

HAKKUUKONEEN MITTAUSTARKKUUS
KOIVUKUITUPUUN MITTAUKSESSA POHJANMAALLA

Jutila Marko

Opinnäytetyö

Metsätalous
Metsätalousinsinööri (AMK)

2024

Metsätalous
Metsätalousinsinööri (AMK)

Tekijä	Marko Jutila	Vuosi	2024
Ohjaaja	Soppela Jussi		
Toimeksiantaja	UPM Kymmene Metsä		
Työn nimi	Hakkuukoneen mittaustarkkuus koivukuitupuun mittaustuloksissa Pohjanmaalla		
Sivumäärä	30		

UPM:n Pietarsaaren tehtaalla ja sen hankinta-alueella katoaa jonkin verran enemmän koivukuitupuuta kuin muilla yhtiön tehdasalueilla. Tämä opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia koivun hävikkiä varastoinnin aikana ja verrata hakkuukoneen mittalaitteen mittaustuloksia tehtaan vastaanoton paino-otantamittaukseen, jotta selviää mihin koivukuitupuu katoaa matkalla kannolta tehtaalle.

Työssä käytin kvantitatiivista tutkimusmenetelmää, ja sen tutkimusaineisto on kerätty Pohjanmaan metsistä vuoden 2019 aikana. Koeleimikoiden valinnassa hain ajallista vaikutusta jakamalla puolet leimikoista keväällä hakattuihin ja loput kesäkorjuuna hakattuihin leimikoihin. Sen lisäksi pyrin etsimään maantieteellistä vaikutusta jakamalla koeleimikot rannikkoalueeseen ja sisämaan hakkuuihin. Koivuvaltaisissa leimikoissa tein hakkuukoneille mittalaitteen tarkistusmittauksen ennen korjuuta, jotta sain selville hakkuukoneen mittavirheen. Sen jälkeen vertailin metsämittauksia tehtaan vastaanoton liukuvaan keskiarvoon ja Luonnonvarakeskuksen muuntokertoimiin ja tehtaan paino-otantamittaukseen.

Tutkimuksessa havaitsin, että hakkukoneiden mittalaitteet täyttävät niille asetetut vaatimukset ja tulokset ovat määräysten sallimissa rajoissa, vaikka pölkyn tilavuudella voi olla vaikutusta kuutiointiin. Varastoinnin aikana koivu kuivuu nopeasti etenkin keväällä. Kuivumiseen vaikuttavat sijainti, sääolosuhteet, hakkuuajankohta, hakkuutapa ja varastointiaika. Pölkyn tilavuudella voi myös olla vaikutusta kuivumiseen varastopinossa. Tehtaan vastaanoton kollektiivin verrattuna hävikkiä syntyy enemmän rannikolla, kun sisämaassa ja koko aineiston perusteella hakkuukoneet mittasivat 1,3 prosenttia enemmän puuta kuin vastaanotettu määrä. Kun kollektiivia vertaa upotusmittauksella saatuihin tuloksiin ero kasvaa entisestään. Voin myös todeta, että Luonnonvarakeskuksen muuntokertoimilla saadut tulokset kesällä hakatussa alle kuusi viikkoa varastoidussa puussa ovat melko yhtenäiset upotustuloksen kanssa.

Jos puun hävikki on suurta se vaikuttaa jonkin verran tehtaiden raaka-aineen hankinnan ja logistiikan suunnitteluun ja toteutukseen. Tehtaan materiaalivirtojen seurannan osalta on myös tärkeä tietää varastosaldot mahdollisimman tarkasti.

Forestry
Forestry Engineer

Author	Marko Jutila	Year	2024
Supervisor	Jussi Soppela		
Commissioned by	UPM Metsä		
Subject of thesis	Measurement accuracy of a harvester in measurement of birch fiber wood in Ostrobothnia		
Number of pages	30		

At UPM's Pietarsaari factory and its procurement area more birch fiber wood is lost than in other factory areas of the company. The purpose of this thesis is to investigate the loss of birch volume during storage and to compare the measurement results of the logging machine's measuring device with the weight sampling measurement at the factory reception.

A quantitative research method was used in this work, and the research material was collected from the forests of Ostrobothnia during 2019. In the selection of experimental cuttings, a temporal effect was sought by dividing half of the cuttings into cuttings cut in the spring and the rest into cuttings cut in the summer. In addition, a geographical influence was sought by dividing the experimental plots into coastal areas and inland areas. To find out the measurement errors in the felling machine's measuring device a check was made before harvesting the sampling plots. Later comparisons were made between the forest measurements to the rolling average of the factory's reception and to the conversion factors of the Finnish Natural Resources Agency and to the weight sampling measurement of the factory.

The research found that the measuring devices of logging machines meet the requirements set for them and the results are within the limits allowed by the regulations, although the volume of the log may influence the cubing. During roadside storage birch dries quickly, especially in spring. Drying is affected by location, weather conditions, time of felling, felling method and storage time. The volume of the logs can also have an effect on drying in the storage pile. Compared to the collective of the factory's reception, more loss occurs on the coast than inland. Based on the entire data, the felling machines measured 1.3 percent more volume compared to the received amount. When the collective is compared to the results obtained by immersion measurement, the difference grows even more.

If the loss of wood is large, it has some influence on the planning and implementation of raw material procurement and logistics of the factories. In terms of monitoring the factory's material flows, it is also important to know the stock balances as accurately as possible.

Key words forest industry, measurement methods, wood procurement

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 PUUTAVARAN MITTAUS JA TEHDASVASTAANOTTO	7
2.1 Hakkuukonemittaus	7
2.2 Mittaustarkkuuden seuranta.....	8
2.3 Kuormainvaakamittaus	9
2.4 Paino-otantamittaus	10
2.5 Luonnonvarakeskuksen kertoimet ja Pulpwood Online	11
2.6 Haasteet koivupuun mittauksessa	12
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	13
3.1 Aiemmat tutkimukset.....	13
3.2 Aineiston keräys	13
3.3 Tutkimuksen haasteet.....	15
4 TULOSTEN VERTAILU	16
4.1 Motokontrollit	16
4.2 Tuoretiheyskertoimet	18
4.3 Varastopainon muutos	21
4.4 Mittaustapojen vertailut.....	22
4.4.1 Leimikoiden vertailu upotustulokseen.....	22
4.4.2 Hakkuukoneen ja kollektiivin vertailu.....	24
4.4.3 Autokuormien vertailu upotustulokseen.....	25
5 POHDINTA.....	28
LÄHTEET.....	30

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

Apteeraus	katkotun puunrungon jako ja katkaisu ennalta sovittuun pituuteen
Kalibrointi	tarkastuserän mittausten vertailu, jossa verrataan hakkuukoneen mittalaitteen tulosta mittasaksien tulokseen
Kollektiivi	tehtaan tuoretiheyskertoimen liukuva keskiarvo
KVA	kuormainvaaka, joka punnitsee taakan kuormauksen yhteydessä.
Moto	hakkuukone
PWO	pulpwood online on työkalu tuoretiheyden määrittämiseen varastointiajan ja sääolot huomioiden
Tuoretiheys	puun tiheys (kg/m ³)
Tuoretiheyskerroin	muuntoluku, jolla muutetaan massa tilavuudeksi
Viritys	hakkuupään mittalaitteen säätö kalibroinnin mukaisesti

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe syntyi UPM Metsän tarpeesta selvittää hakatun koivukuitupuun hävikin syitä. Pohjanmaan integraatin puunhankinta-alueella syntyy hävikkiä metsästä korjatun koivukuitupuun ja tehtaalte vastaanotetun puun määrässä. Koska hakkuukonemittausta käytetään maksuperusteena metsänomistajille, mittalaitteen tarkkuus on keskeinen tekijä taloudellisten menetysten minimoinnissa.

Kokonaiseron määrä on oletetusti usean tekijän summa. Koivu kuivuu varsin nopeasti sulan maan aikaan, mikäli tuuli ja lämpötila ovat otolliset, jotka vaikuttavat puun painoon. Rannikon merellisen sijainnin vaikutus koivun laatutekijöihin ja sitä kautta hakkuukonemittauksen tarkkuuteen voi myös olla vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tehtaan voimassa olevan kollektiivin antama painotilavuuskerroin voi antaa eriäviä tuloksia pitkiä aikoja tienvarsivarastoiduissa puuerissä. Vuoden 2019 aikana toimeksiantajan puunhankinta-alueilla Pohjanmaan määräerot koivukuidulla erottuvat selkeästi muista integraattialueista, joissa hävikkiä on vähemmän.

Puun tilavuuden ja massan muuntokertoimia on tutkittu aiemmin, koska ensin syntyi tarve muuntaa puuerien tilavuuksia massaksi, kuljetustaksojen määrittämistä varten. Myöhemmin kuormainvaakojen yleistyttyä teollisuuden puunhankinta kiinnostui massan muuntamisesta tilavuudeksi muun muassa pienten hankintakerien maksuperusteeksi. Metsätehon katsauksessa vuodelta 1992 todetaan, että puutavaralajien tuoretiheyksien vaihtelu noudatti hyvin alueittaisia tuoretiheyskertoimia Pohjanmaata lukuun ottamatta. Pohjanmaan kuitupuu vastasi paremmin puolikuivan kuitupuun tuoretiheyskertomia. Kesäaikainen ja koneellisesti hakattu puu vähensi selvästi kuitupuun tuoretiheyttä. Tukkipuun tuoretiheydessä ei havaittu suurempaa vaihtelua (Marjomaa 1992, 1).

Tässä tutkimuksessa on tarkoitus verrata hakkuukoneen mittalaitteen mittaustuloksia tehtaan vastaanoton paino-otantamittaukseen ja tehtaan liukuvaan keskiarvoon, kollektiiviin. Lisäksi tarkastellaan puutavara-auton kuormainvaan antamia tuloksia koeleimikoilla sekä Luonnonvarakeskuksen tuoretiheyskertoimia. Pyrin työssä tutkimaan, löytyykö koivun hävikille mitään selkeää syytä.

2 PUUTAVARAN MITTAUS JA TEHDASVASTAANOTTO

Suomessa kaupan kohteena olevan jalostamattoman puutavaran määrän mittaukseen sovelletaan mittauslakia. Laissa on määritetty mittaukseen käytettävien välineiden vähimmäistarkkuus ja mittaustarkkuuden ylläpitoon ja seurantaan liittyviä asioita, jotta mittausosapuolten edut turvataan tasapuolisesti. (Laki puutavaran mittauksesta 2013/414 § 2:1.)

Puutavaran määrän mittauksen tarpeeseen on useita syitä. Puun myyjän kauppahinta määräytyy useimmiten hakkuukoneen mittaamasta puun tilavuudesta ja sovitusta tilavuusyksikköhinnasta. Puunhankinnassa puuta mitataan korjuun ja kuljetusten urakointimaksujen määrittämiseksi sekä tuotantolaitosten varastokirjanpidon ja tuotannon ohjuksen tarpeisiin. Mittaus tapahtuu yleisesti hakkuukonemittauksena korjuun yhteydessä. Muita mittaustapoja ovat kuormainvaakamittaukset lähikuljetuksen tai kaukokuljetuksen kuormausvaiheessa sekä tehdasmittaus. (Lindblad 2019, 345.)

2.1 Hakkuukonemittaus

Hakkuukonemittaus on puutavaralaji- tai kokorunkomenetelmällä kaadettujen ja katkottujen puiden tilavuuden mittausta (Lindblad 2019, 349). Mittalaite on hakkuupään sisään rakennettu järjestelmä, joka mittaa läpimitan mekaanisesti puun pintaa pitkin karsintaterien tai syöttörullien avauskulman asennosta antureiden avulla. Läpimitan määrittäminen tapahtuu samalla, kun koneenkuljettaja syöttää runkoa hakkuupään läpi apterauksen yhteydessä. Käytännössä koura mittaa kappaleet kolmiomittauksella, joka vastaa ristiin mitattua läpimittaa. Läpimitan mittaus tapahtuu kuoren päältä yhden millimetrin tarkkuudella yhden senttimetrin välein puun rungon juostessa kouran läpi. Näistä mittahavainnoista muodostetaan jokaiselle kymmenen senttimetrin osuudelle tilavuus käyttäen katkaistun kartion tai lieriön kaavaa. (Metsäteho 2018a.)

Puun tyviosan mittaus tapahtuu edellisestä poiketen tyviprofiilifunktion avulla, joka määrittää tilavuuden läpimitan avulla 1,3 metrin etäisyydeltä kaatosahauksesta. Tämä johtuu siitä, että mitta-anturit sijaitsevat karsintaterissä, jotka ovat

1,3 metrin etäisyydellä sahalaipasta. Tyvipölkkyä ei siten voida mitata antureilla, vaan tilavuuden määrittäminen on laskennallinen. (Lindblad 2019, 349.)

Pölkkyjen pituusmittaus tapahtuu kouran pohjalla sijaitsevan mittapyörän anturin avulla. Mittapyörä rekisteröi käsiteltävän rungon pituusmittaa karsinnan aikana, kun runkoa syötetään kouran läpi. Pituusmittarullan tarkkuus on yksi senttimetri. (Metsäteho 2018a.)

2.2 Mittaustarkkuuden seuranta

Hakkuukoneen mittalaitteen mittaustarkkuuden seurannasta ja ylläpidosta on säädetty mittaustarkkuuslakiin. Hakkuuta suorittavan kuljettajan on seurattava mittalaitteen toimintaa jatkuvasti koneen käyttöviikoittain, ja lisäksi ulkopuolista valvontaa tehdään määrävälisin (Laki puutavaran mittauksesta 2013/414 § 3:17).

Mittatarkkuuden oma-valvonnassa koneenkuljettajan suositellaan työvuoron alussa varmistumaan mittalaitteen toimivuudesta tarkastamalla muutaman pölkyn läpimitta ja pituus tai tarkastamalla hakkuupään kiinni/auki arvojen oikeellisuus. Lisäksi tulee varmistua, että kone on säädetty arpomaan satunnaisnäyterunkoja vähintään kahdesti koneen käyttöviikon aikana. Arvotun näyterungon lisäksi tulee tehdä vielä useampi pölkky leimikon pääpuulajista, jotta mitattavaa kertyy yhteensä vähintään kuusi kappaletta. Näin ollen käyttöviikkoa kohti tulee mitattua vähintään 12 pölkkyä pääpuulajista ja lisäksi sivupuulajeista tulee olla riittävä määrä havaintoja. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2018, 3.)

Työolosuhteiden muuttuessa tai mittalaitteen huollon jälkeen tulee tarve mittalaitteen kalibrointimittaukseen (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta, 3). Kalibroinnissa todetaan, vaatiiko mittalaite viritystä vertaamalla mittaustuloksen poikkeamaa tarkastuksen tulokseen (Lindblad 2019, 354). Kalibrointi toteutetaan mittalaittevalmistajan ohjeiden mukaan. Mikäli kalibrointimittauksessa ylitetään mittaustuloksen asettama raja-arvo ± 4 prosenttia yli kymmenen kuutiometrin erille, mittalaite tulee virittää viipymättä mittaeron vähentämiseksi mahdollisimman pieneksi (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2018, 3). Käytännössä kuljettajat ryhtyvät virittämään mittalaitetta oikeammaksi jo ± 2 prosentin eroilla ja lain sallimaa rajan ylitystä tapahtuu harvoin (Metsäteho 2018b).

Tarkastusmittaus on lakiperusteinen, ja se vaaditaan tehtäväksi kaikille hakkuukoneille, joiden mittalaitteen tilavuusmittauksen perusteella saatua tulosta käytetään luovutusmittana. Mittauksen suorittaa ulkopuolinen taho, kuten työnantaja tai urakanantaja ja mittausta ei saa tehdä hakkuukoneen omilla mittasaksilla. Tarkastusmittaus tapahtuu muutoin samalla tavalla kuin kuljettajan tekemä kalibrointimittaus. Tarkasteltavien pölkyjen lukumäärä on yleensä vähintään 30 kappaletta puulajia kohti. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2018, 4.)

2.3 Kuormainvaakamittaus

Kuormaimiin asennettavien vaakojen kehitykseen ryhdyttiin 1990-luvulla. Kehitystyön tarkoitus oli löytää tapa manuaalisen hakkuun metsätyöpalkkojen määrittämistä varten. Myöhemmin, 2000-luvulla kehitystä jatkettiin, jotta pienille kuitupuuterille saataisi kustannustehokas ja nopea tapa korvaamaan kalliimpaa pinomittausta. (Lindblad 2019, 353.)

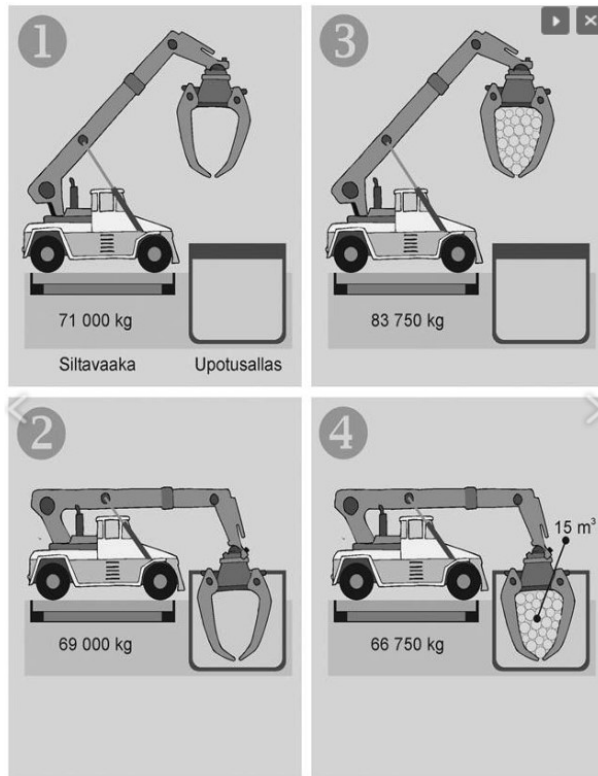
KVA mittaus perustuu massaun, josta tuoretiheysluvun (kg/m^3) avulla muodostetaan kuorellinen kiintotilavuus puutavaraerälle (Lindblad 2019, 353). Tuoretiheysluvut saadaan Luonnonvarakeskuksen määräyksestä puutavaran mittaukseen liittyvistä muuntoluvuista, jotka ovat puutavaralaji- ja puulajikohtaisia (Luonnonvarakeskus 2017, 6). Muita lukuun vaikuttavia tekijöitä ovat puutavaran mittausajankohta, varastointiaika sekä maantieteellinen sijainti (Lindblad 2019, 353). Luonnonvarakeskuksen muuntokertoimien sijaan on myös mahdollista käyttää otantaerien mittaukseen perustuvia tuoretiheyslukuja, jotka kuvaavat paremmin puutavaraerän ominaisuuksia. Sellainen menettely ei ole kuitenkaan vielä yleistynyt. (Lindblad & Repola 2019, 3.) Metsätehon tuloskalvosarjassa vuodelta 2018 todetaan, että kuormainvaakamittauksen osuus vuoden 2017 hankintakauppojen luovutusmittausmenetelmänä oli 37,9 prosenttia (2,4 milj. m^3). Yksityismetsien hankintakauppojen kokonaismäärä oli 6,4 miljoonaa kuutiometriä. (Melkas 2018, 4.)

2.4 Paino-otantamittaus

Yleisin kuitupuun vastaanottotapa tehtailla on paino-otantamittaus, jolla määritetään vastaanotettavalle puuerälle tuoretiheysluku. Menetelmä on käytössä laitoksilla, joiden vuosittaiset puuvirrat ovat suuria. Menetelmä on kolmevaiheinen, jossa puutavara-autot ensin punnitaan siltavaa'alla. Kuormista arvotaan satunnaisesti näyteniput, joille saadaan muuntoluku upotusmittauksen avulla. Otannat muodostavat liukuvan keskiarvon (kollektiivi), jolla kiintotilavuus määritetään kuorman painon jakajana. (Metsäteho 2018c.)

Puutavara-auto rekisteröi tulopainonsa siltavaa'alla saapuessaan tehtaalle. Tässä yhteydessä tietojärjestelmä arpoo mahdollisesti satunnaisen nipun näyteräksi paino-otantamittaukseen. Otantanipusta määritetään massa ja kiintotilavuus upottamalla nippu vesialtaaseen. (Metsäteho 2018c.) Mittaus perustuu fyysisen Arkhimedeen lakiin, jonka mukaan nesteeseen upotettuun kappaleeseen kohdistuva noste on yhtä suuri kuin kappaleen syrjäyttämän nesteen paino, mutta suunnaltaan vastakkainen (Luova luonnontiede 2014). Otantanippu punnitaan ensin ilmassa ja sitten upotettuna veteen. Punnitusten erotus vähennettynä kurottajapihdin tilavuudella jaettuna veden tiheydellä antaa näytenipulle tilavuuden. Periaate havainnollistetaan Metsätehon esimerkissä kuviossa 1. Näytteen tiheys saadaan jakamalla otantanipun ilmapaino tilavuudella. (Metsäteho 2018d.)

Kuvion 1. esimerkissä kurottaja on pysäköity vaa'an päälle upotusaltaan luona. Kouran vaikutus on 2000 kilogrammaa ja veden tiheys 1000 kilogrammaa kuutiolta. Otantanipun tilavuus lasketaan kaavalla (Paino ilmassa – Paino vedessä – Kouran vaikutus) / Veden tiheys. Esimerkissä nipun tilavuudeksi saadaan $(83\,750\text{ kg} - 66\,750\text{ kg} - 2\,000\text{ kg}) / 1\,000\text{ kg} = 15\text{ m}^3$. Otannan tuoretiheydeksi tulee siten $12\,750\text{ kg} / 15\text{ m}^3 = 850\text{ kg/m}^3$. (Metsäteho 2018d.)



Kuvio 1. Upotusmittaus (Metsäteho 2018d)

Upotuskokeen tulos vaikuttaa voimassa olevaan kollektiiviin siten, että uusin tulos syrjäyttää vanhimman upotetun nipun tuloksen. Liukuvassa keskiarvossa käytetään yleensä 5–10 upotuskokeen tulosta muuntoluvun laskennassa. (Metsäteho 2018d.) UPM Pietarsaaren tehtaan vastaanotto käyttää 7/5-menetelmää, jossa suurin ja pienin otannan tuoretiheysarvo jätetään pois keskiarvon laskennasta (Heikkilä 2020). Kollektiivin laskennassa käytettävien otosten lukumäärä määräytyy puulajin kierron sekä puun massan hajonnan mukaan (Seppä 2020).

2.5 Luonnonvarakeskuksen kertoimet ja Pulpwood Online

Pulpwood Online sai alkunsa 2014–2020 manner-Suomen maaseudun kehittämissohjelmaan kuuluneeseen Keski-Pohjanmaan metsälogistiikka -projektin kautta (Repola ym. 2021, 3). Tutkimushankkeen tulokset on julkaistu tutkimusjulkaisussa Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella (Lindblad & Repola 2019). Hankkeen hyvien tulosten johdosta päätettiin laajemmasta tutkimushankkeesta, joka loi pohjan PWO:lle (Repola ym. 2021, 3).

Tutkimuksen tulokset on julkaistu tutkimusartikkelissa Silva Fennican numerossa 55/2021 nimellä Pulpwood green density prediction models and sampling-based calibration. Tutkimushankkeessa on laadittu mittausajankohtaan ja sää tietoa hyödyntävän kuitupuun tuoretiheyden ennustemallit ja mallien kalibrointimenetely. Ennustevirheen keskihajontaa mittarina käyttäen on saatu tarkempia tuoretiheyden tuloksia nykyisiin menetelmiin verraten, jotka ovat tuoretiheystaulukot ja tehdaskohtainen kollektiivi. (Repola ym. 2021, 8-34.) Edellä mainitun tutkimuksen tarkempia tietoja ei ollut käytettävissä tämän opinnäytetyön teon aikana, joten se on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

2.6 Haasteet koivupuun mittauksessa

Pohjanmaalla koivupuun laatu aiheuttaa haasteita hakkuukonemittauksessa. Pohjanmaan koivu on yleisesti pientä ja mutkaista, mikä aiheuttaa haasteita mittauksessa puun liikkua hakkuupään läpi. Mutkainen puu saattaa leikkautua terissä rungon juostessa kourassa tai terät ”oikovat”, jolloin teristä mittaava hakkuupää ei rekisteröi oikeita läpimittahavaintoja.

Tämän tutkimuksen aineistossa oleva iäkkäämpi rullilta mittaava hakkuukone suoriutui parhaiten motokontrolleissa ja mittasaksiin verrattuna sen mittaero oli alle 0,2 prosenttia molemmilla mittauskerroilla. Koneenkuljettajien kertoman mukaan syöttörullilta mittaavat hakkuupäät ovat kuitenkin herkkiä lämpötilan vaihtelulle, ja niiden mittaustarkkuuden seuranta korostuu kevättalvella jopa yhden työvuoron aikana, jos aamupakkaset hellittää aamupäivällä. Kalibrointimittaus tulee tehdä työn alla olevan leimikon puuston mukaan, mutta keskustelujen perusteella käy usein niin, että uudella leimikolla ei ole tarpeeksi koivua mitattavaksi kontrollissa ja mittalaitteen tarkistus jää vain satunnaisten otantarunkojen tarkistusten varaan.

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

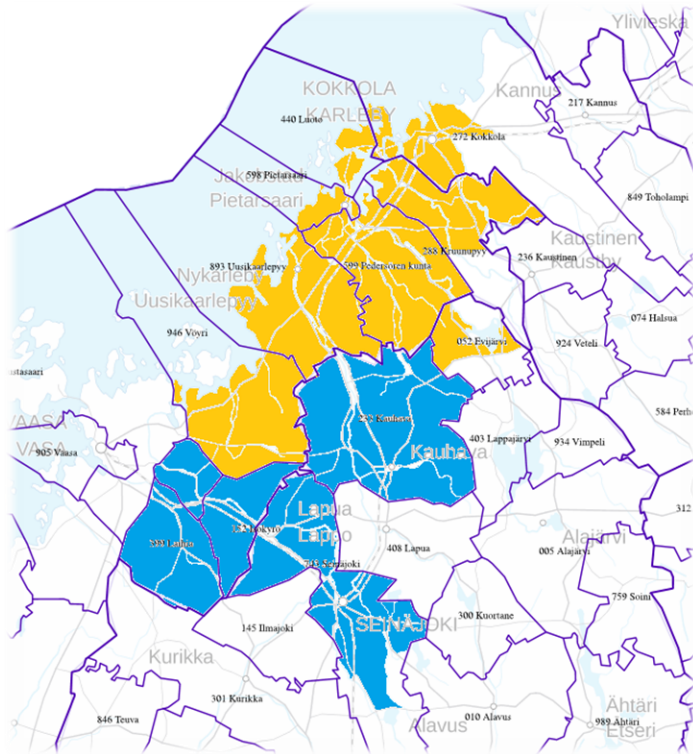
3.1 Aiemmat tutkimukset

Puun tilavuuden ja massan muuntokertoimia on tutkittu jonkin verran. Ensin syntyi tarve muuntaa puuerien tilavuuksia massaksi, kuljetustaksojen määrittämistä varten. Kuormainvaakojen yleistyttyä teollisuuden puunhankinta kiinnostui massan muuntamisesta tilavuudeksi, muun muassa pienten hankintaerien maksuperusteena.

Metsätehon katsauksessa vuodelta 1992 todetaan, että kuljetusmaksujen määrityksen perusteena on ryhdytty yhä yleisemmin käyttämään kuorman painoa. Mikäli massaa ei voida mitata syntyi tarve muuntaa tilavuus painoksi. Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty 1.8.1990 – 31.7.1991 välisenä aikana. Puutavaralajien tuoretiheyksien vaihtelu noudatti hyvin alueittaisia tuoretiheyskertoimia vuodelta 1990 Pohjanmaata lukuun ottamatta. Pohjanmaan kuitupuun vastasi paremmin puolikuivan kuitupuun tuoretiheyskertomia. Kesäaikainen ja koneellisesti hakattu puu vähensi selvästi kuitupuun tuoretiheyttä. Myös avoimelle paikalle varastoitu puu kuivui nopeammin verrattuna metsän varjoon sijoitettuun varastopaikkaan. Kuusipuulla ei havaittu merkittävää eroa, ja se saattaa johtua kuusipuun lyhyemmästä varastointiajasta. Tukkipuulla ei myöskään havaittu suurta vaihtelua tuoretiheydessä. (Marjomaa 1992.)

3.2 Aineiston keräys

Aineisto tähän tutkimukseen on kerätty toukokuun ja elokuun välillä 2019 toimiesani harjoittelijana UPM Metsällä Pietarsaaressa. Alkupalaverissa koeleimikoiden määrä rajattiin 20 leimikkoon ja leimikkojen koivukuitupuumääräksi vähintään autokuormallinen koivukuitua. Autokuormaan sopii noin 55 kuutiometriä. Koeleimikot päätettiin hajauttaa maantieteellisesti rannikon ja sisämaan välille siten, että viisi koeleimikkoa sijaitisi mahdollisimman lähellä rannikkoa ja viisi koeleimikkoa noin 50 kilometrin päässä rannikosta. Kuvion 2. mukaan alueet saivat nimet rannikko ja sisämaa.



Kuvio 2. Koeleimikoiden aluejako

Ajan vaikutusta haettiin jakamalla puolet koeleimikoiden hakkuista toukokuun ja kesäkuun väliselle ajalle. Loput kymmenen koeleimikkoa suunniteltiin hakattavaksi heinäkuun ja elokuun välillä.

Tutkimuksessa on tarkoitus vertailla erilaisia mittaustuloksia oikeana pidettävään paino-otantamittaukseen puun vastaanotossa tehtaalla. Jokaisen koeleimikon korjuun alussa tein hakkuukoneelle kalibroitimittauksen koivun mittauksen osalta, jotta moton mittaama puumäärä saatiin korjattua myöhemmin laskennallisesti. Lisäksi keräsin koe-erien painotiedot kaukokuljetuksen kuormainvaoista ja tehtaan vastaanoton siltavaa'alta. Massan pystyi siten muuntamaan kiintokuutiotilavuudeksi eri tuoreiheyskertoimien avulla, jotka saatiin Luonnonvarakeskuksen kertoimista, tehtaan kollektiivista ja upotusmittauksista. Näin ollen eräkohtaisia mittaustuloksia saatiin yhteensä viisi erilaista. Hakkuukonemittaus ja kalibroitituloksella korjattu hakkuukonemittaus ovat metsässä tapahtuvia mittauksia. Tehtaalta tulevat siltavaa'an tulos kerrottuna kollektiivilla, upotusmittauksen antama tuoreiheyskerroin sekä Luonnonvarakeskuksen tuoreiheyskerroin.

3.3 Tutkimuksen haasteet

Kaikkiaan koeleimikoita tuli 20 kappaletta alkuperäisen suunnitelman mukaan. Leimikoiden ajallinen hajautus ei kuitenkaan toteutunut suunnitellusti. Syinä olivat tutkimuksen toimintatapojen muodostuminen korjuuyrittäjien kanssa ja koivuvaltaisten tai koivua riittävästi sisältävien leimikoiden vähäinen korjuumäärä toukokuun ja kesäkuun aikana. 20 koeleimikosta yksi jäi kokonaan ilman upotusmittausta, muista koeleimikoista saatiin vähintään yksi upotusmittaus. Tavoitteena oli saada upotustulos jokaisesta autokuormasta, jolloin varastointiajan vaikutus puun painoon tulisi paremmin esiin.

Upotustulosten puuttuminen aiheutti ongelmia tulosten vertailussa siten, että metsämittauksia ei voitu vertailla edellä mainittujen leimikoiden osalta. Kokemukseni perusteella varastointiajan määrittämisen ongelmaksi muodostuivat isot koeleimikot, joita hakattiin pitkän ajan kuluessa. Näiden osalta puun kaukokuljetus oli jo aloitettu ennen hakkuun päättymistä. Sen vuoksi tuoreempaa puuta ajettiin metsästä tienvarsivarastoon päällimmäiseksi, eikä vastaanoton upotusmittaukset antaneet todellista kuvaa ajan vaikutuksesta kuivumiseen.

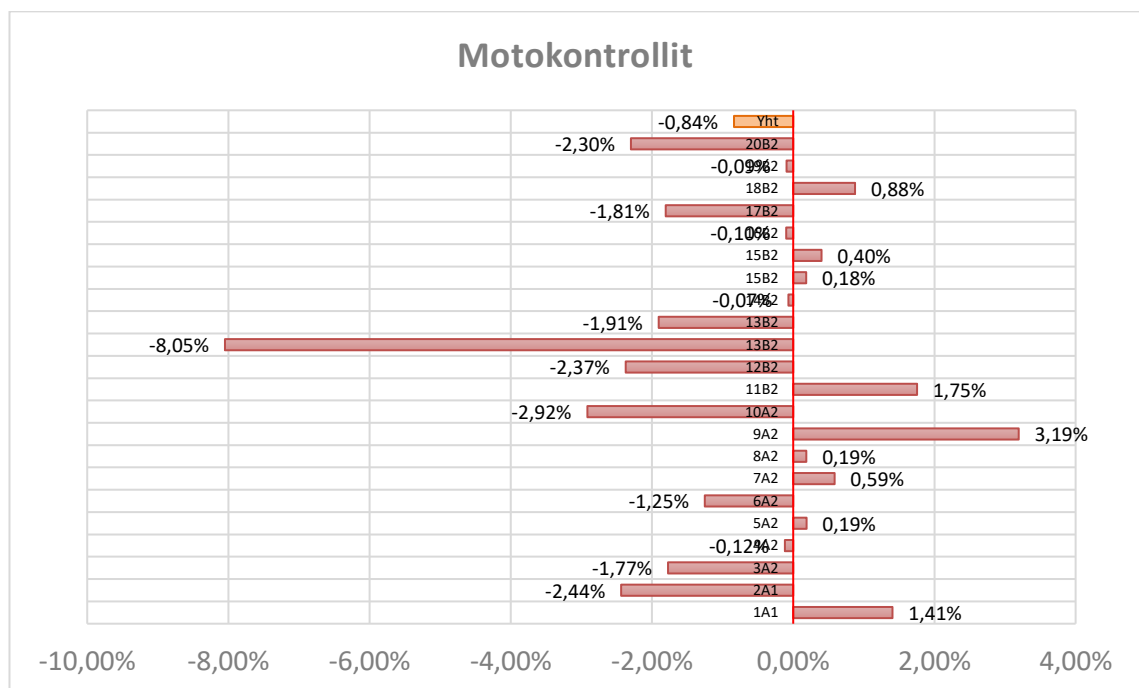
Yleisestikin tämän tutkimuksen koepuut ajettiin tehtaalle keskimääräistä nopeammin, joten suurimman osan varastointiaika jäi alle viiteen viikkoon. Normaali-tapauksessa koivukuitupuu saattaa olla varastoituna tien varressa keskimäärin kaksi kuukautta (Seppä 2020).

Kaikkien koeleimikoiden metsämittauksia voitiin hyödyntää vertailussa tehtaan kollektiivia vastaan. Kaikkien upotettujen autokuormien osalta metsämittauksen tulokset jäivät pois vertailuista. Näissä vertailussa pystyi käyttämään vain kollektiivin tulosta sekä Luonnonvarakeskuksen tuoretiheyskertoimia. Lopulta sain täydelliset mittatiedot yhdeksältä koeleimikolta. Näiden yhdeksän leimikon osalta oli mahdollista verrata alkuperäisen suunnitelman mukaan metsä- ja tehdaspään kaikkia mittauksia. Ajallisesti ja maantieteellisesti epätasaisesti jakautuneet mit-taustulokset eivät kuitenkaan sallineet aineiston luotettavaa testausta.

4 TULOSTEN VERTAILU

4.1 Motokontrollit

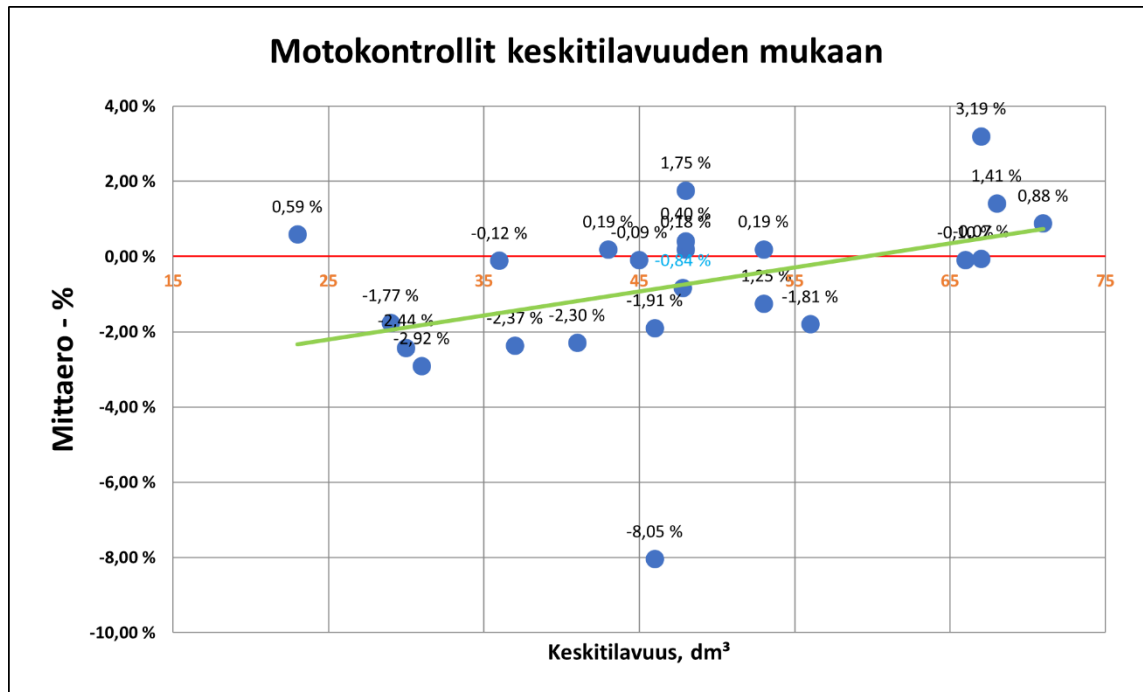
Hakkuukoneiden mittalaitteiden tarkkuuden osalta voidaan kuviossa 3 todeta niiden olleen yleisesti hyvällä tasolla ja mittausrain mukaiset. Kokonaisuudessa mittaero oli saksiin verrattuna keskimäärin -0,84 prosenttia. Kaikkien kontrollien tuloksista 45 prosenttia pääsi alle ± 1 prosentin tarkkuuteen ja 73 prosenttia kontroleista alle ± 2 prosentin mittaeroon.



Kuvio 3. Mittalaitteen ero verrattuna tarkistusmittaukseen

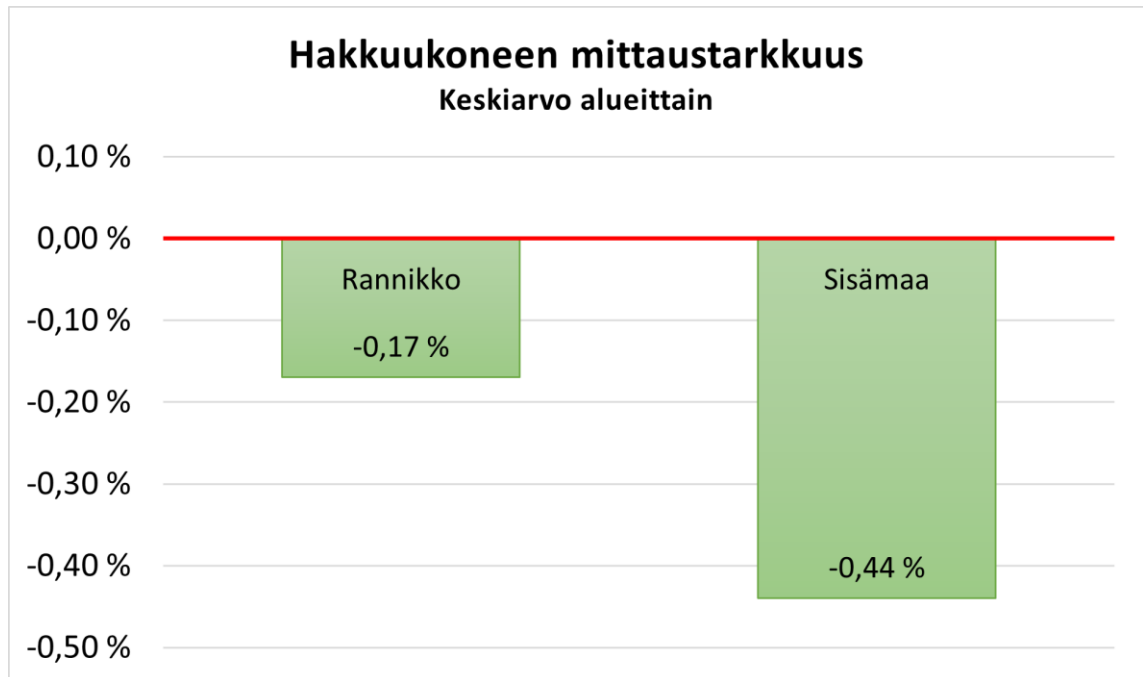
Erään leimikon tarkistusmittaus ylitti lain salliman ± 4 prosentin mittaeron. Koneenkuljettaja epäili syyksi hakkuupäähän kohdistunutta iskua edellisenä päivänä. Mittavirhe kohdistui noin 20 kiintokuutiometrin suuruiseen erään ja virhe korjattiin Maa- ja Metsätalousministeriön asetuksen mukaisesti (Maa- ja Metsätalousministeriö 2013, 16). Kokeeseen osallistui myös yksi vanhempi syöttörullilta mittaava hakkuukone, joka hakkasi kaksi koeleimikkoa. Sen kalibrointien mittatarkkuus oli sama -0,19 prosenttia molemmilla koeleimikoilla. Teriltä mittaavien koneiden tulosten vaihtelu oli aineistossa suurempaa, mutta noudattaen mittalain mukaisia vaatimuksia. Kuvion 4 mukaan koivun keskitilavuudella ei ole suurta

yhteyttä mittauksen tarkkuuteen, mutta vaikuttaa siltä, että aivan pienimpiä pölkkyjä alikuutioidaan useammin.



Kuvio 4. Kontrollimittauksen tulos pölkkyjen keskijäreyden mukaan

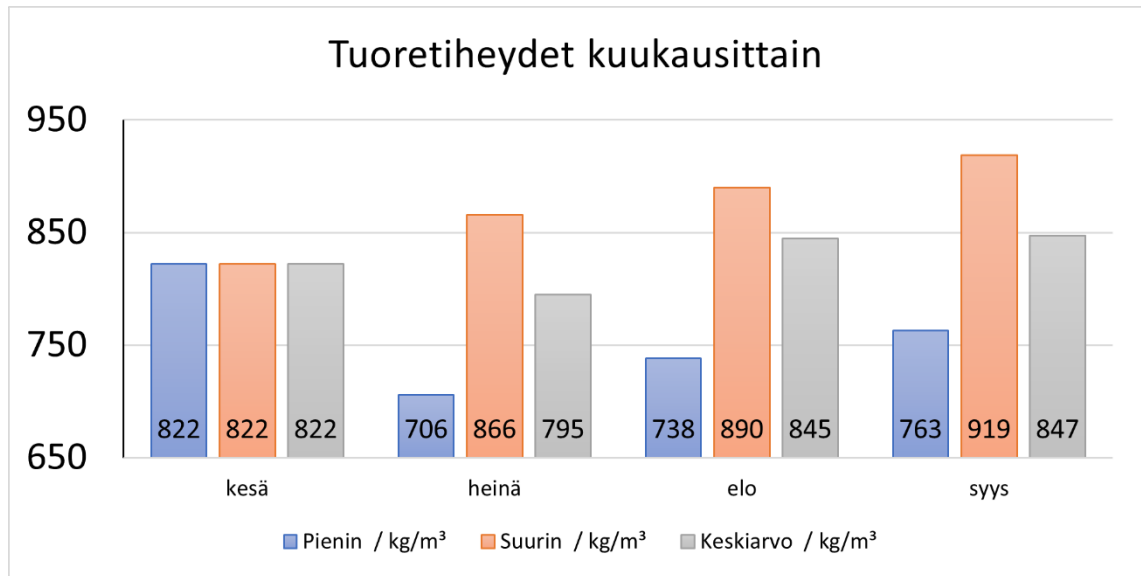
Alueittain tarkasteltuna hakkuukoneet mittasivat sisämaassa vähemmän kiinto-kuutiometrejä kuin rannikolla, ja kokonaisuudessa metsämitattu määrä jäi kontrollimittausta pienemmäksi (kuvio 5). Kuviossa on vain mittauslain mukaan hyväksytyt tarkistusmittausten tulokset.



Kuvio 5. Hakkuukoneen mittaus verrattuna tarkastusmittaukseen alueittain

4.2 Tuoretiheyskertoimet

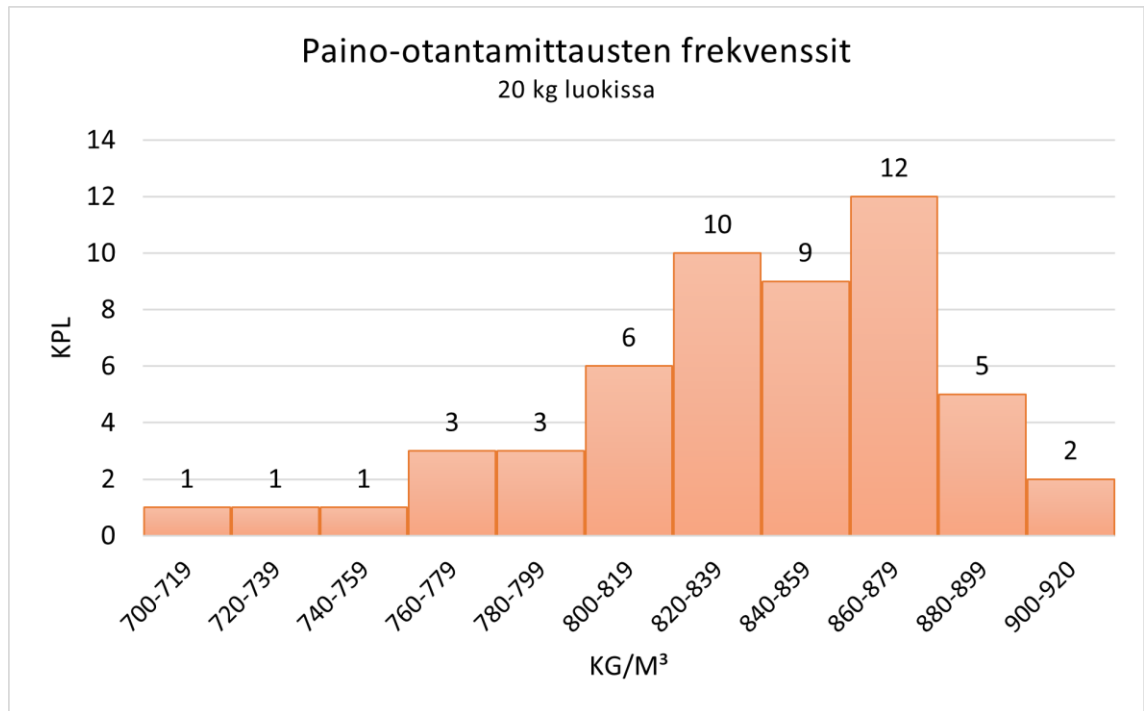
Koeleimikoiden koivupuusta saatiin lopulta 53 kappaletta upotusmittauksia. Hakatun puun tuoretiheyteen tehtaalla vaikuttavat hakkuuajankohta, hakkuutapa, varastointiaika ja keliolosuhteet. Lisäksi kevään aikana koneella hakatun koivun kuori irtoaa herkästi ja paljastunut puuaines kuivaa sitä kautta nopeammin. Kesäkuun aikana tehtaalta saatiin vain yksi upotustulos, jonka tiheys oli 822 kilogramma kuutiometriltä. Heinäkuussa upotuksia kertyi yhdeksän kappaletta ja elokuussa 14 kappaletta. Pääosa upotustuloksista saatiin syyskuun aikana, jolloin 29 nippua mitattiin tehtaalla. Alin mitattu tiheys oli 706 kilogramma kuutiometriltä ja vastaavasti suurin 919 kilogramma kuutiometriltä, tuoretiheyden keskiarvot nousivat kesän aikana (kuvio 6).



Kuvio 6. Vastaanotettujen koepuiden tiheys kuukausittain

Upotusmittausten frekvenssit jakautuvat kuvion 7 mukaisesti ollen vasemmalle vinot. Samanlaisen havainnon tekivät myös Lindblad ja Repola vuoden 2019 tutkimusartikkelissa. Heidän mukaansa

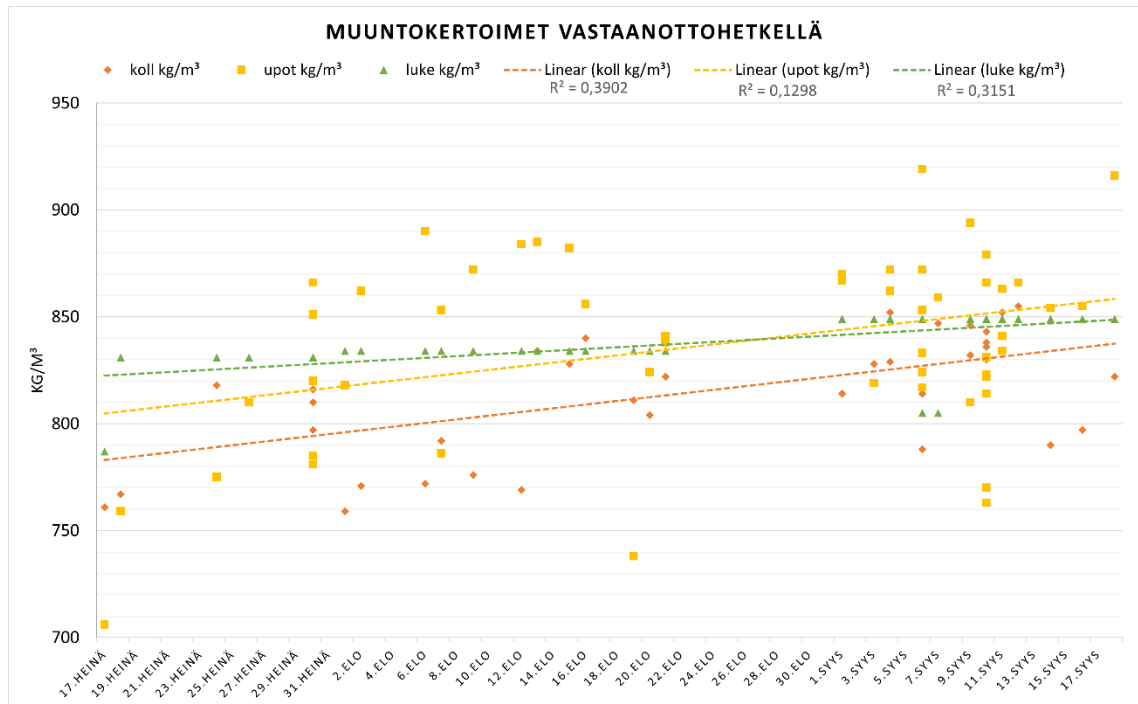
”Paino-otantamittauksessa otantaerien tuoretiheydelle on käytännön mittaustoiminnassa tehtyjen havaintojen perusteella – oletettavasti lähinnä varastointiaikojen vaihtelusta johtuen – ominaista se, että poikkeavia pieniä tuoretiheyshavaintoja on enemmän kuin poikkeavia suuria arvoja. Tuoretiheyden jakauma on siis vino pienten arvojen suuntaan. Tällöin keskiarvo ei ole paras mahdollinen tunnus kuvaamaan tuoretiheyden oikeaa tasoa.” (Lindblad & Repola 2019, 4.)



Kuvio 7. Paino-otantamittausten jakauma

Koenippujen upotushetkellä tulokset vaihtelevat saman päivän aikana (kuvio 8). Syitä ovat varastointiajan vaikutus kosteuspitoisuuteen ja puun tiheysominaisuudet. Kuviossa 8 nähdään kuinka esimerkiksi 30. heinäkuuta saapuneiden upotusten vaihteluväli on 85 kilogrammaa kuutiometriltä. Aineiston suurin vaihteluväli on 116 kilogrammaa kuutiometriltä syyskuun kymmenes päivä.

Suurin osa koenipuista on varastoitu alle kuusi viikkoa. Sen vuoksi Luonnonvarakeskuksen antamat tuoretiheysarvot vaihtelevat vain vähän kuukaudesta johtuen. Upotusten regressioviivat seuraavat Luonnonvarakeskuksen arvoja melko tarkasti. Sen sijaan otantaan perustuva tuoretiheysarvo on selkeästi alhaisempi antaen kuormille suuremman vastaanotetun tilavuuden. Liukuvan keskiarvon ominaisuuksiin kuuluu seurata painon kehitystä hieman jäljessä, ja lisäksi arvon muodostavat kaikki tehtaalla upotetut koivuniput.



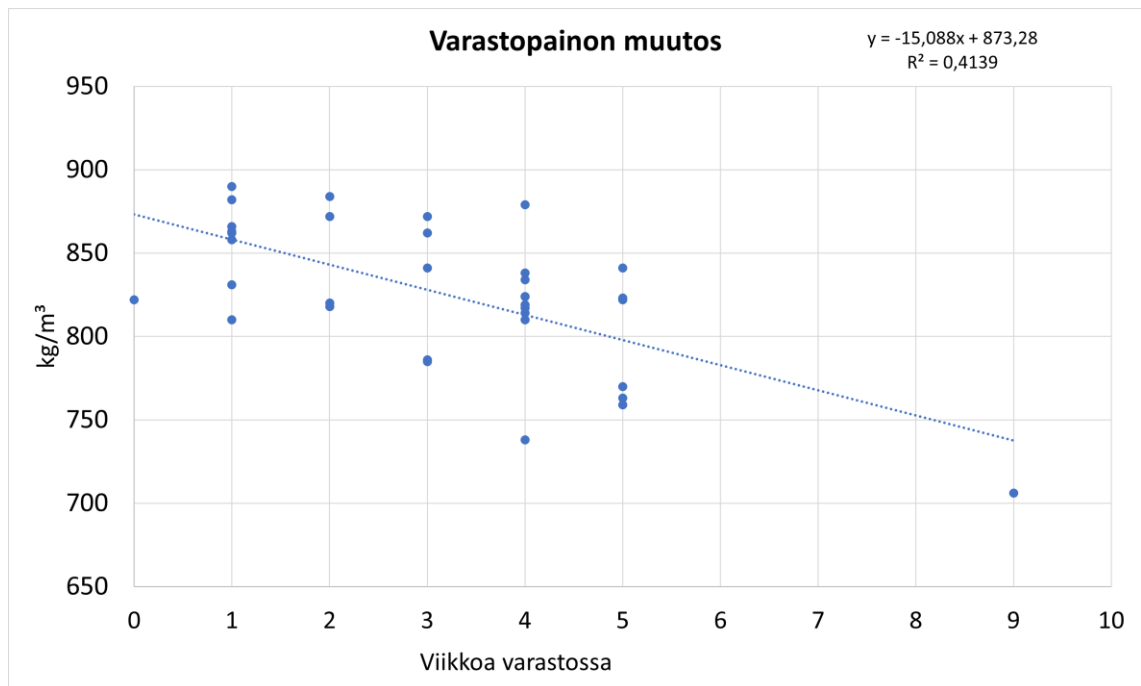
Kuvio 8. Autokuormien vastaanottohetkellä voimassa olevat tuoretiheyskertoimet

Tutkimuksen koepuut on ajettu hieman keskimääräistä nopeammin tehtaalle, joten niiden tuoretiheysarvo on liukuvaa keskiarvoa jonkin verran suurempi. Koivupuun keskimääräinen varastointiaika on noin kahdeksan viikkoa (Seppä 2020), ja tutkimusaineiston puu on varastoitu pääosin alle kuusi viikkoa. Uputusten suurin poikkeava pieni arvo on 17. päivä heinäkuuta mitattu 706 kilogrammaa kuutiolta. Sen varaston puut olivat varastoituna yhdeksän viikkoa, ja pölkkyjen keskitilavuus oli 68 kuutiodesimetriä. Keskimääräistä isompi pölkyn tilavuus johtuu maanomistajan pyynnöstä saada koivujen latvaosat omaan käyttöön.

4.3 Varastopainon muutos

Hakatus puun tiheys laskee ajan kuluessa kuivumisen vuoksi. Lisäksi puusta haihtuu hiilivetyjä, terpeenejä ja muita yhdisteitä. Kuivumisen nopeuteen vaikuttaa puun tiheys, kuoripeite, vuodenaika ja varastointiolosuhteet. Varsinkin keväällä koneellisesti hakattu puu kuoriutuu herkästi hakkuukoneen syöttörullien ja karsintaterien käsittelyssä. Paikoin pölkkyjen puuaines paljastuu koko pölkyn matkalta. Näiden pölkkyjen oletetaan kuivuvan hyvinkin nopeasti. Normaalisti haihtuminen tapahtuu vain pölkyn päätyleikkausten kautta.

Tutkimuksessa puun paino oli varastoitaessa pääosin laskeva. Joillakin leimikoilla tuli myös nousevia painoja. Niissä tapauksissa leimikko oli suuri ja kaukokuljetus oli aloitettu ennen kuin hakkuu ja lähikuljetus oli saatu päätökseen. Siitä johtuen varastomuodostelman päälle on ajettu tuoreempaa puuta ja näin ollen oikeaa varastoajan määrittystä ei voinut tehdä. Epäloogiset koeleimikot on karsittu pois kuvion 9 arvoista.



Kuvio 9. Puun painon muutos varastoinnin aikana

4.4 Mittaustapojen vertailut

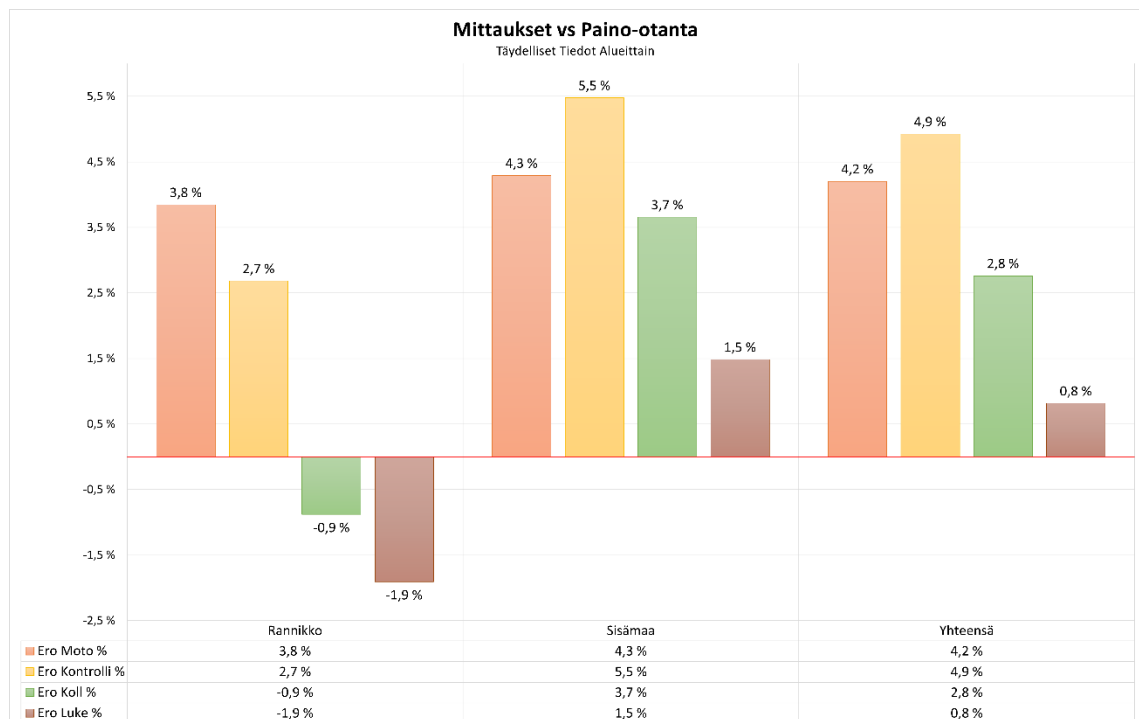
Kerätystä aineistosta pystytään tekemään erilaisia vertailuja mittaustapojen välillä. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kaikista autokuormista piti saada upotustulos, johon muita mittauksia verrataan. Käytännössä asia ei ollut niin yksinkertainen ja osa autokuormista pääsi purkuun ilman koenipun mittausta. Sen takia kattavaa vertailua ja tulosten testausta ei voitu tehdä.

4.4.1 Leimikoiden vertailu upotustulokseen

Seuraavassa vertailussa käytössä ovat kaikki eri mittaustulokset, toisin sanoen kaikilta vertailun koeleimikoilta tuli upotusmittaus jokaisesta kuormasta. Näin ol-

len vertailuun tulevat metsäpäästä motomitta ja motokontrollilla korjattu mittaustulos. Kaukokuljetuksesta saatu kuormainvaa'an massasta ja Luken tuoretiheyskertoimista yksi tulos, jonka lisäksi tehdään siltavaa'alta toinen. Näiden lisäksi tehdään liukuvaa keskiarvoa voi verrata upotettuun määrään. Täydelliset mittaustulokset tuli yhdeksältä koeleimikolta, jotka on ajettu tehtaalle 31 eri autokuormassa tai kuorman osassa. Vertailun upottamalla mitattu kokonaismäärä on 1628,5 kiintokuutiometriä, josta 321,5 kiintokuutiometriä on rannikolta ja 1307 kiintokuutiometriä sisämaasta.

Koeleimikoiden yhteistuloksessa hakkuukoneen mittaama tilavuus on 4,2 prosenttia suurempi kuin upotettu tulos. Kalibrointimittausten mukaan ero on vielä hieman suurempi, koska hakkuukoneet mittasivat hieman vähemmän tilavuutta mittasaksiin verraten. Myös kollektiivin antama tulos on upotusta suurempi. Tämä selittyy osaksi sillä, että liukuvaan keskiarvoon vaikuttavat eri aikoja varastoidut puut, jotka ovat ehtineet kuivua ja sen vuoksi kollektiivin tuoretiheysarvo on kevyempi. Kollektiivi eroaa upotustuloksesta +2,8 prosenttia, ja näkyy kuviossa 13.



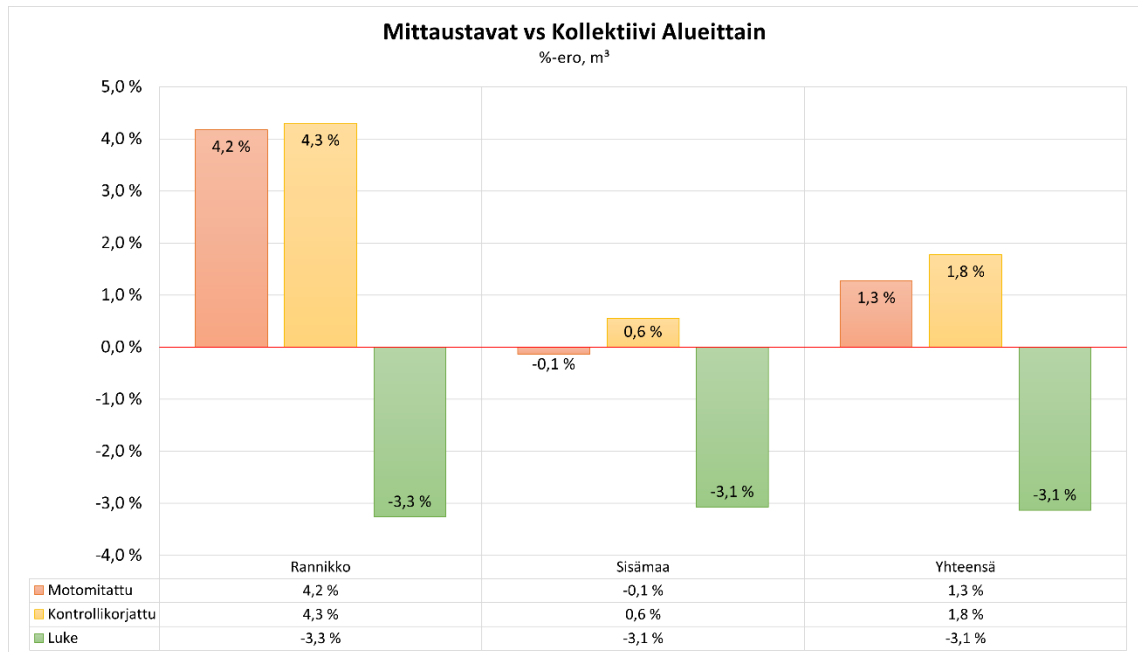
Kuvio 13. Neljän eri mittaustavan vertailu paino-otantamittaukseen

Luonnonvarakeskuksen tuoretiheyskertoimet antavat 0,8 prosenttia suuremman tilavuuden upotukseen verrattuna ja ovat siten hyvin lähellä oikeana pidettyä tuloa. Rannikolla hakkuukoneen ja tehdasupotusten välinen mittaero on 3,8 prosenttia. Ero on 1,1 prosenttiyksikköä todellista suurempi, koska rannikolla mittalaitteet olivat kokonaisuudessa plussalla. Tässäkin vertailussa ilmenee, kuinka rannikolla koivu on tuoreeltaankin kevyttä, sillä upotusten kautta saatu määrä on kollektiivilla mitattua määrää suurempi. Lisäksi Luonnonvarakeskuksen muuntokerroin on toteutuneita upotuksia raskaampi.

Sisämaan osalta hakkuukoneet mittasivat 4,3 prosenttia suuremman tilavuuden kuin upotettu tulos mittalaitteiden ollessa miinuksella. Todellinen mittaero on täten 5,5 prosenttia. Myös liukuva keskiarvo oli kevyempi kuin tehtaalle tulleet koeputut. Näin ollen tehtaan järjestelmään rekisteröitynyt määrä oli 3,7 prosenttia todellista isompi. Lisäksi voidaan todeta, että Luonnonvarakeskuksen tuoretiheysarvolla saatu määrä on ollut vain 0,8 prosenttia enemmän kuin tehtaalle saapunut määrä.

4.4.2 Hakkuukoneen ja kollektiivin vertailu

Hakkuukoneen ja tehtaan liukuvan keskiarvon välisessä vertailussa ilmenevät järjestelmään rekisteröityneet viralliset mittaustulokset. Vertailu on jaettu alueellisiin määriin sekä kaikkien leimikoiden yhteistulokseen kuviossa 10. Hakkuukonemitatun määrän lisäksi vertailussa näkyvät motokontrollilla korjattu määrä sekä Luken tuoretiheyskertoimien mukainen määrä. Yhteistuloksena hakkuukoneet ovat mitanneet 1,3 prosenttia suuremman tilavuuden tehtaan liukuvaan keskiarvoon nähden. Koneiden mitatessa hieman vähemmän motokontrolliin nähden oikeampi erotus on hieman suurempi. Luken tuoretiheysarvojen perusteella tehtaan keskiarvo antaa huomattavasti suuremman tuloksen.



Kuvio 10. Kolmen eri mittaustavan vertailu tehtaan liukuvaan keskiarvoon.

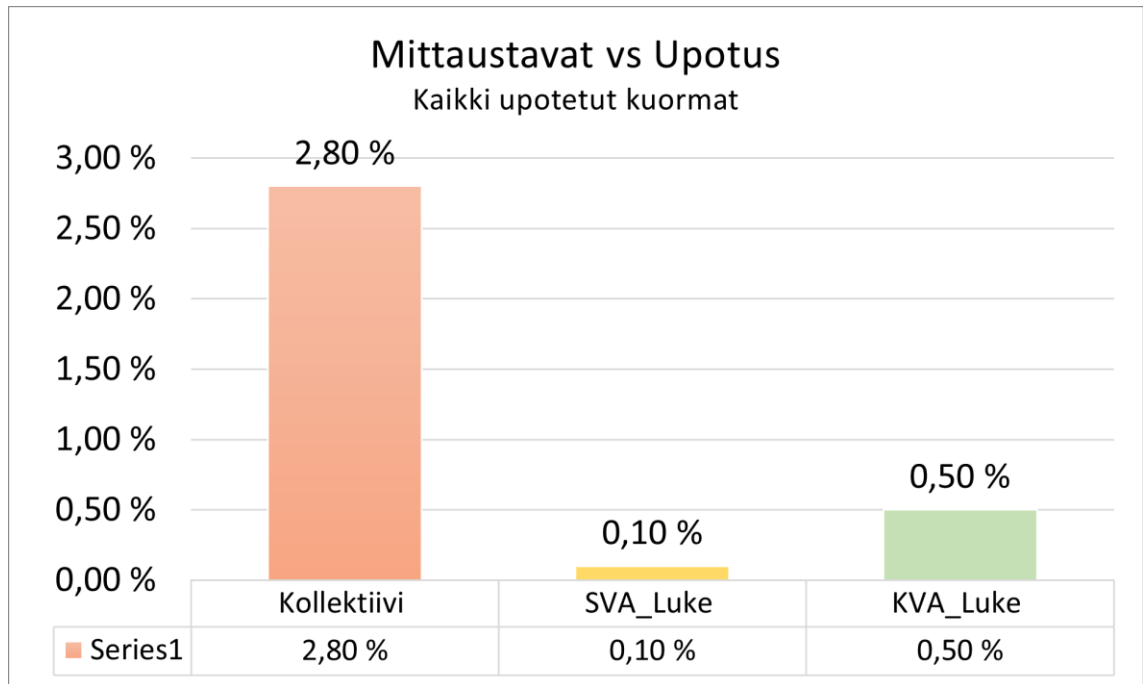
Alueellisessa vertailussa ilmenee, kuinka rannikkoseudun mittaerot ovat selkeästi suuremmat kuin sisämaassa. Hakkuukoneiden mittaustarkkuus on kuitenkin hyvällä tasolla, joskin molemmilla seuduilla puuta on mitattu kalibrointia vähemmän. Rannikon tapauksessa tehtaalla mitattu puumäärä oli 1 085,7 kuutiometriä ja sisämaassa 2 236,5 kuutiometriä.

4.4.3 Autokuormien vertailu upotustulokseen

Joidenkin koe-erien puuttuvan upotustuloksen vuoksi tässä vertailussa ei ole mahdollista tarkastella metsäpään mittauksia osana vertailua. Sen sijaan vertailen tehtaan liukuvaa keskiarvoa ja Luken tuoretiheyskertoimia upotustulokseen. Luken kertoimilla saadaan lisäksi kaksi eri tulosta riippuen siitä, käytetäänkö auton kuormainvaa'an vai tehtaan siltavaa'an antamaa massaa. Tuoretiheyskerroin on molemmissa sama, ja ero näiden välillä syntyy kuorma-auton nosturivaa'an virheestä.

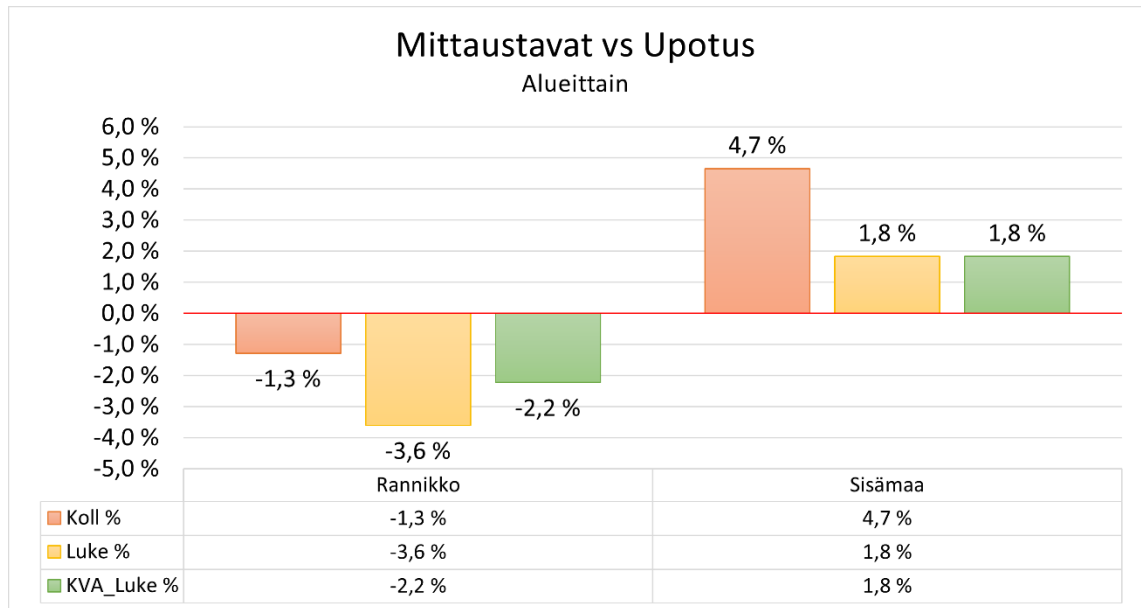
Kokonaisuudessaan kollektiivin tuoretiheyskerroin oli selkeästi kevyempi kuin upotetut koepuut. Sen vuoksi kuviosta 11 voi nähdä 2,8 prosenttia mittaeron liukuvan keskiarvon ja oikeana pidettävän upotustuloksen välillä. Luonnonvarakeskuksen tuoretiheyskerroin on lähes yhtenäinen upotustuloksen kanssa, kun

massa on mitattu tehtaan vaa'alla. Kuormainvaa'an tulos on 0,4 prosenttiyksikköä suurempi. Tämän perusteella Luken tuoretiheyskerroin on melko tarkka sulan maan aikana hakatulle alle kuusi viikkoa varastoituneen koivupuun osalta. Vertailun upotettu määrä on 2 732,2 kuutiometriä.



Kuvio 11. Kaikkien upotettujen kuormien vertailu

Alueellisesti vertailemalla tulokset jakautuvat eri suuntiin. Rannikolla koe-erien tuoretiheys on jopa kevyempää antaen suuremman tilavuuden kuin kollektiivi, joka jää 1,3 prosenttia upotusta pienemmäksi. Luken kerroin on myös selkeästi raskaampi, ja sen vaikutus tilavuuseroon on 3,6 prosenttia (kuvio 12). Sisämaassa tulos eroaa toiseen suuntaan ja kollektiivin ero upotukseen on +4,7 prosenttia. Silta- ja kuormainvaakojen punnitustulos on yhtenäinen antaen kummallekin 1,8 prosenttia isomman tilavuuden upotukseen verrattuna.



Kuvio 12. Mittausten vertailu upotusmittaukseen alueittain.

Alueellisesti jaettuna rannikon vastaanotettu määrä oli 875 kuutiometriä ja sisämaassa 1857 kuutiometriä. Rannikon koivun keskitilavuus oli 45 kuutiodesimetriä ja vastaavasti sisämaassa 54 kuutiodesimetriä.

5 POHDINTA

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää mihin koivukuitupuuta katoaa Pietarsaaren tehtaan hankinta-alueella matkalla metsästä tehtaalle. Yhtiön muiden tehtaiden puunhankinnassa muualla Suomessa tulee myös hävikkiä, mutta rannikkoseudulla hävikki on suurempaa. Tämän tutkimuksen avulla ei kyetty selittämään hävikkiä, koska aineisto oli puutteellista. Alkuperäisen suunnitelman mukainen hajautus ajallisesti ja maantieteellisesti ei toteutunut, ja sen takia aineistoa ei ollut mahdollista testata luotettavasti. Aineiston laadun ja määrän perusteella ei voitu tehdä tarkempia johtopäätöksiä.

Voidaan todeta, että hakkukoneiden mittaustarkkuus vaikuttaa olevan kokonaisuudessa hyvällä tasolla, eikä tehtaalla syntyvää hävikkiä voida selittää metsämittauksen syyksi. Hakkukoneiden mittalaitteiden tarkkuus noudattavat niille annettuja määräyksiä ja useimmiten jopa alittavat suurimman sallitun poikkeaman parilla prosenttiyksiköllä. Yksittäisten leimikoiden osalta mittaustarkkuudessa syntyy vaihtelua, mutta tulokset ovat säädösten rajoissa. Näin ollen UPM:n nykyinen ohjeistus mittalaitteen tarkkuuden seurannasta ovat riittävät, mikäli niitä noudatetaan myös sivupuulajien osalta tarkasti.

Tehtaan liukuvaan keskiarvoon verrattuna koepuut olivat raskaampia, mikä selittyy sillä, että koepuiden varastointiaika jäi keskimääräistä lyhyemmäksi ja puut ajettiin melko tuoreena tehtaalle. Eräs keino mitatun hävikin pienentämiseksi voi olla varastointiajan lyhentäminen nopeammilla kaukokuljetuksilla tienvarsivarastolta tehtaalle.

Yhdeksän leimikon kokonaisvertailussa Luonnonvarakeskuksen tuoretiheysker-toimilla päästään varsin lähelle upotustulosta keväällä ja kesällä alle kuusi viikkoa varastoiduissa koivukuitupuuerissä. Mikäli Luonnonvarakeskuksen kerroin on yhteneväinen myös puolikuivien kertoimien osalta menetelmä voi olla yksinkertaisuudessaan käyttökelpoinen koivupuun vastaanotossa. Hyötyinä on vähentynyt tarve tehdä upotusmittauksia tehtaalla, jolloin säästynyttä konetyöaika voi kohdentaa muuhun kurottajatyöhön.

Opinnäytetyön tulokset ovat hyvin samansuuntaisia aiemmin tehtyihin luonnonvarakeskuksen tutkimuksiin verraten. Näin ollen en saanut varsinaista uutta tietoa esille, mutta tulokset tukevat vanhempaa tietoa aiheesta.

Oppimiskokemuksena työ on ollut antoisa. Pääsin tutkimuksen ansiosta syvemmälle sisään puunhankinnan prosesseihin, jonka kautta ymmärrykseni aiheeseen lisääntyi. Puunhankintaketjun sisäinen tiedonkulku ja ohjaus ei lopulta aina ollut niin yksiselitteistä, kun ennakkoon olin kuvitellut ja korjuuohjelman muutoksia tai tiedonkulun katkoksia ilmeni ajoittain. Aineistonkeruun alku oli hidasta keväällä johtuen vähäisten koivua sisältävien leimikoiden määrästä. Lisäksi asioiden toimeenpano omalta osaltani vaati totuttelua ja toimintatapojen muodostuminen yrittäjien ja kuljettajien kanssa vei oman aikansa. Uupumaan jääneet upotusmittaukset vaikeuttivat myöhempää tulosten vertailua siten, että yhden vertailun sijaan jouduin tekemään useampia erilaisia vertailuja eikä oikeana pidettyä upotusta ollut aina käytettävissä. Sen vuoksi lopullinen ehjä aineisto jäi ennakkoon suunniteltua pienemmäksi, eikä sallinut luotettavaa testausta. Lopulta myös metsään jääneen ajamattoman puun tarkistuskäynnit jäivät pois ajanpuutteen takia. Voin kuitenkin todeta, että kesäkorjuun vuoksi mahdollinen metsään jäänyt puumäärä on todennäköisesti olematon.

LÄHTEET

Heikkilä, M. 2020. UPM-Kymmene Oyj Metsä. Terminaalivastaavan puhelinkeskustelu 11.11.2020.

Laki puutavaran mittauksesta 14.6.2013/414. Viitattu 16.1.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130414>.

Lindblad, J. & Repola, J. 2019. Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys painotantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. Metsätieteen aikakauskirja 2019. Viitattu 23.3.2020 <https://doi.org/10.14214/ma.10101>.

Lindblad, J. 2019. Puutavaran mittaus. Teoksessa S. Rantala (toim.) Tapion taskukirja. 26., uudistettu painos. Helsinki: Metsäkustannus Oy, 345–355.

Luonnonvarakeskus 2017. Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista annetun metsäntutkimuslaitoksen määräyksen liitteen muuttamisesta. Määräys nro 1/2017. Viitattu 22.3.2020 https://www.finlex.fi/data/normit/43823/Luonnonvarakeskuksen_maarays_puutavaran_mittaukseen_liittyvista_yleisista_muuntoluvuista_FI_1_2017_21122017.pdf.

Luova luonnontiede 2014. Arkhimedeen laki. Viitattu 5.4.2020 <https://luovaluonnontiede8.wordpress.com/2014/09/01/arkhimedeen-laki>.

Maa- ja Metsätalousministeriö 2013. Maa- ja Metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä. Asetus nro 12/13. Viitattu 16.1.2024 <https://finlex.fi/data/normit/41198-13012fi.pdf>.

Marjomaa, J. 1992. Puutavaralajien tuoretiheyksien vaihtelu. Metsätehon katsaus 4/1992. Viitattu 16.1.2024 <https://www.metsateho.fi/puutavaralajien-tuoretiheyksien-vaihtelu>.

Melkas, T. 2018. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2017. Metsätehon tuloskalvosarja 6a/2018. Metsäteho Oy. Viitattu 23.3.2020 https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2018_6a_Puutavaran_mittausmenetelmien_osuudet_2017.pdf.

Metsäteho 2018a. Mittaus ja laatu- opas. Viitattu 12.3.2020 <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/hakkuukonemittaus/mittausmenetelma>.

Metsäteho 2018b. Hakkuukoneen mittaustarkkuuden ylläpito. Viitattu 19.3.2020 <http://puuhuolto.fi/omavalvonta/tyoohjeet/mittalaitteen-kalibrointi-ja-viritys>.

Metsäteho 2018c. Paino-otantamittaus. Viitattu 12.3.2020 <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/paino-otantamittaus>.

Metsäteho 2018d. Tilavuuden mittaus. Viitattu 12.3.2020 <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/paino-otantamittaus/tilavuuden-mittaus>.

Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2018. Hakkuukoneen mittaustarkkuuden ylläpito. Viitattu 19.3.2020 http://puuhuolto.fi/omavalvonta/wp-content/uploads/sites/6/2018/10/Suositus_Hakkuukoneen-mittaustarkkuuden-yll%C3%A4pito_12092018.pdf.

Repola, J. Heikkinen, J. Ojanen, H. Lindblad, J. Räsänen, T. & Melkas, T. 2021. Kuitupuun tuoretiheyden ennustemallit ja uusi painomittauksessa käytettävä toimintamalli. Metsätehon tulosalvosarja 11/2021. Metsäteho Oy. Viitattu 22.1.2023. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja-2021-11-Kuitupuun-tuoretiheyden-ennustemallit.pdf>.

Seppä, J. 2020. UPM-Kymmene Oyj Metsä. Terminaalipäällikön puhelinkeskustelu 11.11.2020.