
4.3 Tietojen analysointimenetelmät	25
5 TULOKSET	26
5.1 Tilavuusluokat	26
5.1.1 Runkotuotos tilavuusluokittain	27
5.1.2 Kuutiotuotos tilavuusluokittain	28
5.2 Leimikot	29
5.2.1 Kertymän vaikutus tuottavuuteen	30
5.2.2 Runkotuotos tunnissa leimikkotasolla	31
5.2.3 Kuutiotuotos tunnissa leimikkotasolla	33
5.3 Tarkastelu työvuoroittain	34
5.3.1 Puulajin vaikutus tuotokseen	35
5.3.2 Mänty	35
5.3.3 Koivu	36
5.3.4 Poistuman tilavuuden vaikutus kuutiotuotokseen	37
5.3.5 Rungon tilavuuden vaikutus prosessointiaikaan	38
5.4 Ajomatka	39
6 TULOSTEN TARKASTELO	40
6.1 Rungon tilavuuden vaikutus tuottavuuteen	40

6.2	Hakkuukertymän vaikutus tuottavuuteen	42
6.3	Kuljetusmatkan vaikutus tuottavuuteen	42
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	43
8	POHDINTAA.....	45
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	50

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Nisula 400C monikäyttökoura hakkuukäytössä.....	14
Kuvio 2. Monikäyttökoura kuormaustoinnossa.	15
Kuvio 3. Havupuiden harvennusmalli Pohjois-Suomessa (Tapio 2014).....	20
Kuvio 4. Runkojakauma tilavuusluokittain.....	27
Kuvio 5. Runkotuotos tunnissa eri tilavuusluokissa.....	28
Kuvio 6. Kuutio tuotos tunnissa tilavuusluokittain.....	28
Taulukko 1. Kerätty aineisto leimikoittain.	29
Kuvio 7. Kertynyt ainespuun määrä hehtaarilta	30
Kuvio 8. Tuottavuus kuutioina tunnissa leimikoittain	31
Kuvio 9. Tuottavuus runkoa tunnissa leimikoittain	32
Kuvio 10. Poistettujen runkojen keskitilavuus leimikoittain.....	33
Kuvio 11. Mäntyvaltaisten työvuorojen tuottavuus tilavuusluokittain	35
Kuvio 12. Koivuvaltaisten työvuorojen tuottavuus tilavuusluokittain.....	36
Kuvio 13. Rungon tilavuuden vaikutus tuottavuuteen	37
Kuvio 14. Rungon tilavuuden vaikutus tuntituotokseen.....	38
Kuvio 15. Ajomatkan vaikutus	39

KÄSITTEET

A

Ainespuu: Puutavara, joka on korjattu metsäteollisuuden raaka-aineeksi.

Ajoura: Harvennuksella oleva neljästä viiteen metriin leveä kulkuväylä, jota pitkin korjuu suoritetaan.

Apteeraus: Hakkuussa tapahtuva rungon katkonnan määrittely mittojen ja laadun perusteella.

D

Dimensio: Puutavarasta tai metsiköstä mitattu arvo. Esimerkiksi tilavuus, pituus tai läpimitta.

H

Hakkuu: Puun kaataminen, karsiminen ja katkominen määrämittaan. Hakkuu voi olla myös yhtenäinen alue, jolla puiden käsittelyä tehdään.

Hakkuulaite: Hakkuukoneen nosturin päässä oleva laite, jolla puiden kaataminen, karsiminen ja määrämittaan katkominen toteutetaan.

Hakkuumenetelmä: Erilaisten hakkuutapojen suoritusmalli. Esimerkkeinä ovat uudistus-, harvennus-, siemenpuu- ja suojuspuuhakkuut.

Harvennusmalli: Tapio Oy:n (entinen Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio) laatimat hyvän metsänhoidon suositusten mukaiset harvennusmallit eri puulaajeille ja metsikkötyypeille pohjanpinta-alan ja valtapituuden perusteella.

Harvesteri: Hakkuukoneena käytetty metsätraktori, joka tekee kaikki hakkuun työvaiheet kaadosta kasaamiseen.

K

Karsinta: Puun oksien poistaminen rungosta.

Kasaus: Puutavaran lajittelu hakkuun yhteydessä kasoihin kuljetuksen helpottamiseksi.

Kertymä: Hakkuulta poistetun puutavaran määrä.

Korjuri: Metsätyökone, jolla hoidetaan sekä puutavaran hakkuu että metsäkuljetus. Koneessa on harvesterin tapaan hakkuupää mittalaitteineen. Hakkuupää joudutaan vaihtamaan mekaanisesti kouraan kuormaamista varten. Lisäksi työkonessa on kuormatila puutavaran kuljetukseen kuten kuormatraktorissa.

Korjurimenetelmä: Puunhakkuumenetelmä, jossa käytetään korjuria samalla sekä hakkuuseen että metsäkuljetukseen.

Kuormain: Metsäkoneen nosturi, jolla tapahtuu puutavaran kuormaus ja hakkuu.

L

Lajisiirtymä: Puutavaralajien sekoittumista vääriin pinoihin kuljetuksessa.

Lajittelutapit: Kuormatilassa olevat lisätapit, joilla kuormatila jaetaan eri osiin puutavaran lajittelun helpottamiseksi.

Leimikko: Hakattavaksi merkitty metsäalue.

Läpimitta: Katkaistun puun leikkauskohdan halkaisija. Esimerkiksi rinnankorkeusläpimitta on 1,3 metrin korkeudelta maanpinnasta mitattuna puun rungon halkaisija.

M

Metsäkuljetus: Puutavaran kuljettaminen hakkuupaikalta leimikon tuntumassa olevaan varastoon tien varteen.

Mittalaite: Hakkuukoneessa oleva laite, joka mittaa rungon paksuuden, pituuden ja laskee puulle tilavuuden.

Monikäyttökoura: Kuormaajan päässä oleva laite, jolla suoritetaan sekä rungon prosessointi että puutavaran kuormaus ja kuormien purku.

Myötäily: Suurten puiden karsinnassa nosturilla tehtävä apuliike, jolla kevennetään hakkuulaitteen kuormitusta karsinnan aikana.

P

Pohjanpinta-ala (ppa): Metsikön puiden poikkileikkauspinta-ala hehtaarilla rinnankorkeudelta mitattuna (1,3 m).

Puutavaralaji: Tietyt mitta- ja laatuvaatimukset täyttävä puunrungon osa.

Prosessointi: Koneellisen puunkorjuun tapahtuma, jossa puu kaadetaan, karsi-taan, katkotaan ja kasataan.

R

Runkoluku: Kasvavien puiden kappalemäärä hehtaarilla.

Relaskooppi: Metsän mittauksessa käytettävä laite, jolla saadaan metsikön pohjanpinta-ala mitatuksi.

T

Tilajärjestys: Puiden sijoittuminen kasvatuspaikalla toisiinsa nähden.

Tiltti: Kouran ominaisuus, jolla koura voidaan hydraulisesti nostaa pystyyn.

Tuottavuus: Tehokkuus, jolla määritetään tuotoksen määrä käytettyä yksikköä kohden.

Tuntituottavuus: Määrä, joka saadaan tuotosta aikaan (puutavaraa varastoon) keskimäärin tunnissa.

Työmenetelmä: Eri kone- ja leimikkotyypille suunniteltu puunkorjuumenetelmä, jolla päästään parhaaseen tuotokseen.

U

Uranvarsitiheys: Ajouran varrelta kertyvä ainespuun määrä 100 metrin matkalta.

V

Valtapituus: Metsikön sadan suurimman puun pituus.

Välialue: Ajourien välissä oleva harvennettava alue.

Y

Yhdistelmäkone: Metsäkone, jolla suoritetaan hakkuu, kuormaus sekä kuljetus samalla kertaa. Hakkuuta ja kuormausta varten yhdistelmäkoneessa on monikäyttökoura, joka nappia painamalla saadaan vaihdettua hakkuusta kuormaukseen.

1 JOHDANTO

Harvennushakkuun kannattavuutta on tutkittu paljon. Muun muassa 1989 - 1991 suoritetussa harvennushakkuuprojektissa tekijät Mauno Pesonen ja Hannu Hirvelä (ym.) tutkivat Metsälaskelmaa (Mela) käyttäen erilaisia malleja, joissa pyritään löytämään erilaisia toimintatapoja etenkin ensiharvennuksen kannattavuuden parantamiseksi. Projektin tuotos on julkaistu 1992 ilmestyneessä ”Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot” kirjassa. Tutkimuksessa todetaan muun muassa harventamattomuuden nostavan 20 – 30 prosenttiin kuolleisuuden eli luonnollisen poistuman metsikön koko elinaikana. Tämä aiheuttaa suurta taloudellista menetystä. (Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho, Jaakko Pöyry Oy 1992, 120). Toimenpide-ehdotuksena tutkimuksessa on esitetty, että taimikonhoitoa tulisi hieman viivästyttää ja suorittaa se voimakkaana, jolloin saataisiin ensiharvennuksen kustannuksia alennettua ja kertymää kasvatettua. Tämä edellyttää tutkimuksenkin mukaan myöhäistettynä tehtyä ensiharvennusta. (Metsäntutkimuslaitos, ym. 1992, 119 - 120).

Ensiharvennuspuiden korkea korjuukustannus on yksi suurimmista haasteista koko metsäsektorilla. Siihen vaikuttavat monenlaiset tekijät kuten

- Poistettavien puiden pienuus
- Hehtaarikohtainen kertymä
- Alikasvos/raivaustarve
- Leimikon koko ja
- Turvemaiden heikko kantavuus

Tätä taustaa vasten tutkitaan tässä opinnäytetyössä yhdistelmäkonekorjuun tuottavuutta harvennushakkuilla. Edellä mainittujen tutkimustenkin mukaan ensiharvennuksien tekeminen oikeaan aikaan on taimikonhoidon ohella yksi tärkeimmistä metsänhoitotoimenpiteistä, mikäli pyrkimyksenä on tuottaa hyvälaatuista raaka-ainetta kotimaiselle metsäteollisuudelle.

Yhdistelmäkonekorjuu on sellainen menetelmä, joka ei sovellu kaikissa paikoissa käytettäväksi korjuumenetelmäksi. Se asettaa tiettyjä rajoitteita leimikolle,

jotta korjuu olisi tuottavuudeltaan järkevää. Metsäorganisaatioilla on käytössään useimmiten koneketjuja, joissa hakkuu suoritetaan harvesterilla ja lähikuljetus ajokoneella. Jonkin verran on myös yhdistelmäkoneita, joilla molemmat työvaiheet suoritetaan samalla koneella. Tutkimustulosten perusteella voidaan tehdä työkalu suunnittelijoille, jotta kyettäisiin osoittamaan tietyyppiselle menetelmälle sopivat ominaisuudet omaavia työmaita. Kaikilla suunnittelijoilla ei ole oikeaa tietoa eri menetelmien asettamista rajoitteista. Näitä rajoitteita asettavat muun muassa poistettavan puun tilavuus sekä lähikuljetusmatkan pituus. Tutkimuksen avulla pyritään myös lisäämään mielenkiintoa tutkittavaa korjuumenetelmää kohtaan. Yhdistelmäkoneella tehtävä korjuu on suhteellisen vähäistä vielä tänä päivänä, mutta kiinnostus sitä kohtaan on lisääntynyt viime vuosina. Ainakin tämän menetelmän kustannustehokkuuden pienipinta-alaisilla leimikoilla luulisi olevan paremman verrattaessa koneketjun käyttämiseen pienillä leimikoilla jo pelkästään kaluston siirtokustannuksia ajatellen.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää yhdistelmäkoneen käytettävyyttä leimikoiden harvennukseen ja metsäkuljetukseen Metsänhoitoyhdistys Kalajokilaakson alueella. Tavoitteena on selvittää minkä tyyppisellä leimikolla yhdistelmäkoneen käyttö on tuottavinta. Tutkimuksessa pyritään selvittämään myös millaisia puumääriä yhdistelmäkoneella kyetään hakkaamaan ja kuljettamaan kahdeksalla eri leimikolla sekä millainen on tähän kuuluva aika. Lisäksi tutkimuksessa pyritään selvittämään yhdistelmäkonekorjuun ongelmakohtia ja niihin liittyviä ratkaisuja. Pyrkimyksenä on, että tutkimuksessa löytyviin ongelmiin kyettäisiin tarttumaan muun muassa leimikkosuunnittelun yhteydessä, jolloin leimikkotarjonta erilaisille koneille voidaan kohdistaa tuottavimmin. Tutkimuksessa mielenkiinto kohdistui erityisesti poistuvan puun tilavuuteen, hehtaarikohtaiseen hakkuukertymään ja lähikuljetusmatkaan.

Tutkimuskysymykset tarkentuivat taustaselvityksien ja aiempien tutkimusten perusteella seuraaviksi:

1. Minkä tyyppiselle leimikolle tutkimuksessa käytetty yhdistelmäkone soveltuu parhaiten?

2. Millaisia puumääriä yhdistelmäkoneella kyetään hakkaamaan ja kuljettamaan aikaan sitoen?
3. Millaisia ongelmia yhdistelmäkoneella toteutettavissa hakkuissa sekä lähikuljetuksissa ilmenee ja mitkä ovat tarkoituksenmukaiset ongelmien ratkaisut?
4. Mikä on lähikuljetusmatkan vaikutus tuottavuuteen?

2 YHDISTELMÄKONEKORJUU

2.1 SoForest Oy

Tutkimustyön tilaajana on SoForest Oy, joka on yhden yhdistelmäkoneen yritys Kalajoella. SoForest Oy urakoi Metsänhoitoyhdistys Kalajokilaakson alueella. Käsiteltävät metsät ovat pääasiassa ensiharvennusmetsiä, mutta jonkin verran yhtiö tekee myös harvennuksia. Yrityksen vuotuinen hakkuutavoite on noin 8000 kuutiota aines- ja energiapuuta. Yhtiön palveluksessa on kaksi kuljettajaa.

2.1.1 Yhdistelmäkone

Tutkimuksessa käytettävä kone on vuosimallia 2010 oleva Ponsse Gazelle ajokone, joka on varustettu Nisulan 400C monikäyttökouralla.

Tämän tyyppiset koneet jaetaan kahteen ryhmään, ja niistä käytetään nimitystä korjuri tai yhdistelmäkone.

1. Yhdistelmäkone on metsäkone, jossa on monikäyttökoura. Samalla laitteella suoritetaan sekä hakkuu- että lähikuljetustyö eli metsäkuljetus. Monikäyttökouran toiminta vaihdetaan napin painalluksella vaikka jokaisella työpisteellä.
2. Korjuri on työkone, jossa käytetään erillistä hakkuupäätä hakkuutyöhön ja puun kuormaukseen tarkoitettua erillistä kouraa. Hakkuupään vaihto on työläs, joten yleensä sen vaihto tehdään kerran leimikolla. Tämä tarkoittaa, että ensin hakataan kaikki puut ja hakkuun jälkeen vaihdetaan kuormauskoura ja toteutetaan lähikuljetus.

Tässä tutkimuksessa käytetty kone kuuluu ensimmäiseen ryhmään, jolla puun hakkuu ja lähikuljetus hoidetaan samalla ajokerralla. Tällöin puut prosessoidaan puomin alle. Kun käsiteltävä puiden väli on valmis, siirrytään seuraavaan käsitelypisteeseen, otetaan nippu mukaan ja tuodaan se kuormatilaan. Mikäli puutavaralatuja tulee useita, ne nostellaan kuormatilaan eri laidoille. (Lajittelutapit)

Kuvassa (kuvio 1) koneella hakataan puutavaraa harvennusleimikolla. Koura on prosessointitilassa, jolloin hallintakahvojen toiminnot ovat samat kuin varsinaisessa hakkuukoneessa. Yhdistelmäkoneen työmenetelmässä puut hakataan niin sanotusti puomin alle, lähelle puun syntypistettä. Tällä menetelmällä hakattaessa nippu viedään vaivattomasti kuormatilaan samalla kun hakkuupää tuodaan pois välialueelta työpisteen valmistuttua.



Kuvio 1. Nisula 400C monikäyttökoura hakkuukäytössä.

Toisessa kuvassa (kuvio 2) monikäyttökoura on kuormaustoiminnossa, jolloin hallintakahvojen toiminta on kuten tavallisissa ajokoneissa. Kouran ollessa tässä toiminnossa karsimaterät pysyvät kiinni lähellä kouran runkoa. Syöttörullat ovat täysin auki ja kuormausleuoilla otetaan puunipusta ote. Toiminnon vaihto tapahtuu yhdellä napin painalluksella, joten siihen kuluu vain vähän aikaa. Monikäyttökouran kuormausta helpottava lisäominaisuus on tiltin toiminta myös kuormausasennossa, jolloin puunippu voidaan tasata maata vasten kätevästi tai kuljettaa ahtaista puunväleistä pystyssä kuormatilan lähelle.



Kuvio 2. Monikäyttökoura kuormaustoiminnossa.

2.1.2 Yhdistelmäkoneiden vahvuudet verrattuna koneketjuun

Yhdistelmäkoneella saavutetaan joitakin etuja verrattaessa koneketjuun, jossa perinteisesti on harvesteri ja ajokone. Siirtokustannuksissa saadaan huomattavia säästöjä, kun tarvitsee kuljettaa vain yhtä konetta työmaalta toiselle kahden koneen sijaan. (Lilleberg 1989, 16 – 17, 1998, 17). Useissa tutkimuksissa käy myös ilmi tämänkin tutkimuksen aikana esille noussut seikka, että yhdistelmäkoneella toimittaessa kuljettajan työ on vaihtelevampaa, kun saman työvuoron aikana tehdään sekä hakkuu että lähikuljetusta. Koskaan ei tule tilannetta, että eri työvaiheet olisivat kovin epätasapainossa, koska puut tuodaan yleensä samalla ajokerralla varastoon. Tällä on suuri merkitys talvella, jolloin lumi voi peittää nopeasti puutavaraniiput hakkuukoneen jäljiltä. Ajon sujumisen kannalta on tärkeää, että puutavaralajin tunnistaa jo ennen kuormausta vaihetta eikä tarvitse nostella jokaista nippua sen vuoksi, että puut ovat lumen alla tunnistamattomina.

Mikäli leimikolta tulee useita eri puutavaralajeja, ei ole mielekästä kerätä kaikkia samalla kertaa sekakuormaan. Yleisimmin toimitaan puhtailla havupuuleimikoilla niin, että tukit jätetään keräämättä ja ne otetaan seuraavan kuorman pohjalle. Mikäli koivua tulee kertymään merkittävästi, on järkevintä tuoda havutukit ja koivut samassa kuormassa, koska niiden erottelemisen varastolla on helpointa eikä tapahdu lajisiirtymää. Yleinen käsitys on, että kaksi, enintään kolme, eri puutavaralajia on järkevää tuoda samassa kuormassa. On muistettava, että yhdistelmäkone on kompromissi kummassakin työvaiheessa. Monikäyttökouralla puutavaralajien erottelu kuormatilasta ei ole niin joutuisaa kuin se on normaallilla kuormauskouralla. Useissa tutkimuksissa on todettu, että yhden puutavaralajin lisääminen alentaa käyttötuntituottavuutta kolme prosenttia yhdistelmäkoneella toteutettavissa harvennuksissa. (Brunberg, Arlinger 2001, 2).

Vertailtaessa yhdistelmäkoneen ja harvesterin ominaisuuksia nousee esille kuormaajan sijoittuminen koneeseen. Tällä on hakkuutyön kannalta suuri merkitys, koska uraa aukaistaessa yhdistelmäkoneella toimitaan ohjaamon tai kuormatilan yli, jolloin puomin täytyy olla melko pitkällä. Tämä heikentää tuottavuutta verrattuna siihen, että harvesterilla saadaan toimia lyhyellä puomilla optimaalisella toiminta-alueella kuljettajan näkökentässä. Sama ominaisuus heikentää myös yhdistelmäkoneen toimintaa ongelmarunkojen käsittelyssä. Niiden käsittely on tehtävä välialueella, kun harvesterilla tällainen runko voidaan tuoda lähelle konetta ajouralle ja prosessoida siinä.

Vuonna 2001 tehdyissä tutkimuksissa, jossa vertailtiin pienten hakkuukoneitten ja korjureiden tuottavuutta päästiin tuloksiin, joissa hakkuukoneen tuottavuus tehotyötunnissa oli 8,6 – 12,5 kuutiota ja korjurilla viisi kuutiota. Alle 75 litran kokoluokassa korjuri oli kustannuksiltaan edullisempi. Tutkimuksessa vertailtiin liiketyön määrää sellaisella leimikolla, jossa poistuma oli 50 kuutiota hehtaarilla. Yhdistelmäkonekorjuumenetelmässä kouran kulkema matka hehtaarilla oli kuusi prosenttia pienempi verrattaessa koneketjuun. Yhdistelmäkoneella yhdistetään hakkuun ja metsäkuljetuksen työvaiheita, mikä selittää eron. Kuormausvaiheessa yhdistelmäkoneen monikäyttökouran ominaisuudet eivät ole yhtä hyvät kuin kuormatraktorin kouran ominaisuudet. Tämä ei näy kerättäessä

kuormaa, koska kasat metsässä ovat pieniä, jolloin ne sopivat molempien koneiden kouraan yhdellä kertaa. Kuorman purkamisen yhteydessä taakkojen koeron vaikutus on merkittävämpi. Riepon ja Pekkolan tutkimuksessa monikäytökouran taakka oli 41 prosenttia pienempi kuin kuormatraktorin taakka kuorman purkamisvaiheessa. (Rieppo, Pekkola 2001, 39)(Siren, Tanttu 2001, 608).

2.1.3 Hakkuu-uramenetelmä

Pienillä hakkuukoneilla käytetään hakkuu-uratyömenetelmää, jolloin ajourien väliä saadaan kasvatettua 20 metristä 30 metriin. Ajourien väliin tehdään tässä työmenetelmässä hakkuu-ura, jota pitkin ei kuljeta kuormatraktorilla vaan harvesteri työntää sieltä hakkaamansa puutavaran ajourien varsille. Tällä menetelmällä ajourien määrä hehtaarilla saadaan alhaisemmaksi. Tämä menetelmä ei ole mahdollinen yhdistelmäkonekorjuussa, koska kuormatilalla varustettu kone ei ole yhtä ketterä toimimaan kapealla hakkuu-uralla mitä pienikokoinen harvesteri. Tätä on tutkittu useissa tutkimuksissa. Kaikissa näissä tutkimuksissa todettiin, että harvesterin tuottavuus laskee 20 – 30 prosenttia ajouravälin leveydessä 20 metristä 30 metriin. (Kärhä 2001, 40). Ensiharvennuksessa on ajateltava tulevia toimenpiteitä. Esimerkiksi harvennushakkuussa, joka toteutetaan isolla harvesterilla, 30 metrin ajouraväli ei toimi, sillä sen ulottuvuus on 10 metriä koneen molemmille puolille.

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisussa ”Korjuri vs. koneketju energiapuunkorjuussa” kirjoittaja katsoo yhdistelmäkoneen vahvuudeksi pienen alkuinvestoinnin verrattuna koneketjuun, jossa on hankittava kaksi konetta. Kirjoittajan mielestä kannattavuus saavutetaan helpommin verrattaessa kahden metsäkoneen hankintaan. Kirjoittajan mielestä ajokertojen vähäisyyden vuoksi yhdistelmäkonekorjuu on erinomainen vaihtoehto pehmeiden maiden puunkorjuuseen, ja ajourarasite kantavillakin mailla on pienempi. Yleinen käsitys on, että yhdistelmäkoneelle on helpompi järjestää työtä ympärivuotisesti verrattuna koneketjuun. Kesäkaudella, kun ainespuun menekki on huonoa, voidaan suunnata työmaita energiapuuleimikoille, ja näin parantaa työkoneen käyttöastetta. (Makkonen 2013, 25).

3 HARVENNUSHAKKUIDEN TARVE SUOMESSA

3.1 Hakkuupotentiaali

Suomessa on kasvavia nuoria metsiä runsaasti, jotka hoidettuna tuottavat hyvin puuta metsäteollisuuden tarpeisiin. Nuorista metsistä korjattu ainespuumäärä on ollut 2000 -luvulla runsaat seitsemän miljoonaa kuutiometriä (jatkossa kuutiota) vuodessa. Tämä on 14 prosenttia metsäteollisuuden käyttämästä kotimaisesta raakapuusta. (Kärhä, Keskinen 2011, 2-5). Lisäksi energiapuun käyttö on jatkuvasti kasvamassa. Viimevuosien pienpuun käyttömäärät energiantuotannossa ovat olleet noin kolme miljoonaa kuutiota vuosittain. (Ylitalo 2013, 1).

Suomessa on menneinä vuosikymmeninä ojitettu soita suuria pinta-aloja. Tilastojen mukaan 1960-luvulla ojitettiin 1,15 miljoonaa hehtaaria. Kiivaimmillaan ojitus oli 1970-luvulla, jolloin ylittyi jopa kaksi miljoonan hehtaarin raja ojitettujen soiden määrässä. Vielä 1980-luvullakin ojitusmäärä oli 800 000 hehtaaria. Tästä lähes neljä miljoonan hehtaarin alasta sijoittuu Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun ja Lapin maakuntiin noin 44 prosenttia. (Jokela, 2014).

Vuoden 2011 Metsäntutkimuslaitoksen valtakunnan metsien inventoinnin mukaan ensiharvennuspotentiaalia koko maassa on noin kolme miljoonaa hehtaaria kymmenen vuoden aikana eli 300 000 hehtaaria vuodessa. Ensiharvennusrästejä maassamme on VMI8-VMI10 mukaan 600 000 hehtaaria.

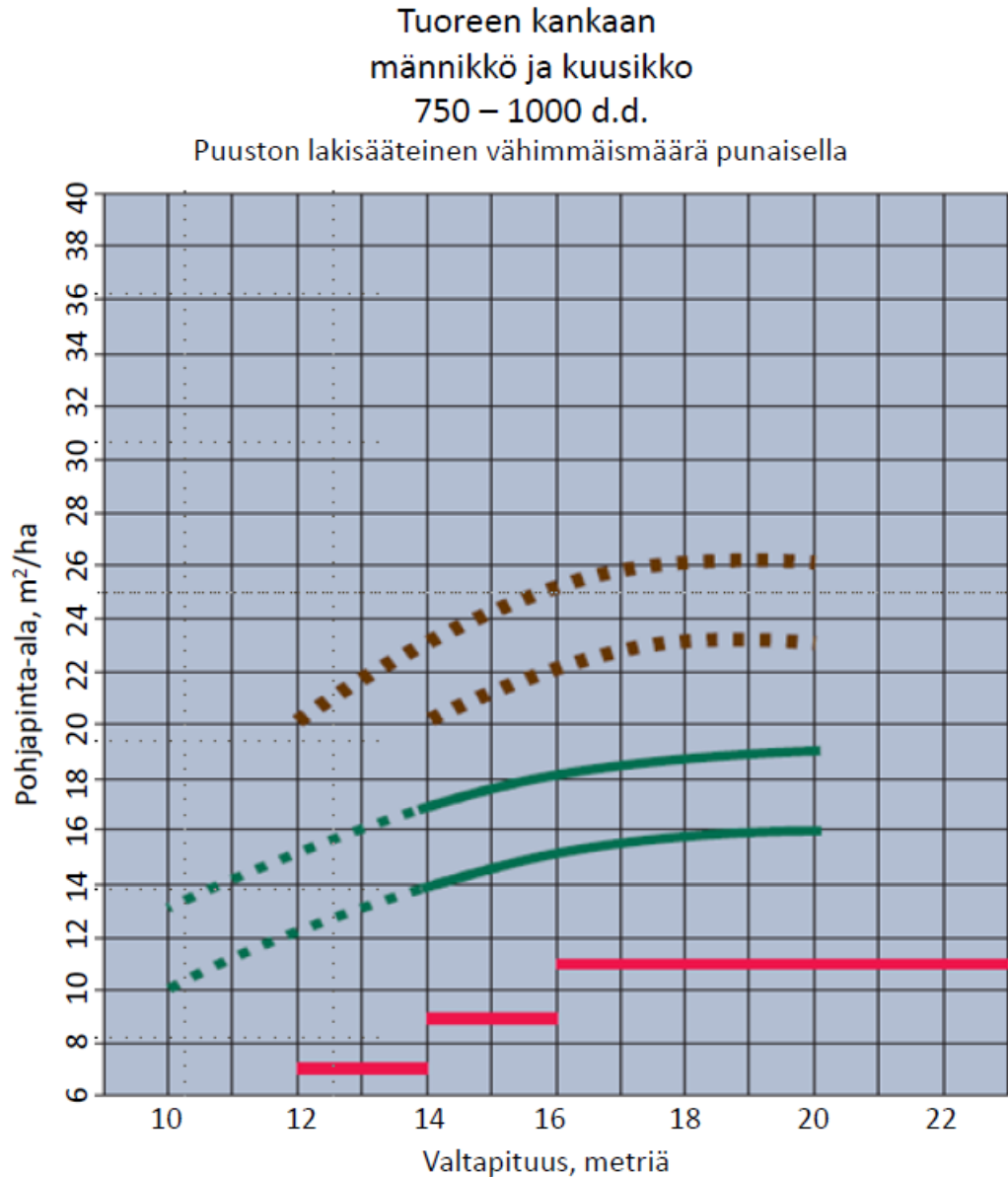
3.1.1 Harvennushakkuut

Harvennushakkuu tehdään normaalisti kaksi kertaa kiertoajan kuluessa. Harvennusten tavoitteena on keskittää maaperän kasvuvoima hyvälaatuisimpiin puuyksilöihin. Näin maksimoidaan metsästä saatava tukkisaanto uudistushakkuuvaiheessa. Pyrkimys tuottaa mahdollisimman paljon tukkipuuta metsässä perustuu sen merkittävästi kuitupuuta korkeampaan hintaan. (Tapio 2014, 31).

Ensiharvennus on merkittävä metsänhoidollinen toimenpide, joka vaikuttaa puuston tulevaan arvokasvuun ja kehitykseen. Kun puut saavat riittävästi ravinteita, valoa ja kasvutilaa sekä vettä, niiden kasvu nopeutuu. Puuston kasvaessa kiihtyy kilpailu kasvutilasta, jolloin latvukset supistuvat ja paksuuskasvu heikenee. Mikäli metsänomistajan tavoitteena on järeän tukkipuun kasvatus, on ensiharvennus välttämätön. (Tapio 2014, 98).

Metsikön hakkuutarpeen ja voimakkuuden määrittämiseen on käytetty Metsäkeskus Tapion harvennusmalleja 1960-luvulta lähtien. Jo ensiharvennusvaiheessa käytetään Tapion Metsänhoidon suositusten puulaji- ja kasvupaikkakohtaisia harvennusmalleja. Havupuiden harvennusmalli Pohjois-Suomessa on esitetty kuviossa 3. Näissä otetaan huomioon oikea harvennusajankohta ja tavoiteltavin kasvatustiheys jäljellejääville puille. Samalla tulee noudatettua kestävän metsänhoidon periaatteita. (Metsäntutkimuslaitos ym.1992, 119).

Metsänhoidon suosituksissa on määritelty yleisiä periaatteita harvennushakkuille. Suositukset mahdollistavat metsänomistajan toiveiden huomioon ottamisen muun muassa harvennusvoimakkuuden ja harvennusten välisen ajan sekä tavoiteltavan kiertoajan ja järeyden määrittämisessä. Sekapuustoa suositellaan kasvatettavaksi, mikäli se on mahdollista. Sekapuustoisuus lisää metsän monimuotoisuutta ja maisemallista arvoa sekä vähentää tuhoriskiä. Havupuuvaltaisissa metsissä on hyvä säilyttää ainakin kymmenen prosentin lehtipuusekoitus. Lievällä lehtipuusekoituksella on myös positiivinen vaikutus metsän taloudelliseen tuottoon, varsinkin jos suositaan rauduskoivua. Koivujen kasvattaminen lehtipuusekoituksena vaatii hieman enemmän kasvutilaa, jotta ne säilyvät elinvoimaisina verrattuna puhtaaseen havupuumetsään. Tämä edellyttää hieman voimakkaampia harvennuksia kuin pelkät havupuumetsät. (Tapio 2014, 60, 66). Harvennushakkuuta ennen on suositeltavaa tehdä ennakkoraivaus, jolloin varsinainen harvennus on helpompi toteuttaa ja näin päästään parempaan korjuujälkeen ja tuottavuuteen. Tarpeetonta siistimistä tulee kuitenkin välttää. (Tapio 2014, 96).



Kuvio 3. Havupuiden harvennusmalli Pohjois-Suomessa (Tapio 2014)

Ensiharvennustapoja on kolme:

- Alaharvennus, jolloin poistetaan pienimpiä puita ja jolloin valtapuiden kasvuolosuhteet paranevat ravintokilpailun vähentyessä.
- Laatuharvennus, jolloin poistetaan huonolaatuisimpia puuyksilöitä ja niitä jätetään vain jos harvennustiheys sitä edellyttää. Tämä on suositeltavinta ensiharvennuksissa.
- Yläharvennus, jolloin poisto keskitetään latvuskerroksen ylimpiin puihin. Näin tasataan puiden kokojakaamaa.

Myöhemmät harvennukset ovat yleensä ylä- tai alaharvennuksia. Tosin näissäkin yleensä painotetaan jäävän puuston laatua.

Suomessa hakkuupinta-aloja on tilastoitu keskitetysti vuodesta 1964, jolloin harvennushakkuiden pinta-ala oli noin 500 000 hehtaaria. Tämän jälkeen hakkuiden määrä putosi jyrkästi, ja se oli vähäistä koko 1970-luvun. Harvennuspinta-alat alkoivat nousta 1980-luvulla ollen vuonna 1989 kuitenkin vasta 250 000 hehtaaria. (Metsäntutkimuslaitos, ym. 1992, 12). Kasvatushakkuiden määrä ohitti puolen miljoonan hehtaarin rajan seuraavan kerran vasta 2008, jolloin se oli noin 533 000 hehtaaria. (Metsäntutkimuslaitos 2011, 150).

3.1.2 Tuottavuus

Tuottavuutta tarkastellaan tässä tutkimuksessa lähinnä siitä näkökulmasta, että mikä on optimaalinen leimikko yhdistelmäkoneelle. Tuottavuuden mittarina on kuinka monta kuutiota tunnissa saadaan ainespuuta tienvarteen ja mikä on poistettavan puuston tilavuuden vaikutus siihen. Samalla tutkitaan ajomatkan sekä hehtaarilta saatavan kertymän vaikutusta tehotuntuottavuuteen. Leimikon harvennushakkuun tuottavuuteen vaikuttavat metsäkoneen ominaisuudet, kuljettajan ammattitaito, puusto sekä lähikuljetusetäisyydet varastopaikalle.

Hakkuutyöskentely harvesterilla koostuu useista eri työvaiheista. Ensimmäisenä vaiheena on hakkuulaitteen vieminen kaadettavan puun tyvelle. Tässä tulevat näkyviin kuljettajien väliset erot selkeästi. Erot eivät ole niinkään riippuvaisia koneen ominaisuuksista. (Väätäinen ym. 2005, 20). Seuraava vaihe on puun kaataminen ja käsittely, jonka tulisi uusimpien tutkimusten mukaan tapahtua lähellä puun syntypistettä. (Manninen 2015). Kouran vientiin ja puun kaatamiseen kuluva aika on tutkimuksessa mitattu kuluvan 28 prosenttia tehotyöajasta harvesterilla. Karsinta ja katkonta vievät työajasta 45 prosenttia. Yhdistelmäkoneen etuna on tässä työvaiheessa se, että kuormatila estää puun kuljettamisen ajouran yli toiselle puolelle, jolloin vältytään turhalta rungon siirtelyltä. Kasa muodostuu luonnostaan lähelle kaadetun puun kantoa. Tässä työvaiheessa koneen ominaisuuksilla on jo huomattava merkitys puunrungon käsittelyaikaa

tarkasteltaessa. Sirenin ja Tantun tutkimuksessa tehoajan menekki jakautui kouran viennin, kaadon ja käsittelyn lisäksi työpisteelle siirtymiseen (19 %), rai-vaamiseen (8 %) sekä järjestelyyn (1 %). (Siren, Tanttu 2001, 608).

Toinen merkittävä tekijä käsittelyaikaan on rungon koko, joka on yhteydessä hakkuulaitteen ominaisuuksiin ja tehoihin. Suurimmilla rungoilla kuljettajan kokemus ja ammattitaito tulevat esille, koska karsinta vaatii kuormaajalla ”myötäilyä” vähentämään syöttörullien tehontarvetta. Pienillä rungoilla kuljettajan ammattitaidon vaikutus ei ole yhtä merkittävä. (Väätäinen ym. 2005, 39). Myös Rieppo ja Pekkola ovat tutkineet kuljettajan osuutta tuottavuuteen ja todenneet vaikutuksen olevan jopa 20 prosenttia. (Rieppo, Pekkola 2001)

Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että kuormatraktorialustaisella yhdistelmäkoneella työaika jakautuu siten, että hakkuutyöskentely vie ajasta 44 prosenttia ja metsäkuljetus 53 prosenttia ja jäljelle jäävä kolme prosenttia kuluu muihin toimenpiteisiin, joita ei voida katsoa kumpaankaan kuuluvaksi. (Rieppo, Pekkola 2001, 29).

Yhdistelmäkonekorjuumenetelmässä hakkuun toimintamalliksi luonnostaan tulee sivullepäin kaato koneen ominaisuuksista johtuen. Tutkimusten mukaan tässä toimintamallissa yhden kuution kuormaamiseen kuluva aika on ilman siirtymistä 78,2 sekuntia. Tämä jakautuu kasalle vientiin 17,8, järjestelyyn 5,3, kuormatilaan nosto 24,2 ja kuormatilassa järjestelyyn 8,3 sekuntiin. (Rieppo, Pekkola 2001, 36).

Tuottavuuteen merkittävästi vaikuttava tekijä lähikuljetuksessa on kuormattuna ajo. Täydellä kuormalla ajaminen kannattaa minimoida, koska polttoaineen kulutus lisääntyy. Koneeseen ja maaperään kohdistuvat rasitukset ovat suuremmat myös täydellä kuormalla. Kuorman keruu kannattaa aloittaa leimikon kaukaisimmasta nurkasta varastolle päin. Vähemmistöpuulajit kannattaa kuitenkin kerätä kuorman pohjalle jo menomatalla. Mikäli leimikko on heikosti kantavaa, on kannattavinta kerätä sekakuormia, jolloin kaikki hakattu puutavara tuodaan samalla ajokerralla pois. (Rieppo, Pekkola 2001, 36-37).

Yhdistelmäkoneella suoritettussa korjuussa kuormattuna ajo on optimaalista, koska puuta kerätään kokoajan leimikolla ajettaessa. Käytännössä varsitiellä tapahtuva siirtyminen varsinaiselle hakkuuleimikolle on tyhjänä ajoa. Ajettaessa leimikolla hakemaan seuraavaa kuormaa on järkevintä kerätä kuorman pohjalle edellisen kuorman vähemmistöpuutavara. Tämä helpottaa varastolla tapahtuvaa kuorman purkua, koska sekakuorma on kuormatilassa kerroksittain eikä rinnakkain, jolloin pölkkyjen erottelu on hankalampaa ja tapahtuu helposti lajisiirtymää. Tässä ajouran suunnittelu tulee tärkeäksi. Sen onnistuessa turha leimikolla ajo tyhjänä saadaan mahdollisimman vähäiseksi, mutta täydellä kuormalla ajaminenkin voidaan minimoida. (Rieppo, Pekkola 2001, 37).

Kuormatilan koolla on merkitystä siihen minkä verran tulee tyhjänä ajoa. Sirenin ja Tantun tekemässä tutkimuksessa vuonna 2001 todetaan, että korjurilla tehdyssä korjuussa tyhjänä ajoa oli noin 15 prosenttia enemmän mitä koneketjulla tehdyssä korjuussa. Kirjoittajat katsovat sen selittyvän korjurin pienemmällä kuormatilalla. Sama seikka tulee esille eri puutavaralajien kohdalla. Pidemmällä puutavaralla kuormatila on tehokkaammassa käytössä mitä lyhyttä tavaraa kuljetettaessa. Tutkimuksessa on mitattu myös kuormattujen taakkojen keskikoko korjurilla ja kuormatraktorilla. Monikäyttökouralla varustetulla yhdistelmäkoneella oli taakan keskikoko 155 litraa kun se kuormatraktorilla oli 298 litraa. Kuormaa purettaessa vastaavat lukemat olivat 298 litraa ja 492 litraa. (Siren & Tanttu 2001, 608).

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Aineisto

Tutkimuskysymyksiin vastaamisen ja analysoinnin mahdollistamiseksi tein seurantalomakkeen SoForest Oy:n kuljettajille työvuorojen päätteeksi täytettäväksi. Tiedonkeruulomakkeella ovat seuraavat sarakkeet:

- Päivämäärä
- Leimikon nimi ja pinta-ala (ha)
- Kuljettaja
- Hakkuu/ajoaika (h/min)
- Huolto/muu työ (h/min)
- Hakatut kuutiot (m³)
- Poistetut rungot (kpl)
- Keskiajomatka
- Poistetun puun keskitilavuus (dm³)
- Pääpuulaji poistumassa (yli 50 %)
- Maalaji (kangas/turve)
- Muut huomiot. Esim. kivisyys, alikasvos, raivaamaton...

Tutkimuslomake, jonka kuljettajat täyttivät, on liitteenä 1.

4.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytettiin seurantalutkimusta, jossa tutkittiin eri leimikoilta kerättyjä aineistoja. Seuranta kesti noin neljän kuukauden ajan. Ajanjakso oli alkutalvea eli lokakuusta 2014 tammikuuhun 2015. Lumen vaikutusta ei ollut ennen kuin jakson loppuvaiheessa tammikuussa. Seurattavia leimikoita oli kahdeksan kappaletta, joissa tehtiin 67 työvuoroa. Kerätty puutavaramäärä oli noin

1460 kuutiota ja runkoja kertyi 17492 kappaletta. Tutkimus tehtiin työvuorotasolla. Eri dimensiot ovat siten keskiarvoja kultakin työvuorolta. Ne eivät ole yksittäisen puun tilavuuksia tai käsittelyaikoja. Kuljettaja merkitsi tutkimuslomakkeelle jokaisen työvuoron päättyessä kyseisellä leimikolla olevan kokonaiskuutiomäärän ja runkoluvun, joista on laskettu Excel-taulukkolaskentaohjelmalla kyseiselle työvuorolle kertymä vähentämällä edellisenpäivän luvun kyseisen päivän arvosta. Tästä luvusta laskettiin poistuman keskitilavuus jakamalla tilavuuden runkoluvulla. Tässä tutkimuksessa kaikki tuottavuutta kuvaavat tulokset ja analyysit on tehty siten, että ne sisältävät kaikki työvaiheet puun kaadosta kuorman purkuun varastolla. Lisäksi tuottavuudet on laskettu tehotyöaikana, jolloin kokonaisajasta on vähennetty yli 15 minuutin keskeytykset, kuten tankkaukset, kahvitauot, remontit ja huollot. Tehotyöaikaan kuuluvat teräketjun vaihdot ja muut lyhytaikaiset keskeytykset.

Tämä aiheuttaa jonkin verran vääristymää, mikäli aineistoa tutkii pelkästään työvuorotasolla. Vääristymä käytännössä poistuu, kun koko leimikko on otettu mukaan. Vääristymä aiheutuu siitä, että saman työvuoron aikana hakattuja puuta ei aina tuoda varastolle vaan ne ajetaan vasta seuraavalla työvuorolla. Näin käy useasti havupuuvaltaisilla leimikoilla, koska koivut yleensä jätetään keräämättä samalla kertaa. Näin ollen työvuoron tuotos on hieman todellista suurempi. Vastaavasti se työvuoro, jonka aikana nämä jätetyt puut ajetaan varastolle, tuotos onkin todellista pienempi. Käytäntö on osoittanut, että yli kolmen puulajin kuormat ovat hankalia kuormanpurkamisen yhteydessä ja ne lisäävät purkamiseen kuluva aikaa merkittävästi.

4.3 Tietojen analysointimenetelmät

Tiedot analysoitiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla kerätyn aineiston perusteella sekä tiedonkeruulomakkeelta että muulla tavoin mitattujen arvojen osalta. Excelillä lasketut jakaumataulukoiden tulokset tehtiin kuvaajiksi, joiden avulla tietojen analysointi ja esittäminen on selkeämpää ja havainnollisempaa kuin pelkät numeeriset taulukot. Analysointimenetelmänä työvuoroittaisten tuottavuuden kuvioiden osalta käytettiin regressioanalyysia.

5 TULOKSET

Tutkimuksessa kerätty aineisto on mitattu työvuoroittain, jolloin kaikki mitatut dimensiot korjatuista puista ovat keskiarvoja kyseiseltä työvuorolta. Tuloksia ei siis tarkastella runkokohtaisina tuloksina vaan niiden estimaatteina. Estimaattorina laskelmissa on kerätyn aineiston keskiarvo.

Tässä luvussa käsitellään tuloksia sekä leimikkotasolla että työvuorotasolla. Leimikoittain tarkasteltuna on helpompaa hahmottaa niin sanottu ”iso kuva” tuotokseen vaikuttavista tekijöistä kuin tarkastelemalla työvuorokohtaisesti. Muun muassa hehtaarikohtainen kertymä ja kuljetusmatkan vaikutus näkyvät todellisemmin leimikkokohtaisessa tarkastelussa verrattuna työvuorokohtaiseen tarkasteluun. Työvuoroja tarkasteltaessa saadaan paremmin näkymään poistuman järeyden vaikutus, koska silloin vaihtelu keskijäreydessä on huomattavasti suurempaa mitä vastaavasti leimikkotasolla. Työvuorokohtaisessa tarkastelussa poistettavan puun keskitilavuus oli 51 – 199 litraa. Vastaavasti leimikkokohtaisessa tarkastelussa vastaava keskitilavuus oli 75 – 102 litraa.

Kaikki tulokset ja analyysit sisältävät jokaisen työvaiheen puun kaadosta varastolla tapahtuvaan kuorman purkuun saakka. Aikaa on käsitelty tehotyöaikana, joka sisältää lyhyet keskeytykset. Esimerkiksi teräketjun vaihto sisältyy tehotyöaikaan. Kokonaistyö ajasta on vähennetty yli 15 minuutin keskeytykset. Esimerkiksi kahvitauot, koneen huollot, remontit, tankkaukset ja mahdolliset rajalinjan etsinnät poistumalla ohjaamosta kuuluvat tiedon keruulomakkeella ”muu työ”-sarakkeeseen eivätkä sisälly tehotyöaikaan.

5.1 Tilavuusluokat

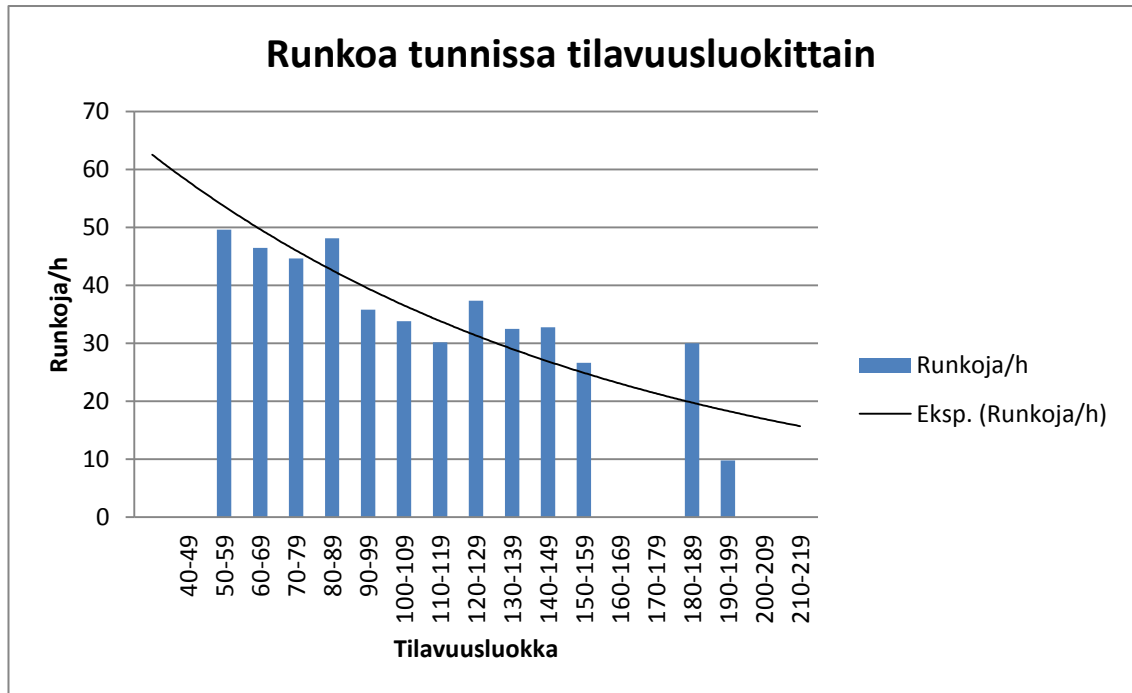
Poistumasta yli 60 prosenttia kertyi kolmeen tilavuusluokkaan välille 60 – 89 litraa. Kuviossa 4 havainnollistetaan miten kerätty aineisto jaettiin runkotilavuuden perusteella luokkiin. Suurimmissa tilavuusluokissa, 130 – 200 litraa, otoksen koko jäi pieneksi, minkä vuoksi tulosten luotettavuus kärsii näiltä osin. Luokkakoko on 10 litraa.



Kuvio 4. Runkojakauma tilavuusluokittain

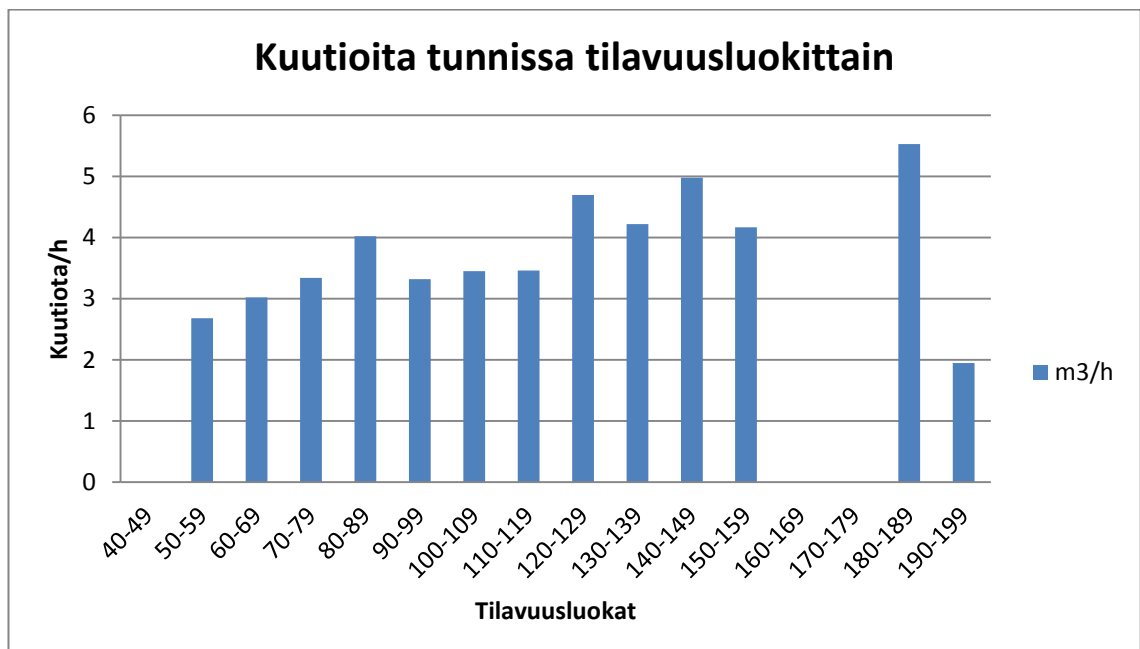
5.1.1 Runkotuotos tilavuusluokittain

Kuvio 5 osoittaa käsiteltyjen runkojen määrää tunnissa eri tilavuusluokissa. Tuntituottavuutta tarkasteltaessa pienimmän tilavuusluokan (50 – 59 litraa) runkoja kertyy eniten kappalemääräisesti tehotyötunnissa. Tuottavuus pysyy melko taseisena 90 litran tilavuusluokkaan saakka, jolloin tuotos putoaa noin 50:stä vaajaan 36 runkoon tunnissa. Tilavuusluokat 90 - 99, 100 - 109 ja 110 - 119 litraa ovat yllättäen heikkoja. Luokassa 120 – 129 litraa runkotuotos nousee 37 kappaleeseen tunnissa.



Kuvio 5. Runkotuotos tunnissa eri tilavuusluokissa

5.1.2 Kuutiotuotos tilavuusluokittain



Kuvio 6. Kuutiotuotos tunnissa tilavuusluokittain

Kuviossa 6 tarkastelun kohteena on kuutiotuotos tunnissa tilavuusluokittain. Siinä nousee myös esille sama ilmiö, mikä näkyi edellisessä kuviossa. Yllättäen

tuottavuus notkahtaa 90 – 110 litran tilavuusluokkien kohdalla. Paras tulos tulee kuutioina myös hieman yllättäen 180 – 190 litran tilavuudessa. Näissä ylimmissä tilavuusluokissa tämän kokoisella aineistolla tulee herkästi harhaa johtuen siitä, että tutkimukseen tulee vähän otantoja. Tällöin yksittäisen työvuoron mittauksen poikkeavuus saattaa vääristää tulosta kyseisessä luokassa. Tässä aineistossa luokkaan 180 – 189 litraa sattui vain yksi työvuoro, jossa poistuma oli hyvälaatuista mäntyä käytännössä ilman ajomatkaa.

5.2 Leimikot

Tutkimusaineistossa on kahdeksan eri metsänomistajan harvennusleimikoita. Leimikoiden pinta-alat ovat yhteensä 23,20 hehtaaria. Niiden koko vaihteli 1,54 – 4,42 hehtaarin välillä ollen keskimäärin 2,90 hehtaaria. Runkoja poistettiin yhteensä 17492 kappaletta, joiden keskimääräinen tilavuus oli 84,86 litraa. Hehtaarikohtainen kertymä oli 25,50 – 98,76 kuution välillä, ja sen keskiarvo oli 62,58 kuutiota hehtaarilta. Keskimääräinen ajomatka vaihteli 100 metristä lähes 550 metriin. Pisimmillään ajomatka oli yksittäisessä työvuorossa 850 metriä.

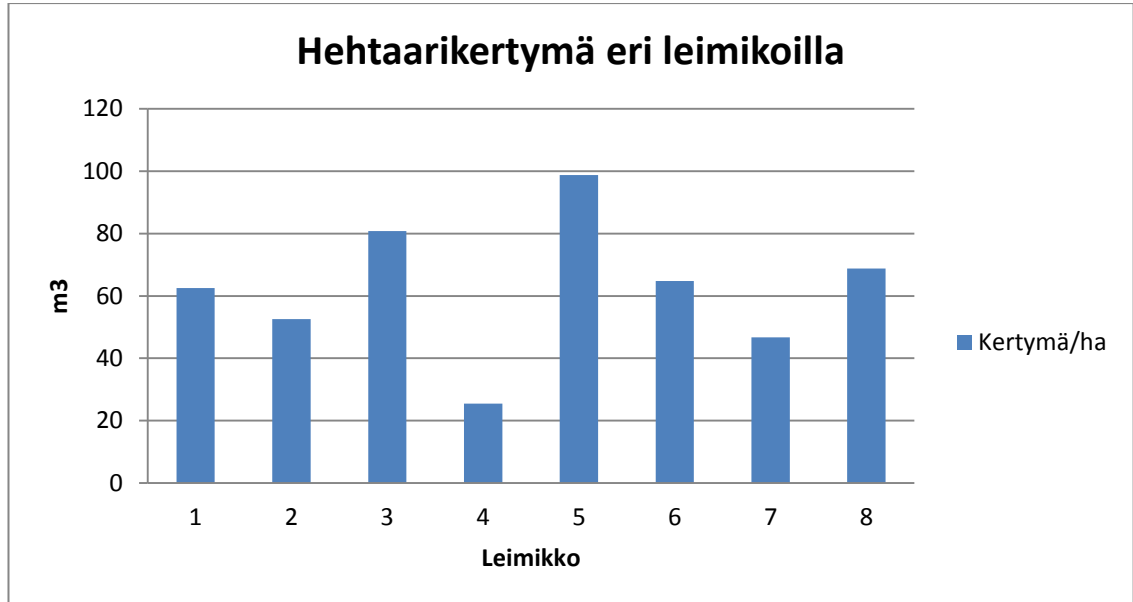
Taulukko 1. Kerätty aineisto leimikoittain.

	ha	m ³	Runko- ja	Tunnit	R/h	m ³ /h	Keskityla- vuus	Poistu- ma/ha
1	3,10	194,00	2603	64,40	40,42	3,01	74,53	62,58
2	1,54	81,00	906	25,00	36,24	3,24	89,40	52,60
3	3,20	258,70	2531	68,75	36,81	3,76	102,21	80,84
4	3,04	77,51	964	22,50	42,84	3,44	80,40	25,50
5	2,20	217,27	2905	59,50	48,82	3,65	74,79	98,76
6	3,20	207,47	2990	67,50	44,30	3,07	69,39	64,83
7	2,50	116,70	1178	27,75	42,45	4,21	99,07	46,68
8	4,42	304,30	3415	87,90	38,85	3,46	89,11	68,85
	23,20	1456,95	17492	423	41	3,48	84,86	62,58

Taulukossa 1 on esitetty keskeiset tutkimusta varten kerätyt leimikkokohtaiset tiedot. Leimikot on numeroitu toteutusjärjestyksessä.

Kun tarkastellaan tuottavuutta eri muuttujilla leimikoittain verrattuna työvuoro-kohtaiseen tarkasteluun, kuvaajien avulla on helpompi hahmottaa muuttujien

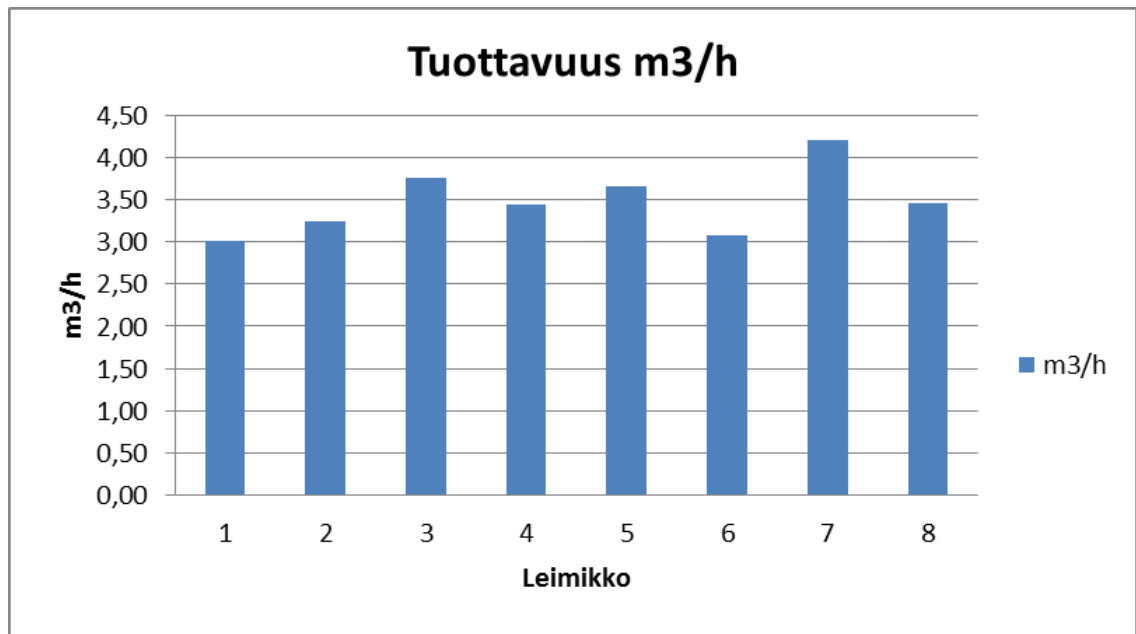
vaikutus tuottavuuteen. Tässä tarkastelussa on hehtaarikohtainen kertymä yksi merkittävimmistä muuttujista, jotka vaikuttavat tuottavuuteen harvennushakkuulla. Kuviossa 7 on esitetty kertymä kuutioina hehtaarilta, jotka vaihtelevat 25,50 kuutiosta (heikoin, leimikko 4) 98,76 kuution (parhain, leimikko 5) hehtaarilta.



Kuvio 7. Kertynyt ainespuun määrä hehtaarilta

5.2.1 Kertymän vaikutus tuottavuuteen

Kun tarkastellaan kuviota 8, missä havainnollistetaan tuntituottavuutta kuutioina leimikoittain, nähdään, että yhdistelmäkoneella tehtävässä harvennushakkuussa ei hehtaarikohtaisella kertymällä ole suurta merkitystä. Esimerkiksi leimikko 4, jossa kertymä oli vain 25,50 kuutiota hehtaarilla, tuottavuus 3,44 kuutiota tunnissa oli lähes sama mitä leimikolla 8, jossa se oli 3,46 kuutiota tunnissa, vaikka leimikon 8 kertymä oli 68,85 kuutiota hehtaarilla. Tuottavuus siis säilyi samana vaikka hehtaarikertymä oli 2,7-kertainen. Näiden kahden leimikon välisessä tarkastelussa tuntikertymää tasaa se, että leimikolla 8 ajomatka on 378 metriä pidempi kuin leimikolla 4. Vastaavasti toiseen suuntaan vaikutus on sillä, että keskimääräinen litratilavuus on 8,7 litraa isompi leimikolla 8 verrattaessa leimikon 4 litratilavuuteen. Tämän aineiston perusteella näyttää kokonaisuutta tarkasteltaessa siltä, että poistettavan rungon tilavuus ja lähikuljetusmatkan pituus ovat suurimmat tekijät tarkasteltaessa tuntituottavuutta kuutioina.



Kuvio 8. Tuottavuus kuutioina tunnissa leimikoittain

5.2.2 Runkotuotos tunnissa leimikkotasolla

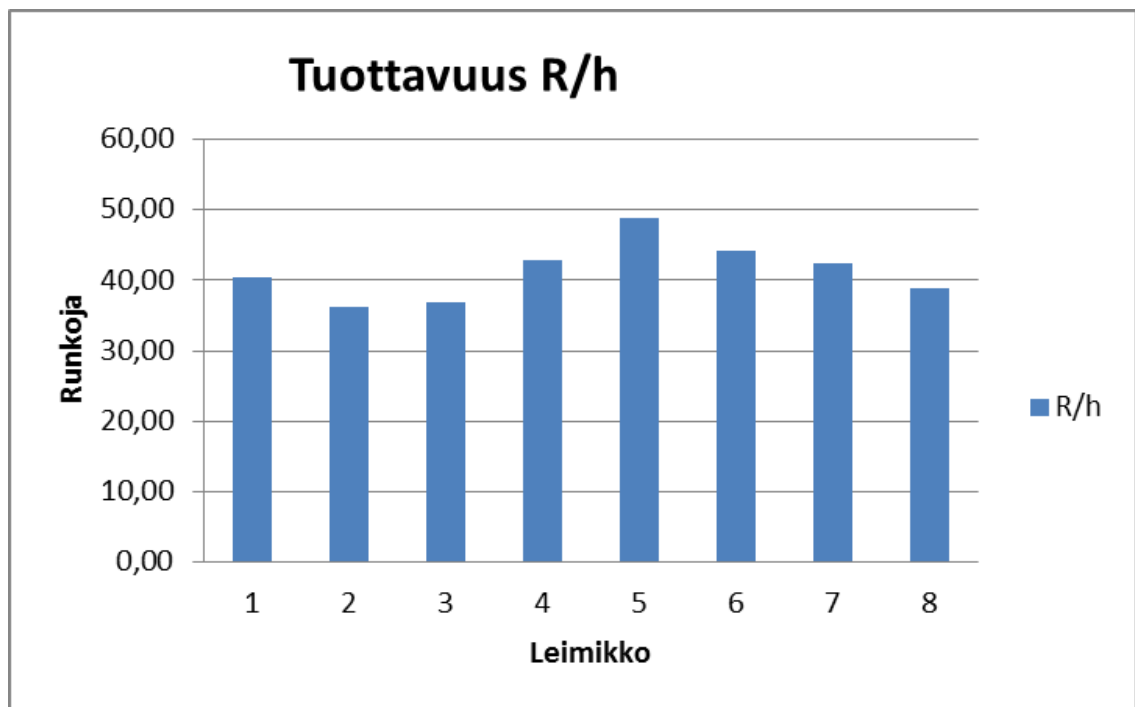
Seuraavissa kuvioissa tarkastellaan runkojen kertymää tunnissa ja rungon tilavuuden vaikutusta siihen. Runkotuottavuuden vertailussa tulee muistaa, että tässä tutkimuksessa rungot on toimitettu varastolle asti eikä niitä ole pelkästään hakattu leimikolle. Siinä vaiheessa, kun runkomäärä ja korjuuaika on merkitty tutkimuslomakkeelle, jokainen puu on ollut pinossa varastossa.

Runkotuottavuuden mittaaminen sinänsä ei ole järkevää, koska rungoista ei makseta, mutta sen avulla on helppo tutkia rungon tilavuuden vaikutusta kuutio-
tuottavuuteen. Mikäli oletettaisiin ”tasaisen vauhdin taulukon” toimivan konekorjuussa, olisi tuottavuuden laskeminen helppoa. Tällöin voisi kertoa keskimäärin kouran läpi kulkeneiden puiden kappalemäärän niiden tilavuudella. Tilavuuden kasvaessa kuutio-
tuotos paranee samassa suhteessa. Näinhän asia ei kuitenkaan ole vaan käsittelyaika runkoa kohti kasvaa sen tilavuuden kasvaessa tietyn rajan jälkeen. Tämä raja on harvesteripään ominaisuuksista riippuvainen. Mitä järeämpi koura on sitä suurempia runkoja sillä voidaan käsitellä työn kui-

tenkaan hidastumatta. Lisäksi käsittelyaikaan vaikuttavat monet muut tekijät, kuten puiden suoruus ja oksaisuus sekä oksien paksuus.

Tutkimuksessa käytetyllä koneella, jossa on pienitehoinen monikäyttökoura, rungon käsittelyaika alkaa oletettavasti kasvaa jo 120 – 150 litran runkojen kokoluokassa. Leimikkotasolla tarkasteltaessa jo poistettavan puun keskitilavuudeltaan ollessa 100 litran luokassa, vaihtelee poistettavien puiden koko 50 – 150 litraa. Pohjois-Pohjanmaalla Kalajokilaaksossa ensiharvennusmetsien rakenne on hyvin eri-ikäistä, jolloin poistumaankin tulee monen kokoista puuta. Tästä johtuu seuraavissa kuvioissakin ilmenevä runkojen käsittelyajan jatkuminen leimikon keskijäreyden noustessa.

Kuviossa 9 esitetään tuntituottavuutta tarkasteltuna runkoina, jolloin nousee selvästi esille rungon koon merkitys.



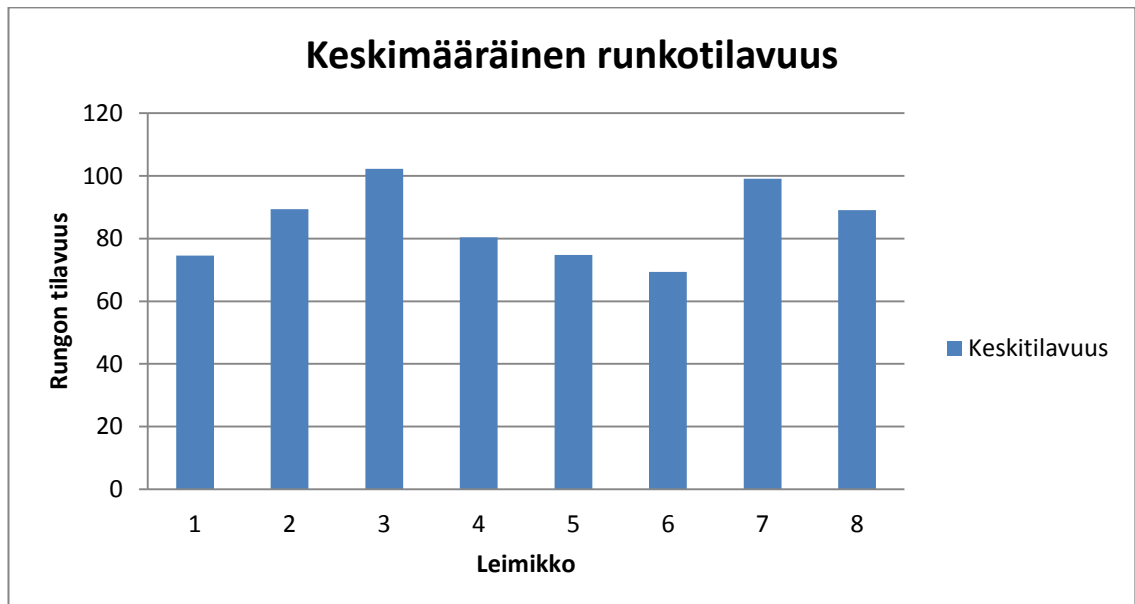
Kuvio 9. Tuottavuus runkoa tunnissa leimikoittain

Näitä kahta muuttujan arvoa verrattaessa nousee esille, että tämän kokoiselle yhdistelmäkoneelle on optimaalisin poistettava puu keskimäärin 70 – 80 litrainen runko. Tähän kokoluokkaan sattuvat leimikot 4 (80,40 l), 5 (74,79 l) ja 6 (69,39 l). Samoilta leimikoilta myös runkoa tunnissa mitattuna on suurin kertymä tämän tutkimuksen aineistossa. Leimikolla 4 hehtaarikertymä oli vain 25,50 kuu-

tiota, mutta sen vastapainona kuljetusmatka oli lyhin (163 m) näistä kolmesta tarkasteltavasta leimikosta. Vastaavasti leimikolla 6 kuljetusmatka on pisin (400 m), mutta kertymä 2,5-kertainen leimikkoon 4 verrattuna. Leimikolla 5 runko- tuotos ja kertymä ovat parhaita. Kuljetusmatka ja rungon koko ovat näiden kahden vertailuleimikon puolesta välistä.

5.2.3 Kuutiotuotos tunnissa leimikkotasolla

Vertailukohtana on seuraava kuvio 10, josta näkyy keskimääräinen poistetun puun tilavuus leimikoittain.



Kuvio 10. Poistettujen runkojen keskitilavuus leimikoittain

Tilavuus yksinään ei selitä kaikkia muutoksia, mutta selvä trendi on näkyvissä tilavuuden vaikutuksesta siten, että niissä leimikoissa, joissa poistettavan puun tilavuus oli pieni, tuntituottavuus oli parempi runkoina mitattuna kuin niissä leimikoissa, joissa poistettavan puun tilavuus oli suuri.

5.3 Tarkastelu työvuoroittain

Tässä kappaleessa keskitytään leimikoiden sijasta tarkastelemaan tuloksia työvuoroittain. Tässä tarkastelussa saadaan suuremmat vaihtelut mitatuille arvoille ja vertailuaineistoa huomattavasti enemmän. Leimikoita tutkimuksessa oli kahdeksan vaihdellen 1,54 hehtaarista 4,42 hehtaariin. Aineistossa on 67 työvuoroa, joiden päätteeksi kirjattiin tutkimuslomakkeelle kyseisen työvuoron aikana kertyneiden runkojen määrä ja tilavuus sekä pääasiallinen puutavaralaji poistumasta. Tämä lajijako tehtiin arvioimalla jokaisella työvuorolla kertyneestä tuotoksesta. Niitä ei siis mitattu tarkasti erilleen vaan tulos perustuu kuljettajan arvioon. Kuutiomäärä kokonaisuutenaan on tarkka, mutta jos männyn ja koivun kertymä on ollut jokseenkin yhtä suuri, on saattanut tulla siirtymää jomman kumman puulajin hyväksi. Kuusi oli pääpoistumalaji ainoastaan yhdellä työvuorolla. Mänty oli pääpoistumalajina 36 työvuorolla ja koivu 30 työvuorolla.

Tällä tiedolla haluttiin selvittää puulajien vaikutus korjuun tuottavuuteen. Lähtökohtaisesti havukuidun ja koivukuidun suurin ero on siinä, että havukuitu korjataan niin sanotusti rankana eli katkonta on välillä 2,7 – 5 metriä. Keskipituus havukuidulla on 4 – 4,5 metriä. Koivukuitu korjataan kolmimetrisenä eli katkonta tehdään välillä 2,7 – 3 metriä, jolloin keskipituudeksi jää hieman alle kolme metriä. Tämä seikka ei merkittävästi vaikuta itse rungon prosessointiin. Ainoastaan useampi katkaisu hidastaa jonkin verran käsittelyä, mutta lähikuljetukseen pölyn pituudella on huomattava merkitys. Mutkaista rämekeivua ei mene kuormilaan kuin hieman yli viisi kuutiota, ja normaalilaatuistakin koivukuitua enimmillään seitsemän kuutiota. Havukuitua edellisiä pidempänä mahtuu noin kymmenen kuutiota, ja sopivan kokoista suoraa puuta kulkee jopa 11 kuutiota varastolle yhdessä kuormassa tällä korjuukalustolla.

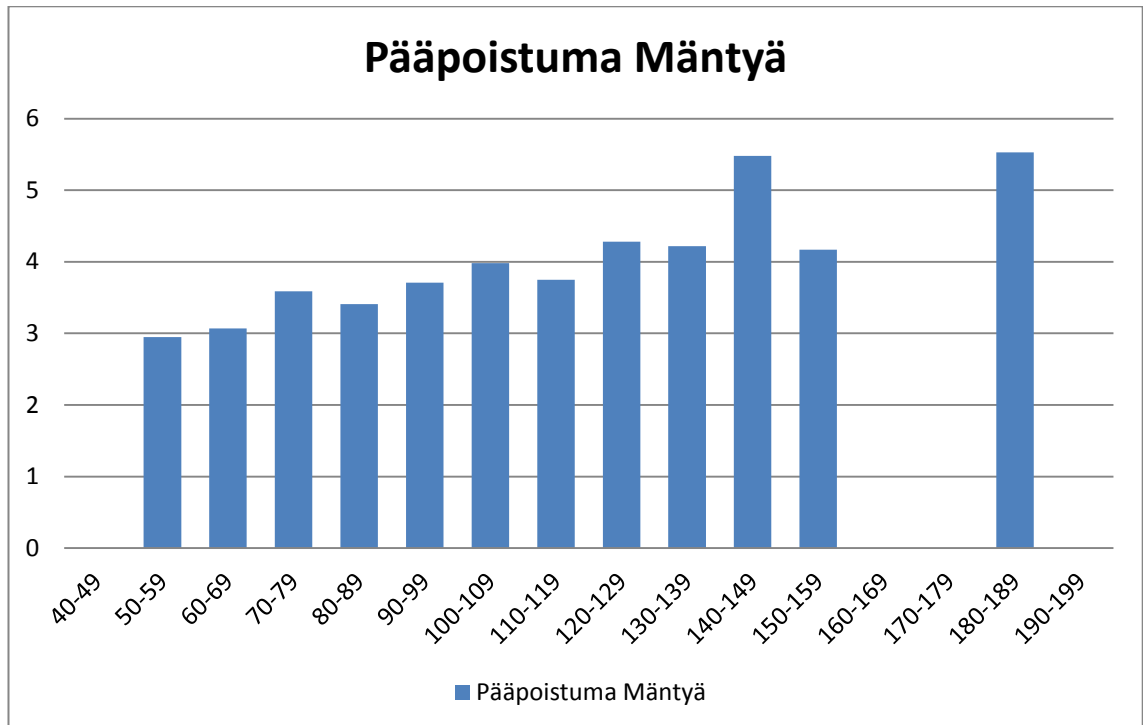
Työvuorotason tarkastelussa saadaan myös suuremmat vaihtelut poistuvan puun litratilavuuteen mitä edellisen luvun leimikkotason tarkastelussa. Samoin ajomatkan vaikutus tulee selkeämmin esille. Pisimmillään keskiajomatka oli 850 metriä työvuorotasolla tutkittaessa, kun leimikoittain pisin matka oli 541 metriä.

5.3.1 Puulajin vaikutus tuotokseen

Tuottavuuden notkahdus 90 – 110 litran tilavuuksissa näyttäisi aiheutuvan koivun hitaammasta prosessoinnista näissä tilavuusluokissa. Kun tarkasteltiin puulajeittain koivun ja männyn eroja kertymässä todettiin, että koivun tuotoksessa näkyy samanlainen notkahdus, mikä heijastuu koko aineistoon. Männyllä tuotos säilyy johdonmukaisena lähes tasaisesti nousevana aina 150 litran tilavuusluokkaan saakka. Niissä työvuoroissa, joissa pääpoistuma on ollut koivu, tunti-tuotos on selvästi notkahtanut näissä luokissa.

5.3.2 Mänty

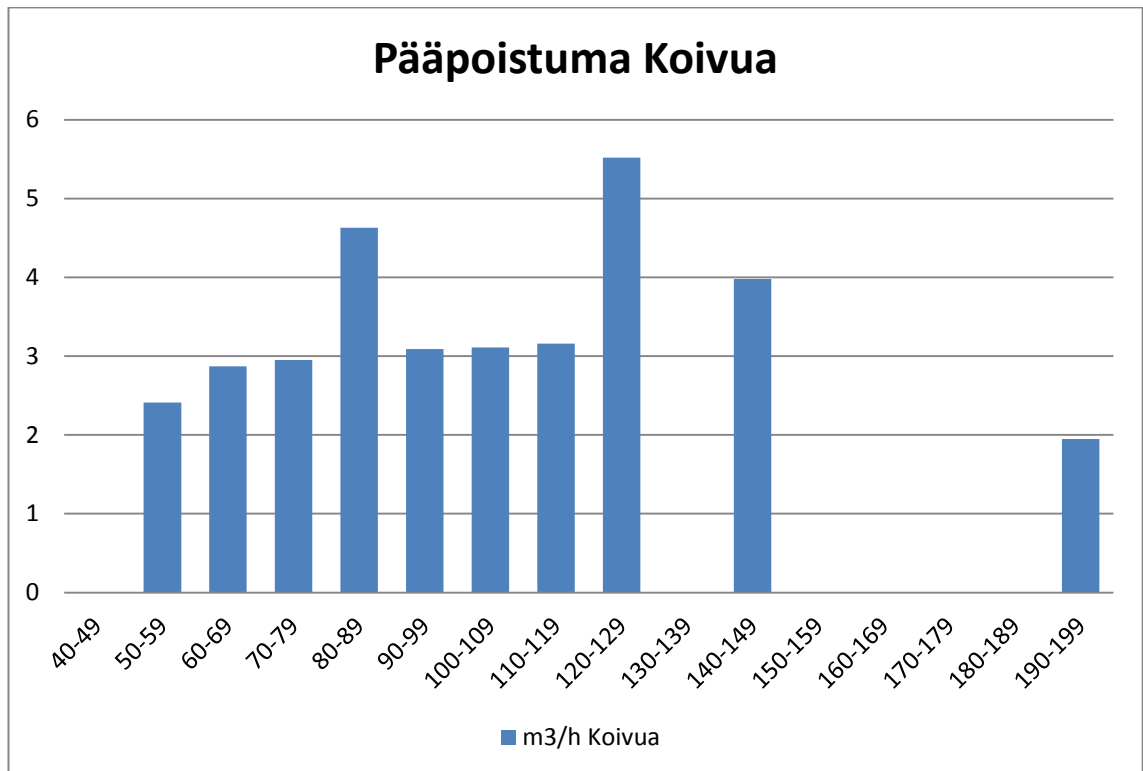
Kuvio 11 esittää tuntituotosta kuutioina niillä työvuoroilla, joissa pääpoistuma on ollut mänty. Tilavuusluokat 140 – 149 ja 180 - 189 ovat antaneet parhaimman tuntituotoksen kuutioina mitattuna. Muiden luokkien osalta kertymän kehitys on ollut lineaarisesti nouseva.



Kuvio 11. Mäntyvaltaisten työvuorojen tuottavuus tilavuusluokittain

5.3.3 Koivu

Kuviossa 12 esitetään tuntituotos kuutioina niillä työvuoroilla, joissa pääpoistuma on ollut koivu. Tilavuusluokka 120 – 129 litraa on antanut parhaimman tuntituotoksen kuutioina. Tästä kuvaajasta käy ilmi se, mikä heijastuu koko tutkimuksen tuloksiin. Tilavuudeltaan noin 100 litrainen koivu on ongelmallista prosessoida tämän tyyppisellä hakkuulaitteella. Usein se on erittäin mutkaista ja runsasoksaista, jolloin sen syöttäminen karsimaterien läpi on hidasta. Lisäksi runko on ohut, jolloin syöttörullat eivät saa kunnon pitoa ja senkin vuoksi prosessointiaika pitenee. Tätä ei pystytä osoittamaan laskennallisesti tämän aineiston perusteella, mutta työn seurannassa tämä tulee ilmi.



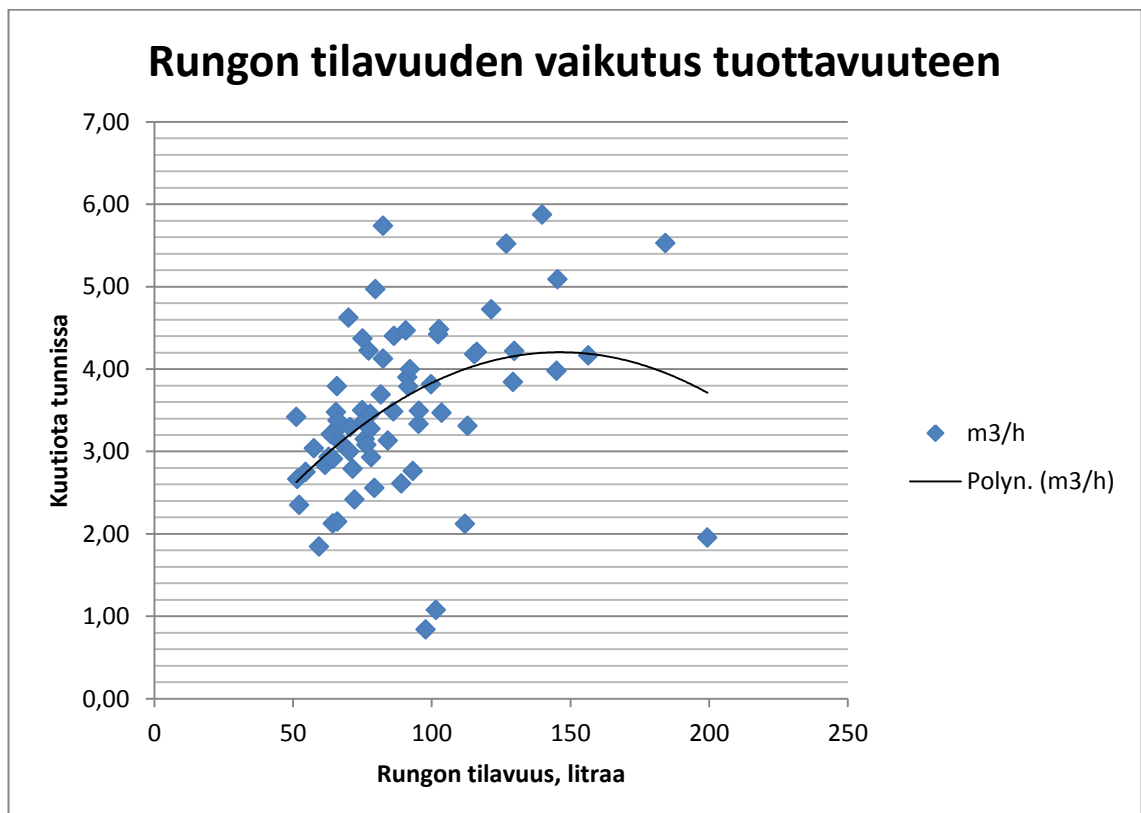
Kuvio 12. Koivuvaltaisten työvuorojen tuottavuus tilavuusluokittain

Toinen tilavuusluokkien poikkeavuuteen vaikuttava tekijä on niin ikään koivun aiheuttama. Tilavuusluokissa 90 – 110 litraa oli merkittävä osa leimikoista kuusivaltaisia kuvioita, joista käytännössä lähes kaikki poistettava puulaji oli koivua. Tällöin ajoon käytetty aika kuutiota kohti kasvaa, koska puhtaassa koivukuormassa menee noin 35 prosenttia vähemmän kuutioita varastolle mitä vastaavassa havupuukuormassa. Tämä johtuu kuitupöllien keskipituuden erosta. Koi-

vukuidun keskipituus on hieman alle kolme metriä, ja havukuidun keskipituus on noin 4,5 metriä.

5.3.4 Poistuman tilavuuden vaikutus kuutiotuotokseen

Seuraavassa kuviossa 13 on esitetty poistettavan puun tilavuuden vaikutusta tuntituotokseen kuutioina tunnissa. Kuutiotuotos paranee tasaisesti, kun poistuvan puun tilavuus kasvaa. Parhaimmillaan tässä aineistossa tuotos on ollut 5,87 kuutiota ja heikoimmillaan 0,84 kuutiota tunnissa. Heikoimpien työvuorojen tuotos selittyy sillä kun on ollut työvuoron vaihto juuri ennen leimikon valmistumista, jolloin on ollut vain valmiiksi hakattuja puita ajettavana, joten ne näkyvät edellisen työvuoron kertymässä.

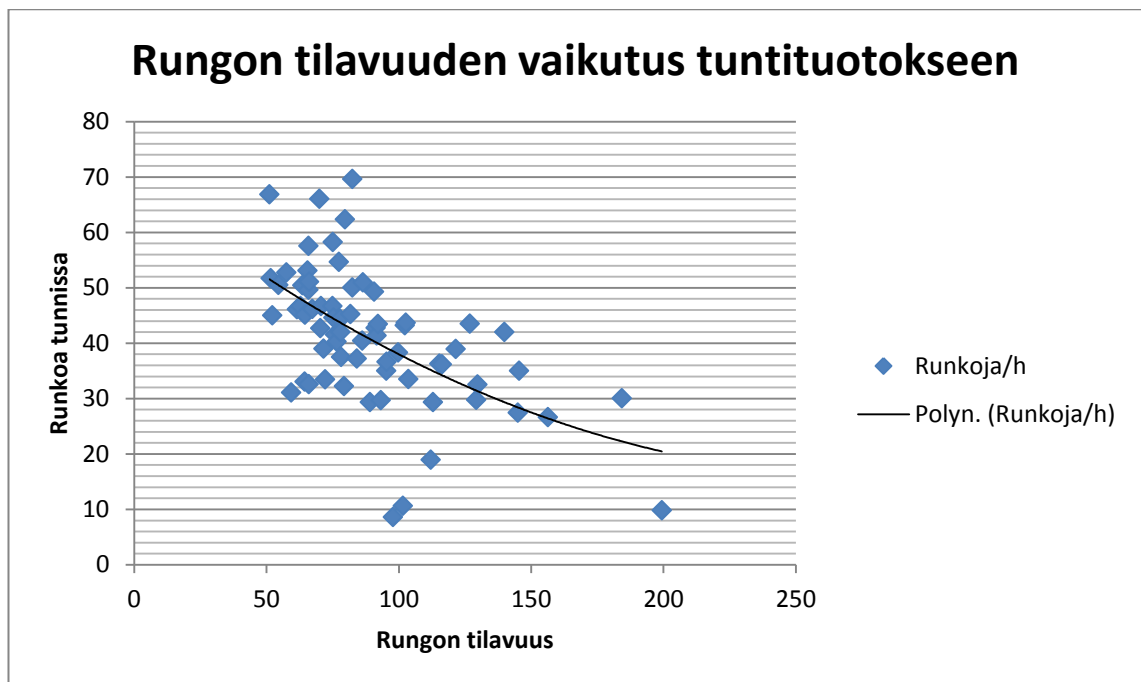


Kuvio 13. Rungon tilavuuden vaikutus tuottavuuteen

Kuvion pisteet osoittavat leimikoiden poistuneen puun tilavuutta litroina. Trendiviiva on nouseva poistuman tilavuuden kasvaessa 130 litran tilavuuteen saakka, jossa tuottavuuden nousu taittuu.

5.3.5 Rungon tilavuuden vaikutus prosessointiaikaan

Kun tuotosta tunnissa tarkastellaankin poistettujen runkojen määrällä kuviossa 14, todetaan rungon tilavuuden vaikutus prosessointiaikaan. Se kasvaa voimakkaasti poistettavan puun tilavuuden kasvaessa. Tässä kuvaajassa ei ole otettu huomioon ajomatkan vaikutusta runkotuotokseen. Parhaimmillaan tuotos on 70 kappaletta tunnissa, mikä on tullut 82 litran tilavuudessa. Heikoimmat runkotuotokset ovat suurimmissa litratilavuuksissa, kun jätetään pois ne yksittäiset työvuorot, jolloin on suoritettu lähes pelkästään puutavarankuljetusta. Esimerkiksi työvuoro, jossa poistuman tilavuus on ollut 199 litraa, on runkoja kertynyt vain keskimäärin 10 kappaletta tunnissa. Tämä tulos sisältää sekä prosessoinnin että lähikuljetuksen varastolle.

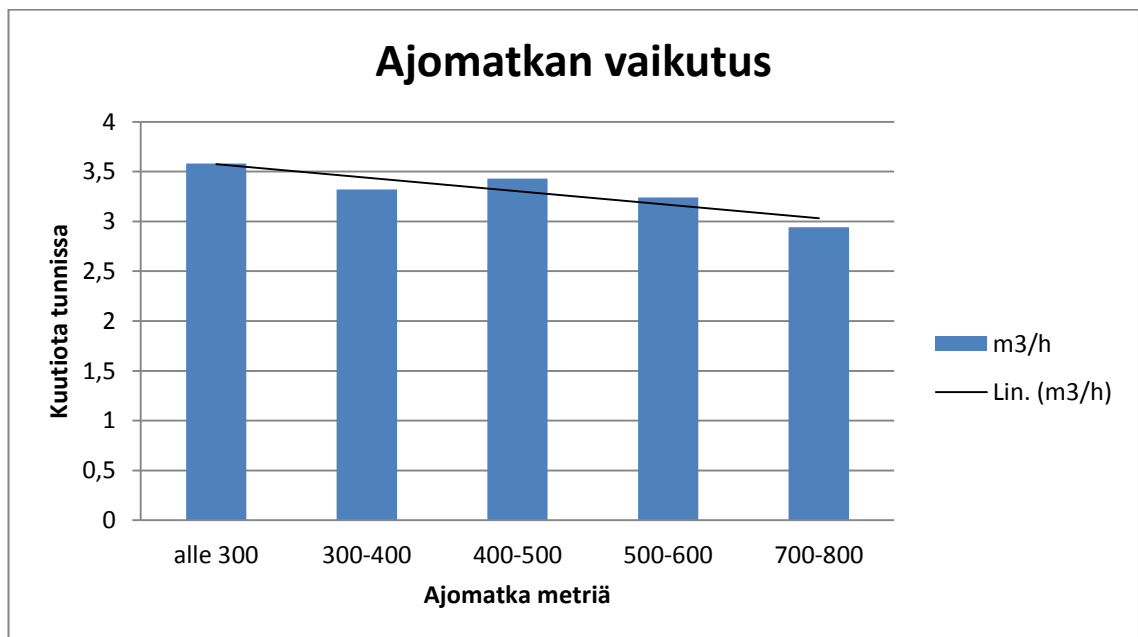


Kuvio 14. Rungon tilavuuden vaikutus tuntituotokseen

Pistekuvion pisteet osoittavat leimikoiden poistuneen puun tilavuutta litroina. Trendiviiva on laskeva poistuman tilavuuden kasvaessa.

5.4 Ajomatka

Ajomatkan vaikutusta kuvataan seuraavassa kuviossa 15. Tutkimuksessa keskitytään tarkemmin tarkastelemaan tätä osiota yli 300 metrin ajomatkoilta, koska lyhyemmillä ajomatkoilla metsäkuljetusmatkan merkitys kokonaisuuteen on melko vähäinen. Keskiajomatkan ollessa alle 300 metriä vaikuttavat muut seikat huomattavasti enemmän tuottavuuteen kuin ajomatka, muun muassa kertymän määrä hehtaarilta ja poistettavan puun tilavuus. Toiseksi taksataulukoissa ajomatka yleensä alkaa vasta kun keskimääräinen kuljetusmatka ylittää 300 metriä. Kuvion tiedot on kerätty työvuorokohtaisesti, jolloin on saatu suurempi otanta aineistosta.



Kuvio 15. Ajomatkan vaikutus

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Rungon tilavuuden vaikutus tuottavuuteen

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että runkotilavuus on yksi keskeisimmistä vaikuttavista tekijöistä mitattaessa tuottavuutta. Tähän ei ole olemassa mitään yleispätevää sääntöä vaan koneen ominaisuuksilla on tässä keskeinen merkitys. Aineistoa analysoitaessa ilmeni yllättävästi tuotoksessa huomattava notkahdus 90 – 110 litran tilavuusluokissa. Ennakkokäsityksenään tutkimuksen tekijä oli ajatellut juuri tämän kokoluokan harvennuskoneen olevan optimaalisinta tutkimuksessa käytettävän koneen korjattavaksi. Männyn osalta se sitä onkin. Tuotos nousee melko tasaisesti tilavuusluokkaan 120 – 129 litraa, jossa nousu tasoittuu. Suurimmissa tilavuusluokissa aineiston luotettavuus kärsii otoksen pienuudesta johtuen. Esimerkiksi 140 - 149 ja 180 – 189 litran tilavuusluokkiin sattui vain yksi työvuoro.

Koivuvaltaisilla työvuoroilla 50 litran tilavuudesta 110 litran tilavuuteen on tuotoksen nousu 31 prosenttia. Tuotos on 50 litran kokoluokassa 2,41 kuutiota ja 110 litran kokoluokassa 3,16 kuutiota. Molemmat puulajit huomioiden tuottavuuden nousu oli 39 prosenttia.

Tämä näyttäisi selittävän kokonaistuottavuudessa näkyvän notkahduksen tilavuusluokkien 90 - 110 kokoluokassa. Aineistoissa näissä luokissa poistettava puu oli pääasiassa koivua. Koivu korjataan kolmemetrisenä, jolloin koneen kuormatilaan sopii vain noin seitsemän kuutiota kuitua. Vastaavasti havukuidulla kuorman koko on 10 – 11 kuutiota. Lisäksi tämän kokoisen koivun prosessointi on huomattavan hidasta johtuen puun mutkaisuudesta ja rungon ohuudesta.

Kuutiotuotos tunnissa vaihteli tässä tutkimuksessa 2,35 ja 5,87 kuution välillä, kun jätetään tarkastelusta pois ne työvuorot, joissa suoritettiin lähes pelkästään puutavaran ajoa. Keskimäärin tuottavuus oli 3,48 kuutiota tunnissa.

Tilavuuden vaikutus tuottavuuteen näyttäisi tässä tutkimuksessa olevan suurempi mitä se on esimerkiksi Kärhän vuonna 2007 tekemässä tutkimuksessa, jossa poistettavan puun tilavuuden noustessa 100 litrasta 200 litraan tuottavuus parani 19 prosenttia.

Kärhän ym. vuonna 2007 tekemässä tutkimuksessa korjureiden tuntituottavuus oli ensiharvennuksella 5,1, harvennuksella 6,4 ja päätehakkuulla 7,7 kuutiota tunnissa. (Kärhä ym. 2007, 23).

Kärhän tutkimuksessa koneiden kokoluokka ja leimikoiden järeys eivät ole vertailukelpoisia tämän tutkimuksen kanssa. Siinä poistettavan puun keskijäreys vaihteli 97 litrasta 358 litraan. (Kärhä ym. 2007, 16).

Makkosen vuonna 2013 tekemän tutkimuksen haastateltavat korjuriyrittäjät arvioivat hakkuumäärien olevan 2 – 3 m³/h. Kaksi heistä arvioi tuottavuuden olevan 3 – 4 m³/h ja eräs vain 1 – 2 m³/h. Makkosen haastatteleminen yrittäjien vuosittaiset hakkuumäärät vaihtelivat 5000 m³ – 10 000 m³. (Makkonen 2013, 34 - 35).

Makkosen tutkimuksessa keskityttiin energiapuun korjuuseen, missä poistuvan puun järeys oli huomattavasti pienempi. Siinä tilavuuden noustessa 10 litrasta 20 litraan poistettavalla puulla oli tuottavuuden nousu jopa 63 prosenttia. Tämän tutkimuksen tulos asettuu näiden vertailututkimusten välille. Samoin poistettavan puun tilavuus on näiden kahden tutkimuksen välissä. Tulosten perusteella voidaan todeta, että tuottavuuden nousu hidastuu litratilavuuden kasvaessa poistettavalla puulla.

Tuottavuuksia voidaan verrata keskenään eri tutkimuksissa saatujen arvojen perusteella, mutta se on erittäin vaikeaa, jopa mahdotonta, koska eri kuljettajat ja leimikot ovat olleet eri tutkimuksissa. On tunnettu tosiasia, että kuljettajan vaikutus tuottavuuteen on hyvin suuri. Samoin on leimikon vaikutus erilaisten olosuhteiden vuoksi. Samaan johtopäätökseen on tullut myös Kärhä omassa vuonna 2007 tekemässään tutkimuksessa.

6.2 Hakkuukertymän vaikutus tuottavuuteen

Hehtaarikohtaisella hakkuukertymällä ei näyttäisi olevan suurta vaikutusta yhdistelmäkonekorjuun tuottavuuteen. Tutkimusaineistossa heikoimmalla leimikolla kertymä oli vain hieman yli 25 kuutiota hehtaarilta, mutta silti tuottavuus tunnissa pysyi suunnilleen samana mitä niillä leimikoilla, joissa kertymä oli jopa lähes kolminkertainen. Tämä näyttäisi perustuvan siihen, että kertymältään heikolla leimikolla korjuutekniikkana käytetään sekakuormausta, jolloin tuodaan kaikki puutavara pois samalla ajokerralla. Tämä näyttäisi tehostavan korjuuta kokonaisuutena, vaikka purku aika varastolla lisääntyy. Tämän tekniikan käyttö runsaspuustoisilla leimikoilla ei ole järkevää, koska kuormia tulee paljon enemmän, jolloin purkamisajan merkitys lisääntyy. Samaan tulokseen on tultu Väätäisen ym. tutkimuksessa 2007. (Väätäinen ym. 2007, 58).

Myös Kärhän ym. 2007 tekemän tutkimuksen mukaan korjuri oli sitä kannattavampi mitä pienempi oli hehtaarikohtainen kertymä. (Kärhä ym. 2007, 42).

6.3 Kuljetusmatkan vaikutus tuottavuuteen

Tämän aineiston perusteella tuntituottavuudessa ei tapahdu juuri muutosta kuljetusmatkan kasvaessa 300 metristä 500 metriin. Selkeä pudotus tuottavuudessa tapahtuu kun keskimääräinen kuljetusmatka ylittää 600 metriä. Niissä työvuoroissa, joissa keskikuljetusmatka oli alle 300 metriä, oli tuottavuus 3,58 kuutiota tehotyötunnissa. Kuljetusmatkan ollessa 300 ja 400 metrin välissä vastaava luku oli 3,32 kuutiota tunnissa. Tästä tuottavuus nousi yllättäen kun matka piteni 500 metriin ollen 3,43 kuutiota tunnissa. Tämä on vain 0,15 kuutiota vähemmän mitä alle 300 metrin matkalla. Matkan noustessa 600 metriin oli tuottavuus 3,24 kuutiota tunnissa, eli tuottavuuden aleneminen reilusti kaksinkertaistui. Pudotus vertailuarvoon alle 300 metriä oli 0,34 kuutiota tuntituotoksessa. Edelleen kuljetusmatkan lisääntyessä yli 700 metriin putosi tuottavuus alle kolmeen kuutioon tunnissa. Tarkka lukema on 2,94 kuutiota. Tämä on jo 0,64 kuutiota eli 18 prosenttia alempi tuottavuus verrattaessa alle 300 metrin kuljetusmatkalla saavutettavaan 3,58 kuution tuntituottavuuteen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuskysymyksessä 1 haluttiin selvittää minkä tyyppiselle leimikolle tutkimuksessa käytetty yhdistelmäkone soveltuu parhaiten. Edellä olevien tulosten perusteella yhdistelmäkone soveltuu parhaiten sellaiselle leimikolle, jossa suurin poistuma on mäntyä ja jonka litratilavuus on alle 100 litraa. Mikäli poistumassa on huomattavasti haaraista ja mutkaista koivua, kärsii tuottavuus yhdistelmäkonekorjuussa koneen rakenteen rajoitteiden vuoksi.

Tutkimuskysymyksellä 2 pyrittiin selvittämään puumääriä yhdistelmäkoneella hakkuussa ja kuljetuksissa aikaan sitoen. Parhaimmillaan yhdistelmäkoneella kyetään hakkaamaan ja kuljettamaan varastolle ainespuuta lähes kuusi kuutiota tunnissa, kun poistettava puu on hyvälaatuista mäntyä, jonka tilavuus on noin sata litraa ja lähikuljetusmatka on alle 300 metriä.

Tutkimuskysymyksellä 3 pyrittiin selvittämään millaisia ongelmia yhdistelmäkoneella toteutettavissa hakkuissa sekä lähikuljetuksissa ilmenee ja mitkä ovat tarkoituksenmukaiset ongelmien ratkaisut. Tutkimuksessa käytetyn koneen kokoluokassa ongelmallisia näyttäisivät olevan harvennettavat kuusikot, joista poistettava puu on 80 – 110 litran kokoluokan koivua niin sanotusti yläharvennuksena. Tällaisella leimikolla tulee poistumaan silti merkittävästi suurta, tilavuudeltaan lähes 200 litrasta koivua, mikä yleensä on erittäin oksaista ja monihaaraista ja sen vuoksi hidasta prosessoitavaa pienitehoisella hakkuulaitteella. Yhdistelmäkoneen ominaisuudet rajoittavat ongelmapuiden käsittelyä, koska kuormatila estää rungon tuomisen ajouralle, jossa tilaa rungon käsittelyyn olisi enemmän. Varsinaisella hakkuukoneella tällaiset puut on joutuisampi prosessoida, koska runko voidaan tuoda lähelle konetta ja toimia lyhyellä puomilla ajouralla. Tuottavin ratkaisu tähän on asian huomioon ottaminen leimikkosuunnittelussa. Mikäli ylispuukoivua on työmaan alasta huomattava osa, kannattaa ohjata työmaa koneketjulle yhdistelmäkoneen sijasta.

Tutkimuskysymyksen 4 tavoitteena oli selvittää, että mikä oli lähikuljetusmatkan vaikutus tuottavuuteen. Johtopäätöksenä tämän aineiston perusteella on se, että yhdistelmäkonekorjuun tehokkuus kärsii merkittävästi kun kuljetusmatka

kasvaa yli 600 metrin. Tällöin tuottavuus heikkenee huomattavasti, mikä pääosin johtuu siitä, että yhdistelmäkoneen ollessa matkalla varaston ja hakattavan alueen välillä myös hakkuu on pysähdyksissä. Lyhemmällä kuin 500 metrin kuljetusmatkalla ajouran suunnittelulla voi huomattavasti vaikuttaa siihen mikä on pelkkää metsäkuljetusta. Mikäli kuorman kerääminen aloitetaan leimikon takalaidalta varastolle päin, jää täydellä kuormalla ajo lyhyeksi ja leimikolla liikkuminen on tuottavaa myös hakkuutoiminnan kannalta.

Lähikuljetusmatkan tuottavuuteen vaikuttaa myös kertymän määrä hehtaarilta. Mikäli pitkällä ajomatalla uranvarsitiheys on suuri, esimerkiksi 12 kuutiota 100 metrillä, heikentää ajomatka tuottavuutta voimakkaasti, koska iso osa matkasta ajetaan täydellä kuormalla. Vastaavasti, mikäli lyhyellä ajomatalla uranvarsitiheys on pieni, esimerkiksi neljä kuutiota 100 metrillä, tulee ajoa kuitenkin lähes 300 metriä, jotta kuorma saadaan keräytyksi täyteen. Tämä alkaa voimakkaasti korostua siinä vaiheessa kun ajomatka ylittää 600 metriä. Ajokoneen ollessa kuljettamassa leimikolta varastolle puita koneketjulle tällä ei ole yhtä suurta merkitystä, koska hakkuukone on kokoajan tuottavassa työssä. Tähänkin ongelmaan olisi ratkaisuna leimikkosuunnittelu, jossa otettaisiin huomioon erilaisten menetelmien vahvuudet ja heikkoudet.

Tutkimusongelmaan saatu vastaus on tämän aineiston perusteella: Yhdistelmä-konekorjuu on tuottavimmillaan sellaisella leimikolla, jossa poistettava puulaji on mäntyä. Metsäkuljetusmatka on mielellään alle 300 metriä, mutta korkeintaan 500 metriä. Lisäksi poistettavan puun keskimääräinen tilavuus on 80 – 100 litraa, ja kasvualustana on kangasmaa. Hehtaarikertymällä ei ole oleellista merkitystä tuottavuuteen ajomatkan pysyessä järkevissä mitoissa.

8 POHDINTAA

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi se millä tarkkuudella tutkimuslomakkeelle on tallennettu kerättävän aineiston tiedot. Tutkimuksen tekijä on ohjeistanut kuljettajat merkitsemään lomakkeelle tiedot siinä vaiheessa, kun he ovat olleet työvuoron päätteeksi sammuttamassa konetta. Tällöin arvioinnin perusteella kerättävä aineisto on ollut tuoreessa muistissa. Kertymän tilavuus on kirjattu mittalaitteen näytöltä kahden desimaalin tarkkuudella juoksevana lukuna. Runkoluku on kerätty niin ikään mittalaitteen näytöltä juoksevana lukuna, josta tutkimuksen tekijä on siitä laskenut Excel-taulukkolaskentaohjelmalla aina kyseisen työvuoron kertymän. Näin laskuvirheen mahdollisuutta on pyritty pienentämään. Tutkimuksen tekijä on itse satunnaisesti käynyt hakkuutyömailla ja varmistanut, että kuljettajat ovat oivaltaneet ohjeet ja keskusteluissa on varmistettu tulosten luotettavuutta.

Tehotyöajan merkitseminen on tutkimuslomakkeen epäluotettavin arvo, koska se perustuu pelkästään kuljettajan arviointiin. Sitä ei ollut mahdollista mitata käytettävissä olevilla laitteilla tarkasti, joten tutkimuksen tekijä ohjeisti kuljettajia kiinnittämään huomiota aikaan kun tuli jokin keskeytys normaaliin työskenteelyyn. Lähinnä tehotyöajasta on vähennetty koneen tankkaukset, huoltotoimenpiteet ja remontit. Mikäli on jouduttu poistumaan ohjaamosta esimerkiksi leimikon rajan etsimisen tai muun syyn takia, aika on vähennetty tehotyöajasta. Teräketjun vaihtoon käytetty aika on sisällytetty tehotyöaikaan.

Tutkimuksen heikkoutena voidaan pitää sitä, että aineisto kerättiin pelkästään yhdeltä koneelta ja yhden metsänhoitoyhdistyksen toiminta-alueelta. Tutkimusaineiston kapeus heikentää tutkimuksen luotettavuutta ja mahdollistaa vääristymien esiintymisen tuloksissa. Nämä ovat mahdollisia mm. kuljettajien ja/tai suunnittelijoiden käytännöissä tai jostain muusta syystä, mikä johtuu pelkästään tässä nimenomaisessa korjuuyksikössä ja suunnittelutiimissä olevista asenteista ja ennakkokäsityksistä.

Tässä tutkimuksessa tuloksia on tarkasteltu lähinnä yksittäisten muuttujien vaikutuksina tuottavuuteen, jolloin on mahdollista, että tarkastelu jää subjektiiv-

seksi. Tulosten tilastollinen tarkastelu olisi saattanut lisätä tutkimustulosten luotettavuutta, koska eri muuttujien yhteisvaikutusta olisi kyetty ottamaan paremmin huomioon. Tähän on pyritty vaikuttamaan sanallisissa arvioinneissa. Tutkimuksen tavoitteen saavuttamiseksi tutkimuksen tekijä päätyi siihen, että tilastollisten menetelmien käyttö ei olisi tuonut merkittävää lisäarvoa tutkimustuloksiin.

Tämän tutkimusaineiston keräämisen on suorittanut kaksi kuljettajaa, joista toisella on lähes viiden vuoden kokemus ajokonetyöskentelystä ja yhdistelmäkoneesta noin kahden vuoden kokemus. Toisella kuljettajalla kokemusta on ajokoneesta puolen vuoden ja yhdistelmäkoneesta noin kahden vuoden ajalta. Kuljettajien melko vähäinen työkokemus yhdistelmäkonekorjuusta on saattanut vaikuttaa tuloksiin. Näihin seikkoihin on pyritty hakemaan perspektiiviä vertailemalla tuloksia muihin samantyyppisiin tutkimuksiin, joissa on ollut käytössä korjureita tai yhdistelmäkoneita. Vertailu osoittaa, että tulokset ovat pääosin samsuuntaisia vaikka erojakin löytyi. Tutkimusten vertailu on hankalaa, jos ei jopa mahdotonta, olosuhteista, kalustoeroista ja kuljettajista johtuvista eroavaisuuksista johtuen.

Alkuperäisessä tutkimuksen tekijän suunnitelmassa tarkoituksena oli tutkia tuotavuutta myös energiapuun korjuun osalta, mutta energiapuun markkinatilanteesta ja kestävän metsätalouden rahoituslain (Kemera) muutoksesta johtuen energiapuuleimikoita ei ollut käytettävissä tutkimusmateriaaliin. Tutkimuksen tekijän näkemyksen mukaan yhdistelmäkoneella toteutettu korjuutapa olisi parhaimmillaan juuri energiapuuleimikolla, koska kaikki korjattava puutavara voitaisiin laittaa samaan kasaan. Ainespuuta hakattaessa varsinaisella korjurimenetelmällä useat puutavaralajit tuovat oman ongelmansa lähikuljetuksessa. Etenkin tämä heijastuu varastolla tapahtuvassa kuorman purkamisessa. Sekakuorimissa tapahtuu helposti lajisiirtymää. Lisäksi energiapuun korjuussa kaikki puulajit voidaan kerätä pitkänä rankana, jolloin koivun osalta havaittu ongelma poistuisi.

Energiapuunkorjuun jääminen pois tästä tutkimuksesta on mielestäni selkeä menetys tälle tutkimukselle.

Energiapuunkorjuu yhdistelmäkoneella sekä yhdistelmäkoneen soveltuvuus pehmeiden maiden leimikoilla olisivat hyviä tarkastelukohteita tulevien tutkimusten aiheiksi.

Tämän tutkimustyöni aikana tutkimuksen tekijä on oppinut, että tutkimusongelman määrittely ja tutkimuskysymysten laatiminen ovat tärkeä perusta tutkimuksen toteuttamiselle. Ne luovat pohjan selvitettävien asioiden keräämiselle ja käsittelylle. Aineiston kerääminen kannattaa suunnitella huolella, jotta tutkimuksen kannalta oleellinen tieto saadaan helposti ja luotettavasti tutkimuksen tekijän käyttöön. Tämän tyyppistä tutkimusta suunniteltaessa tulisi pyrkiä rajaamaan tutkittava asia melko pieneksi, ja keskittyä sen tutkimiseen perusteellisesti. Herkästi käy niin, että tutkimus paisuu niin monipuoliseksi, että varsinainen ”kunin-gasajatus” katoaa ja tuloksista sen vuoksi tulee epämääräisiä.

LÄHTEET

- Brunberg, T., Arlinger, J. 2001. Vad kostar det att sortera virket i skogen? Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. Skogforsk resultat 2001:3.
- Jokela, S., 2014, Lapin ammattikorkeakoulu, Metsänhoitaja, Ilink luento, 14.10 2014.
- Kärhä, K. 2001. Harvennuspuun koneelliset korjuuvaihtoehdot. Harko projektin loppuraportti. Työtehoseuran julkaisuja 382. Helsinki: 2001. Tummavuoren kirjapaino Oy.
- Kärhä, K., Poikela, A., Rieppo, K., Imponen, V., Keskinen, S. & Vartiamäki, T. 2007. Korjurit ainespuun korjuussa, 23. 2007. Metsätehon raportti 200, 16, 23, 42.
- Kärhä, K., Keskinen, S. 2011. Ensiharvennukset metsäteollisuuden raaka-ainelähteenä 2000 -luvulla. Metsätehon tulosalvosarja, 2. 2011.
- Lilleberg, R. 1989. Yhdistelmäkoneellako taloudelliseen puunkorjuuseen. Koneurakoitsija 25.3.1989, 16 -18.
- Lilleberg, R. 1998. Yhdistelmäkoneetekniikan kokeilu ensiharvennuksilla. Teho 1, 23.1.1998, 17.
- Makkonen, I. 2013. Korjuri vs. koneketju energiapuunkorjuussa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Manninen, O. 2015. Työmenetelmän kehittäminen Ponsse harvestereille. Lapin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Metsäntutkimuslaitos, Metsäteho. & Jaakko Pöyry Oy, 1992. Harvennushakuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot. Helsinki: Vanha Kauppakirjapaino.
- Ovaskainen, H. 2012. Työmallit koneellisessa puunkorjuussa. Metsätehon raportti 221. 2012, 36-37.
- Rieppo, K., Pekkola, P. 2001. Korjureiden käyttömahdollisuuksista. Metsätehon raportti 121 2001, 39.
- Rieppo, K., Pekkola, P. 2001. Korjureiden käyttömahdollisuuksista. Metsätehon raportti 121 2001, 29.
- Ryynänen, S., Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Työtehoseuran julkaisuja 381 2001.

- Sirén, M., Tantt, V. 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuri rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2001: 608, 612.
- Tapio. 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. 2. painos, Helsinki: Lönnberg Print.
- Tapio. 2014. Hyvän metsänhoidon suositukset. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. ja Ala-Fossi, A. 2007. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. Joensuu: Kopijyvä, Kuopio
- Väätäinen, K., Liiri, H., Asikainen, A., Sikanen, L., Jylhä, P., Rieppo, K., Nuutinen, Y. ja Ala-Fossi, A. 2007. Korjureiden ja korjuuketjun simulointi ainespuun korjuussa. Metlan työraportteja 2007:48
- Ylitalo, E. 2011. Metsätilastollinen vuosikirja 2011. Metsäntutkimuslaitos 2011 Vantaa: Vammalan kirjapaino
- Ylitalo, E. 2013. Puun energiakäyttö 2012. Metsätilastotiedote 15/2013: Metsäntutkimuslaitos.

LIITTEET

Liite Tutkimuslomake

