

KUSTANNUSTEHOKKAIMMAN MENETELMÄN LÖYTÄMINEN HOITAMATTOMIEN NUORTEN METSIEN KUNNOSTUKSEEN



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Metsätalousinsinööri

Kevät 2023

Tuukka Pentti

Hoitamattoman nuoren metsän kunnostus on metsänomistajalle kallis toimenpide. Työ voidaan tehdä metsurityönä raivausharvennuksena tai energiapuuharvennuksena, jonka yhteydessä kerätään pienpuuta energiakäyttöön. Ongelmana on ollut sen rajan hahmottaminen, kumpi menetelmä on kannattavampi erityyppisissä kohteissa. Eli minkälaista puuston on oltava, että energiapuun korjuulla voidaan edes pienentää nuoren metsän kunnostuksen kustannuksia. Tämän toiminnallisen opinnäytetyön tarkoitus on selvittää mikä on metsänomistajan kannalta kustannustehokkain tapa saada hoitamaton nuori metsä hoidettua kasvukuntoon.

Teoriaosuudessa kerrotaan nuoren metsän kunnostuksesta sekä energiapuuharvennuksesta kokopuun korjuuna. Toiminnallisessa osuudessa tutkittiin energiapuuharvennuksen kannattavuutta keräämällä aineistoa opinnäytetyön toimeksiantajana olevan Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:n työkohteissa vuosien 2020–2022 aikana. Kohteet olivat puustoltaan hyvin erityyppisiä nuoren metsän kunnostus kohteita. Yhdellätoista kohteella oli pinta-alaa yhteensä 24,8 hehtaaria.

Tutkittavia asioita työkohteissa olivat harvennuksilta kertyvät puumäärät, työhön kuluva aika sekä muut korjuukuluihin vaikuttavat tekijät. Harvennukset tehtiin kokopuun korjuuna ja hakkuutyöt toteutettiin metsurityönä sekä energiakouralla varustetulla kaivinkoneella. Ennen harvennusta kohteilta mitattiin koealoilta puustotiedot, joista selviää hehtaarikohtainen tiheys sekä keskimääräinen pituus viidessä eri rinnankorkeuslähpimitta luokassa. Niiden perusteella oli tarkoitus muodostaa myös energiapuun kertymää ennustava laskuri toimeksiantajan käyttöön.

Työkohteilta saatiin kerättyä paljon aineistoa. Sen perusteella voitiin muodostaa käsitys siitä, minkälaisessa kohteessa energiapuun korjuu on kustannustehokkaampi menetelmä kuin raivausharvennus. Tuloksissa otettiin huomioon myös mahdollisten tukien vaikutus kannattavuuteen. Energiapuukertymää ennustava laskurikin toteutettiin. Sen tarkkuutta saadaan parannettua jatkossa työkohteilta kerättävällä aineistolla.

Avainsanat metsänhoito, energiapuu, harvennus, kokopuu

Sivut 45 sivua ja liitteitä 1 sivu

The management of an untended young forest is an expensive measure for the forest owner. The work can be done as logger work, clearing thinning or energy wood thinning, in which smallwood is collected for energy use. Previously, the problem has been the identification of the most profitable method in different types of stands. In other words, the problem has been the identification of the stand type in order for energy tree harvesting to even reduce the costs of management of a young forest. The purpose of this practise-based thesis is to find out what is the most cost-effective way from the forest owner's point of view to get an untended young forest to grow.

The theoretical part discusses the tending of a young forest and thinning of energy wood as whole tree harvesting. In the practical part, the profitability of energy tree thinning was studied by collecting material at the work sites of Etelä-Pirkanmaan Metsänhoito Oy, which was also the commissioner of the thesis, during the years 2020–2022. The sites were young forest management sites with very different stands. The eleven sites had a total area of 24,8 hectares.

The issues to be examined in the work sites were the amount of energy wood accumulated from thinning, the time required for the work, and other factors affecting the harvesting costs. Thinning was done by harvesting the whole tree, and felling work was carried out as logger work with an excavator equipped with an energy grapple. Before thinning, tree stand data was measured from the test plots, which showed the trees density per hectare and the average length in five different height-diameter classes. Based on them, the intention was to create a counter that predicts the accumulation of energy wood for the commissioner.

A lot of material was collected from the work sites. Based on that, it was possible to form an understanding of what the tree stand should be like, in order to harvesting energy wood to be more cost-effective method than clearing thinning. The results also take into account the effect of possible subsidies on profitability. A calculator predicting energy wood accumulation was also implemented. Its accuracy can be improved in the future with data collected from work sites.

Keywords Forest management, energy wood, thinning, whole wood

Pages 45 pages and appendices 1 page

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Hoitamattoman nuoren metsän kunnostus ja energiapuuharvennus.....	2
2.1	Nuoren metsän kunnostus.....	3
2.1.1	Tuki nuoren metsän hoitoon.....	3
2.1.2	Nuoren metsän kunnostuksen kustannukset	4
2.2	Energiapuuharvennuksen toteutus kokopuun korjuuna	5
2.2.1	Koneellinen harvennus.....	6
2.2.2	Metsurityö.....	6
2.2.3	Kokopuun lähikuljetus.....	8
2.2.4	Varastointi	8
2.2.5	Monimuotoisuus ja sertifiointi.....	9
2.3	Energiapuun mittaustavat	10
2.3.1	Pinomittaus	11
2.3.2	Kuormainvaakamittaus	13
2.3.3	Hakekuutiomittaus.....	13
2.3.4	Energiasisältö	14
2.4	Harvennuksen jälkeen.....	15
2.4.1	Korjuujälki.....	15
2.4.2	Luonnontuhot	16
2.4.3	Ravinteet	17
3	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite	17
3.1	Opinnäytetyön toimeksiantaja	19
3.2	Hoitamattomat nuoret metsät työkohteena.....	19
3.3	Alueellinen tilanne Pirkanmaalla	22
4	Maastotöiden toteutus	22
4.1	Työkohteet	24
4.2	Koealoilta mitattavat puustotiedot	24
4.3	Harvennuksien toteutus.....	25
4.4	Lähikuljetus	28
4.5	Mittaus	29

4.6	Kertynyt aineisto	30
5	Energiapuun kertymää arvioiva laskuri	31
6	Pohdintaa ja johtopäätökset	35
	Lähteet.....	42

Liitteet

Liite 1	Maastotöihin perustuva aineisto
---------	---------------------------------

1 Johdanto

Metsurin raivaussahalla tekemän harvennuksen jälkeen tiheäpuustoisissa nuoren metsän kunnostus kohteissa on maassa kauttaaltaan paksu kerros kaadettuja puita. Niiden maatumisessa kestää pitkään ja maasto on vuosia käytännössä kulkemiseen kelvotonta. Näitä kohteita katsellessa ja pitkään metsurina työskennelleenä on tullutkin usein ajateltua, minkälainen kasa energiapuuta tästäkin olisi kertynyt, jos kaikki kerättäisiin. Entä olisiko se voinut olla jopa taloudellisesti järkevämpää kuin kaataa puita kovalla työllä raivaussahalla ja jättää ne metsään maatumaan?

Tässä opinnäytetyössä asiaa selvitetään. Minkälainen kohteen pitää olla, että energiapuuta kannattaa kerätä? Kuinka pientä puusto voi olla, että sen kerääminen on taloudellisesti järkevää? Mitä muita kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä tulee huomioida energiapuun korjuuta suunniteltaessa? Vaikka energiapuun korjuulla ei voitaisi kattaa kaikkia kuluja kalliin nuoren metsän kunnostuksen osalta, on varmasti olemassa raja, minkälaisen puuston kerääminen energiapuuksi tulee metsänomistajalle edullisemmaksi kuin metsurityönä tehtävä raivausharvennus. Opinnäytetyössä haetaan sitä rajaa mikä on metsänomistajalle kustannustehokkain menetelmä erityyppisten nuorten metsien kunnostukselle. Missä kannattaa kerätä energiapuuta ja mistä ei.

Energiapuulle on nykyisin kova kysyntä ja sitä kerätäänkin paljon nuorten kasvatusmetsien harvennuksien yhteydessä. Hoitamattomien ja taimikonhoitovaiheessa ylitieäksi jätettyjen nuorten metsien puuston pelastamiseksi tehtävät harvennukset voidaan tehdä tämän ansiosta aiemmin kuin sellainen ensiharvennus, jossa valmistetaan vain kuitupuuta. Näissä etuajassa tehtävissä ensiharvennuskohteissa pelkän kuitupuun kertymä jäisi niin vähäiseksi, että korjuu ei olisi taloudellisesti kannattavaa. Energiapuuharvennuksilta kerättävä puu voidaan valmistaa karsittuna rankana tai karsimattomana eli kokopuuna. Karsittuna rankana tehtävä harvennus edellyttää järeämpää puustoa ollakseen kannattavaa kuin kokopuun korjuuna toteutettu. Kokopuuta kerätessä kertymä on suurempi oksien ja latvojen tullessa mukaan. Lisäksi voidaan hyödyntää pienetkin rungot, josta ei voida tehdä karsittua rankaa.

Opinnäytetyössä haetaan rajaa kuinka pientä puuta kannattaa kerätä. Siitä syystä aihe rajattiinkin käsittelemään vain kokopuuna tehtävää korjuuta. Aihe on työelämälähtöinen ja tutkimusta tehtiin tiiviisti työn yhteydessä toimeksiantajana olevan Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:n työkohteissa. Opinnäytetyön tuloksia hyödynnetään yrityksen toiminnassa. Niiden avulla pyritään vastaamaan toimeksiantajan tarpeeseen kohteiden hinnoittelun tarkentamiseksi sekä oikean menetelmän tarjoamista asiakkaalle kohteen mukaan. Kustannustehokkaimman menetelmän löytäminen erityyppisten nuorten metsien kunnostukseen on paitsi metsänomistajan, myös metsänhoitopalveluita tarjoavan yrityksen etu.

2 Hoitamattoman nuoren metsän kunnostus ja energiapuuharvennus

Hyvin hoidetussa, suositusten mukaan kasvatetussa metsässä puiden juuristolla sekä latvuksilla on tilaa kehittyä. Oikeaan aikaan ajoitetulla harvennuksella vapautetaan kasvutilaa kasvamaan jätettäville elinvoimaisille ja hyvälaatuisille puille ja näin nopeutetaan niiden paksuuskasvua. Puiden saadessa riittävästi valoa myös elävän latvuksen osuus eli latvussuhde pysyy oikeana. Suositeltava elävän latvuksen osuus puun pituudesta on kuusella 50–60 %, koivulla 50 % ja männyllä 40 %. Hoitamattomassa ylitieänä kasvaneessa metsässä puiden välinen kilpailu aiheuttaa nopeaa pituuskasvua, mutta samalla puiden elävän latvuksen osuus supistuu alaoksien kärsiessä valon puutteesta. Puusto pääsee riukuuntumaan. Puista tulee pitkiä ja ohuita, joissa on vain lyhyellä osuudella elävää latvusta. Kilpailu heikentää myös puiden juuriston kehittymistä ja ravinnon saantia. (Huuskonen ym., 2014, ss. 74–76)

Metsätalouden kannattavuuslaskelmien mukaan kannattavinta onkin tehdä taimikonhoidot ja ensiharvennus oikea aikaisesti suositusten mukaan. Tällöin taimikko kehittyy hyvin ja ensiharvennukselta saadaan kerättyä ainespuuta. Hoitamatta jääneissä nuorissa metsissä tehtävässä harvennushakkuussa kertymä olisi liian pieni vain ainespuuta valmistettaessa. Tällöin voidaan tehdä energiapuuharvennus, jossa hyödynnetään pieniläpimittaista puustoa keräämällä se energiapuuksi. Tarkoituksena on hoitamattoman nuoren metsän pelastaminen parantamalla harvennuksessa jätettävän puuston edellytyksiä elpyä kasvuun ja järeytyä tukkipuiksi. Hoitamattomissa kohteissa puiden kehitys on kuitenkin ollut hidasta ja

harvennuksen jälkeenkin kasvun elpymiseen menee aikaa. Tämä viivästyttää myös tulevia harvennuksia ja pidentää metsikön kiertoaikaa. (Huuskonen ym., 2014, s. 133)

Nuoren metsän kunnostus voidaan toteuttaa myös muilla tavoilla kuin tekemällä energiapuuharvennus. Vaihtoehtoina voi olla metsurityönä raivaussahalla tehtävä puuston harventaminen suositusten mukaiseen kasvatustiheyteen tai ennakkoraikaus ja siitä muutaman vuoden päästä tehtävä ensiharvennus. Jos lehtipuuvaltaisella kohteella ei ole riittävästi kehityskelpoisia, tukkipuiksi kasvatettavia puita voidaan myös harkita puuston kasvattamista uudistushakkuuseen asti ilman harvennuksia. (Tapio, 2023-a)

2.1 Nuoren metsän kunnostus

Nuoren metsän kunnostus tarkoittaa metsänhoidollista toimenpidettä, joka tehdään ensiharvennuksen sijaan kohteissa, joissa taimikonhoitotyöt ovat jääneet tekemättä ja puusto on kärsinyt ylitheydestä. Kustannuksiltaan se on ajallaan tehtyjä taimikonhoitoja kalliimpaa. Nuoren metsän kunnostuksen yhteydessä voidaan myös kerätä energiapuuta. (Metsäkeskus, 2023-a)

Terminä nuoren metsän kunnostus tulee kestävän metsätalouden rahoituslain (Kemera) sanastosta. Kemerassa nuoren metsän hoidon tuella tuettavia työlajeja ovat taimikon harvennus ja nuoren metsän kunnostus. Työ voidaan tehdä metsurityönä raivaussahalla tai koneellisesti. (Skyttä, 2016, ss. 22–23)

2.1.1 Tuki nuoren metsän hoitoon

Yksityinen metsänomistaja voi hakea kestävän metsätalouden rahoituslain mukaista kemera tukea nuoren metsän hoitoon. Tuettavia työlajeja nuoren metsän hoidon kemerassa ovat varttuneen taimikon hoito ja nuoren metsän kunnostus, sekä näiden yhteydessä tehtävä pienpuun kerääminen. Tuen suuruus on 230 € hehtaarille, ja jos samalla kerätään pienpuuta energiaksi, tuki on 450 € hehtaarille. Tukea haettaessa tehdään ensin tukihakemus, jonka lähettämisen jälkeen voidaan aloittaa työt. Työt on saatava tehdyksi rahoituspäätöksessä

ilmoitetun ajan kuluessa. Töiden valmistuttua tehdään toteutusilmoitus. Tukea haetaan ja sen myöntää Metsäkeskus. (Metsäkeskus, 2023-b)

Nuoren metsän hoidon tuen saaminen edellyttää sille asetettujen ehtojen täyttymistä. Näistä keskeisimpiä ovat tukihakemuksen vähintään kahden hehtaarin yhteispinta-ala vaatimus, jossa yksittäisen kuvion koko on vähintään puoli hehtaaria. Kohteelle ei tule olla myönnetty aiemmin nuoren metsän hoidon tukia kymmenen vuoden aikana tai taimikon varhishoidon tukia seitsemän vuoden aikana. Puuston pitää olla kasvatuskelpoista ja keskipituuden työn jälkeen vähintään kolme metriä. Rinnankorkeusläpimitta pohjapinta-alalla painotettuna ennen ja jälkeen työn saa olla enintään 16 cm. Poistuma Etelä-Suomessa vähintään 1000 runkoa hehtaarille. Tähän lasketaan kaadetut puut, joiden kantoläpimitta on vähintään 3 cm. Jäävän puuston tiheyden tulee olla laadittujen runkolukutaulukoiden raja-arvojen sisällä. Pienpuun keruun osalta Etelä-Suomessa kertymän pitää olla vähintään 35 kuutiota hehtaarille. (Metsäkeskus, 2023-b)

Kemera tukea ollaan lakkauttamassa vuoden 2023 loppuun mennessä. Tilalle on tulossa uusi kannustejärjestelmä metka, jonka on tarkoitus astua voimaan 1.1.2024 alkaen.

(Metsäkeskus, 2023-c) Valtioneuvoston kaavaillussa asetusluonnoksessa metkassa taimikon ja nuoren metsän hoidon tuki olisi 240 euroa hehtaarille ja mikäli työn ohessa kerätään pienpuuta vähintään 35 kuutiota hehtaarilta Etelä-Suomessa olisi tuki 470 euroa hehtaarilta. (MMM, 2022)

2.1.2 Nuoren metsän kunnostuksen kustannukset

Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan nuoren metsän kunnostuksen keskihinta yksityismetsissä koko maan osalta vuonna 2021 oli 473 € / hehtaari. Tässä on kuitenkin suuria alueellisia eroja. Kalleimmat hehtaarihinnat olivat Etelä-Suomen 608 € / hehtaari ja Keski-Suomen 583 € / hehtaari. Halvimmat hehtaarihinnat olivat Kymi-Savon seudulla 332 € / hehtaari. Tilastoissa esiintyy suuria vaihteluita myös vuositasolla. Tarkastellessa viimeisen viiden tilastoidun vuoden tietoja (2017–2021) koko maan keskiarvojen osalta, pienin vuosikohtainen yksikköhinta on 462 € / hehtaari ja suurin 521 € / hehtaari. Samalla

ajanjaksolla Etelä-Suomen osalta hinta vaihteli 603 € ja 925 € hehtaarihinnan välillä. (Luke, n.d.-a)

Hintahaarukka tilastojen mukaan on melko laaja. Nuoren metsän kunnostuksen poistuman raja kemera tukeen on Etelä-Suomessa 1000 runkoa hehtaarille kantoläpimitan ollessa vähintään 3 cm (Metsäkeskus, 2023-b). Tällaisen kohteen raivaaminen on vielä nopeaa ja edullista eikä energiapuuta kannata kerätä. Viljavilla kasvupaikoilla kohteilla, jossa ei ole tehty taimikonhoitoja voi metsurilla raivaussahan kanssa mennä aikaa viisi päivää hehtaarille, ja hintaa työlle kertyy pitkälle yli tuhat euroa hehtaarille (Saksa ym., 2021, ss. 97–98).

Kun nuoren metsän kunnostuksen yhteydessä kerätään energiapuuta, joudutaan etenkin koneellisesti harvennettavissa kohteissa tekemään metsurityönä ennakkoraivaus.

Pieniläpimittaisen puuston korjuukulut saattavatkin nousta niin suuriksi, että puista saatavat hakkuutulot jäävät kuluja pienemmiksi. Nuoren metsän kunnostus on kuitenkin kalliista hinnasta huolimatta metsänomistajan kannalta taloudellisesti järkevää, mikäli käsiteltävässä kohteessa on riittävästi jätettäväksi kehityskelpoisia puita. (Tapio, 2023-a)

2.2 Energiapuuharvennuksen toteutus kokopuun korjuuna

Kun päädytään keräämään energiapuuta nuorista kasvatusmetsistä, on sen toteuttamiseen useampia vaihtoehtoja. Harvennus kokopuun korjuuna voidaan tehdä joko koneellisesti tai metsurityönä. Harvennuksessa huomioidaan aina suositellut puulajikohtaiset tavoiterunkoluvut sekä kohteen kasvupaikan soveltuvuus kokopuun korjuuseen. Kokopuun korjuuna kerätty energiapuu kuivatetaan ja haketetaan tavallisesti tienvarsivarastossa. Energiapuun korjuussa tulee aina huomioida myös kohteen luontoarvot. (Tapio, 2023-a)

Muita huomioitavia asioita hakkuuta suunniteltaessa on, että juurikäävän torjunta tulee muistaa myös energiapuuhakkuun yhteydessä toteutustavasta ja työmenetelmästä riippumatta, mikäli lain edellyttämät vaatimukset täyttyvät. Näistä vaatimuksista keskeisimmät nuoren metsän kunnostus kohteita koskevia ovat läpimitaltaan yli 10 cm havupuun kantojen käsittely metsissä, jossa yli puolet puuston tilavuudesta on kuusta,

mäntyä tai molempia yhteensä. (Metsäkeskus, 2023-d)

Metsänkäyttöilmoitusta hakkuusta ei tarvitse tehdä, mikäli puusto on keskiläpimitaltaan alle 13 cm (Metsäkeskus, 2023-e).

2.2.1 Koneellinen harvennus

Koneellisessa harvennuksessa hakkuukoneena voidaan käyttää monia erilaisia koneita.

Kaatopäänä toimivia energiakouria on saatavilla kaivinkoneisiin, traktoreiden metsäkuormaimiin, ajokoneisiin sekä harvestereihin. Puun katkaisu tapahtuu giljotiini periaatteella hyödyntäen puristusvoimaa ja terävää levyä. Kouriin on saatavilla erilaisia lisävarusteita. Joukkokeräimellä voidaan kerätä useampia puita nippuun ennen kasaan viemistä, karsimella varustetulla energiakouralla voidaan tehdä myös karsittua rankaa ja risukahmaimen avulla pieniläpimittaisimpien puiden katkaisu onnistuu siististi.

Keskikokoisella energiakouralla voidaan katkaista noin 25 cm läpimitaltaan olevia puita. (TMK Machinery, n.d.)

Pieniläpimitaisen puuston koneellisessa harvennuksessa on energiakouran joukkokäsittelyn mahdollistavalla keräimellä suuri vaikutus työn tuottavuuteen. Kun kerralla saadaan kerättyä useampia runkoja kouraan, nopeuttaa se kaato-kasausvaiheessa kuluvaa aikaa puuta kohden merkittävästi. Koneellisesti harvennettavassa kohteessa tulee kuitenkin olla tarpeeksi suuri hakkuukertymä ja runkojen keskikoko, että korjuu on kustannuksiltaan järkevää.

Metsurityönä voidaan harventaa jonkin verran keskikooltaan pienempi runkoisia kohteita. (Rieppo ym., 2011, ss. 12–13)

2.2.2 Metsurityö

Metsurityönä tehtävä harvennus kokopuun korjuuna on kustannustehokas menetelmä, kun moottorisahalla tehtävä työläin karsintavaihe jää pois. Kun puut kasataan siirtelykaatotekniikkaa käyttäen ja katkotaan sopivaan kuljetuspituuteen, on työ yli puolet nopeampaa kuin metsurityönä kuitupuun valmistaminen. (Rieppo ym., 2011, ss. 93–94)

Kokopuun korjuuna tehtävä energiapuuharvennus metsurityönä onnistuu parhaiten siirtelykaatotekniikkaa käyttäen kaatokahvoilla varustetulla moottorisahalla (kuva 1). Katakahvat ovat moottorisahaan saatava lisävaruste, jonka ansiosta työergonomia ja työturvallisuus paranevat huomattavasti, kun kaatosahausta tehdessä ei tarvitse kumartua puun tyvelle. Sahaukset voidaan tehdä selkä suorana ja terä pysyy oikealla tekniikalla riittävän etäisyyden päässä jaloista. Siirtelykaadossa kaadettavaan puuhun tehdään eritasosahaus, saha lasketaan maahan ja puusta otetaan hyvä ote kummallakin kädellä. Puu katkeaa, kun sitä työnnetään kaatosuuntaan. Kun puu on irti kannosta ja kaatumassa, tyveä voidaan kevyesti liikuttaa useita metrejä hyödyntämällä puun kaatumisenergiaa. Näin puut saadaan siirreltyä kasoihin, josta ne kerätään ajokoneella. Kasat tehdään niin että ne ovat sivussa ajourilta ja lopuksi katkotaan sopivan mittaisiksi kuormausta varten. Menetelmä sopii parhaiten tiheään, noin kymmenen metriä pitkään lehtipuuvaltaiseen kohteeseen. Ennakkoraivausta ei tarvitse tehdä erikseen. (Tapio, 2021-a)

Kuva 1. Katakahvoilla varustettu moottorisaha (Pentti, 2022).



2.2.3 Kokopuun lähikuljetus

Kokopuun lähikuljetuksessa käytetään yleensä keskikokoista ajokonetta. Kuormaan mahtuu kerralla huomattavasti vähemmän kokopuuta kuin karsittua rankaa. (Ovaskainen & Schildt, 2022) Kokopuuta ajettaessa ajanmenekki on noin 12 % suurempi kuin karsitun rankapuun (Rieppo ym., 2011, s. 13). Energiapuun korjuussa harvennushakkuilta lähikuljetuksella ja sen pituudella onkin suuri merkitys työn kannattavuuteen (Tapio, 2023-a).

Tärkeä osa energiapuun lähikuljetusta on oikeanlaisen pinon tekeminen. Pinoissa tulee olla kunnan aluspuut, jotka estävät kosteuden siirtymisen maaperästä puihin ja tukevat pinon pysymistä suorana. Pinosta tehdään mahdollisimman korkea ja päällimmäisestä kerroksesta tehdään noin metrin mittainen lippa suojaamaan puiden tyvipuolta sateelta. Kuormaa tehdessä ja purkaessa on oltava huolellinen, ettei puiden mukana tule kiviä. Tätä helpottaa, jos kuormatraktoriin on asennettu hakkuutähdekoura. (Ovaskainen, 2012)

2.2.4 Varastointi

Energiapuuta joudutaan yleensä varastoimaan pitkään ja sen tarkoituksena on saada puutavara kuivumaan mahdollisimman hyvin ennen haketusta. Varastopaikalla ja pinon tekemisellä sekä sen peittämisellä peitepaperilla on suuri merkitys siihen, kuinka kuivatus onnistuu. Hyvä varastopaikka on aukealla paikalla, johon sopii tuuli ja paistaa aurinko. Tienvarsivarastolla tapahtuva haketus vaatii myös paljon tilaa kuljetuskalustolle. Varastopaikkaa suunniteltaessa tuleekin huomioida tien leveys ja kuinka haketuksen aikana muu liikenne pääsee kulkemaan haketuspaikan ohi. (Tapio, 2023-a)

Jos varastopaikka joudutaan perustamaan yleisen maantien varteen, tulee tienvarsivarastoa suunniteltaessa ottaa huomioon tien käyttöön liittyvät määräykset. Puutavaran varastointi ja kuormaus on sallittua ilman tienpitäjän lupaa seutu- ja yhdysteillä (tienumerot 100–19999), mikäli nämä eivät ole etuajo-oikeutetuksi liikennemerkillä osoitettuja. Valta- ja kantateillä (tienumerot 1–99) kaikki puutavaran varastointi ja kuormaus vaativat tienpitäjän luvan. Toimenpiteenä haketus tienvarressa on verrattavissa puutavaran kuormaamiseen, ja niitä koskevat samat määräykset liikenneturvallisuuden huomioimisesta sekä varoitusmerkkien

asettamisesta ennen kuormauspaikkaa. Lisäksi on erityisesti haketusta ja energiapuun varastointia koskevia erillisiä määräyksiä. Mikäli hakkuri ja kuormattava ajoneuvo ovat tiellä peräkkäin, tulee paikalla olla pitkän matkaa hyvä näkyväisyys ja haketuksen tulee tapahtua samassa ajassa kuin tavallisen puutavaran kuormaus. Jos työhön menee pidempi aika, tulee hakkuri saada sijoitettua tien sivuun pois maantieltä. Maantien käyttöä muulta liikenteeltä ei saa estää sijoittamalla hakkuria ja kuormattavaa ajoneuvoa vierekkäin ajokaistoille. Haketuksen päätteeksi maantielle ei saa jäädä liikennettä haittaavaa roskaa. Puutavaraa ei myöskään saa säilyttää maantien varressa yli puolta vuotta. (Väylävirasto, 2019, ss. 1–25)

Energiapuun varastointia koskee myös laki metsätuhojen torjunnasta. Mikäli enintään puolet varastoitavasta puutavarasta on yli 10 cm tyviläpimitaltaan olevaa havupuuta, ei pinoon sovelleta määräaikoja havupuiden poistamisesta välivarastosta. Jos 10 cm järeämpää havupuuta on yli puolet pinon kokonaistilavuudesta, voidaan käyttää laissa määriteltyjä vaihtoehtoisia toimenpiteitä puutavaran poistamiselle, esimerkiksi pinon peittäminen lehtipuukerroksella. (Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013)

2.2.5 Monimuotoisuus ja sertifiointi

Kokopuun korjuun yhteydessä tulee huomioida luonnon monimuotoisuutta kuten muidenkin hakkuiden yhteydessä. Aiemmin hakkuissa jätetyt säästöpuut sekä säästöpuuryhmät säilytetään koskemattomina. Lahopuu on tärkeää monimuotoisuuden kannalta. Lahot maapuut jätetään paikoilleen, lisäksi voidaan jättää kaadettujen haapojen runkoja maapuiksi. Lahopuun määrää voidaan lisätä tekemällä lehtipuista tekopökölöitä. Metsään jätetään myös keräämättä latvuksia ja oksia. Harvennuksessa jätetään kasvamaan myös taloudellisesti vähempiarvoisia, mutta monimuotoisuuden kannalta tärkeitä lehtipuita. Muutenkin suositaan sekapuustoisuutta mahdollisuuksien mukaan. Riistaa huomioidaan jättämällä suojapaikaksi soveltuvia tiheiköitä luontaisesti sopiviin paikkoihin. (Tapio, 2023-a)

Suomessa käytössä olevissa PEFC ja FSC sertifiointi järjestelmissä on omat vaatimuksensa toimintatavoista sertifioitavalla alueella. Energiapuun korjuun yhteydessä noudatetaan kaikkia sen sertifikaatin voimassa olevia vaatimuksia, jonka alueella toimitaan. Lisäksi kummassakin

sertifiointijärjestelmässä on omat vaatimuksensa, jotka koskevat juuri energiapuun korjuuta kokopuuna kasvatusmetsistä. (Tapio, 2023-a)

PEFC sertifioinnissa kriteerissä 8.2.1 on vaatimukset energiapuun kestäväan korjuuseen. Sen mukaan kokopuun korjuuseen soveltuvia kohteita ovat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä turvemaat. Kuusikon kärsiessä boorinpuutoksesta voidaan harvennus tehdä kokopuun korjuuna, mikäli huolehditaan ravinnetasapainosta boorilannoituksella. Jos korjuukohteella on kuusta yli 75 % runkoluvusta ennen harvennusta, ei kokopuun korjuuta tule tehdä. (PEFC FI 1002:2022, s. 31)

FSC sertifioinnissa kriteerissä 6.3 käsitellään ekologisten prosessien ja arvojen säilyttämistä, edistämistä ja ennallistamista. Tämän kriteerin alaisissa indikaattoreissa on energiapuun korjuuta koskevia vaatimuksia. Näiden mukaan energiapuuta saa kerätä kuivahkoilta kankailta ja sitä viljavimmilta kivennäis- ja turvemailta. Harvennuksessa on huomioitava, ettei lehtipuuosuutta vähennetä alle kymmenen prosentin runkoluvusta. (FSC-STD-FIN-01-2006, ss. 28–29)

2.3 Energiapuun mittaustavat

Energiapuuta voidaan mitata monella eri tavalla ja eri vaiheessa hankintaketjua. Mittaaminen on vaikeaa ja tulokset voivat vaihdella eri mittausmenetelmien välillä. Myös mittausajankohta vaikuttaa lopputulokseen. Tuoreena mitatussa erässä on kuutioita enemmän, kun taas pitkän varastoinnin aikana tulee kuiva-ainehävikkiä ja määrät vähenevät. Tavallisia mittaustapoja kokopuun mittauksessa ovat kuormainvaakamittaus lähikuljetuksen yhteydessä, pinomittaus tienvarsivarastolla ja hakekuutiomittaus auton kuormatilassa. (Tapio, 2023-a)

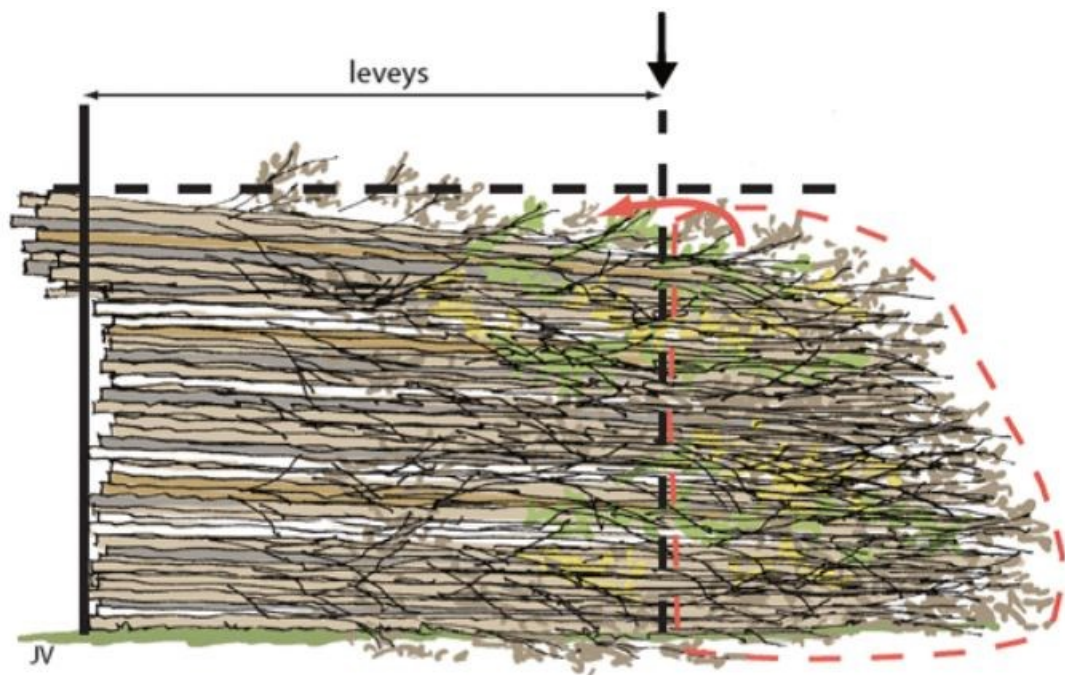
Yleisin tapa on muuttaa mittaustavasta riippumatta määrät muuntokertoimilla kiintokuutioiksi, joka toimii usein maksuperusteena puukaupassa. Hinta voidaan sopia myös painon, hakekuutioiden tai energiasisällön mukaan maksettavaksi. (Tapio, 2023-a)

Energiapuun mittausta on kuulunut puutavaran mittauslain piiriin vuoden 2014 alusta lähtien. Mittauksen järjestämistä ja toteuttamista koskee samat asiat kuin ainespuun mittausta. Energiapuuta voidaan mitata hakkuukoneen mittalaitteella, pinomittauksena tienvarressa, painon mukaan kuormainvaakamittauksena tai hakeauton kuormatilassa hakkeena. Näin saatuja mittaustuloksia voidaan muuntoluvuilla vaihtaa eri mittayksiköihin. Näistä käytettävistä muuntoluvuista antaa lain mukaan määräykset Luonnonvarakeskus. Myös Luonnonvarakeskuksen virallinen mittausta on käytettävissä, jos mittaustuloksesta tulee osapuolten välillä erimielisyyttä. Lain mukaan mittauksessa on saavutettava tarkoituksen mukainen ja riittävä mittaustarkkuus eikä systemaattista, samansuuntaista toistuvaa virhettä saa esiintyä toistettaessa mittausta. Kuormainvaakamittausta koskee mittauksen luotettavuuden varmistaminen omaavaltontana tehtävällä mittalaitteen kalibroinnilla sekä ulkopuolisena valvontana jonkun muun tekemä valvontamittausta. Hakkeena tai manuaalisesti tienvarressa mitattaessa ei edellytetä mittaustuloksen tarkastusta vertailumenetelmällä. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013)

2.3.1 Pinomittausta

Kokopuuna korjattu energiapuu voidaan mitata tien varressa varastomuodostelmassa pinomittauksena. Pinosta lasketaan kehystilavuus mittaamalla korkeus kahden metrin osissa koko pinon pituuden matkalta. Sen jälkeen mitataan pinon leveys käyttäen puiden keskimääräistä pituutta. Keskimääräinen puiden pituus arvioidaan silmämääräisesti määrittämällä kuvan 2 mukaisesti pinon takasivulta tasoituskohta, josta pidemmissä latvoissa on kiintotilavuutta vain hyvin vähän. Pinon korkeuden ja leveyden mittaamisessa käytetään viiden cm:n tasaavaa luokitusta. Kehystilavuuden ollessa selvillä se muutetaan kiintokuutioiksi Luonnonvarakeskuksen kiintotilavuusprosentti taulukkoa käyttäen. (Melkas, 2018)

Kuva 2. Pinon takasivun tasoituskohta (Melkas, 2018).



Kiintotilavuusprosentin määrittäminen perustuu puutavaran mittauslain perusteella Luonnonvarakeskuksen määräykseen puunmittaukseen käytettävistä muuntoluvuista (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013). Taulukossa kuorellisen puutavaran kiintotilavuusprosentti määritetään mitattavassa erässä olevien puiden katkaisuleikkausten keskimääräisen läpimitan ja pinon korkeuden perusteella. Pinon korkeutena käytetään pinonosien keskiarvoa. Kokopuun osalta käytetään karsimattoman puutavaran kiintotilavuusprosentteja, jotka ovat taulukossa 1. (Luke, 2022)

Taulukko 1. Karsimattoman puutavaran kiintotilavuusprosentit (Luke, 2022).

Läpimitta, cm	Pinon etukorkeus, m			
	2 ja alle	3	4	5 ja yli
	Kiintotilavuusprosentti, %			
5 ja alle	24	26	28	30
7	25	27	29	31
9	27	29	31	33
11	29	31	33	35
13	30	32	34	36
15 ja yli	32	34	36	38

2.3.2 Kuormainvaakamittaus

Kuormainvaakamittausta käytetään paljon kokopuuna korjattavan energiapuun mittaamenetelmänä. Mittaus tehdään ajokoneeseen asennetulla kuormainvaakalla samalla kun kuormaa puretaan tienvarsivarastoon. Mittaustulos on mitattavan erän kokonaispaino yhden kilogramman tarkkuudella ja se voidaan muuttaa kiintokuutioiksi tuoretiheystaulukoiden avulla. (Melkas, 2018)

Tuoretiheystaulukot perustuvat puutavaran mittauslain perusteella Luonnonvarakeskuksen määräykseen puunmittaukseen käytettävistä muuntoluvuista (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013). Lähikuljetuksen yhteydessä tehtävään mittaukseen löytyy omat taulukot harvennusenergiapuun tuoretiheyden määrittämiseen, jota käytetään kokopuuna korjatun energiapuun kohdalla. Taulukoiden käyttöä varten tarvitsee olla tiedossa alueen maantieteellinen sijainti, hakkuun ja punnituksen ajankohta sekä puulaji. Jos pääpuulajin osuus mitattavasta erästä on alle 70 prosenttia, käytetään taulukon 2 mukaisia lukuja sekapuuston osalta. (Luke, 2022)

Taulukko 2. Tuoretiheystaulukko sekapuuksi luokitellulle harvennusenergiapuulle Etelä-Suomen ja Pohjanmaan alueelle (Luke, 2022).

Painoluokka	Kosteus %	Ajankohta				Tuoretiheys kg/m ³
		1.4.–30.4.	1.5.–15.8.	16.8.–30.9.	1.10.–31.3.	
1	> 55	Tuore, jossa lunta tai jäätä				1000
2	50–55	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore, 10 vrk ↓	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore	900
3	45–49	≥ 30 vrk	→ 25 vrk ↓	≥ 30 vrk	≥ 30 vrk	800
4	40–44	-	30 vrk ↓	30 vrk ↑	30 vrk ↑	730
5	< 40	-	≥ 65 vrk	30 vrk ↑	-	650

2.3.3 Hakekuutiomittaus

Mittaus voidaan tehdä myös hakettujen kuutioiden perusteella. Kun tiedossa on haketta kuljettavan ajoneuvon kuormatilan mitat, voidaan laskea sen tilavuus. Kuorma tasoitetaan yläreunasta ja korkeus mitataan viiden cm:n tarkkuudella. Hakekuutiot voidaan muuttaa kiintokuutioiksi. Muuntokertoimenä käytetään yleisesti lukua 0,4 eli 2,5 hakekuutiota on yksi kiintokuutio. (Tapio, 2021-b)

Hake painuu kuormatilassa kuljetuksen aikana. Jos mittaus tehdään vasta kuljetuksen jälkeen, on käytössä Luonnonvarakeskuksen määräyksen mukainen taulukko metsähakkeen irtotilavuuden muuntamiseksi kiintokuutioiksi. Taulukossa 3 on muuntoluvut haketettavan puulajin, vuodenajan ja kuormausmenetelmän mukaan. (Luke, 2022)

Taulukko 3. Kiintotilavuusprosentit metsähakkeelle ja -murskeelle kuljetuksen jälkeen (Luke, 2022).

Kuormausmenetelmä	Olosuhteet	Karsimaton puutavara		Karsittu puutavara		Latvusmassa
		Havupuu	Lehtipuu	Havupuu	Lehtipuu	
		Kiintotilavuusprosentti, %				
Puhallus kuormatilaan	Kesä	46	44	48	44	38
	Talvi	47	48	49	48	38
Kuormaus kippaamalla tai kuljettimella	Kesä	39	41	39	41	38
	Talvi	43	44	43	44	38

2.3.4 Energiasisältö

Energiapuukaupassa maksu voi perustua myös puuerän energiasisältöön eli lämpöarvoon. Tällöin yksikkönä on megawattitunti (MWh). Hyvä kuivatus ennen haketusta parantaa lämpöarvoa. Energiasisällön mittaaminen ei kuulu puutavaran mittauslain piiriin. Tätä kauppatapaa käytetään yleensä lämpölaitoksen ja hakkeentoimittajan välillä. (Tapio, 2023-a)

Lämpölaitoksella otetaan hakekuormasta näytteet ja niiden perusteella määritellään polttoaine-erälle lämpöarvo. Jos lämpölaitoksella on käytössä röntgenskannaus menetelmä, voidaan sen avulla määrittää mitattavalle erälle kosteus ja laskentakaavoja käyttämällä energiasisältö. Lämpöarvo ilmoitetaan yksikössä megawattitunti ja käytettävän muuntokertoimen mukaan yksi kiintokuutiometri puuta on 2,0 MWh. Tavoiteltu kosteus on tärkein ominaisuus puupolttoaineessa. Kosteus voi vaihdella paljon yksittäisen hakekuorman sisälläkin. Energiapuun oikeanlaisella varastoinnilla ennen haketusta on suuri merkitys ja sillä pystytään vähentämään kausivaihteluita hakkeen toimituskosteuksissa. (Alakangas, 2020, ss. 14–24)

2.4 Harvennuksen jälkeen

Pitkään ylitieheänä kasvaneen metsän harventamisen jälkeen ei heti tapahdu voimakasta puiden kasvun lisääntymistä ja järeytymistä. Puustolla kestää useita kasvukausia aikaa ennen kuin ne alkavat elpyä ja pystyvät hyödyntämään vapautunutta kasvutilaa hyväkseen. Puiden latvuksen ja juuriston toipuminen on hidasta. Harvennuksen jälkeinen äkillinen valon lisääntyminen saattaa aiheuttaa myös harvennusshokin. Kuusella tämä tarkoittaa neulasten kellastumista ja puita voi myös kuolla. (Huuskonen ym., 2014, ss. 76–77)

Hoitamattoman nuoren metsän harvennuksesta seuraa myös monia riskejä, jotka voivat vaikuttaa vielä vuosia harvennuksen jälkeen puuston kehitykseen. Näitä ovat puunkorjuun yhteydessä tulleet vauriot, erilaiset luonnontuhot sekä maaperän ravinteisuuden heikkeneminen. (Tapio, 2023-a)

2.4.1 Korjuujälki

Energiapuuharvennuksset ovat vaativia kohteita korjuujäljen onnistumisen näkökulmasta. Puustovaurioita syntyy helposti tiheissä metsissä, jossa on huono näkyvyys. Maastovaurioita (kuva 2) voi tulla ajourille puuttuvan havutuksen myötä etenkin kokopuun korjuu kohteissa. Metsäkeskuksen suorittamissa korjuujäljen tarkastuksissa energiapuuharvennus kohteita on luokiteltu virheelliseksi yleensä liiallisen harvennusvoimakkuuden, puustovaurioiden sekä maastovaurioiden vuoksi. Korjuujälkeä arvioitaessa huomioitavia asioita ovat puusto- ja maastovaurioiden määrä, ajourien sekä uravälin leveys, jäävän puuston tiheys ja puuvalinnan onnistuminen. (Huuskonen ym., 2014, s. 166)

Kuva 2. Ajourapainumaa (Pentti, 2022).



Hyvän metsänhoidon suositusten mukaan puusto- ja juurivaurioita saa esiintyä enintään viidellä prosentilla kasvamaan jätetyistä puista. Ajourapainumaa saa olla enintään viiden prosentin osuudella kivennäismaalla ja kymmenellä prosentilla turvemaalla ajourien kokonaispituudesta. Laissa määrätyt enimmäisrajat ovat puustovaurioissa 15 prosenttia, ajourapainumissa kivennäismaalla 20 prosenttia ja turvemaalla 25 prosenttia. Ajouravälin tulisi olla vähintään 20 metriä ja uran leveys kivennäismaalla enintään 4,5 metriä ja turvemaalla 5 metriä. (Tapio, 2023-a)

2.4.2 Luonnontuhot

Lumituhot ovat riski ylitieänä kasvaneille hiljattain harvennetuille metsille. Lämpötilan ollessa lähellä nollaa lumi on märkää ja tarttuu puiden runkoon ja latvuksiin. Ohutrunkoiset, riukuuntuneet puut taipuvat ja katkeavat herkästi painavan lumen painosta. Jos maa ei ole vielä ehtinyt jäätyä ennen painavan lumen satamista, puut kaatuvat myös juurineen lumen painosta. Herkimpiä puulajeja lumituhoille ovat mänty ja koivu. (Tapio, 2023-b)

Toinen merkittävä metsätuhoriski joka harvennuksesta seuraa on tuulituhot. Ylitieässä kasvaneilla puilla on heikosti kehittynyt, pienellä alalla oleva juuristo. Kun tuuli taivuttaa

heikkojuurista puuta se kaatuu juurineen. Riukuuntuneet puut voivat myös katketa kovalla tuulella. Puissa oleva lumi lisää myös tuulen aiheuttamia tuhoja. Puulajeista alttein tuulituhoille on kuusi, jonka juuret ovat lähellä maan pintaa. (Tapio, 2023-c)

2.4.3 Ravinteet

Energiapuun korjuun yhteydessä metsästä poistuu ravinteita. Puun ravinteista kaksi kolmasosaa on lehdistä ja neulasissa. Tämän takia kokopuuna korjuuta ei voi tehdä joka paikassa. Suositusten mukaan soveltuvia kohteita kokopuuna korjuuseen ovat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kasvupaikat kivennäis- ja turvemailla. Kuusikoissa, joissa ennen harvennusta yli 75 prosenttia runkoluvusta on kuusia, ei tule tehdä kokopuuna korjuuta. Kun kohde on suositusten mukainen, voidaan harvennukset tehdä kokopuun korjuuna heikentämättä puuston kasvua merkittävästi. (Tapio, 2023-a)

Jos kokopuun korjuu tehdään liian karulle tai ravinnehäiriöstä kärsivälle kohteelle voi seurauksena olla puuston kasvun heikentyminen, kun kasvulle tärkeät ravinteet viedään pois puiden mukana. Kokopuuna korjuuta ei myöskään suositella tehtäväksi kuin kerran kiertoajan kuluessa. (Ovaskainen & Schildt, 2022)

Maaperän ravinteisuutta voidaan myös parantaa jättämällä kolmannes latvuksista keräämättä. Myös kourakasoihin kaadettujen puiden kuivattaminen ennen niiden keräystä parantaa ravinteiden säilymistä. Kuivuessa puista varisevat lehdet ja neulaset jäävät metsään ravinteiksi. Ravinteiden poistumista voidaan korvata myös tarvittaessa kasvupaikalle sopivalla lannoituksella. (Tapio, 2021-c)

3 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite

Kiireellisesti tehtäviä nuoren metsän hoitokohteita on paljon. Täysin hoitamatta jääneitä taimikoita sekä aikanaan taimikonhoidon yhteydessä liian tiheäksi jätettyjä kohteita. Nämä olisi hyvä hoitaa kuntoon mahdollisimman pian eikä odottaa varsinaiseen ensiharvennusvaiheeseen asti. Harvennuksen lykkäämisen seurauksena puihin tulee enemmän laadullisia vikoja sekä puut pääsevät riukuuntumaan vielä pahemmin. Se

aiheuttaa tulevaisuudessa suuremmat riskit tuuli- ja lumituhoille. Myös puiden elpyminen ylitiheydestä on aina hitaampaa mitä pidempään harvennusta viivytellään.

Ongelmana näiden kohteiden kuntoon laittamisella on metsänomistajan näkökulmasta työn kova hinta. Raivaussahalla tehtävässä harvennuksessa ammattimetsurillakin voi mennä pahoissa kohteissa viisi päivää hehtaarille. Tästä seuraa työlle niin suuri hehtaarihinta että kaikki metsänomistajat eivät ole valmiita sellaiseen sijoitukseen metsänhoidossa. Myös metsäpalveluyrityksen näkökulmasta on vaikea saada myydyksi kallista vaikkakin tarpeellista työtä metsänomistajille.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimivalla Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:llä on paljon kokemusta nuoren metsän kunnostus kohteista. Tiedossa on melko hyvin, kuinka paljon metsurilla menee aikaa erityyppisissä kohteissa raivaussahalla tehtävään harvennukseen. Jonkun verran nuoren metsän kunnostuksia on tehty myös metsurityönä kokopuun korjuu menetelmällä, mutta tähän liittyen tarvitaan lisää tietoa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää minkälaiselta kohteelta kannattaa kerätä energiapuuta kokopuuna ja missä taas pelkkä maahan raivaus tulee edullisemmaksi. Eli haetaan sitä rajaa missä metsänomistajan kustannuksia voidaan edes pienentää energiapuuta keräämällä verrattuna raivausharvennukseen. Vaikka energiapuun korjuukulut olisivat suuremmat kuin puista kertyvät tulot, on energiapuun keräys metsänomistajan kannalta järkevää, mikäli hinta jää pienemmäksi kuin raivausharvennuksessa.

Työssä tutkitaan Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:n työkohteilta kertyviä energiapuumääriä ja korjuusta aiheutuvia kuluja eri menetelmillä. Tavoitteena on löytää toimiva kaava, jolla erityyppisiä nuoren metsän kunnostus kohteita voidaan tehdä mahdollisimman kustannustehokkaasti metsänomistajille. Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena on muodostaa energiapuu kertymää ennustava laskuri. Kun tiedossa on arvio, paljonko kohteesta tulee energiapuuta ja minkälaisilla korjuukuluilla, voidaan laskea kannattaako energiapuun keräys vai tuleeko raivausharvennus halvemmaksi. Tämä auttaa työkohteiden hinnoittelussa ja työn toteutustavan valinnassa sekä helpottaa myös työn myymistä metsänomistajille.

Tutkimusta varten hankituilla kohteilla energiapuun korjuun kokopuumenetelmällä suorittaa Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:n metsurit sekä urakoitsijat. Yritys toimii samalla myös kohteilta kertyvän energiapuun ostajana.

3.1 Opinnäytetyön toimeksiantaja

Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy on vuonna 2014 perustettu yritys, jonka liikevaihto on noin miljoona euroa vuodessa. Osakeyhtiön omistajina on kolme täysipäiväisesti yrityksessä työskentelevää osakasta. Lisäksi yrityksessä on palkattuna henkilöstönä yksi toimistonhoitaja ja 3–6 metsuria vuodenajan ja työtilanteen mukaa. Oman henkilöstön lisäksi päivittäisessä käytössä on urakoitsijasopimuksella 2–4 metsuriyrittäjää, metsävarusteinen traktori sekä puutavara-auto. Muita koneurakoitsijoita, metsäkoneita ja maanmuokkauskoneita on töissä tarpeen mukaan. Syksystä kevääseen tarvetta on noin yhdelle täysipäiväiselle metsäkoneketjulle.

Yrityksen tarjoamassa palveluvalikoimassa ovat kaikki metsänhoitotyöt, puunkorjuupalvelut, puukauppaan liittyvät palvelut, taajamametsien hoitotyöt sekä pihapuiden kaatotyöt ja kantojyrsinnät. Asiakkaita ovat eri yhteisöt sekä yksityiset metsän- ja kiinteistöjen omistajat. Toiminta-alueena on koko Pirkanmaan alue painottuen Tampereen ja sen ympäristökuntien alueelle.

Energiapuun osalta vuodessa lämpölaitoksille toimitettava määrä on n. 20 000 kiintokuutiota. Tästä hakkuutähdettä on n. 4000 kuutiota, kokopuuta 6000 kuutiota ja karsittua rankaa 10 000 kuutiota.

3.2 Hoitamattomat nuoret metsät työkohteena

Nuoren metsän kunnostus kohteet ovat monella tapaa haastavia. Työn toimeksiantajan toiminta-alueella Pirkanmaalla on paljon hoitamattomia nuoria metsiä hyvillä, viljavilla kasvupaikoilla, jonka seurauksena ne voivat olla runkoluvultaan erittäin tiheitä ja työläitä kunnostaa (kuva 3). Toisaalta maastot ovat monesti kivikkoisia ja vaikeuttavat sekä

hidastavat osaltaan työtä. Näissä kohteissa työ on hidasta ja siten kallista metsänomistajalle työn toteutustavasta riippumatta.

Metsurityönä raivaussahalla tehtävä harvennus, jossa kaadetut puut jätetään keräämättä, on paljon käytetty menetelmä nuoren metsän kunnostuksessa. Kunnolliseen lopputulokseen päästäkseen on kaadettava myös järeämpiä, jo ainespuukokoisia puita. Tätä edellyttää myös kemera kohteissa runkoluvun saaminen tukiehtojen mukaiseksi. Järeiden puiden sahaaminen raivaussahalla on kuitenkin hidasta eikä kaikki metsänomistajat edes hyväksy ainespuukokoisten puiden kaatamista raivauksen yhteydessä. Lisäksi maasto on vuosia kulkukelvoton maahan kaadetun suuren puumäärän vuoksi.

Toinen paljon käytetty menetelmä on tehdä ennakkoraivaus ja odotella muutama vuosi puiden järeytymistä ennen koneellista harvennusta. Näin saadaan ainespuukokoiset rungot hyödynnettyä mutta näiden muutaman vuoden aikana ylitäheydestä kärsinyt puusto ei vielä pääse elpymään kunnolla. Laadullisia vikoja ehtii tulla lisää ja puut riukuuntua pahemmin.

Kohteen ollessa sopiva energiapuun korjuuseen kokopuuna voidaan metsä harventaa kerralla suositusten mukaiseen kasvatustiheyteen. Puusto pääsee elpymään heti ja kaadetut puut saadaan hyötykäyttöön (kuva 4). Monet metsänomistajat arvostavat menetelmässä myös sitä, että metsä jää kulkemiskelpoiseen kuntoon sienestys, marjastus ja metsästysretkiä varten. Kokopuuna korjuu edellyttää kuitenkin riittävää kertymää sekä lyhyttä ajomatkaa haketuskelpoiselle tienvarsivarastolle.

Kuva 3. Tiheää, hoitamatonta metsää (Pentti, 2022)



Kuva 4. Harvennettua nuorta metsää ennen puiden keräystä (Pentti, 2022)



3.3 Alueellinen tilanne Pirkanmaalla

Energiapuun korjuun lisäämiselle nuorista metsistä on hyvät edellytykset Pirkanmaan alueella. Energiapuulle on kova kysyntä ja lisääntyvillä energiapuuharvennuksilla saataisiin toimitettua enemmän metsäenergiaa. Myös nuoren metsän kunnostus kohteita alueelta löytyy paljon.

Pirkanmaalla on alueellisen metsäohjelman 2021–2025 mukaan paljon taimikoita ja nuoria metsiä, jossa hoitotyöt ovat viivästyneet tai jääneet tekemättä. Tämän seurauksena tulee puuntuotannollisesti huonolaatuisia taimikoita. Alueen varttuneista taimikoista metsäohjelman alussa vain 38 % oli laadultaan hyviä ja nuoren kasvatusmetsän vaiheessa olevista enää 23 % oli hyvälaatuisia nuoria metsiä. Ohjelman mukaan taimikonhoitomääriä tulisi lisätä viisivuotiskauden aikana 20 % vuosittain ja ensiharvennusten määrä lähes kaksinkertaistaa. (Metsäkeskus, 2020, s. 19)

Pirkanmaalla käytetään paljon metsähaketta energiantuotantoon ja kysyntä kasvaa, kun turvetta käytetään vähemmän. Metsäpolttoaineilla tuotetaan n. 60 % alueen lämmitysenergiasta ja 20 % kokonaisenergiamäärästä. (Metsäkeskus, 2020, ss. 27–28)

Pirkanmaan alueellisen metsäohjelmakauden 2021–2025 loppuun mennessä tavoitteena on, että Pirkanmaan voimalaitoksissa käytetään vuosittain miljoona kuutiota metsähaketta (Metsäkeskus, 2020, s. 75).

Pirkanmaan alueen voimalaitoksissa käytettiin kiinteiden puupolttoaineiden osalta metsähaketta vuoden 2021 aikana yhteensä 743 tuhatta kiintokuutiota eli 1487 gigawattituntia (GWh). Tästä pienpuun osuus on 428 tuhatta kuutiota, hakkuutähteiden 253 tuhatta kuutiota, kantojen 51 tuhatta kuutiota ja järeän runkopuun 11 tuhatta kuutiota. (Luke, n.d.-b)

4 Maastotöiden toteutus

Energiapuun kertymiä ja työajan menekkiä tutkittiin useilla erityyppisillä nuoren metsän kunnostus kohteilla reilun kahden vuoden aikana. Kaikilla kohteilla tehtiin

energiapuuharvennus kokopuun korjuuna. Työt kohteissa tekivät Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:n metsurit sekä urakoitsijat.

Jokaiselta kohteelta mitattiin tarvittavat puustotiedot ennen harvennusta. Luotettavien mittaustietojen saamiseksi perustettiin koealoja tarpeellinen määrä puuston vaihtelevuus huomioiden. Koealojen paikat määräytyivät ennalta päätetysti 30 tai 40 metrin välein suoraa linjaa kulkiessa, riippuen alueen pituudesta. Näitä mittausslinjoja tehtiin kohteessa useampia alueen muodon mukaan. Kerättyjen puustotietojen mukaan voidaan määritellä, minkälainen kohde oli puustoltaan ja niitä käytetään myös opinnäytetyössä kehitettävän energiapuumäärää ennustavan laskurin aineistona.

Energiapuuharvennuksen yhteydessä tutkittiin hakkuutyöhön kuluva aikaa ja tuotosta työtuntia kohden eri menetelmillä. Puiden lähikuljetuksen osalta kerättiin tiedot ajoon kuluneesta ajasta, kuljetetusta kuutiomäärästä tunnissa sekä ajomatkan pituuden vaikutuksesta työn kannattavuuteen.

Työkohteilta kertyneet puut ajettiin kaikki tienvarsivarastoihin (kuva 5), jossa haketus tapahtuu paikan päällä. Puut mitattiin pinomittauksena tai kuormainvaakamittauksena.

Kuva 5. Kokopuuta tienvarsivarastolla (Pentti, 2022).



4.1 Työkohteet

Tutkimusta tehtiin yhdellätoista siihen soveltuvalla työkohteella, joiden pinta-ala oli yhteensä 24,8 hehtaaria. Kaikki kohteista olivat omia metsikkökuvioitansa, jotka olivat jääneet uudistamisen jälkeen hoitamatta. Kohteista neljä oli aikanaan istutettu kuuselle, yksi rauduskoivulle ja loput kuusi ovat luontaisesti uudistuneita. Aikaa uudistamisesta oli kulunut kohteen mukaan 15–30 vuotta. Kasvupaikat olivat lehtomaisen- ja tuoreen kankaan kivennäismaita. Yksi kohteista oli luokiteltavissa talvikorjuukelpoiseksi, muilla korjuu onnistuisi sulan maan aikana.

Kohteet olivat puustoltaan paljon toisistaan poikkeavia. Kaikki olivat välittömästi harvennuksen tarpeessa olevia ja ylitheydestä kärsineitä. Etenkin istutuskuusikoissa oli paljon lehtipuiden alle jääneitä, pilalle menneitä kehityskelvottomia istutustaimia. Kehitysluokaltaan yksi oli selvästi vielä luokiteltavissa varttuneeksi taimikoksi, viisi oli siinä rajoilla mutta kuitenkin nuoren kasvatusmetsän rajat niukasti täyttäviä ja loput viisi selvemmin nuoria kasvatusmetsiä. Yhdellä kohteella oli selvästi enemmän jo ainespuukokoista puustoa. Kohteista neljä oli kemera kelpoisia yksityisessä omistuksessa olevia metsiä ja loput eri yhteisöjen omistamia.

4.2 Koealoilta mitattavat puustotiedot

Koealoilta puustotietojen mittaaminen on vaikeaa ja hidasta tiheässä metsässä perinteisen määrämittaisen koealakepin kanssa. Lisäksi tässä tutkimuksessa mitataan myös muita tunnuksia kuin hehtaariohtainen tiheys, joten koealoista oli tarpeen tehdä kiinteitä ja merkitä ne maastoon. Koeala ei myöskään saa olla liian suuri, ettei mittauksiin kulu kohtuuttomasti aikaa. Tutkimuksessa päädyttiin käyttämään näkyvin nurkkakepein maastoon rajattua neliön muotoista koealaa, jonka sivut ovat viisi metriä. Pinta-ala on 25 m² ja puiden lukumäärä koealalla voidaan muuttaa hehtaariohtaiseksi kertoimella 400.

Kaikista koealalla olevista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta ja sen mukaisesti ne jaettiin viiteen eri läpimittaluokkaan. Nämä ovat 0–4 cm, 4–8 cm, 8–12 cm, 12–16 cm sekä yli 16 cm. Jokaiseen läpimittaluokkaan kirjattiin siihen lukeutuvien puiden lukumäärä. Lisäksi

mitattiin keskipituus kunkin läpimittaluokan puista. Kaikki vähintään rinnankorkeuden mittaiset puut otettiin mukaan mittaukseen. Puut merkittiin aina maalilla mittauksen jälkeen selvyiden vuoksi.

4.3 Harvennuksien toteutus

Harvennuksista suurin osa tehtiin metsurityönä kaatokahvoilla varustetulla moottorisahalla siirtelykaatotekniikkaa hyödyntäen (kuva 6). Kaivinkonetta energiakouralla käytettiin kohteilla, jossa sillä päästiin liikkumaan tasaisessa maastossa (kuva 7). Tehokkaaksi toimintatavaksi osoittautui menetelmä, jossa kaivinkoneella harvennettiin teiden ja vanhojen kulku-urien reunat ja metsurityönä harvennettiin muut alueet. Tätä tapaa oli mahdollista hyödyntää viidellä kohteella. Työhön osallistui neljä metsuria ja yksi koneurakoitsija energiakouralla varustetulla kaivinkoneella.

Metsurityönä kaadettiin puut kuvan 8 mukaisesti nippuihin niin, että ne olivat aina ajourilta pois päin yhdeksänkymmenen asteen kulmassa uraan nähden. Niput katkottiin ennen ajoa noin viiden metrin mittaisiksi. Näin ajokoneelle oli aina kerättävissä kaksi perättäistä nippua kummaltakin puolelta ajouraa ja uraväli saatiin pysymään mahdollisimman tasaisesti kahdessakymmenessä metrissä. Oikealla uravälillä on merkitystä myös seuraavien harvennusten kannalta. Nyt avattuja ajouria hyödynnetään myöhemmissä harvennuksissa ja niiltä tulisi harvesterin ylettyä käsittelemään koko uraväli.

Tutkimuksessa vertailtiin myös nippujen kasaamista kahdella eri tavalla metsurityön osalta ja sen vaikutusta työn tuottavuuteen. Osalla kohteista puut kaadettiin nippuihin aina samoin päin, latvat samaan suuntaan. Ajatuksena oli, että näin tehdyt niput olisivat helpompia käsitellä keräysvaiheessa. Toinen tapa oli kaataa puita nippuihin kahdesta suunnasta, jolloin kummassakin päässä nippua oli latvoja ja tyviä. Tämä tapa oli helpompi toteuttaa ja merkittävästi nopeampaa hakkuutyön kannalta.

Hakkuutyöt tehtiin kesän ja alkutalven välisinä aikoina. Lehden aikaan kaadettujen puiden annettiin kuivua ennen nippujen katkaisemista ja ajoa. Niput oli helpompi katkaista

moottorisahalla, kun näkyvyys paranee lehtien kuivuttua. Lisäksi vähennetään ravinnetasapainon heikkenemistä, kun puista varisee neulasia ja lehtiä maahan ennen ajoa.

Kaikki harvennukset tehtiin hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti. Harvennuksen jälkeen runkoluku jäi suurelta osin harvennusmallien mukaiseksi ja puusto laadullisesti kehityskelpoiseksi.

Kuva 6. Kokopuun hakkuuta siirtelykaatona (Pentti, 2022).



Kuva 7. Kaivinkone energiakouralla (Pentti, 2022).



Kuva 8. Puut kaadettuna ajouralta poispäin (Pentti, 2022).



4.4 Lähikuljetus

Puiden keräämiseen ja kasalle ajamiseen (kuva 9) käytettiin neljän eri koneurakoitsijan ajokoneita. Lisäksi yhdellä kohteella käytettiin traktoria tieltä kuormattavien energiapuunippujen keräämiseen osalta, jotta tien pinta ei rikkoutuisi. Työhön osallistui yhteensä neljä eri ajokonetta ja yksi traktori. Koneilla työskenteli kaikkiaan yhdeksän eri kuljettajaa.

Ajotyöt tehtiin yhtä kohdetta lukuun ottamatta syksyn ja alkutalven välisinä aikoina. Tämä kohde oli pehmeää, hienojakoista maata ja se ajettiin kevättalvella maan ollessa vielä jäässä. Syksyllä ajetuissa kohteissa oli kantava maapohja ja ajo onnistui hyvin märälläkin kelillä. Kokopuun ajon yhteydessä tulee herkästi maastovaurioita ajourilta puuttuvan havutuksen seurauksena. Urapainumien välttämiseksi paras ajankohta ajolle olisi talvi. Energiapuunippujen keräys käy kuitenkin vaikeaksi, jos niiden päälle sataa paljon lunta. Lisäksi kasvamaan jätettyihin puihin tulee keruun yhteydessä herkemmin vaurioita niiden ollessa jäässä.

Ajon sujuvuuden kannalta merkittäviksi asioiksi osoittautui hyvin suunniteltu, varastopaikan sijainti huomioiden tehty riittävän leveä ajouraverkosto. Kuorman tekemistä vaikeutti etenkin, jos niput olivat katkottu huonon mittaisiksi. Ylipitkiä nippuja on vaikea käänellä kyytiin vaurioittamatta kasvatettavia puita, kun taas liian lyhyet niput tekevät kuormasta epätasaisen ja kuormakoko pienenee.

Kuva 9. Kokopuun ajoa (Pentti, 2022).



4.5 Mittaus

Kertyneen energiapuun mittaus tehtiin pinomittauksena tai kuormainvaakamittauksena, mikäli ajokoneessa sellainen oli (kuva 10). Käytettävissä olevista ajokoneista vain yhdessä oli kuormainvaaka, joten suurin osa mittauksista on tehty pinomittauksena.

Pinomittaus tehtiin energiapuunmittaus oppaan ohjeen mukaisesti (Melkas, 2018). Pinosta laskettiin kehystilavuus mittaamalla korkeus osissa koko pinon pituuden matkalta ja pinon leveys käyttäen keskimääräistä pituutta. Keskimääräinen puiden pituus arvioitiin silmämääräisesti määrittämällä pinon takasivulta katkaisukohta, josta pidemmissä latvoissa on kiintotilavuutta vain hyvin vähän. Kehystilavuuden ollessa se muutettiin kiintokuutioiksi Luonnonvarakeskuksen kiintotilavuusprosentti taulukoita käyttäen. Työkohteissa käytetyt kiintotilavuusprosentit olivat 26–28 puuston järeyden mukaan.

Kuormainvaakamittausta käytettäessä painot muutettiin kiintokuutioiksi Luonnonvarakeskuksen tuoretiheystaulukoilla. Taulukon avulla tuoretiheyden

määrittämiseen tarvitsee tietää alue, puulaji sekä hakkuun ja punnituksen ajankohdat.

Tuoretiheyden määrittämistä varten käytettiin sekapuun taulukkoa Etelä-Suomen alueelta.

Kuva 10. Punnitusta kuormaa purkaessa (Pentti, 2022).



4.6 Kertynyt aineisto

Työt kohteissa tehtiin lokakuun 2020 ja marraskuun 2022 välisenä aikana. Kaikilta yhdeltätoista kohteelta mitattiin koealatiedot ennen harvennusta. Koealoja mitattiin yhteensä 159 kappaletta. Kohteiden yhteenlasketun pinta-alan ollessa 24,8 hehtaaria koealoja tuli keskimäärin 6,4 kappaletta hehtaarille. Vaihteluväli koealojen määrässä hehtaaria kohden oli 4,4–12 kappaletta. Jokainen koeala oli kooltansa 25m² ja yhteensä koealatietoja mitattiin 3975 m² alalta. Koealamittauksiin aikaa kului useampi työpäivä.

Koealoilta kerättyjen tietojen perusteella puusto oli kohteilla hyvin vaihtelevaa tiheyden sekä pituuden puolesta. Hehtaarikohtaiset puustotiheydet kohteittain vaihtelivat välillä 6857–26800 runkoa hehtaarille.

Hakkuutöihin kului aikaa yhteensä 1661 metsurituntia ja energiakouralla varustetulla kaivinkoneella 55 tuntia. Puiden keräämiseen ja kasalle ajamiseen ajokoneilla käytettiin 225 tuntia. Kokopuuta kertyi mittausten mukaan yhteensä 2122 kiintokuutiota. Mittaus tehtiin kahdella kohteella kuormainvaakamittauksena ja yhdeksällä kohteella pinomittauksena. Kohteiden hehtaarikohtaiset energiapuukertymät vaihtelivat pienimmän 32 m³ ja suurimman 117,6 m³ välillä. Kaikkien kohteiden kertymän keskiarvo oli 85,6 m³ hehtaarille.

Tuotokset hakkuutyössä oli metsureiden osalta keskimäärin 1,12 m³ tunnissa vaihdellen kohteittain 0,2 m³ ja 2,3 m³ tuntituotoksen välillä. Energiapuunippujen kasaamismenetelmällä oli suuri vaikutus työn tuottavuuteen. Metsureilta saadun työkohteissa kertyneeseen kokemukseen perustuvan arvion mukaan menetelmä, jossa puut kaadetaan nippuihin kahdesta suunnasta, on kohteesta riippuen kolmanneksen tai jopa puolet nopeampaa kuin niputtaminen jossa puut ovat aina latvat ja tyvet omaan suuntaansa tehtyjä. Kaivinkoneen osalta keskimääräinen tuntituotos oli 4,8 m³ vaihteluvälin ollessa 4,1 m³–5,5 m³.

Kokopuuna tehdyn energiapuun lähikuljetuksen kannattavuuteen vaikuttaa paljon ajomatka. Tutkimuskohteissa pisin ajomatka varastopaikalle oli 600 metriä ja tässä kohteessa kokopuuta saatiinkin ajettua kasalle vähiten tuntia kohden, 3,9 m³. Vastaavasti eniten tunnissa varastopaikalle ajettiin kohteessa, jossa oli lyhin ajomatka. Tuotos oli 15,5 m³ tunnissa, ajomatka 60 metriä. Kaikkien kohteiden keskiarvona tunnissa ajettiin 9,4 m³ puuta. Yhdeksästä ajotyöhön osallistuneesta kuljettajasta yhden mielestä metsurityönä tehtävissä nipuissa puiden tulisi olla aina samaan suuntaan kaadettuja. Muiden mielestä tällä ei ollut merkitystä ajon sujuvuuteen.

5 Energiapuun kertymää arvioiva laskuri

Laskuri päädyttiin toteuttamaan Excelillä. Näin se olisi jatkossakin helposti käytettävissä ja päivitettävissä ilman lisäohjelmien hankkimista, esimerkiksi JMP pro-ohjelmistoa. Excelissä muodostettiin analysointityökalulla regressiomalli kaikkien kohteiden koealatietojen ja kertymien perusteella. Tämän mallin antamia kertoimia eri puustotiedoille käytetään energiapuun kertymää arvioivan laskurin pohjana.

Ensimmäisenä kerätyistä koealatiedoista muodostettiin taulukon 4 mukainen havaintomatriisi. Siinä on kohteittain kerätyt koealatiedot järjestyksessä. Niitä ovat hehtaarikohtainen runkoluku sekä keskipituus läpimittaluokittain. Lisäksi tarvittava tieto on harvennukselta toteutunut hehtaarikohtainen energiapuun kertymä.

Taulukko 4. Havaintomatriisi.

Kohde nro	M3 / ha	Koeala nro	Lpm luokka 0 - 4 cm		Lpm luokka 4 - 8 cm		Lpm luokka 8 - 12 cm		Lpm luokka 12 - 16 cm		Lpm luokka yli 16 cm	
			runkoluku 0-4	pituus 0-4	runkoluku 4-8	pituus 4-8	runkoluku 8-12	pituus 8-12	runkoluku 12-16	pituus 12-16	runkoluku>16	pituus>16
8	85,6	1	15600	4	7200	9	400	13	0	0	0	0
8	85,6	2	11200	4	6000	10	2000	13	400	13	0	0
8	85,6	3	4000	3	3200	8	1600	12	800	14	800	16
8	85,6	4	11600	3	3200	8	2000	14	400	16	0	0
8	85,6	5	1600	5	2000	9	800	8	400	15	0	0
8	85,6	6	16000	4	6000	9	1200	13	0	0	0	0
9	65,6	1	400	3	2800	7	1200	8	0	0	0	0
9	65,6	2	4000	5	3200	6	2000	8	400	8	0	0
9	65,6	3	3200	4	2400	5	400	12	400	14	0	0
9	65,6	4	8400	3	6400	6	2000	10	0	0	0	0
9	65,6	5	3200	3	4400	6	1200	9	0	0	400	9
9	65,6	6	1600	4	400	6	1600	9	0	0	0	0

Havaintomatriisin pohjalta muodostettiin Excelin analysointityökalun avulla kuvan 11 mukaisesti regressiomalli. Y-syöttöalueena toteutuneet hehtaarikohtaiset kertymät ja X-syöttöalueena koealatiedot.

Kuva 11. Regressiomallin muodostaminen Excelillä.

Kohde nro	M3 / ha	Koeala nro	runkoluku 0-4	pituus 0-4	runkoluku 4-8	pituus 4-8	runkoluku 8-12	pituus 8-12	runkol
8	85,6	3	4000	3	3200	8	1600	12	
8	85,6	4	11600						
8	85,6	5	1600						
8	85,6	6	16000						
9	65,6	1	400						
9	65,6	2	4000						
9	65,6	3	3200						
9	65,6	4	8400						
9	65,6	5	3200						
9	65,6	6	1600						
9	65,6	7	800						
9	65,6	8	11200						
9	65,6	9	5200						
9	65,6	10	10800						
9	65,6	11	17200						
9	65,6	12	9600						
9	65,6	13	6400						
9	65,6	14	7200						
9	65,6	15	10000						

Regressio

Syöttö

Y-syöttöalue:

\$B\$2:\$B\$161

↑

X-syöttöalue:

\$D\$2:\$M\$161

↑

☒ Otsikot

☐ Yakio on nolla

☒ Luotettavuustaso:

95

%

Tulostusasetukset

☐ Tulostusalue:

↑

☒ Uusi laskentataulukko:

☐ Uusi työkirja

Jäännökset

☐ Jäännökset

☐ Jäännöskaavio

☐ Normalisoidut jäännökset

☐ Ennustekaavio

Normaalitodennäköisyys

☐ Normaalitodennäköisyyden kaavio

OK

Peruuta

Ohje

Muodostettu regressiomalli taulukossa 5. Regressiotunnusluvusta keltaisella on maalattu alue, joka kuvastaa muodostetun mallin selityssastetta. Selityssaste on ylemmällä rivillä oleva korrelaatiokerroin R toiseen potenssiin. Mitä suurempi selityssaste on, sen luotettavampi malli on kyseessä. Jos selityssaste on 1, mallin luotettavuus on 100 prosenttinen. Tässä mallissa jäätiin noin 24 prosentin selityssasteen tasolle, joten kovin luotettavia ennusteita ei vielä tämän aineiston perusteella voi odottaa. Oranssilla maalattu alue on tarkistettu korrelaatiokerroin, joka kertoo kuinka hyvin ennustemallin muuttujien vaihtelu selittää ennustettavan määrän vaihtelua.

Regressiomallin tiedot taulukossa 5 on maalattu harmaalla leikkauspiste. Tämä on muodostetun mallin mukaan se arvo, johon lisäämällä runkojen lukumäärä ja pituus läpimittaluokittain muuttujia kerrottuna omalla kertoimellansa voidaan ennustaa kertymää. Näiden muuttujien kertoimet on maalattu vihreällä. Kertoimissa on myös negatiivisia lukuja. Tämän aineiston pohjalta voidaan päätellä, että mitä enemmän on puita esimerkiksi läpimittaluokassa 0–4 cm, sen vähemmän on odotettavissa kertymää. Isoin kerroin on puun pituuksilla läpimittaluokassa 4–8 cm. Tämän muuttujan kerroin 3,7 tarkoittaa sitä, että puiden pituuden kasvaessa metrin tässä läpimittaluokassa kertymä nousee 3,7 kuutiota hehtaarille. Sinisellä maalattu alue kertoo, kuinka suuri painoarvo eri muuttujilla on kyseisessä mallissa. Mitä suurempi luku eri muuttujilla on, sitä suurempi vaikutus sillä on regressiomalliin. Suurimmat luvut ovat puiden pituudella läpimittaluokissa 12–16 cm ja 0–4 cm. Tämä tukeekin maastotöiden perusteella tehtyjä havaintoja puuston pituuden merkityksestä kertymään.

Taulukko 5. Regressiomallin tiedot.

Regressiotunnusluvut								
Kerroin R	0,4857092							
Korrelaatiokerroin	0,2359134 (selitysaste)							
Tarkistettu korrelaatiokerroin	0,184286							
Keskivirhe	24,229585							
Havainnot	159							
ANOVA								
	va	NS	KN	F	Sign tarkkuus			
Regressio	10	26826,4872	2682,649	4,569533	1,19E-05			
Jäännös	148	86886,7728	587,0728					
Yhteensä	158	113713,26						
	Kertoimet	Keskivirhe	Tunnusluku	P-arvo	Alin 95%	Ylin 95%	Alin 95,0%	Ylin 95,0%
Leikkauspiste	37,956664	12,550663	3,024276	0,002939	13,15502	62,75831	13,15502	62,75831
runkoluku 0-4	-0,000926	0,00032182	-2,87758	0,004601	-0,00156	-0,00029	-0,00156	-0,00029
pituus 0-4	1,4957421	2,7070724	0,552531	0,581418	-3,85376	6,845249	-3,85376	6,845249
runkoluku 4-8	0,0020411	0,00122028	1,672665	0,096506	-0,00037	0,004453	-0,00037	0,004453
pituus 4-8	3,7362345	1,63277006	2,28828	0,023537	0,509681	6,962788	0,509681	6,962788
runkoluku 8-12	-0,008717	0,00399323	-2,18303	0,03061	-0,01661	-0,00083	-0,01661	-0,00083
pituus 8-12	1,868918	0,59984763	3,115655	0,002205	0,683546	3,05429	0,683546	3,05429
runkoluku 12-16	0,0073226	0,01214013	0,603176	0,547315	-0,01667	0,031313	-0,01667	0,031313
pituus 12-16	0,0020671	0,56852453	0,003636	0,997104	-1,12141	1,125541	-1,12141	1,125541
runkoluku>16	-0,061056	0,05661743	-1,07839	0,282613	-0,17294	0,050827	-0,17294	0,050827
pituus>16	2,102842	1,65783702	1,268425	0,206638	-1,17325	5,378931	-1,17325	5,378931

Laskuri rakennettiin taulukon 6. mukaisesti niin, että ennustettavan kohteen puustotiedot syötetään suoraan omiin sarakkeisiinsa. Näissä soluissa on valmiina kaava regressiomallin oikeisiin kertoimiin. Tämän tuloksena saadaan ennuste harvennukselta kertyvän energiapuun määrästä.

Taulukko 6. Energiapuun kertymää ennustava laskuri.

ENERGIAPUUN KERTYMÄÄ ENNUSTAVA LASKURI									
Lpm luokka 0-4 cm		Lpm luokka 4-8 cm		Lpm luokka 8-12 cm		Lpm luokka 12-16 cm		Lpm luokka yli 16 cm	
kpl / ha	pit,m	kpl / ha	pit,m	kpl / ha	pit,m	kpl / ha	pit,m	kpl / ha	pit,m
10000	3,20	3000	8,10	2500	11,20	300	13,10	0	0,00
Ennuste kertymäksi, m3/ha		71,23							

6 Pohdintaa ja johtopäätökset

Laskurin saaminen toimivammaksi ja tarkemmaksi vaatii lisää aineistoa. Jatkossa aineistoa kerätessä koealamittaukset tulee tehdä nopeammalla menetelmällä. Kiinteältä 25m² koealalta kaikkien puiden mittaaminen oli työlästä ja aikaa kului paljon. Puustotiedot saatiin näin tarkasti mitattua tutkimusta varten, mutta tulevia työkohteita mitattaessa arvion tekemiseksi ja laskurin toimintaa tarkentavan lisäaineiston keräämiseksi on käytettävä eri mittausmenetelmää. Määrämittainen, lyhyt koealakeppi ja silmämääräinen arviointi puiden pituuksista ja läpimittaluokista on paljon nopeampi ja tarkkuudeltaan riittävä mittausmenetelmä tähän tarkoitukseen. Tulevaisuudessa koealamittausten tarve saattaa vähentyä. Metsävaratiedon tarkentuessa laserkeilauksen pistepilven ollessa tiheämpi saatetaan saada luotettavia tietoja myös tiheä puustoisista nuorista metsistä. Tällä hetkellä saatavilla olevalla metsävaratiedolla ei vielä ole käyttöä näissä kohteissa. Työn ohessa kohteittain tehdyn tarkastelun mukaan ainoa kohtuullisen luotettava tieto on ylimmän latvuserroksen puiden pituus. Oman laskurinsa voisi tehdä jatkossa myös ennustamaan työhön kuluvaa aikaa samalla periaatteella kuin kertyvää puumäärää. Työhön kuluvan ajan seuraamisessa oli tämän tutkimuksen aikana heikentäviä tekijöitä, joista päästiin eroon myöhemmässä vaiheessa yhtenäistettyä toimintatapoja kehitystyön tuloksena.

Metsurityön ajanmenekin tuloksissa vaikuttaa jonkin verran siirtelykaatotekniikan opettelu alkuvaiheessa. Neljällä työhön osallistuneesta metsurista kolmella ei ollut aikaisempaa kokemusta kaatokahvoilla tehtävästä energiapuuhakkuusta. Työtekniikka kehittyi tehdessä ja loppuvaiheessa erot metsurien välillä olivat tasoittuneet. Kaikki kehittyivät työssä ja sopivassa kohteessa tuotos oli riittävä työn kannattavuuteen. Hidastavana tekijänä oli myös kahden ensimmäisen kohteen ajotyöt tehneen koneenkuljettajan mielipiteen mukaan muutettu tapa tehdä energiapuunippuja niin, että puut olivat aina samoin päin nipuissa. Tämä hidasti hakkuutyötä metsurien arvion mukaan kolmanneksen tai jopa melkein puolet. Tällä tavalla tehtiin useampi kohde, joten metsurien tuntituotokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia kohteittain. Kasaustapa muutettiin viimeisten kohteiden aikana takaisin kahdesta suunnasta kaadettuihin nippuihin, kun asiasta oli keskusteltu muiden ajokoneenkuljettajien kanssa. Kenelläkään muulla kahdeksalla kuljettajalla ei ollut ongelmia saada kerättyä kahdesta suunnasta kaadettuja nippuja.

Työtapoja ja toteutusta kehitettiin muutenkin yhteistyössä ajokoneenkuljettajien kanssa. Hyvin tehdyllä ajouraverkostolla on suuri merkitys lähikuljetuksen sujuvuuteen ja hyvään lopputulokseen. Ajourien tulee olla joka paikasta riittävän leveät, varastopaikalle päin viettäviä eikä jyrkkiä mutkia saa olla. Näin voidaan vähentää korjuuvaurioita ajon osalta ja nopeuttaa työtä. Nippujen katkonnassa on myös tärkeää, että niistä tulee oikean mittaisia. Liian pitkäksi katkottuna ne on vaikea käänellä kuormaan vaurioittamatta jääviä puita ja käänöksissä paljon kuormatilan pituuden ylittävät puut raapivat uran reunassa kasvavia puita. Lyhyet niput vaikeuttivat kunnollisen kuorman tekoa. Kuormasta tulee epätasainen ja kuormakoko jää pieneksi heikentäen ajon kannattavuutta.

Korjuujäljen osalta kaikki harvennetut kohteet vaikuttivat silmämääräisesti tarkastellen hyvin onnistuneilta. Korjuuvaurioita oli lähinnä ajourien reunapuissa, jos urat olivat jääneet liian kapeiksi (kuva 12). Silmämääräisen tarkastelun lisäksi yhdelle kokonaan metsurityönä harvennetuista kohteista tehtiin testimielessä varsinainen korjuujälkitarkastus kahdella eri menetelmällä. Niistä toinen oli Metsäkeskuksen virallisissa korjuujälkitarkastuksissa käyttämä menetelmä (Metsäkeskus, 2022) ja toinen Metsätehon Online menetelmä (Metsäteho, 2003). Tulokset olivat kummallakin menetelmällä hyvin samansuuntaisia, Online menetelmällä löytyi hieman enemmän vaurioita. Puustovaurioprosentti oli Metsäkeskuksen menetelmällä 3,16 ja Online menetelmällä 6. Hyvän ja huomautettavan raja on 5 prosenttia. Ajourapainumaa oli Metsäkeskuksen menetelmällä 3 prosenttia ja Online menetelmällä 4,7 prosenttia, kumpikin alle viiden prosentin rajan. Ajouraleveys oli kummallakin menetelmällä liiallinen, Metsäkeskuksen menetelmällä 5,12 metriä ja Online menetelmällä 4,7 metriä. Tavoite olisi kivennäismaalla alle 4,5 metriä. Ajouravälit puolestaan olivat hyvin onnistuneet. Metsäkeskuksen menetelmällä 21,5 metriä ja Online menetelmällä 19,6 metriä, tavoite 20 metriä. Harvennusvoimakkuus suhteutettuna puuston pituuteen oli ollut turhan voimakas. Runkoluku saisi olla kohteen puustotiedoilla yli 1000 runkoa hehtaarille ja mitatut luvut olivat kummallakin menetelmällä noin 860 runkoa hehtaarille. Yleisesti korjuujälkeä katsellessa tämäkin kohde näytti onnistuneelta, vaikka muutamia epäkohtia nousi tarkastuksen myötä esille.

Kuva 12. Korjuuvaurioita ajouran reunapuissa (Pentti, 2022).



Opinnäytetyön tutkimuskohteissa tehtiin harvennukset reilun parin vuoden aikana. Ensimmäisinä tehtyjen kohteiden kehitystä pääsi tarkastelemaan kahden kasvukauden jälkeen sekä suurinta osaa kohteista yhden kasvukauden jälkeen harvennuksesta. Luonnontuhoista oli havaittavissa odotetusti yksittäisiä lumen taivuttamia tai katkaisemia puita joka puulajista sekä tuulen kaatamia hienojakoisella maalla kasvaneita heikkojuurisia kuusia. Mistään isoista tuhoista ei ollut kyse, vain yksittäisiä puita sieltä täältä. Lehtipuiden alla kasvaneiden kuusien elpyminen ei ollut vielä kunnollista toisenkaan kasvukauden jälkeen. Latvakasvut eivät olleet kovin pitkiä ja lisääntyneen valon määrän aiheuttaman harvennusshokin vuoksi monet kuuset olivat kovin vaalean vihreitä. Koivut puolestaan vaikuttivat jo kasvattaneen latvustaan. Yhdellä kohteista oli havaittavissa erittäin voimakasta vesomista. Lehtipuuvesakko oli voimakkaan harvennuksen vaikutuksesta kahden kasvukauden jälkeen jo yli kolme metristä ja tiheää. Tästä seuraa väistämättä vielä ennakkoraivauksen tarve ennen seuraavaa, alle kymmenen vuoden kuluessa tehtävää harvennusta.

Harvennuksista suurin osa päädyttiin tekemään metsurityönä. Sen etuna on siisti työjälki ja vähäiset runkovauriot jäävään puustoon. Lisäksi se on kohtuullisen tehokas menetelmä oikeanlaisessa kohteessa kokopuun korjuuna tehtävässä hakkuussa. Tämä tuli esiin myös Työtehoseuran tekemässä, 2011 julkaistussa tutkimuksessa. Tuloksissa nostettiin esiin koneellisen ja metsurityönä tehtävän harvennuksen yhdistäminen, ja Työtehoseuran mukaan se oli tehokas menetelmä (Rieppo ym., 2011, ss.93–94). Tutkimuksessa avattiin koneellisesti ajourat ja metsurityönä siirtelykaatotekniikalla harvennettiin uravälit. Samankaltaiseen tulokseen päädyttiin tässä opinnäytetyössä, kun tasaiset, jo olemassa olevat kulkuväylät avattiin ja reunat harvennettiin energiakouralla varustetulla kaivinkoneella. Työssä käytetyn tela-alustaisen kaivinkoneen heikkous koko alueen harventamiseen on huonohko maastokelpoisuus kivikkoisissa maastoissa ja huono ulottuvuus uralta ilman jatkettavaa puomia. Kuitenkin koneellisesti saadaan käsiteltyä päivässä paljon isompia pinta-aloja kuin metsurityönä ja kohteeseen sopivalla sekä tarvittavilla lisävarusteilla varustetulla koneella pystytään käsittelemään uravälit kokonaisuudessaan pahoissakin maastoissa. Kumpikin menetelmä soveltuu hyvin kokopuun korjuuseen. Metsurityönä tehdyssä hakkuussa työjälki on siistimpää mutta sen hitauden ja vähäisen työvoiman saatavuuden vuoksi pinta-aloiltaan suuret kohteet olisivatkin tehokkaampia toteuttaa koneellisesti tehtynä. Erilaisten koneiden käyttöä ja niiden kustannuksia kokopuunkorjuussa tulisivatkin selvittää lisää opinnäytetyön tilaajan työkohteilla.

Muitakin jatkossa huomioitavia ja selvitettäviä asioita tuli eteen työn yhteydessä. Kuten tiedossa oli, energiapuun mittaaminen on haastavaa ja vaikeaa. Luotettavimman tuloksen saanee vertailemalla eri mittausmenetelmiä keskenään mittaamalla saman erän useammassa vaiheessa. Esimerkiksi vertaillaan kuormainvaakamitatun ja pinomitatun erän tilavuutta hakekuutioihin. Kahta samansuuruisista mittaustulosta ei varmasti saada mutta näiden perusteella voisi yrittää muodostaa mallin, joka olisi mahdollisimman lähellä keskiarvoa. Opinnäytetyön kohteista moni on vielä hakettamatta, joten tarkastelua hakekuutioihin nähden ei päästy kokonaisuudessa tekemään. Energiapuun mittaamisen haastavuuden näkökulmasta on tehty myös mielenkiintoinen opinnäytetyö. Opinnäytetyössään Energiapuun tilavuuden pino- ja hakemittauksen välisen muuntokertoimen tarkennus Eronen, J (2012, ss. 30–33) tulee johtopäätökseen, että yleisesti käytetty tilavuuden muuntokerroin 0,4 hakekuutiosta kiintokuutioiksi ei pidä käyttämässään aineistossa

paikkaansa. Kertoimet olivat paljon suurempia etenkin painon mukaan mitatuissa varastoissa. Tämä tarkoittaa sitä, että haketta ei tule niin paljon kuin on odotettu ja puista on jo maksettu pinomittauksen tai painon mukaan kiintokuutioiksi muutettuna myyjälle. Toinen mielenkiintoinen lisätutkimuksen aihe olisi myös selvittää minkälaiselta kohteelta kannattaa tehdä ennemmin karsittua rankaa kuin kokopuuta. Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää missä kulkee raja kannattaako kerätä energiapuuta vai raivata maahan, joten oli selvää, että näissä rajatapauksissa tehdään energiapuuharvennus kokopuunkorjuuna suuremman kertymän vuoksi. Mutta minkä kokoista puuston olisi oltava, että karsitun rangan tekeminen muuttuukin kannattavammaksi menetelmäksi? Siinä tulee yhtenä lisätyönä myös ennakoraivaus, joka on tarpeellinen ennen harvennusta mutta on kuitenkin iso kuluerä, joka syö kannattavuutta monessa kohteessa. Kokopuunkorjuussa ei ennakoraivauksella ole niin suurta tarvetta. Tässä työssä tehdyillä kohteilla ei yhdelläkään tehty erikseen ennakoraivausta.

Opinnäytetyössä tutkittiin työhön kuluva työtunteja kaikkien työlajien osalta sekä mitattiin harvennuksesta kertyneet puut kiintokuutioina. Kaikki kone- ja metsurityöt tehtiin tuntitöinä normaalilla työtahdilla todellisen työssä kuluvan ajan selvittämiseksi. Ruoka- ja levähdystauot pidettiin normaalisti. Työsuhteisten metsureiden osalta ei kuitenkaan työmatkoihin kulunutta aikaa otettu mukaan laskelmiin. Metsäalan työehtosopimuksen mukaan työmatkat ovat hakkuutyössä työaikaa (Metsäalan työehtosopimus, 2022, s. 8). Tämä tuleekin muistaa huomioida työtarjouksia kohteille laskiessa. Pitkältä matkalta kulkevan metsurin työmatkaan kuluva aika voi vaikuttaa osaltaan paljonkin toteutuvaan hehtaarihintaan. Toinen laskelmissa huomioitava asia on koneiden siirroista aiheutuvat kustannukset. Pinta-alaltaan pienissä kohteissa puumäärät jäävät vähäisiksi ja siirroista aiheutuvat kulut voivat olla kuutiota kohden niin suuret, että se vie kannattavuuden pienemmiltä kohteilta.

Työn sekä energiapuun hinta vaihtelee vuosittain. Kun tiedossa on erityyppisiin kohteisiin kuluva työaika ja harvennuspuista tuleva hehtaarikohtainen kertymä, voidaan näiden tietojen perusteella laskea työn kannattavuutta eri aikoina. Opinnäytetyössä ei raportoida tarkkoja euromääräisiä kustannuslaskentoja kohteiden tuloksista. Tämän työn osalta laskelmat toki tehtiin toimeksiantajan hinnastojen mukaisesti ja niiden pohjalta pystyttiin

tekemään johtopäätökset, minkälaisessa kohteessa kokopuunkorjuu on kustannustehokkain menetelmä. Vertailuna käytettiin raivaussahalla maahan raivattuna tehtävän nuoren metsän kunnostuksen hintoja kokemuspohjalta tehdyn arvion mukaisesti kohteittain. Myös kemera tuet huomioitiin laskennassa. Yhdestätoista kohteesta neljä oli selvästi kannattavampaa tehdä kokopuun korjuu menetelmällä. Näistä kolmen kohteen puiden arvo ylitti hyvin työ kustannukset. Kolmella kohteella kemera tuki teki kokopuunkorjuun kannattavammaksi kuin raivausharvennuksen vaikka kameran laskisi siihenkin ilman pienpuun keruun lisää. Näissä kohteissa työkulut olivat suuremmat kuin puista ja kemera tuesta kertyvät tulot mutta kuitenkin hehtaarihinta jäi pienemmäksi kuin raivausharvennuksena tehtynä. Kohteista neljä olisi ollut kannattavampia tehdä pelkkänä raivausharvennuksena. Syynä kannattamattomaan kokopuun korjuuseen oli liian pitkä ajomatka tai liian vähäinen kertymä liian lyhyen tai pieniläpimittaisen puuston vuoksi. Yhdellä näistä kannattamattomista kohteista kertymä oli 32 kuutiota hehtaarille, joten se ei edes olisi ollut kemera kelpoinen vaatimuksen ollessa 35 kuutiota hehtaarille. Tuloksista voidaan päätellä, että tekemällä energiapuuharvennus kokopuun korjuuna oikeanlaiselle kohteelle on kyseessä kustannustehokkain menetelmä hoitamattoman nuoren metsän kunnostukseen. Kohdevalinnalla ja tuella on kuitenkin suuri merkitys sille missä tämä toteutuu. Loppuvuodesta 2023 lakkautettavan kemera tuen seuraajan metka kannustejärjestelmän osalta näyttäisi tuki jopa hieman kasvavan nykyisestä. Tämä osaltaan mahdollistaa kokopuuna tehtävän korjuun jatkossakin useammassa kohteissa kuin ilman tukia.

Minkälainen on sitten hyvä työkohte, jossa kannattaa tehdä nuoren metsän kunnostus kokopuun korjuu menetelmällä? Puuston tulee olla tiheää, lehtipuuvältaista ja suurin osa puista noin 10–12 metrin pituisia. Kertymän pitää olla tarpeeksi suuri, joten kovin vähäisen harvennustarpeen olevissa tai pinta-alaltaan pienissä kohteissa pelkkä maahan raivaus on kannattavampaa. Puulajillakin on paljon merkitystä kannattavuuteen. Havupuut, etenkin kuusi on hitaampaa ja vaikeampaa käsitellä etenkin siirtelykaato menetelmällä. Ne vievät myös enemmän tilaa kuormatilassa ja kuormassa kerralla kulkeva kuutiomäärä jää pienemmäksi kuin tiiviisti pakkautuvista lehtipuista koostuvassa kuormassa. Kuusentaimikon päältä poistettaessa lehtipuustoa työtä hidastaa varottavat kuusentaimet. Paras kohteena olisikin puhdas koivikko. Puiden pituuden kasvaessa se vaikuttaa paljon myös hakkuukertymään. Jos puusto on lyhyttä, kertymä tuntuu jäävän kovin pieneksi, vaikka

rungot olisivatkin suhteellisen paksuja pituuteen nähden. Jos taas pituus menee paljon yli 12 metrin, on käsittely siirtelykaatona vaikeaa ja nippujen katkonnassa ei riitä yhdeltä kohtaa katkaisu. Tällöin olisi todennäköisesti jo selvästi järkevämpää tehdä karsittua rankaa motolla. Myöskään varastopaikalle ei saa olla pitkää ajomatkaa. Yksi tärkeimmistä tutkimuksessa esiin nousseista asioista oli ajomatkan pituuden vaikutus työn kannattavuuteen. Voisi päätellä karkeasti, että keskimääräisen lähikuljetusmatkan ollessa paljon yli 200 metriä ei kannata kokopuuta ajattaa. Hyvän kohteen edellytyksenä on myös tilava varastopaikka, jossa puiden haketus onnistuu. Kokopuuta ei kannata siirtää pienen kiintotilavuusprosentin vuoksi autokuljetuksella terminaaleihin haketettavaksi.

Hoitamattomien nuorten metsien kunnostuksessa Etelä-Pirkanmaan metsänhoito Oy:n työkohteissa tullaan jatkossakin tekemään harvennuksia kokopuun korjuu menetelmällä tässä opinnäytetyössä siihen soveltuvan kaltaisiksi todetuilla kohteilla. Kun kohde on sellainen, jossa metsänomistajan kannalta kustannustehokkain työtapa on toteuttaa se kokopuun korjuuna, on se silloin järkevintä myös koko työhön osallistuvan ketjun kannalta. Energiapuunkorjuu työllistää ison määrän työntekijöitä hankintaketjun aikana aina metsureista koneenkuljettajiin ja haketusketjuun asti. Lisäksi pystytään tuottamaan tarpeellista puupolttoainetta fossiilittomasta metsäenergiasta lähialueen voimalaitoksille.

Lähteet

Alakangas, E. (2020). *Puupolttoaineiden laatuohje – VTT-M-07608-13 – päivitys 2020*.

Bioenergia ry, Energiateollisuus ry & Metsäteollisuus ry. [https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2021/02/PUUPOLTTOAINEIDEN LAATUOHJE.pdf](https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2021/02/PUUPOLTTOAINEIDEN_LAATUOHJE.pdf)

Eronen, J. (2012). *Energiapuun tilavuuden pino- ja hakemittauksen välisen muuntokertoimen tarkennus* [opinnäytetyö, Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu].

<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205148133>

FSC-STD-FIN-01-2006. (2011). *Suomen FSC-standardi*. Suomen FSC-yhdistys.

Huuskonen, S., Hynynen, J. & Valkonen, S. (2014). *Metsänkasvatus – menetelmät ja kannattavuus*. Metsäkustannus.

Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20131087>

Laki puutavaran mittauksesta 414/2013.

<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130414>

Luke. (15.2.2022). *Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista – ajantasainen määräys*. Luonnonvarakeskus. Haettu 16.3.2023 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2022022120081>

Luke. (n.d.-a). *Tilastotietokanta. Metsänhoito- ja metsänparannustyöt 2015–*.

Luonnonvarakeskus. Haettu 15.3.2023 osoitteesta <https://urly.fi/34dw>

Luke. (n.d.-b). *Tilastotietokanta. Lämpö- ja voimalaitosten kiinteiden puupolttoaineiden käyttö maakunnittain*. Luonnonvarakeskus. Haettu 16.3.2023 osoitteesta <https://urly.fi/34kp>

Melkas, T. (8.5.2018). *Mittaus ja laatu – Metsätehon opas*. Metsäteho. Haettu 16.3.2023 osoitteesta <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/>

Metsäalan työehtosopimus. (1.2.2022). *Metsäalan työehtosopimus 1.2.2022–31.1.2024*.

Maaseudun Työnantajaliitto, Metsähallitus, Metsäpalvelutyönantajat, Yksityismetsätalouden Työnantajat & Teollisuusliitto.

Metsäkeskus. (2020). *Pirkanmaan metsäohjelma 2021–2025*.

<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/alueellinen-metsaohjelma-pirkanmaa-2021-2025.pdf>

Metsäkeskus. (2022). *Tarkastusohje 2022*. Metsäkeskus.

<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tarkastusohje.pdf>

Metsäkeskus. (2023-a). *Taimikonhoito*. Haettu 15.3.2023 osoitteesta

<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsanhoito-ja-hakkuut/taimikonhoito>

Metsäkeskus. (2023-b). *Tuki nuoren metsän hoitoon*. Haettu 15.3.2023 osoitteesta

<https://www.metsakeskus.fi/fi/palvelut/tuki-nuoren-metsan-hoitoon>

Metsäkeskus. (2023-c). Uusi kannustejärjestelmä – metka. Haettu 20.3.2023 osoitteesta

<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsatalouden-tuet/uusi-kannustejarjestelma-metka>

Metsäkeskus. (2023-d). *Metsää koskevia säädöksiä*. Haettu 15.3.2023 osoitteesta

<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/oikeudet-ja-velvollisuudet/metsaa-koskevia-saadoksia>

Metsäkeskus. (2023-e). Tietoa oikeuksista ja velvollisuuksista. Haettu 15.3.2023 osoitteesta

<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/oikeudet-ja-velvollisuudet/tietoa-oikeuksista-ja-velvollisuuksista>

Metsäteho. (2003). Korjuujälki harvennushakkuussa – opas. Metsäteho.

https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Korjuujalki_harvennushakkuussa_opas.pdf

- MMM. (2022) Metsätalouden määräaikaisen kannustejärjestelmän asetuseronnokset. Maa- ja metsätalousministeriö. Haettu 20.3.2023 osoitteesta <https://urly.fi/34Kz>
- Ovaskainen, H. (1.11.2012). *Koneellinen puunkorjuu – Metsätehon opas*. Metsäteho. Haettu 15.3.2022 osoitteesta <https://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/>
- Ovaskainen, H. & Schildt, V. (22.9.2022). *Korjuun suunnittelu – Metsätehon opas*. Metsäteho. Haettu 15.3.2023 osoitteesta <https://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/>
- PEFC FI 1002:2022. (2023). *Metsien kestävän käytön ja hoidon vaatimukset*. PEFC Suomi – Suomen Metsäsertifiointi ry.
- Pentti, T. (2022). [kuvat 1, 3–10, 12]. Henkilökohtainen kuva-arkisto.
- Rieppo, K., Mutikainen, A. & Jouhioho, A. (2011). *Energia- ja ainespuun korjuu nuorista metsistä*. Työtehoseura.
- Saksa, T., Miina, J. & Uotila, K. (2021). *Taimikonhoito – tavoitteet, menetelmät ja kustannukset*. Metsäkustannus.
- Skyttä, V. (10.11.2016). Raivaustermit sokin sokin. *Metsälehti*, 22–23.
- Tapio. (15.11.2021-a). *Tapion metsänhoitokortti numero 09-001 – Energiapuun siirtelykaato*. Haettu 15.3.2023 osoitteesta <https://www.metsanhoitokortisto.fi/energiapuu/energiapuun-siirtelykaato/>
- Tapio. (15.11.2021-b) *Tapion metsänhoitokortti numero 09-003 – Harvennusenergiapuun pinomittaus ja hakkeen mittaus*. Haettu 16.3.2023 osoitteesta <https://www.metsanhoitokortisto.fi/energiapuu/harvennusenergiapuun-pinomittaus-ja-hakkeen-mittaus/>

Tapio. (15.11.2021-c) *Tapion metsänhoitokortti numero 09-009 – Energiapuun korjuu harvennushakkuissa*. Haettu 16.3.2023 osoitteesta

<https://www.metsanhoitokortisto.fi/energiapuu/pienpuun-korjuu-energiakayttoon/>

Tapio. (2023-a). *Metsänhoidon suositukset – Energiapuun korjuu kasvatusmetsistä*. Haettu 15.3.2023 osoitteesta <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/energiapuun-korjuu-kasvatusmetsista/>

Tapio. (2023-b). *Metsänhoidon suositukset – Lumituhojen torjunta*. Haettu 16.3.2023 osoitteesta <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/lumituhojen-torjunta>

Tapio. (2023-c). *Metsänhoidon suositukset – Tuulituhojen torjunta*. Haettu 16.3.2023 osoitteesta <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/tuulituhojen-torjunta>

TMK Machinery. (n.d.). *Energiakourat*. Haettu 15.3.2023 osoitteesta <https://tmkmachinery.com/fi/energiakourat/>

Väylävirasto. (17.10.2019). *Puunkäsittely maanteilla*. Väylävirasto. <https://vayla.fi/palveluntuottajat/aineistot/puun-kasittely-tiealueella>

Liite 1: Maastotöihin perustuva aineisto

Maastotöihin perustuva aineisto

Kohde		Koealat		Hakkuutyö		Ajo			Kertymä			Kustannustehokkaampi kuin raivausvarvannus		
Kohde numero	Pinta-ala hehtaaria	Koealoja yhteensä	Koealoja / ha	Metsuri tuntia	Kaivinkone tuntia	Ajokone tuntia	Ajomatka metriä	Ajokone m3 / tunti	m ³ / hehtaari	m ³ / yhteensä	Mittaus menetelmä	Ilman kemeraa	Kemeran kanssa	Ei
1	1,0	7	7,0	72	x	16	600	3,9	62,0	62	Pinomittaus			x
2	3,8	36	9,5	173,5	17	45	200	6,0	70,5	268	Pinomittaus		x	
3	5,2	28	5,4	342,5	x	40	120	15,3	117,3	610	Kuormainvaaka	x		
4	2,9	16	5,5	266	x	29	130	11,8	117,6	341	Kuormainvaaka	x		
5	1,6	7	4,4	74	x	14	100	11,9	104,4	167	Pinomittaus	x		
6	1,1	7	6,4	61	x	8	60	15,5	112,7	124	Pinomittaus	x		
7	0,5	6	12,0	66	x	2	100	8,0	32,0	16	Pinomittaus			x
8	0,9	6	6,7	134,5	5	10	80	7,7	85,6	77	Pinomittaus			x
9	2,5	16	6,4	208	8	22	100	7,5	65,6	164	Pinomittaus			x
10	4,5	23	5,1	227,5	21	33	80	7,5	55,3	249	Pinomittaus		x	
11	0,8	7	8,8	36	4	6	80	7,3	55,0	44	Pinomittaus		x	
Yht.	24,8	159	6,4	1661	55	225	150	9,4	85,6	2122	x	4	3	4