

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikka Imatra
Paperitekniiikan koulutusohjelma
Prosessi- ja paperiteollisuuden suunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Matti Siitonen

***JOUKKOKÄSITELLYN KUITU- JA ENERGIAPUUN
TUOTANNOLLISET KUSTANNUKSET JA
KANNATTAVUUS SEKÄ INTEGROIDUN
HAKETUKSEN AJOMALLIT***

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Matti Siitonen

Joukkokäsittelyn kuitu- ja energiapuun tuotannolliset kustannukset ja kannattavuus sekä integroidun haketuksen ajomallit, 118 sivua, 0 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, paperitekniikan koulutusohjelma

Prosessi- ja paperiteollisuuden suunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Ohjaajat: Esko Lahdenperä, Saimaan AMK, Teuvo Ollila, Stora Enso Oyj ja

Jouko Asikainen, Stora Enso Oyj

Opinnäytteessä tutkittiin koeluontoisen kuitu- ja energiapuun tuotantoketjua, sen kustannuksia ja kannattavuutta. Integroidulla tuotantoketjulla uskottiin olevan merkittävästi pienemmät kokonaiskustannukset verrattuna muihin vastaaviin metsäenergian tuotantoketjuihin kuitu- ja energiaositteiden erittelyn tapahtuessa sellutehtaan kuorimolla. Tällöin korjuusta, kaukokuljetuksesta ja haketuksesta muodostuneet kustannukset jäisivät aiempaa pienemmiksi.

Tutkimus tehtiin maaliskuusta - kesäkuussa 2010. Osatutkimuksia olivat puuston inventointi, korjuu, kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti sekä puunkäsittelyn koeajot. Testileimikon pinta-ala oli 14 hehtaaria, joka jaettiin 4 tutkimuskuvioon puuston ja maantieteellisen sijainnin perusteella. Korjuussa käytettiin John Deeren uusia E-sarjan koneita. Harvesterilla oli mahdollista käyttää joukkokäsittelyominaisuutta, ja metsätraktoriin oli asennettu kuormainvaaka puutavaran mittaamiseen. Tutkimuksessa kerätty kuitu- ja energiapuu ajettiin Stora Enson Kaukopään puuterminaaliin samaan varastokasaan. Puunkäsittelyn koeajoissa ensiharvennettua puuta sekoitettiin kuitupuumittaisen puutavaran kanssa kuorimon kuorintaprosessissa. Koeajoissa määritettiin prosessin toimivuus, hakkeen laatu ja energijakeen arvo.

Ensiharvennushakkuussa hyödynnettiin runsaasti joukkokäsittelyominaisuutta johtuen metsän hyvästä metsänhoidollisesta tilasta. Kertymän vähyyteen vaikuttivat korjuuohjeessa ilmenneet väärinkäsitykset, jolloin osa kuvioista jäi harventamatta. Kuormainvaakatestistä saatu virheprosentti antoi ymmärtää menetelmän edellyttävän oikeaoppista työtappaa ja vaa'an tarkkaa kalibroimista. Harvennuksen pieni kokonaiskertymä vaikutti samalla puunkäsittelystä käytyjen koeajojen keston, jotka jäivät edellä mainitusta syystä aiottua lyhyemmiksi. Koeajoista saadun datan avulla arvioitiin prosessin toimivuuden olevan hyvällä tasolla kuorinnan ja hakkeen laadun kannalta. Toimivuudelle oli oleellista syöttää prosessiin tasaisesti tuoretta puuraaka-ainetta ja estää liian järeiden rankojen joutumista kuorintaprosessiin samaan aikaan ensiharvennetun puun kanssa. Tarkasteltaessa energijakeen arvoa huomattiin puunkäsittelyn olevan myös kannattavaa riippuen tulevan puuraaka-aineen kuoripitoisuudesta ja energijakeen sisältämästä puuhäviömäärästä. Integroidun tuotantoketjun kokonaiskustannukset olivat pienemmät verrattuna kahteen vastaavaan metsäenergiaketjuun. KEMERA-tukien vaikutus todettiin kuitenkin oleelliseksi tekijäksi metsähakkeen tuotannon kannalta.

Asiasanat: Joukkokäsittely, integroitu haketus, kuormainvaakamittaus, energijake, tuotantokustannukset, kannattavuus

ABSTRACT

Matti Siitonen

Production costs and profitability for harvested pulp- and energywood and processing models for integrated chipping, 118 pages, 0 attachments

Saimaa university of applied sciences, Imatra

Technology unit, degree program of paper technology

Orientation of designing process and paper technology

Tutors: Mr. Esko Lahdenperä, Saimaa University of Applied Sciences, Mr. Teuvo Ollila, Stora Enso Oyj and Mr. Jouko Asikainen, Stora Enso Oyj

This Thesis specifies on researching an experimental chain of production for pulp- and energywood, it's expenses and profitability. Integrated production was believed to have significantly lower total costs compared to other similar chain of productions for forest-energy due to separation of pulp and energy ratio in mill's debarking process. This creates smaller expenses for wood harvesting, long-distance transport and chipping process than other production chains do.

Research was carried out on 2010 between March and June. Research was divided into several parts, such as inventory of the covering forest, wood harvesting, long-distance transport along with the scaletest used during forest transport and trials in wood handling. Harvested area was 14 hectares, which was divided into 4 different research areas based on type of trees they consisted of and geographical location in the map. Wood harvesting was done with John Deere's new E-class machinery. Harvester had an option to process several trees at once and forest tractor was equipped with a scale to measure the harvested wood. All wood was placed on one big storage stack in Stora Enso's Kaukopää woodterminal. During the trials in woodhandling thinned wood was mixed up with pulpwood in the debarking process. Measured factors were process functionality, chip quality and value of the energy ratio.

Multiharvesting was used efficiently during the wood thinning, mostly because the forest was well taken care of. Problems, which occurred during wood harvesting had an effect for the amount of collected wood, since part of the test research-areas weren't included to the harvested area. Poor error-percentage from the scaletest indicates that workmethod must be exact and proper scale calibration is essential for accurate measurement outcome. Small harvested accrual influenced time spent on the trials in woodhandling, which ended up being shorter than anticipated. With data received from the trials, process functionality was evaluated to be in a good standard, both in debarking and chip-quality. For the process to work properly, it was critical to have steady input with fresh wood and not to have massive size differences with the processed logs. Also, woodhandling process was noticed to be profitable due to the amount of bark and woodlosses. Production costs were proven to be smaller in Integrated production than in other two forestenergy based productions. KEMERA-support was also considered to be essential for producing forestbased energy.

Keywords: Multiharvesting, Integrated chipping, Forest-traktor scale, Energy ratio, Production costs, Profitability.

SISÄLTÖ

KÄSITTEET

1 JOHDANTO	9
1.1 Opinnäytetyön tausta	9
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet	11
2 SUOMEN METSÄVARAT JA ENERGIAPUUN TULEVAISUUS	12
2.1 Yleistä	12
2.2 Suomen metsävarat	12
2.3 Nuoret metsät ja hoitotoimenpiteet	13
2.4 Ensiharvennushakkuut	15
2.5 Joukkokäsittely	17
2.6 Energiapuu	18
2.7 Metsähakkeen nykytila ja tulevaisuus	19
2.7.1 Metsähakkeen tuotanto	20
3 PUUN KAUKOKULJETUS	21
4 KESTÄVÄN METSÄTALouden RAHOITUSLAKI	23
4.1 Kemera-tuen hakeminen	23
4.1.1 Nuoren metsän hoito	23
4.1.2 Energiapuuun korjuu	24
4.1.3 Energiapuuun haketus	25
4.1.4 Toteutus-selvitys	25
5 PÄÄSTÖKAUPPA	26
6 STORA ENSO OYJ JA METSÄENERGIAN HANKINTA	27
6.1 Yleistä	27
6.2 Imatran tehtaat	27
7 PUUNKÄSITTELY	29
7.1 Puiden vastaanotto ja varastointi	30
7.2 Puiden syöttö ja sulatus	31
7.3 Puiden kuorinta ja kuorenkäsittely	31
7.4 Puiden haketus	36
8 HAKKEEN LAADULLISET OMINAISUUDET JA ENERGIAJAE	40
8.1 Palakokojakauma	40
8.2 Kuivatuoretiheys	41
8.3 Energiajaje	42
9 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	45
9.1 Osahankkeet	45
9.2 Tutkitut ongelmat	45
10 AINEISTON KERUU JA KÄSITTELY	46
10.1 Yleistä	46
10.2 Kuviotietojen inventointi	47
10.3 Hakkuu ja metsäkuljetus	48
10.4 Kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti	51
10.5 Puunkäsittelyn koeajot	53
11 PUUNKÄSITTELYN TUOTANNOLLISET KOEAJOT	57
11.1 Yleistä	57
11.2 Koeajojen alkuasetelma	57
11.3 Koeajojen eteneminen	59
12 TULOKSET	63

12.1 Puustotietojen inventointi	63
12.2 Korjuu	68
12.3 Kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti	69
12.4 Puunkäsittelyn koeajot	70
12.4.1 Prosessin toimivuus	71
12.4.2 Puun kuoriutuvuus, hakkeen laatu ja saanto	75
12.4.3 Energiajajaeosuus ja kuiva-ainepitoisuus	78
12.4.4 Kustannukset ja energiajakeen arvo	81
13 TULOSTEN TARKASTELU	86
13.1 Puustotietojen inventointi	86
13.2 Korjuu	91
13.3 Kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti	93
13.4 Puunkäsittelyn koeajot	96
13.4.1 Prosessin toimivuus	96
13.4.2 Puunkäsittelyn kustannukset ja energiajakeen arvo	101
13.5 Tuotantoketjun kustannusrakenne	103
14 YHTEENVETO	109
KUVAT	111
KUVIOT	112
TAULUKOT	113
LÄHTEET	114

KÄSITTEET

Ainespuu: Kooltaan ja laadultaan saha- tai paperiteollisuuden tai muun puunjalostuksen raaka-aineeksi soveltuva puutavara (Maa- ja metsätalousministeriö, 1).

Bioenergia: Bioenergia on biomassasta, useimmiten kasveista polttamalla tuotettua energiaa (Suomen Metsäyhdistys ry).

Energiapuu: Oksat, latvukset, kantopuut, lahoppuut, lumpit sekä muut teollisuuden raaka-aineeksi kelpaamattomat pienpuut (Maa- ja metsätalousministeriö 2008, 51).

Ensiharvennus: Nuoressa metsässä suoritettava hakkuu, jossa metsänomistajalle kertyy myyntikelpoista puutavaraa. Ensiharvennuksen tavoitteena on antaa puille riittävästi kasvutilaa ja valita kasvatettavaksi laadultaan parhaat puut. (Metsäliitto.)

Joukkokäsittely: Kuitu- ja energiapuuhakkuissa käytetty hakkuumenetelmä, jossa harvesteripää käsittelee joukkokäsittelypihdeillä useampaa puuta kerrallaan ennen puiden katkaisua haluttuun mittaan.

Kannattavuuskerroin: Kannattavuuskerroin saadaan jakamalla tulot menoilla. Alle 1:n tulos kertoo toiminnan olevan kannattamatonta, yli 1:n tulos kertoo toiminnan olevan kannattavaa. Tuloksen ollessa 1 puhutaan nollarajasta, jolloin tulot ovat yhtä suuret kuin menot.

Kuiva-ainepitoisuus: Kuivan massan osuus tuoremassasta.

Kaukokuljetus: Puu kuljetetaan metsästä välivarastolta tehtaalle kaukokuljetuksena. Kaukokuljetus voi olla auto-, vesi- tai junakuljetusta. (Seppälä & Klementti & Kortelainen & Lyytikäinen & Siitonen & Sironen 2002.)

Kemera: Kestävän metsätalouden rahoituslaki. Rahoituksen tarkoituksena on parantaa yksityisen metsänomistajan metsänhoidollisten töiden kannattavuutta. (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto 2010.)

Kokopuu: Karsimaton rankapuu sisältäen oksat, neulaset ja latvan.

Korjuu: Korjuulla tarkoitetaan puun kaatoa ja kuljetusta pois metsästä (Metsäntutkimuslaitos 2009, 181).

Kuivatuoretiheys: Kuivatuoretiheydellä tarkoitetaan energiapuun kuivamassan ja sen kuorellisen tuoretilavuuden suhdetta (Metsätalouden kehittämiskeskus & Metsäntutkimuslaitos 2008).

Kuormainvaaka: Metsätraktoriin tai puutavara-autoon erikseen asennettava vaaka puun massan mittaamiseen.

Kuutiometri: Tilavuuden mittayksikkö. Puukaupassa puun tilavuuden mittauksessa käytetään kiintokuutiometriä ($k\text{-m}^3$), joka ilmaisee puun todellisen tilavuuden kuorineen. Irtokuutiometriä ($i\text{-m}^3$) käytetään esimerkiksi halkopinoja mitatessa. Pinokuutiometriä ($p\text{-m}^3$) käytetään kasan tai kuorman kehysmittana. yksi kiintokuutiometri on noin 1,5 pinokuutiometriä ja noin 2,5 irtokuutiometriä. (Polttopuupörssi.)

Kuvio: Kasvupaikaltaan ja puustoltaan yhtenäinen metsän osa, toiselta nimeltään metsikkökuvio tai metsikkö. Kuviot rajataan metsätaloukartoihin ja niille tehdään metsänhoitosuunnitelmat. (Suomen Metsäyhdistys ry.)

Latvusmassa: Latvusmassa on ainespuuhakkuun sivutuote. Latvusmassaan kuuluvat latvat, oksat, neulaset ja lehdet. Hakkuualalle jäävä pienikokoinen puu luetaan myös latvusmassaksi. (Metsätalouden kehittämiskeskus & Metsäntutkimuslaitos 2008.)

Leimikko: Hakattavaksi suunniteltu metsäalue (Suomen Metsäyhdistys ry).

Lämpöarvo: Kertoo, kuinka paljon täydellisessä palamisessa kehittyy lämpöä polttoaineen massaa kohti (Stora Enso).

Metsähake: Metsästä energiakäyttöön menevää haketettua puuraaka-ainetta (Metsäntutkimuslaitos 2010).

Motomittaus: Hakkuukonemittaus. Puutavaran mittausmenetelmä, jossa harvesterin kaatopäässä sijaitseva mittalaite määrittää puun pituuden, leveyden, syvyyden, massan ja tilavuuden (Upm-kymmene, 20).

Nuoren metsän hoito: Varttuneen, noin 20-vuotiaan taimikon perkausta, harvennusta, kunnostusta tai sitä seuraavaa ensiharvennusta (Metsäliitto 2010).

Puuston inventointi: Metsävaratietojen mittaamista tai arviointia. Puuston inventoinnissa leimikolta kerätään tietoa puuston määrästä ja laadusta.

Rankapuu: Karsittu kokopuu.

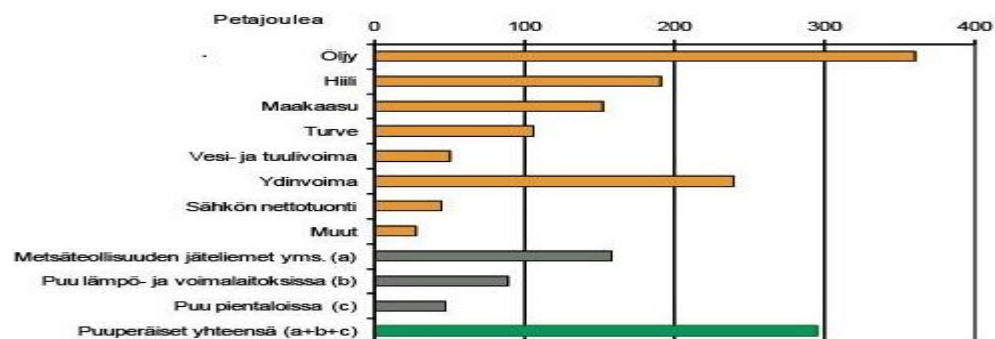
Runkoluku: Kasvavien puiden määrä hehtaaria kohden.

Tuoremassa: Kuiva-aineen ja kosteuden yhteenlaskettu massa.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Uusiutuvan energian käytössä Suomi kuuluu Euroopan kärkijoukkoon yhdessä Ruotsin ja Itävallan kanssa (Motiva 2010). Suurin osa tästä energiamäärästä tulee bioenergiasta. Bioenergiaa saadaan puuperäisistä polttoaineista, peltobiomassasta, biokaasusta ja kierrätys- ja jätepolttoaineiden hajoavasta osasta. Vuonna 2007 bioenergian osuus uusiutuvan energian käytöstä oli noin 83 %. Bioenergian käyttöä lisäämällä voimme vähentää fossiilisten polttoaineiden, kuten öljyn ja kivihiilen käyttöä ja näin ennaltaehkäistä kasvihuoneilmiötä. (Motiva 2010.) Merkittävin osuus bioenergian tuotannosta tulee puupolttoaineiden käytöstä (Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto 2010). Puuperäiset polttoaineet ovat Suomen toiseksi merkittävin energialähde öljytuotteiden jälkeen (kuvio 1). Niillä katetaan noin viidennes Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. (Bioenergia 2010). Puuperäiset polttoaineet jaetaan nestemäisiin, kiinteisiin ja muihin puupolttoaineisiin. Nestemäisiä puupolttoaineita ovat selluteollisuuden puunjalostusprosesseissa tuottamat jäteliemet, joista merkittävin on mustalipeä. Kiinteät puupolttoaineet sisältävät lämpö- ja voimalaitosten sekä pientalojen käyttämän puun. Lisäksi energiantuotantoon käytetään vähäisiä määriä muita metsäteollisuuden sivu- ja jätetuotteita (mm. mänty ja koivuöljy, suopa, metanoli, bioliete ja paperi). (Metsäntutkimuslaitos 2010.)



Kuvio 1. Puuperäisten polttoaineiden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta 2007 (Bioenergia 2010)

Suomessa on pyritty viime vuosina lisäämään puuperäisten polttoaineiden käyttöä ilmasto- ja energiastrategian mukaisesti. Uusiutuvan energian käyttöä tulisi lisätä 9,5 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä, jolloin sen osuus kokonaisenergiankulutuksesta olisi 38 %. (Motiva 2009.) Tämä tarkoittaa mm. metsähakkeen käytön kolminkertaistamista. Sekä tämän että muiden puuperäisen energian käyttötavoitteiden saavuttaminen edellyttää monien hallinnonalojen ja yksityisen sektorin toimenpiteitä. (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto 2010.) Puupolttoaineiden merkitys on tulevaisuudessa huomattava päästöjen nettomäärien ollessa käytännössä neutraaleja. Vähäiset hiilidioksidipäästöt edesauttavat samalla päästökaupan piirissä toimivia energia- ja lämpölaitoksia. (Teknologiateollisuus 2010.)

Kansallisen metsäohjelma 2015 mukaan metsiin perustuvaa tuotanto- ja palvelutoimintaa tulisi uudistaa ja laajentaa niin, että toiminnot ovat yhteiskunnallisesti hyväksyttäviä, taloudellisesti kannattavia sekä ekologisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestäviä. Ohjelma painottaa aines- ja energiapuun korjuun lisäämisen tärkeyttä metsäluonnon hyvinvoinnin kannalta. Korjuulla tarkoitetaan puun kaatoa ja kuljetusta pois metsästä. Toteutuessaan kansallisella metsäohjelma 2015:lla olisi merkittäviä taloudellisia vaikutuksia metsäsektorin tuotannon arvon ja energiapuutulojen kannalta. Tulevaisuuden haasteiksi todetaan tuotantokustannusten nousu ja kotimaisen puun käytön lisääminen. Näiden ongelmien ratkaisu edellyttää paremmin kannattavia menetelmiä etenkin energiapuukorjuussa ja näin ollen kannattavuuden nostamista taloudellisesti hyväksyttävälle tasolle. (Maa ja metsätalousministeriö 2008.)

Puupolttoaineiden käytön lisääminen edellyttää lisäkapasiteettia energiantuotannon tuotantoketjuihin. Kapasiteetin lisääminen tuo mukanaan samalla suuremmat korjuu- ja kuljetuskustannukset. Kasvaneen kysynnän myötä tarvittava puumäärä on kerättävä suuremmalta alalta, jolloin korjuukustannukset kasvavat. Samalla puuta on kuljetettava entistä kauempaa käyttöpaikalle, mikä puolestaan nostaa kuljetuskustannuksia. Korjuukustannukset ovat olleet osa syynä ensiharvennuspuun huonoon

kysyntään. Alhainen hehtaarikohtainen hakkuukertymä, pieni rungon koko ja suuri metsään jäävien puiden lukumäärä merkitsevät alhaista tuottavuutta ja samalla korkeita kustannuksia. (Kärhä & Peltola & Korpilahti & Poikela & Liikkanen 2003) Osaratkaisu korkeisiin korjuu-, kaukokuljetus- ja haketuskustannuksiin saattaa olla integroitu tuotantomenetelmä, jossa kuitu- ja energiapuukorjuu tapahtuu joukkokäsittelynä ja ensiharvennetun puun haketus tapahtuu vasta kuiduttavan tehtaan kuorimon kuorimarummussa, jossa kuitu- ja energiajaje erotellaan toisistaan.

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön perimmäisenä tarkoituksena oli tutkia kokonaisvaltaisesti koeluontoisen ensiharvennuspuun integroidun haketusmenetelmän kannattavuutta sellu- ja metsähakkeen tuotannossa samalta leimikolta. Työssä tarkasteltiin tuotantoketjun kustannusrakennetta kuitu- ja energiapuun korjuusta lähtien puun kaukokuljetukseen ja haketukseen sellutehtaan kuorimolla.

Opinnäytetyössä suoritettiin myös tuotannolliset koeajot harvennuksilta korjatulle energia- ja kuitupuulle. Koeajot suoritettiin Stora Enson Imatran tehtailla Kaukopään yksikössä kuorimolla kokeellisia ajomalleja hyväksikäyttäen. Koeajomalleilla pyrittiin löytämään rajat ensiharvennuspuun kuorimiselle selluhakkeen laadullisten ominaisuuksien kannalta unohtamatta kuitenkaan energiapuusta syntyvää energiajajeosuutta. Tutkimuksessa pohdittiin myös kuormainvaakamittauksen soveltuvuutta ja mittaustarkkuutta hakkuun saannon määrittämiseksi.

2 SUOMEN METSÄVARAT JA ENERGIAPUUN TULEVAISUUS

2.1 Yleistä

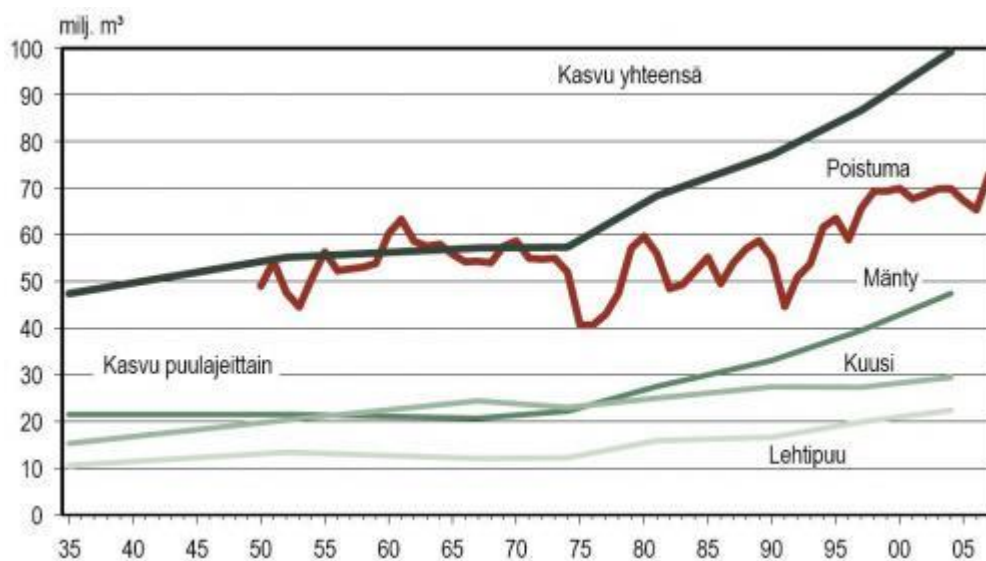
Suomen metsävaratiedot perustuvat valtakunnan metsien inventointeihin. Inventoinnilla tarkoitetaan metsävaratietojen mittaamista tai arviointia. Tutkimus suoritetaan kerran 5 - 10 vuodessa. Sen tarkoituksena on luoda yksityiskohtainen silmäys Suomen metsävarojen terveydentilaan, laatuun ja määrään. Tuotetun tiedon pääkäyttäjät ovat alueelliset metsäkeskukset, muu metsä- ja ympäristöhallinto, metsäteollisuus ja tutkimus. Viimeisin inventointi (VMI10) suoritettiin vuosina 2004 - 2008. (Metsäntutkimuslaitos 2007.) Tässä opinnäytetyössä on käytetty hyväksi VMI10 tietoja valtakunnan metsävarojen kartoittamiseen.

2.2 Suomen metsävarat

Metsiemme taloudellisesti tärkein raaka-aine on metsäteollisuuden hankkima ainespuu. Sen korjuulla ja käsittelyllä on iso työllistävä vaikutus. Puuta korjataan myös yhä enemmän energian tuottamiseen. Hyväkuntoinen metsä sitoo itseensä enemmän hiiltä ja on näin ollen vastapainona kasvihuoneilmiön vaikutuksille ja uusiutuvan energiatuotannon kannalta tärkeässä asemassa. Metsä on tärkeä myös riistatalouden ja virkistystoiminnan kannalta. Kaiken kaikkiaan metsät ovat suomalaisille taloudellisesti hyödyllisiä, tärkeä osa kulttuuriamme ja henkinen voimavara. (Metsäntutkimuslaitos 2008, 211.)

Suomessa puuston vuotuinen kasvu on lähes 100 miljoonaa kuutiometriä ja puuston kokonaistilavuus 2,2 miljardia kuutiometriä. Maapinta-alasta 26,3 miljoonaa hehtaaria on metsätalousmaata, josta 52 % on yksityisessä omistuksessa ja 43 % valtion ja eri yhtiöiden omistuksessa. Loput 5 % on kuntien, seurakuntien ja yhteisöjen hallussa. Metsätalousmaa jaetaan metsämaaksi, kitumaaksi ja joutumaaksi, joista kahdella ensimmäisellä on puuntuotannollista toimintaa. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 29.)

Puuston kokonaispoistuma oli vuonna 2008 yhteensä 70 miljoonaa kuutiometriä, joka kattoi 3,2 % Suomen puuvarannoista (Metsäntutkimuslaitos 2009). Vuotta aikaisemmin puuston runkokuun kokonaispoistuma saavutti kaikkien aikojen korkeimman lukeman, 73 miljoonaa kuutiometriä. Tämä johtui paljolti vuoden aikana toteutuneista markkinahakkuista. Tästä huolimatta poistuma oli neljänneksen puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien kasvua pienempi. (Metsäntutkimuslaitos 2008, 35.) Kuviosta 2 voimme huomata suunnan pysyneen samana 1970-luvulta lähtien.



Kuvio 2. Puuston kasvu ja poistuma vuosina 1935 - 2007 (Bioenergia 2009)

Edellä mainittu kehitys on lisännyt metsien puuvarantoa ja samalla niiden hakkuutarvetta. Koska puuston vuosittainen kasvu on ylittänyt metsiemme hakkuumäärät viimeisen 40 vuoden ajan, mahdollistaa tämä tulevaisuudessa nykyistä suuremman puun hyötykäytön vaarantamatta sen tuotannollista kestävyttä. Kasvu/poistuma-suhdanne tuo mukanaan myös tarpeen entistä laajemmille ensiharvennushakkuille.

2.3 Nuoret metsät ja hoitotoimenpiteet

Metsän kasvatus koostuu useasta eri kasvatusketjusta, joista jokaisesta on huolehdittava erikseen tuottavan ja taloudellisesti kannattavan puuston

aikaansaamiseksi. Kasvatusketjun tärkeimmät lenkit löytyvät sen alkupäästä, jolloin nuorelle metsälle pyritään luomaan sen kasvamisen edellyttävä tila ja samalla turvaamaan puuston tarvitsema ravinteiden määrä. Nuoren metsän hoitamisella tarkoitetaan taimikonhoitoa, nuoren metsän kunnostusta tai sitä seuraavaa ensiharvennusta. Hoitotoimenpiteillä pyritään maksimoimaan metsän tuottama hyvälaatuisen ainespuun määrä. (Metsäliitto 2010.)

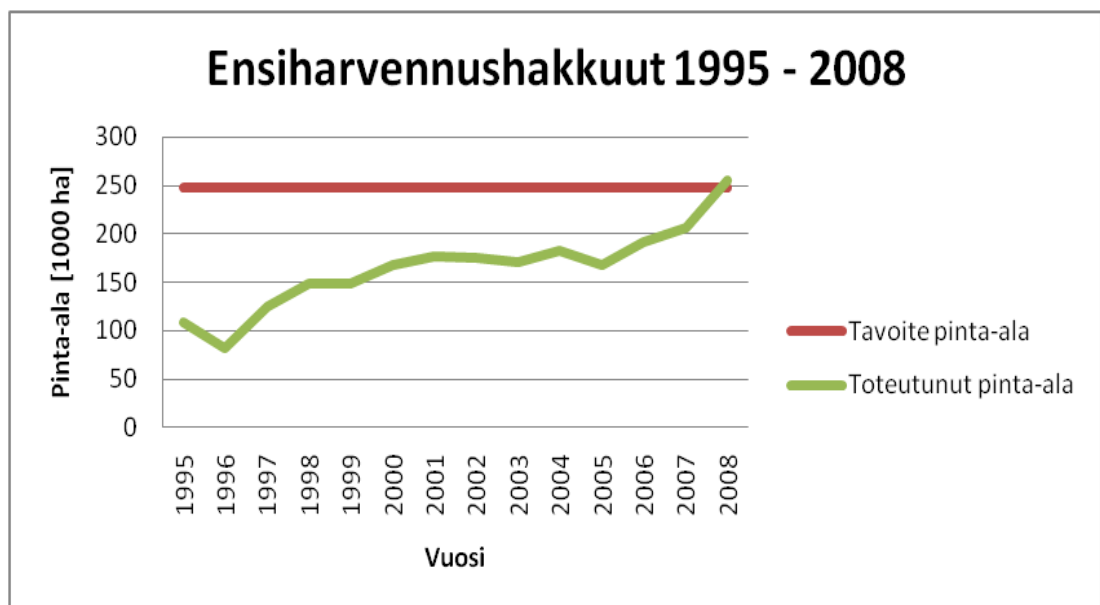
Taimikoiden ja nuoren metsän kunnostuksen ala kasvoi vuonna 2008 yhteensä 256 000 hehtaariin. Korotusta edellisvuoteen tuli yhteensä jopa 8000 hehtaaria. Kokonaispinta-alasta taimikkoa hoidettiin 165 000 hehtaarin alalla ja nuoren metsän kunnostusta 91 000 hehtaarin alueella. Hoidettu pinta-ala on ollut näin laaja viimeeksi 1980-luvulla. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 108.) Nuorissa metsissä suoritettavia metsänhoidollisia toimenpiteitä tulisi kasvattaa jatkossakin voimakkaasti tulevaisuuden hakkuumahdollisuuksien turvaamiseksi. Antti Perho on kertonut opinnäytetyössään taimikoiden perkaus- ja harvennustarpeen olevan seuraavan kymmenen vuoden aikana 2,5 miljoonaa hehtaaria, josta 1,7 miljoonaa hehtaaria sijoittuu ensimmäiselle viidelle vuodelle (Perho 2010). Tämä tarkoittaa 350 000 hehtaarin vuosittaisia nuoren metsän hoitoaloja. Vuonna 2008 suoritettavat hoitotoimenpiteet kattoivat 73 % edellä mainitusta taimikonhoito- ja perkaustarpeesta.

Metsäntutkimuslaitoksen tekemien skenaariotarkastelujen pohjalta on arvioitu nuoren metsän hoitotoimenpiteiden laiminlyömisestä aiheutuksia hakkuukertymiin seuraavan 30 vuoden aikana. Tarkastelussa tultiin siihen johtopäätökseen, että järeät tukkipuukertymät vähenevät ja tukin keskijäreys pienenee merkittävästi jos nuorten metsien hoitotoimia jätetään tekemättä tai niitä lykätään tulevaisuuteen. Ongelman luo taimikoihin syntyvä ylitiheä kasvuympäristö, jossa puustolla ei ole mahdollisuutta kasvaa ainespuun edellyttämiin mittoihin samalla tavalla kuin hoidetussa metsässä. (Hynynen 2009.)

2.4 Ensiharvennushakkuut

Kuiduttavan puunjalostusteollisuuden puustamaksukyky on suurempi verrattuna energiantuotannon puustamaksukykyyn, minkä vuoksi ainespuumittaista puuta ei juurikaan hankita energiakäyttöön. Poikkeuksen tästä muodostavat nuorten metsien hoitokohteet, joilta kertyy ensiharvennuksen yhteydessä jonkin verran myös ainespuumittaista puutavaraa, mutta sen korjuu ei ole taloudellisesti kannattavaa puunjalostusteollisuuden tarpeisiin pienen hakkuukertymän vuoksi. (Metsäntutkimuslaitos & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008.)

Ensiharvennuksessa leimikolta poistetaan pääosin pieniläpimittaisia tai toisiaan liian lähekkäin kasvavia puuta, jotka haittaavat muiden, parempilaatuisten ja järeämpien puiden kasvua. Ensiharvennushakkuun tarkoituksena on parantaa kasvatettavan puuston laatua, nopeuttaa puuston järeytymistä ja tuottaa hakkuutuloja. Se suoritetaan kasvupaikasta ja puulajista riippuen puuston ollessa 25 - 50 vuoden ikäinen. Metsänomistaja voi saada ensiharvennuksesta myyntikelpoista aines- ja energiapuuta. (Metsäkeskus 2009.)

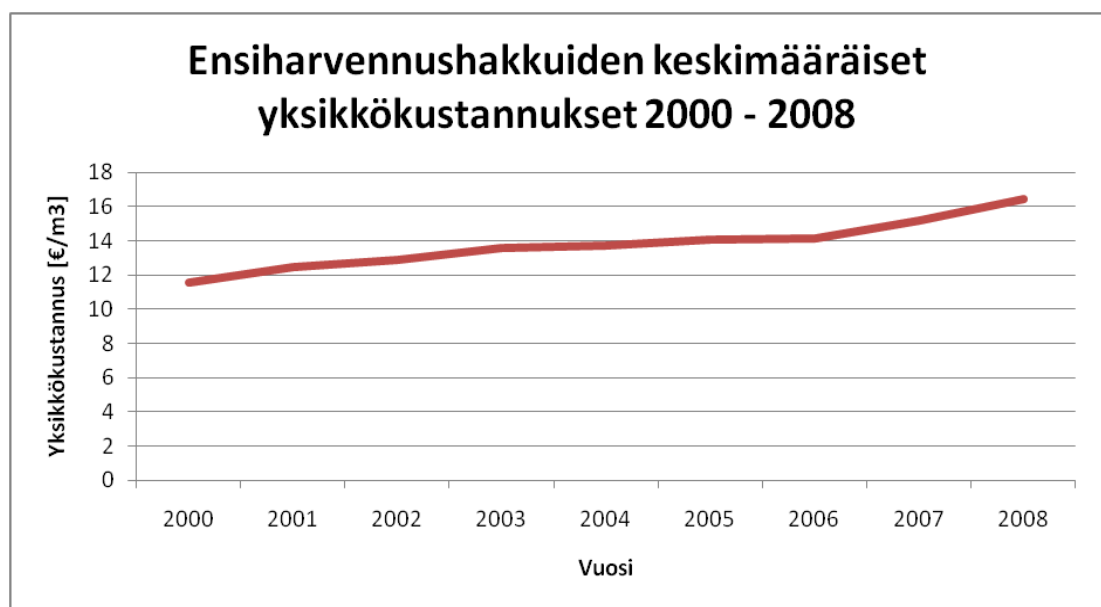


Kuvio 3. Ensiharvennushakkuut 1995 - 2008 (Metsäntutkimuslaitos 2009, 139)

Ensiharvennushakkuiden määrää on pyritty nostamaan vuotuisen puustokasvun ja nuorten metsien hoidollisen tilan vuoksi. Kuvioista 3 voi huomata

ensiharvennushakkuiden pinta-alan lisääntyneen vuosina 1996 - 2008. Vuonna 2008 Suomessa tehtiin yhteensä 256 000 hehtaaria ensiharvennuksia. Ensiharvennushakkuiden määrä ylitti ensimmäistä kertaa alueellisten metsäohjelmien määrittämän keskiarvollisen tavoitealan 248 000 hehtaaria. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 107.) Valtakunnan metsien 10. inventointissa ehdotetaan seuraavaksi 10 vuodeksi ensiharvennushakkuiden tavoitteeksi 2 444 000 hehtaarin kokoista aluetta puuntuotannon mailla (Metsäntutkimuslaitos 2009, 61). Tämä tarkoittaa keskimäärin 244 400 hehtaarin ensiharvennushakkuita vuodessa.

Vuonna 2008 ensiharvennushakkuiden korjuukohtainen yksikkökustannus oli keskimäärin 16,45 € kuutiometriä kohden. Nousua edellisvuoteen nähden tuli 8 %. Syynä kohonneisiin korjuukustannuksiin voidaan nähdä polttoaineen jyrkkä hinnannousu. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 181.) Korkeat korjuukustannukset ovat tähän päivään mennessä olleet suurin syy ensiharvennushakkuista korjattavan pienpuun huonolle kannattavuudelle. Vuosittain kohonneiden korjuukustannusten kehitys on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. Ensiharvennushakkuiden keskimääräinen yksikkökustannus vuosina 2000 - 2008 (Metsäntutkimuslaitos 2009, 190)

Kiristynyt kilpailu tuontipuusta Itämeren alueella ja Venäjän ylläpitämät tullimaksut ovat lisänneet harvennuspuun hintakilpailukykyä kuiduttavan teollisuuden prosesseissa. Tämä yhdessä kasvavan puupolttoaineen tarpeen kanssa ajaa eteenpäin kuitu- ja energiapuun integroitua hankintaa, jossa erottelu kuitu- ja energiaositteeseen tapahtuu vasta sellutehtaan kuorimon kuorimarummissa. Integroinnilla tavoitellaan pienempiä kokonaiskustannuksia kuin aines- ja energiapuuajkeiden erillishankinnassa. (Metsäntutkimuslaitos & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008.)

2.5 Joukkokäsittely

Harvennushakkuiden kannattavuutta on pyritty parantamaan puiden joukkokäsittelyllä, jossa harvesteripää katkoo ja karsii useampia puita kerrallaan ja näin kasvattaa hakkuun tuottavuutta sekä pienentää kustannuksia. Harvesteripää rikkoo samalla käsiteltyjen puiden pintaa, joka edistää puun kuivumista. Menetelmää on tutkittu vaihtoehtona yksinpuin tehtävälle harvennukselle useamman vuoden ajan. Lukuisat aiheeseen liittyvät tutkimukset ovat osoittaneet joukkokäsittelynä tehdyn harvennushakkuun kannattavuuden verrattuna yksinpuin tehtyyn harvennukseseen. (Kärhä & Högnäs & Kumpare & Kovettu & Mutikainen 2009; Perho 2010.)

Joukkokäsittelynä korjatun puun ongelmana on ollut mittausmenetelmän puutteellisuus verrattuna yksinpuin tehtävään korjuuseen. Motomittausta ei ole tarkoitettu käytettäväksi joukkokäsittelyn yhteydessä. Motomittauksella tarkoitetaan puutavaran mittausmenetelmää, jossa harvesterin kaatopäässä sijaitseva mittalaite määrittää puun dimensiot. Harvesteripään käsitältaessä useampia rankoja kerrallaan moton mittaustarkkuus vääristyy huomattavasti puiden ollessa eripituisia ja paksuisia, jolloin tuloksia ei voida pitää paikkaansa pitävinä. Tilannetta korjaamaan on kehitetty kuormainvaakamittaus, jossa metsätraktoriin asennettu vaaka punnitsee puun massan purkamisen yhteydessä. Mitattu massa muunnetaan tilavuudeksi energiapuun mittausoppaan puulajikohtaisten tuoretiheystaulukoiden avulla. (Manninen 2010). Kuormainvaakamittauksessa metsänomistaja saa tiedon hakkuun

saannosta jo metsässä puiden kuormauksen tai purkauksen yhteydessä eikä tietoa hakkuun kertymästä tarvitse siten odottaa tehtaan mittausasemalta.

2.6 Energiapuu

Ensiharvennusten yhteydessä kerättävä energiapuu koostuu ainespuuksi kelpaamattomista kannoista, latvuksista ja pieniläpimittaisesta puusta. Suurin osa kasvatusmetsien energiapuusta korjataan nuoren metsän kunnostuskohteilta ja ensiharvennuskohteilta. Energiapuuharvennus kannattaa nuorissa metsissä, joissa taimikonhoito on jäänyt puutteelliseksi ja korjattavissa olevan ainespuun määrä on vähäinen (Tapio 2006).

Energiapuuta voidaan korjata erilliskorjuuna tai yhdistämällä se osaksi ainespuun korjuuta. Erilliskorjuussa leimikolta otetaan talteen pelkästään energiapuuta. Integroidussa korjuussa aines- ja energiapuu korjataan korjuualalta yhtäaikaaisesti. Pieniläpimittaiset puut ja isompien puiden latvat muodostavat energiapuuosuuden. Ainespuuksi kerätään läpimitaltaan energiapuuta suuremmat puut. (Metsäteho 2010.)

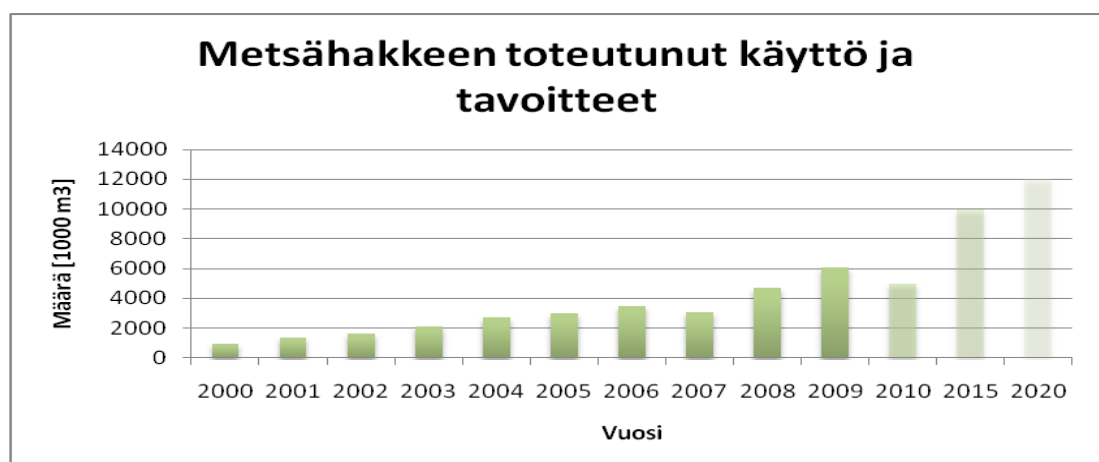
Energiapuuta voidaan kerätä koko- tai rankapuukorjuuna. Kokopuulla tarkoitetaan puuta, joka sisältää oksat, neulaset ja latvan. Rankapuulla tarkoitetaan karsittua kokopuuta. Kokopuuna kerätyllä energiapuulla saavutetaan korkeampi hakkuukertymä ja matalat hakkuukustannukset rankapuuhakkuuseen nähden. Toisaalta metsäkuljetuskustannukset nousevat korkeammiksi pienen kuormakoon ansiosta. Rankapuuna kerätyllä energiapuulla on vahvuutena iso kuormakoko, josta johtuvat rankapuun matalammat kuljetuskustannukset metsässä ja maantiellä kokopuuhun nähden. Samalla haketuskustannukset ovat kilpailukykyisemmät verrattuna kokopuuhaketukseen. Huonoina puolina rankapuuna tehtävällä energiapuulla voidaan pitää huomattavasti korkeampia hakkuukustannuksia kokopuuhun nähden. (Metsäteho 2010.)

Energiajakeen kerääminen ensiharvennus- ja päätehakuuleimikoilta on kasvanut voimakkaasti viimeisen 10 vuoden aikana. Energiapuukorjuun myönteiseen kehitykseen on vaikuttanut korjuukaluston kehittyminen vuosien saatossa ja valtion tuen mahdollistama kannattavuuden nousu hyväksyttävälle tasolle. Energiapuusta onkin kasvanut kokonaan uusi puutavaralajinsa ainespuun tavoin. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on lisätä energiapuun käyttöä jopa 16 milj. k-m³ vuoteen 2020 mennessä. (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto 2010.)

2.7 Metsähakkeen nykytila ja tulevaisuus

Suomi on Euroopan unionin kärkimaita puuperäisen energian hyödyntämisessä. Kokonaisenergiamäärästä puulla tuotetaan noin 20 prosenttia, joka on viisi kertaa enemmän kuin EU-maissa keskimäärin. (Bioenergia 2010.)

Metsähakkeella tarkoitetaan metsästä energiakäyttöön menevää haketettua puuraaka-ainetta. Kuvioista 5 nähdään, että metsähakkeen käyttö on kasvanut voimakkaasti Suomessa 2000-luvulla. Vuonna 2009 metsähakkeen käyttö kohosi 6,1 miljoonaan kuutiometriin, josta lämpö- ja voimalaitokset polttivat 5,4 miljoonaa kuutiometriä ja pientalot loput 0,7 miljoonaa kuutiometriä. Teollisuuden käyttämä metsähakemäärä kasvoi vuoden takaisesta määrästä kolmanneksen. (Metsäntutkimuslaitos 2010.)



Kuvio 5. Metsähakkeen toteutunut käyttö ja tavoitteet (Metsäntutkimuslaitos 2009, 286; Metsäntutkimuslaitos 2010). Toteutunut käyttö on merkitty vihreällä värillä ja tavoitteet himmeämmällä värillä.

Kansallisessa metsäohjelmassa metsähakkeen käytön tavoitteeksi on asetettu 5 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2010 mennessä ja 8 - 12 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2015 mennessä (Kansallinen metsäohjelma 2015). Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa tavoitteeksi on puolestaan asetettu 12 miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2020 mennessä (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008).

Metsätehon raportissa ” Puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020” on pohdittu todennäköisyyttä saavuttaa asetetut tavoitteet seuraavan 10 vuoden aikana ja mietitty samalla tarvittavia toimenpiteitä metsähakkeen käytön lisäämisen turvaamiseksi. Tutkimuksessa tultiin siihen johtopäätökseen, että tuotannon resurssitarpeet aiheuttavat ongelman metsäenergiakapasiteetin lisäämisessä. Energiapuun tarjontahalukkuus on varmistettava ja toiminnasta on tehtävä metsänomistajalle kannattavaa. Merkittäviksi ongelmiksi mainittiin myös kasvihuonepäästöjen päästöoikeuksien nykyinen hintataso ja valtion tuen tärkeys energiapuukaupassa. (Kärhä & Elo & Lahtinen & Räsänen 2009.)

2.7.1 Metsähakkeen tuotanto

Metsähake voidaan valmistaa energiapuusta monella tavalla. Yleisin haketusmenetelmä on tienvarsihaketus, jonka osuus pienpuun haketuksesta oli vuonna 2008 yli 80 %. Terminaalihaketuksen osuus oli 8 % ja käyttöpaikkahaketuksen osuus 7 %. Energiapuu voidaan hakettaa myös palstalla hakkuun ohessa erillisellä palstahakkurilla, mutta sen osuus haketusmenetelmistä on marginaalinen. (Bioenergia 2010.)

Haketus voidaan suorittaa myös sellutehtaalla puunkäsittelyssä, jossa kuitu- ja energijae erottuvat toisistaan kuorimon kuorimarummussa. Menetelmää kutsutaan integroiduksi haketusmenetelmäksi. (Metsäntutkimuslaitos & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008.) Menetelmässä kuitupuu jatkaa matkaansa kuorimarummusta sellun valmistukseen ja energijae poistuu puuhäviöinä kuoren mukana voimalaitokselle polttoon. Haketustavassa on

olennaista löytää tasapainoiset ajo-olosuhteet kuitu- ja energiapuun kuorintaprosessille menetelmän ollakseen tuotannollisesti hyväksyttävä ja taloudellisesti mahdollisimman kannattavaa.

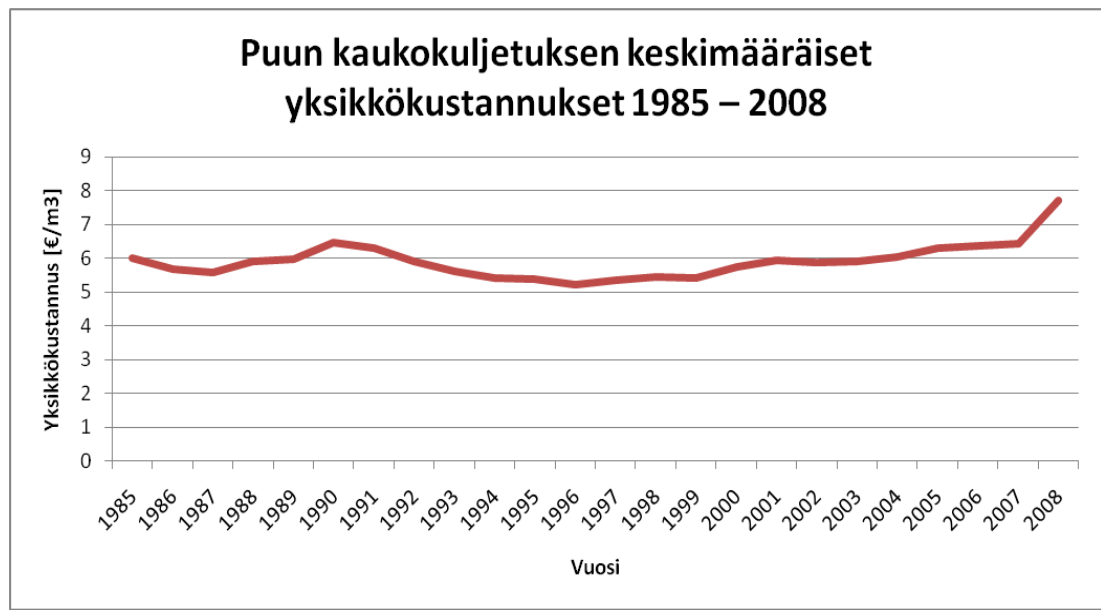
Kuorimarummissa tapahtuvalle puuraaka-aineen kuoriutumiselle on ratkaisevaa puun sisältämä vesimäärä. Puuraaka-aineen ollessa liian kuivaa kuori jähmettyy puun pintaan puun ja kuoren välisten sidoslujuuksien voimistuessa veden puutteen vuoksi. Tällöin kuorintaprosessia on muutettava voimakkaammaksi, jolloin syntyy samalla kuidutusprosessin kannattavuudelle haitallisia puuhäviöitä. Puun kosteudella on vaikutuksensa myös haketusprosessin toimivuudelle. Liian kuivalla puulla hakkeen palakokojakaumasta syntyy epätasaisempi ja hyväksyttävän hakkeen määrä vähenee. Haketettavan kuitupuun kosteus on oltava tarpeeksi korkea myös massan tasalaatuisuuden varmistamiseksi. Toisaalta energiajakeen sisältämä vesimäärän tulisi olla mahdollisimman vähäinen, ettei polttoprosessissa kuluva energiamäärä kuluisi puuhun sitoutuneen kosteuden höyrystämiseen. Puiden kuivuminen varastointiaikana kuten myös niiden kasteleminen puunkäsittelyssä kuorintarummun syöttökuljettimella ovat tässä tapauksessa ratkaisevia tekijöitä sellutehtaalla tapahtuvan haketuksen toimivuuden kannalta.

3 PUUN KAUKOKULJETUS

Merkittävä osa Suomen sisäisestä tavaraliikenteestä muodostuu metsäsektorin kuljetuksista. Vuonna 2008 puun ja metsäteollisuustuotteiden osuus kattoi 27 % tieliikenteen kuljetus-suoritteesta. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 181.)

Kaukokuljetuksella tarkoitetaan puun kuljettamista metsästä tienvarsivarastolta tehtaan puunkäsittelyyn. Lisääntyneillä hakkuualoilla on vaikutus myös kaukokuljetusten määrään ja pituuteen. Puuta korjataan ja haketetaan entistä suurempia määriä entistä kauempana, jolloin keskimääräinen kaukokuljetusmatka ja kuljetusten määrä kasvavat. Tämä nostaa samalla kuljetuksista aiheutuvia kustannuksia. Vuonna 2008 kotimaisen puun

keskimääräinen kaukokuljetusmatka oli 158 km ja keskimääräinen yksikkökustannus 7,7 €/m³. Matka piteni 7 km edellisvuodesta. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 181.) Kuviossa 6 on tarkasteltu kaukokuljetusten kustannusten kehitystä viimeisen 24 vuoden ajalta. Huomioimisen arvoista on kaukokuljetuskustannusten jatkuva kasvu vuodesta 1996 lähtien.



Kuvio 6. Puun kaukokuljetuksen keskimääräiset yksikkökustannukset 1985 – 2008 (Metsäntutkimuslaitos 2009, 196)

Vuonna 2008 kaukokuljetusten keskimääräinen yksikkökustannus nousi ensimmäistä kertaa yli 7 €/m³. Korotusta edellisvuoteen tuli noin 1,3 €/m³. Autokuljetusten osuus kaikesta kaukokuljetuksesta oli 74 % ja keskimääräinen kuljetusmatka oli 106 km. Autokuljetusten keskimääräinen yksikkökustannus oli 7,04 €/m³ ja nousua edellisvuoteen nähden tuli jopa 1,4 €/m³. (Metsäntutkimuslaitos 2009, 181.)

4 KESTÄVÄN METSÄTALouden RAHOITUSLAKI

Valtio tukee yksityismetsien metsänhoitotöitä. Varat sisältyvät vuosittain valtion talousarvioon tukena ja lainana. Tukea myönnetään metsänuudistamiseen, kulotukseen, nuoren metsän hoitoon, metsän terveyslannoitukseen, kunnostusojitukseen, ympäristön- ja luonnonhoitoon, juurikäävän torjuntaan ja metsätien tekemiseen. Lain tarkoituksena on puuntuotannon ja energiapuun käytön edistäminen sekä metsien biologisen monimuotoisuuden turvaaminen. Tuki parantaa töiden kannattavuutta ja on metsänomistajalle verotonta. Kestävän metsätalouden rahoituksella edistetään metsätalouden yhteiskunnallisten tavoitteiden toteutumista. Ajan tasalla olevan metsäsuunnitelman puuttuminen vähentää tukien suuruutta 10 prosenttia. (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto 2010.)

Tukea voidaan myöntää myös yhteisölle tai ammatinharjoittajalle hoitotöiden liittyessä energiapuun korjuuseen tai haketukseen, metsäluonnon hoitohankkeisiin tai juurikäävän torjuntaan. Tässä tapauksessa ehtona on, että toiminnalla edistetään yksityisen maanomistajan metsien hoitoa ja käyttöä. (Finlex 2007.)

4.1 Kemera-tuen hakeminen

Tukea haetaan kirjallisesti paikalliselta metsäkeskukselta. Tuen yleisedellytyksenä on etukäteen tehty toimenpidesuunnitelma tai jälkeinpäin tehtävä toteutus selvitys, riippuen tuen muodosta. (Finlex 2007.) Tässä osiossa on listattu metsänhoidollisesti oleellimmat KEMERA-tuet tehtävää tutkimusta koskien.

4.1.1 Nuoren metsän hoito

Tukea voidaan myöntää nuoren kasvatusmetsän harvennukseen, jos hoidettava ala on vähintään 1 hehtaarin kokoinen. Puhutaan myös hoidettavan metsikon hehtaarituesta. Tuen suuruus määräytyy keskimääräisten toteutuskustannusten

ja työllisyysmuodon perusteella. Etelä-Suomessa hehtaarituen suuruus on 50 % keskimääräisistä toteuttamiskustannuksista. Keskimääräiset toteuttamiskustannukset määräytyvät sen mukaan, onko harvennuksen tehnyt maanomistaja itse vai onko työ teetetty ulkopuolisella palkkatyövoimalla. Maanomistajan tekemän työn keskimääräiset toteuttamiskustannukset ovat 186 €/ha ja ulkopuolisen palkkatyövoiman keskimääräiset toteuttamiskustannukset ovat 278 €/ha.

Tuen hakemisen ehtoina ovat seuraavat kohdat:

- Puuston valtapituus ei saa ylittää harvennuksen jälkeen havumetsiköissä yli 14 metriä ja lehtimetsiköissä yli 15 metriä. Jos korjattava puu menee energiapuuksi, valtapituudella ei ole ylärajaa.
- Rinnankorkeusläpimitta tulee olla harvennuksen jälkeen alle 16 cm kasvatettavan puuston pohjapinta-alalla.
- Harvennuksessa kantoläpimitaltaan vähintään 4 cm:n puiden poistuma on oltava yli 1000 runkoa hehtaaria kohden.
- Mikäli lähtöpuusto on ylitieheä ja sen harvennus aiheuttaa tuhoriskejä, kasvamaan jätettävän puuston tiheys saa olla 2. kehitysluokan kohteissa enintään 2 000 kpl/ha.
- Harvennuksen jälkeen kohteelle ei saa jäädä välitöntä ensiharvennustarvetta.

Tukea nuoren metsän hoitoon voidaan myöntää vain kerran samalle kohteelle puuston kiertoajan kuluessa. (Pirkanmaan metsäkeskus & Tapio 2009.)

4.1.2 Energiapuun korjuu

Energiapuun korjuutukea voi hakea energiakäyttöön luovutettavan puun kasausta ja metsäkuljetusta varten yhteensä 7 euroa kiintokuutiometriä kohden. Tuen edellytyksenä on, että puumäärä on vähintään 20 kiintokuutiometriä. Tuen saamiseksi on laadittava myös vakuutus puun luovutuksesta energiakäyttöön. Vakuutus tehdään paikalliselle metsäkeskukselle. (Metsävastaa 2009.)

4.1.3 Energiapuun haketus

Energiapuun haketukseen myönnetään valtion tukea vuoden 2012 loppuun saakka, jos haketettava puu on peräisin KEMERA-lain nojalla hoidetusta nuoresta metsästä tai energiapuun korjuukohteelta. Haketustukea maksetaan 1,7 euroa haketettua irtokuutiometriä kohden eli 4.25 € kiintokuutiometriä kohden. Energiapuun haketuksesta on laadittava toteutus selvitys paikalliselle metsäkeskukselle. (Pirkanmaan metsäkeskus & Tapio 2009.)

4.1.4 Toteutus-selvitys

Energiapuun korjuu ja haketus edellyttävät työstä tehtyä toteutus selvitystä, joka tehdään työn valmistuttua. Selvityksen tekoon voi hakea myös kestävän metsätalouden rahoitustukea, mikäli metsänomistaja laadituttaa sen vieraalla toimeksiantajalla. (Metsävastaa 2009.)

Toteutus selvityksestä on käytävä ilmi seuraavat asiat:

- Haketettu energiapuun on kaadettu nuoren metsän hoitokohteelta.
- Hoito- tai korjuukohdetta koskevat tiedot
- Kohteelta korjatun energiapuun määrä
- Tarvittavat asiakirjat liittyen haketukseen ja hakkeen vastaanottamiseen
- Lämpö- tai voimalaitoksen merkintä energiakäyttöön tarkoitetun hakkeen vastaanotosta.

Tukea voi saada nuoren metsän hoidosta laadittavaan selvitykseen enintään 78 euroa + 16,50 euroa hehtaaria kohden kohteen ollessa vähintään 2,6 hehtaarin kokoinen ja tätä pienemmissä kohteissa enimmillään 46,50 euroa hehtaaria kohden. Energiapuun korjuualueen toteutus selvityksen laatimisesta voi saada edellämainittua toteutus selvitykseen myönnettävää tukea korotettuna 4,60 euroa hehtaaria kohden alueilta, joilta energiapuuta kertyy. Energiapuun haketuksesta laadittavaa toteutus selvitystä varten voi saada tukea 0,25 euroa haketettua kiintokuutiometriä kohden. (Pirkanmaan metsäkeskus & Tapio 2009.)

5 PÄÄSTÖKAUPPA

Kioton ilmastopöimimus hyväksyttiin 1997. Sopimuksen piiriin kuuluvat maat sitoutuivat laskemaan kasvihuonepäästönsä vuoden 1990 tasolle tai sen alapuolelle. Euroopan unioni rakensi päästökauppajärjestelmän, jonka toiminta aloitettiin vuonna 2005. Suomessa päästökauppajärjestelmään kuuluu noin 550 laitosta ja 150 yritystä. (Energiateollisuus.)

Ilmastopöimimuksen mukaan päästöjä ei tarvitse välttämättä vähentää itse, vaan niitä voi karsia myös siellä, missä se on kustannustehokkainta. Tähän pyritään niin sanotuilla Kioton mekanismeilla, joista tärkein on päästökauppa. (Suomen metsäyhdistys ry.)

Päästökaupassa ostetaan ja myydään päästöoikeuksia. Yritykset voivat myös halutessaan käydä keskenään kauppaa päästöoikeuksilla. Yksi päästöoikeus tarkoittaa oikeutta päästää ilmakehään yksi tonni hiilidioksidia. EU:n direktiivin mukaan päästökauppalain piiriin kuuluvat 20 MW:ia suuremmat polttolaitokset ja eräät teräs-, mineraali- ja metsäteollisuuden laitokset. Suomessa päästökaupan piiriin kuuluvat myös 20 MW pienemmät poltto- ja lämpölaitokset. EU:n päästökauppadirektiivin tarkoituksena on saada EU:n jäsenmaat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään kustannustehokkaalla tavalla ja pyrkiä täyttämään Kioton sopimuksen mukaiset tavoitteet. (Suomen Metsäyhdistys ry.)

Kioton ilmastomuutosopimuksen mukaiset kasvihuonekaasupäästöjen vähennysvelvoitteet sekä päästökauppa ovat lisänneet energian tuottajien mielenkiintoa päästövapaita puupolttoaineita kohtaan. Päästökauppamekanismi on lisännyt samalla bioenergian kilpailukykyä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna lisäten myös energiantuottajien maksukykyä. Puun energiakäytön lisäämistä rajoittaa kuitenkin markkinoilla olevan puun saatavuus. (Metsäntutkimuslaitos & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008.)

6 STORA ENSO OYJ JA METSÄENERGIAN HANKINTA

6.1 Yleistä

Stora Enso on globaali paperi-, pakkaus- ja puutuotealalla toimiva yhtiö, jonka päätuotteet ovat sanomalehti- ja kirjapaperi, aikakauslehti- ja hienopaperi, kuluttajapakkauskartonki, teollisuuspakkaukset sekä puutuotteet. Konserni työllistää yhteensä n. 27 000 henkilöä 35 eri maassa. (Stora Enso 2010.)

Stora Enso Metsä vastaa Suomessa Stora Enson tuotantolaitosten puuhuollosta, niin kotimaan hankinnan kuin tuontipuun osalta. Suomen tehtaiden kuluttamasta kokonaispuumäärästä yli 50 % tulee yksityismetsistä ja vajaa 10 prosenttia valtion omistamista metsistä. Stora Enso Metsä hankkii myös tuontipuuta, lähinnä Venäjältä ja Baltiasta. Stora Enso Metsän palveluksessa on noin 630 henkilöä ja noin 400 kone- ja autoyritystä alihankkijoina. (Stora Enso.)

Stora Enso Metsä on yksi suurimmista metsäenergian toimittajista Suomessa. Metsäenergiayksikkö hankkii ja toimittaa energiapuuta koko maassa omille tuotantolaitoksilleen sekä ulkoisille keskisuurille ja suurille lämpö- ja voimalaitosasiakkailleen. Suurin osa metsäenergiayksikön toimittamasta metsäenergiasta koostuu päätehakkuilta tulevista hakkuutähteistä, kantojen ja pienpuun ollessa tasavahvana vähemmistönä (60/20/20). Lisäksi Stora Enson metsäenergiayksikkö toimittaa myös tuontijakeita puupolttoaineina. (Manninen 2010.)

6.2 Imatran tehtaat

Stora Enson Imatran tehtaat (Kuva 1) sijaitsevat itä-Suomessa n. 270 km Helsingistä itään. Tehdasintegraatti koostuu kahdesta tehdasyksiköstä, Kaukopäästä ja Tainionkoskesta, joiden vuotuinen kapasiteetti ylittää yli miljoona tonnia paperia ja kartonkia. Tehtaat ovatkin tuotantomäärältään

maailman suurimpia kuluttajapakkauskartonkien valmistajia. Tuotannosta 90 % menee vientiin, pääosin Eurooppaan ja Kaakkois-Aasiaan. (Stora Enso 2009.)



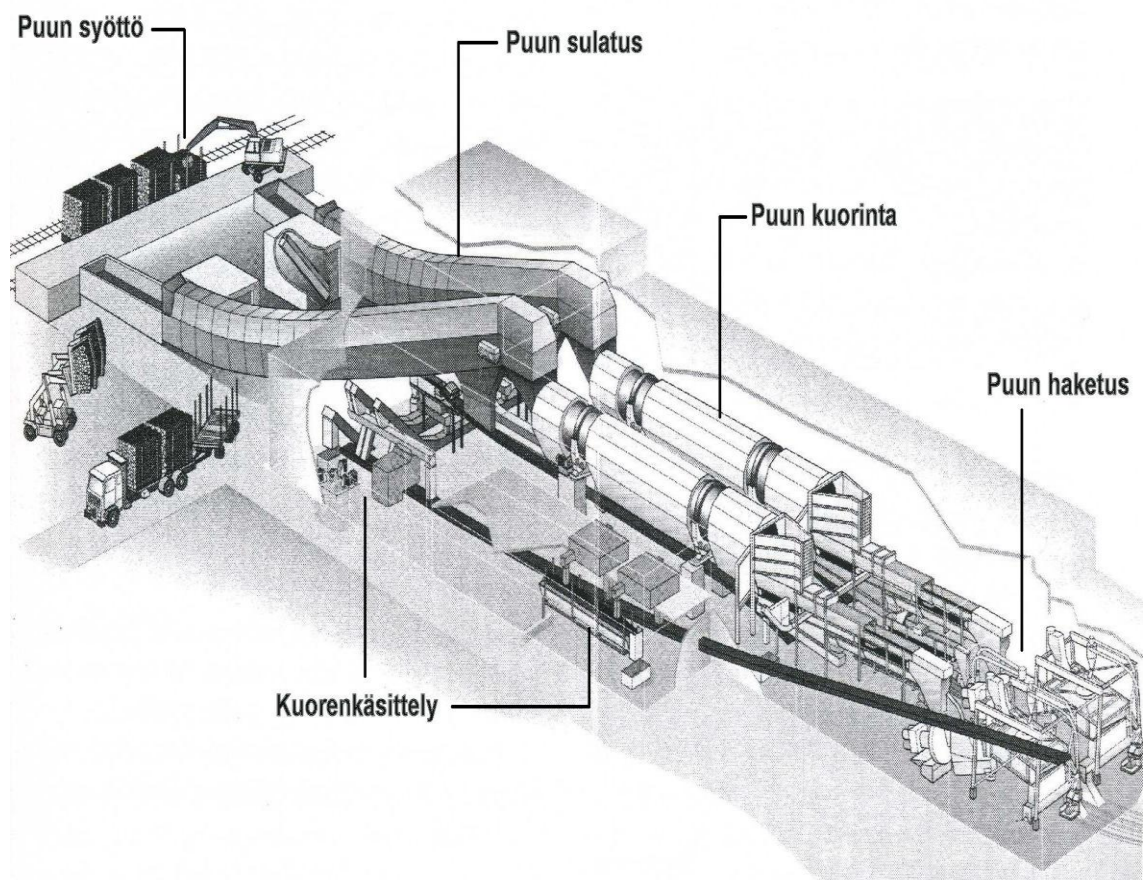
Kuva 1. Stora Enson Imatran tehtaat. Vasemmanpuoleinen kuva on Kaukopään yksiköstä ja oikeanpuoleinen kuva on Tainionkosken yksiköstä (Stora Enso 2009)

Imatran tehtailla tuotetaan erinäisiä paperi- ja kartonkilajeja. Nestepakkauskartonkeja valmistetaan kaikkiin nestepakkausjärjestelmiin ja lopputuotteita ovat mm. maito- ja mehutölkit. Elintarvikekartongeista valmistetaan juomakuppeja ja erilaisia elintarvikepakkauksia. Pakkauskartonkeja käytetään elintarvike-, makeis- ja savukepakkauksiin. Graafisista kartongeista syntyy kansia, kortteja ja luksuspakkauksia. Imatran tehtailla valmistetaan myös pakkaus- ja toimistopapereita. Tainionkosken tehtaalla valmistetaan Absorbex-paperia huonekaluteollisuuden laminaatteihin. (Stora Enso 2009.)

Tainionkosken ja Kaukopään yksiköillä on molemmilla oma kuorimonsa, joiden vuotuinen puunkäyttö oli vuonna 2009 yhteensä noin 4.3 milj. kuorellista k-m³. Kaukopään osuus käytetystä puumäärästä oli noin 3,3 milj. kuorellista k-m³ eli n. 83 %. Tästä puumäärästä koivua oli 67,4 %, mäntyä 26,2 % ja kuusta 6,4 %. (Stora Enso 2010.)

7 PUUNKÄSITTELY

Kuvassa 2 on havainnollistettu kuorimon toimintaa. Puut tuodaan tehtaalle puunkäsittelyn varastopaikalle, josta ne syötetään puunkäsittelykoneella sulatuskuljettimelle. Täällä puista sulatetaan talvella lumi ja jää pois kuumalla vedellä. Samalla puiden kuoriaineksen pinnalta pestään epäpuhtaudet, kuten hiekka pois. Sulatuskuljettimelta puut siirtyvät kuorimarumpuun, jossa puuraaka-aineesta irrotetaan kuori kovien mekaanisten voimien avulla. Kuorimarummusta irronnut kuori jatkaa matkaansa kuorenkäsittelyn kautta voimalaitokselle polttoon, ja kuorittu puu päätyy haketukseen. Ennen puun haketusta puuvirrasta erotetaan vielä mahdolliset epäpuhtaudet, kuten kivet ja metallit kuorimarummun purkauskuljettimen jälkeisellä pesurullastolla. Haketettu puuraaka-aines kuljetetaan hakkeen välivarastolle erinäisiä kuljettimia pitkin odottamaan jatkokäsittelyä.



Kuva 2. Puunkäsittelyn yleistoimintakaavio (Seppälä ym. 2002)

7.1 Puiden vastaanotto ja varastointi

Tehtaiden puutavaran vastaanottojärjestelyt vaihtelevat tehtaan puukäsittelylaitoksen vastaanottomahdollisuuksista ja kuljetustavasta riippuen (Puusta paperiin M-201 1997). Puuraaka-ainetta tuodaan Stora Enson Imatran tehtaille rekoilla, laivoilla ja junilla. Suurin osa kokonaispuumäärästä tuodaan puunkuljetusrekoilla. Ennen kuin puut saapuvat tehdasalueelle, ne mitataan tehtaan mittausasemalla. Mittauksella varmistetaan tehtaalle tulevan puun kokonaismäärä. Tiedon avulla voidaan jatkossa määrittää mm. puun kuljetuskustannukset (Seppälä ym. 2002). Puunkuljetusauton saapuessa tehtaan mittausasemalle punnitaan auton kokonaismassa. Punnitus suoritetaan uudestaan auton purettua kuormansa puuterminaaliin kuorimon lähialueelle. Tällöin voidaan määrittää tehtaalle tuotujen puiden kokonaismassa erottamalla täydessä lastissa olevan puunkuljetusrekan massasta tyhjän rekan massa. Punnituksesta tallentuu tieto tehtaan tietojärjestelmään. Osasta puutavaraerästä voidaan mitata myös tilavuuspaino otantakuormina. Otantojen osuus kokonaispuumäärästä on yleensä 1 - 10 %. Otantamittauksilla pyritään varmistumaan tehtaan puukäsittelyyn saapuvasta puumäärästä.

Rautateitse saapuvan puutavaran tehdasvastaanotto ja mittaus tapahtuu yleensä samoilla menetelmillä kuin autopuunkin vastaanotto. Sen sijaan rautatievaunut pyritään purkamaan suoraan kuorimon prosessiin, mikäli se on VR:n määrittelemän purkuajan puitteissa mahdollista. Laivoilla tuotu puutavara puretaan useimmiten puukuljetusautoihin, joilla puutavara kuljetetaan käyttöpaikalle. Kuorma mitataan joko aluksessa pinomenetelmällä tai autossa pinomenetelmällä tai painomittauksella. (Puusta paperiin M-201 1997.)

Puuta tuodaan tehtaalle enemmän kuin sitä ennätetään hetkellisesti syöttää prosessiin. Tästä syystä ylitsejäävä osuus varastoidaan usein kuorimon puukentälle odottamaan kuorintaprosessiin pääsyä. Varastointi tapahtuu laaduttain ja välillä myös järeysluokittain. Pitkä varastointiaika on pahaksi kuidutettavalle puuraaka-aineelle kuivumisen vuoksi. Pitkä varastointiaika aiheuttaa myös puiden pilaantumista ja homehtumista. Nämä seikat aiheuttavat

ongelmia jatkoprosesseissa, kuten puun kuorinnassa, haketuksessa ja sellun keitossa. Tästä syystä puiden varastointiaika tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Paras varasto puulle olisi kasvava metsä, jossa sille olisi tarjolla suotuisat elinolosuhteet ja mahdollisuus pysyä tuoreena.

7.2 Puiden syöttö ja sulatus

Puut syötetään nipuittain puunkäsittelykoneilla kuorimon sulatuskuljettimelle, joka kuljettaa puut kuorintaprosessiin. Syötön tasaisuudella on ratkaiseva merkitys kuorimon toiminnan kannalta. Epätasainen puun syöttö aiheuttaa monesti tuotannon katkoksia kuorimarummun purkauskuljettimelle ja hakkujen syöttökuljettimille puuvirran ollessa vaihteleva lyhyellä aikavälillä. Samalla kuorimarummussa vaihtelevat puumäärät aiheuttavat entistä suurempia puuhäviömääriä kuorinnan häiriintyessä liian suuresta tai pienestä puumäärästä. Puun lastaajan tehtävänä on pitää puun syöttö mahdollisimman tasaisena, jolloin kuorimon automaatiojärjestelmä tai sitä kontrolloiva kuorimon työntekijä kykenee huolehtimaan halutun kuorintakapasiteetin saavuttamisesta.

Ennen kuin puut siirtyvät sulatuskuljettimelta kuorimarumpuun, ne pestään kuumalla vedellä. Pesun tarkoituksena on poistaa mahdolliset epäpuhtaudet, kuten hiekka ja pienet kivet, etteivät ne pääse heikentämään jatkossa hakkeen tasalaatuisuutta ja tylsistyttämään hakun teriä. Talvella puut ovat usein lumisia ja kuoriaineksen pinta on jäässä, jolloin puiden pintakerros on sulatettava ennen kuorintaa. Sulatusprosessi tapahtuu veden ja kuuman höyryn sekoituksella. Sulatus pienentää kuoren ja puun välistä sidoslujutta, jolloin kuori irtoaa helpommin kuorimarummussa tapahtuvassa kuorintaprosessissa. Kesällä puiden pintakerrosta ei tarvitse sulattaa, jolloin höyryn käyttö voidaan lopettaa ja puut pestään vain vedellä.

7.3 Puiden kuorinta ja kuorenkäsittely

Puiden pinta- eli kuorikerros sisältää vain pienen määrän hyödyllisiä kuituja, se kuluttaa keitto- ja valkaisukemikaaleja sekä aiheuttaa roskaisuutta (Seppälä ym.

2002). Lisäksi se aiheuttaa värillisiä pilkkuja massaan, vaikeuttaa vedenpoistoa sellu- ja paperirainassa sekä alentaa valmiin paperin repimislujutta (Puusta paperiin M-201 1997). Tästä syystä puuaineksesta on erotettava kuorikerros ennen kuin siitä valmistetaan sellun valmistuksessa tarvittavaa haketta.

Puiden kuoriutuminen tapahtuu sellutehtaan kuorimon kuorimarummussa (Kuva 3). Kuorinnan tarkoituksena on kuoria sulatuskuljettimelta syötetyt puut jatkoprosessin edellyttämään puhtausasteeseen mahdollisimman pienin puuhäviöin. Kuorinta tapahtuu rummun pyöriessä tasaisella pyörimisnopeudella, jolloin puut iskeytyvät ja hankautuvat toisiaan vasten luoden painetta puuaineksen ja kuoren väliselle sidoslujuudelle. Kun paine kasvaa tarpeeksi suureksi, sidokset antavat periksi ja kuori irtoaa puusta. Kuorinnan tuloksena aiheutuu myös pakollisia puuhäviöitä.



Kuva 3. Kaukopään kuorimon 1- linjan kuorimarumpu. 1-linjan kuorimarumpu on identtinen 3-linjan kuorimarummun kanssa. Kuvassa näkyy myös kuorimarummun kuorimaraudat, kuoriaukot ja purkauspään portti.

Puuhäviöillä tarkoitetaan kuoren seassa olevaa puumäärää, joka irtoaa kuorittavasta puuraaka-aineesta kuorinnan yhteydessä. Puuhäviöitä syntyy

puiden katkeilemisesta ja pirstoutumisesta kuorinnan aikana. Tämä on yleistä etenkin pieniläpimittaisella puulla. Puuhäviöiden suuruuteen vaikuttavat kuitenkin monet eri muuttujat, kuten mm. kuorittavan puun laatu, koko, lahoisuus, varastointitapa, kuorintaolosuhteet ja kuorinnan puhtaustavoitteet (Niiranen & Kuusela & Paloniemi & Salminen & Skyttä & Unkuri & Heimonen 1984). Kuidutukseen menevän hakkeen tuotannon kannalta puuhäviöiden ideaalinen osuus olisi 0 %. Tulokseen on kuitenkin käytännössä lähes mahdotonta päästä rumpukuorinnassa tapahtuvien monimutkaisten voimavaikutusten vuoksi.

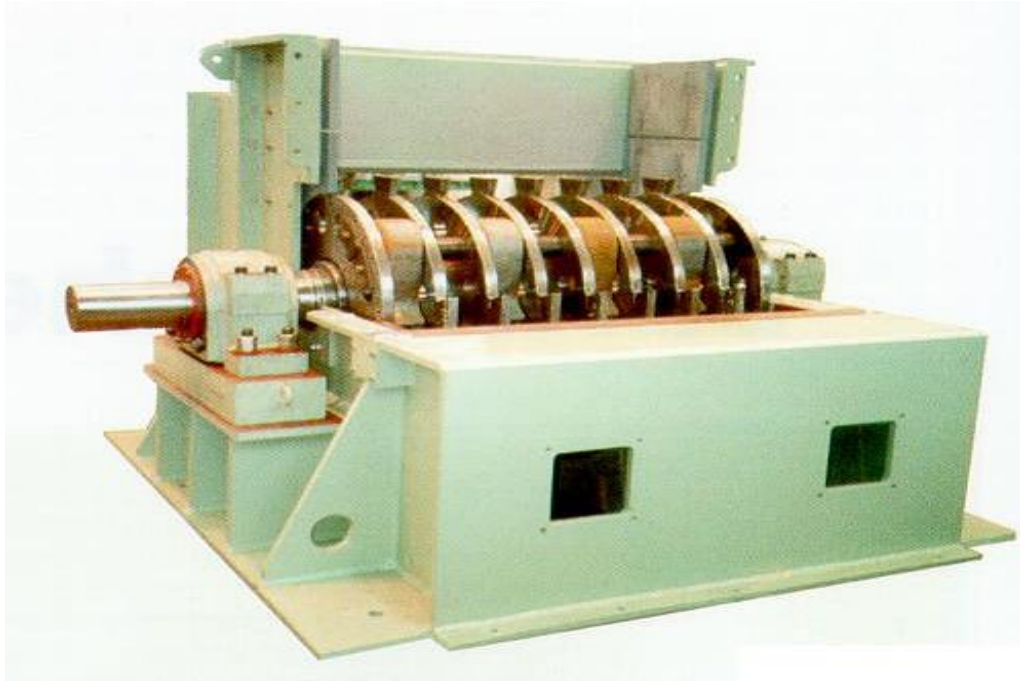
Kuorimarumpu on rakenteeltaan teräslieriö, jota kannatetaan yleensä öljyfaasisissa. On olemassa myös teräs- ja kumipyöräkannatukseen perustuvia kuorimarumpuja. Rummut voidaan jakaa kahteen ryhmään: lyhyen puun rumpuihin eli ristikkäiskuorimarumpuihin ja pitkän puun rumpuihin eli yhdensuuntaiskuorimarumpuihin. (Niiranen ym. 1984.) Ristikkäiskuorimarummussa rummun halkaisija on suurempi kuin puiden pituus, jolloin kuorimarummun pyöriminen saa aikaan puiden sekoittumisen kuorinnan aikana. Yhdensuuntaisrummussa puut ovat vapaamittaisia ja vierivät rummussa rummun akselin suuntaisesti. (Niiranen ym. 1984.) Kuorimarummun seinämille on asennettu koko rummun pituudelta kuorimarautoja, joiden tarkoituksena on edesauttaa puiden kuoriutumista. Puut kulkeutuvat kuorimarummun pyörimisliikkeen ja kaltevuuskulman vaikutuksesta eteenpäin kohti kuorimarummun purkupäätä.

Kuorinnan voimakkuus riippuu puiden viipymääjasta kuorimarummussa. Viipymäaikaan vaikuttaa kuorimarummun täytösaste, kierrosnopeus ja portin asento. Puun syötön ollessa tasaista sulatuskuljettimelle, voidaan kuorimarummun puun syöttöä kontrolloida sulatuskuljettimen nopeudella ja näin ollen asettaa kuorimarumpuun tarvittava täytösaste optimaaliselle kuorintaprosessille. Puiden kuoriutumisen tehokkuutta voidaan säätää kuorimarummun kierrosnopeudella. Kierroslukua nostettaessa puut joutuvat tekemään kuorimarummussa useamman kuorintakierroksen samassa ajassa (Seppälä ym. 2002). Näin saavutetaan puiden korkeampi puhtaustaste. Liian

suurella kierrosnopeudella aiheutetaan puiden ylikuoriutumista ja samalla haitallisia puuhäviöitä haketettavaksi menevälle kuitupuulle. Kuorintaolosuhteiden salliessa voidaan kuorimarummun kierrosnopeutta myös laskea puuhäviöiden välttämiseksi. Puiden purkautumista kuorimarummusta purkauskuljettimelle säännöstellään portin asemoinnilla.

Kuorimarummun portin asemaa muuttamalla voidaan säätää hakkuun syötettävää puumäärää ja sen tasaisuutta. Edellytyksenä tälle on riittävä puumäärä rummussa. Portin asemoinnilla on omat rajapintansa, joita ei tulisi ylittää eikä alittaa. Portin ollessa liian avoinna syntyy suuresta puumäärästä johtuvia tukoksia ja katkoksia kuorimarummun purkauskuljettimelle ja sitä seuraavalle pesurullastolle. Samalla kuorimarummissa oleva puumäärä laskee alle kuorintakapasiteetin, jolloin kuorintaprosessi häiriintyy. Tämän voi huomata haketettavaksi menevän puun kuoripitoisuuden kasvuna. Portin ollessa liian kiinni vähenee haketukseen menevä puumäärä olennaisesti. Tämä aiheuttaa ongelman kuorimon haketuskapasiteetissa. Samalla kuorimarummun täytösaste kasvaa, jos puun syöttö on tasaista sulatuskuljettimelta kuorimarumpuun. Suuri täytösaste aiheuttaa puiden ylikuoriutumisen, jolloin puuraaka-ainetta joutuu kuoren mukana polttoon, eikä se näin ollen etene sellun tuotantoon. Puuhäviöt aiheuttavat myös ongelmia kuorenkäsittelyssä luoden tukoksia kuljettimien risteyskohtiin ja siten lisäten tuotannollisia katkoksia kuorimolle.

Kuori poistuu kuoriutumisen yhteydessä koko kuorimarummun alalta olevista kuoriaukoista kuorenkäsittelyyn, jossa se murskataan tasalaatuisuuden saavuttamiseksi. Kuorimurskaimia on olemassa vaaka- ja pystysyöttöisiä malleja. Kuoren murskauksen edellytyksenä on murskan riittävä järeys, jotta suuretkin kuorikappaleet ja puupilkkeet saataisiin hienonnettua. Kuvassa 4 on esitelty vaakasyöttöinen kuorimurska.

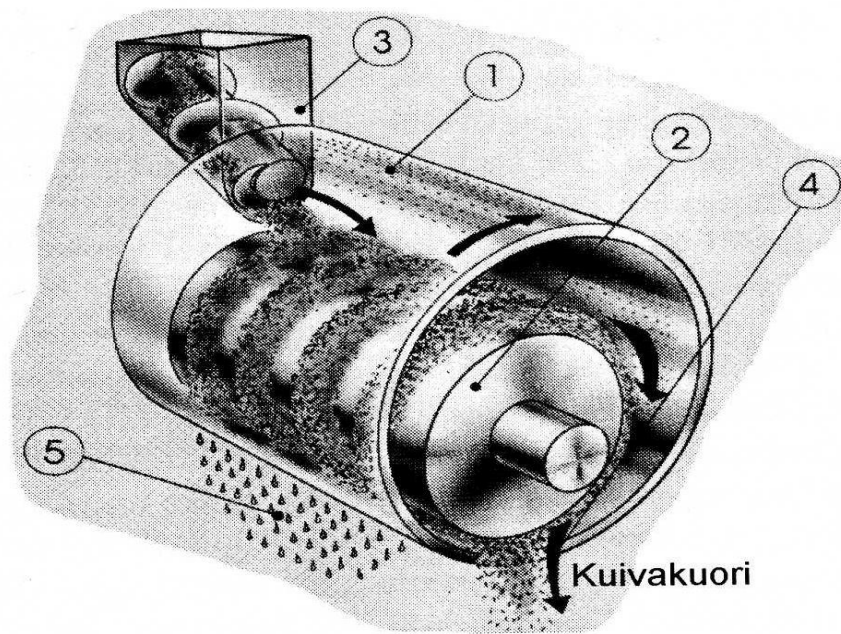


Kuva 4. Vaakasyöttöinen kuorimurskain (Knowpap 5.0)

Ennen murskausta kuorivirrasta poistetaan hiekka ja pienet kivet sekä mahdolliset metallit magneetin ja metalli-ilmaisimen avulla. Rauta ym. metalli voisi vahingoittaa murskaa ja aiheuttaa laitevahinkoja. Hiekalla ja kiviaineksella on taas heikentävä vaikutus kuoren poltto-ominaisuuksiin (Puusta paperiin M-201 1997). Kuorikappaleiden ollessa mahdollisimman pieniä ennaltaehkäistään mahdollisia tukoksia sitä kuljettaville kuljettimille ja näin ollen parannetaan koko laitoksen toimivuutta ja luotettavuutta. Kuorikappaleiden koolla on myös vaikutus voimalaitoksella tapahtuvaan polttoon. Mitä pienempi palakoko, sitä tasaisempi itse polttoprosessi on. (Niiranen ym. 1984.) Kuorimurskaa edeltää yleensä myös seulonta, jossa suurikokoinen kuorijae kulkeutuu murskaukseen ja pienikokoinen kuorijae jatkaa matkaansa suoraan kuoren puristukseen.

Murskauksen jälkeen kuori kuljetetaan puristusprosessiin, jossa siitä pyritään poistamaan mahdollisimman suuri kosteusmäärä. Kuoripuristimet voidaan jakaa konstruktioltaan ruuvi-, ketjumatto-, mäntä- ja rumpupuristimiin, joista rumpupuristin (Kuva 5) on yleisin Suomessa käytetty puristintyyppi (Niiranen ym. 1984). Rumpupuristimessa kuori kuivatetaan kaltevan, rei'itetyn rummun (1) ja sen sisällä pyörivän telan (2) välissä. Kuivattavan kuoren syöttö (3)

puristinrumpuun tapahtuu puristimen yläpäästä rummun ja telan väliin, jossa se sekoittuu ja puristuu useita kertoja rummun pyöriessä akselinsa ympäri. Tarpeeksi monen puristuskierroksen jälkeen kuivattu kuori (4) poistuu rummun alapäästä kuljettimelle, joka kuljettaa kuoren tehtaan voimalaitokselle polttoon. Puristusprosessissa kuoresta erottuva vesi (5) johdetaan vedenkäsittelyyn, ennen kuin se palautetaan takaisin kuorimon kierto-vesijärjestelmään. (Seppälä ym. 2002.)



Kuva 5. Rumpupuristimen toimintaperiaate (Seppälä ym. 2002)

Kuoren korkealle kuiva-ainepitoisuudelle olennaista on kuoripuristuksen riittävä puristuspaine ja puristusaika sekä kuorikakun ohuus. Tyypillinen kuoren kuiva-ainepitoisuus puristuksen jälkeen on noin 41 - 45 %. (Seppälä ym. 2002.) Kuoren kuiva-ainepitoisuuden ollessa alle 35 % puhutaan polttoon soveltumattomasta kuoresta alhaisten poltto-ominaisuuksien vuoksi (Niiranen ym. 1984). Tässä tapauksessa ei voida puhua enää energianlähteestä, vaan ennemminkin ongelmajätteestä. Puristuksen jälkeen kuori varastoidaan voimalaitokselle välivarastoon, josta se syötetään aikaa myöden polttoprosessiin.

7.4 Puiden haketus

Kuitupuu haketetaan sellutehtaan kuorimon hakkurissa. Hakun tehtävänä on tuottaa mahdollisimman homogeenista haketta, joka täyttää jatkoprosessin edellyttämän hakkeen määrän ja sen laatuvaatimukset.

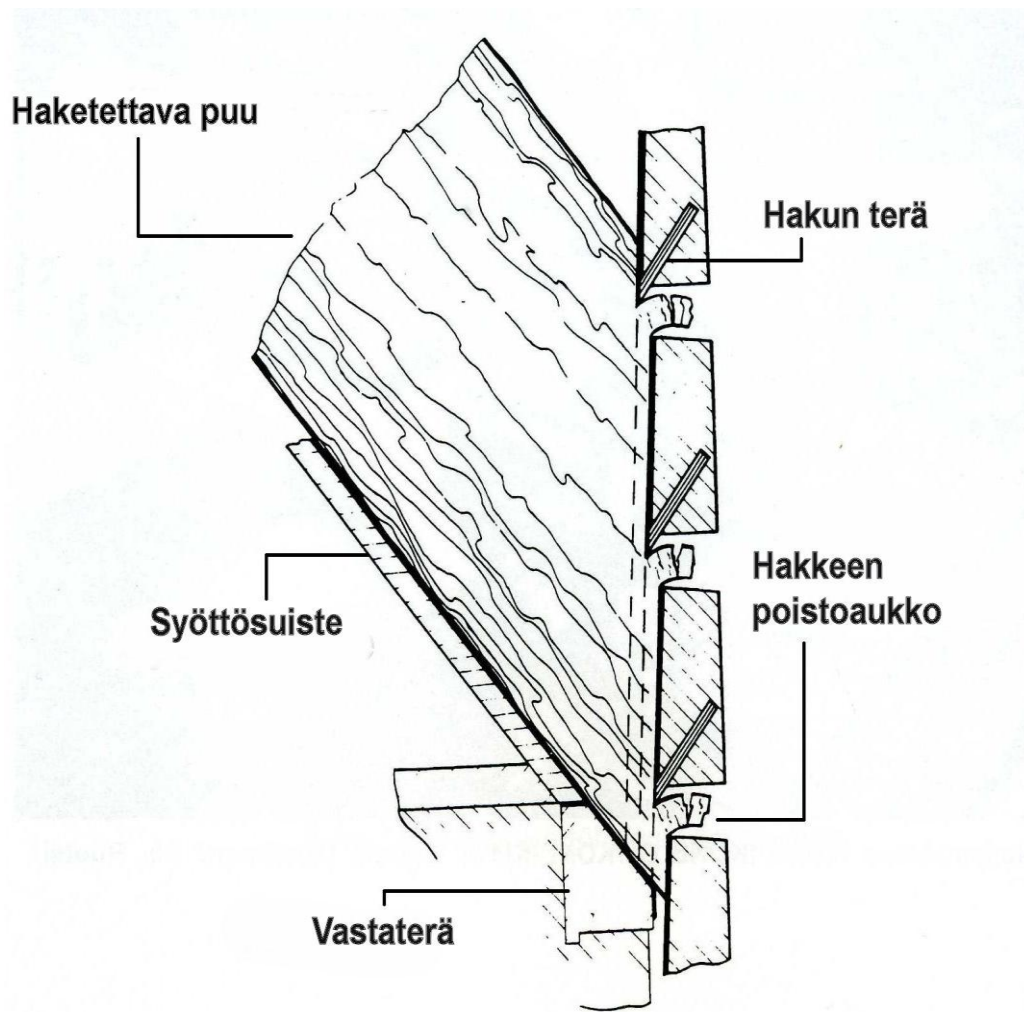
Yleisin sellutehtaan kuorimon käyttämä hakkutyyppi on kiekkohakku (Kuva 6). Kiekkohakut voidaan jakaa puun syötön ja hakkeen poiston mukaan. Vaakasyöttöisessä hakussa puut syötetään hakkuun vaakasuorassa tietyssä kulmassa teräkiekkoa vasten. (Seppälä ym. 2002.) Vaakasyöttöinen hakku sopii pitkän ja järeän puun haketukseen ja sen etuina voidaan nähdä pystysyöttöiseen hakkuun nähden pienemmät mekaaniset rasitukset hakun rakenteisiin. Pystysyöttöisessä hakussa puut syötetään ylhäältä hakun kiekkoa vasten noin 35 asteen kulmassa.



Kuva 6. Stora Enso kaukopään kuorimon 3-linjan pystysyöttöinen allepurkava kiekkohakku. Kuvassa näkyy hakun teräkiekko, terät ja terien yläpuolella sijaitsevat hakkeen poistoaukot.

Hakkeen poisto voidaan suorittaa ns. puhallustyhjennyksellä, jossa teräkieron siivekkeet saavat aikaan ilmavirran, joka puhaltaa hakkeen ylöspäin syklooniin. Puhalluskorkeus voi olla jopa 20 m. Allepurkavissa hakuissa hake poistuu hakun teräkieron alapuolella sijaitsevasta poistoaukosta sitä kuljettavalle kuljettimelle. Sivulle purkavassa hakussa hake purkautuu vapaasti teräkieron raosta sivulle. (Seppälä ym. 2002.)

Kiekkohakun teräkierkoon on kiinnitetty haketuksen suorittavat veitsimäiset terät. Terät työskentelevät vasten hakun vastaterää, joka on kiinnitettyä koneen runkoa vasten. Vastaterän tehtävänä on toimia ns. vastinkappaleena hakettavalle terälle (Puusta paperiksi M-201 1997). Hakkeen muodostumista hakussa on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Hakkeen muodostuminen (Puusta paperiin M-201 1997)

Hyvälaatuisen hakkeen muodostumiselle olennaisia muuttujia ovat haketettavan puun laatu, järeys ja puhtaus, hakun syötön määrä ja tasaisuus, teräkiekon pyörimisnopeus sekä hakun terien määrä, kunto ja geometria. Paras mahdollinen hake syntyy pitkistä, paksuista, tuoreista ja oksattomista puista.

Kuten aikaisemmin mainittiin, hakun syötön määrää ja tasaisuutta hallitaan kuorimarummun portin asemaa säätämällä. Kuorimarummun purkauskuljettimella on myös oma merkityksensä puuvirran tasaisuudelle. Puiden purkautuessa kuorimarummusta purkauskuljettimelle puuvirta tasautuu kuljettimen nopeuden ollessa suurempi puiden purkautumisen nopeuteen nähden.

Hakun leikkaus- ja teräkulma sekä teräkiekon pyörimisnopeus ovat hyvälaatuisen hakkeen muodostumiselle olennaisia seikkoja. Terien kulmalla voidaan vaikuttaa hakepalojen pituuteen ja hakkeen paksuus on suhteessa pituuteen. Leveys on enemmän tai vähemmän sattuman varassa. (Seppälä ym. 2002). Teräkiekon pyörimis-, eli leikkuunopeutta nostettaessa tuotanto kasvaa, mutta samalla hakkeen laadulliset ominaisuudet huononevat (Puusta paperiksi M-201 1997).

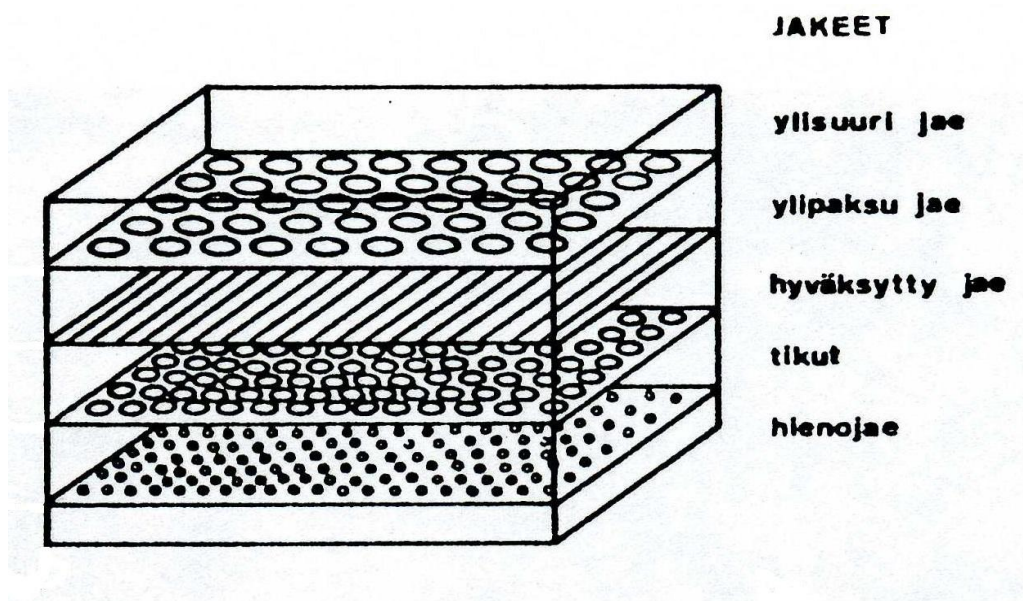
Hakun terät tylsistyvät tietyn ajan kuluessa puun haketuksessa ja hiekan tai mahdollisten kivien joutuessa hakkuun. Tällöin haketusprosessi kärsii ja puusta syntyvän hakkeen palakokojakauman hajonta kasvaa sekä hyväksyttävän palakoon osuus pienenee hakun luodessa entistä enemmän pienijakeisia tikkuja ja purua (Niiranen ym. 1984). Tästä syystä terät vaihdetaan uusiin tietyn haketuskapasiteetin ylittyessä hakun toimivuuden turvaamiseksi. Kivet ja metallit pyritään poistamaan linjastolta kiviloukuilla ja metalli-ilmaisimella, ennen kuin ne ennättävät tylsistyttämään tai pahimmassa tapauksessa tuhoamaan hakun terät. Etenkin kivien joutuminen hakkuun aiheuttaa pitkiä tuotannon katkoksia ja samalla myös suuria kunnossapitokustannuksia.

8 HAKKEEN LAADULLISET OMINAISUUDET JA ENERGIAJAE

8.1 Palakokojakauma

Sellun valmistukselle olennaista on hakkeen oikeanlainen palakokojakauma. Palakokojakaumalla tarkoitetaan hakepalojen dimensioiden eli mittojen osuutta haketun puun kokonaismäärästä. Hakepalakoko jaetaan joko ylisuureksi tai ylipaksuksi hakkeeksi, akseptiksi eli hyväksytyksi hakkeeksi, tikkujakeeksi tai purujakeeksi (Seppälä ym. 2002).

Hakkeen palakokoa ja palakokojakaumaa seurataan laboratoriokokeiden avulla. Palakokojakauman määrittämiseen käytetään yleisimmin reikärakoseulontaa, jossa seulapaketti liikkuu tietyn ajan vertikaalitasossa edestakaisin. Seulontamenetelmällä pystytään määrittelemään yllämainitut hakkeen käytön kannalta oleelliset fraktiot. Reikärakoseula on esitelty kuvassa 8.



Kuva 8. Reikärakoseulan rakenne (Niiranen ym. 1984)

Ylisuuri jae palautetaan murskaukseen tai jälkihakkuun uudelleenhakemukseen. Tämän jälkeen jae lajitellaan uudestaan. Ylipaksu jae johdetaan paksuus-seulonnasta hakemankeliin, jossa se litistetään. Aksepti jae johdetaan joko vuo-

tai eräkeittoon tai hiertoon hierrejauhimeen. Tikkujae erotetaan hakevirrasta ja ohjataan hallitusti keittoon. Purujae voidaan ohjata myös ohjatusti keittoon tai viedä kuoren mukana polttoon. Purujae vaikeuttaa etenkin vuokeiton toimivuutta, jos sen osuus kasvaa liian suureksi. (Seppälä ym. 2002.)

Hakelastujen pituuden kuuluisi olla välillä 15 - 30 mm ja paksuuden välillä 4 - 5 mm (Seppälä ym. 2002). Tällöin puun pinta-ala kasvaa kemiallisille vaikutteille massan valmistuksessa ja samalla kemikaalien imeytyminen helpottuu. Myös keittoliemeen liukenevien aineiden poistuminen on helpompaa pienistä lastuista kuin suuremmista. Pienhakkeen suuret osuudet aiheuttavat puolestaan prosessihäiriöitä ja alhaisen tuotannon. Optimaalinen hakepalakoko vaihtelee haluttujen massan ominaisuuksien mukaan. (Puusta paperiin M-201 1997.)

8.2 Kuivatuoretiheys

Puuaineksen tiheys on tärkeä massa- ja paperiteollisuuden raaka-aineiden laatua ja määrää kuvaava suure. Puun sisältämällä vedellä on keskeinen merkitys sen tiheyteen, joten vertailukelpoisten tiheysarvojen mittaaminen edellyttää yhdenmukaisia mittaustapoja. Yleisin mittaustapa on tarkkuutensa ja mitattavuutensa ansiosta hakkeen kuivatuoretiheys, joka kuvaa puuaineen kuivamassan ja tuoretilavuuden suhdetta. (Lindblad & Verkasalo 2001.)

Tietoja kuitupuuhakkeen tiheydestä tarvitaan kuituraaka-aineiden arvon vertailuun, puunkulutuslaskujen arviointiin, raaka-ainetaselaskentaan, puutavarakirjanpitoon sekä siirtohintojen ja kuljetus- ja tehdaskäsittelymaksujen määrittämiseen. Edellä mainittuja tarkasteluja varten tarvitaan ajantasaiset puulajikohtaiset tiheysluvut ja paino- ja tilavuusmittauksen väliset muuntokertoimet. (Lindblad & Verkasalo 2001.)

Muuntokertoimilla tarkoitetaan toimitustilassa olevan hakkeen kiintotilavuuden suhdetta sen massaansa, yksikkönä m^3/tonni . Kääntäen kysymyksessä on hakkeen kuivatuoretiheys, jonka yksikkönä toimii kg/m^3 . Kuivatuoretiheyden arvot vaihtelevat hieman riippuen kaadetun puun valtakunnallisesta sijainnista

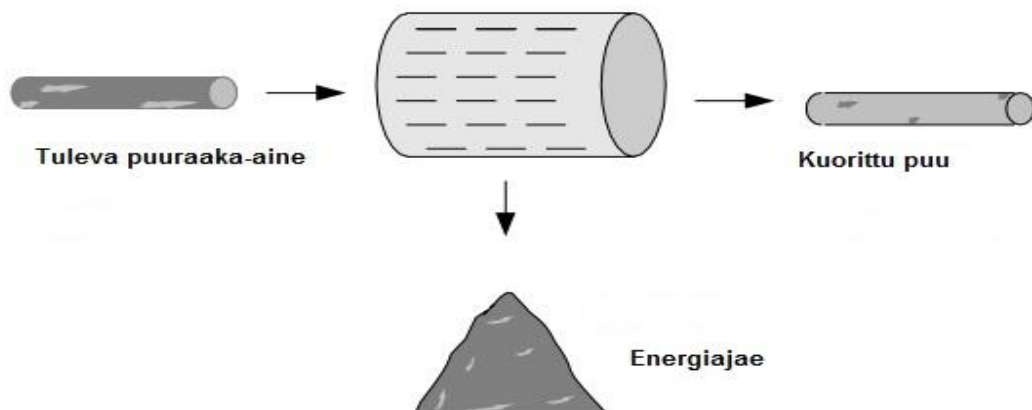
ja vuodenajasta. Mäntykuitupuuhakkeen keskimääräinen kuivatuoretiheys Pohjois-Suomessa on 395 kg/m^3 ja Etelä-Suomessa 409 kg/m^3 . Vastaavasti koivukuitupuun keskimääräinen kuivatuoretiheys Pohjois-Suomessa on 481 kg/m^3 ja Etelä-Suomessa 494 kg/m^3 . (Lindblad & Verkasalo 2001.)

8.3 Energiajaje

Energiajakeella tarkoitetaan tässä yhteydessä kuorenkäsittelystä voimalaitokselle energiantuotantoon menevää kuori- ja puumäärää. Energianäkökulmasta kuori- ja puusekoitukselle on tärkeää energiajakeen sisältämä puuaineksen määrä, kuiva-ainepitoisuus, tasajakoisuus ja puhtaus.

Kuorintaprosessin yhteydessä syntyviä puuhäviöitä mitataan kuorenkäsittelyssä puuhäviömittarilla. Puuhäviöiden määrittämisellä voidaan ohjata kuorinnan voimakkuutta ja näin ollen optimoida kuorintaprosessi hyväksyttävälle tasolle. Tällöin puuhäviöiden ja kuoripitoisuuden suhde pysyy tarpeeksi alhaisena kustannustehokkuuden ja hakkeen laadun kannalta.

Puuhäviöitä laskettaessa on ymmärrettävä kuorintaprosessiin tulevat ja lähtevät puu- ja kuorikohtaiset materiaalivirrat. Materiaalivirrat koostuvat kolmesta eri puu- ja kuorivirrasta: tehtaalle tulevasta puuraaka-aineesta, kuorimolla kuoritusta puuraaka-aineesta ja kuoritusta puusta syntyvästä kuori- ja puu- eli energiajakeesta (kuva 9) (Luukkainen 2005).



Kuva 9. Puunkäsittelyn materiaalivirrat (Luukkainen 2005)

Kuorimolle tulevan puuraaka-aineen voidaan ajatella sisältävän puuta ja kuorta. Puun ja kuoren määrä riippuu lukuisista eri tekijöistä, kuten puun järeydestä, iästä ja kasvupaikasta. Tulevan puuraaka-aineen puu- ja kuoriosuuksia onkin käytännössä mahdotonta mitata reaaliaikaisesti. Tästä syystä tulevan puuraaka-aineen kuoripitoisuudelle on määritetty puulajikohtaiset vakiot. Koivupuusta kuoren osuus on noin 12 %. (Luukkainen 2005.)

Ideaalitilanteessa puu kuoriutuisi kuorimarummussa täydellisesti, jolloin haketukseen menevä puu olisi puhdasta ja tulevan puuraaka-aineen kuoriosuus päätyisi energiantuotantoon. Samaisessa tilanteessa kuorinnan aikana ei syntyisi ollenkaan puuhäviöitä, jolloin kaikki puumäärä päätyisi haketukseen ja näin ollen sellun tuotantoon. Edellä mainittua tilannetta on kuitenkin käytännössä mahdotonta saada aikaiseksi pitkällä aikavälillä kuorinnan aikana syntyvien monimutkaisten voimavaikutusten vuoksi. Tämän vuoksi kuoritun puun puu- ja kuoriosuuksia ja kuorinnasta syntyviä kuori- ja puuosuuksia kuorenkäsittelyssä mitataan kuorimolla jatkuvatoimisesti automaatioon perustuvien mittareiden avulla. Mittauksilla pyritään valvomaan kuorinnan toimivuutta ja ohjailemaan kuorimon automaatiojärjestelmän toimintaa. Kuoritun puun kuoripitoisuus määritetään optiikan avulla puu- ja kuoriosuuksina. Kuoren joukossa oleva puuhäviömäärä lasketaan kuorimittarilta saatujen tietojen perusteella seuraavalla laskentakaavalla

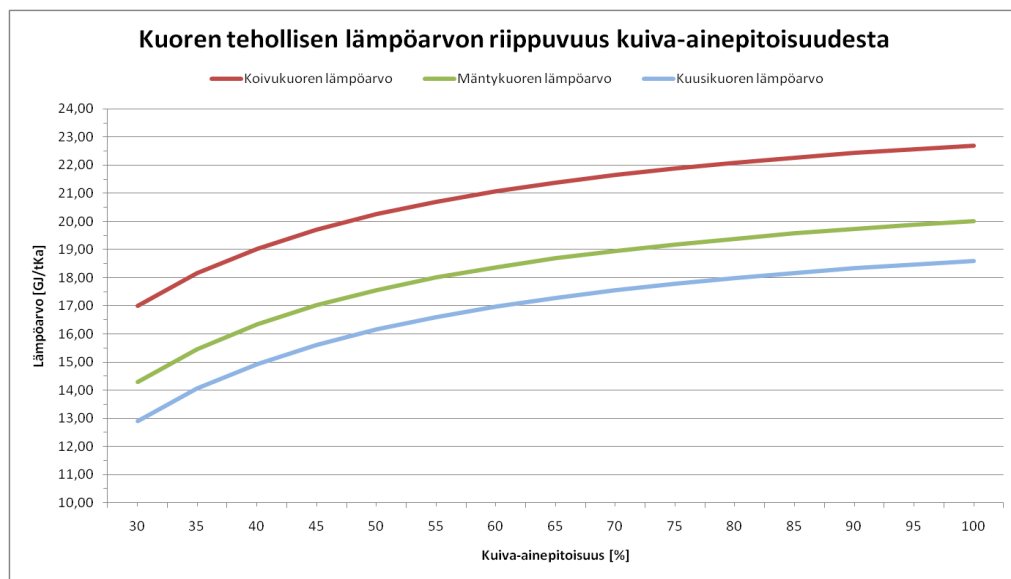
$$X = \left(\frac{a}{A}\right) * (B/(100 - B)) * 100 \quad (1)$$

jossa X on kuorinnan aikana syntynyt puuhäviöosuus kuoritusta puumäärästä, a on tulevan puun arvioitu kuorimäärä, A on tulevan puun arvioitu puuaineksen osuus ja B on kuoren seassa polttoon menevä puuosuus (Stora Enso).

Kuori/puusekoituksen kuiva-ainepitoisuudella on merkittävä vaikutus kuoresta saatavaan lämpöenergiämäärään. Lämpöarvo kertoo kuinka paljon täydellisessä palamisessa kehittyä lämpöenergiaa polttoaineen massaa kohti. Kuviossa 7 on havainnollistettu kuoren lämpöarvo kuiva-ainepitoisuuden funktiona puulajikohtaisesti. Kuvaajat on laskettu kaavalla

$$q_i = q_{ik} - 2,443 * \frac{W}{100-W} \quad (2)$$

jossa q_i on puulajikohtainen energijakeen tehollinen lämpöarvo, q_{ik} on kuoren lämpöarvo kuiva-ainetonnia kohti, 2,443 on kosteuden höyrystymisestä aiheutuva korjaustekijä ja W on kuoren kosteuspitoisuus. Koivusta saatava lämpöenergiamäärä kuiva-ainetonnia kohden on 22,7 GJ/tKa, männyllä 20 GJ/tKa ja kuusella 18,6 GJ/tKa. (Stora Enso.)



Kuvio 7. Kuoren tehollisen lämpöarvon riippuvuus kuiva-ainepitoisuudesta (Stora Enso)

Kuvasta voi pistää merkille kuoresta saatavan energiamäärän vaihtelevan huomattavasti puulajikohtaisesti. Teoriassa ideaalinen puristustulos olisi 100 % kuiva-ainepitoisuus puristuksen jälkeen. Tulokseen on kuitenkin käytännössä mahdotonta päästä, joskin sitä on hyvä tavoitella energiatehokkuuden nimissä. Kuoren korkealla kuiva-ainepitoisuudella voi olla myös negatiivisia vaikutuksia polton tasaisuudelle kuorikattilassa tapahtuvan polton lämpötilan noustessa liian korkealle. Tällöin poltossa käytettävä hiekka alkaa sulamaan ja polttoprosessi häiriintyy (Stora Enso). Energijakeen tasajakoisuudella ja puhtaudella on myös vaikutuksensa polton onnistumiselle. Tasajakoinen ja puhdas kuori- ja puumassa ilman kiviä ja metalleja palaa tasaisemmin eikä aiheuta polttoprosessille häiriötilanteita. (Niiranen ym. 1984.)

9 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

9.1 Osahankkeet

Tutkimus jaettiin seuraaviin osahankkeisiin:

1. Joukkokäsittelymenetelmän tutkiminen ensiharvennushakkuussa
2. Puun kaukokuljetus metsästä tehtaalle ja kuormainvaakamittaus
3. Puunkäsittelyn tuotannolliset koeajot ensiharvennuspuulle

9.2 Tutkitut ongelmat

Tutkimuksessa käsiteltiin seuraavia aiheita:

- joukkokäsittelynä tehdyn ensiharvennushakkuun voimakkuus tutkimusleimikolla
- joukkokäsittelyn toimivuus integroidussa kuitu- ja energiapuu ensiharvennushakkuussa
- korjuusta muodostuneet kustannukset
- kuormainvaan tarkkuus ja toimivuus puutavaran mittaustapana
- kaukokuljetuksesta muodostuneet kustannukset
- kuorimon koeajoissa käytettyjen koeajomallien toimivuus
- integroidun haketuksen laatu, saanto ja energiajake
- puunkäsittelystä muodostuneet kustannukset ja energiajakeen arvo
- integroidun haketuksen kannattavuus.

10 AINEISTON KERUU JA KÄSITTELY

10.1 Yleistä

Tutkimuksen aineisto kerättiin koivuvaltaisilta harvennuskohteilta. Alueen kokonaispinta-ala oli yhteensä 32,6 hehtaaria, josta tutkimukseen valittiin 14 hehtaarin kokoinen alue puuston ja puulajisuhteiden perusteella. Harvennuskohteet jaettiin 4 eri leimikkokuvioon. Kuviolla tarkoitetaan kasvupaikaltaan ja puustoltaan yhtenäistä metsän osaa. Kuviokohtaisen tiedon keruun tarkoituksena oli löytää leimikolle kuviokohtaiset puustotunnukset, joita voitaisiin myöhemmin vertailla hakkuun jälkeiseen toiseen inventointiin. Tutkimuskuvioiden pinta-ala vaihteli 2,6 hehtaarista 5,8 hehtaariin.

Hakkuu suoritettiin John Deeren uusilla E-mallin koneilla. Hakkuussa käytettiin 1170E-mallista harvesteria. Harvesteripäänä toimi H414-mallin harvesteripää, joka on erityisesti suunniteltu käytettäväksi 1170E-mallin koneen kanssa. Metsäkuljetus suoritettiin 1010E-mallin metsätraktorilla. Metsätraktoriin oli asennettu kuormainvaaka, jolla määritettiin puukuormien massa purkauksen yhteydessä. Hakkuun aikana kerättiin myös kosteusnäytteitä kaatotuoreesta ja varastoidusta puusta.

Kaukokuljetus suoritettiin puunkuljetusautoilla metsätien varrelta tehtaan puuterminaaliin. Tehtaan mitta-asema punnitsi puunkuljetusautojen kuormat, ja tiedot tallentuivat tehtaan tietojärjestelmään. Kaukokuljetuksen yhteydessä vertailtiin myös metsätraktorin kuormainvaaka'alla punnitun puumäärän punnitustarkkuutta tehtaan mitta-asemalta saatuun vastaavaan arvoon. Tuloksista laskettiin virheprosentti kuormainvaaka'an tarkkuudelle.

Sellutehtaalla käytyjen koeajojen aikana kerättiin hake- ja kuorinäytteitä kuorimon näytteenottopaikoilta. Näytteet varastoitiin mustiin jättesäkkeihin. Näytteiden keruun tarkoituksena oli tutkia hakkeen palakokojakaumaa, saantoa ja kosteusprosenttia, kuoren kuiva-ainepitoisuutta, puuhäviöitä ja energiarangasta syntyvää energiajajetta. Koeajoista tallentui myös

prosessidataa tehtaan tietojärjestelmään ja videokameroihin, joiden avulla tulkittiin koeajomallien toimivuutta.

Työssä tarkasteltiin ensiharvennetun kuitu- ja energiarangan tuotannollisia kustannuksia. Kustannukset selvitettiin seuraaville tuotantoketjun osille: Korjuu, kaukokuljetus ja puunkäsittely. Yksikkökustannuksina käytettiin arvioituja oletusarvoja, joiden avulla saatiin kuva tuotantoketjun kustannusrakenteesta. Työn kannattavuustarkastelussa huomioitiin sekä kuitupuusta valmistettavan sellun arvo että tehtaan puunkäsittelystä syntyvän energiajakeen arvo ja nuoren metsän hoitoon saatavan KEMERA-tukien vaikutus.

10.2 Kuviotietojen inventointi

Leimikoiden ensimmäinen inventointi suoritettiin keväällä 2010 viikoilla 12 ja 13 ja toinen inventointi hakkuun jälkeen kesällä 2010 viikolla 25. Kuvioiden puustoa arvioitiin linjoittaisilla ympyräkoealamittauksilla. Ympyrän säde oli 3,99 metriä. Koealapisteiden väli oli 50 metriä ja koealalinjojen väli oli 70 metriä. Koealaverkosto kulki etelä-pohjoissuunnassa, ja se oli merkitty karttapohjalle ennen inventoinnin alkua. Kuvioiden jokaiselta koealalta mitattiin runkoluku puulajeittain, pohjapinta-ala, puiden keskimääräinen pituus sekä ympärysmitta, josta johdettiin myöhemmin puiden halkaisija. Runkoluvulla tarkoitetaan kasvavien puiden määrää hehtaaria kohden.

Pohjapinta-ala arvioitiin relaskoopin avulla. Relaskoopimittausten avulla arvioitiin puuston kuorellinen runkotilavuus hehtaaria kohti. Tilavuutta arvioitiin relaskoopitaulukkoa hyväksikäyttäen. Puiden keskimääräinen pituus arvioitiin silmämääräisesti koealakohtaisesti ja ympärysmitta mitattiin rinnankorkeudelta mittanauhalla. Koealakohtaisesti mitattu runkoluku merkittiin muistiin puulajikohtaisesti. Puulajit olivat koivu, mänty, kuusi ja MuuLe (Muu lehtipuu).

Leimikon inventoinnin tarkoituksena oli selvittää puustotunnukset ja niiden muutos hakkuun jälkeen. Menetelmällä pystyttiin arvioimaan ensiharvennushakkuun voimakkuutta ja joukkokäsittelyn toimivuutta aines- ja

energiapuun integroidussa korjuussa. Koealapisteet merkittiin luontoon keltasinisillä kuitunauhoilla, joiden avulla samat koealapisteet löytyivät 2. inventointikerralla.

10.3 Hakkuu ja metsäkuljetus

Koeleimikoiden hakkuu ja metsäkuljetus tienvarteen tapahtui 26.4.2010 – 12.5.2010. Hakkuun lykkääntyneeseen aloitusajankohtaan vaikutti keväällä lumen määrä metsässä. Tutkimusleimikoilta kerättiin sekä kuitu- että energiapuuta eri harvennushakkuumenetelmin. Kuitu- ja energiapuu karsittiin rangoiksi ja kasattiin tienvarteen omiin pinoihiinsa. Latvusmassa jätettiin hakkuualalle. Latvusmassalla tarkoitetaan puun latvoja, oksia, neulasia ja lehtiä (Metsätalouden kehittämiskeskus & Metsäntutkimuslaitos 2008).

Tutkimuksessa koekäytettiin John Deeren uusinta E-malliston hakkuu- ja metsäkuljetuslaitteistoa. Hakkuussa käytettiin 1170E-mallista harvesteria (Kuva 10), joka oli varustettu H414-mallisella harvesteripäällä (Kuva 11). 1170E-mallin harvesteri kuuluu keskiraskaisiin harvesterihin, jotka soveltuvat paitsi ensiharvennushakkuihin, myös järeisiin päätehakkuihin. Harvesterin käyttömukavuutta on parannettu aikaisemmista versioista poiketen kääntyvällä ohjaamalla (John Deere 2010). Hakkuussa käytettiin H414-mallista harvesteripäätä, joka on erityisesti suunniteltu käytettäväksi yhdessä 1170E-mallin harvesterin kanssa. Pienen kokonsa ja teho-painosuhteensa ansiosta H414 soveltuu etenkin ensiharvennushakkuihin mutta myös aikaisiin uudistushakkuihin (John Deere 2010). H414 Harvesteripäähän oli asennettu myös joukkokäsittelyn mahdollistavat tartuntapihdit, joilla pystyttiin käsittelemään useampia puita kerrallaan. Joukkokäsittelyssä harvesteripää kerää useamman puun kerrallaan nipuksi, joka katkaistaan. Nippu voidaan lukita tartuntakäpälien avulla, jolloin hakkuulaite voi kerätä uuden nipun. Tätä menetelmää voidaan toistaa niin kauan, kunnes hakkuulaite on täynnä. Joukkokäsiteltäessä puita käsittelevä koura rikkoo samalla puiden pintaa ja edesauttaa siten niiden kuivumista varastoinnin aikana.

Joukkokäsittelyn yhteydessä ei voitu käyttää puun mittaista yksinpuin tehtävän hakkuun tavoin nipun dimensioiden vuoksi, vaan puun mittauksen suoritti tässä tapauksessa metsätraktoriin asennettu kuormainvaaka. Metsäkuljetus hoidettiin 1010E-mallisella metsätraktorilla (Kuva 12). 1010E-mallin metsätraktori kuuluu keskiraskaaseen sarjaan, joka on suunniteltu ensiharvennetun puun kuljetukseen 11 tonnin kantavuudellaan. Kuten 1170E harvesterissa, myös 1010E-mallin metsätraktorissa on kääntyvä ohjaamo (John Deere 2010).



Kuva 10. John Deeren 1170E harvesteri kuitupuuvoittoisella tutkimuskuviolla



Kuva 11. John Deeren H414 harvesteripää. Harvesteripään yläpuolella näkyvät myös joukkokäsittelymenetelmän edellyttämät tartuntakäpälet



Kuva 12. John Deeren 1010E metsätraktori

Tutkimuksessa oli alun perin tarkoitus käyttää hyväksi harvesterin ja metsätraktorin sisältämistä tietojärjestelmistä saatavaa dataa hakkuun ja metsäkuljetuksen etenemisestä ja uusien laitteiden toimivuudesta harvennushakkuutarkoituksessa. Tiedon keruu vaikeutui kuitenkin merkittävästi tietojärjestelmissä ilmenneiden tiedonsiirto-ongelmien vuoksi, eikä oleellisia korjuun tuottavuus ja ajanmenekkitietoja onnistuttu keräämään. Tästä syystä hakkuu ja metsäkuljetuksen tulokset jäivät aiottua suppeammiksi. Kattava puustolle tehty inventointi auttoi kuitenkin luomaan kohtuullisen kuvan suoritetusta ensiharvennuksesta tilastollisesti tarkasteltuna.

Joukkokäsittelymenetelmällä tehdyille harvennushakkuulle ja metsäkuljetukselle ei ole vielä tarkkaa taksamallia, jossa määriteltäisiin yksilöllinen korjuukustannus kuutiota kohden puun järeyden ja keskimääräisen metsäkuljetusmatkan mukaan. Tästä syystä puun korjuun kustannuksia laskettaessa käytettiin oletustaksaa 21 €/m^3 , joka sisälsi sekä hakkuun että metsäkuljetuksen yksikkökustannukset.

Hakkuun ja puun varastoinnin aikana tutkittiin puuston kosteuspitoisuutta kaatotuoreesta, 2 päivää palstalla kuivuneesta ja 17 päivää tienvarsivarastossa kuivuneesta puuraaka-aineesta, jotta saataisiin kuva kuivumisen

voimakkuudesta vuodenaikaan nähden. Kosteuspitoisuudet määriteltiin puun tyvestä, keskeltä ja latvasta sahaamalla kerätyillä sahanpurunäytteillä. Kaatotuoreen puun kosteus määritettiin Stora Enson tutkimuskeskuksella uunikuivausmenetelmällä ja varastoidun puun kosteuspitoisuudet määritettiin käsikosteusmittarilla. Kosteuspitoisuuksia vertailtiin myöhemmin tehtaan kuorimolta saatuihin hakkeen ja kuoren kosteuspitoisuuksiin.

10.4 Kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti

Puun kaukokuljetus suoritettiin korjuun jälkeen 31.5. - 4.6.2010. Puun kaukokuljetuksesta vastasivat Kuljetus Tii-Sik Oy ja autoyhtymä Lahtinen Oy. Kuljetus suoritettiin kolmella puunkuljetusautolla metsätien varrelta tehtaan puuterminaaliin. Kuitu- ja energiapuu lastattiin puunkuljetusautoihin sekakuormina. Kuvassa 13 on esimerkki metsätien varteen tehdystä varastopinosta.



Kuva 13. Esimerkki tienvarsivarastosta

Puunkuljetusautojen kokonaismassa punnittiin tehtaan mitta-asemalla siltavaa'alla ennen kuin niiden kuorma purettiin tehtaan puukentälle ennalta määritetyille paikalle. Puunkuljetusautojen massa punnittiin uudelleen autojen poistuessa tehdas-alueelta, jolloin mitta-asema pystyi määrittämään tehtaalle tuodun puukuorman tuoremassan. Tuoremassalla takoitetaan kuiva-aineen ja

kosteuden yhteenlaskettua massaa. Kaikki puukuormat purettiin tehtaan puuterminaaliin samaan varastokasaan (Kuva 14).



Kuva 14. Ensiharvennetun kuitu- ja energiapuun varastopino puuterminaalissa

Kaukokuljetuksesta muodostuneet kustannukset laskettiin oletusarvolla 3,7 €/puutonni, joka määritettiin kaukokuljetusmatkan mukaan. Kuitu- ja energiapuun kuljetuksesta muodostuneita kustannuksia vertailtiin ensiharvennukselta saadun puuraaka-ainemäärän teoreettiseen haketukseen metsässä ja hakkeen kaukokuljetukseen voimalaitokselle. Tällä tavalla pyrittiin vertailemaan kahden eri kuitu- ja energiarangasta tehtävän haketusketjun kannattavuutta toisiinsa ja samalla antamaan kuva tutkittavan tuotantoketjun toimivuudesta metsäenergian tuotannossa. Metsähakkeen kustannusarviona käytettiin oletusarvoa 13 €/m³, joka koostui ensiharvennetun puun hakkurihakeauton haketuksen ja hakkeen kaukokuljetuksen arvioituista yksikkökustannuksista. Metsähakkeen teoreettisena kaukokuljetusmatkana pidettiin samaa opinnäytetyössä käytettyä 25 km:n kaukokuljetusmatkaa.

Metsä- ja kaukokuljetuksen aikana tutkittiin myös metsätraktoriin asennetun kuormainvaan mittaustarkkuutta. Metsätraktorin kuormainvaakana toimi Tamtron Oy:n valmistama venymäliuska-anturoitu riipukevaaka. Kuormainvaakamalli on kehitetty pelkästään John Deeen valmistamiin

metsätraktoreihin ja sen virheprosentiksi on ilmoitettu ± 2 %. Osatutkimus suoritettiin kahdessa osassa. Ensiksi metsätraktori punnitsi testikuorman massan purkaessaan puut tien varteen. Mittaustulos kirjattiin ylös, jonka jälkeen saman testikuorman massa punnittiin kaukokuljetuksen yhteydessä tehtaan mitta-asemalla siltavaa'alla ja tuloksia vertailtiin keskenään toisiinsa. Tällä tavalla määritettiin metsätraktorin kuormainvaa'alle ominainen virheprosentti.

10.5 Puunkäsittelyn koeajot

Kuorimon koeajojen aikana prosessista kerättiin hake- ja kuorinäytteitä, videokuvaa pesulinjastolta ja kuorikuljettimelta sekä prosessidataa kuorimon toimivuudesta ja tuottavuudesta.

Hake- ja kuorinäytteet kerättiin niille tehdyiltä näytteenottopaikoilta. Näytteet säilöttiin mustiin jätösäkkeihin jatkotutkimuksia varten. Haketta otettiin jokaisella näytteenottokerralla vähintään 2 säkillistä ja kuorta jokaisella näytteenottokerralla säkillinen. Hakkeesta määritettiin koeajojen jälkeen laboratorio-olosuhteissa palakokojakauma, saanto ja kuiva-ainepitoisuus. Kuorinäytteistä tutkittiin energijakeen kuiva-ainepitoisuutta ja puuhäviömäärää.

Puun kuoripitoisuutta tarkkailtiin silmämääräisesti puumassan kulkeutuessa hakun syöttökuljettimelle. Hakun syöttökuljettimen yläpuolella kulkevalle ylikulkusillalle oli asennettu myös digitaalivideokamera, joka kuvasi koeajojen aikana kuoritun puun kulkeutumisen kohti haketusta. Identtinen videokamera oli asennettu myös kuorikuljettimen yläpuolelle havainnollistamaan kuoren seassa olevaa puuhäviömäärää. Käytössä olivat Samsungin HD-videokamerat. Kameroiden kuvaustoiminto otti koeajoissa kuvatuista kohteista yhden kuvan sekuntia kohden. Jälkeenpäin videotiedostot nopeutuivat videota katsellessa nopeuteen 50 kuvattua kuvaa sekunnissa. Kuvaustiedot oli muutettava reaaliaikaan ennen kuin kameran kuvaamaa dataa pystyttiin käsittelemään. Kuorituista puista ja kuorimäärästä otettiin myös valokuvia järjestelmäkameralla havainnollistamaan koeajoprosessien toimivuutta. Koeajoista otettuja kuvia

tarkasteltiin koeajojen jälkeen, ja niistä tarkimmat valittiin valmiiseen tutkimukseen havainnollistamaan koeajojen toimivuutta.

Kuorimon automaatiojärjestelmänä toimi WoodSmart-automaatiojärjestelmä. Järjestelmä tallensi kuorimon koeajojen aikana tapahtuneet prosessimuutokset, haketuksen kapasiteetin, puun kuoripitoisuuden ja kuorenkäsittelyn puuhäviömäärän. Prosessista saadut tiedot tallentuivat tehtaan tietojärjestelmään. Näitä tietoja tarkasteltiin myöhemmin koeajojen käyttö- ja tehoaikajaksolta. Tiedon keruun aikaväliksi määritettiin datapiste minuuttia kohden. Datapisteitä syntyi käyttöaikatarkastelussa yhteensä 251 kpl ja tehoaikatarkastelussa 169 kpl.

Kuorimon WoodSmart-automaatiojärjestelmä ohjaili prosessin toimintaa ennen koeajoja määritettyjä rajapintoja hyväksikäyttäen. Järjestelmän tarkoituksena oli luoda optimaaliset ajo-olosuhteet puun kuoriutumisen, hakkeen määrän ja puhtauden kannalta. WoodSmart-automaatiojärjestelmä vaikutti koeajojen aikana sulatuskuljettimen nopeuteen, kuorimarummun pyörimisnopeuteen ja portin asemointiin. Järjestelmän tekemät muutokset perustuivat hakevaa'alta, BarkSmart-kuoripitoisuusmittarilta ja ProfiSmart-puuhäviömittarilta saatuihin mittaustietoihin.

Haketuksen kapasiteettia eli määrää mitattiin kuorimon hakkurin jälkeisellä hihnakuljettimella sijaitsevalla vaa'alla. Vaa'an toiminta perustui kuljettimen alla sijaitsevaan säteilijään ja kuljettimen yläpuolella sijaitsevaan detektoriin. Vastaanotetun säteilyn voimakkuus oli suoraan verrannollinen hihnalla kulkevaan hakemäärään. Vaa'an mittaama hakemäärä muutettiin massavirraksi, joka jälleen muutettiin tilavuusvirraksi ennaltamääritetyn muuntokertoimen avulla. (Luukkainen 2005.)

Puun kuoripitoisuutta mitattiin koeajojen aikana hakun syöttökuljettimen yläpuolella sijaitsevalla BarkSmart-kuoripitoisuusmittarilla. Mittariyksikkö koostui puuvirtaa kuvaavasta kamerasta ja kameran tietoja analysoivasta tietokoneesta. Kuorimittarin kamera otti kuvan jokaista puuvirran kulkemaa metriä kohden.

Kuvat lähetettiin mittariyksikön tietokoneelle, joka analysoi kuvissa olleet värisävyt ja arvioi sävyjen osuuksista kuoren osuuden puuvirrassa hetkellisesti. Puuvirran värisävyistä määritetty kuoripitoisuustieto kulkeutui lopuksi kuorimon WoodSmart-automaatiojärjestelmään.

Kuorenkäsittelyssä sijaitseva ProfiSmart-mallinen puuhäviömittari toimi samalla periaatteella kuin puun kuoripitoisuutta mittaava BarkSmart-kuoripitoisuusmittari. ProfiSmart-puuhäviömittari analysoi kuorivirran kuori- ja puuosuuksia värisävyjen avulla, jonka jälkeen tieto lähetettiin WoodSmart-automaatiojärjestelmälle. Automaatiojärjestelmä muunsi saadut tiedot puuhäviöosuusiksi ennaltamääritetyllä laskentakaavalla (Kaava 1).

Kuorimon koeajoihin kulunutta kokonaisaikaa puun kuoriutumisen alkamisesta koeajopuiden loppumiseen puukentältä kutsuttiin koeajojen käyttöajaksi. Koeajoissa kulunut prosessin käyttöaika muutettiin teholliseksi käyttöajaksi poistamalla prosessidatasta koeajojen alussa ja lopussa oleva käyttöaika, jolloin kuorinta- ja haketusprosessi eivät toimineet optimaalisella tavalla. Tehollisella käyttöajalla tarkoitetaan tässä tapauksessa aikaa, jolloin kuorinta- ja haketusprosessi toimivat niille edellyttämillä tavoilla tai olivat lähellä tavoiteltua tasoa.

Puunkäsittelyn kustannusarviona pidettiin 3 €/k-m^3 , joka muodostui puuterminaalien ja kuorimon yksikkökustannuksista. Puunkäsittelyn kokonaiskustannuksia laskettaessa oli aluksi määrittävä prosessoitu puuraaka-aineen tilavuus. Normaalissa tilanteessa kokonaispuuraaka-aineen määrä saataisiin selville tehtaan mitta-asemalta, mutta tutkimuksen aikana suoritettujen koeajojen aikana prosessiin syötettiin myös Venäjältä tuotua junapuuta tuntematon määrä. Tästä johtuen prosessoidun puuraaka-aineen kokonaistilavuutta oli arvioitava normaalista poikkeavalla tavalla.

Arviointi tehtiin haketetun puun tilavuuden avulla. Haketetun puun tilavuus saatiin selville kuorimon hakevaa'an avulla, minkä jälkeen tilavuudelle annettiin koeajokohtainen osuus vähentämällä kokonaispuuraaka-aineen osuudesta

puusta irtoavan kuoren ja puuhäviön osuudet. Laskennassa käytettiin arvioitua kuoren osuutta ja laboratoriotestien ja laskentakaavan avulla saatua keskimääräistä puuhäviömäärää. Haketettu puun tilavuus jaettiin selvitettyllä prosenttiosuudella, jolloin saatiin yhden prosentin osuus kokonaispuuraaka-aineen määrästä. Tämän jälkeen yhden prosentin tilavuus kerrottiin sadalla, jolloin saatiin arvioitu prosessiin syötetty puuraaka-aineen tilavuus. Laskentamallia käytettiin määrittämään kaksi arvioitua puuraaka-aineen tilavuutta, sillä puun sisältämää kuoren osuutta ei voitu tietää tarkasti. Kuoren osuus vaikutti samalla myös puuaineksesta irtoavaan puuhäviömäärään.

Opinnäytetyötä varten kehitettyä laskentamallia on pidettävä ainoastaan suuntaa antavana laskentatavan ja sen sisältämien muuttujien vuoksi. Tutkimuksen kannalta kokonaispuuraaka-aineen tilavuuden määrittämistä tärkeämpää oli kuitenkin määrittää prosessoidun kiintokuutiometrin yksikkökustannus ja energijakeesta saatava hyöty.

Tehdas voi tarvittaessa korvata osan fossiilisten polttoaineiden kulutuksestaan energijakeen hyötylämpöenergian avulla tuotetulla sähköenergiämäärällä. Tutkimuksessa selvitettiin tämä puuraaka-aineen kuorintaprosessista aiheutuva energijakeen tuoma prosessin kannattavuutta parantava tekijä.

Energijakeen arvoa laskettaessa määritettiin ensin kuorinnan aikana puuaineksesta irtoavan kuoren ja puuhäviöosuuden tilavuudet, jotka muutettiin tuoremassoiksi puulajikohtaisten puun ja kuoren tiheyskertoimien avulla. Tuoremassat muutettiin kuiva-ainemassoiksi kuorijakeen keskimääräisellä kuiva-ainepitoisuudella. Energijakeen kuivamassa muutettiin kuorikattilasta saatavaksi hyötylämpöenergiämääräksi [GJ], joka muutettiin edelleen sähköenergiämääräksi [MWh], jotka voitiin muuttaa raha-arvoksi vaihtoehtoisen polttoaineen arvon avulla. Polttoaineen arvona pidettiin 17 €/MWh. Lopuksi energijakeesta saatava hyöty jaettiin prosessoidulla puuraaka-aineen määrällä, jolloin saatiin energijakeen arvo prosessoitua kiintokuutiometriä kohden.

11 PUUNKÄSITTELYN TUOTANNOLLISET KOEAJOT

11.1 Yleistä

Puunkäsittelyn tuotannolliset koeajot suoritettiin Stora Enson Imatran tehtailla Kaukopään kuorimolla 8.6.2010. Koeajojen tarkoituksena oli tutkia kuitu- ja energiapuun haketusta sellutehtaan kuorimolla ja arvioida integroidun haketuksen kannattavuutta. Opinnäytetyössä tutkittiin pieniläpimittaisen puun kuoriutumista kuorimarummussa, haketuksen saantoa sellutehtaan kuorimon hakkurissa sekä kuitu- ja energiajakeiden suhteita. Koeajot suoritettiin sekoittamalla ensiharvennukselta hakatut kuitu- ja energiapuut ulkomaisen kuitupuun kanssa vaihtelevin sekoitussuhtein parhaan mahdollisen kuorinta- ja haketustuloksen aikaansaamiseksi. Hakun syöttökuljettimelle ja kuorenkäsittelyssä kuorilinjastolle oli asennettu videokamerat videodokumentointia varten. Kuorimon pätkähakku oli otettu pois käytöstä koeajojen ajaksi.

11.2 Koeajojen alkuasetelma

Ensiharvennettu kuitu- ja energiapuu tuotiin tehtaalle tienvarsivarastolta, jossa se oli ollut varastoituna 3 - 5 viikkoa. Puut oli kuljetettu kuorimon lähialueelle varastopinoon (kuva 14) noin viikkoa ennen koeajoja. Puun kuljetuksesta puuterminaalista kuorimon puukentälle vastasi Mantsinen Oy ja puun syötöstä puunkuljetusrekoista sulatuskuljettimelle vastasi Stora Enso Metsä. Mantsisen vuorovastaavaa ohjeistettiin, että puun siirron olemaan jatkuvaa ilman katkoksia. Testin kannalta oli tärkeää puukuljetusten jatkuvuus ja tasaisuus kuorimon puukentälle mahdollisimman tasapainoisen puunsyötön aikaansaamiseksi.

Koeajot suoritettiin kuorimon 3-linjastolla. Kyseisellä linjastolla valmistetaan pääsääntöisesti lehtipuuhaketta. Tutkimuksen aineistona käytetty ensiharvennettu kuitu- ja energiapuu oli pääsääntöisesti lehtipuuta ja

kauttaaltaan 3 m pitkää. Ensiharvennuspuun sekaan laitettu kuitupuu oli myös koivupuuta ja 3 m pitkää.

Stora Enso Metsän puunsiirtokoneiden kuljettajia ohjeistettiin myös puunsyötön tasaisuuden tärkeydestä ja kuitu- ja energiapuun sekoitussuhteista koeajojen eri vaiheissa. Testin onnistumisen kannalta oli myös oleellista pitää jatkuvaa yhteyttä kuorimon valvomon, puukentän ja puunsiirron kesken, jotta mahdolliset tuotannolliset katkokset pystyttäisiin ennakoimaan ja siten välttämään.

Kuorimon prosessin ohjauksesta vastasi kuorimon 6-vuoron työntekijät, prosessin teknisestä asiantuntemuksesta vastasi kuorimon päivämestari ja testiajojen kokeellista osaa tarkkaili opinnäytteen tekijä tutkimusinsinöörin kanssa. Paikalla oli myös Stora Enso Metsän insinööri seuraamassa testin kulkua.

Ennen koeajojen aloitusta kuorimarumpu ajettiin ajotyhjäksi ja hakkuun vaihdettiin uudet terät parhaan mahdollisen haketustuloksen aikaansaamiseksi. Tutkimuksen edetessä puhutaan useasti ”JK-nipusta”. Tällä tarkoitetaan ensiharvennusosalta joukkokäsittelymenetelmällä kerättyä puuta, josta on kuorimolla muodostettu nipullinen puuta puunsiirtokoneen pihteihin. Puukentällä ensimmäisen JK-nipun päät merkittiin punaisella spray-maalilla havainnollistamisen vuoksi. Tällä tavalla pystyttiin tarkkailemaan ensiharvennetun puun kulkeutumisaikaa sulatuskuljettimelta kuorimarummun purkauspäähän. Kuvassa 15 on esimerkki ensiharvennetusta puunipusta.



Kuva 15. JK-nippu puunsiirtokoneen pihdeissä

11.3 Koeajojen eteneminen

Kuorimon koeajot aloitettiin aamulla kello 09.00, jolloin puunsiirtokone nosti ensimmäisen kuitupuunipun sulatuskuljettimelle (Kuva 16). Tutkimuksen ensimmäisenä sekoitussuhteena käytettiin 1:4 suhdetta (1 JK-nippu, 4 kuitupuunippua). Sulatuskuljettimen nopeus oli testin alussa 4.5 m/min, jotta tyhjä kuorimarumpu saataisiin mahdollisimman nopeasti haluttuun täytösasteeseen ja kuorintaprosessi toimimaan halutulla tavalla. Kuorimarummun kierrosnopeus oli 5.99 rpm ja portin asento 100 % auki. Haketuksen kokeelliseksi kapasiteetiksi määriteltiin 245 k-m³/h. Haketuskapasiteettia mittasi kuorimon hakkurin jälkeisellä hihnakuljettimella oleva vaaka.



Kuva 16. Kaukopään kuorimon 3-linjan sulatuskuljetin ja puunsiirtokone

Puun kuoriutuminen alkoi 09.17, kun ensimmäinen kuitupuunippu siirtyi kuorimarumpuun. Puunippujen syöttö sulatuskuljettimelle oli tasaista ja kuorimarummun täytösaste alkoi hiljalleen nousta kohti haluttua 45 % arvoaan. Kuorimarummun täytyessä porttia säädettiin pienemmälle 60 % arvoon puiden purkautumisen estämiseksi. Näin varmistettiin samalla puiden riittävä kuoriutuminen kuorimarummussa. Sulatuskuljettimen nopeutta pienennettiin kello 09.25 arvoon 2,8 m/min. Tällä toimenpiteellä haluttiin estää kuorimarummun liiallinen täytyminen ja pyrittiin vakinaistamaan optimaalisen kuoritumisen edellyttämä kuorimarummun täytösaste. Hetkeä myöhemmin sulatuskuljettimen prosessinohjaus siirrettiin kokonaan kuorimon automaatiojärjestelmälle, joka muutti sulatuskuljettimen nopeudeksi 1,7 m/min. Kuorimarummun täytösaste oli saavuttanut halutun arvon kello 09.41, jolloin kuorimarummun porttia päätettiin avata. Portin uudeksi arvoksi määriteltiin 73 %. Tässä vaiheessa kuorimarummussa oli riittävästi puuta edellytyksenä optimaaliselle kuoriutumiselle ja haketuskapasiteetin saavuttamiselle.

1:4 sekoitussuhteesta otettiin hake- ja kuorinäyte kello 09.59. Hakenäyte otettiin hakkurin jälkeiseltä näytteenottopaikalta ja kuorinäyte otettiin puristuksen

jälkeiseltä näyteluukulta. Näytteet säilöttiin mustiin jättesäkkeihin jatkotutkimusta varten. Tässä vaiheessa kuorimon automaatiojärjestelmä ilmoitti haketuksen kokonaismääräksi 80 k-m³, hetkelliseksi haketuskapasiteetiksi 210 k-m³/h ja keskiarvolliseksi haketuskapasiteetiksi 160 k-m³/h.

Ensimmäisen näytteenoton jälkeen JK-puun sekoitus-suhdetta muutettiin kello 10.15. Uudeksi sekoitus-suhteeksi tuli 1:2 (1 JK-nippu, 2 kuitupuunippua). Samalla kuorimarummun portin asemointia muutettiin arvoon 76 %. Tällä haluttiin nostaa haketuksen kapasiteettia, joka oli ensimmäisen näytteenoton aikana osoittautunut ennakoitua pienemmäksi. Kuorimarummun portin avaamisella oli vaikutus kuoriotumisen tehokkuuteen, sillä kuorimarummun täytösaste putosi aiempaa tasoa alemmaksi. Tästä syystä hetkeä myöhemmin myös kuorimarummun kierroksia nostettiin entisestä 5,99 rpm arvosta uuteen 6,34 rpm arvoon. Samalla kuorimon automaatiojärjestelmä oli lisännyt sulatuskuljettimen kierroksia tarvittavan täytösasteen aikaansaamiseksi.

Sekoitus-suhteesta 1:2 otettiin hake- ja kuorinäyte kello 10.52. Tällä hetkellä haketuksen kokonaismäärä oli 292 k-m³, hetkellinen haketuskapasiteetti 297 k-m³/h ja keskiarvollinen haketuskapasiteetti 224 k-m³/h. Automaatiojärjestelmän rekisteröimä lisääntynyt haketusmäärä kertoi aiemmin portin asemointiin ja kuorimarummun kierroksiin tehtyjen muutosten toimivuudesta.

JK-puun sekoitus-suhdetta muutettiin uudelleen kello 11.12. Uudeksi suhteeksi määräytyi 1:1 (1 JK-nippu, 1 kuitupuunippu). Prosessiin ei tehty tässä vaiheessa uusia muutoksia.

Sekoitus-suhteesta 1:1 otettiin hake- ja kuorinäyte kello 11.59. Tässä vaiheessa kuorimon automaatiojärjestelmä ilmoitti kokonaishaketusmääräksi 584 k-m³, hetkelliseksi haketuskapasiteetiksi 320 k-m³/h ja keskiarvolliseksi haketuskapasiteetiksi 261 k-m³/h. Keskiarvollinen haketuskapasiteetti kertoi koeajojen kulkevan sillä hetkellä tuotannollisesti odotettua paremmin.

Testin ensimmäinen häiriötilanne ilmeni ajassa 12.18, jolloin kuorenkäsittelyssä sijaitseva raudanilmaisin kuorimurskan syöttökuljettimella ilmoitti raudasta. Prosessia hoitava automaatiojärjestelmä vaihtoi syöttökuljetinta edeltävän siirrettävän kuorikuljettimen sijaintia viereiselle linjastolle. Tämän vuoksi kuorinta- ja haketusprosessi pystyivät jatkamaan ilman suurempaa katkosta laitoksen toiminnalle. Rautakappale poimittiin murskauksen syöttökuljettimelta pois, ja siitä aiheutunut hälytys kuitattiin kello 12.20.

Koeajojen neljäntenä koeajomallina käytettiin pelkkää ensiharvennettua kuitu- ja energiapuuta. Pelkkää ensiharvennettua puuta alettiin käyttää kello 12.30. JK-puun sekaan syötettiin nipullinen mäntykuitupuuta kello 12.48 osoittamaan havupuun vaikutus kuorimarummussa pieniläpimittaisen ensiharvennuspuun seassa. Pelkällä pieniläpimittaisella puulla oli heikentävä vaikutus puiden kuoritumiseen kuorimarummussa. Kuorinnan heikentyneen tilan pystyi havaitsemaan hakun syöttökuljettimelta, jotta puissa huomattiin olevan tavanomaista enemmän kuorta. Tästä syystä kuorimarummun kierroksia nostettiin kello 13.02 entisestä 6,34 rpm:n arvosta uuteen 6,51 rpm:n arvoon. Mäntykuitupuunippu siirtyi kuorimarumpuun kello 13.12.

100 % koeajomallista otettiin hake- ja kuorinäyte kello 13.17. Kokonaishaketusmäärä oli tässä vaiheessa 860 k-m³, hetkellinen haketuskapasiteetti oli 137 k-m³/h ja keskiarvollinen haketuskapasiteetti oli 220 k-m³/h. Kuorittujen puiden pieni läpimitta selitti haketuskapasiteetin pudonnutta arvoa.

Lopuksi tutkittiin järeän koivu- ja haapapuun vaikutusta ensiharvennetun kuitu- ja energiapuun seassa. Kuorimon sulatuskuljettimelle syötettiin kello 13.18 sekoitussuhteella 1:1 ensiharvennukselta saatua pieniläpimittaista puuta ja kuorimon puukentällä ollutta järeää koivu- ja haapakuitupuuta. Järeän koivu- ja haapapuun vaikutusta pieniläpimittaisen ensiharvennuspuun seassa tarkkailtiin silmämääräisesti ennen hakkuria sijaitsevalta ylikulkusillalta. Kuorimon tuotannolliset koeajot päättyivät kello 13.45. Haketuksen kokonaismäärä oli koeajojen lopussa 920 k-m³.

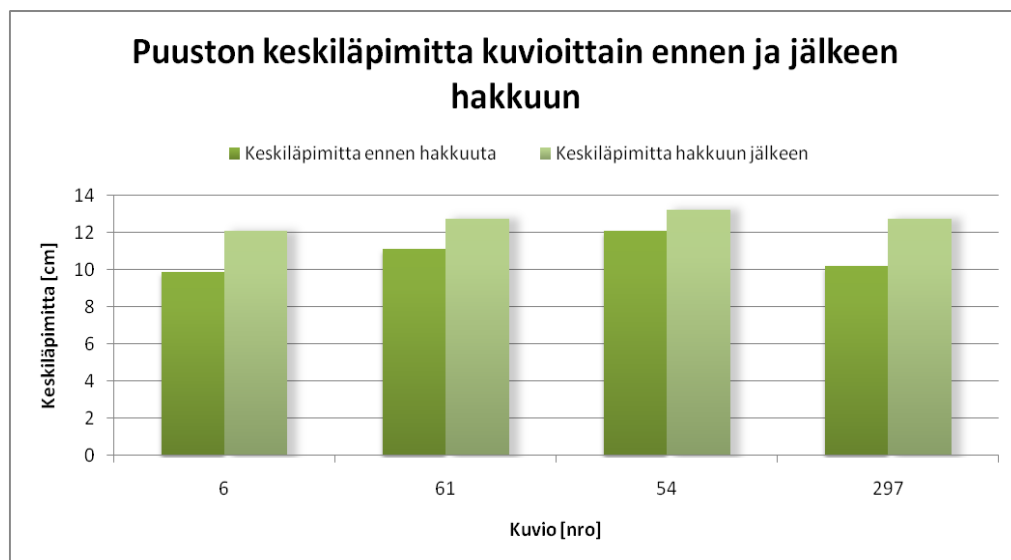
12 TULOKSET

Luvussa 12 on esitetty opinnäytetyössä suoritetuissa osatutkimuksissa saavutetut tulokset. Tulokset on esitetty seuraavassa järjestyksessä: puustotietojen inventointi, korjuu, kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti sekä puunkäsittelyn koeajot.

12.1 Puustotietojen inventointi

Leimikko jaettiin 4 tutkimuskuvioon puuston ja maantieteellisen sijainnin perusteella. Leimikolla tarkoitetaan hakattavaksi suunniteltua metsäaluetta. Kuvioiden koko ja niillä sijaitsevan puuston järeys vaihteli kuvioittain. Kuvion 6 pinta-ala oli 2,6 ha, kuvion 61 pinta-ala oli 5,8 ha, kuvion 54 pinta-ala oli 2,9 ja kuvion 297 pinta-ala oli 2,7 ha. Leimikon kokonaispinta-ala oli yhteensä 14 ha.

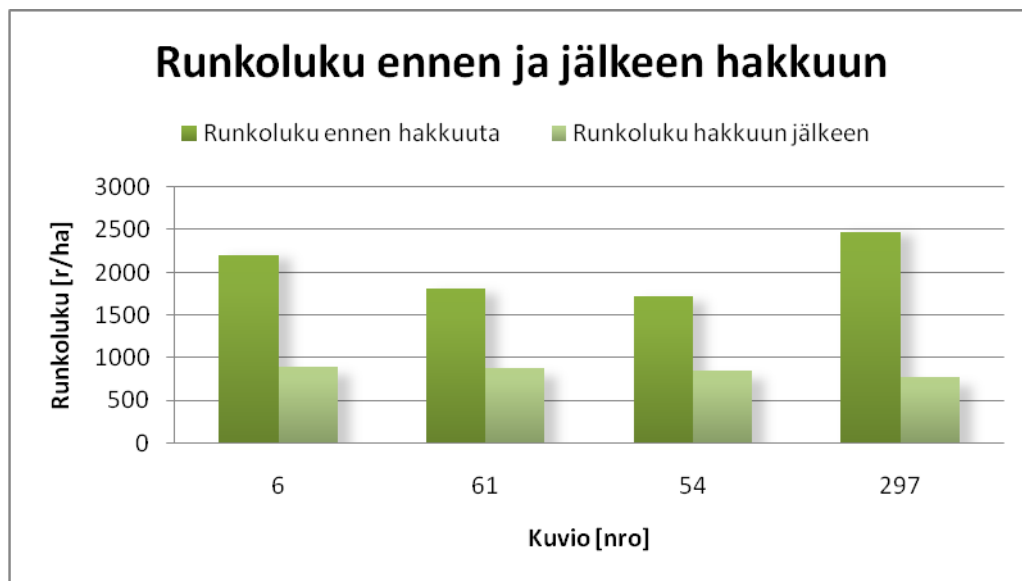
Kuviossa 8 on havainnollistettu puuston keskimääräistä läpimittaa ennen ja jälkeen hakkuun. Kuviolla 6 läpimitta oli 9,9 cm/12,1 cm, kuviolla 61 läpimitta oli 11,1 cm/12,8 cm, kuviolla 54 läpimitta oli 12,1 cm/13,2 cm ja kuviolla 297 läpimitta oli 10,2 cm/12,7 cm.



Kuvio 8. Tutkimusleimikon keskiläpimitta kuvioittain ennen ja jälkeen hakkuun

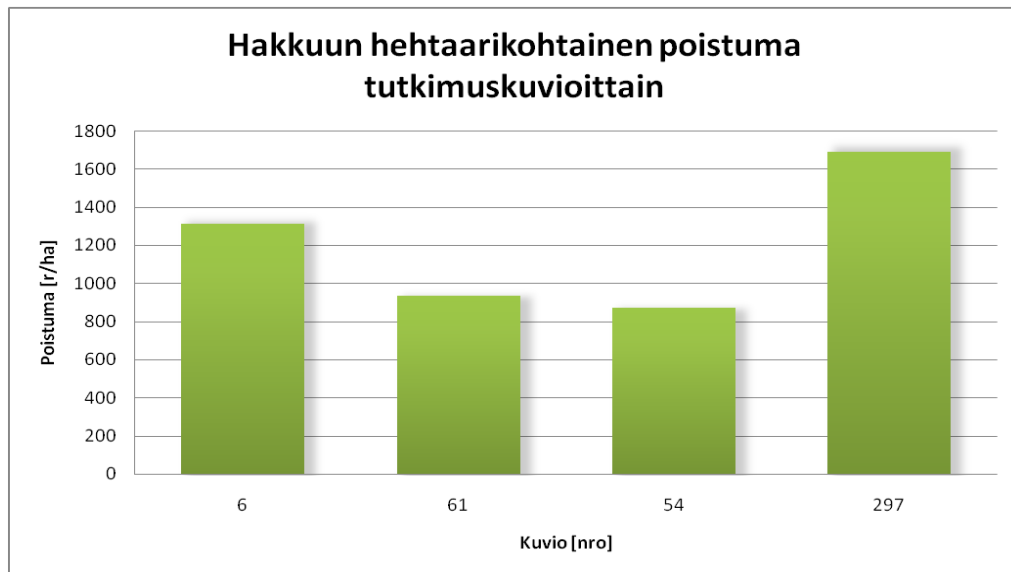
Tutkimuskuvioilla vallitseva puuston valtapituus oli seuraavanlainen: kuvion 6 valtapituus oli 15 m, kuvion 61 valtapituus oli 16 m, kuvion 54 valtapituus oli 18 m ja kuvion 297 valtapituus oli 17 m. Kuvioiden valtapituus pysyi samana läpi tutkimuksen.

Kuviossa 9 esitellään tutkimuskuvioiden puusto määrällisesti ennen ja jälkeen hakkuun. Kuvioilla oli ennen hakkuuta 1724 - 2468 runkoa hehtaaria kohden ja hakkuun jälkeen 778 - 889 runkoa hehtaaria kohden.



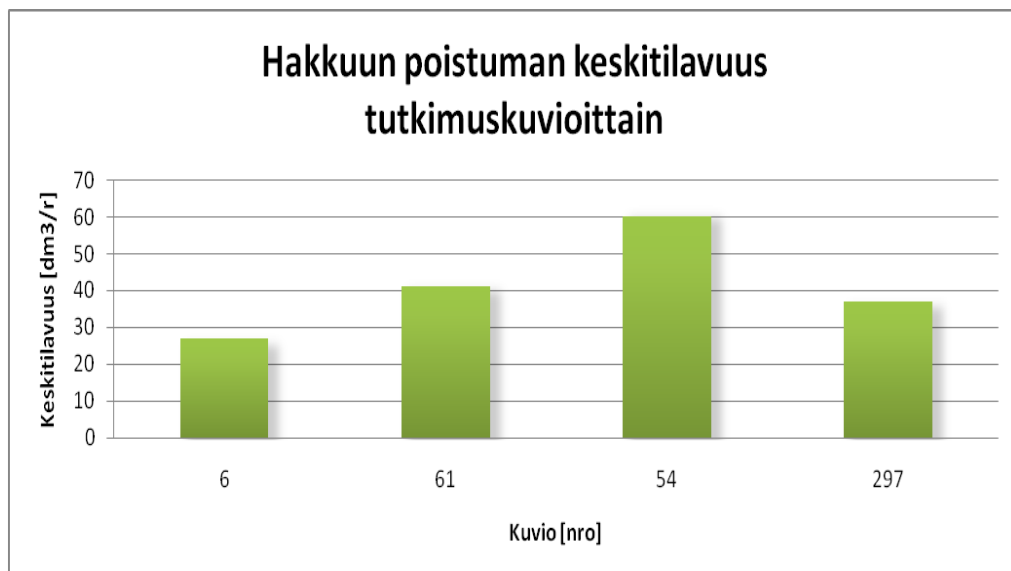
Kuvio 9. Tutkimuskuvioiden runkoluku ennen ja jälkeen hakkuun

Tutkimuskuvioiden yhteenlaskettu poistuma oli 15942 runkoa. Poistetuista rungoista 21,4 % kaadettiin kuviolta 6, 34,1 % kaadettiin kuviolta 61, 15,9 % kaadettiin kuviolta 54 ja 28,6 % kaadettiin kuviolta 297. Ensiharvennushakkuun poistuma oli keskimäärin 1139 runkoa hehtaaria kohden. Hehtaarikohtaista poistumaa on havainnollistettu kuviossa 10. Kuviolta 6 poistettiin 1311 r/ha, kuviolta 61 poistettiin 937 r/ha, kuviolta 54 poistettiin 874 r/ha ja kuviolta 297 poistettiin 1690 r/ha.



Kuvio 10. Hakkuun hehtaarikohtainen poistuma tutkimuskuvioittain

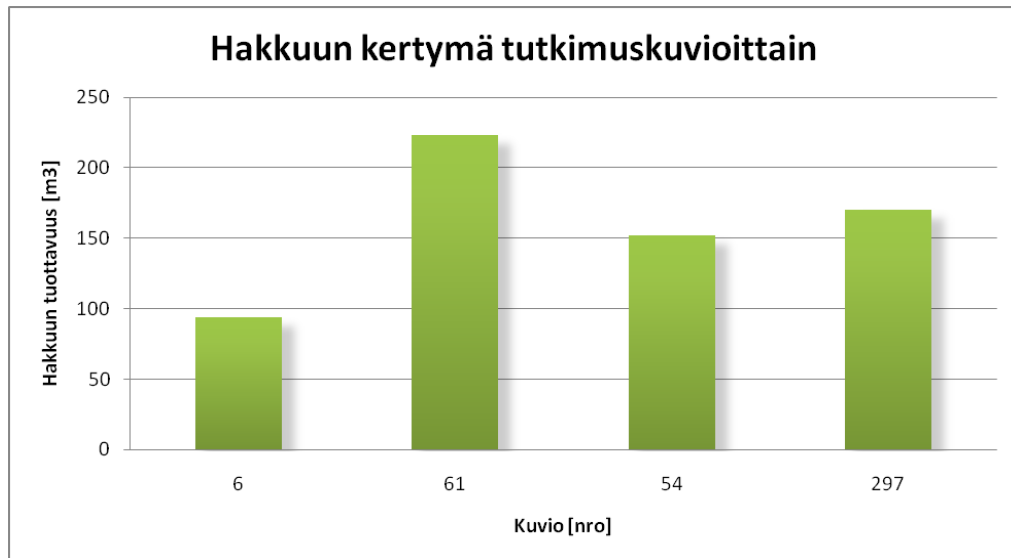
Kuviossa 11 on esitetty hakkuun poistuman keskitilavuus tutkimuskuvioittain. Poistuman keskitilavuus tutkimuskuvioilla oli seuraavanlainen: Kuvion 6 keskitilavuus oli 27 dm³/r, kuvion 61 keskitilavuus oli 41 dm³/r, kuvion 54 keskitilavuus oli 60 dm³/r ja kuvion 297 keskitilavuus oli 37 dm³/r. Hakkuun kokonaispoistuman keskitilavuus oli 38 dm³/r.



Kuvio 11. Hakkuun poistuman keskitilavuus tutkimuskuvioittain

Kuviossa 12 on esitetty hakkuun kertymä tutkimuskuvioittain. Hakkuun inventoitu kertymä oli yhteensä 639 m³. Kertymästä 14,7 % kaadettiin kuviolta

6, 34,9 % kaadettiin kuviolta 61, 23,8 % kaadettiin kuviolta 54 ja 26,6 % kaadettiin kuviolta 297.



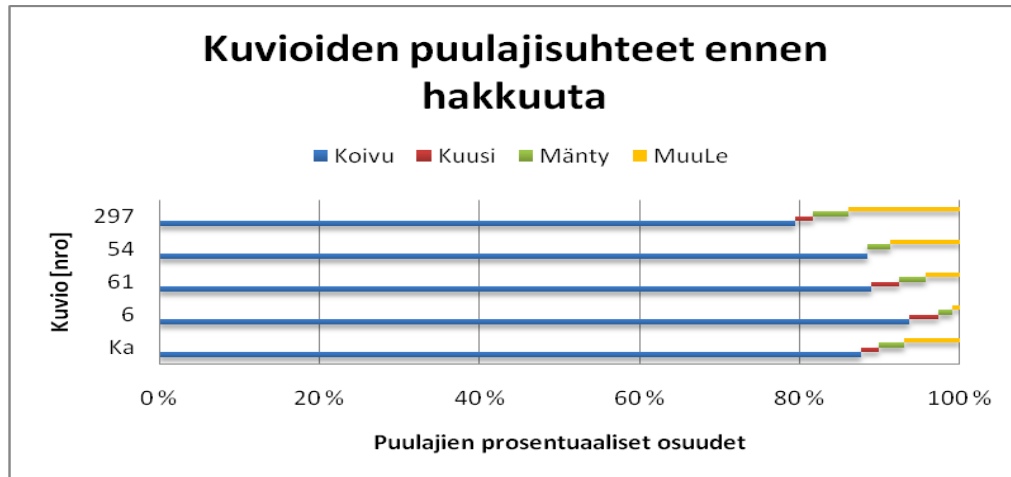
Kuvio 12. Hakkuun kertymä tutkimuskuvioittain

Kuviossa 13 on esitetty hakkuun hehtaarikohtainen kertymä tutkimuskuvioittain. Hakkuun hehtaarikohtainen kertymä oli seuraavanlainen: kuvion 6 kertymä oli 36 m³/ha, kuvion 61 kertymä oli 38,5 m³/ha, kuvion 54 kertymä oli 52,4 m³/ha ja kuvion 297 kertymä oli 63 m³/ha. Hakkuun keskimääräinen kertymä koko leimikolta hehtaaria kohden oli 45,6 m³.



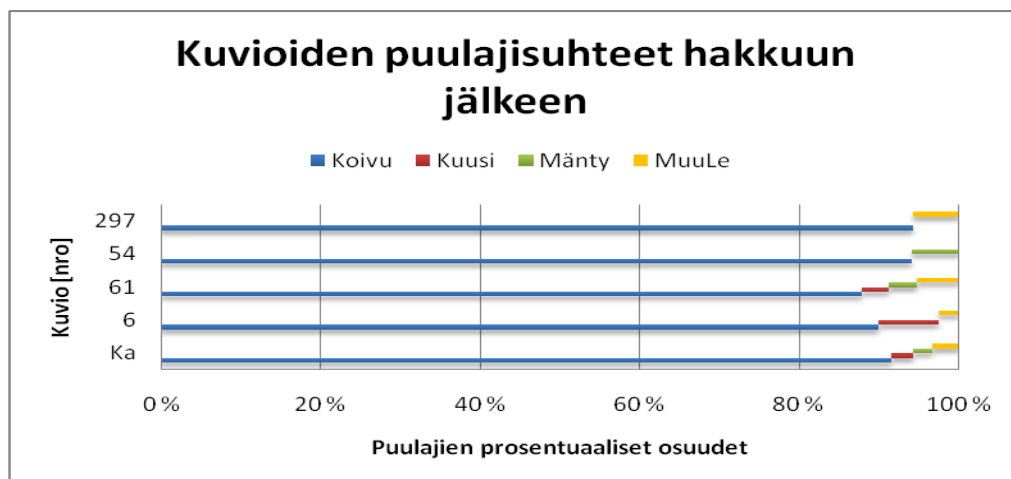
Kuviossa 13. Hakkuun hehtaarikohtainen kertymä

Kuviossa 14 on esitelty tutkimusleimikon puulajisuhteet kuvioittain ja keskiarvallisesti ennen hakkuuta. Kuvioiden puulajisuhteet olivat ennen hakkuuta keskiarvallisesti seuraavanlaiset: Koivua 87,6 %, kuusta 2,3 %, mäntyä 3,1 % ja muita lehtipuita 6,9 %.



Kuvio 14. Tutkimusleimikon puulajisuhteet kuvioittain ja keskiarvallisesti ennen hakkuuta

Kuviossa 15 on tarkasteltu hakkuun vaikutusta leimikon puulajisuhteisiin. Kuvioiden puulajisuhteet olivat hakkuun jälkeen keskiarvallisesti seuraavanlaiset: Koivua 91,6 %, kuusta 2,8 %, mäntyä 2,4 % ja muita lehtipuita 3,4 %.



Kuvio 15. Tutkimusleimikon puulajisuhteet kuvioittain ja keskiarvallisesti hakkuun jälkeen

12.2 Korjuu

Taulukossa 1 on esitetty hakkuun aikana toteutunut joukkokäsittelyosuus eri korjuumenetelmillä. Kerättäessä pelkkää kuitupuuta joukkokäsittelyn osuus oli 58 %, energiapuuhakkuussa joukkokäsittelyn osuus oli 84 % ja integroidussa hakkuussa 62 %. Keskimääräinen joukkokäsittelyn osuus oli 68 %.

Taulukko 1. Joukkokäsittelymenetelmän osuus hakkuun aikana eri korjuumenetelmillä

Korjuumenetelmä	Joukkokäsittelyosuus [%]
Kuitu	58
Energia	84
Integroitu	62
Keskiarvo	68

Korjuun yksikkökustannuksena käytettiin oletusarvona 21 €/m³. Ensiharvennusleimikolta kerättiin 679,5 m³ kuitu- ja energiapuuta. Korjuun kokonaiskustannuksiksi muodostui näin ollen yhteensä 14 269,5 €.

Tutkimuksessa kerättiin kosteusnäytteitä ensiharvennukselta kaadetuista puista hakkuun ja metsäkuljetuksen aikana. Kosteusnäytteet otettiin seuraavasti: kaatotuoreesta puusta, 2 päivää palstalla kuivuneesta puusta ja 17 vuorokautta varastoidusta puusta. Puun kokonaisvarastointiajaksi laskettiin palsta- ja tienvarsivarastointi. Puiden keskimääräiset kosteuspitoisuudet eri ajankohtina on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ensiharvennukselta kaadettujen puiden keskimääräinen kosteuspitoisuus eri ajankohtina

Puun kaatamisesta kulunut aika [vrk]	Kosteuspitoisuus [%]
0	49,89
2	47,89
17	42,29

12.3 Kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti

Kaukokuljetuksen matka tienvarsikasalta tehtaan puunkäsittelyyn oli 25 km. Puunkuljetusautojen kuljettaman puun massa punnittiin tehtaan mitta-asemalla. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 3. Taulukossa ovat myös kuormauksen yhteydessä punnitut massat ja näiden kahden mittausmenetelmän kuormakohtainen virheprosentti. Kuormien tilavuutta arvioitiin puulajikohtaisten tuoretiheyslukujen perusteella.

* merkitty kuorma tarkoittaa kuormaa, jonka punnitustulosta vertailtiin metsätraktorin kuormainvaa'alta saatuun punnitustulokseen.

Taulukko 3. Kaukokuljetuksen suoritteet

Kuorma [nro]	Kuormainkilot [kg]	Vaakakilot [kg]	Virhe-%	Arvioitu tilavuus [k-m³]
1*	39490	38060	3,62	45,2
2	33000	34200	3,62	40,6
3	35321	35140	0,51	41,7
4	35301	35320	0,05	42
5	36554	36460	0,26	42,8
6	36300	36140	0,44	42,4
7	35296	34920	1,07	41
8	39000	37500	3,85	44
9	37245	35900	3,61	42,1
10	38000	36860	3	43,3
11	37240	37160	0,21	43,6
12	36870	37860	2,69	44,4
13	35740	35740	-	42,1
14	33000	34000	3,03	41,5
15	36000	35880	0,33	43,7
16	31876	32500	1,96	39,1
Yht.	576233	573640	k.a = 1,83	679,5

Metsätraktorin kuormainvaa'alla punnittu massa oli 41500 kg.

Kaukokuljetuksesta muodostuneet kustannukset laskettiin oletusarvolla 3,7 €/puutonni, joka määritettiin kuljetettujen tonnien ja kaukokuljetusmatkan mukaan. Kuljetetun kuitu- ja energiapuun kokonaismassa oli tehtaan siltavaa'an mukaan 573,6 t. Kaukokuljetuksen kokonaiskustannukset saatiin näin ollen kertomalla yksikkökustannus kuljetetulla puuraaka-aineen massalla:

$$3,7 \text{ €/t} * 573,6 \text{ t} = 2122,3 \text{ €}$$

Jakamalla kaukokuljetuksesta muodostuneet kokonaiskustannukset kuljetetuilla moteilla saatiin kaukokuljetuksen yksikkökustannusarvio kiintokuutiota kohden:

$$2122,3 \text{ €} / 679,5 \text{ k-m}^3 = 3,12 \text{ €/k-m}^3$$

Kaukokuljetukselle määritetty yksikkökustannus kuutiometriä kohden muutettiin kuutiokilometriksi. Kuutiokilometrillä tarkoitetaan kustannusta yhden puukuution kuljettamisesta kilometriä kohti. Laskennassa jaettiin kaukokuljetuksen yksikkökustannus puun kaukokuljetusmatkalla seuraavasti:

$$(3,12 \text{ €/k-m}^3) / 25 \text{ km} = 0,1248 \text{ €/km} = 12,5 \text{ cnt/km}$$

12.4 Puunkäsittelyn koeajot

Kuorimolla suoritettavat koeajot ensiharvennukselta kerätyille kuitu- ja energiapuulle sujuivat jouhevasti ilman suurempia ongelmia ja ennaltasovitussa aikataulussa pysyttiin. Koeajot aloitettiin aamulla 09.00 ja päätettiin iltapäivällä kello 13.45. Koeajoihin kulunut kokonaisaika oli näin ollen yhteensä 4 tuntia 45 minuuttia. Tehollista käyttöaikaa koeajojen kokonaisajasta oli noin 2 tuntia 49 minuuttia.

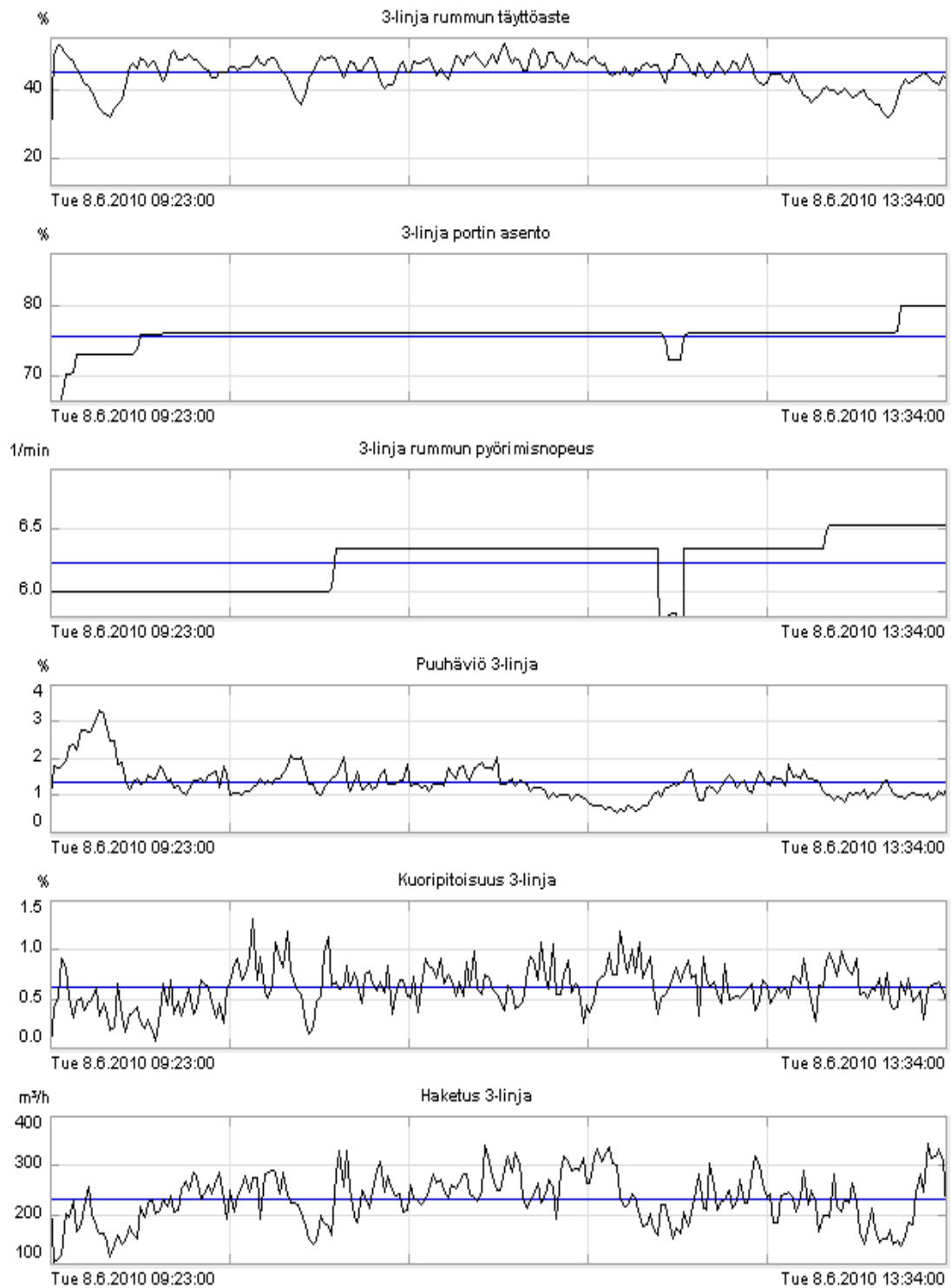
12.4.1 Prosessin toimivuus

Taulukossa 4 on havainnollistettu prosessin kulku koeajojen aikana. Prosessin kulku on esitetty käyttöaikana. Prosessien keskiarvolliset määrät/osuudet koeajojen aikana olivat seuraavanlaiset: kuorimarummun täytösaste 44,9 %, portin asento 75,6 %, kuorimarummun pyörimisnopeus 6,2 rpm, puuhäviöiden määrä 1,3 %, puun kuoripitoisuus 0,6 % ja haketuskapasiteetti 230,6 k-m³/h.

Taulukko 4. Kuorimon koeajoista kerätty prosessidata käyttöaikana kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista. Yksikköprosessien arvot ja osuudet on esitetty maksimi, minimi ja keskiarvallisessa muodossa.

Mittaus	Yksikkö	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kuorimarummun täytösaste	%	53,9	24,1	44,9
Portin asento	%	80	59,8	75,6
Kuorimarummun pyörimisnopeus	rpm	6,5	3	6,2
Puuhäviö	%	3,2	0,5	1,3
Kuoripitoisuus	%	1,3	0,005	0,6
Haketuskapasiteetti	k-m ³ /h	342,3	101,5	230,6

Kuvassa 17 on havainnollistettu taulukossa 4 mainittujen yksikköprosessien vaihteluväliä koeajojen aikana. Kuvassa on esitetty prosessin kulku käyttöaikana. Yksikköprosessien vaihteluvälit koeajojen aikana olivat seuraavanlaiset: kuorimarummun täytösaste 24,1 - 53,9 %, portin asento 59,8 - 80 %, kuorimarummun pyörimisnopeus 3 - 6,5 rpm, puuhäviöiden määrä 0,5 - 3,2 %, puun kuoripitoisuus 0,005 - 1,3 % ja haketuskapasiteetti 101,5 - 342,3 k-m³/h (Taulukko 4)



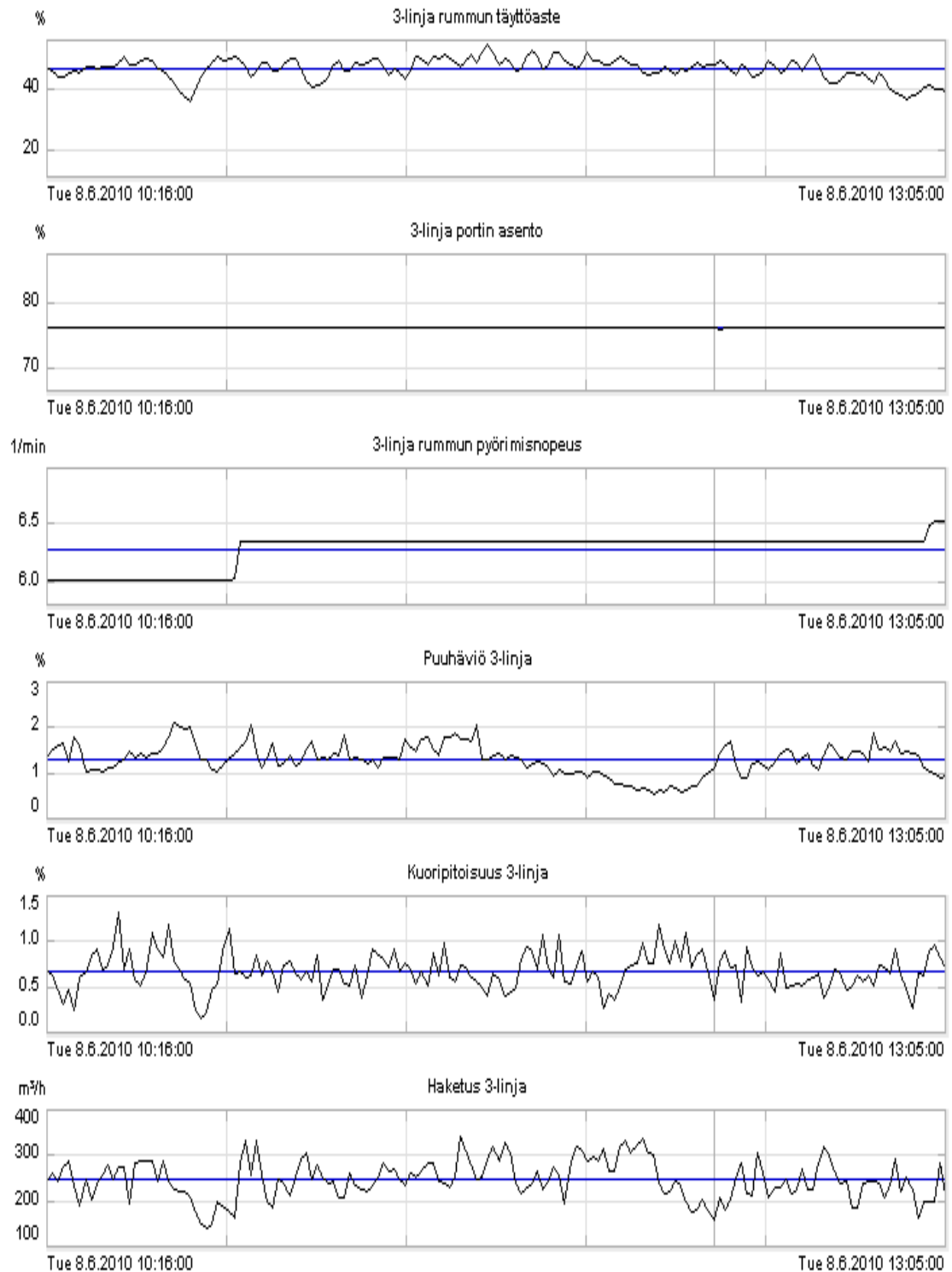
Kuva 17. Koeajojen aikana kerätyn prosessidatan vaihteluvälit käyttöaikana 3-linjan kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista. Sininen viiva taulukoiden keskellä kuvaa kunkin yksikköprosessin keskiarvoollista määrää tai osuutta.

Taulukossa 5 on havainnollistettu prosessin kulku koeajojen aikana. Prosessin kulku on esitetty tehollisena aikana. Prosessien keskiarvolliset määrät- ja osuudet koeajojen aikana olivat seuraavanlaiset: kuorimarummun täytösaste 46 %, portin asento 75,9 %, kuorimarummun pyörimisnopeus 6,2 rpm, puuhäviöiden määrä 1,2 %, puun kuoripitoisuus 0,6 % ja haketuskapasiteetti 245 k-m³/h.

Taulukko 5. Kuorimon koeajoista kerätty prosessidata tehollisena aikana kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista. Yksikköprosessien arvot ja osuudet on esitetty maksimi-, minimi- ja keskiarvomuodossa.

Mittaus	Yksikkö	Maksimi	Minimi	Keskiarvo
Kuorimarummun täytösaste	%	53,9	35,3	46
Portin asento	%	76	75,6	75,9
Kuorimarummun pyörimisnopeus	rpm	6,5	5,9	6,2
Puuhäviö	%	2	0,5	1,2
Kuoripitoisuus	%	1,3	0,14	0,6
Haketuskapasiteetti	k-m ³ /h	359,1	140,1	245

Kuvassa 18 on havainnollistettu taulukossa 5 mainittujen yksikköprosessien vaihteluväliä koeajojen tehollisena aikana. Kuvassa on esitetty prosessin kulku tehollisena aikana. Yksikköprosessien vaihteluvälit koeajojen aikana olivat seuraavanlaiset: kuorimarummun täytösaste 35,3 - 53,9 %, portin asento 75,6 - 76 %, kuorimarummun pyörimisnopeus 5,9 - 6,5 rpm, puuhäviöiden määrä 0,5 - 2 %, puun kuoripitoisuus 0,14 - 1,3 % ja haketuskapasiteetti 140,1 - 359,1 k-m³/h (Taulukko 5).



Kuva 18. Koeajojen aikana kerätyn prosessidatan vaihteluvälit tehollisena aikana 3-linjan kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista. Sininen viiva taulukoiden keskellä kuvaa kunkin yksikköprosessin keskiarvollaista määrää tai osuutta.

12.4.2 Puun kuoriutuvuus, hakkeen laatu ja saanto

Kuvissa 19, 20, 21 ja 22 on havainnollistettu puun kuoriutuvuutta koeajojen aikana eri koeajomalleilla. Kuvat on otettu kuorimon 3-linjan pesulinjastolta ennen haketusta. Kuvat otettiin samaan aikaan koeajoissa otettujen hakenäytteiden kanssa.



Kuva 19. 25 %:n koeajomallin puuvirta



Kuva 20. 33 %:n koeajomallin puuvirta

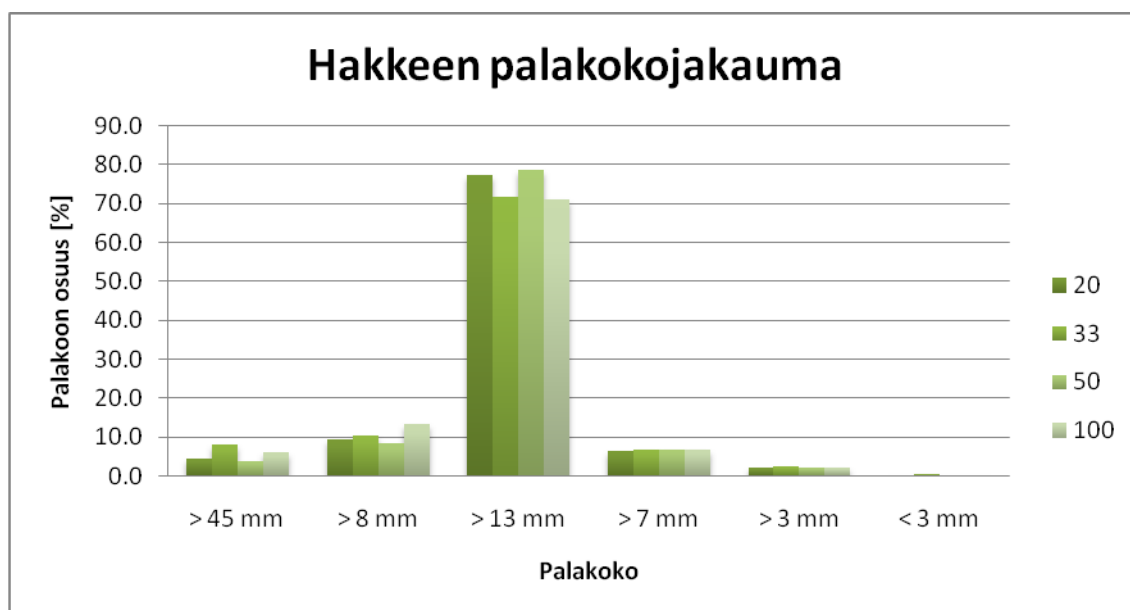


Kuva 21. 50 %:n koeajomallin puuvirta



Kuva 22. 100 %:n koeajomallin puuvirta

Kuviossa 16 on havainnollistettu kuorimolla käytyjen koeajojen aikana syntynyttä hakkeen palakokojakaumaa eri koeajomalleilla. Hakenäytteet otettiin kuorimon hakkurin jälkeiseltä näytteenottopisteeltä. Näytteet otettiin jokaisen koeajomallin aikana erikseen. Palakokojakauman akseptiksi laskettiin varsinaisen akseptin (> 13 mm) ja hakkeen tikkujakeen (> 7 mm) osuudet hakenäytteiden kokonaismäärästä.



Kuvio 16. koeajomallien hakkeen palakokojakaumat

Hakkeen palakokojakaumasta kokonaisakseptimäärä eri koeajomalleilla oli seuraavanlainen: 20 %:n koeajomallilla akseptin osuus oli 83,6 %, 33 %:n koeajomallilla akseptin osuus oli 78,5 %, 50 %:n koeajomallilla akseptin osuus oli 85,5 % ja 100 %:n koeajomallilla akseptin osuus oli 77,9 %.

Taulukossa 6 on esitetty koeajojen aikana otettujen hakenäytteiden kuiva-ainepitoisuutta eri koeajomalleilla. Hakenäytteet otettiin kuorimon hakkurin jälkeiseltä näytteenottopisteeltä. Näytteet otettiin jokaisen koeajomallin aikana erikseen. Hakkeen keskiarvoinen kuiva-ainepitoisuus koeajojen aikana oli 56,9 %.

Taulukko 6. Hakkeen kuiva-ainepitoisuus eri koeajomalleilla

Koeajomalli	Hakkeen kuiva-ainepitoisuus [%]
25 %	58,2
33 %	60,5
50 %	54,5
100 %	54,2
Keskiarvo	56,9

Kerätyille hakenäytteille suoritettiin kuivatuoretiheys-analyysi. Analyysissa selvitettiin hakkeen kuivamassan ja tuoretilavuuden suhde koeajomallikohtaisesti. Jokaista koeajomallia kohden suoritettiin 12 analyysia, joista laskettiin keskimääräinen kuivatuoretiheys koeajomallia kohden. Koeajomallien keskimääräinen kuivatuoretiheys oli 478,6 kg/m³ (Taulukko 7).

Taulukko 7. Hakkeen keskimääräiset kuivatuoretiheydet koeajomallikohtaisesti

Koeajomalli	Keskimääräinen kuivatuoretiheys [kg/m ³]
20 %	478,2
33 %	486
50 %	486,7
100 %	463,4
Keskiarvo	478,6

12.4.3 Energiajajaeosuus ja kuiva-ainepitoisuus

Koeajojen aikana otettiin kuvia kuorikuljettimella liikkuneesta kuorivirrasta. Koeajomallien kuorivirtaa on havainnollistettu kuvassa 23. Kuvat on otettu kuorimon 3-linjan kuorikuljettimelta ennen kuorimurskaa ja ne otettiin samaan aikaan koeajoissa otettujen kuorinäytteiden kanssa.



Kuva 23. 20 %:n, 33 %:n, 50 %:n ja 100 %:n koeajomallien kuorivirta

Koeajojen aikana kerättiin kuorinäytteitä kuorivirrasta. Taulukossa 8 on esitelty kuorinäytteiden kuori- ja puuosuudet. Näytteet kerättiin kuoripuristimen jälkeiseltä näytteenottoapaikalta. Näytteet otettiin jokaisen koeajomallin aikana erikseen. Energiajakeessa olevan kuoren keskiarvolliseksi osuudeksi muodostui 86,4 % ja puun keskiarvolliseksi osuudeksi 13,6 %.

Taulukko 8. Kuoripuristimen jälkeiseltä näytteenottoapaikalta kerättyjen kuorinäytteiden kuoren ja puun osuudet

Koeajomalli	Kuoren osuus [%]	Puun osuus [%]
20 %	86,7	13,3
33 %	86,1	13,9
50 %	89,7	10,3
100 %	82,9	17,1
Keskiarvo	86,4	13,6

Laboratoriossa määritetyt energijakeessa olleet puun osuudet muutettiin puuhäviömääräksi ennaltamääritettyä laskentakaavaa hyväksikäyttäen (Kaava 1). Koeajoissa syntyneet puuhäviöt on laskettu kahdella teoreettisella tulevan puun kuoripitoisuudella. Laskentakaavalla määritetyt puuhäviöosuudet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Puuhäviöosuudet kuoritusta puusta 9 % ja 12 % tulevan puun kuoripitoisuudella

Koeajomalli	Puuhäviöosuus [%] tulevan puun 9 % kuoripitoisuudella	Puuhäviöosuus [%] tulevan puun 12 % kuoripitoisuudella
20 %	1,5	2,1
33 %	1,6	2,2
50 %	1,1	1,6
100 %	2,0	2,8
Keskiarvo	1,6	2,2

Puuhäviöiden keskimääräinen osuus kuoritusta puusta liikkui välillä 1,6 - 2,2 % riippuen tulevan puuraaka-aineen arvioidusta kuoripitoisuudesta.

Taulukossa 10 on esitetty koeajojen aikana kerättyjen kuorinäytteiden kuiva-ainepitoisuudet eri koeajomalleilla. Näytteet kerättiin kuoripuristimen jälkeiseltä näytteenottoapaikalta. Energijakeen keskiarvollinen kuiva-ainepitoisuus koeajojen aikana oli 56,2 %.

Taulukko 10. Kuorinäytteiden kuiva-ainepitoisuus eri koeajomalleilla

Koeajomalli	Kuiva-ainepitoisuus [%]
20 %	59,3
33 %	59,9
50 %	52
100 %	53,5
Keskiarvo	56,2

12.4.4 Kustannukset ja energijakeen arvo

Puunkäsittelyssä käytyjen koeajojen puunsiirto, puunsyöttö, kuorinta- ja haketuskuustannuksia laskettaessa käytettiin arvioitua 3 €:n kiinteää hintaa prosessoitua hakekiintokuutiometriä kohden. Kustannusarvio koostui seuraavista yksikkökustannuksista:

Puuterminalikustannukset: 1,5 €/k-m³

Kuorimokustannukset: 1,5 €/k-m³

Puuterminalin kustannukset koostuivat puun kuljetuksesta terminalista puunsyöttöön puunkuljetusrekoilla ja puunsyötöstä kuorimon sulatuskuljettimelle puunsiirtokoneilla. Puun kuljetuksen kustannukset koostuivat puun lastauksesta ja kuljetuksesta, ja kustannusarvio perustui vuotuisen puunkuljetusmäärään ja kuljetuksen keskimääräiseen matkaan. Puunsiirto- ja puunsyötön kustannukset koostuivat puunsiirtokoneisiin sitoutuneesta pääomasta, polttoainekuluista, huoltotoimenpiteistä ja työntekijöiden palkoista sosiaalikulunnuksineen. Kuorimon kustannukset koostuivat kuorimon henkilökunnan palkoista ja laitoksen kunnossapito- ja energiakustannuksista. Laskennassa ei otettu huomioon kuorimoon sitoutunutta pääomaa.

Puunkäsittelyn kokonaiskustannuksia arvioitaessa oli määriteltävä prosessoidun puuraaka-aineen tilavuus. Koeajoissa käytetyn puuraaka-aineen tilavuutta arvioitiin haketetun puun tilavuuden perusteella. Arviota tehtäessä oli siis huomioitava arvioitu tulevan puuraaka-aineen kuoripitoisuus ja kuorintaprosessissa puuaineksesta irtoavan puun osuus kokonaispuuaineksen tilavuudesta. Tulevan puuraaka-aineen tilavuuden laskentamallia käytettiin seuraavanlaisesti arvioidulla 9 %:n kuoripitoisuudella ja keskimääräisillä 1,6 %:n puuhäviöillä:

100 % = kokonaispuuraaka-aineen määrä

100 % - 9 % (arvioitu kuoren osuus) - 1,6 % (puuhäviöiden osuus) = 89,4 %

89,4 % = haketukseen menevä puun määrä = 920 k-m³

$$920 \text{ k-m}^3 / 89,4\% = 10,29 \text{ k-m}^3 \text{ (1 \% osuus)}$$

$$10,29 \text{ k-m}^3 * 100 \% = 1029 \text{ k-m}^3$$

Tulevan puuraaka-aineen tilavuus arvioidulla 9 %:n kuoripitoisuudella ja keskimääräisillä 1,6 %:n puuhäviöillä oli 1029 k-m³. Sama laskutoimitus tehtiin tulevan puuraaka-aineen kokonaistilavuudelle arvioidulla 12 %:n kuoripitoisuudella ja keskimääräisillä 2,2 %:n puuhäviöillä. Tilavuudeksi saatiin tällöin 1070 k-m³. Laskentamallissa on oletettu puun kuoriutuvan täydellisesti kuorintaprosessin aikana. Prosessoitu puumäärä sisälsi tutkimuksessa suoritettua hakkuusta kerätyn kuitu- ja energiapuuositteiden sekä koeajoissa sekoitteena käytetyn kuitupuumäärän. Näin ollen puunkäsittelyn koeajoissa suoritettujen tuotantoprosessien kokonaiskustannukset liikkuvat välillä 3087 - 3210 €.

Tulevan puuraaka-aineen tilavuudesta määritetyt puun ja kuoren tilavuudet perustuivat arvioituihin kuoren osuuksiin. Puuhäviömäärät määritettiin puun määrästä tutkimuksesta saaduilla keskimääräisillä puuhäviöosuuksilla. Tulevan puuraaka-aineen puun, kuoren ja puuhäviöosuuden tilavuudet on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Tulevan puuaineksen puun, kuoren ja puuhäviöosuuden tilavuudet

Tulevan puuraaka-aineen tilavuus [m³]	Kuoripitoisuus [%]	Kuoren määrä [m³]	Puun määrä [m³]	Puuhäviö [m³]
1029	9	92,6	936,4	15
1070	12	128,4	942	20,7

Tulevan puuraaka-aineen sisältämät puu- ja kuoritulavuudet sekä puuhäviöt muutettiin tuoremassoiksi. Puun tuoremassaa laskettaessa käytettiin tutkimuksesta saatua ensiharvennetun puun keskimääräistä tuoretiheyttä 843 kg/m³ ja kuoren tuoremassaa laskettaessa käytettiin koivukuoren tiheyttä 550

kg/m³ (Laitinen 2005). Puun ja kuoren tuoremassat laskettiin taulukkoon 11 perustuvilla tilavuuksilla. Puuaineksen sisältämät puun ja kuoren tuoremassat on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Tulevan puuaineksen sisältämän puun ja kuoren sekä kuorinnassa syntyneiden puuhäviöiden tuoremassat

Kuoripitoisuus [%]	Kuoren tuoremassa [kg]	Puun tuoremassa [kg]	Puuhäviön tuoremassa [kg]
9	50930	789385	12645
12	70620	794106	17450

Hyötyenergiajakeeksi laskettiin kuoren ja puuhäviöiden tuoremassojen sisältämä kuiva-ainemassa. Kuiva-ainemassa määritettiin energiajakeen tuoremassan (taulukko 12) ja energiajakeen kuiva-ainepitoisuuden (Taulukko 10) avulla. Tulevan puuraaka-aineen 9 %:n kuoripitoisuudella energiajakeen kuiva-ainemassa oli yhteensä 35,6 t ja 12 %:n kuoripitoisuudella 49,4 t.

Kummallekin energiajakeemassalle laskettiin niiden sisältämä lämpöenergiamäärä kuiva-ainetonna kohden. Tätä varten energiajakeelle oli määritettävä sille ominainen lämpöarvo, johon vaikutti olennaisesti energiajakeen puulaji ja kosteuspitoisuus. Lämpöarvon laskemisessa käytettiin hyväksi kaavaa 2.

$$q_i = q_{ik} - 2,443 * \frac{W}{100 - W}$$

$$q_i = 22,7 \text{ GJ/tKa} - 2,443 * \frac{43,8}{100 - 43,8}$$

$$q_i = 20,8 \text{ GJ/tKa}$$

Tutkimuksessa käytettiin kuorikattilan hyötysuhteena 89 %:a. Näin energiajakeesta saatava hyötylämpöenergiamäärä 9 %:n tulevan puuraaka-aineen kuoripitoisuudella ja keskimääräisellä 1,6 %:n puuhäviöosuudella oli 659

GJ. Vastaavasti 12 %:n tulevan puuraaka-aineen kuoripitoisuudella ja keskimääräisellä 2,2 %:n puuhäviöosuudella kokonaislämpöenergiamäärä oli 914,5 GJ. Lämpöenergiamäärät laskettiin käyttämällä pelkästään koivukuoren lämpöarvoa puuhäviöinä olleen koivupuun lämpöarvon ollessa lähes identtinen koivukuoren lämpöarvoon nähden ja puuhäviöosuuksien ollessa vähäisiä koko energijakeen määrään nähden.

Lopuksi laskettiin energijakeesta aiheutuva kustannus-säästö puunkäsittelyn prosessoitua kiintokuutiometriä kohden. Sähköenergian tuotantoon kuluva lämpöenergiamäärä muutettiin sähköenergiaksi oletuksella $1 \text{ GJ} = 0,277778 \text{ MWh}$. Sähköenergiasta saatavana kustannus-säästönä pidettiin 17 €/MWh . Koeajojen aikana käsitelty puuraaka-aineen määrä vaihteli välillä $1029 - 1070 \text{ k-m}^3$ riippuen puun kuoripitoisuudesta.

Sähköenergian tuotannosta aiheutuva kustannus-säästö oli seuraavanlainen:

9 %:n kuoripitoisuus:

$$659 \text{ GJ} * 0,277778 = 183,7 \text{ MWh}$$

$$183,7 \text{ MWh} * 17 \text{ €/MWh} = 3123 \text{ €}$$

$$3123 \text{ €}/1029 \text{ k-m}^3 = 3,03 \text{ €/k-m}^3$$

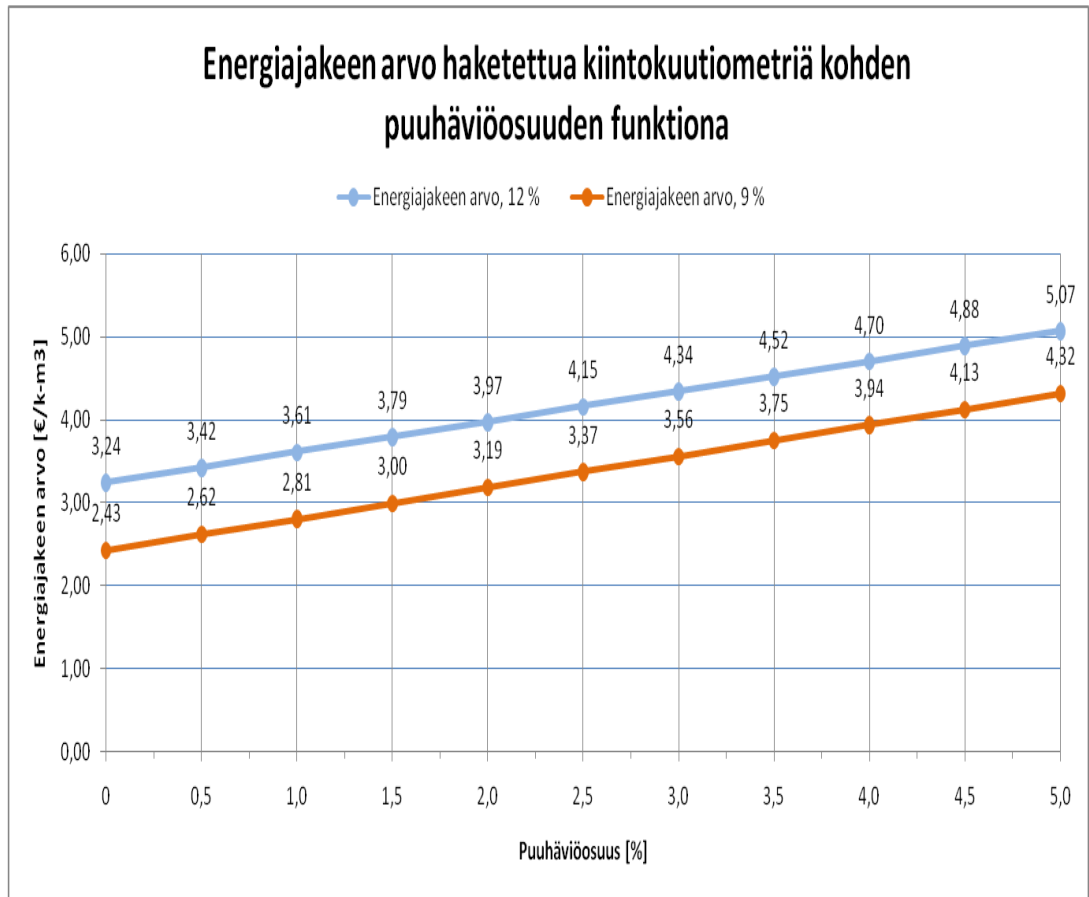
12 %:n kuoripitoisuus:

$$914,5 \text{ GJ} * 0,277778 = 254 \text{ MWh}$$

$$254 \text{ MWh} * 17 \text{ €/MWh} = 4318 \text{ €}$$

$$4318 \text{ €}/1070 \text{ k-m}^3 = 4,03 \text{ €/k-m}^3$$

Energijakeen aiheuttamasta kustannussäästöstä prosessoitua puuraaka-ainemäärää kohti luotiin kuvaajat osoittamaan puuhäviöosuuden vaikutus energijakeen arvolle (Kuvio 17). Kuvaajat perustuvat edellä mainittuun laskentamalliin, jossa muuttujina käytettiin puunkäsittelyn koeajoista saatua prosessidataa ja hakkeesta- ja kuoresta otettujen näytteiden laboratoriomittauksia.



Kuvio 17. Energijakeen arvo prosessoitua kiintokuutiometriä kohden puuhäviöosuuden funktiona

Energijakeen arvon kuvaajat perustuivat seuraaviin olettamuksiin ja keskimääräisiin arvoihin: Tulevan puun kuoripitoisuus: 9 - 12 %, puuaineksen tuoretiheys: 843 kg/m³, kuoren tiheys: 550 kg/m³, energijakeen kosteuspitoisuus: 43,8 %, kuorikattilan hyötysuhde: 89 % ja energijakeen arvo: 17 €/MWh.

13 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä luvussa on tarkasteltu tarkemmin luvussa 12 esitettyjä tuloksia ja arvioitu mahdollisia jatkotoimenpiteitä.

13.1 Puustotietojen inventointi

Opinnäytetyön puustotietojen tuloksia tarkasteltaessa on käytetty hyväksi Tapion hyvän metsänhoidon suosituksia. Puuston inventoinnin tuloksia on peilattu edellämainitusta aineistosta saatuihin harvennussmalleihin. Harvennussmallien tarkoituksena on maksimoida metsästä saatava hyöty tulevaisuudessa rakentamalla puustolle optimaaliset kasvuolosuhteet. Tutkimuksessa on arvioitu puuston laatua ja määrää ennen hakkuuta, tarkasteltu ensiharvennushakkuun voimakkuutta ja puulajisuhteita ennen ja jälkeen hakkuun sekä selitetty leimikon metsänhoidollista tilaa hakkuun jälkeen. Inventoidut leimikkotiedot on listattu yhteenvedoksi taulukossa 13.

Taulukko 13. Inventoinnin yhteenveto

Leimikon pinta-ala [ha]	14
Inventoitu lähtöpuusto [m³]	1889
Inventoitu jäävä puusto [m³]	1249
Hakkuun inventoitu kertymä [m³]	639
Hakkuun hehtaariohtainen kertymä [m³/ha]	45,6
Hakkuun hehtaariohtainen poistuma [r/ha]	1139
Poistuman keskitilavuus [dm³]	38
Puuston tiheys ennen hakkuuta [r/ha]	1724 - 2468
Puuston tiheys hakkuun jälkeen [r/ha]	778 - 889
Valtapuuston osuus ennen hakkuuta [%]	87,6
Valtapuuston osuus hakkuun jälkeen [%]	91,6

Leimikolla kasvatettavan puuston iäksi ilmoitettiin 30 vuotta. Puustolle oli tehty nuoren metsän perkaus vuosina 2002 - 2005 riippuen kuviosta. Perkaus teetettiin kuvioille 297, 54 ja 61. Kuviolla 6 ei ollut mainintaa metsänhoidollisista

toimenpiteistä. Energiapuukohteiksi tarjotuille leimikoille on tyypillistä puuston hoitamattomuus, jolloin alueella on paljon nk. välipuita. Tässä tapauksessa välipuiden vähäinen lukumäärä antoi kuitenkin ymmärtää, että alueen puusto oli hoidettu ajallaan metsätaloussuunnitelman mukaisesti. Samasta syystä hakkuun hehtaarikohtaisen kertymän voitiin ajatella jäävän pienemmäksi. Puuston metsänhoidollisen tilan ollessa edellä mainitulla tasolla alueella ei tarvittu myöskään puuston näkemäraivausta, jossa kuitu- ja energiapuiden ympäriltä olisi karsittu hakkuuta hidastavia huonolaatuisempia puita ja risuja. Näkemäraivauksella pyritään parantamaan hakkuun kannattavuutta poistamalla hakkuualalta kaikki alle energiapuuläpimittaiset puut hakkuukoneen tieltä. Kyseinen raivaus lisää kuitenkin myös tuotantoketjun kustannuksia.

Kuviossa 8 on esitetty puuston keskimääräinen läpimitta kuvioittain ennen ja jälkeen hakkuun. Kuvasta voidaan huomata läpimitan kasvaneen jokaisella kuviolla hakkuun ansiosta. Myöskään puuston valtapituus ei muuttunut hakkuun takia. Siten puuston järeys on kasvanut ensiharvennushakkuun vuoksi. Tulosta voidaan pitää tavoiteltuna päämääränä tulevien hakkuukertymien ja metsän tuottoisuuden kannalta. Kemera-tuki nuoren metsän hoitoon edellyttää alueen puuston rinnankorkeusläpimitan olevan alle 16 cm harvennuksen jälkeen. Rinnankorkeusläpimitta jäi jokaisella tutkimuskuviolla alle edellä mainitun rajan (kuvio 9). Tässä tapauksessa kaikki leimikon kuviot katsotaan kelpoisiksi Kemera-tukeen.

Puuston määrää ja ensiharvennushakkuun voimakkuutta on arvioitu hehtaarikohtaisen runkoluvun perusteella. Kuviossa 9 on tarkasteltu tutkimusleimikon puustoa määrää ennen ja jälkeen hakkuun. Ennen hakkuuta leimikon runkoluku vaihteli kuviosta riippuen välillä 1724 - 2468 runkoa hehtaaria kohden. Määrästä voidaan ymmärtää ensiharvennushakkuun tarpeellisuus kyseisellä leimikolla puuston kasvaessa liian lähekkäin toisiaan. Puuston ollessa liian tiheää järeämpien ja hyvälaatuisempien puiden kasvu hidastuu merkittävästi alueen maaperässä olevien ravinnemäärien ollessa riittämättömät kaikille alueen puille. Hoitamattomassa metsässä puiden kasvutila olisi myös rajoittuneempi hoidettuun metsään verrattuna

vähempiarvoisten ja valtapuustosta poikkeavien puiden viedessä kasvutilaa kasvatettavilta puilta.

Kuviossa 9 on esitetty myös leimikon runkoluku hakkuun jälkeisenä aikana. Runkoluku liikkui välillä 778 - 889 runkoa hehtaaria kohden. Hakkuun jälkeistä puuston määrää voidaan pitää yhtenäisenä Tapion harvennusmallien kanssa rauduskoivun kasvatuksessa. Tapion suosituksissa halutuksi ensiharvennushakkuun jälkeiseksi runkoluvuksi ilmoitetaan 700 - 1100 runkoa hehtaaria kohden puuston valtapituuden ollessa 8 - 14 m lehtomaisella tai tuoreella kankaalla (Äijälä & Kuusinen & Koistinen 2010). Leimikolle jäävän puuston valtapituus oli 15 - 18 m, joka ylittää edellämainitun puuston valtapituuden. Ohjeena vastaavassa tilanteessa voidaan tulkita hehtaarikohtaisen runkoluvun pienenevän puuston valtapituuden kasvaessa. Kuvassa 24 on esimerkki hakkuun vaikutuksesta puuston määrään ja yleiskuvaan. Kuva on otettu kuvion 297 puusto ennen ja jälkeen hakkuun.



Kuva 24. Kuvion 297 puusto ennen ja jälkeen hakkuun

Kuviolla 297 oli ennen hakkuuta leimikon suurin runkoluku, 2468 runkoa hehtaaria kohden, ja hakkuun jälkeen leimikon pienin runkoluku, 778 runkoa hehtaaria kohden. Kuvasta on helppo huomata kuvion selventynyt yleisilme aikaisemmasta ja hakkuun mahdollistama valtapuuston parantunut kasvutila.

Hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärä oli lähes 16000 koko leimikon alalta ja keskimäärin 1139 runkoa hehtaaria kohden. Kuviokohtaisesti kuvion 61 ja 54 hehtaarikohtainen poistuma jäi alle Kemeran ilmoittaman hehtaaritukeen edellyttämän rajan, 1000 r/ha. Kuvioilla 6 ja 297 raja ylittyi, jolloin nämä kuviot voitiin hyväksyä tuen piiriin muiden edellytysten täytyessä (kuvio 10). Kokonaispoistuman keskimääräinen tilavuus oli $38 \text{ dm}^3/\text{r}$ ja keskitilavuus vaihteli välillä $27 - 60 \text{ dm}^3/\text{r}$ (kuvio 11). Tutkimuskuvioiden suurin keskitilavuus oli kuviolla 54 ($60 \text{ dm}^3/\text{r}$), jolta kerättiin eniten kuitupuumittaista puuta. Kuvion järeysluokka pysyi alueen suurimpana hakkuun jälkeen, jolloin puuston keskiläpimitta oli 13,2 cm, valtapituus 18 m ja keskitilavuus $60 \text{ dm}^3/\text{r}$. Kuviolta onkin näin ollen odotettavissa lähitulevaisuudessa järeää kuitupuuta. Tutkimuksen pienin keskitilavuus oli kuviolla 6 ($27 \text{ dm}^3/\text{r}$), jolta kerättiin eniten energiapuumittaista puuta. Hakkuun jälkeen kuvion puuston keskiläpimitta, valtapituus ja keskitilavuus pysyivät tutkimuksen pienimpinä. Puuston tiheys muuttui kuitenkin Tapion harvennusmallien mukaiseen suuntaan (889 r/ha), jolloin puustolla on paremmat kasvuolosuhteet tulevina vuosina.

Hakkuun inventoitu kertymä oli 639 m^3 , ja hakkuun keskimääräinen kertymä hehtaaria kohden oli $45,6 \text{ m}^3$ (kuvio 13). Kertymä vaihteli kuviokohtaisesti välillä $36 - 63 \text{ m}^3/\text{ha}$. Hehtaarikohtaista kertymää voidaan pitää suhteellisen alhaisena ensiharvennushakkuulla, jossa kerätään energiapuun lisäksi myös kuitupuumittaista puutavaraa. Hehtaarikohtaisen kertymän määrään vaikutti todennäköisesti puustolle vuosikymmenen alkupuolella tehty nuoren metsän perkaus.

Ensiharvennushakkuun periaatteena oli poistaa leimikolta valtapuuston kaasvua hidastavia, vähempiarvoisia ja huonolaatuisempia puita. Tällä tavalla pyrittiin maksimoimaan valtapuuston tulevaisuudessa luoma taloudellinen kannattavuus

metsänomistajalle. Tästä syystä valtapuuston osuutta pyrittiin kasvattamaan alueen vallitsevana puulajina. Kuvioissa 14 ja 15 on esitetty tutkimusleimikon puusto puulajiosuuksittain. Alueen valtapuustona voidaan selvästi nähdä koivu, jonka asema alueella kasvatettavana puulajina vahvistui entisestään ensiharvennushakkuun jälkeen. Kuvista nähdään myös muiden lehtipuiden (MuuLe) entisestään heikentynyt osuus leimikon kokonaispuustosta.

Lopuksi tarkasteltiin mahdollisuutta saada Kemeran nuoren metsän hoitotukea harvennetuille kuvioille. Tuen saamiseen vaikuttivat luvussa 4.1.1 mainitut tekijät. Puuston valtapituus ei saanut ylittää lehtipuumetsikössä 15 m:n rajaa. Puiden mennessä energiakäyttöön valtapituudella ei ollut rajoitusta. Rinnankorkeuslähpimitan tuli olla alle 16 cm kasvatettavan puuston pinta-alalla. Harvennuksen poistuman tuli olla yli 1000 runkoa/ha eikä leimikolle saanut jäädä välitöntä ensiharvennustarvetta ensiharvennushakkuun jälkeen.

Ottaen huomioon edellä mainitut kohdat leimikon neljästä tutkimuskuvioista kaksi olivat Kemera-lain piiriin kuuluvia leimikkokuvioita. Hyväksytyjen kuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 5,3 ha. Nuoren metsän hoitotuki Etelä-Suomessa ulkopuolisella teetetyllä työvoimalla oli 139 €/ha. Tässä tapauksessa tuen suuruus oli yhteensä 736,7 €.

Hyväksytyille Kemera-kohteille oli mahdollista hakea myös toteutus selvityksen laatimiseen myönnettävää tukea. Tuen suuruudesta on kerrottu luvussa 4.2. Suoritettavaa tutkimusta varten nuoren metsän hoidosta laadittavaan toteutus selvitykseen voi saada tukea korkeintaan 78 € + 16,50 €/ha. Tässä tapauksessa toteutus-selvityksen tuki oli seuraavanlainen: $78 \text{ €} + (16,50 \text{ €/ha} * 5,3 \text{ ha}) = 165,45 \text{ €}$.

Tutkimuksessa saatavan nuoren metsän hoitotuen suuruus oli lopulta 902,15 €.

13.2 Korjuu

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli tarkastella hakkuussa käytettyä joukkokäsittelyominaisuutta ja sen mahdollistamaa korjuun parantunutta kannattavuutta yksinpuinhakkuuseen nähden. Valitettavasti hakkuun ja metsäkuljetuksen aikana ilmenneet ongelmat rajoittivat kuitenkin koko korjuuketjun tarkempaa tutkimista eikä tuottavuus ja ajanmenekkitietoihin päästy käsiksi. Tästä syystä korjuusta saadut tulokset jäivät suhteellisen pintapuolisiksi, eikä tutkimuksen aikana käytettyjä eri hakkuumenetelmiä voitu luotettavasti vertailla keskenään.

Luvussa 2.4 kerrottiin suurten korjuukustannusten olevan suurin yksittäinen tekijä pienpuukorjuun huonolle kannattavuudelle. Useat, aiheeseen liittyvät tutkimukset, kuten Metsätehon raportissa "Joukkohakkuu aines- ja energiapuun korjuussa" ja Perhon opinnäytetyössä "nuoren metsän energiapuuharvennusten menetelmät ja kannattavuus" on todettu puiden joukkokäsittelyn pienentävän korjuukustannuksia ja näin ollen parantavan korjuuketjun kannattavuutta (Mäkelä ym. 2002 & Perho 2010).

Tutkimuksessa suoritettussa hakkuussa käytettiin runsaasti joukkokäsittelyominaisuutta. Energiapuuhakkuussa joukkokäsittelyä käytettiin keskimääräistä (68 %) enemmän runkojen ollessa kuitupuumittaista puuta pienempiä ja näin ollen helpommin niputettavia yhteen kouralliseen. Kuitupuuhakkuussakin joukkokäsittelyä käytettiin hyväksi yli puolessa kaikista kerätyistä rungoista. Integroidussa hakkuussa joukkokäsittelyn osuus oli 62 %. (Taulukko 1). Osuuksien perusteella joukkokäsittelyominaisuutta voidaan hyödyntää sekä kuitu- että energiapuuhakkuussa kuin myös integroidussa hakkuussa. Osasyynä joukkokäsittelymenetelmän toimivuudelle oli metsän hyvä kunto ja puuston tasakokoisuus, jolloin joukkokäsittelyn tuomat edut pääsivät oikeuksiinsa. Menetelmän kannattavuus perustuu nimenomaan useamman puun jouhevaan käsittelyyn, jossa puut kerätään harvesteripäähän sujuvilla puomin liikkeillä ilman pitempiaikaista pohtimista. Huonosti hoidetussa nuoressa metsässä pienten ja vähempiarvoisten välipuiden ja risujen lukumäärä on

yleensä korkeampi ja puuston järeysjakauma on laajempi. Hakkuutyön aikana välipuut ovat arvokkaampien puiden tiellä, eivätkä puiden suuret järeysvaihtelut sovi joukkokäsittelymenetelmälle puunippujen karsimisessa aiheutuvien ongelmien vuoksi. Huonokuntoisessa metsässä harvesterin kuljettaja joutuisi työskentelemään normaalia enemmän ja pohtimaan, mitkä puista sopivat joukkokäsittelymenetelmän piiriin. Kaikki ylimääräinen ajanmenekki vesittää joukkokäsittelyn mahdollistamaa kannattavuuden parantumaa. Menetelmän täydellinen hyödyntäminen vaatii harvesterin kuljettajalta oikeaoppista työtapaa ja pitempiaikaista työkokemusta.

Korjuusta muodostuneita kustannuksia laskettaessa käytettiin korjatulle puukuutiolle keskimääräistä 21 €:n vakioarvoa riippumatta puun järeydestä tai metsäkuljetusmatkasta, eikä se siis perustu korjuusta saatuihin tuntituotoksiin tai ajanmenekkitietoihin. Tutkimuksessa käytetystä keskimääräisestä vakiotaksasta on sovittu korjuun suorittavan yrittäjän kanssa käytettäväksi joukkokäsittelykohteilla, joilla yksinpuin tehdyn hakkuun taksamalli voisi muodostaa korjuusta kannattamattoman etenkin pienillä nuoren metsän hoitokohteilla, joissa hakkuun kertymä on pieni ja ajanmenekki sekä metsäkuljetusmatka mahdollisesti suuri. Joukkokäsittelylle tehdyn taksamallin ongelmana on sen keskimääräisyys, joka toimii vain tietyillä harvennuskohteilla.

Metsäntutkimuslaitoksen työraportissa "Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät" tutkittiin energiapuun korjuuta joukkokäsittelymenetelmää hyödyntäen. Tutkimuksessa korjuun yksikkökustannukseksi muodostui 22 €/m³, jossa hakkuun kustannus oli 18,3 €/m³ ja metsäkuljetuksen kustannus 3,7 €/m³ kertymän ollessa 40 m³/ha, rangan keskikoon ollessa 30 dm³ ja metsäkuljetusmatkan ollessa 200 m (Heikkilä & Laitila & Tantt & Lindblad & Sirén & Asikainen & Pasanen & Korhonen 2005). Tutkimuksen aikana suoritettussa puun korjuussa kertymä oli 45,6 m³/ha, puun keskikoko 38 dm³ ja keskimääräinen metsäkuljetusmatka noin 150 m. Tutkimuksia vertailtaessa huomataan opinnäytetyöraportissani ilmoitetut kertymän, puun keskikoon, metsäkuljetusmatkan ja yksikkökustannuksen arvojen olevan hyvin lähellä metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksesta saatuja arvoja. Tämä auttaa

vahvistamaan joukkokäsittelylle puulle luotua kustannusarviota. Kustannuksia laskettaessa on muistettava kuitenkin leimikkokohtaiset erot, jotka voivat vaihdella erittäin voimakkaasti. Tästä syystä olisi erittäin suositeltavaa kehittää joukkokäsittelylle puulle oma taksamallinsa, jotta korjuuketjun kannattavuus saataisiin optimoitua eriäväisiä hakkuun ja metsäkuljetuksen olosuhteita silmällä pitäen.

Taulukossa 2 tarkasteltiin hakattujen puiden kosteuspitoisuutta eri ajankohtina. Kaatotuoreen puun kosteus oli 49,9 % ja 17 päivää varastoidun puun kosteus 42,3 %. Varastoinnin aikana puusta ehti siis haihtua 7,6 % kosteutta johtuen kevään lämpimistä keleistä ja ilman alhaisesta kosteuspitoisuudesta. Kaatotuoreen puun kosteuspitoisuus riippuu mm. puulajista, kasvupaikasta ja vuodenajasta ja on yleensä noin 50 - 60 %. Puun kuivattamisella voidaan haluttaessa päästä jopa 25 %:n kosteuspitoisuuteen (Satamaenergia Oy). Tuollaista kosteuspitoisuutta voisi pitää erittäin hyväksyttävänä energiajakeen kannalta, mutta kuidutettavalla puulla näin alhainen kosteuspitoisuus olisi haitallista tehdasprosessien kannalta. Tästä syystä samaan kasaan kerätyn kuitu- ja energiapuun varastointia ei kannata kuitupuuositteen vuoksi jatkaa liian pitkään, vaan tarkoituksena on löytää ns. kompromissiratkaisu puun kosteudelle, jolloin tehtaalla tapahtuva puun kuorintaprosessi toimii mahdollisimman hyvin mutta myös energiajakeen arvo saadaan pidettyä hyväksyttävällä tasolla. Opinnäytteessä puuta kuivatettiin keskimäärin 4 viikkoa tienvarsivarastolla ja viikko tehtaan puuterminaalissa. Kuivatusajan ja puunkäsittelyn koeajojen perusteella voidaan integroituun haketukseen tarkoitettun puun sopivaksi varastointiajaksi arvioida keväällä noin 3 - 5 viikkoa.

13.3 Kaukokuljetus ja kuormainvaakatesti

Luvussa 12.3 tarkasteltiin kaukokuljetuksesta aiheutuvia kuluja tutkitulle tuotantoketjulle. Kokonaiskustannuksiksi muodostui 2122,3 € ja yksikkökustannukseksi 3,12 €/k-m³ puun kuljetusmatkan ollessa 25 km. Jakamalla kaukokuljetuksen yksikkökustannus kuljetetulla kilometrimäärällä muodostettiin kustannusarvio kuutiokilometrille, joka oli 12,5 snt. Tätä tulosta

vertailtiin vuoden 2008 Metlan metsätilastollisessa vuosikirjassa ilmoitettuun keskimääräiseen kuutiokilometriin, joka oli 6,6 snt keskimääräisen kuljetusmatkan ollessa 106 km (Metsäntutkimuslaitos 2009, 182).

Tuloksesta huomataan helposti kuutiokilometrin keskimääräistä korkeampi arvo verrattuna Metlan ilmoittamaan keskiarvoon. Kaukokuljetuksen yksikkökustannus €/k-m³ määräytyy kuljetettujen puutonnien ja kuljetusmatkan mukaan, jolloin pitempi kaukokuljetus ja suurempi määrä puutavaraa aiheuttaa suuremmat kokonaiskustannukset ja samalla suuremman yksikkökustannuksen kuljetettua kuutiota kohden. Kuutiokilometrin suuruuteen ei vaikuta kuitenkaan kuljetetun puutavaran määrä, sillä kasvaneet yksikkökustannukset jaetaan suuremmasta kuljetusmatkasta muodostuneella kilometrimäärällä, jolloin 1 kuution kuljettaminen kilometriä kohden tulee edullisemmaksi pitemmillä kaukokuljetusmatkoilla. Yksi tutkitun tuotantoketjun eduista on sen kaukokuljetuksen yksinkertaisuus ajettaessa kaikki hakkuualalta kerätty kuitu- ja energiapuu samaan kasaan, josta se voidaan hakea puunkuljetusautolla samasta paikasta ilman ylimääräisiä ajeluja metsätiellä. Kaukokuljetuksen tuomaa etua muihin metsäenergiaketjuihin korostaa pitempi kuljetusmatka, joka oli tässä tapauksessa kuitenkin keskimääräistä matkaa huomattavasti lyhyempi.

Kuormainvää'at ovat yleistyneet metsätraktoreissa viimeisen kahden vuoden aikana. Nyt joka kolmannessa on kyseinen mittausmenetelmä. Samalla on yleistynyt energiapuun mittaus massa- ja pituusmittauksella perustuvalla mittausmenetelmällä. Yleistymisen voidaan nähdä johtuvan aines- ja energiapuun integroidun korjuun kasvavasta osuudesta harvennushakkuiden korjuumenetelmänä ja myös mittausosapuolten hyväksymästä energiapuun mittausoppaasta, josta mitatuille massoille saadaan puulajeille tunnusomaiset tuoretiheysluvut. Energiapuun massan määrittäminen ei kuulu kuitenkaan puutavaran mittauslain piiriin, vaan kyseessä on tässä vaiheessa ennemminkin yhteistuumien tehdystä sopimuksesta. (Melkas 2010, 8 - 9.) Tästä syystä mittausmenetelmää tulisi tutkia ja kehittää entisestään, jotta menetelmän toimivuudesta saataisiin mahdollisimman toimiva ja tarkka tulevaisuuden energiapuutilavuuksia määrittäessä.

Tutkimuksen kuormainvaakatestissä määritettiin Tamtron Oy:n valmistamalle kuormainvaa'alle ominainen virheprosentti. Kuormainvaa'an mittaustulos oli 41500 kg ja tehtaan mitta-asemalla suoritettun mittauksen tulos oli 38060 kg (taulukko 3). Metsätraktorin kuormainvaa'an virheprosentti oli siis 8,29 %. Testissä puun massan mittaamiseen käytetyn BT-riipukevaa'an punnitustarkkuudeksi ilmoitettiin ± 2 %. Maa- ja metsätalousministeriön ilmoittamana hyväksytyn kuormainvaakamittauksen rajana pidetään ± 4 %:a (Metsäntutkimuslaitos 2010). Tuloksesta nähdään selvästi, ettei mittausten menetelmä syystä tai toisesta toiminut sille edellytetyllä tavalla. Hyväksyttävän mittaustuloksen olisi tullut olla välillä 36538 - 39646 kg, jotta mittausten menetelmän virheprosentti olisi ollut lain hyväksymillä ± 4 %:n rajoilla.

Korkeaan virheprosenttiin voi vaikuttaa energiapuun vaikea käsiteltävyys kuitupuumittaiseen puutavaraan verrattuna. Kuormainvaa'alla tehtävä mittaus voi olla myös haastavaa työtä riippuen vaa'an automaatiotasosta ja toimintaperiaatteesta, johon vaikuttaa varmasti myös itse mittaajan eli kuormatraktorin kuljettajan työtapa ja ammattitaito sekä vaa'an kalibroimisesta johtuva mahdollinen virhetekijä. Osa virheprosentin suuruudesta selittyy suoritettujen mittausten menetelmien välillä tapahtuvalla puun kuivumisella. Kuormainvaakamittaus suoritettiin viikolla 20, jolloin tienvarsikasasta otetun näytteen kosteuspuoisuus oli 42,3 (taulukko 2). Puut kuljetettiin tehtaalle noin 2 viikkoa tämän jälkeen, jolloin osa puun sisältämästä vesimäärästä oli haihtunut ja haihtuma vähentänyt puuaineksen massaa. Taulukosta 2 voidaan päätellä kuivumisen olleen aluksi erittäin voimakasta, mutta hidastuneen varastointiajan kasvaessa. Tässä vaiheessa varastointia puun arvioidaan menettävän massastaan keskimäärin 0,2 – 0,25 % päivässä haihtumisen vuoksi. Tämä tarkoittaisi noin 1000 – 1300 kg vesimäärää 2 viikon aikana. Jos otetaan huomioon haihtuneen veden vaikutus tehtaalla suoritettuun siltavaakamittaukseen, saadaan testikuorman virheprosentiksi vastaavasti 5,1 - 5,8 %. Näin ollen tutkimuksessa suoritettua kuormainvaakamittauksen mittaustuloksesta johdettua virheprosenttia ei voida täysin selittää pelkästään veden haihtumisella, vaikkakin sillä on ollut vaikutuksensa mittaustarkkuutta määriteltäessä.

13.4 Puunkäsittelyn koeajot

Kuorimolla käytyjen koeajojen tehollisen ajan osuus koeajojen koko käyttöajasta oli noin 60 %. Aikaa voidaan pitää varsin lyhyenä kattavien ja yksiselitteisten tulosten aikaansaamiseksi. Koeajojen lyhyteen vaikutti ensiharvennukselta saatu leimikkokohtainen kuitu- ja energiapuun suhteellisen pieni kertymä koeajojen luonteeseen nähden.

13.4.1 Prosessin toimivuus

Puun kuljetus puuterminalista kuorimon puukentälle ja puun syöttö puunkuljetusautoista kuorimon sulatuskuljettimelle sujuivat ilman prosessia häiritseviä katkoksia. Tämä mahdollisti kuorinta- ja haketusprosessin toimivuuden ja koeajojen jatkuvuuden ilman tukoksia yms. ongelmia linjastolla. Puun syötön toimivuuteen vaikutti paljolti jatkuvatoiminen yhteydenpito Stora Enso Metsän puunsiyöttäjien ja puun kuljetuksesta vastaavan Mantsisen välillä. Yhteydenpidolla voitiin sopia tulevista koeajoihin tehtävistä muutoksista ja välttää turha odottelu ja epätietoisuus koeajojen eri toimijoiden välillä. Puun syötön tasaisuudella kuorimon sulatuskuljettimelle oli ratkaiseva merkitys prosessin toimivuuden kannalta. Puunippujen epätasainen syöttö olisi luonut kuorimarummun syöttöön hetkellisiä ryöppyjä, jotka olisivat vaikuttaneet hetkeä myöhemmin puun kuoriutumisen voimakkuuteen. Tämä olisi vaikuttanut samalla puun kuoripitoisuuteen kuorimaproessin jälkeen ja kuoren mukana polttoon menevään puuhäviömäärään. Tasaisella puunsiyötöllä kuorimaproessi pyrittiin vakioimaan toimivan prosessin edellyttämälle tasolle, jolloin puuhäviömäärät pysyivät sallitulla tasolla ja kuoritun puun kuoripitoisuus oli tarpeeksi alhainen jatkoproessista saatavan sellun laadun kannalta.

Koeajoissa käytetyt ajomallit puunsiyötön sekoitussuhteelle toimivat lähes ilman ongelmia, eikä pieniläpimittainen puu luonut prosessiin tukoksia niin kauan kun sekaan syötettiin kuitupuumittaista koivupuuta. Koeajojen loppupuolella ajassa 13.18 prosessiin ensiharvennuspuun sekaan syötetty järeä koivu- ja haapapuu aiheutti puiden pirstoutumista ja hajoilua kuorimarummissa. Tämä johtui järeän

puun aiheuttamista voimavaikutuksista kuorintaprosessissa. Prosessiin aikaisemmin syötetty kuitupuumittainen mäntypuunippu ajassa 12.48 aiheutti samankaltaisen vaikutuksen. Mäntypuun syöttäminen pieniläpimittaisen puun sekaan ei aiheuttanut kuitenkaan suurempaa puuhäviöpiikkiä prosessin mittauksiin vähäisen määränsä vuoksi, vaan suurin osa pirstoutuneista puista purkautui kuorimarummusta pesulinjastolle ja kulkeutui tätä kautta haketukseen. Järeä koivu- ja haapapuu aiheutti sen sijaan tukoksia jälkeensä siirrettävälle kuorikuljettimelle. Näin ollen koeajoista saatu prosessidata ja silmämääräiset havainnot puiden hajoilemisesta ja kuoriutumattomuudesta puun järeysluokan muuttuessa tukevat järeysluokittain tapahtuvaa puunsyöttöä selluhakkeen tuotannossa. Tällöin puuhäviömäärä ja haketettavan puun kuoripitoisuus voitaisiin pitää entistä vähäisempinä ja koko prosessin toimivuus paransi tukosten vähetessä kuori- ja pesulinjastolla. Järeysluokittain tapahtuvan puunsyötön ongelmaksi muodostuu kuitenkin puun kuljetuksen hallittavuus ja kuorimon puukentällä tarvittavat käytännön järjestelyt puun varastoinnille. Tästä johtuen olisikin tärkeää löytää optimaaliset ajo-olosuhteet puun kuorinnalle puun järeysluokan vaihdellessa kuitu- ja energiapuumittaisen puuraaka-aineen välillä.

Kuorintaprosessin toimivuutta kuoriutuvuuden kannalta on tarkkailtu kuvissa 19 – 22 sekä taulukossa 4 ja 5. Kuorintaprosessi toimi kaikilla koeajomalleilla jatkoprosessin edellyttämällä tasolla, jolloin puiden kuoripitoisuus ei noussut missään vaiheessa hälyttävälle tasolle. Korkein kuoripitoisuus mitattiin 2. koeajomallin aikana, jolloin BarkSmart-kuoripitoisuusmittari mittasi arvon 1,3 %. Tämä puun kuoripitoisuuteen ilmennyt kohonnut arvo voi johtua mahdollisesti hetkellisestä puuraaka-aineen korkeammasta kuiva-ainepitoisuudesta, jolloin kuoren ja puun väliset sidoslujat ovat olleet vaikeampia rikkoa. Prosessin toimiessa halutulla tavalla haketettavan puun keskimääräinen kuoripitoisuus oli 0,6 %. Tehtaan korkein sallittu kuoripitoisuus haketettavalle puulle on 0,4 %. Eroavaisuus näiden kahden arvon välillä on käytännössä marginaalinen ja tutkimuksesta saatua keskimääräistä kuoripitoisuutta voidaan pitää hyväksyttävänä ottaen huomioon puun kuorinnan aikana vaihdelleet prosessiolosuhteet puun järeysluokan ja sekoitus-suhteen muuttuessa.

Koeajojen aikana prosessiin syötettyjen yksittäisten järeiden puunippujen kuoriutuvuus oli heikompaa verrattuna pieniläpimittaisen puun kuoriutuvuuteen. Tämä käy ilmi kuvista 19 - 22, joissa tarkkaillaan kuorimon 3-linjaston pesulinjastoa. Kuvat linjastolta otettiin koeajojen aikana näytteiden keräämisen aikaan. Kuvista nähdään järeämpien puiden korkeampi kuoripitoisuus verrattuna pieniläpimittaiseen puuhun. Tutkimuksessa käytetyn energia- ja kuitupuun sisältämällä kosteudella on ratkaiseva merkitys kuorinnan toimivuudelle. Tutkimuksessa käytetyn energia- ja kuitupuun kosteuspitoisuus oli kuorintaprosessin aikana noin 43 - 44 %. Kyseistä kosteuspitoisuutta voidaan pitää tomivana puun kuoriutumisen kannalta.

Hakkeesta otettiin näytteitä hakkurin jälkeiseltä näytteenottoaikalta ja näytteille suoritettiin seula-analyysi laboratoriossa. Näytteiden palakokojakaumaa on havainnollistettu kuviossa 16. Koeajojen korkein akseptin osuus oli 85,5 %. Osuus saavutettiin 50 %:n koeajomallilla, jolloin haketettavasta puusta puolet oli ensiharvennukselta kerättyä kuitu- ja energiapuuta ja puolet Venäjältä tuotua koivukuitupuuta. 50 %:n koeajomallin akseptin osuus oli huomattavan korkea ottaen huomioon haketettavan puun järeysluokan. Akseptin osuuteen vaikuttaa hetkittäinen haketuskapasiteetti, joka oli 50 %:n koeajomallin näytteenoton aikana keskimääräistä arvoa korkeampi (kuva 17). Akseptin alhaisin osuus oli 77,9 %. Osuus saatiin aikaiseksi 100 %:n koeajomallilla, jolloin kaikki haketettava puu oli pieniläpimittaista kuitu- ja energiapuuta. 100 %:n koeajomallin näytteenoton aikana koeajojen hetkittäinen haketuskapasiteetti oli huomattavan alhaisella tasolla johtuen pieniläpimittaisesta puusta syntyvästä vähäisestä haketuksen saannosta (kuva 17). Hakkeen palakokojakaumaa voidaan pitää erittäin hyvälaatuisena vertailemalla koeajomalleista saatuja jakaumia kuorimon normaalista ajotilanteesta saatuihin palakokojakauman osuuksiin.

Hakkeen kuiva-ainepitoisuudet eri koeajomalleilla on esitetty taulukossa 6. Koeajojen aikana kerättyjen näytteiden keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus oli 56,9 %, jota voidaan pitää hyväksyttävänä tuloksena jatkoprosessin suhteen. Hakkeen ideaali kuiva-ainepitoisuus olisi ollut välillä 50 – 54 %, jolloin

keittoprosessissa käytettävien kemikaalien imeytyminen olisi optimaalista. Liian kuivalla hakkeella keittokemikaalien imeytyminen vaikeutuisi ja itse keittoprosessista muodostuisi epätasaisempi. Kuiva-ainepitoisuuden vaihteluilla olisi vaikutuksensa myös hakeruuvien täyttöasteeseen ja tätä kautta valmistettavan sellun kappalukuun. Kappaluvulla mitataan massan ligniinipitoisuutta. Hakkeen kuiva-ainepitoisuuteen vaikuttaa paljolti kaadetun puun kaatoaika vuodenajasta riippuen, varastointiaika ennen haketusta ja varastointitapa. Tutkimus suoritettiin keväällä 2010 touko-kesäkuun aikana, jolloin puun kuivuminen oli voimakkainta johtuen keväällä vallitsevasta suhteellisen alhaisesta ilmankosteudesta ja vähäisistä sademääristä muihin vuodenaikoihin verrattuna. Puuta varastoitiin tienvarsivarastolla leimikon reunassa noin kuukausi ja sellutehtaan kuorimon puuterminaalissa avovarastossa noin viikko, jonka jälkeen ensiharvennettu puu syötettiin kuorintaprosessiin. Puun kosteuden määrää on havainnollistettu taulukossa 2 kaatotuoreen ja varastoidun puun välillä. Taulukosta voi päätellä kuivumisen olevan nopeaa heti kaatamisen jälkeen mutta hidastuvan pitemmällä aikavälillä.

Hakenäytteille suoritettujen kuivatuoretiheysanalyysien tulokset on esitetty taulukossa 7. Hakenäytteiden keskimääräinen kuivatuoretiheys oli $478,6 \text{ kg/m}^3$, joka oli Lindbladin ja Verkasalon (2001) tutkimuksen keskimääräiseen koivukuitupuuhakkeesta saatuun tulokseen (494 kg/m^3) verrattuna hieman alhaisempi, mutta kuitenkin suhteessa samalla tasolla. Hakkeen kuivatuoretiheydellä on tapana vaihdella vuodenajasta ja valtakunnallisesta sijainnista riippuen, ja sillä on merkityksensä arvioitaessa massan valmistuksen saantoa. Koivukuitupuuhakkeen kuivatuoretiheyden arvot ovat keskimäärin korkeammat Etelä-Suomessa verrattuna Pohjois-Suomesta saatuihin arvoihin. Myös puun sisältämän kuiva-aineen suhde sen tuoretilavuuteen on suurimmillaan keväällä kuivumisen ollessa voimakkainta vuodenaikaan nähden. Näin ollen tutkimuksesta saatua keskimääräistä kuivatuoretiheyden arvoa voidaan pitää normaalina energia- ja kuitupuusta valmistetulle koivupuuhakkeelle.

Koeajojen aikana tarkkailtiin kuorintaprosessista syntyviä puuhäviömääriä. Osatutkimuksen tarkoituksena oli pitää puuhun kohdistuvat menekit siedettävällä tasolla kuorittaessa pieniläpimittaista puuta. Koeajojen hetkittäinen korkein puuhäviömäärä mitattiin koeajojen alussa (kuva 17) ajassa 09.48, jolloin kuorintarummun täytösaste ei ollut vielä saavuttanut toimivan prosessin edellyttämää tasoa. Tällöin kuorimarummun sisältämä vähäinen puuaineksen määrä aiheutti piikin puuhäviömääriin. Koeajojen keskimääräinen puuhäviömäärä käyttöajalla oli noin 1,3 % ja puuhäviömäärän vaihteluväli oli varsin laaja, 0,5 - 3,2 % (taulukko 4). Tehollisena aikana keskimääräinen puuhäviömäärä oli 1,2 % ja puuhäviömäärän vaihteluväli oli 0,5 - 2,0 % (taulukko 5). Puuhäviöiden pudonnut keskimääräinen arvo tehollisena aikana ja vaihteluvälin huomattava pieneneminen kertoo prosessin parantuneesta toimivuudesta. Myös tehollisena aikana mitattu keskimääräinen 1,2 %:n puuhäviömäärä on hyväksyttävällä tasolla ottaen huomioon kuorintaprosessissa tapahtuvat vaihtelut puun järeysluokassa kuitu- ja energiapuun välillä sekoitus-suhteita käytettäessä.

Puuhäviöosuuksia tarkkailtiin myös laboratoriokokeiden avulla. Taulukossa 9 on esitetty koeajoissa syntyneitä puuhäviöosuuksia tulevan puuaineksen arvioiduilla kuoripitoisuuksilla. Puuhäviöosuudet vaihtelivat huomattavan paljon riippuen arvioidusta puun kuoripitoisuudesta koeajomallien keskimääräisen vaihteluvälin ollessa 0,6 %. Laboratoriokokeista saatuja puuhäviöosuuksia vertailtiin koeajoista saatuun prosessidataan niiltä ajoilta, jolloin kuoresta otettiin näytteitä koeajojen aikana. Puuhäviöosuuksia vertailtaessa toisiinsa huomattiin tulevan puun 9 %:n kuoripitoisuudella laskettujen puuhäviöosuuksien olevan lähes yhteneväisiä prosessidatasta saatuihin mittausarvoihin. Tämä viittaisi tulevan puun kuoripitoisuuden olleen koeajojen aikana lähempänä 9 % kuin 12 %. Yleisesti ottaen puun kuoripitoisuutta on käytännössä mahdotonta mitata reaaliaikaisesti ja sen tiedetäänkin vaihtelevan puun kasvuiästä ja valtakunnallisesta sijainnista riippuen. Tästä syystä tulevan puun arvioitua 9 %:n kuoripitoisuutta on pidettävä koeajokohtaisena osuutena eikä sitä ole näin ollen tarkoitettu yksiselitteiseksi käsitteeksi.

Kuvassa 23 on havainnollistettu kuorikuljettimen kuori- ja puumääriä eri koeajomallien aikana. Kuvasta voi silmämääräisesti huomata puuhäviöosuuden olleen pienimmillään 50 %:n koeajomallilla ja korkeimmillaan 100 %:n koeajomallilla. Kuorivirrasta otetut kuvat tukevat kuorimon automaatiojärjestelmästä saatua prosessidataa ja laboratoriokokeista saatuja tuloksia kuorinnasta aiheutuvista puuhäviömääristä.

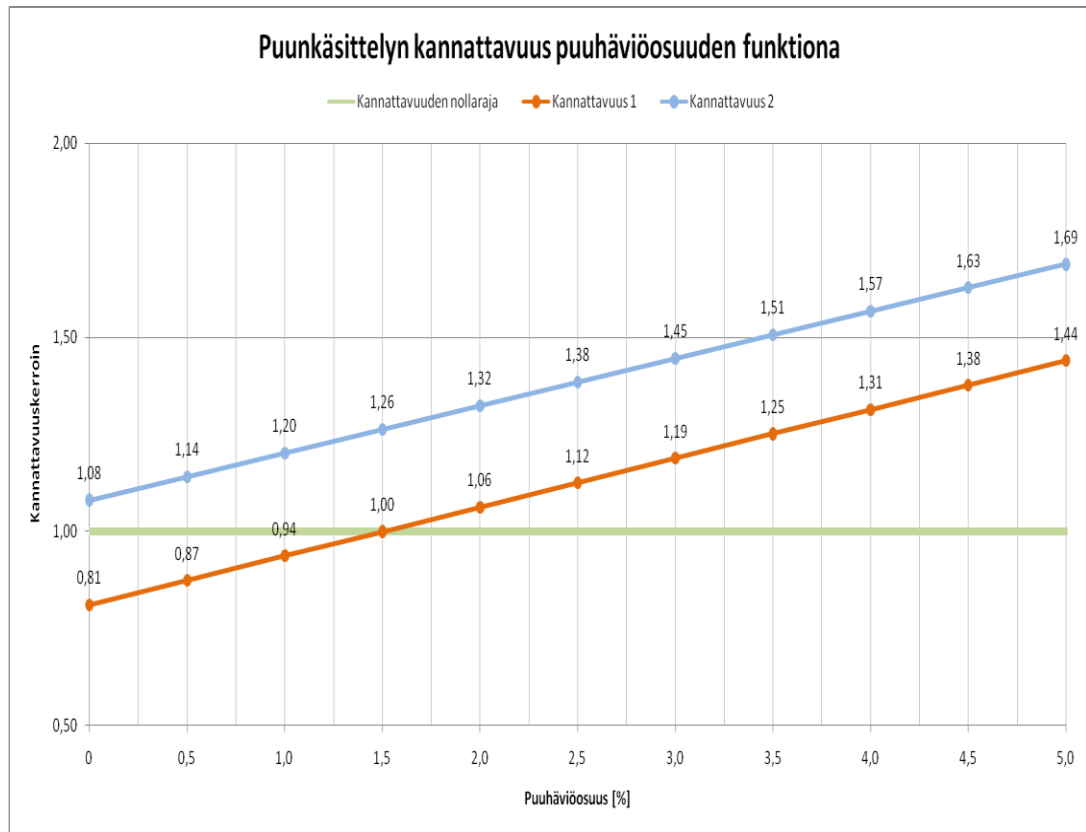
Kuoren kuiva-ainepitoisuutta on havainnollistettu taulukossa 10. Kuoren kuiva-ainepitoisuudella on merkittävä vaikutus siitä saatavaan lämpöenergiämäärään. Tutkimuksessa määritetty kuoren keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus oli 56,2 %, jota voidaan pitää erittäin korkeana arvona kuoren poltto-ominaisuuksia ajatellen. Näin ollen polttoon menevä energijakeen sisältämä kuiva-aineen määrä oli suuri ja tällöin myös poltosta saatava energiataloudellinen hyöty oli suhteellisen suuri.

13.4.2 Puunkäsittelyn kustannukset ja energijakeen arvo

Prosessoidun puuraaka-aineen kustannusarvio perustui puunkäsittelyssä työskentelevien esimiesten tekemään arvioon, joka perustui kokemusperäiseen tietämykseen ja luvussa 12.4.4 ilmoitettuihin puuterminaaliin ja kuorimoon liittyviin osatekijöihin. Kustannusarviota ei näin ollen voida pitää tarkkana tutkimukseen perustuvana tietona, vaan sitä on käsiteltävä suuntaa antavana lukuna, jonka arvo vaihtelee edellämainittujen yksikkötekijöiden mukaan.

Energijakeen arvoa laskettaessa käytettiin arvioituja puun kuoripitoisuuden osuuksia ja koeajomalleista kerättyjen hake- ja kuorinäytteiden keskimääräisiä laboratorio-olosuhteissa määritettyjä mittaustuloksia. Tässäkin tapauksessa lasketut arvot perustuivat vain yksittäiseen, koeajojen aikana prosessissa vallinneeseen tilanteeseen, eikä tulosten voida tästä syystä olettaa täysin soveltuvan jokapäiväiseen prosessitilanteeseen jatkuvasti muuttuvien puuraaka-aineen ominaisuuksien vuoksi.

Kuviossa 18 on kuvattu puunkäsittelyn kannattavuutta puuhäviöosuuden kannalta kannattavuuskertoimen avulla. Kannattavuuskerroin saadaan jakamalla prosessista saatu hyöty, tässä tapauksessa energiajakeen arvo, puunkäsittelystä aiheutuville kokonaiskustannuksilla.



Kuvio 18. Puunkäsittelyn kannattavuus puuhäviöosuuden funktiona

Kannattavuuden nollarajalla tarkoitetaan tilannetta, jolloin puunkäsittelystä muodostuneet kustannukset olisivat yhtä suuret energiajakeesta saatavan hyödyn kanssa. Kannattavuus 1 kuvaa puunkäsittelyn kannattavuutta puuhäviöosuuden kannalta tulevan puuraaka-aineen 9 %:n kuoripitoisuudella ja kannattavuus 2 kuvaa samaa arvoa 12 %:n kuoripitoisuudella.

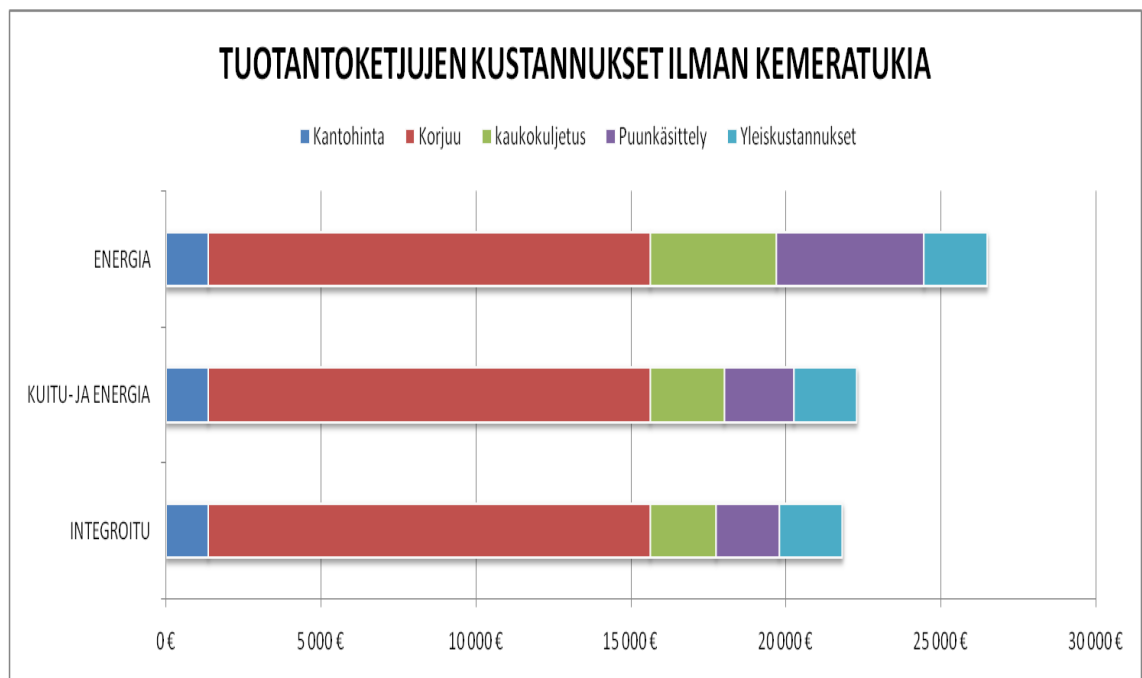
Koeajojen keskimääräiset puuhäviöosuudet sekoitussuhteilla prosessoidulle kuitu- ja energiapuulle olivat 1,6 % - 2,2 % (taulukko 9). Kuviossa 18 esitettyjen kuvaajien perusteella puunkäsittelyn kannattavuuskerroin olisi tällöin ollut keskimäärin välillä 1 - 1,34 riippuen prosessoidun puuraaka-aineen sisältämästä kuoripitoisuudesta. Kertoimesta päätellen puunkäsittelyyn liittyvien

yksikköprosessien kannattavuutta voidaan pitää positiivisena käsiteltäessä järeysluokittain vaihtelevaa kuitu- ja energiapuuta. Energiajakeen arvolle ja tätä kautta puunkäsittelyn kannattavuudelle oleellisinta oli koeajoissa käsitelty puulaji, sen sisältämä kuoren osuus puuraaka-aineen kokonaismäärästä ja energiajakeen sisältämän veden määrä polttoprosessin aikana. Koeajoissa prosessoidulla koivukuitu- ja energiapuulla ja sen kuorella tiedetään olevan havupuihin verrattuna hieman korkeampi lämpöarvo johtuen koivupuun korkeammasta tiheydestä. Tästä syystä koivupuusta ja sen kuoresta saatava poltollinen hyöty on korkeampi havupuihin verrattuna. Nykyaikaisilla kuoripuristimilla kuoren ja puun sisältämä kosteus on mahdollista puristaa polton kannalta hyväksyttävälle tasolle, kuten puristimien jälkeen kerättyjen kuorinäytteiden kuiva-ainepitoisuuksista voidaan huomata (Taulukko 10). Kuiva-ainepitoisuuksia vertailtaessa metsässä suoritettujen kosteuspitoisuusmittauksien tuloksiin (taulukko 2) huomataan, että puuaineksen ja kuoren kuiva-ainepitoisuus on hieman vähentynyt tienvarsivarastoinnin ja puunkäsittelyssä tapahtuneen puun prosessoinnin välisenä aikana. Tämän arvioidaan johtuvan puun kastelemisesta kuorimon sulatuskuljettimella kuorintaprosessin aikana. Kosteuspitoisuuden pienet eroavaisuudet tienvarsivaraston ja tehtaan välillä voivat johtua myös keskiarvona lasketuista suureista.

13.5 Tuotantoketjun kustannusrakenne

Tutkimuksessa tarkasteltua tuotantoketjua ja sen kustannusrakennetta vertailtiin muihin metsäenergian tuotantoketjuihin Excel-pohjaisella laskentamallilla. Tällä tavalla pyrittiin saamaan kuva ketjujen erillisuudesta ja havainnollistamaan siihen vaikuttavia tekijöitä. Tuotantoketjua vertailtiin ensiksi metsäenergian tuotantoon, jossa ensiharvennus suoritetaan joukkokäsittelyhakkuuna ja kaikki ensiharvennukselta kerätty kuitu- ja energiapuu haketetaan metsätien varressa hakkurihakeautolla ja kuljetetaan tämän jälkeen sellutehtaan voimalaitokselle energiantuotantoon. Toisessa vertailussa tuotantoketjua vertailtiin tyypilliseen puunhankintaketjuun, jossa ensiharvennus suoritetaan joukkokäsittelyhakkuuna ja kuitu- ja energiaosite jaetaan omiin kasoihinsa metsäkuljetuksen aikana.

Tienvarsikasalta kuitupuuosite kuljetetaan puunkuljetusrekoilla sellutehtaan puunkäsittelyyn kuidutukseen ja energiapuuosite haketetaan metsässä hakkurihakeautolla ja viedään sellutehtaan voimalaitokselle energiantuotantoon. Tutkimuksen testileimikolla ei voitu hyödyntää kestävän metsätalouden rahoituslakia, sillä metsänomistaja ei ollut yksityinen henkilö. Tuotantoketjujen tarkastelut suoritettiin kuitenkin myös KEMERA-tuen kanssa, jotta saataisiin kuva tukien vaikutuksesta eri tuotantoketjuilla. Laskennassa ei ole otettu huomioon, mille osapuolille mitkään tuet ohjautuisivat. Kuviossa 19 on esitetty tutkitun ja kahden vertailuksi tehdyn tuotantoketjun kustannusrakenne samalta leimikolta ilman KEMERA-tukea.



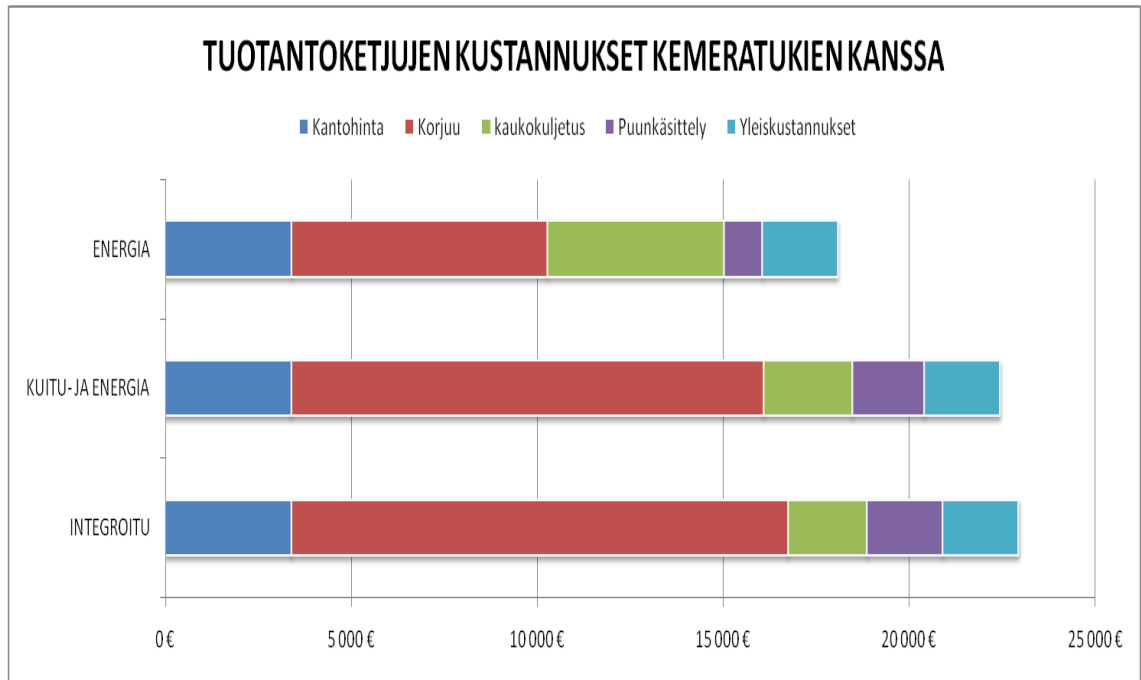
Kuvio 19. Tuotantoketjujen kustannusrakenteet ilman KEMERA-tukea

Tuotantoketjujen yksikkökustannukset ilman KEMERA-tukea olivat seuraavanlaiset: Kantohinta $2\text{€}/\text{m}^3$, korjuu $21\text{€}/\text{m}^3$, kaukokuljetus puunkuljetusautolla $3,7\text{€}/\text{tn}$, kaukokuljetus hakkurihakeautolla $7\text{€}/\text{m}^3$, puunkäsittely kuorimolla $3\text{€}/\text{m}^3$ sisältäen terminaalikustannuksen ja kuorimokustannuksen, haketus hakkurihakeautolla $6\text{€}/\text{m}^3$ ja yleiskustannus $3\text{€}/\text{m}^3$. Yleiskustannuksilla tarkoitetaan organisaation toiminnasta aiheutuvia kuluja, kuten esimerkiksi toimihenkilöiden palkkoja. Tuotantoketjujen

kokonaiskustannukset olivat ilman KEMERA-tukea seuraavanlaiset: "Energia" ketjulla 26 500 €, "Kuitu- ja energia" ketjulla 22 294 € ja "integroitu" ketjulla 21 828 €.

Ketjujen kustannusrakenteista huomataan integroinnilla olevan pienimmät kokonaiskustannukset etenkin "energia"-tuotantoketjuun verrattuna, jossa kaikki harvennettu puu käytettäisiin energiantuotantoon. Tämä johtuu tienvarsihaketuksen ja hakkeen kaukokuljetuksen korkeammista yksikkökustannuksista verrattuna rankojen kaukokuljetukseen ja kuorimohaketukseen. "Kuitu- ja energia"-ketjussa energiapuun osuuden leimikolta kerätystä puuraaka-aineesta on arvioitu olevan 10 %, joka puolestaan nostaa tuotantoketjun kokonaiskustannuksia edellä mainitusta energiantuotannon korkeammasta kustannustasosta johtuen. Tässä tapauksessa tuotantoketjun kokonaiskustannukset ilman KEMERA-tukia liikkuvatkin "energia"- ja "integroitu"-ketjujen kokonaiskustannusten välimaastossa riippuen energiapuukertymän osuudesta hakkuun kokonaiskertymästä.

Kuviossa 20 on esitetty samat tuotantoketjujen kustannusrakenteet KEMERA-tukien kanssa. Erona ilman KEMERA-tuen osuutta tehtyyn tarkasteluun on kantohinnan nousu, joka on arvioitu olevan tukien kanssa 5 €/m³. Tuotantoketjujen kokonaiskustannukset olivat KEMERA-tuen kanssa seuraavanlaiset: "Energia"-ketjulla 18 096 €, "Kuitu- ja energia"-ketjulla 22 459 € ja "integroitu"-ketjulla 22 964 €.



Kuvio 20. Tuotantoketjujen kustannusrakenteet KEMERA-tuen kanssa

Vertailemalla kuvioita 19 ja 20 on helppo huomata KEMERA-tukien vaikutus kokonaiskustannuksiin ja myös tuotantoketjujen kustannusrakenteeseen. KEMERA-tuki koostuu nuoren metsän hoitotuesta, energiapuun korjuutuesta, energiapuun haketustuesta ja tukien toteutusselvityksiin myönnettävistä tuista. ”Energiä”-ketjulle on myönnetty oletuksena maksimi KEMERA-tuki, jonka osuus olisi 31,7 % tuotantoketjun kokonaiskustannuksista. Tukien tuoma helpotus kustannuksiin on merkittävä. 21,6 % tuesta ohjautuu nuoren metsän hoitamiseen, 49,1 % energiapuun korjuuseen ja 29,3 % energiapuun haketukseen. ”Kuitu- ja energia”-ketjulla tukien osuus on pienempi johtuen energiapuun vähäisestä 10 %:n osuudesta. Tässäkin tapauksessa tuotantoketjun kokonaiskustannukset liikkuvat ”energia”- ja ”integroitu”-ketjujen välimaastossa riippuen energiapuukertymän osuudesta hakkuun kokonaiskertymästä. Integroidulle tuotannolle olisi mahdollista hakea ainoastaan nuoren metsän hoitotukea hakkuupinta-alalle, jolla tuen edellyttämät kriteerit täyttyvät. Tuotantoketjulle ei saada energiapuun korjuutukea, sillä kaikki harvennettu puu kasataan yhteen kasaan korjuutyön helpottamiseksi, eikä energiapuun osuutta voida näin ollen määrittää. Energiapuun haketukseen ei myöskään saataisi haketustukea, sillä metsähakkeen käytöstä

energiantuotantoon olisi tehtävä kirjallinen selvitys. Selvitystä ei voida integroinnissa tehdä, sillä energiajake erottuu kuitupuuositteesta vasta puunkäsittelyn kuorimaprosessissa eikä sen osuutta voida luotettavasti arvioida.

Taulukossa 14 on tarkasteltu tuotantoketjuista muodostuvia keskimääräisiä kustannuksia kuutiota kohden ja ketjujen kannattavuuskerroimia. Keskimääräinen kustannus kuutiota kohden on saatu aikaiseksi jakamalla kokonaiskustannukset harvennukselta saadulla kuutiomäärällä. Kannattavuuskertoimet laskettiin jakamalla tuotantoketjusta saatavat kokonaistulot sen toiminnasta aiheutuvilla kokonaiskustannuksilla. Kummatkin tarkastelut on tehty ilman KEMERA-tukea ja KEMERA-tuki huomioiden.

Taulukko 14. Tuotantoketjujen keskimääräinen kustannus kuutiota kohden ja kannattavuuskerroin

Tuotanto	Keskimääräinen kustannus ei KEMERA [€/m³]	Keskimääräinen kustannus KEMERA [€/m³]	Kannattavuus kerroin ei KEMERA	Kannattavuus kerroin KEMERA
Energia	39	26,6	1,05	1,53
Kuitu- ja energia	32,81	33,05	4,39	4,36
Integroitu	32,12	33,80	4,86	4,62

”Energia”-ketjun metsähakkeen arvo laskettiin kahdella eri kosteuspitoisuudella, jotta saataisiin kuva kuivatuksesta saatavasta hyödystä. Ensimmäinen kosteuspitoisuus oli 43,8 %, joka vastasi puunkäsittelyjen koeajoista käytettyä kuivatusaikaa. Toinen kosteuspitoisuus oli 30 %, joka vastasi useamman kuukauden ajan kuivattua puun kosteutta. Hakkeen arvoksi laskettiin ensimmäisellä kosteuspitoisuudella 23 727 € ja toisella kosteuspitoisuudella 27 736 €. Kuivatuksen arvoksi muodostui näin ollen 4009 €, joka tarkoittaa hakkeen arvossa 14,5 %:n nousua. ”Kuitu- ja energia”-ketjun tuloksi laskettiin kuitupuusta valmistettavan sellun arvo sekä energiaositteesta valmistettavan metsähakkeen ja energiajakeen poltosta saatava hyöty. Sellutonnin käytettiin 4,2 m³ kuorellista kuitupuuta ja yhden sellutonnin arvona pidettiin 710 €

(Talous-sanomat 2010). Kuitupuun arvoksi saatiin 103 390 €. Energiajakeen ja metsähakkeen yhteisarvoksi laskettiin 4376 € energiapuuosuuden kuivattua 30 %:n kosteuspitoisuuteen. Kuivatuksen vaikutus hakkeen arvossa oli sama, kuin ”Energia”-ketjussa. ”Integroitu”-ketjun tulona pidettiin kuitupuusta valmistettavan sellun arvoa ja luvussa 12.4.4 ilmoitettua energiajakeesta saatavaa tuloa puun 9 % kuoripitoisuudella. Sellun arvoksi laskettiin 114 868 € ja energiajakeen arvoksi 3123 €.

Verrattaessa ”kuitu- ja energia”- ja ”Integroitu”-ketjun keskimääräistä kustannusta kuutiota kohden ”Energia”-ketjun vastaavaan arvoon, huomataan näissä tuotantoketjuissa olevan korkeammat kustannukset kuutiota kohden KEMERA-tukien kanssa kuin ilman niitä. Tämä johtuu paljolti KEMERA-tukien aiheuttamasta kantohinnan kasvaneesta arvosta. Tässä tapauksessa tuesta aiheutuva taloudellinen helpotus ei ole yhtä suuri kuin kantohinnasta aiheutuva kustannusten nousu. Tämä vaikuttaa myös tuotantoketjujen kannattavuuteen tuotantokustannusten noustessa kokonneen kantohinnan ansiosta. ”Energia”-ketjulla tilanne on kantohinnan osalta sama, mutta KEMERA-tukien vaikutus kokonaiskustannuksiin muodostaa tuotantoketjusta suotuisemman tukien kanssa kuin ilman niitä. Kantohinta vaihtelee puumarkkinatilanteen mukaan, joten integroinnin kannattavuuden voidaan katsoa olevan sidonnainen paljolti kantohinnassa tapahtuviin vaihteluihin. Kannattavuuskertoimia tarkasteltaessa huomataan integroidun haketuksen olevan kuitenkin tässä tapauksessa kannattavin vaihtoehto KEMERA-tuesta riippumatta.

14 YHTEENVETO

Metsiemme vuosittainen kasvu on ylittänyt puuston poistuman viimeisten vuosikymmenten aikana. Tämä on lisännyt maamme metsänhoidollisten toimenpiteiden tarvetta kasvaneiden taimikonhoito- ja ensiharvennusrästien muodossa. Hakkuualojen kasvaessa, kuljetusmatkojen pidetessä ja polttoainehinnan noustessa ongelmaksi muodostuvat tuotannosta aiheutuvat entistä korkeammat kokonaiskustannukset. Metsäenergian tuotannolle on täten löydettävä kannattavampia kokonaismuotoisia ratkaisuja taloudellisesti hyväksyttävän toiminnan edellytyksenä. Yhtenä lupaavana toimintamallina kuitu- ja energiapuun yhteishankinnalle voidaan pitää opinnäytetyössä tutkittua integroitua haketusta.

Tutkimusleimikolle suoritettut aikaisemmat hoitotoimenpiteet vähensivät energiapuukertymää välipuiden pienen määrän vuoksi, mutta kasvattivat joukkokäsittelyominaisuuden osuutta hakkuutapana. Joukkokäsittelyä käytettiin runsaasti hakkuutyön aikana. Tähän vaikutti paljolti edellä mainittu puuston hyvä metsänhoidollinen tila ja tasajakoisuus, jolloin puunippujen käsitteleminen onnistui helpommin ja joukkokäsittelyominaisuutta voitiin käyttää kannattavuutta parantavalla tavalla. Joukkokäsittelyä voidaan näin ollen pitää toimivana harvennushakkuumenetelmänä nuoren metsän hoitokohteilla. Ensiharvennushakkuun vaikutuksesta leimikolle jäävän puuston järeysluokka kasvoi ja hehtaariohtainen runkoluku oli Tapion harvennusmallien mukaisella tasolla. Myös valtapuuston asema vahvistui alueella kasvatettavana puulajina. Tästä pääteltiin harvennushakkuun onnistuneen tavalla, jolla leimikolle jäävällä puustolla on edellytykset kasvaa tulevaisuudessa järeäksi koivukuitu- ja tukkipuiksi.

Kuormainvaakamittauksen arvioidaan yleistyvän tulevaisuudessa puutavaralajien mittausmenetelmänä sen käytännöllisyyden ansiosta. Tämä edellyttää kuitenkin kuormainvaakamenetelmän riittävää mittaustarkkuutta. Tutkimuksessa muodostunut mittausmenetelmän korkea virheprosentti antoi aiheita huoleen mittausmenetelmän toimivuudesta. Toimivan mittauksen

edellytyksenä mainittakoon oikeaoppinen mittaustapa ja vaa'an säännöllinen kalibroiminen.

Kuorimolla suoritettavat koeajot onnistuivat halutulla tavalla. Tämä johtui paljolti puunkäsittelyn sisältävien yksikköprosessien sujuvuudesta ja eri tahojen välisestä yhteydenpidosta. Ensiharvennettu kuitu- ja energiapuu kuoriutui hyvin. Kuoriutumisen onnistumiseksi puun syötön on oltava tasaista, prosessiin sekoitettava kuitupuu ei saa olla liian järeää ja puuraaka-aineen tulee olla suhteellisen tuoretta. Viimeksi mainittu tekijä vaikuttaa paljolti myös koko tuotantoketjun toimivuuteen. Liian kuivunutta kuitu- ja energiapuuta ei kannata enää käyttää sellutehtaan kuorinta- ja haketusprosessissa kuoriutuvuuden heikentyessä, vaan käyttää se ennemminkin metsähakkeen tuotannossa sen kohonneen lämpöarvon vuoksi. Sekoitus-suhteet todettiin toimiviksi etenkin 50 %:n energia- ja kuitusekoituksella sillä edellytyksellä, ettei sekoitettava kuitupuu ollut liian järeää. Liian suuret järeysluokan vaihtelut luovat prosessiin ongelmia tukosten ja tuotannonkatkosten muodossa. Energia- ja kuitupuun osuuksia integroidussa haketuksessa tulisikin tutkia tarkemmin, jotta kuorimoprosessien toimivuudelle löydettäisiin niille olennaiset rajapinnat.

Integroidun tuotantoketjun kokonaiskustannukset muodostuivat muita tutkittuja metsäenergiaketjuja pienemmiksi kaukokuljetuksesta ja puunkäsittelystä aiheutuvien matalampien kustannusten ansiosta. Tuotantoketjun heikkoutena huomattiin olevan sen KEMERA-kelpaamattomuus energiapuun korjuun ja haketuksen kannalta. Vaikkakin tukien vähäinen määrä heikensi huomattavasti ketjun kannattavuutta, kannattavuuskertoimen todettiin olevan silti tutkittujen tuotantoketjujen korkein. Tutkimuksesta saaduista korjuun, kaukokuljetuksen ja puunkäsittelyn tuloksista päätellen integroitua haketusketjua kannattaa soveltaa etenkin pienillä, hyvin hoidetuilla nuoren metsän hoitokohteilla, joilta kertyy kuitupuun lisäksi myös vähäisiä määriä energiapuumittaista puutavaraa. Suurella energiapuumäärällä voi olla negatiivinen vaikutus kaukokuljetuksen ja puunkäsittelyn aikana puiden pirstoutuessa järeysvaihtelujen vuoksi. Pitemmällä kaukokuljetusmatkalla lisätään tuotantoketjun kannattavuutta muihin työssä mainittuihin metsäenergiaketjuihin verrattuna.

KUVAT

Kuva 1. Stora Enson Imatran tehtaat, s 29

Kuva 2. Puunkäsittelyn yleistoimintakaavio, s 30

Kuva 3. Kaukopään kuorimon 1- linjan kuorimarumpu, s 33

Kuva 4. Vaakasyöttöinen kuorimurskain, s 36

Kuva 5. Rumpupuristimen toimintaperiaate, s 37

Kuva 6. Stora Enso kaukopään kuorimon 3-linjan pystysyöttöinen allepurkava kiekkohakku, s 38

Kuva 7. Hakkeen mudostuminen, s 39

Kuva 8. Reikärakoseulan rakenne, s 41

Kuva 9. Puunkäsittelyn materiaalivirrat, s 43

Kuva 10. John Deeren 1170E harvesteri kuitupuuvoittoisella tutkimuskuviolla, s 50

Kuva 11. John Deeren H414 harvesteripää, s 50

Kuva 12. John Deeren 1010E metsätraktori, s 51

Kuva 13. Esimerkki tienvarsivarastosta, s 52

Kuva 14. Ensiharvennetun kuitu- ja energiapuun varastopino puuterminaalissa, s 53

Kuva 15. JK-nippu puunsiirtokoneen pihdeissä, s 60

Kuva 16. Kaukopään kuorimon 3-linjan sulatuskuljetin ja puunsiirtokone, s 61

Kuva 17. Koeajojen aikana kerätyn prosessidatan vaihteluvälit käyttöaikana 3-linjan kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista, s 74

Kuva 18. Koeajojen aikana kerätyn prosessidatan vaihteluvälit tehollisena aikana 3-linjan kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista, s 75

Kuva 19. 25 %:n koeajomallin puuvirta, s 76

Kuva 20. 33 %:n koeajomallin puuvirta, s 76

Kuva 21. 50 %:n koeajomallin puuvirta, s 77

Kuva 22. 100 %:n koeajomallin puuvirta, s 77

Kuva 23. 20 %:n, 33 %:n, 50 %:n ja 100 %:n koeajomallien kuorivirta, s 80

Kuva 24. Kuvion 297 puusto ennen ja jälkeen hakkuun, s 89

KUVIOT

Kuvio 1. Puuperäisten polttoaineiden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta 2007, s 9

Kuvio 2. Puuston kasvu ja poistuma vuosina 1935 – 2007, s 13

Kuvio 3. Ensiharvennushakkuut 1995 – 2008, s 16

Kuvio 4. Ensiharvennushakkuiden keskimääräinen yksikkökustannus vuosina 2000 - 2008, s 17

Kuvio 5. Metsähakkeen toteutunut käyttö ja tavoitteet, s 20

Kuvio 6. Puun kaukokuljetuksen keskimääräiset yksikkökustannukset 1985 – 2008, s 23

Kuvio 7. Kuoren tehollisen lämpöarvon riippuvuus kuiva-ainepitoisuudesta, s 45

Kuvio 8. Tutkimusleimikon keskiläpimitta kuvioittain ennen ja jälkeen hakkuun, s 64

Kuvio 9. Tutkimuskuvioitten runkoluku ennen ja jälkeen hakkuun, s 65

Kuvio 10. Hakkuun hehtaarikohtainen poistuma tutkimuskuvioittain, s 66

Kuvio 11. Hakkuun poistuman keskitilavuus tutkimuskuvioittain. s 66

Kuvio 12. Hakkuun kertymä tutkimuskuvioittain, s 67

Kuvio 13. Hakkuun hehtaarikohtainen kertymä, s 67

Kuvio 14. Tutkimusleimikon puulajisuhteet kuvioittain ja keskiarvallisesti ennen hakkuuta, s 68

Kuvio 15. Tutkimusleimikon puulajisuhteet kuvioittain ja keskiarvallisesti hakkuun jälkeen, s 68

Kuvio 16. koeajomallien hakkeen palakokojakaumat, s 78

Kuvio 17. Energiajakeen arvo prosessoitua kiintokuutiometriä kohden puuhäviöosuuden funktiona, s 86

Kuvio 18. Puunkäsittelyn kannattavuus puuhäviöosuuden funktiona, s 103

Kuvio 19. Tuotantoketjujen kustannusrakenteet ilman KEMERA-tukea, s 105

Kuvio 20. Tuotantoketjujen kustannusrakenteet KEMERA-tukien kanssa, s 107

TAULUKOT

Taulukko 1. Joukkokäsittelymenetelmän osuus hakkuun aikana eri korjuumenetelmillä, s 69

Taulukko 2. Ensiharvennukselta kaadettujen puiden keskimääräinen kosteuspitoisuus eri ajankohtina, s 69

Taulukko 3. Kaukokuljetuksen suoritteet, s 70

Taulukko 4. Kuorimon koeajoista kerätty prosessidata käyttöaikana kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista, s 72

Taulukko 5. Kuorimon koeajoista kerätty prosessidata tehollisena aikana kuorimarummun täytösasteesta, portin asennosta, kuorimarummun pyörimisnopeudesta, puuhäviöistä, kuoripitoisuudesta ja haketuskapasiteetista, s 74

Taulukko 6. Hakkeen kuiva-ainepitoisuus eri koeajomalleilla, s 79

Taulukko 7. Hakkeen keskimääräiset kuivatuoretiheydet koeajomallikohtaisesti, s 79

Taulukko 8. Kuoripuristimen jälkeiseltä näytteenottopaikalta kerättyjen kuorinäytteiden kuoren ja puun osuudet, s 80

Taulukko 9. Puuhäviöosuudet kuoritusta puusta 9 % ja 12 % tulevan puun kuoripitoisuudella, s 81

Taulukko 10. Kuorinäytteiden kuiva-ainepitoisuus eri koeajomalleilla, s 81

Taulukko 11. Tulevan puuaineksen puun, kuoren ja puuhäviöosuuden tilavuudet, s 83

Taulukko 12. Tulevan puuaineksen sisältämän puun ja kuoren sekä kuorinnassa syntyneiden puuhäviöiden tuoremassat, s 84

Taulukko 13. Inventoinnin yhteenveto, s 87

Taulukko 14. Tuotantoketjujen keskimääräinen kustannus kuutiota kohden ja kannattavuuskerroin, s 108

LÄHTEET

Bioenergia 2009. Puuston kasvu ja poistuma.

http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiaa_metsasta/metsien_kasvu/ (Luettu 27.3.2010)

Bioenergia 2010. Energiaa metsästä.

http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta/energiaa_metsasta/ (17.7.2010)

Bioenergia 2010. Tuotantoketjut.

http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/perustietoa_bioenergiasta/polttoainet/metsahake/tuotantoketjut/ (Luettu 16.4.2010)

Energiateollisuus ry. Päästökauppa.

<http://www.energia.fi/fi/ymparisto/paastokauppa> (Luettu 25.4.2010)

Finlex 2007. Kestävän metsätalouden rahoituslaki 11.5.2007/544.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2007/20070544> (Luettu 14.4.2010)

Heikkilä, J. Laitila, J. Tantt, V. Lindblad, J. Sirén, M. Asikainen, A. Pasanen, K. & Korhonen, T. 2005. Metsäntutkimuslaitos. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf> (Luettu 6.12.2010)

Hynynen, J. 2009. Metsäntutkimuslaitos. Taimikoiden käsittelyvalinnat ja niiden valinnat. <http://www.metla.fi/uutiskirje/vmi/2009-01/uutinen-3.html> (Luettu 20.7.2010)

John Deere 2010. 1010E.

http://www.deere.fi/fi_FI/equipment/forestry/forwarders/1010e.html (Luettu 29.7.2010)

John Deere 2010. 1170E.

http://www.deere.fi/fi_FI/equipment/forestry/harvesters/1170e.html (Luettu 29.7.2010)

John Deere 2010. H414.

http://www.deere.fi/fi_FI/equipment/forestry/harvester_heads/h414.html (Luettu 29.7.2010)

Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P. & Räsänen, T. 2009. Metsäteho. Puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020.

http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_09_Puupolttoaineiden_saatavuus_ja_kaytto_kk.pdf (Luettu 5.4.2010)

- Kärhä, K. Högnäs, T. Kumpare, T. Kovettu, A & Mutikainen, A. 2009. Metsäteho. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2009.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_05_Ponsse_H53e_kk.pdf (Luettu 18.7.2010)
- Kärhä, K., Mutikainen, A., Keskinen, S. & Petty, A. 2010. Metsäteho tuloskalvosarja Integroidusti vai erilliskorjuuna – koko vai rankapuuna?
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_02_Integroidusti_vai_erilliskorjuuna_kk_1.pdf (Luettu 14.4.2010)
- Kärhä, K. Peltola, J. Korpilahti, A. Poikela, A & Liikkanen, R. 2003. Metsäteho. Uusia laitteita energia- ja ainespuun korjuuseen nuorista metsistä.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_164.pdf (Luettu 20.4.2010)
- Laitila, J. Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset.
http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf (Luettu 9.12.2010)
- Laitinen, A. 2005. Mikkelin kaupungin julkaisuja 5/2005. Puuta polttavien 5 – 50 MW:N laitosten hiukkaspäästöistä ja niiden leviämisestä.
http://www.mikkeli.fi/fi/liitteet/02_palvelut/03_ymparisto/13_ymparistonsuojelu/in_sinoorityo.pdf (Luettu 17.11.2010)
- Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff01/ff013411.pdf> (Luettu 20.9.2010)
- Luukkainen, S. 2005. Kuorimon automaatiojärjestelmän optimointi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.
- Maa- ja metsätalousministeriö. Metsän kasvatukseen ja uudistamiseen liittyvää sanastoa.
http://www.mmm.fi/attachments/metsat/newfolder/5preu8m47/Uusi_sanasto.pdf (Luettu 15.7.2010)
- Maa- ja metsätalousministeriö 2008. Bioenergia maa- ja metsätaloudessa.
<http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/maatjulkaisut/5xAwVwfhQ/bioenergiamuistio.pdf> (Luettu 17.7.2010)
- Maa ja metsätalousministeriö 2008. Kansallinen metsäohjelma (KMO) 2015.
http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/Kansallinen%20mets%C3%A4ohjelma%202010%20%28KMO%29/Documents/Kansallinen_metsaohjelma_2015_periaatepaatos_20080327.pdf (Luettu 19.4.2010)

Maa- ja metsätaloustuottajain keskusliitto 2010. Bioenergian lisäämiseksi tarvitaan välittömiä käytännön toimia.

http://www.mtk.fi/mtk/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotteet_2010/maaliskuu/fi_FI/bioenergia_toimet/ (Luettu 4.5.2010)

Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto 2010. Energiapuu nosteessa.

http://www.mtk.fi/metsa/puukauppa/energiapuu/fi_FI/energia/ (Luettu 18.7.2010)

Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto 2010. Kestävän metsätalouden rahoituslaki.

http://www.reppu.mtk.fi/metsa/hoito/metsanhoidon_tuet/fi_FI/kemera/ (Luettu 14.4.2010)

Melkas. T. 2010. Kuormainvaa'alla tehokkuutta puutavaramittaukseen.

Bioenergia 5/2010, 8 – 9.

Metsäkeskus 2009. Ensiharvennus.

http://www.metsakeskus.fi/web/fin/metsaneuvot/hakkuut_ja_metsanhoito/ensiharvennus/etusivu.htm (Luettu 22.3.2010)

Metsäntutkimuslaitos 2007. Valtakunnan metsien inventointi (VMI)

<http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/info.htm> (Luettu 20.3.2010)

Metsäntutkimuslaitos 2008. Metsätilastollinen vuosikirja.

http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2008/vsk08_06.pdf (Luettu 17.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos 2009. Metsäteollisuus.

http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2009/vsk09_10.pdf (Luettu 18.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos 2009. Metsätilastollinen vuosikirja.

http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2009/vsk09_03.pdf (Luettu 11.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos 2010. Metsätilastotiedote 16/2010, 28.4.2010.

<http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2010/puupolttoaine2009.htm> (Luettu 11.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos 2010. Puun energiankäyttö.

<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/laatu/puupolttoaine.htm> (Luettu 2.7.2010)

Metsäntutkimuslaitos & Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008.

Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset.

http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf (Luettu 28.7.2010)

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. 2. Painos. Helsinki: Metsäkustannus Oy.

- Metsävastaa.fi 2009. Energiapuun korjuun korjuutuki.
http://www.metsavastaa.net/energiapuun_korjuu (Luettu 20.4.2010)
- Metsävastaa.fi 2009. Toteutusselvitys.
<http://www.metsavastaa.net/toteutusselvitys> (Luettu 20.4.2010)
- Motiva 2009. Uusiutuva energia.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia (Luettu 17.3.2010)
- Motiva 2010. Bioenergia.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia (Luettu 15.3.2010)
- Motiva 2010. Uusiutuvan energian käyttö Suomessa.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa (Luettu 15.3.2010)
- Mäkelä, M. Poikela, A & Liikkanen, R. Metsäteho 2002. Joukkohakkuu aines- ja energiapuun korjuussa.
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_137.pdf (Luettu 6.12.2010)
- Niiranen, M.. Kuusela, S.. Paloniemi, I.. Salminen, J.. Skyttä, S.. Unkuri, E. & Heimonen, E. 1984. Kuitupuun käsittely. 50. Painos. Helsinki. INSKO.
- Perho, A 2010. Nuoren metsän energiapuuharvennusten menetelmät ja kannattavuus. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Pirkanmaan metsäkeskus & Tapio 2009. Kemera-opas.
http://www.skogsbruket.fi/files/metsavastaa/pdf/amm_kemeraj.pdf (Luettu 20.4.2010)
- Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008.
http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf (Luettu 18.7.2010)
- Polttopuupörssi. Laatuvaatimukset ja mittayksiköt.
<http://www.polttopuuporssi.fi/index.php?page=2> (Luettu 15.7.2010)
- Puusta paperiin M-201 1997. Puunkäsittely. 2. painos. Hamina. Kotkan kirjapaino Ab.
- Satamaenergia Oy. Puuenergiatietoa.
<http://www.sataenergia.fi/puuenergiatietoa.html> (Luettu 6.12.2010)
- Seppälä, M.. Klementti, U.. Kortelainen, V.. Lyytikäinen, J.. Siitonen, H. & Sironen, R. 2002. Paperimassan valmistus. Saarijärvi. Opetushallitus.

Stora Enso. Päätehtävä Suomen tuotantolaitosten puuhuolto.
<http://www.storaenso.com/wood-forest/stora-enso-metsa/stora-enso-metsan-toiminta/Pages/toiminta.aspx> (Luettu 20.7.2010)

Stora Enso 2009. Tervetuloa Imatran tehtaille. <http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/imatra-mills/Pages/tervetuloa-imatran-tehtaille.aspx> (Luettu 18.7.2010)

Stora Enso 2010. Stora Enso lyhyesti. <http://www.storaenso.com/about-us/stora-enso-in-brief/Pages/Stora-Enso-lyhyesti.aspx> (Luettu 20.7.2010)

Suomen metsäyhdistys ry. Päästökaupan ensisijainen tarkoitus on säästää kustannuksia.

<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/0/0F7BAE5721BA1B2DC22572A0004B3687?Opendocument> (Luettu 22.4.2010)

Suomen Metsäyhdistys ry. Sanasto.

<http://www.forest.fi/smyforest/forest.nsf/0/C450E6F2FEE4D618C2256F3400418576?Opendocument#Kest%C3%A4v%C3%A4n> (Luettu 29.7.2010)

Talous-sanomat 2010. PIX-SELLU.

http://www.taloussanomat.fi/sivu.php?page_id=19&sym=SELLU.XXX&cat=RTE&page=basicdata (Luettu 16.12.2010)

Teknolohioteollisuus 2010. Hiilidioksidipäästöt kuriin.

<http://www.teknolohioteollisuus.fi/fi/a/hiilidioksiidip-st-t-kuriin.html> (Luettu 23.5.2010)

Upm-kymmene. Pieni metsäsanasto 2004. http://www.upm-kymmene.com/downloads/energy_and_pulp/pienimetsasanasto.pdf

(Luettu 15.7.2010)

Äijälä, O. Kuusinen, M. & Koistinen, A. 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

http://www.tapio.fi/files/tapio/Aineistopankki/Energiapuusuositukset_verkkoon.pdf (Luettu 24.10.2010)