



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Metsätalousinsinööri (AMK)

# Metsäenergian varannon ja met- sävarastojen erojen tarkastelu

Jussi Tolonen

Opinnäytetyö, toukokuu 2023

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2023**  
**Metsätalouden koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Jussi Tolonen

**Nimeke**  
Metsäenergian varannon ja metsävarastojen erojen tarkastelu

**Tiivistelmä**

Puunkorjuussa puuaines pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti, jolloin puunjalostukseen kelpaamaton puuaines toimitetaan energian tuotantoon. Hakkuun yhteydessä syntyvästä hakkuutähteestä saadaan metsäenergiaa, ja se toimii tärkeänä energianlähteenä Suomessa. Hakkuutähteiksi luetaan latvat, oksat sekä niiden lehdet ja neulaset, kannot ja ainespuuksi kelpaamaton hukkapuu.

Opinnäytetyössä tutkittiin toimeksiantajayrityksen hakkuutähteen määriä ja niiden muutoksia. Tutkimusaineisto saatiin toimeksiantajalta ja aineisto analysoitiin Excelissä.

Tutkimuksen tuloksien perusteella hakkuutähteen määrän muutos tuotantoketjun aikana oli merkittävä, kun arvioidusta kertymästä jäädään 20 %. Merkittävämpää hakkuutähteen korjuussa on leimikon kuusiosuus kuin varastointiaika. Hakkuutähteen korjuu kohdistuukin lähtökohtaisesti kuusivaltaisille päätehakkuuleimikoille.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 20

**Asiasanat**  
puunhankinta, metsäenergia, hakkuutähteet



**THESIS**  
**May 2023**  
**Degree Programme in Forestry**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author  
Jussi Tolonen

Title  
Examining the Differences Between Forest Energy Reserves and Timber Supply

Abstract

In order to use harvested timber as efficiently as possible, wood from logging that is not suitable for other timber products is directed to bioenergy production. Logging residues from harvesting are used to produce energy, which plays an important role in energy production in Finland. Logging residue includes treetops, branches with leaves or needles, stumps, and wood unsuitable for timber products.

In this thesis, the quantity of logging residue produced from forest harvesting and changes in this amount were studied. Data were obtained from the commissioning company and were analyzed in Microsoft Excel.

The results of this study show that the produced amount of wood residues significantly changes during the production chain; only 20 % of the expected accrual remains. The most significant factors affecting the production of logging residuals were percent Norway spruce and storage time. Norway spruce clearcuts should be targeted for logging residuals.

Language  
Finnish

Pages 20

Keywords  
forest energy, logging residuals, wood procurement

## Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Hakkuutähteet.....	6
2.1	Puuperäiset biopolttoaineet .....	6
2.2	Hakkuutähteiden korjuu .....	7
2.3	Metsäkuljetus.....	9
2.4	Varastointi.....	11
2.5	Haketus ja kuljetus.....	11
3	Aineisto ja menetelmät.....	12
4	Tutkimuksen toteutus.....	13
5	Tulokset .....	13
5.1	Mäntyosuuden vaikutus .....	14
5.2	Varastointiajan vaikutus .....	16
6	Pohdinta.....	17
6.1	Tulosten tarkastelu .....	17
6.2	Luotettavuus ja jatkotutkimusmahdollisuudet .....	19
	Lähteet.....	20

## 1 Johdanto

Puupolttoaineet ovat Suomen tärkein energianlähde ja niitä käytetään Suomessa pääasiassa lämmön sekä sähkön tuotannossa. Puupolttoaineilla on viime vuosina tuotettu yli 30 % Suomen koko energian kokonaiskulutuksesta. Vuonna 2021 puupolttoaineilla tuotettiin energiaa 113 TWh. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021.) Suurin osa puupolttoaineista saadaan metsäteollisuuden sivutuotteina ja metsistä hakkuiden yhteydessä kerättävästä metsäenergiasta. Suomessa energiapuun toimitukset ovat olleet viime vuosina yhä merkittävämmässä roolissa, koska puuntuonti ulkomailta on vähentynyt, sekä energian hinta on noussut.

Metsäenergiaksi ohjataan lähtökohtaisesti sellaiset puun osat, jotka eivät kelpaa muuhun puunjalostukseen. Puunkorjuun yhteydessä syntyvästä hakkuutähteestä valmistetaan haketta, jolla tuotetaan energiaa. Hakkuutähteen korjuu tuo metsänomistajalle lisätuloja, voimalaitoksille lähien energiaa sekä yrittäjille lisätyömahdollisuuksia.

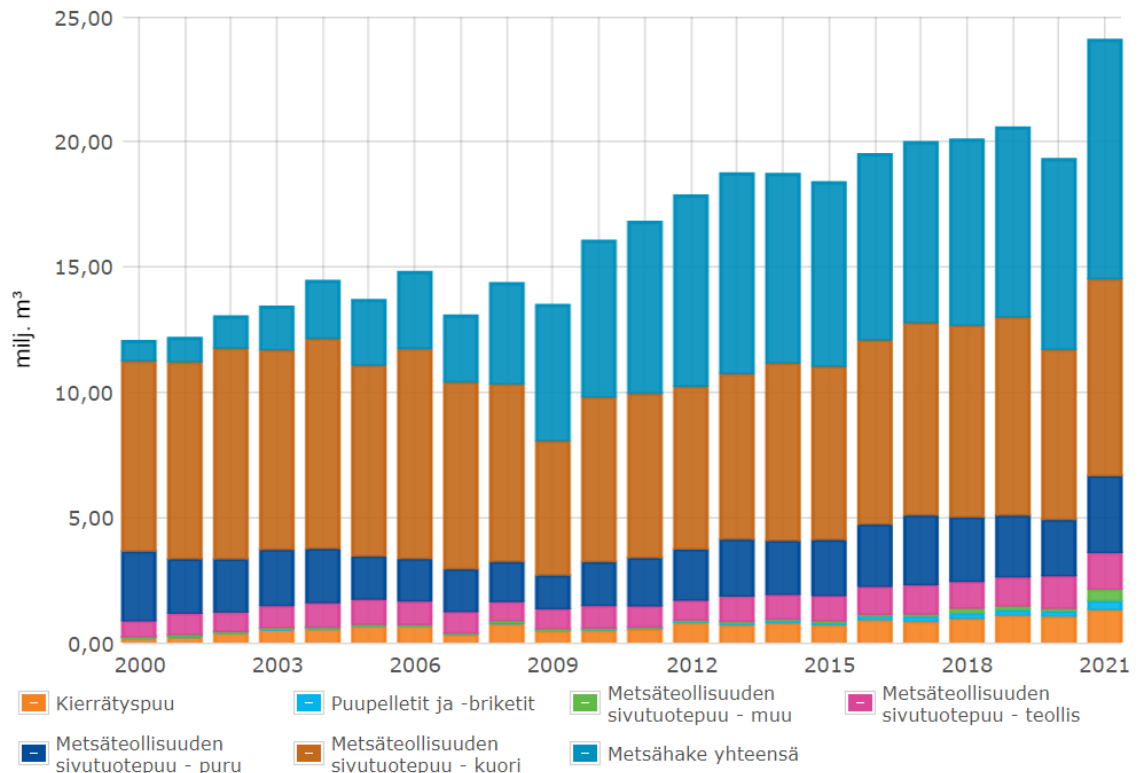
Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja hankkii ainespuun lisäksi myös metsäenergiaa. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan toimeksiantajayrityksen hakkuutähteen määriä. Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon hakkuutähteen määrät ovat muuttuneet tuotantoketjun aikana sekä tutkia määrien muutoksiin johtaneita syitä. Tutkimuksen avulla toimeksiantajayritys pystyy varautumaan hakkuutähteen määrien muutoksiin sekä päivittämään hakkuutähteen osto-ohjeistusta ja hinnoittelua.

## 2 Hakkuutähteet

### 2.1 Puuperäiset biopolttoaineet

Puupolttoaineita ovat kaikki puubiomassasta peräisin olevat biopolttoaineet. Ne voidaan jakaa primäärisiin, sekundäärisiin sekä tertiäärisiin polttoaineisiin. Primäärillä puubiomassalla tarkoitetaan yleensä energiapuuta, jota on esimerkiksi kokopuu, rankapuu sekä latvusmassa. Sekundäärinen puubiomassa tulee metsäteollisuuden sivutuotteista, kuten purusta, kuoresta sekä mustalipeästä. Tertiääristä puubiomassaa on esimerkiksi kierrätys- sekä purkupuu. EU:n ilmastopoliittika velvoittaa Suomea lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Puupolttoaineet ovat uusiutuvaa energiaa, joilla korvataan fossiilisia polttoaineita. (Rantala 2018, 386.) Uusiutuvan energian määrästä puupolttoaineet kattavat lähes 80 %. (Ruuska & Virtanen 2022, 171).

Vuonna 2021 metsäteollisuuden jäteliemillä tuotettiin energiaa 46 TWh, josta tärkein puupolttoaine Suomessa on mustalipeä, jota syntyy sellun valmistuksen yhteydessä. Kiinteitä puupolttoaineita eli esimerkiksi metsähaketta, kuorta ja puurua käyttävät lämpö- ja voimalaitokset tuottivat 46,8 TWh energiaa. (Luonnonvarakeskus.) Puupolttoaineiden käytön kasvu on seurausta metsäteollisuuden sivu- ja tähdevirtojen kasvusta, jolla on ollut merkittävä merkitys Suomessa uusiutuvien energialähteiden käytössä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021.)



Kuvio 1. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö Suomessa vuosina 2000–2021 (Luonnonvarakeskus 2022).

## 2.2 Hakkuutähteiden korjuu

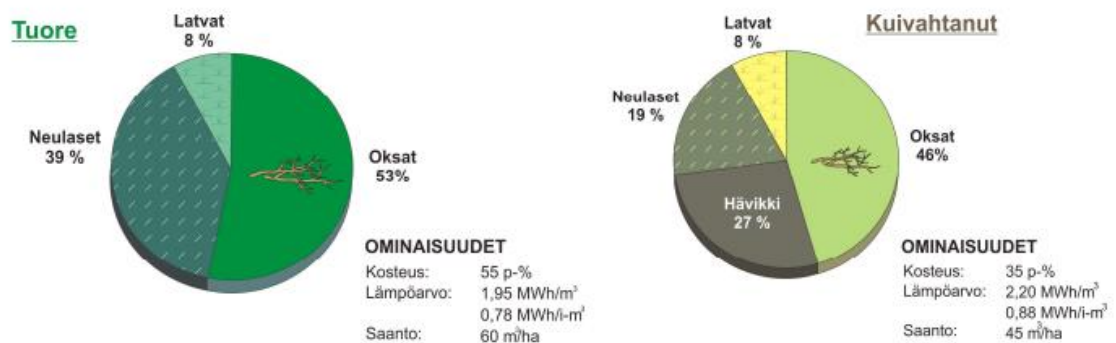
Hakkuutähdettä ovat latvat, oksat sekä niiden lehdet ja neulaset, kannot sekä ainespuuksi kelpaamaton hukkapuu. Hakkuutähdettä syntyy ainespuunkorjuun sivutuotteena, joten se on riippuvainen päätehakkuuleimikoiden korjuumäärästä. (Laitila ym. 2012, 171.) Hakkuutähteiden korjuusta sovitaan yleensä puukaupan yhteydessä. Hakkuutähteiden korjuu painottuu kuusivaltaisiin päätehakkuuleimikoihin, koska niissä hakkuutähteen kertymä on yli kaksinkertainen koivikoihin ja männiköihin verrattuna. (Alakangas ym. 2016, 69).

Hakkuutähteen kertymä on Etelä-Suomessa kuusikon uudistushakkuussa tyypillisesti 25–30 % korjatun ainespuun määrästä. Pohjois-Suomessa kertymä on pienempi. Hakkuutähteen kertymään vaikuttaa puulaji, puumäärä, puuston järeys ja oksaisuus sekä lahon määrä. (Alakangas ym. 2016, 68–69.) Leimikoiden tulisi olla myös sijainniltaan järkevissä paikoissa käyttöpaikkaan nähden. Kaukokuljetusmatka tulisi olla alle 100 km, sekä leimikon metsäkuljetusmatkan alle

300 m, jotta toiminta on kannattavaa. Isot leimikkokokonaisuudet lisäävät kannattavuutta. (Hakulinen, Ronkainen 2018, 8,13.)

Hakkuutähteitä korjattaessa noin kolmannes jätetään palstalle, jotta ravinnetasapaino säilyy. Samasta syystä korjuu keskittyy kuivahkoille, tai sitä rehevimmille kasvupaikoille. Hakkuualalle jäävä hakkuutähde lisää metsäkoneiden kannattavuutta ja suojelee maapohjaa vaurioilta. (Virtanen 2022, 172.) Hakkuutähteiden korjuu helpottaa tulevia metsä uudistamistöitä, kuten maanmuokkausta ja istutusta. Myös luontainen taimettuminen helpottuu. (Luoranen ym. 2020, 72.)

Hakkuutähteet korjataan yleensä (78 %) tievarsihaketukseen perustuvalla korjuumenetelmällä. (Strandström 2020, 12). Hakkuutähteet puidaan ainespuunkorjuun yhteydessä kasoihin palstalle, jossa niiden annetaan mahdollisuuksien mukaan kuivahtaa 2–6 viikkoa. Tällöin suuri osa neulasista sekä lehdistä jää palstalle ravinteeksi ja hakkuutähteen kosteus laskee 50–60 %:sta jopa 20–30 %:iin, jolloin myös sen lämpöarvo nousee. Kuivahtaneen kuusihakkuutähteen saanto laskee 27 % (kuva 1). (Koistinen ym. 2016, 69–71.) Hakkuutähteissä neulasten osuus on päätehakkuukuusikoissa 39 % ja päätehakkuumänniköissä 26 %.

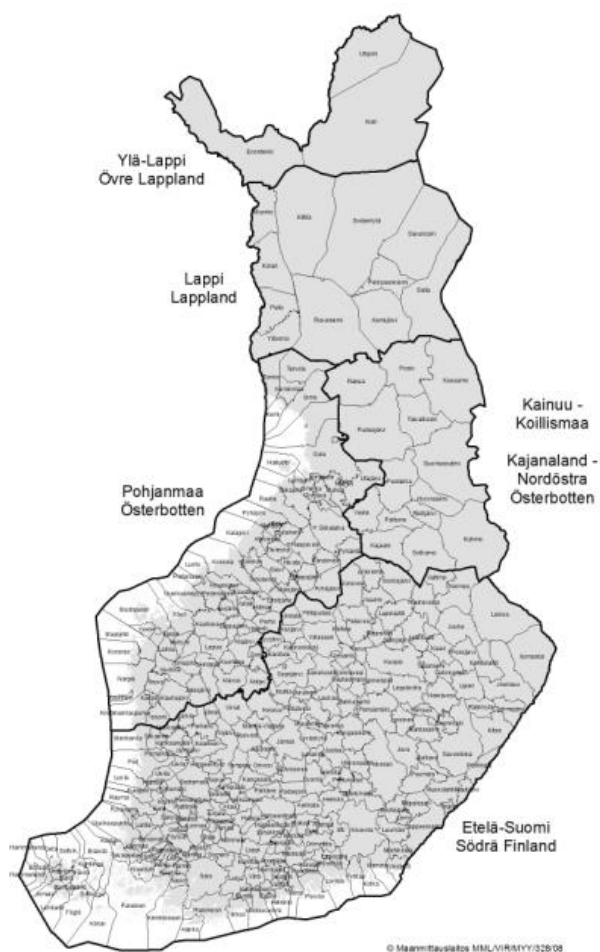


Kuva 1. Kuusihakkuutähteen koostumus tuoreena ja kuivahtaneena (Alakangas ym. 2016, 71).

### 2.3 Metsäkuljetus

Palstalla olevista hakkuutähdekasoista käytetään nimitystä metsävarasto. Metsävarastolta hakkuutähdekasat kuljetetaan tienvarsivarastoon. Metsäkuljetus pyritään toteuttamaan kesäkauden aikana. Palstalla kuivahtaneen hakkuutähteen määrä vähenee tuoreeseen verrattuna jopa 20–30 % (kuva 1). (Alakangas ym. 2016, 70). Palstakuivatuksella sekä metsäkuljetuksella on merkittävä vaikutus lopputuotteen laatuun. Tienvarsivarastoon ei saisi päätyä epäpuhtauksia, kuten kiviä ja maa-ainesta. Varastolla tulisi olla myös kuivattava vaikutus. (Alakangas ym. 2016, 68–69.)

Hakkuutähteen metsäkuljetettu määrä saadaan mitattua metsätraktorin kuormainvaakamittauksella, jossa paino muunnetaan tilavuudeksi tuoretiheysluvun avulla. Energiapuun tuorepaino muunnetaan kuorelliseksi kiintotilavuudeksi. Tuorepainolla tarkoitetaan energiapuun painoa mittaushetkellä. Tuoretiheys ( $\text{kg/m}^3$ ) tarkoittaa puuaineen tuorepainon ja tuoreena mitatun tilavuuden suhdetta. Tuoretiheystaulukot on määritetty alueellisesti (kuva 2) ja tuoretiheysluku määritetään taulukon avulla (taulukko 1). Jotta taulukkoa voidaan käyttää, niin tiedossa täytyy olla metsikön sijainti, energiapuutavaralaji, esimerkiksi hakkuutähde, hakkuuajankohta sekä mittausajankohta, eli metsäkuljetuksen ajankohta. (Energiapuun mittausopas 2014, 7–10.) Kuormainvaakamittausten tarkkuus asettui Metsätehon (2013) tutkimuksessa  $\pm 4$  %:n sisäpuolelle. (Melkas & Petty 2013).



Kuva 2. Tuoretiheysluvut ovat jaettu alueellisesti (Energiapuun mittausopas 2014, 9).

Taulukko 9. Latvusmassan tuoretiheysluvut Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. (*						
Painoluokka	Kosteus %	Ajankohta				Tuoretiheys kg/m <sup>3</sup>
		1.4.–30.4.	1.5.–15.8.	16.8.–30.9.	1.10.–31.3.	
1	> 50	Tuore, jossa lunta tai jäätä				950
2	45–50	Tuore, 20 vrk ↓	Tuore, 10 vrk ↓	Tuore, 20 vrk ↓	Tuore	840
3	40–44	≥ 20 vrk	→ 15 vrk ↓	≥ 20 vrk	≥ 20 vrk	770
4	35–39	-	20 vrk ↓	20 vrk ↑	20 vrk ↑	700
5	30–34	-	35 vrk ↓	20 vrk ↑	-	650
6	< 30	-	≥ 80 vrk	20 vrk ↑	-	600

Taulukko 1. Latvusmassan tuoretiheysluvut Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla (Energiapuun mittausopas 2014, 13).

## 2.4 Varastointi

Tienvarsivarastossa hakkuutähteet kuivuvat sekä odottavat haketusta ja kaukokuljetusta. Hyvin toteutetulla varastoinnilla saadaan laskettua hakkuutähde-erän kosteutta ja näin saadaan laadukkaampi lopputuote. Esimerkiksi jo hakkuutähdekan peittämisellä saadaan 10–15 % kuivempaa raaka-ainetta. Hyvä tienvarsivarasto sijaitsee tilavalla, tuulisella, aurinkoisella ja turvallisella paikalla. Hakkurin ja hakeauton tulee pystyä työskentelemään turvallisesti huomioiden muu liikenne ja mahdollisille asukkaille kantautuvat melu- ja pölyhaitat. Varastopaikkaa ei turvallisuussyistä saa sijoittaa sähkölinjan alle. Tuulinen, avara ja aurinkoinen paikka edistää hakkuutähdekan kuivumista. Varastopaikan pohjan tulisi olla kuiva ja kivetön, sekä pohjalla tulee olla aluspuut ehkäisemässä maakosteudelta ja edistämässä ilmankiertoa. (Koistinen ym. 2016, 49–51.)

## 2.5 Haketus ja kuljetus

Tienvarsivarastossa hakkuutähteet haketetaan hakkurilla hakeautoon, jolla hake kuljetetaan käyttöpaikalle. Haketuksen yhteydessä hakkuutähdekan määrä kiintokuutioina muunnetaan irtokuutioiksi kertoimella 2,5, jolloin 100 i-m<sup>3</sup> vastaa noin 40 m<sup>3</sup>. Hakkuutähteet voidaan hakettaa myös esimerkiksi palstalla, terminaalissa, tai käyttöpaikalla. Toimitusvarmuus on hakkeen käyttäjälle tärkeä kriteeri, eli haketta on pystyttävä toimittamaan sopimuksien mukaan. Sovittuun aikaan, sovitulla tavalla ja laadulla. Varastoihin on sitoutunut pääomaa, joka huomioidaan varastojen käyttöönoton nopeudessa. (Asikainen ym. 2021, 172.)

Hakkeen kosteus vaihtelee paljon sääolojen ja varastoinnin onnistumisen mukaan. Onnistunut varastointi alentaa kosteutta. Kesällä saadaan kuivempaa haketta, jolloin hakkeen kosteus on noin 30–35 %. Talvella lumen ja jään joutuessa hakkeen sekaan, kosteus nousee jopa 65 %:iin. Kosteus vaikuttaa merkittävästi hakkeen energiatiheeseen. Hakkuutähdehakeen energiatiheys on 0,6–1,0 MWh/i-m<sup>3</sup>. (Alakangas ym. 2016, 73.)

### 3 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa tarkasteltiin toimeksiantajayrityksen hakkuutähteen määriä. Tavoitteena oli selvittää kuinka paljon ja minkä takia hakkuutähteen määrät muuttuvat varannosta haketukseen. Tavoitteena oli myös tutkia mitkä tekijät leimikossa ja korjuuprosessissa vaikuttavat hakkuutähteen määrien muutoksiin. Eri-tyisesti toimeksiantajaa kiinnosti puulajisuhteiden vaikutus.

Tämän tutkimuksen avulla toimeksiantaja sai selville hakkuutähteen määrien muutoksia ja muutoksiin johtaneita syitä. Tutkimuksen avulla toimeksiantaja pystyy varautumaan hakkuutähteen määrien muutoksiin ja päivittämään esimerkiksi hakkuutähteen oston ohjeistusta sekä hinnoittelua.

Puunhankinnan aikana hakkuutähteen määrät päivittyvät toimeksiantajan tietojärjestelmään eri työvaiheiden jälkeen. Toimeksiantajalta saatiin tutkittava data Excel-taulukossa. Data sisälsi toimeksiantajayrityksen pystykaupalla ostettujen päätehakkuuleimikoiden ja hakkuutähde-erien tietoja.

Tutkittavia leimikoita oli yhteensä 1 886 ja ne olivat hakettu koko Suomen alueelta kahden edellisen vuoden aikana. Leimikoista oli tiedossa metsäkuljetuksen päättymispäivä, hakkuutähteen varannon määrä (arvio  $m^3$ ), hakkuutähteen määrä hakkuun jälkeen metsävarastolla ( $m^3$ ), metsäkuljetettu määrä (kg ja  $m^3$ ), hakettu määrä ( $m^3$ ), leimikon puulajisuhteet (mänty %, kuusi % ja muu lehtipuu %), varastointiaika (vrk) ja metsäkuljetusyritys. Hakkuutähteen varanto lasketaan metsäasiantuntijan arvioidusta ainespuun määrästä, kertoimella 0,2. Metsävaraston määrä lasketaan hakatusta ainespuun määrästä, kertoimella 0,2. Metsäkuljetettu määrä saadaan metsätraktorin kuormainvaakamittauksella ja hakettu määrä mitataan haketuksen yhteydessä. Varastointiajan laskenta alkaa hakkuusta ja päättyy haketukseen.

Tässä opinnäytetyössä on kvantitatiivisen (määrällisen) sekä kvalitatiivisen (laadullisen) tutkimuksen piirteitä. Kvantitatiivisen tutkimuksen avulla etsittiin vastausta kysymykseen, kuinka paljon. Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka paljon

hakkuutähteen määrät olivat muuttuneet. Kvalitatiivisen tutkimuksen avulla pyrittiin ymmärtämään leimikoiden ominaisuuksien vaikutusta hakkuutähteen määrien muutoksiin. Tutkimalla leimikon ja korjuuprosessin muutoksia, esimerkiksi puulajisuhteita. Esimerkiksi, kun leimikon mäntyosuus oli kasvanut yli 30 %:iin, niin millaisia vaikutuksia sillä on ollut hakkuutähteen määrissä. Tutkimuksessa vertailtiin eri muuttujien keskiarvoja.

## 4 Tutkimuksen toteutus

Dataa tutkittiin Excel-taulukossa. Ensiksi laskettiin kunkin muuttujan keskiarvotulokset, minkä jälkeen tarkasteltiin haluttujen muuttujien välisiä eroja, esimerkiksi varannon ja metsävaraston välinen muutos. Mäntyosuuden vaikutusta hakkuutähteen määrien muutoksiin tutkittiin suodatustoiminnon avulla. Leimikot suodatettiin niiden mäntyosuuksien mukaan 5 %:n välein, alkaen 5 %:n mäntyosuudesta. Suodatusten jälkeen laskettiin haluttujen muuttujien muutokset.

Varastointiajan vaikutusta hakkuutähteen määrien muutoksiin tutkittiin lisäämällä varastointiaikaa 2 vk:n jaksossa, minkä jälkeen laskettiin metsävaraston ja haketuksen välinen muutos. Tutkimuksessa vertailtiin eri muuttujien keskiarvoja. Saatuja tuloksia analysoitiin kuvaajien avulla. Koko data, eli kaikki 1 886 leimikkoa tutkittiin.

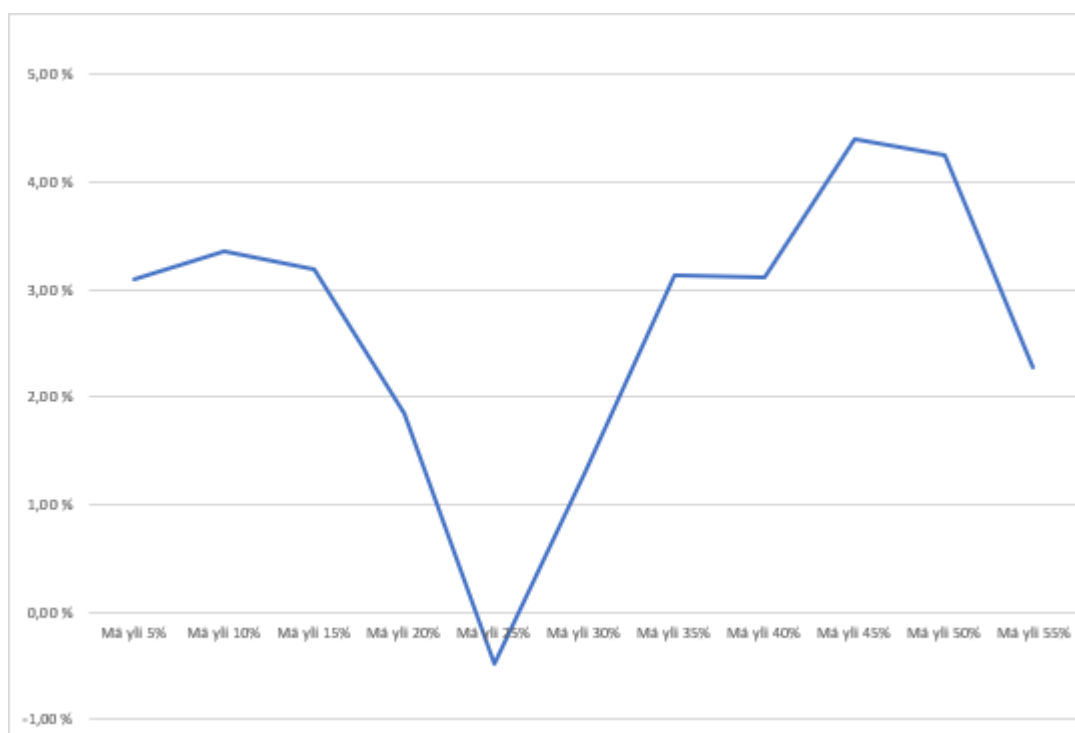
## 5 Tulokset

Tutkittavia leimikoita oli yhteensä 1 886. Keskimäärin tutkittavasta leimikosta saatiin hakkuutähdettä 164 m<sup>3</sup> metsävarastolle ja haketettua keskimäärin 131 m<sup>3</sup>. Keskimääräinen varastointiaika oli 174 vrk. Leimikon keskimääräiset puulajisuhteet olivat seuraavat; kuusi 77 %, mänty 13 % ja muu lehtipuu 10 %. Keskimäärin kokoketjun muutos varannosta haketukseen oli -20 %. Varannon ja

metsävaraston muutos oli 3 %, metsävaraston ja metsäkuljetuksen muutos -8 %, sekä metsäkuljetuksen ja haketuksen muutos -18 %.

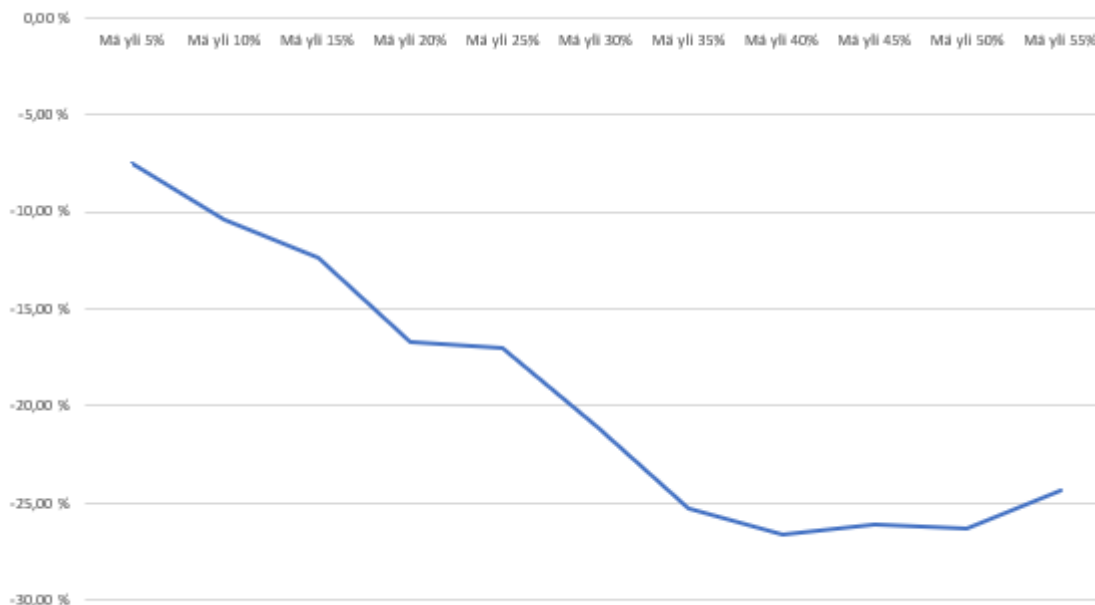
## 5.1 Mäntyosuuden vaikutus

Kuviossa 2 esitetään, miten leimikon mäntyosuuden muutos on vaikuttanut hakkuutähteen määrien muutoksiin. Varannon ja metsävaraston muutokseen sillä ei ole ollut suurempaa vaikutusta. Muutos pysyi melko tasaisesti 4 %:n ja -1 %:n välillä. Leimikon mäntyosuuden ylittäessä 25 %, muutos on pienimmillään. Varantoluku on metsäasiantuntijan arvio, joten täytyy huomioida, että se ei perustu mittaukseen.



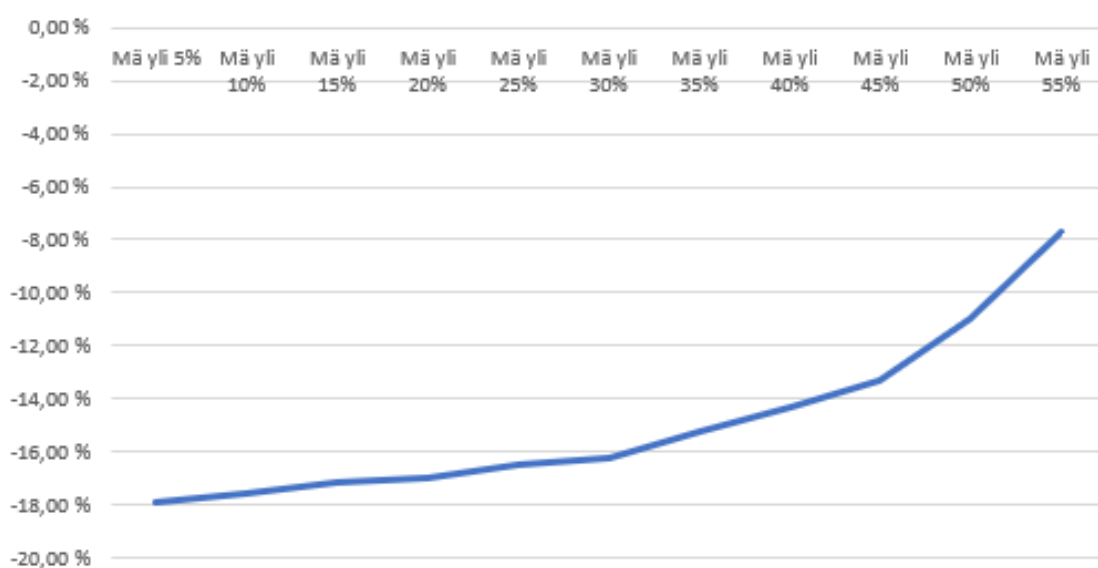
Kuvio 2. Varannon ja metsävaraston muutos.

Mäntyosuuden kasvun vaikutus metsävaraston ja metsäkuljetuksen muutokseen oli selkeää. Kuten kuviossa 3 esitetään, leimikon mäntyosuuden kasvaessa hakkuutähteen määrän muutos suurenee. Muutos kasvaa noin 19 %. Palstalla mäntyhakkuutähde kuivaa nopeammin kuin kuusihakkuutähde.



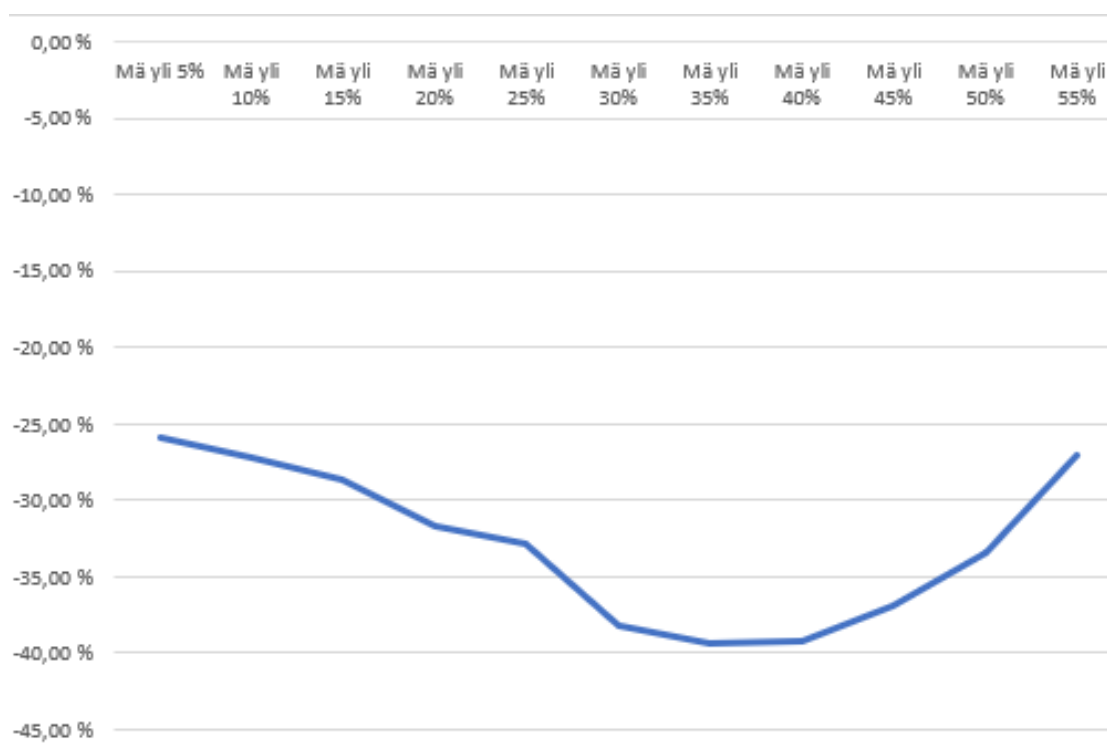
Kuvio 3. Metsävaraston ja metsäkuljetuksen muutos.

Metsäkuljetuksen ja haketuksen muutos pienenee leimikon mäntyosuuden kasvaessa. Kuten kuviosta 4 näemme, muutos on -18 %:n ja -8 %:n välillä. Mäntykuivaa palstalla nopeasti ja tienvarsivarastossa hävikki on pienempää mäntypainotteisessa leimikossa. Kuusivaltaisen leimikon hävikki on pienempää palstalla ja suurempaa tienvarsivarastossa, verrattuna mäntyvaltaiseen leimikkoon.



Kuvio 4. Metsäkuljetuksen ja haketuksen muutos.

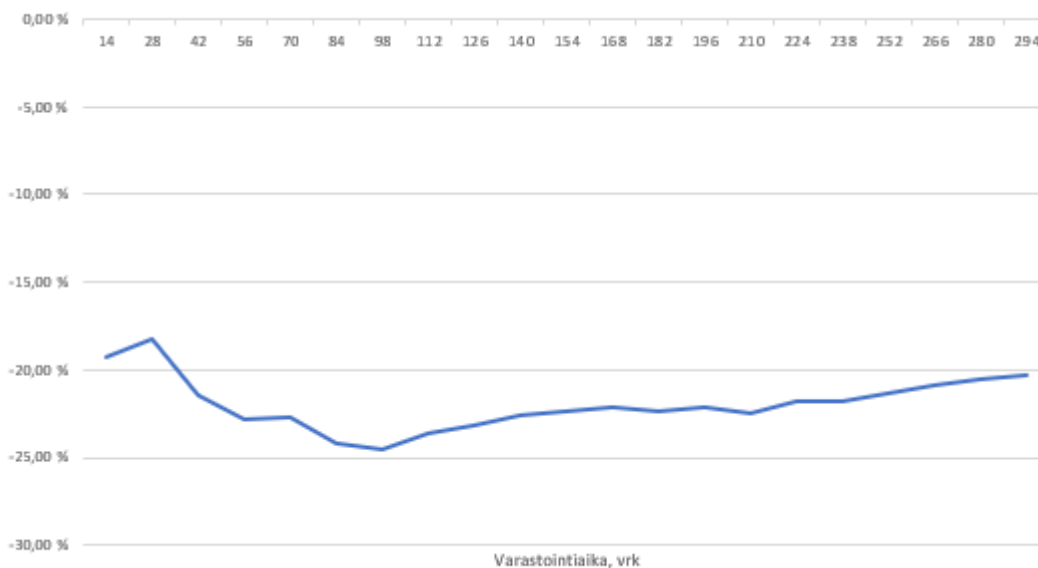
Koko ketjun muutos varannosta haketukseen on suurempaa mäntyosuuden kasvaessa. Suurimmillaan muutos on mäntyosuuden ollessa yli 35 %. Mäntyosuuden ollessa 35 %, keskimääräisestä 164 m<sup>3</sup> leimikosta saatiin hakkuutähdehaketta 100 m<sup>3</sup>. Leimikon mäntyosuuden ollessa alle 10 %, muutos on noin 27 %. Mäntyosuuden kasvaessa muutos kasvaa lähes 40 %:iin.



Kuvio 5. Varannon ja haketuksen muutos.

## 5.2 Varastointiajan vaikutus

Varastointiajan vaikutus metsävaraston ja haketuksen muutokseen vaihteli -18 %:n ja -24 %:n välillä. Keskimäärin hakkuutähteiden muutos metsävarastolta haketukseen oli -21 %. Hakkuutähteen hävikki oli 19 % ensimmäisten 2 vk:n aikana. Jolloin keskimääräisestä 164 m<sup>3</sup> leimikosta saatiin 132 m<sup>3</sup> hakkuutähdehaketta. Pienimmillään muutos oli 4 vk:n kohdalla, jolloin keskimääräisestä 164 m<sup>3</sup> leimikosta saatiin 134 m<sup>3</sup> hakkuutähdehaketta. Muutos suurenee 4 vk:n jälkeen 25 %:iin asti. Muutos kääntyy pienemmäksi 14 vk:n jälkeen.



Kuvio 6. Metsävaraston ja haketuksen muutos.

## 6 Pohdinta

### 6.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hakkuutähteiden määrien muutoksia ja muutoksiin johtaneita syitä. Hakkuutähteiden määrien muutos tuotantoketjun aikana oli merkittävä, sillä arvioidusta kertymästä jäätiin 20 %. Tästä on seurannut haasteita hakkeen toimituksiin, koska arvioidut määrät eivät toteutuneet. Tulokset olivat odotettuja. Aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että kuusikossa hakkuutähteiden kertymä on yli kaksi kertaa suurempaa kuin männikössä ja koi-vikossa. (Alakangas ym. 2016, 69). Kun varantoon ja metsävarastolle kertyvän hakkuutähteen laskentakaava on sama, riippumatta puulajista, niin se näkyy myös tämän tutkimuksen tuloksissa suurempina muutoksina hakkuutähteiden määrissä mäntyvaltaisella leimikolla.

Mäntyhakkuutähte kuivaa ensimmäisten viikkojen aikana nopeammin, eli pals-talla muutos on ollut suurempaa. Kuusihakkuutähte kuivaa hitaammin, jolloin muutos tienvarsivarastossa on ollut suurempi kuin mäntyhakkuutähteellä.

Varastointiajan kasvaessa hakkuutähteen hävikki kasvaa, mutta hakkeesta saadaan kuivempaa ja laadukkaampaa haketta. Aiempien tutkimusten mukaan kuusikon kuivahtaneen hakkuutähteen kertymä vähenee tuoreeseen hakkuutähteeseen verrattuna noin 15 m<sup>3</sup>/ha eli noin 27 %. (Alakangas ym. 2016, 70). Tässä tutkimuksessa hakkuutähteen muutokset lähtivät kasvuun 4 vk:n varastoinnin jälkeen. Merkittävämpää hakkuutähteen korjuussa on leimikon kuusiosuus kuin varastointiaika. Hakkuutähteen korjuu kohdistuu lähinnä lähtökohtaisesti kuusivaltaisille päätehakkuuleimikoille.

Hakkuutähteen laskentaprosenttia varantoon ja metsävarastolle olisi järkevä päivittää alemmas, jolloin ero suunnitellun määrän ja toteutuneen määrän välillä pienentyisi. Kun varannon ja metsävaraston laskentakaava on sama, riippumatta puulajista, voisiko laskennassa huomioida eri puulajein erilaiset ominaisuudet. Tutkittavat leimikot olivat koko Suomen alueelta, eikä niiden sijaintia huomioitu tutkimuksessa. Aiempien tutkimusten mukaan hakkuutähteen kertymä on Pohjois-Suomessa vähäisempää kuin Etelä-Suomessa. (Alakangas ym. 2016, 69). Kun varannon ja metsävaraston laskentakaava on sama, riippumatta leimikon sijainnista, niin voisiko laskennassa huomioida maantieteellisen sijainnin vaikutuksen.

Hakkuutähteet oli usealla leimikolla haketettu nopeasti hakkuun jälkeen, jolloin suositeltua 2–6 vk:n palstakuivatusta ei ollut toteutettu. Suosituksista poikkeaviin toimiin on voinut vaikuttaa kiireinen raaka-aineen tarve, asiakassuhteiden ylläpito, sekä tiukat ajoitukset työkoneiden ketjutuksissa, esimerkiksi ajokoneet sekä maanmuokkaukset. Muutamia kohteita oli metsäkuljetettu tammi-helmikuussa, jolloin hakkuutähteen kosteus on korkeimmillaan. Vastaavasti osa hakkuutähte-eristä oli varastoituina lähes kaksi vuotta, jolloin hävikin määrä kasvaa. Hakkuutähteen korjuuprosessissa on mukana useita eri henkilöitä. Jokaisen henkilön tulisi olla tarkkana, että mahdollisimman moni hakkuutähte-erä saadaan korjattua suositusten mukaisesti.

## 6.2 Luotettavuus ja jatkotutkimusmahdollisuudet

Tutkimuksessa tutkittiin kaikki 1 886 leimikkoa, jolloin kaikki datan leimikot kuuluivat tutkimukseen. Tällöin tutkimusjoukko oli suuri ja se kattoi koko aineiston. Tutkimus on suoritettu huolellisesti, mutta kun toteutus tehtiin käsin Excel-taulukossa, niin virheiden mahdollisuus on olemassa. Tulokset olivat samansuuntaisia aiempiin tutkimuksiin verrattuna. Työssä otettiin huomioon salassapitovelvollisuudet toimeksiantajaa kohtaan. Tutkittavaa dataa ei lisätty työhön.

Toimeksiantajan tietojärjestelmään on melko varmasti jäänyt hakkuun ja hakeutumisen päivämäärät talteen. Mikäli ne olisivat olleet tiedossa, niin olisi pystytty tutkimaan palstakuivatuksen ja tienvarsivarastoinnin vaikutusta erikseen. Tutkittavat leimikot voisi myös rajata maantieteellisesti ja vertailla eri alueiden välisiä vaikutuksia.

## Lähteet

- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>. 10.1.2023.
- Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.pdf>. 11.1.2023.
- Hakulinen, J. & Ronkainen, S. 2018. Stora Enso Metsän ulkoisten energialaitosten asiakastytyväisyys puupolttoainetoimituksiin. Opinnäytetyö. <https://urly.fi/39Di>.
- Heikkilä, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Jahkonen, M., Lindblad, J., Sirkiä, S. & Lauren, A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/536148/mwp241.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 15.1.2023.
- Laitila, J. 2020. Metsäkoulu. Energiapuun korjuu. Helsinki. Metsäkustannus.
- Laurikka, H., Leskelä, J. & Jaatinen, T. 2020. Puupolttoaineiden laatuohje. [https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2021/02/PUUPOLTTO-AINEIDEN\\_LAATUOHJE.pdf](https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2021/02/PUUPOLTTO-AINEIDEN_LAATUOHJE.pdf). 8.1.2023.
- Luonnonvarakeskus. Tilastopalvelu. 2022. Puun energiakäyttö 2021. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-energiakaytto/puun-energiakaytto-2021>. 14.1.2023.
- Luoranen, J., Saksa, T. & Uotila, K. 2020. Metsän uudistaminen. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Melkas, T. & Petty, A. 2013. Kuormainvaakojen punnitustarkkuus. Metsäteho. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja\\_2013\\_06a\\_Kuormainvaakojen\\_punnitustarkkuus\\_apetty\\_tm.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2013_06a_Kuormainvaakojen_punnitustarkkuus_apetty_tm.pdf). 16.1.2023.
- Rantala, S. 2018. Tapion taskukirja. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Strandström, M. 2021. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2020. Metsätehon tuloskalvosarja 8/2021. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2021-08-Metsahakkeen-tuotantoketjut-Suomessa-vuonna-2020.pdf>. 16.1.2023.
- Virtanen, H. & Ruuska, J. 2022. Metsäkoulu. Helsinki: Tapio Palvelut Oy.