



# **Kuormainvaakamittauksen käyttö energiapuun vastaan- otossa**

Konsta Karhu

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2021

Metsätalouden koulutus

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Metsätalouden koulutus

KARHU, KONSTA:

Kuormainvaakamittauksen käyttö energiapuun vastaanotossa

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 0 sivua

Toukokuu 2021

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kuormainvaa'an käyttöä energiapuun mittauksessa ja tutustua menetelmän hyötyihin ja haasteisiin. Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Vapo Oy:lle. Työn haasteena oli tuoreen tutkimustiedon vähäinen määrä.

Kuormainvaakamittauksessa käytettävien nykyaikaisten venymäliuska-antureihin perustuvien vaakariipukkeiden mittaustarkkuuden voidaan olettaa olevan hyvällä tasolla. Edellytyksenä hyvälle mittaustarkkuudelle on kuitenkin huolellisesti tehty kuormainvaa'an kalibrointi, joka edellyttää kuljettajalta mittausmenetelmän tuntemusta. Energiapuun kuormainvaakamittauksen ongelmana kuitenkin on pitkän aikavälin keskiarvoihin perustuvat yleiset muuntoluvut, jotka eivät huomio alueellisia eroja tai äkillisiä olosuhteiden muutoksia tarpeeksi hyvin. Ongelmaa on kuitenkin pyritty ratkaisemaan. Latvusmassan kuormainvaakamittaukselle on jo julkaistu paikallisiin säähavaintoihin perustuva kosteudenlaskentamalli, jolla saadaan tarkempia tuloksia. Latvusmassan kosteusmallisakin on kuitenkin havaittu epävarmuuksia.

Työssä tehtyjen havaintojen perusteella mahdollinen korvaaja nykyisten muuntolukujen käytölle olisi kosteuden mittaaminen kuormainvaakamittauksen yhteydessä. Tällöin pystyttäisiin käyttämään tarkkoja erä- tai jopa kuormakohtaisia muuntolukuja. Kosteusmittareita koskevat tutkimukset ovat lähes vuosikymmenen takaa, joten nykyaikaisten kosteusmittareiden soveltuvuudessa olisi jatkotutkimuspotentiaalia.

---

Asiasanat: kuormainvaakamittaus, energiapuun mittaus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Forestry

KONSTA KARHU:  
Usage of Crane Scale in Energy Wood Supply Chain

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 0 pages  
MAY 2021

---

The objective of this study was to gather information about usage of crane mounted loader scales as a method of measuring energy wood. Also, to find out information about the benefits and challenges of said method of measurement. The thesis was carried out as an assignment for Vapo Oy

The results suggest that the measurement accuracy of modern strain gauge-based loader scales is at a good level. However, a prerequisite for good measuring accuracy is a careful calibration of the loader scale, which requires the driver to be familiar with the method of measurement. The biggest issue currently regarding this method is the inaccuracy of conversion factors given to energy wood. This is because the conversion factors are based on long-term averages and do not take into account regional differences or sudden changes in measuring conditions such as rain. Studies have been conducted to find solutions to this issue such as calculation models based on local weather observations. However, these models have been found to have their own accuracy issues in some scenarios.

Based on the information gathered, a possible future method could be using conversion factors based on moisture meter readings. By measuring the moisture content of the loaded and weighed energy wood, it would be possible to use far more accurate conversion factors. However, the issue with this method is that the moisture meters used in the quoted studies were found to be far too inaccurate. Though the information regarding these meters was from a decade, so further research about the latest moisture meters is required to find out about the potential they offer.

---

Key words: crane scale, loader scale, energy wood

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	KUORMAINVAAKATEKNIKKAA .....	6
	2.1 Vaakariipukkeiden anturitekniikka .....	7
	2.2 Kuormainvaakatekniikan markkinakehitys .....	9
	2.3 Mittaustietojen siirto kuormainvaa'alta .....	10
	2.4 Lain asettamat vaatimukset kuormainvaakatekniikalle.....	12
	2.5 Kuormainvaa'an kalibrointi .....	13
	2.5.1 Kalibrointi kalibrointimittauksella eli testipunnusvertailu .....	14
	2.5.2 Kalibrointi vaakavertailulla .....	15
	2.5.3 Vuritys.....	16
	2.6 Mittaustulosten luotettavuuden varmistaminen .....	17
3	KUORMAINVAAKAMITTAUS.....	20
	3.1 Yleisiin muuntolukuihin perustuva kuormainvaakamittaus .....	20
	3.2. Yleisiin muuntolukuihin liittyvät ongelmat .....	23
	3.3 Otantaeriin perustuvat muuntoluvut .....	25
	3.4 Kosteudenmittaus eräkohtaisesti .....	26
	3.5 Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät ja menetelmän vertailu muihin mittaustapoihin .....	28
4	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET .....	34

## 1 JOHDANTO

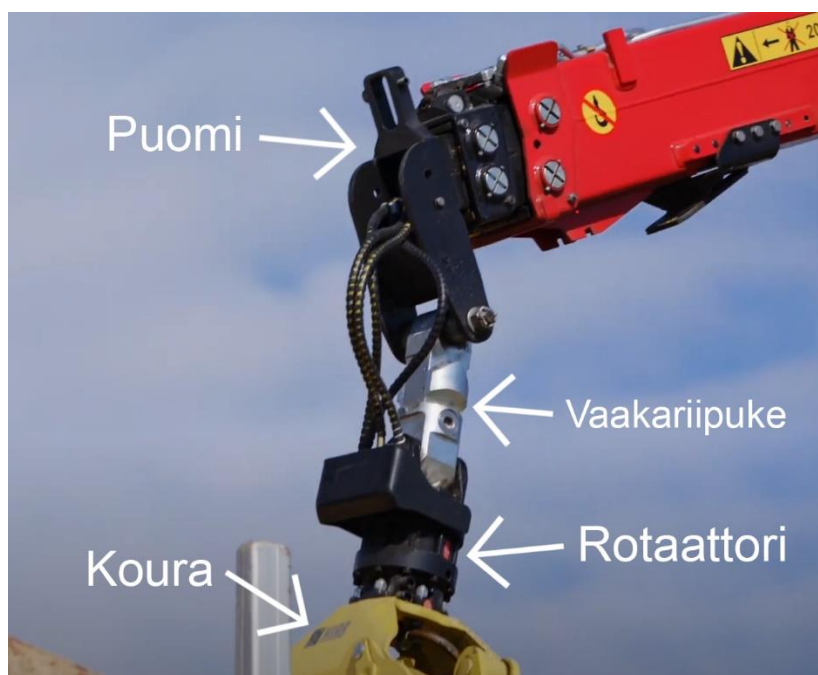
Kuormainvaakamittaus tapahtuu metsätraktorin tai puutavara-auton kuormaimen asennetun vaakariipukkeen avulla. Painon mittaus kuormainvaa'alla voidaan suorittaa joko kuorman lastauksen tai purun yhteydessä. Kuormainvaaka ilmoittaa painon kilogrammoissa, joka voidaan muuttaa kiintotilavuudeksi muuntolukujen eli tuoretiheyslukujen avulla. (Lindblad 2014, 56)

Ensimmäiset kuormainvaa'at otettiin käyttöön jo 90-luvulla, jolloin niitä hyödynnettiin ylikuormien välttämiseksi, hyötykuormien maksimoimisessa, sekä kaukokuljetusmaksujen määrittämisessä joissakin tapauksissa (Heikkilä, Hujo, Lindblad & Verkasalo 2004, 528). Laki puutavaranmittauksesta uudistui 2013 ja alkoi koskea myös energiapuuta alkuvuodesta 2014. Kuormainvaa'an osalta uuden lain säädännön mukana aiemmin voimassa ollut maa- ja metsätalousministeriön asetus (18/08) kuormainvaa'an käytöstä puutavaran mittauksessa ja erien erillään pidosta poistui. Sen tilalle tuli uusi maa- ja metsätalousministeriön asetus (12/13) puutavaranmittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2013, 26)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella kuormainvaakamittauksista energiapuun mittausmenetelmänä ja käydä läpi siihen liittyviä haasteita. Työssä mainittavia havaintoja ei välttämättä voida soveltaa suoraan kuitu- ja tukkipuun kuormainvaakamittaukseen. Työn toisessa kappaleessa selitetään kuormainvaa'an vaakariipukkeen anturitekniikat ja niiden toimintaperiaatteet. Lisäksi tutustutaan lain asettamiin vaatimuksiin kuormainvaakatekniikalle ja mittaustulosten luotettavuudelle. Kuormainvaakamenetelmän oleellisena osana on kuormainvaa'an kalibrointi, jonka haasteisiin ja vaatimuksiin myös tutustutaan. Työn kolmannessa kappaleessa tarkastellaan kuormainvaakamittaukseen mittausmenetelmänä. Kuormainvaakamittaus perustuu muuntolukuihin, joiden muodostamista ja niihin liittyviä ongelmia on selitetty. Kappaleessa tutustutaan myös potentiaalsiin nykyisten muuntolukujen korvaajiin ja niiden tuomiin mahdollisuuksiin sekä haasteisiin. Kappaleessa kolme vertaillaan myös kuormainvaakamittauksista muihin mittausmenetelmiin.

## 2 KUORMAINVAAKATEKNIKKAA

Kuormainvaa'alla tarkoitetaan puutavaranosturin puominpään ja rotaattorin väliin asennettavaa vaakariipuketta. Käytännön esimerkki puomin päähän asennetusta vaakariipukkeesta kuvassa 1. Punnitusriipukkeen sisällä on mittausanturit, akku sekä lähetin, joka lähettää tiedot langattomasti eteenpäin (Tamtron Oy n.d.).



KUVA 1. Kuvakaappaus Tamtron Oy:n demonstraatiosta, johon lisätty selitteet. (Uuden sukupolven puukuormainvaaka, YouTube 2020, muokattu)

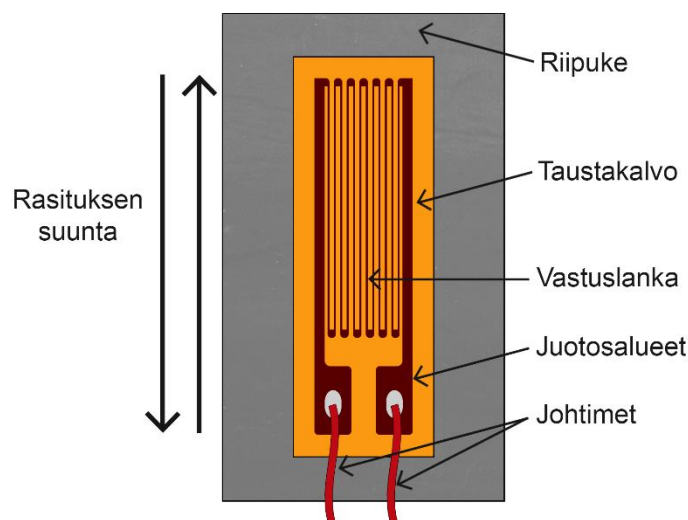
Itse punnitusmittaus voi tapahtua kuormainvaakatyypistä riippuen automaattisesti, jolloin vaaka ja sen tietokone tekee punnituksen itsestään, eli käyttäjän ei tarvitse tehdä toimenpiteitä tuloksen rekisteröimiseksi. Toinen vaihtoehto on ei-automattiset vaa'at, jolloin punnituksen rekisteröiminen vaatii käyttäjältä toimenpiteitä. Kuormainvaakatyypistä riippuen itse punnituskin voi tapahtua dynaamisesti eli kuormaimen ollessa liikkeellä tai staattisesti eli kourataakan ollessa paikallaan punnituksen ajan (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2019). Dynaamisen mittauksen mahdollistavat painoantureiden lisäksi kuormainvaakaan asennetut kiihtyvyyssmittarit, joiden datan perusteella algoritmit laskevat kourataakan useita kertoja sekunnissa ja päättelevät todellisen painon (Intermercato n.d.). Tästä huolimatta hyvän mittaustarkkuuden ja pienen keskihajonnan saavuttamiseksi kuljettajan lastaustyylin on suositeltavaa olla vakaata ja rauhallista.

Toimintaperiaatteeltaan kuormainvaakoja löytyy kahdenlaisia: venymäliuska-anturiin perustuvia sekä hydrauliseen paineanturiin perustuvia. (Iwarsson-Wide & Jönsson 2012, 3, 20)

## 2.1 Vaakariipukkeiden anturitekniikka

Venymäliuskoilla varustetulla kuormainvaaka'talla tapahtuva mittausta perustuu kuormaimen riipukkeessa olevan anturin sähköä johtavan vastuslangan resistanssin muutokseen. Venymäliuska mittaa voiman muuttumista vain yhdessä suunnassa. Menetelmän etuna on erinomainen tarkkuus, hyvät kalibroitimahdollisuudet sekä olosuhteiden vähäiset vaikutukset mittaustulokseen materiaalien ominaisuuksien ansiosta. (Kiviluoma 2015)

Anturin rakenne koostuu tyypillisesti kolmesta kerroksesta. Alimpana on taustakalvo, jossa käytetään sähköä eristävää materiaalia, kuten polyimidiä, joka eristää anturin kappaleesta, johon se on kiinnitetty. Taustakalvon päällä on vastuslanka, joka on yleensä valmistettu konstantaanista eli kuparin ja nikkelin sekoituksesta. (eFunda n.d.a) Lanka muotoillaan siten, että se polveilee useamman kerran edestakaisin, jotta liuskan resistanssi kasvaa, jolloin anturista tulee herempi. Päälimmäisenä on suojaava kalvo. Venymäliuskat ovat pituudeltaan muutamasta millimetristä muutamaan senttimetriin. (Kuoppala & Kalervo 1986, 58) Alla olevassa kuvassa 2 on esiteltyä tyypillinen venymäliuska-anturi ja sen komponentit.



KUVA 2, venymäliuska-anturin komponentit.

Puutavaran kuormainvaakamittauksessa, kun puut nostetaan kuormaimella, vaakariipuke ja siinä oleva venymäliuska-anturi venyy lisääntyneen painon eli rasituksen seurauksena. Lisääntynyt rasitus saa anturin vastuslangan venymään eli sen pituus kasvaa ja poikkipinta-ala pienenee. Tämän seurauksena vähemmän elektroneja pääsee virtaamaan vastuslangan läpi, jolloin resistanssi kasvaa (Kiviluoma 2015). Anturi ilmoittaa tämän pienen resistanssin muutoksen Ohmeina, ja siltakytkemällä venymäliuska-anturi Wheatstonen siltaan saadaan muutos helpommin mitattavaksi. Tällöin resistanssin muutos venymäliuskassa aiheuttaa jännitteen muutoksen virtapiirissä, jonka perusteella voidaan laskea nostettavan puutavaran paino. (eFunda n.d.b) Siltakytkennän avulla saavutetaan myös parempi lämpötila- ja sivuttaisvoimien kompensointi, (Kuoppala & Kalervo 1986, 59), jonka ansiosta heilunnan ja säätilanvaikutukset mittatulokseen ovat pienemmät. Riipukkeessa olevien useiden venymäliuska-antureiden, kiihtyvyyssantureiden sekä niiden tietoja hyödyntävien laskentamallien ansiosta dynaaminen lastaus on mahdollista.

Venymäliuska-anturin lisäksi on hydrauliseen paineanturiin perustuvia vaakariipukkeita. Kourataakan noustessa syntyy hydraulinen paine suljetussa järjestelmässä. Paine siirtyy hydrauliletkaa pitkin paineanturiin, jossa hydraulinen paine muunnetaan signaalivirraksi, jonka perusteella saadaan puutavaran paino. (Iwarsson-Wide & Jönsson 2012, 6)

Skogforskin vuonna 2012 tekemässä tutkimuksessa hydrauliseen anturiin perustuvissa vaaissa havaittiin suurempia poikkeamia ja laajempaa keskihajontaa venymäliuska-anturilla varustettuihin vaakoihin verrattuna. Poikkeavia mittaustuloksia tuli myös, jos kuormainvaakaa pyöritettiin tai kouralla tartuttiin kourataakan painopisteen ulkopuolelta. (Iwarsson-Wide & Jönsson 2012, 20)

Sama havaittiin jo vuonna 2006 Metsätehon tekemissä kokeiluissa. Paineanturiin perustuvissa vaaissa keskimääräinen punnitusero oli suurempi kuormaa purkaessa kuin lastatessa. Myös kouran tartuntakohdalla oli huomattavasti suurempi vaikutus punnitustarkkuuteen hydraulisella anturilla varustetussa kuormainvaassa. (Hujo, Liikanen, Peltola 2006, 18)

Hydraulisella anturilla varustellut vaa'at ovat myös herkempiä sääolosuhteiden vaihtelulle. Talviaikaan alhaiset lämpötilat lisäävät hydraulioöljyn kitkaa, joka voi aiheuttaa virheellisiä punnitustuloksia. Kesäaikaan taas suora auringonsäteily voi lämmittää vaakariipuketta ja sen hydraulioöljyä aiheuttaen virheellisiä mittaustuloksia. (Niinistö 2020, 34–42)

## 2.2 Kuormainvaakatekniikan markkinakehitys

Vuosina 2009–2010 Metsäteho toteutti kyselyn, jossa selvitettiin Suomen markkinoilla olevia kuormainvaakalaitteita ja niiden ominaisuuksia. Tuolloin markkinoilla oli myytävänä kahdeksan eri kuormainvaakamallia kuudelta eri valmistajalta. Valmistajista neljä perusti tekniikkansa venymäliuska-anturiin ja kolme hydrauliseen paineanturiin. Hydraulinen paineanturi oli kuitenkin 80 %:ssa käytössä olevista kuormainvaaoista, joten se oli ylivoimaisesti suosituimpi. (Melkas 2014)

Tänä päivänä kuormainvaakavalmistajien määrä on supistunut muun muassa yrityskauppojen seurauksena. Anturitekniikkakin on painottunut venymäliuskoja suosivaksi, sillä hydrauliseen paineeseen perustuvien antureiden ongelmien ratkaiseminen on todettu haastavaksi. (Niinistö 2020, 36) Venymäliuska-antureihin perustuvissa vaaissa on todettu olevan pienempi keskihajonta, kun mitataan täysiä kourakuormia. Vaa'an ilmoittama paino koko puutavarakuormalle on lähempänä todellisuutta, koska kourakohtainen keskihajonta on pienempi venymäliuska-anturin ansiosta. Venymäliuskavaaoissa myös kuljettajan toiminnalla, kuten lastaustyylillä ja sen sulavuudella on pienempi vaikutus mittatuloksen. (Iwarsson-Wide & Jönsson 2012, 20) Hydraulisissa vaaissa äkilliset liikkeet voivat aiheuttaa vaakariipukkeen hydraulipaineen vaihtelua, joka aiheuttaa yliarvioita (Niinistö 2020, 34).

Tamtron Oy on keskittänyt kehityksensä venymäliuska-antureihin perustuvaan tekniikkaan. Tänä päivänä Tamtron myy puutavara-autoihin soveltuvaa One Timber SG -kuormainvaakaa ja metsätraktoreihin soveltuvaa One Bioforest SG -kuormainvaakaa. One Timber SG on uusi 2020 markkinoille tuotu venymäliuska-antureihin perustuva vaaka, jonka mukana kosketusnäytöllinen Tamtron One-

näyttö, joka toimii vaa'an tietokoneena. Punnitustiedot siirtyvät vaa'an 4G-mo-  
deemin avulla langattomasti vaa'alta näytölle sekä OneCloud – pilvipalveluun,  
joka on kehitetty yhteensopivaksi metsätietojärjestelmien kanssa. Tiedonsiirto on  
kaksisuuntaista, sillä OneCloudista voidaan myös siirtää varastotietoja vaa'alle.  
(Niinistö 2020, 37)

Ponssen kuormatraktoreihin saa yhä tänä päivänä lisävarusteena Ponssen omia  
LoadOptimizer -kuormainvaakoja. Venymäliuskoihin perustuvia LoadOptimizer -  
kuormainvaakoja voidaan asentaa muidenkin valmistajien kuormatraktoreihin  
sekä myös puutavara-autoihin. Vaakapaketin mukana tulee näyttö, josta näkee  
mittaustuloksen, ja näyttö myös opastaa kuljettajaa ohjetekstien ja äänimerkkien  
avulla. LoadOptimizer suorittaa punnituksen ja rekisteröi punnitustiedot auto-  
maattisesti sekä kuormauksen alussa että lopussa. (Ponssse 2020) Punnitustu-  
lokset ovat StanForD-standardin mukaisia prl-tiedostoja ja niitä voi selata kuljet-  
tajittain ja kuormittain. StanForD-standardista ja tiedonsiirrosta kerrotaan tarkem-  
min kappaleessa 2.3. LoadOptimizerin mittaustarkkuuden seuranta tapahtuu au-  
tomaattiseen satunnaisotantapunnitukseen perustuvalla menetelmällä. (Ponssse  
2018)

Myös Komatsu on vaihtanut hydraulisista antureista venymäliuska-antureihin.  
Komatsu tarjoaa ProTec Scale -kuormainvaakaa metsätraktoreidensa lisävarus-  
teena. Tiedonsiirto tapahtuu langattomasti vaa'alta tietokoneelle ja punnitustiedot  
on mahdollista raportoida automaattisesti eteenpäin. Komatsun järjestelmä tukee  
StanForD-standardia. (Komatsu Forest AB n.d)

### **2.3 Mittaustietojen siirto kuormainvaa'alta**

StanForD 2010 kehitettiin kansainväliseksi metsäalan omaksi xml-pohjaiseksi tie-  
tostandardiksi, jonka tarkoituksena on yhtenäistää puunkorjuuseen liittyvää tie-  
donsiirtoa alan toimijoiden välillä. StanForD mahdollistaa korjuunlaadun sähköi-  
sen seurannan ja korjuutietojen analysoinnin. Kuormatraktoreissa kuormain-  
vaa'at yleensä tuottavat StanForD2010 -standardiin perustuvia xml-muodossa  
olevia FPR-tiedostoja. Punnitustietojen lisäksi myös kalibrointitiedot tallentuvat

xml-muodossa FQC-tiedostoina. FQC-kalibrintitiedostosta käy ilmi muun muassa vaa'an yksilöivät tiedot, kalibrintipäivämäärä ja havaittu painon mittaero prosentteina. FQC-tiedostot voidaan lähettää metsätraktorista suoraan urakoitsijan tai urakanantajan tietokoneelle. StanForD2010 -tiedostoissa voidaan myös tallentaa ja siirtää muita energiapuun korjuuseen liittyviä tietoja, kuten varaston sijainti, tunnistetunniste, koordinaatit ja hakkuupäivämäärä. (Skogforsk n.d. 3, 13–14) Jos kuormainvaaka tai siihen liitetty tietokoneessa on yhteysongelmia, niin tiedot tallentuvat välimuistiin, josta ne lähetetään palvelimelle, kun yhteysongelmat korjaantuvat (Niinistö 2020, 37).

Puutavara-autojen kohdalla mittauksen punnitustietojen tiedonsiirto voi olla yksitai kaksisuuntaista. Yksisuuntaisessa tiedonsiirrossa kuormainvaaka lähettää ajoneuvon kuljetustietoja käsittelevään tietokoneeseen mitatun erän erätunnisteen, kuormausajankohdan sekä punnitustiedot koura-, osanippu ja eräkohtaisesti. Kaksisuuntaisessa tiedonsiirrossa kuljetustietoja käsittelevä tietokone lähettää kuormainvaakalle kuorman tunnistetiedot, kuljetuserien numerot ja puutavaralajitiedot. Kuormainvaaka puolestaan lähettää tietokoneelle samat tiedot kuin yksisuuntaisessa tiedonsiirrossa ja näiden lisäksi myös punnitusajankohdan, kuljetettavan erän puutavaralajitiedot ja kuorman tunnistetiedot. (Melkas 2010, 24–26)

Joidenkin vanhempien vaakojen tiedonsiirto automaattisesti ei ole mahdollista. Tällöin tiedonsiirto tapahtuu muistitikun avulla, johon ne ovat tallentuneet taulukkomuodossa. Jos vaakaa ei ole varustettu muistitikulla, tiedonsiirto tapahtuu kirjoitettujen muistiinpanojen tai kuljettajan muistin perusteella. (Niinistö 2020, 36)

Jotkut kuljetusyrietykset ovat kokeneet, että tiedonsiirron automatisointi vaikeuttaa heidän työskentelyään, koska joskus punnitustuloksessa ilmeneviä oletettuja mitavirheitä voi joutua korjaamaan kuljettajan arvion perusteella. Kuljettajan muokkaama punnitustulos vaikuttaa myös kuormainvaakamittauksen luotettavuuteen mittausmenetelmänä, sillä tällöin kyseessä on kuljettajan punnitustuloksen perusteella tekemä arvio puutavaranpainosta eikä vaa'an mittaama punnitustulos. (Niinistö 2020, 52)

## 2.4 Lain asettamat vaatimukset kuormainvaakatekniikalle

Kuormainvaakojen sisältämälle tekniikalle on asetettu puutavaran mittauksesta annetussa laissa (414/2013) vaatimukset, jotka vaakojen tulee täyttää. Vaatimuksia tarkennetaan maa- ja metsätalous ministeriön antamalla asetuksella puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä (12/13).

Kuormainvaa'an markkinoille tuoja on vastuussa siitä, että uudet markkinoille tulevat kuormainvaa'at täyttävät puutavaran mittauksesta annetun lain (414/2013) asettamat vaatimukset. Kuormainvaakojen on sovelluttava Suomessa vallitseviin käyttöolosuhteisiin. Puutavaran mittauslain 16§:n mukaisesti vaa'an markkinoille tuojan tulee ilmoittaa mitattavan puutavaran ominaisuuksien ja käyttöolosuhteiden mukainen mittauslaitteen käyttöalue, josta ilmenee kyseisen kuormainvaa'an käyttörajoitukset. Käyttöaluetta määritettäessä tulee ottaa huomioon vaihtuvien sääolosuhteiden lisäksi lumi-, maasto- sekä muut olosuhdetekijät, joilla voi olla vaikutusta vaa'an toimintaan. Lisäksi vaa'an mukana on toimitettava valmistajaa, vaa'an käyttöä sekä soveltuvuutta koskevat tiedot ja mittauslaitteen mittausepävarmuutta koskevat tiedot. Kuormainvaa'an punnitus-tarkkuuden tulee olla tarkastettavissa eli kuormainvaa'an tulee olla kalibroita-vissa. (Asetus 12/13, 8–9) Puutavaran mittaamisesta annetun lain (414/2013) 15§ mukaan kuormainvaa'an mittaamien mittatulosten tulee olla metrologisesti jäljitettävissä. Tämä tarkoittaa sitä, että mittaustulos on jäljitettävissä katkeamat-tomalla vertailuketjulla aina SI-yksikköön asti. (FINAS 2016)

Kuormainvaa'alta saadut punnitustulokset ja niiden laskentaan käytetyt tekijät on tallennettava. Tiedot, joiden perusteella mittauserät yksilöidään, tulee myös tal-lentaa. Mittausmenetelmän ja sen tuottamien tulosten luotettavuuden takaa-miseksi kuormainvaa'an tulee tallentaa erilaisia mittaukseen ja vaa'an käyttöön liittyviä tietoja. Kuormainvaa'an ilmoittamaan mittaustulokseen ja mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuttavat parametrit eli punnitukseen vaikuttavat muuttujat ja vakiot tulee olla rekisteröitävissä. Samat vaatimukset koskevat myös kalibrointia ja viri-tystä. Mittaustulokset eivät saa hävitä, ennen kuin ne ovat varmasti tallennettu tai lähetetty eteenpäin. Kuormainvaaka ja sen ohjelmistot on siis suojattava luote-

tusti siten, että punnitustiedot ja niiden muodostamiseen käytetyt tekijät eivät ka-  
toa ennen kuin ne ovat varmasti lähetetty tai tallennettu turvatusi. (Asetus 12/13,  
9)

Asetus määrittää kuormainvaaoille suurimman sallitun näyttötarkkuuden, josta  
maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (12/13) käytetään termiä ”resoluu-  
tio” ja ”vaa’an askelarvo” (Suomen Teollisuusvaaka n.d.). Puutavara-autojen ja  
metsätraktoreiden kuormainvaaoilla näyttötarkkuus tulee olla 10 kg tai pienempi  
(Asetus 12/13, 5). Vaa’an näytön tulee siis pyöristää punnituslukema vähintään  
lähimpään kymmeneen kiloon (Suomen Teollisuusvaaka n.d). Näytön tulee myös  
käytönaikana ilmaista mittaustulos yksikäsitteisesti, eli sitä ei voi vahingossakaan  
tulkita väärin. Käytettävä mittayksikkö tulee myös aina ilmaista mittaustulok-  
sessa. (Asetus 12/13, 9)

## **2.5 Kuormainvaa’an kalibrointi**

Kuormainvaa’an kalibrointi on oleellinen osa kuormainvaakamittausta, sillä sen  
avulla varmistetaan punnitustulosten oikeellisuus. Kalibroinnin ja sitä tarvittaessa  
seuraavan virityksen tarkoituksena on poistaa kuormainvaa’asta systemaattiset  
erot. Termillä kalibrointi tarkoitetaan kuormainvaa’an ilmoittaman mittaustuloksen  
ja oikeana pidettävän vertailu arvon, esimerkiksi tarkastuspunnuksen, jonka to-  
dellinen paino tunnetaan, painojen välisen mittaeron todentamista, kalibrointimit-  
tauksella taas kuljettajan tekemää punnitusmittausta mittaeron todentamista var-  
ten. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2019, 1)

Maa- ja metsätalousministeriön asetus 12/13 vaatii, että kuormainvaa’at tulee ka-  
libroida jokaisena viikkona, jona laite on mittauskäytössä. Tästä voidaan kuiten-  
kin joustaa, mikäli kalibrointi ei ole mahdollista toimitusten luonteen vuoksi. Kuor-  
mainvaakojen kalibrointiajankohta voi perustua otantaan, mutta sitä ei vaadita.  
On myös suositeltavaa, että kuormainvaaka kalibroidaan jokaisen vaa’an huollon  
jälkeen tai, kun mittaustulokseen mahdollisesti vaikuttavat sää- tai muut olosuh-  
teet vaihtuvat huomattavasti. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2019, 2)  
Kuormainvaaka tulee kalibroida, eli painon mittaero todennetaan vaakavertailulla  
tai kalibrointimittauksella eli testipunnusvertailulla (Asetus 12/13, 11).

### 2.5.1 Kalibrointi kalibrointimittauksella eli testipunnusvertailu

Kalibroidessa vaakaa kalibrointimittauksella käytetään tarkastus- tai testipunnusta. Molempia termejä käytetään ja ne tarkoittavat samaa asiaa. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (12/13) mukaan vaakojen kalibroinnissa käytettävät tunnetut testikappaleet, eli tarkastuspunnukset on yksilöitävä ja kalibroitava jäljitettävästi. Kuten kuormainvaakojen, myös testipunnusten kalibrointien on muodostettava katkeamaton jäljitettävyyshetki SI-järjestelmään asti. (Asetus 12/13) Tarkastuspunnuksista on oltava olemassa kalibrointitodistus, josta ilmenee punnuksen todellinen paino, sarjanumero, tyyppi ja käyttötarkoitus sekä kalibroinnin menetelmä, ajankohta ja tekijä. Tarkastuspunnuksen kalibroinnin tekijäksi suositellaan akkreditoitua tahoa, jolla on asianmukaiset laitteet ja osaaminen. Ensimmäinen tarkastuspunnuksen kalibrointi suoritetaan ennen sen käyttöönottoa, jonka jälkeen se kalibroidaan kolmen vuoden välein, ellei sen painon epäillä muuttuneen esimerkiksi vaurioitumisen tai korjausten takia. Kalibrointimittauksessa noudatetaan vaakavalmistajan ohjeita. (Puutavaranmittauksen toimikunta 2019, 2)

Testipunnuksen massan on suotavaa olla mahdollisimman samanlainen kuin kuormainvaalla mitattavien kourataakkojen massan. Kevyiden energiapuulajien, kuten latvusmassan korjuussa käytettävän kaluston testipunnuksena olisi suotavaa käyttää 150–200 kg painavaa testipunnusta. (Melkas 2009, 25)

Itse kalibrointimittaus tapahtuu Metsätehon ohjeen mukaan seuraavasti: ennen itse punnuksen nostamista on suositeltavaa, että kuormatila lastattaisiin noin puolilleen. Tämän jälkeen testipunnusta nostellaan vähintään 20 kertaa vuorotellen kuorman oikealta ja vasemmalta puolelta. (Melkas 2018a) Punnusta nostellessa on erittäin tärkeää, että nostojen liikerata muistuttaa oikeaa puutavaran lastauksen liikerataa, eikä vain nosteta painoa ylös. (Iwarsson-Wide & Jönsson 2012, 21) Nostojen jälkeen tulokset kirjataan kuormainvaaran lokikirjaan ja tuloksia verrataan testipunnuksen todelliseen massaan. Vertailusta saatujen tulosten perusteella saadaan painon mittaero, jonka perusteella arvioidaan viritystarve. (Melkas 2018a) Virityspäätöksen arvioimisen tueksi on olemassa puutavaranmittauksen neuvottelukunnan suosituksessa viralliset painon mittaerot (TAULUKKO 1).

TAULUKKO 1. Painon mittaeron perusteella tehtävän viritystarpeen arviointi tarkastuspunnuksella suoritettua kalibroinnin jälkeen.

Painon mittaero	Viritystarve
≤ 2 %	Viritystä ei edellytetä
Yli 2 %	Kalibrointimittaus uusitaan välittömästi. Jos molempien kalibrointimittausten keskimääräinen mittaero on yli 2 %, vaaka tulee virittää.
Yli 7 %	Vaaka tulee virittää välittömästi, jonka jälkeen kalibrointimittaus tulee uusiksi kalibroinnin ja virityksen onnistumisen varmistamiseksi.

### 2.5.2 Kalibrointi vaakavertailulla

Kalibroinnin voi myös tehdä vaakavertailulla. Tällöin kalibrointi tapahtuu vertailemalla vaa'an mittaustuloksia varmennetun vaa'an, kuten siltavaa'an tuloksiin, joiden perusteella lasketaan painon mittaero. Menetelmä perustuu puutavara-autojen kokonaisten ajoneuvokuormien siltavaakamittauksen ja kuormainvaakamittauksen mittaustulosten vertailuun. Vaakavertailun edellytyksenä on, että vertailtavissa tuloksissa on käytetty tismalleen samaa puutavaraerää, eli kuormaan ei ole lisätty mitään eikä myöskään poistettu. Puutavaranpaino ei myöskään ole saanut muuttua punnitusten välissä, eli puut eivät ole saaneet kuivua, niistä ei saa olla irronnut kuorta, eikä niistä ole saanut tippua tai kertyä lunta eikä jäätä. (Puutavaranmittauksen toimikunta 2019, 2)

Siltavaakamittauksen jälkeen tämän ja kuormainvaakamittauksen tulokset merkitään kuormainvaa'an lokikirjaan. Tämän jälkeen tuloksia vertaillaan ja saadaan painon mittaero, jonka perusteella arvioidaan viritystarve. (Melkas 2018a) Myös vaakavertailulle on puutavaranmittauksen neuvottelukunnan antamat painon mitaerot auttamaan virityspäätöksen teossa (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Painon mittaeron perusteella tehtävän viritystarpeen arviointi vaakavertailulla suoritetun kalibroinnin jälkeen.

Painon mittaero	Viritystarve
≤ 2 %	Viritystä ei edellytetä
Yli 2 % samaan suuntaan kolme kertaa peräkkäin	Vaaka tulee viritellä
Yli 4 % samaan suuntaan kaksi kertaa peräkkäin	Vaaka tulee viritellä
Yli 7 %	Vaaka tulee viritellä

Kuten aiemmin mainittiin, niin vaakavertailussa puutavaran paino ei saa muuttua punnitusten välissä. Jos kuitenkin kuormaan tarttuu kuljetuksen aikana lunta tai jäätä, niin tällöin painon mittaero saattaa johtua näistä tekijöistä, eikä vaa'an systemaattisesta virheestä. Tällöin viritystä ei välttämättä tarvitse tehdä, jos kuljettaja niin arvioi. Mikäli tämän kaltaisessa tilanteessa, jossa vaakavertailun painon mittaeron edellyttäisi viritystä, mutta viritys jätetään tekemättä, tulee kuormainvaa'an lokiin kirjata syy siihen, miksi viritystä ei tehty. (Puutavaranmittauksen toimikunta 2019, 4)

### 2.5.3 Viritys

Kalibroinnilla saadun painon mittaeron perusteella tehdään vaa'an viritys, jonka tavoitteena on poistaa mittauksen systemaattinen virhe. Viritys terminä tarkoittaa kuormainvaa'an asetusten säätämistä tuottamaan oikeita mittaustuloksia käyttöolosuhteisiin nähden. Viritys toteutetaan vaa'an valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2019, 1). Painon mittaero taas saadaan laskettua seuraavalla kaavalla (1)

$$\frac{(\text{Kuormainvaaka, kg} - \text{vertailupunnitus, kg})}{\text{vertailupunnitus, kg}} * 100 = \text{mittaero (\%)} \quad (1)$$

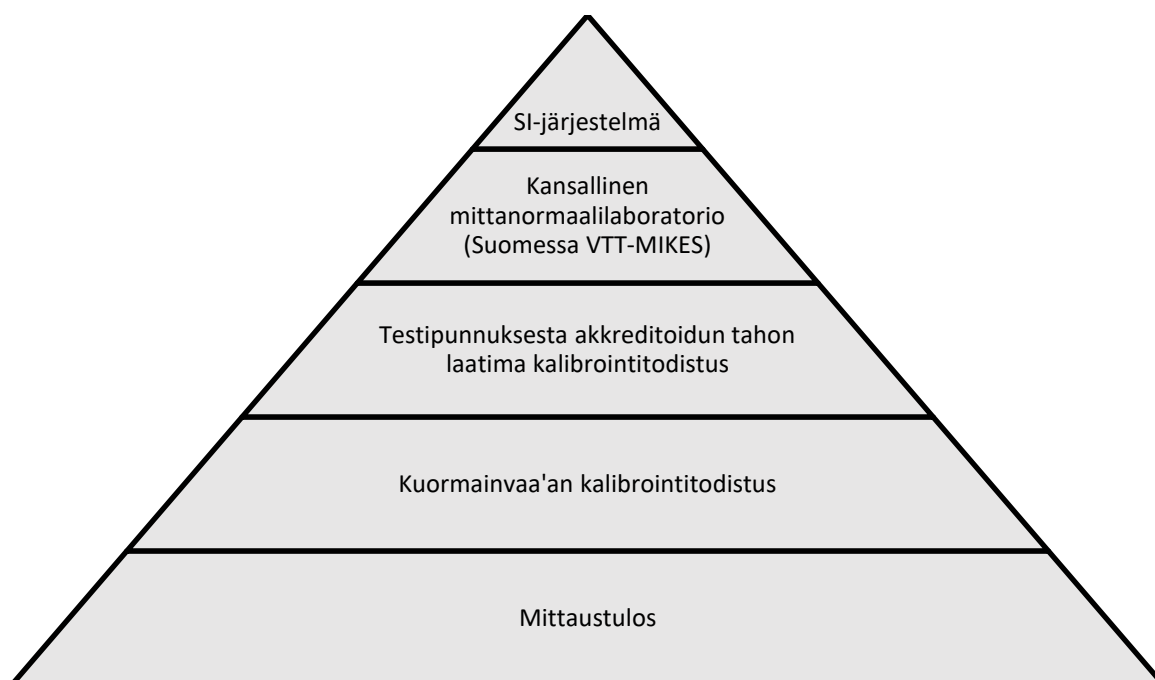
Kalibroinnista saatujen tietojen avulla kuormainvaaka viritetään niin, että painon mittaero on mahdollisimman pieni. (Melkas 2018a)

Vertailupunnituksista tallennetaan kuormainvaa'an lokikirjaan ja/tai tietojärjestelmään punnituspäivämäärä ja kellonaika, punnituspaikka, käytetty testipunnus, punnitusyksikkö, kuormainvaa'an ilmoittamat ja testipunnukset lasketut kilogrammat, näiden ero kiloissa ja prosentteina sekä peräkkäisissä punnituksissa havaittu vaihtelu kilogrammoina ja prosentteina. Tämän lisäksi, jos viritykseen päädytään, tulee kirjata ylös virityksen suuruus, sen tekijä sekä päivämäärä ja kellonaika. (Melkas 2018a) Kuormainvaa'an kalibroinneista ylläpidettävän lokikirjan ja/tai tietojärjestelmän kalibroititietoja tulee säilyttää vähintään kahden vuoden ajan kalibroitipäivästä lukien. Mittausosapuolilla on oikeus tutustua lokikirjan tuloksiin. (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013)

Kuljetuksesta vastaava yritys on vastuussa virityksen hoitamisesta, mutta itse kuormainvaa'an ei tarvitse olla käyttäjän viritettävissä (Asetus 12/13, 9). Kuormainvaaka voi olla myös niin sanottu varmennettu vaaka, jolloin kalibroinnin suorittaa laitteen valmistaja (Suomen teollisuusvaaka, n.d.). Varmennettujen vaakojen soveltuminen olosuhteiltaan nopeasti muuttuvaan kuormainvaakamittaukseen on kyseenalainen, sillä kalibroitavaksi lähetettävä vaaka voi pysäyttää kuljetusketjun joksikin aikaa.

## **2.6 Mittaustulosten luotettavuuden varmistaminen**

Puutavaran mittauksesta annetun lain 15§:n mukaan kuormainvaakojen ja niiden tuottamien mittaustulosten on perustuttava ja oltava metrologisesti jäljitettävissä SI-järjestelmään asti. Tämä tarkoittaa, että kuormainvaa'an ilmoittama mittaustulos on varmennettavissa eri tahojen suorittamien tarkastusmittausten avulla jäljitettävissä aina SI-järjestelmän mittayksikköön eli kilogrammaan. Kuvassa 3 on esimerkki metrologisesta katkeamattomasta vertailuketjusta. Metrologisen jäljitettävyyden ehtona on, että kaikista mittausketjun osista on olemassa kalibrointitodistus, laitteiden mittausepävarmuus on tiedossa ja ilmoitettu, laitteet ovat yksilöitävissä ja kalibroinnit on suoritettu pätevästi tietyin väliajoin ja kalibroinnista sekä mittatuloksista on dokumentointi olemassa. Metrologinen jäljitettävyys on tärkeä osa mittaustulosten luotettavuuden varmistamista. (FINAS 2016)



KUVIO 3. Esimerkki kuormainvaa'an vertailuketjusta mittatuloksesta SI-järjestelmään.

Mittaustulosten luotettavuus eli paikkansa pitävyys varmistetaan omavalvonnan ja siihen liittyvien tarkastusten avulla. Omavalvontaa kuuluu kuljettajan suorittama käytönaikainen seuranta, jossa seurataan kuormainvaa'an toimimista. Tähän kuuluu kuormainvaa'an muun muassa testaaminen muuttumattomien testikappaleiden, eli testipunnusten avulla. Omavalvonnalla seurataan mittauksen poikkeamaa, joka tarkoittaa kuormainvaa'an antaman punnitustuloksen ja oikeana pidettävän vertailuarvon erotusta. Esimerkiksi, jos testipunnus painaa 400 kg, mutta kuormainvaaka ilmoittaa painoksi 390 kg, niin tällöin vertailuarvo on 10 kg eli poikkeama on 2,5 %. (Asetus 12/13, 9)

Puutavaran mittauksesta annetun lain 13§ mukaan mittauksessa saavutetaan riittävä tarkkuus, kun mittaustulokset eivät ylitä niille annettua suurinta sallittua poikkeamaa, mikä kuormainvaakamittauksessa varmistetaan omavalvonnan avulla. Suurin sallittu poikkeama tarkoittaa perusmittauksen mittausepävarmuudessa käytettävää ylärajaa, jota mittaustulokset eivät saa ylittää. Tämä tarkoittaa, että kuormainvaa'an tulee pystyä tuottamaan taulukon 3 prosenttien sisällä pysyviä tuloksia. Alle 10 000 kg:n suuruisia eriä mitattaessa ei ole virallista poikkeama vaatimusta. (Asetus 12/13, 14)

TAULUKKO 3. Suurimmat sallitut poikkeamat painomittauksessa. (Asetus 12/13, 15)

Mittauserän paino (kg):	<10 000	10 000–30 000	30 000–50 000	50 000–100 000	>100 000
Suurin sallittu poikkeama:	Ei tarkkuusvaatimusta	8 %	7 %	6 %	4 %

Mittausepävarmuudella tarkoitetaan oletettua vaihtelua mittaustuloksessa. Mittausepävarmuuden avulla arvioidaan saatujen mittaustulosten luotettavuutta. Mittausepävarmuuden perusteella arvioidaan muun muassa suurimpien sallittujen poikkeamien rajoissa olevia mittaustuloksia ja sitä käytetään mittaustulosten ja tarkastuserien luotettavuuden arviointiin omavalvonnassa. (Asetus 12/13, 9–10)

Puutavaranmittauksesta annetun lain 13§:n mukaan ”mittauksessa ei saa olla merkittävää systemaattista virhettä, joka pysyy mittausta toistettaessa samansuuntaisena”. Toistuvalla virheellä tarkoitetaan sitä, että jostain syystä vaa’an asteikko ei ala oikeasta lukemasta ja vääristää mittaustulosta aina väärään suuntaan. Systemaattinen virhe voi olla vaikea tunnistaa, mutta se voidaan havaita mittausmenetelmää vaihtamalla tai tarkastuspunnuksella tapahtuvalla kalibrointimittauksella. (Eloranta 2018, 5)

### 3 KUORMAINVAAKAMITTAUS

Kuormainvaakamittausmenetelmän ideana on, että puutavaran kiintotilavuus saadaan mitattua puutavaran painon ja tuoretiheyskertoimien avulla. Puutavaran paino mitataan lähi- tai kaukokuljetuksessa lastauksen tai kuorman purun yhteydessä. Mitattavat erät punnitaan punnitussyksiköittäin, kuten kuormittain tai kourataakoittain. Kuormainvaa'an ilmoittama mittauserän paino muunnetaan kiintotilavuudeksi muuntolukujen eli tuoretiheyslukujen avulla. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2020, 8)

Muuntolukujen käyttö perustuu puutavaranmittauksesta annetun lain 14§:n ensimmäiseen ja kolmanteen kohtaa, jonka mukaan puutavaran fyysiset ulottuvuudet ja ominaisuudet tai paino muutetaan toiseen mittayksikköön yleisellä muuntoluvulla. Puutavaranpaino siis saadaan muutettua kilogrammoista lopulliseksi mittatulokseksi taulukoidulla tai funktioon perustuvalla yleisellä muuntoluvulla. Tuoretiheyslukujen yksikkö on ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). (Asetus 12/13, 7)

Energiapuun osalta tuoretiheyslukujen määrittämiseksi on kolme eri vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää Luonnonvarakeskuksen ajantasaisella määräyksellä (1/2017) antamia tuoretiheyslukuja. Toinen vaihtoehto, joka kuitenkin koskee ainoastaan latvusmassan mittausta, on käyttää tuoretiheyslukuja, joita määritettäessä käytetään kosteusennustemalleihin perustuvia muuntolukuja, jotka on annettu myös Luonnonvarakeskuksen ajantasaisella määräyksellä puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista. Kolmas vaihtoehto on otantaeriin perustuvat tuoretiheysluvut. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2020, 8)

#### 3.1 Yleisiin muuntolukuihin perustuva kuormainvaakamittaus

Yleiset muuntoluvut ovat Luonnonvarakeskukseen ajantasaisella määräyksellä antamia muuntolukuja. Ennen määräyksen antamista ja muuntolukujen uudistamista, Luonnonvarakeskuksen on pyydettävä lausunto puutavaranmittauksen neuvottelukunnalta (Laki puutavaranmittauksesta 414/2013). Mittauksessa käytettävä muunto- eli tuoretiheysluvut ja niiden taulukot määräytyvät puutavaralajin, maantieteellisen sijainnin, hakkuuajankohdan ja mittausajankohdan mukaan.

Energiapuutavaralajien osalta tuoretiheystaulukkoja on latvusmassalle, kannoille ja harvennusenergiapuulle, jonka alle lukeutuvat karsimaton puutavara, karsittu ilman latvakatkaisua korjattu puutavara sekä pieniläpimittainen karsittu ja katkottu puutavara. Harvennusenergiapuuna kerätyille havupuille, koivuille ja muille lehtipuille on erikseen omat tuoretiheysluvut. Myös sekapuustolle on tuoretiheysluvut, joita käytetään silloin, kun pääpuulajin osuus on alle 70 % harvennusenergiapuusta. Tuoretiheystaulukot ovat jaettu maantieteellisen sijainnin perusteella viiteen eri alueeseen Etelä-Suomeen, Pohjanmaahan, Kainuu-Koillismaahan, Lappiin ja Ylä-Lappiin. Ajankohtien osalta taulukot on jaettu neljään sarakkeeseen hakkuuajankohdan mukaan. (Luonnonvarakeskus 2017, 28)

Energiapuutavaralajien osalta muuntolukujen määrittäminen tapahtuu vain lähikuljetuksen yhteydessä, sillä kaukokuljetuksen yhteydessä käytettäville energiapuun tuoretiheyslukuille ei ole olemassa virallisia taulukkoja (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2020, 8). Esimerkki tuoretiheystaulukosta löytyy taulukosta 4. Taulukkoa käyttöä varten tulee tietää hakkuuajankohta, jonka perusteella taulukkoa aletaan lukea. Hakkuuajankohdan perusteella katsotaan oikea sarake ajankohta -sarakeesta, jonka jälkeen siirrytään varastointiajan perusteella nuolien mukaan sarakeesta toiseen, kunnes oikea painoluokka löytyy. Tuoretiheysluku valitaan tämän painoluokan perusteella. (Luonnonvarakeskus, 29)

TAULUKKO 4. Harvennusenergiapuun tuoretiheysluvut havupuilla Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. (Luonnonvarakeskus 2017, 29)

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	> 60	Tuore, jossa lunta tai jäätä				1000
2	55–60	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore, 10 vrk ↓	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore	930
3	50–54	≥ 30 vrk	→ 20 vrk ↓	≥ 30 vrk	≥ 30 vrk	830
4	45–49	-	25 vrk ↓	30 vrk ↑	30 vrk ↑	750
5	40–44	-	30 vrk ↓	30 vrk ↑	30 vrk ↑	680
6	< 40	-	≥ 105 vrk	30 vrk ↑	-	600

Painoluokista painoluokkaa yksi käytetään aina, kun tuore mittausnäyte sisältää lunta tai jäätä. Painoluokkaa 1 käytetään myös, jos puutavaran kosteus on yli 60 %. Painoluokkaa kaksi käytetään tuoreelle puulle ympärivuoden ja, kun mitattavan puutavaraerän kosteus on 55–60 %. Painoluokkia kolmesta kuuteen taas käytetään tuoretiheystaulukoiden perusteella. (Luonnonvarakeskus 2017, 28–29)

Talven yli varastoitua latvusmassaa mitatessa tulee myös ottaa huomioon mahdolliset sulamisvesien ja lumen painon aiheuttamat vaikutukset, jotka hidastavat kuivumista. Tällöin käytetään painoluokkaa yksi, jos palstalla olevien latvusmassakasojen alla on lunta tai jäätä. Painoluokkaa kaksi käytetään, kun lunta tai jäätä ei ole, mutta lähikuljetus ja punnitus tehdään Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla 30.4. mennessä. Ylä-Lapissa, Lapissa ja Kainuu-Koillismaan alueilla toimitaan samoin, kun lähikuljetus ja punnitus tehdään 15.5. mennessä. Näiden päivämäärien jälkeen tapahtuvissa punnituksissa käytetään tuoretiheystaulukoita siten, että hakkuuajankohdan mukaan aloitetaan painoluokasta kaksi ja varastointi ajan perusteella siirrytään sarakkeissa eteenpäin. Oikean sarakkeen löydyttyä painoluokkaa alennetaan yhdellä painoluokalla esimerkiksi painoluokasta neljä painoluokkaan kolme. Painoluokasta kaksi ei kuitenkaan vähennetä painoluokkaa. (Melkas 2018b)

Kannot puolestaan jakautuvat neljään eri painoluokkaan ja myös kannoilla tuoretiheysluvut määräytyvät hakkuuajankohdan ja varastointiajan mukaan. Painoluokan lisäksi kannoilla on kuitenkin myös kolme eri puhtausluokkaa. Puhtausluokkaa yksi käytetään puhtaille kannoille, joissa on alle 5 % vierasaineita eikä myöskään muita epäpuhtauksia. Puhtausluokassa kaksi on noin 5–10 % vierasaineita, seassa. Puhtausluokassa kolme puolestaan on 10–15 % vierasaineita. Kannoilla on sama tuoretiheystaulukko koko maassa. Kantojen tuoretiheystaulukko taulukossa 5. (Luonnonvarakeskus 2017, 31–32)

Painoluokka	Kosteus %	Ajankohta	Tuoretiheys, kg/m <sup>3</sup>		
			Puhtaus- luokka 1	Puhtaus- luokka 2	Puhtaus- luokka 3
1: Käytetään nostotuoreen kanto- puun mittauksessa ympärivuoden	> 50 %	koko vuosi	890	940	980
2: Käytetään elo-syyskuussa yli neljä viikkoa ja touko-heinäkuussa 2–4 viikkoa kuivuneen kanto- puun mittauksessa.	40–50 %	1.5.–30.9.	810	850	890
3: Käytetään touko-heinäkuussa yli neljä viikkoa kuivuneen kanto- puun mittauksessa	30–40 %	1.5.–31.7.	690	720	750
4: Käytetään touko-heinäkuussa yli kahdeksan viikkoa kuivuneen kanto- puun mittauksessa	20–30 %	1.5.–31.7.	600	620	650

Latvusmassaa mitatessa voidaan yleisten tuoretiheyslukujen lisäksi käyttää Ilmatieteenlaitoksen säähavaintoihin perustuvaa kosteusmallia. Mittausosapuolten tulee kuitenkin ennen mittausta erikseen sopia kosteusmalliin perustuvien muuntolukujen käytöstä. Kosteusmalli hyödyntää säähavaintotiedoista sadetta ja potentiaalihaihduntaa. Näiden havaintojen perusteella malli laskee hakkuu- ja mittausajankohdan väliseltä ajalta kolmen tunnin välein kosteuden sekä kosteudenmuutoksen, joiden perusteella se laskee kosteusarvojen keskiarvon. Tätä keskiarvoa hyödynnetään tuoretiheyslukua määritettäessä. Kosteuden keskiarvo lasketaan jokaiselle mittauserälle erikseen. Jos ainoastaan mittauserän kokonaispaino on tiedossa, mittauserän kosteus määritetään jokaiselta kuljetuspäivältä laskettujen kosteusarvojen keskiarvona. Kuten tuoretiheystaulukot, myös säähavaintoihin perustuvaa kosteusmallia voidaan soveltaa ainoastaan lähikuljetuksessa tapahtuvaan kuormainvaakamittaukseen. (Luonnonvarakeskus 2017, 28–32)

### 3.2. Yleisiin muuntolukuihin liittyvät ongelmat

Vuonna 2016 Tapio Oy julkaisi raportin uudistetun puutavaranmittauslainsäädännön evaluoinnista, jonka tavoitteena oli tarkastella uudistetun lainsäädännön toimivuutta sekä tuoda esille kehittämistarpeita. Evaluoinnin aineistoa varten lähetettiin verkkokysely sekä haastateltiin eri tahoja, kuten puunostajia, puunmyyjiä,

urakoitsijoita, mittalaittevalmistajien edustajia sekä muita toimijoita, kuten yksityisiä metsänomistajia ja asiantuntijoita. Lain uudistuksen tavoitteena oli turvata mittauslaitteiden, -menetelmien sekä -tulosten luotettavuus, jossa Tapion arvioiden perusteella on onnistuttu. (Koistinen 2016, 5–13)

Energiapuun lisäys mittauslainsäädäntöön onnistui pääosin hyvin, mutta noin viidesosan mielestä parannettavaa yhä olisi. Heidän kritiikkinsä kohdistui pääosin mittaustarkkuuteen ja tuoretiheyslukuihin, jotka eivät huomioineet olosuhdetekijöitä riittävästi. Puunostajat- ja myyjät kritisoivat mittaustarkkuutta ja kaukokuljetuksessa tapahtuvan kuormainvaakamittauksen tuoretiheyslukujen puuttumista. Heidän mielestänsä tuoretiheyskertoimet eivät toimineet eri vuodenaikoina ja paikalliset olosuhteidenmuutokset tulisi huomioida paremmin. Tuoretiheysalueita tulisi jakaa pienemmiksi ja muuntoluvuissa olisi suotavaa siirtyä tarkempiin, päiväkohtaiset ja alueelliset olosuhteet huomioon ottaviin ja otantoihin perustuviin jatkuvasti muuttuviin tuoretiheyslukuihin. Monet tahot toivoivat maa- ja metsätalousministeriöltä sekä sen alaisuudessa toimivalta puutavaranmittauksen neuvottelukunnalta aktiivisuutta selkeiden tuoretiheyslukujen päivittämiseen. Erityisesti energiapuun osalta toivottiin lisää lukuja tarkentavia tutkimuksia. (Koistinen 2016, 16–18, 39)

Lukujen aktiivinen päivittäminen tuskin kuitenkaan korjaisi tuoretiheystaulukoiden ongelmaa eli olosuhteiden muutosten huomiointia. Energiapuutavaralajien tuoretiheysluvut eivät ota paikallisia olosuhteita huomioon, koska ne perustuvat suurien maantieteellisten alueiden pitkän ajan keskimääräisiin säähavaintoihin, laskennallisten kuivatuoretiheyksien keskiarvoon ja kosteuden ennustemalleihin. Vuosien välillä tapahtuvia olosuhteiden muutoksia, kuten erityisen kuivia kesiä tai lämpimiä talvia ei myöskään ole otettu huomioon. Tuoretiheysluvut ovat erityisen huonoja nopeiden olosuhdemuutosten huomioimisessa, jonka takia esimerkiksi sateella ja pian sen jälkeen tehdyissä kuormainvaakamittauksissa on huomattu suuriakin poikkeamia, erityisesti latvusmassan osalta. (Isokangas, Kolström, Lindblad, Nivala, Routa, Ruotsalainen, Seppälä & Sikanen 2017, 5)

Latvusmassan säähavaintoihin perustuvan kosteusmallin kaltaisen menetelmän laajentamista myös muihin energiapuutavaralajeihin on suunniteltu (Isokangas

ym. 2017, 30). Kuitupuiden kuormainvaakamittauksen osalta on käynnissä Luonnonvarakeskuksen projekti, jonka tavoitteena on kehittää ja uudistaa painomittauksen toimintamallia. Tavoitteena on, että tuoretiheysluvut tuotettaisiin eri toimijoiden kesken yhteisellä tavalla ja mittauksesta kerättyä tietoa voitaisiin siirtää ja analysoida keskitetyssä järjestelmässä. Kuitupuille tehdasmittauksien avulla kalibroivat tuoretiheysmallit hyödyntäisivät haluttaessa myös alueellisia säähavaintotietoja. Tuoretiheyslukujen määrittämisessä hyödynnettäisiin yhä ennustemalleja, mutta niitä tarkennettaisiin paino-otantamittauksen avulla. Projektin on määrä valmistua 30.6.2021. (Lindblad & Melkas 2019)

Latvusmassan kosteusmallitkaan eivät kuitenkaan ole täydellisiä, sillä niiden epävarmuus yksittäisten korjuukohteiden kohdalla kasvaa. Kosteusmallien tarkkuutta voitaisiin parantaa huomioimalla säähavaintojen lisäksi myös muita olosuhdetekijöitä, kuten palstakasojen koko, reunametsän varjostus ja maaperän kaltevuus. (Lindblad 2018)

### **3.3 Otantaeriin perustuvat muuntoluvut**

Kolmas vaihtoehto tuoretiheystaulukoiden ja kosteusmallin lisäksi on niin sanottu paino-otantamittaus. Tällöin käytetään omia tuoretiheyslukuja, jotka perustuvat useampien otannalla valittujen erien painon ja tilavuuden mittaustulokseen. Menetelmää hyödynnetään kuitupuun tehdasmittauksessa. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2020, 8)

Vastaanotettavasta puutavarasta valitaan otannalla erä, jonka perusteella määritetään tuoretiheysluvut. Otantaeriä tulee mitata riittävän monta, jotta olosuhteiden muutokset, kuten vuodenaikojen ja puun tuoreuden muutosten vaikutuksen osuus korjataan mittaustuloksessa. Kuten latvusmassan kosteusmallien kohdalla, myös otantaan perustuvien tuoretiheyslukujen käytöstä tulee sopia mittausosapuolten kesken. Tällöin on myös sovittava tuoretiheyslukujen arvoista sekä niiden määrittämiseen käytettävästä menetelmästä. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2020, 8)

Itse otantaeräksi lasketaan perusjoukon yksiköt, kuten pölkky, runko, nippu, kuorma tai vastaavat. Otannan tulee kohdistua perusjoukkoon niin, että jokaisella

mitattavalla yksiköllä, esimerkiksi nipulla, on mahdollisuus tulla valituksi otantaan. Otanta voi kuitenkin olla myös kaksivaiheista, jolloin jos otantaerä kohdistuu tiettyyn nippuun, niin siitä kyseisestä nipusta voidaan valita satunnaisesti yksi tai useampi toinen perusjoukon yksikkö, kuten pölkky tai kourallinen. Otantaan osunut otantaerä voidaan poistaa, jos se poikkeaa ominaisuuksiltaan selkeästi muista otantaeristä. Hylkäyksen syy tulee kuitenkin kirjata ylös ja varmistaa, että otoskoko on riittävä. Jos yksityisen metsänomistajan puutavaraerän koko ylittää 110m<sup>3</sup>, tulee sitä varten muodostaa oma perusjoukko. (Asetus 12/13, 5–6)

Otantaerän kiintotilavuus voidaan määrittää upotusmittauksella, automaattisella mittaus- ja laadutusasemalla tai mittasaksilla. Jälkimmäisellä mitatessa mittaus toteutetaan mittaamalla pölkkyt yksittäin keskuskiintomittauksella, jossa läpimitta mitataan ainoastaan pölkyn puolivälistä. Tällöin kuorellinen tilavuus saadaan laskemalla lieriön tilavuus keskusläpimitan ja pituuden avulla. (Melkas 2018c)

Energiapuun kohdalla paino-otantamenetelmän ongelmaksi muodostuu tarkan tilavuuden mittaaminen, joka kuitupuiden kohdalla suoritetaan upotusaltaalla. Tämän takia menetelmä ei sellaisenaan sovellu energiapuun mittaukseen.

### **3.4 Kosteudenmittaus eräkohtaisesti**

Paikallisiin säähavaintoihin perustuvan kosteusmallien lisäksi vaihtoehtoisena menetelmänä nykyisten tuoretiheystaulukoiden käytölle voisi toimia kosteudenmittaus metsä- tai kaukokuljetuksessa tapahtuvan kuormainvaakamittauksen yhteydessä. Tällöin kuivapaino, kiintotilavuus, lämpöarvo ja energiasisältö saataisiin selville käyttämällä tuoretiheyslukuja, jotka on laskettu kuljetettavasta energiapuusta otettujen kosteusmittausten avulla (Ronkainen, Sirkiä & Lindblad 2014, 221).

Kosteuden mittausta purunäytteiden avulla on kokeiltu kuormatraktorin kouraan asennettavan kourasahan avulla vuonna 2012. Kourasahan periaatteena on, että sillä sahataan kuormattavasta energiapuutavarasta pieni osa pois, jolloin sahanpuru kulkeutuu näytteenottosäiliöön, jonka jälkeen näytteestä mitataan kosteus.

Kosteuden perusteella mitattavalle erälle voidaan tällöin määrittää tarkka tuoreiheysluku. Näytteen koko on 13 litraa, joten sahauksia tarvittiin 15–40 kappaletta mittauserää kohden. Menetelmä toimi karsitun rangan osalta hyvin, mutta ohuen latvusmassan kohdalla sahauskertoja tarvittiin enemmän. Menetelmän avulla voisi selvittää tienvarsivarastoon ajetun energiapuun kosteuden sekä kiintotilavuuden. Tarkan kosteuden avulla tiedettäisiin myös tienvarsivarastossa olevan materiaalin lämpöarvo tarkemmin, joka helpotta toimitusten ajoittamista. Lisäksi tienvarsivarastossa olevan materiaalin kosteuden kehitystä pystyttäisiin arvioimaan kosteusmallien avulla. (Holopainen, Lindblad & Melkas 2012, 20–24)

Kourasahan haasteiksi havaittiin näytteenottosäiliön täyttymiseen vaadittujen sahausten runsas määrä, tuoreesta latvusmassasta johtuva näytteenottosäiliöön menevän kourun tukkeutuminen ja näytteenottosäiliön täyttymisen seuranta. Itse kosteudenmittausmenetelmän suurimmaksi ongelmaksi kuitenkin todettiin vuonna 2012 markkinoilla olevien kosteusmittareiden huono tarkkuus. Tuolloin saatavilla ei ollut maasto-olosuhteisiin sopivaa kosteusmittaria, jolla pystyttäisiin mittaamaan latvusmassan ja energiarangan vaatimia yli 50 % kosteuksia. Menetelmässä kuitenkin havaittiin potentiaalia ja se todettiin kehityskelpoiseksi. Kuljettajan työajanmenekkiä voitaisiin vähentää, kun näytteenoton keruuseen liittyvät ongelmat ratkaistaisiin ja kosteusmittari saataisiin integroitua näytteenottosäiliön yhteyteen. Tällöin kosteusarvot voitaisiin kuormainvaa’an punnitustietojen tavoin lähettää suoraan kuormatraktorin tietokoneelle ja yhdistää tiedot mitattavaan erään. (Tuunanen 2013, 74–75)

Yksi menetelmä kosteuden mittaukselle on kuljettajan käsin käyttämät kannettavat pikakosteusmittarit. Näillä kosteus mitattaisiin lastattavan erän pinnalta. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin mittarien huono tarkkuus. Hakettamattoman energiapuun kosteuden mittausta kannettavalla kosteusmittarilla testattiin 2012. Kosteusmittarilla otettiin lukemia koivusta, männystä, kuusesta ja lepästä sahatuista kiekkoista kuoren läpi. Mittarin ilmoittamia tuloksia verrattiin punnitus-kuivausmenetelmällä varmennettuihin tuloksiin. Käytössä ollut saksalaisvalmisteinen, vastusmenetelmään perustuva Gann UNI 2 -kosteusmittari ei kuitenkaan pystynyt antamaan tarpeeksi tarkkoja ja luotettavia tuloksia. Mittarin ilmoittama lukema oli kaikilla puulajeilla lähes aina noin 10–25 % korkeampi kuin punnitus-kuivausmenetelmän ilmoittama tulos. Kyseisen mittarin kohdalla oli myös ongelmana se,

että sillä ei pystynyt mittaamaan jäätynyttä puuta. (Hannula 2012, 17) Kosteusmittarien huono tarkkuus todettiin myös kantojen kosteudenmittauksessa, jossa neljällä eri mittarilla saavutettiin ainoastaan kohtalaisia mittaustuloksia puun kosteuden ollessa alle 30 %. Tuloksista oli poistettu selkeästi poikkeavat lukemat ja näiden perusteella oli laskettu keskiarvo kosteudelle. (Erkkilä, Heikkinen, Hillebrand, Kaipainen, Raitila, Tiihonen, Virkkunen 2011, 44)

Käsi­käyttöisten kosteusmittarien on­gelmana on myös niiden vaatimat suuret otoskoot ja näiden aiheuttama työaikamene­kki. Harvennusenergiapuun ja latvus­massan pääosin varastointitavasta johtuvaa kosteuden suuresta vaihtelusta aiheutu­vaa epätarkkuutta voidaan vähentää ot­tamalla useita kosteusnäytteitä. Täl­löin on­gel­maksi muodostuu siitä kuljettajalle aiheutuvat ylimääräiset työt. Käsin tehtävän mittauksen mittaustulokset eivät myöskään edusta mitattavaa erää riit­tävästi, sillä tulokset saadaan ainoastaan kasan päällä tai reunalla olevasta puu­ta­varasta. Tällöin myöskään mittaustulokset eivät huomioi kasan keskellä olevaa korkeampaa kosteutta eikä rungon lisäksi muita puun osia, kuten kuorta, oksia ja neulasia. Käsin tehtävää kosteusmittausta ei siis voida pitää käytännöllisenä me­netelmänä. (Ronkainen, Sirkiä & Lindblad 2014, 227)

Metsäteho on listannut tulevaisuuden vaihtoehtoiseksi menetelmäksi kosteu­denmittauksen hakkurin hakevirrasta (Melkas & Tornberg 2015, 9). Tällöin kos­teudenmittaus tapahtuisi hakkurin kuljettimeen asennettavalla on-line -kosteus­mittarilla. On-line -kosteusmittarit mittaavat kosteutta useilla eri tekniikoilla esi­merkiksi infrapunatekniikalla tai radioaktiivisella säteilyllä (Järvinen, Siikanen, Tiitta & Tomppo 2008, 4). Hyödyntämällä hakkurin kuormainvaa’an ja on-line -kosteusmittarin dataa, voitaisiin laskea eräkohtaisesti haketetun energiapuun kiintotilavuus. Tällöin olisi myös mahdollista kuormata samaan hakeautoon use­ampia pienempiä eriä, jolloin välttyttäisiin vajaakuormien ajamiselta.

### **3.5 Mittaustulokseen vaikuttavat tekijät ja menetelmän vertailu muihin mittaustapoihin**

Kuormainvaa'an selvänä etuna on, että se tapahtuu metsätraktorin ja puutavara-auton kuorman purun tai lastauksen yhteydessä, joka itsessään on hankintaketjun välttämätön prosessi. Täten, jos ajoneuvon kuormain on varustettu kuormainvaa'alla, niin mittaus tapahtuu lähes automaattisesti kuormauksen yhteydessä. Mittausta varten ei siis juurikaan tarvitse tehdä ylimääräisiä toimenpiteitä eikä mittausta varten tarvitse poiketa kuljetusreitiltä. Kuormainvaa'an ilmoittamaa mitaustulosta voidaan tällöin hyödyntää myös urakoitsijoiden maksun perusteena. (Lindblad 2014, 56)

Kuormainvaakamittauksen huomattavana etuna on sen tuoma mahdollisuus kuormata useiden eri omistajien eriä samaan kuormatilaan, sillä eri ei tarvitse pitää erillään mittausta varten. Tämä mahdollistaa myös puutavaran ajon paikkoihin, joissa ei ole lainkaan muuta mittausmahdollisuutta, kuten välivarastoihin. Myös tällöin kuormatilan koko saadaan hyödynnettyä maksimaalisesti. (Lindblad & Repola 2019, 3)

Menetelmässä ei myöskään vaadi siltavaa'an kaltaisia suuria kiinteitä investointeja. Kuormainvaaka itsessäänkään ei enää nykyisin ole harvinainen investointi, sillä kuormainvaa'at ovat yleistyneet erityisesti puutavara-autoissa, koska kuormainvaakamittaus on syrjäyttänyt hankintakaupassa hankittujen kuitupuiden mittausten menetelmänä tehdas- ja pinomittauksen. (Lindblad & Repola 2019, 2)

Kuormainvaakamittauksessa mitattavat erät eivät ole enää yksilöitävissä kuormauksen ja sen yhteydessä tapahtuvan mittauksen jälkeen. Tämä aiheuttaa sen, että jos erän mittaustuloksessa on epäselvyyksiä, niin sitä ei voida enää mitata jälkikäteen uudelleen. Tämä on kuitenkin samalla mahdollistaa useamman eri omistajan puutavaroiden kuormaamisen samaan kuormatilaan. (Heikkilä, Hujo, Lindblad & Verkasalo 2004, 528) Tällöin saadaan ajettua mahdollisimman paljon puutavaraa kerralla toimituskohteeseen, sillä kuljettajan voi ottaa eri omistajien eristä puutavaraa kyytiin. Täten kuormainvaa'an ilmoittaman painon avulla voidaan hyödyntää ajoneuvon kantavuus maksimaalisesti, jolloin vältytään vajaa-kuormilta.

Kuormainvaakamittaus on kuitenkin altis systemaattisille ja satunnaisille virheille. Systemaattiset virheet johtuvat kalibrointi- tai viritysvirheestä, jolloin vaa'an nol-lakohta on väärin. Yleisimmin kuitenkin systemaattiset virheet johtuvat yleisistä muuntoluvuista, jotka, kuten jo todettu, eivät ota tarpeeksi hyvin huomioon vuosittaisia sääolosuhteiden vaihteluja. Tämä tarkoittaa sitä, että kuormainvaa'an mittaamat painot ovat oikein, mutta muuntolukujen takia kiintotilavuudet ovat joko liian pieniä tai suuria. (Lindblad & Repola 2019, 23) Systemaattisia virheitä voi esiintyä myös, koska mittaustulokseen ei saa tehdä vähennyksiä, vaikka mitattavan puutavaran päällä olisi lunta tai muita painoon vaikuttavia vierasesineitä (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2020, 7). Lumen ja jään on huomattu aiheuttavan systemaattisia virheitä lisäten noin kaksi prosenttia lisää mittatulokseen (Heikkilä, Lindblad, Hujo & Verkasalo 2004, 527). Puutavaranmittauksesta annettu laki (414/13) edellyttää, että mittauksessa ei saa olla merkittävää systemaattista virhettä. Satunnaisia virheitä taas esiintyy, koska tuoretiheysluvut eivät ota tarpeeksi hyvin huomioon eräkohtaisia puutavaran ominaisuuksien ja olosuhteiden vaihteluita. (Lindblad & Repola 2019, 23)

Kuormaustavan ja kuorman korkeuden on havaittu vaikuttavan mittaustulokseen. Myös varastopinon korkeuden on epäilty vaikuttavan mittaustulokseen. (Lindblad & Repola 2014, 23) Kuljettajat ovat lisäksi epäilleet, että kuormaimen kurottamisella sekä nosturin tuennalla on ollut vaikutusta mittaustulokseen. (Niinistö 2020, 42)

Kuormainvaakamittauksessa haasteita aiheuttaa myös biologisista syistä johtuva kuiva-ainehävikki. Latvusmassalla varastointiolosuhteista riippuen kuiva-aine hävikin on havaittu olevan nollasta jopa 24 prosenttiin kahdeksan kuukauden varastoinnin aikana. Hakkuutähteen osalta luvut ovat pienemmät, mutta silti merkittävät 3–14 % neljäntoista kuukauden varastointiajalta. Kuiva-ainehävikkiä esiintyy sitä enemmän mitä pidempään energiapuuta säilötään tienvarressa. (Kolström, Sikanen, Ruotsalainen & Routa 2015, 81) Tämän takia kuormainvaa'an mittaustulokset saattavat "vanhentua". Metsäkuljetuksen yhteydessä tapahtuneen kuormainvaakamittauksen ja kaukokuljetuksen välissä tapahtuneen pitkäkestoisen varastoinnin aikana erästä voi hävitä biologisista syistä puutavaraa. Tällöin tienvarresta kaukokuljetettava puutavaran määrä ei vastaa ilmoitettua

määrää. Kuiva-ainehävikistä syntyvää materiaalitappiota voitaisiin seurata suorittamalla kuormainvaakamittaus metsäkuljetuksen, kaukokuljetuksen ja haketuksen yhteydessä. Kuormainvaakamittaukseen voitaisiin hyödyntää myös terminaalissa tapahtuvassa haketuksessa. Tällöin voitaisiin vertailla kerättyä dataa, jonka avulla voitaisiin arvioida terminaalissa tapahtunutta hävikkiä.

Pinomittaukseen verrattuna kuormainvaakamittaus on tarkempi ja edullisempi menetelmä (Heikkilä, Lindblad, Hujo & Verkasalo 2004, 527). Menetelmä ei vaadi asiantuntijan suorittamaa tienvarsimittaukseen eikä ole altis pinomittauksen suorittajan tekemille virhearvioille.

Hakkuukonemittauksen etuna on sen ilmoittamat tarkat mitat yksittäin katkotuista rungoista. Tarkkuudessa on kuitenkin havaittu ongelmia käsiteltäessä useampia runkoja kerralla (Asikainen, Heikkilä, Korhonen, Laitila, Lindblad, Pasanen, Sirén & Tanttu 2005, 8). Kaatokouran karsimaa latvusmassassa hakkuukonemittaus ei kuitenkaan pysty mittaamaan. Tällöin on käytetty prosentuaalisia arvioita kertymästä. Kuormainvaakamittaus ei pysty karsittujen rankojen tilavuutta mittaamaan yhtä tarkasti kuin hakkuukonemittaus, mutta sen etuna on, että tuoretiheyskertoimien avulla voidaan laskea rankojen ja latvusmassan kertymä.

Kuormainvaakamittauksen tarkkuus kärsii pieniä eriä ja kevyitä kourataakkoja punnitessa. Tämä johtuu siitä, että yksittäisissä kourataakoissa on riski, että juuri kyseinen kourataakka on hajonnan toisessa ääripäässä. Kuormainvaakamittaus on suunniteltu 200–700 kg:n kourataakkojen punnitsemiseen, joten aluetta kevyemmissä taakoissa on havaittu enemmän keskihajontaa ja huomattavasti enemmän poikkeamia. (Iwarsson-Wide & Jönsson 2012, 16)

## 4 POHDINTA

Työssä ilmenneiden tulosten pohjalta voidaan olettaa, että uusimpien venymäliuska-antureihin perustuvien kuormainvaakojen mittaustarkkuus on luotettavalla tasolla. Liikkeessä tapahtuvan dynaamisen punnituksen ja vaakariipukkeen ollessa vain lisävaruste välttämättömään puutavarakuormaimeen, voidaan todeta, että kuormainvaakamittaus on myös tehokas mittaustapa. Puutavaran paino saadaan siis mitattua tarkasti, mutta ongelmaksi jää tarkan kiintotilavuuden määrittäminen. Säähavaintoihin perustuvat kosteusmallit ovat hyvä korvaaja nykyisille tuoretiheystaulukoille. Tarkimmat tulokset kuitenkin saataisiin mittaamalla kosteus eräkohtaisesti. Mittaamalla kuljetettavan erän paino ja kosteus metsäkuljetuksen yhteydessä saadaan myös tarkempi arvio tienvarsivarastossa olevasta energiapuusta. Kyseisen erän kosteuden ja lämpöarvon kehitystä voidaan arvioida kosteusmallien avulla. Tämän tiedon avulla kaukokuljetusta tai haketusta voisi optimoida lämpöarvon maksimoimiseksi.

Suurin osa kosteudenmittaukseen liittyvistä tutkimuksista kuitenkin toteaa, että kosteusmittarit eivät ole olleet tarpeeksi tarkkoja. Tutkimuksissa käytettyjen kosteusmittareiden mittausalue päättyi usein 50 prosenttiin, kun taas tuoreella energiapuulla se on usein sen yli. Tiedot ovat kuitenkin lähes vuosikymmenen takaa, eikä tuoretta tutkimustietoa aiheesta ole. Kosteudenmittaustekniikan voidaan olettaa kehittyneen viimeisen kymmenen vuoden aikana, joten nykyaikaisissa kosteusmittareissa olisi jatkotutkimusten aihetta. Ainakin itävaltalainen Schaller valmistaa tänä päivänä humimeter BMA-2-kosteusmittaria, jolla voidaan mitata hakkeen ja purun kosteutta aina 70 prosenttiin asti (Schaller n.d.). Hyödyntämällä tämän kaltaisia kosteusmittareita kourasahan kanssa voisi tuottaa tarkempia tuoretiheyslukuja. Myöskään kourasahaan liittyvää jatkotutkimusta ei ilmeisesti ole tehty. Metsäteho on kuitenkin maininnut kourasahan potentiaalisena tulevaisuuden mittausmenetelmänä vielä vuonna 2015 (Melkas & Tornberg 2015, 9). Aihe vaatii lisätutkimusta, sillä kourasahan kaltaisilla menetelmillä saataisiin tarkempia mittaustuloksia, mutta tarkempien mittaustulosten avulla saavutetulla lisäarvolla tuskin katettaisiin investoinneista aiheutuneet kulut.

Kosteudenmittauksessa ongelmana on myös pakkanen. Työssä mainituissa tutkimuksissa on kaikissa käytetty kapasitiivisuuteen perustuvia kosteusmittareita,

joilla ei voida mitata jäätyneen puun kosteutta (Järvinen, Malinen, Teppola & Tiitta 2007, 48). Talvella mitattavan puutavaran ollessa jäässä voitaisiin kuitenkin käyttää säähavaintoihin perustuvia kosteusmalleja.

Mittaamalla erä kuormainvaa'alla useita kertoja korjuuketjun aikana, voidaan kerätä tietoa, jota pystytään hyödyntämään kuiva-ainehävikin arvioimisessa. Mittaamalla erä kuormainvaa'alla vielä uudelleen kaukokuljetuksen tai haketuksen yhteydessä, voidaan tarkastella mittaustulosten eroja ja täten arvioida biologisista tai muista syistä johtuvaa kuiva-ainehävikkiä.

Kuormainvaakamittausmenetelmä vaatii kuljettajien perehdytystä. Kuljettajien on hyvä olla perehtyneitä siihen, miten ja miksi mittaus tapahtuu sekä mitkä tekijät saattavat vaikuttaa mittaustulokseen. Tämä korostuu erityisesti kalibroitimittauksissa, jossa kuljettajien on hyvä noudattaa tyypillistä lastausliikettä viritystarpeen varmistamiseksi. Epäonnistunut kalibroitimittaus ja siitä johtuva virheellinen viritys voi johtaa systemaattiseen virheeseen. Täten omavalvonnalle kannattaa järjestää yksityiskohtainen koulutus. Kuljettajia on hyvä ohjeistaa toimimaan myös normaaleissakin lastaustilanteissa rauhallisesti ja välttämään äkillisiä liikeitä. Kuljettajien tulisi myös välttää kevyitä alle 100 kg kourataakkoja mittaustarkkuuden parantamiseksi. Myös kuormainvaakamittauksen termeistä on hyvä laatia selkeä ohjeistus, jotta mittaussosapuolten kommunikoinnissa ei ole epäselvyyksiä. Mittausmenetelmään liittyvää ohjeistusta luodessa kannattaa konsultoida myös kuljettajia, jotta ohjeistuksesta saa selkeän ja helposti ymmärrettävän.

Kuormainvaa'an olisi hyvä siirtää vaa'an saama tulos suoraan tietojärjestelmään muokkaamattomana. Tekniikka ei kuitenkaan ole virheetöntä, joten tietojärjestelmään olisi hyvä jättää kuljettajille mahdollisuus kommentoida kuormainvaa'an ilmoittamia tuloksia ja lisätä hänen arvioimansa todellinen tulos.

## LÄHTEET

Asikainen, A., Heikkilä, J., Korhonen, K., Laitila, J., Lindblad, J., Pasanen, K., Sirén, M. & Tantt, V. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Työraportti. Metsäntutkimuslaitos. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf>

eFunda. n.d.a Strain Gages: Gage Materials. Verkkosivu. Luettu 15.2.2021. [https://www.efunda.com/designstandards/sensors/strain\\_gages/strain\\_gage\\_selection\\_matl.cfm](https://www.efunda.com/designstandards/sensors/strain_gages/strain_gage_selection_matl.cfm)

eFunda. n.d.b Strain Gages: Wheatstone Bridge. Verkkosivu. Luettu 15.2.2021. [https://www.efunda.com/designstandards/sensors/methods/wheatstone\\_bridge.cfm](https://www.efunda.com/designstandards/sensors/methods/wheatstone_bridge.cfm)

Eloranta, K. 2018. 2 Mittaamisen perusteita. Luento materiaali. Julkaistu 4.6.2018. Luettu 22.2.2021. <https://peda.net/jao/lyseo/opiskelu2/ojkuo/yjl/fy-siikka/ffl/fy-1-9-elok2/2sjm/2majsv/2mp:file/download/b24188df595cab8fe10b0a2e58fde9b9471e541c/2-MittaaminenO20181204.pdf>

Erkkilä, A., Heikkinen, A., Hillebrand, K., Kaipainen, H., Raitila, J. & Virkkunen, M. 2011. Kokopuun ja mäntykantojen korjuuketjujen sekä varastoinnin kehittäminen. Tutkimusraportti. Keski-Suomen Metsäkeskus. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2010/VTT-R-10151-10.pdf>

FINAS. 2016. Metrologiajärjestelmä. Verkkosivu. Päivitetty 5.2.2016. Luettu 19.2.2021. <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Metrologiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4.aspx#:~:text=Metrologinen%20j%C3%A4ljitet%C3%A4vyys%20osoitetaan%20katkeamattomalla%20vertailuketjulla,kansallinen%20mittanormaalilaboratorio%20on%20VTT%20DMIKES>

Hannula, H. 2012. Hakettamattoman energiapuun kosteuden mittaaminen. Keskipohjanmaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Heikkilä, J., Lindblad, J., Hujo, S. & Verkasalo, E. 2004. Pienten kuitupuuerien mittaaminen puutavara-auton kuormainvalla. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004:

527–540. [https://www.researchgate.net/publication/259568772\\_Pienten\\_kuitu-puuerien\\_mittaus\\_puutavara-auton\\_kuormainvaa'alla](https://www.researchgate.net/publication/259568772_Pienten_kuitu-puuerien_mittaus_puutavara-auton_kuormainvaa'alla)

Hujo, S., Liikanen, R. & Peltola, J. 2006. Kuormainvaakojen punnitustarkkuus. Metsätehon tuloskalvosarja. Julkaistu 21.3.2006. Luettu 4.3.2021. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_tuloskalvosarja\\_2006\\_02.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_tuloskalvosarja_2006_02.pdf)

Intermercato AB.n.d. Intelweigh by Intermercato. Esite. Luettu 16.2.2021. [https://www.intermercato.com/wp-content/uploads/2015/06/intermercato\\_intelweigh\\_brochure.pdf](https://www.intermercato.com/wp-content/uploads/2015/06/intermercato_intelweigh_brochure.pdf)

Isokangas, A., Kolström, M., Lindblad, J., Nivala, S., Routa, J., Ruotsalainen, J., Seppälä, A. & Sikanen, L. 2017. Latvusmassan kosteus palstalla – Kosteusenustemallit ja energiapuun mittauslaskuri. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2017. Luonnonvarakeskus, Helsinki.

Iwarsson-Wide, M. & Jönsson, P. 2012. Utvärdering av kranhängda vågsystem. Työraportti. Skogforsk. <https://www.skogforsk.se/contentassets/922395eba60e48258f40364765aadf01/arbetsrapport-770---utvardering-av-kranhangda-vagsystem-.pdf>

Järvinen, T., Malinen, J., Teppola, P. & Tiitta, M. 2007. State of art – selvitys puun kosteusmittauksesta. Tutkimusrapotti. Metsäteho Oy. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2008/01/State\\_of\\_art\\_selvitys\\_puun\\_kosteusmittauksesta\\_2007\\_VTT.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2008/01/State_of_art_selvitys_puun_kosteusmittauksesta_2007_VTT.pdf)

Järvinen, T., Siikanen, S., Tiitta, M. & Tomppo, L. 2008. Yhdistelmämittaus hakkeen kosteuden on-line -määrittämiseen. Metsätehon kalvosarja. Julkaistu 23.2.2009. Luettu 1.5.2021. <https://docplayer.fi/19566408-Hakkeen-kosteuden-on-line-mittaus.html>

Kiviluoma, P. 2015. KON-C3004 Kone- ja rakennustekniikan laboratoriotyöt. Opetusmateriaali. Julkaistu 9.10.2015. Luettu 15.2.2021. [https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/141717/mod\\_resource/content/1/KON-C3004\\_Anturit\\_2015.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/141717/mod_resource/content/1/KON-C3004_Anturit_2015.pdf)

Koistinen, A. 2016. Puutavaranmittauslainsäädännön evaluointi. Tapion raportteja nro 12.

Kolström, M., Routa, J., Ruotsalainen, J. & Sikanen, L. 2015. Precision measurement of forest harvesting residue moisture change and dry matter losses by constant weight monitoring. Tutkimus. International Journal of Forest Engineering. [https://www.researchgate.net/publication/276868491\\_Precision\\_measurement\\_of\\_forest\\_harvesting\\_residue\\_moisture\\_change\\_and\\_dry\\_matter\\_losses\\_by\\_constant\\_weight\\_monitoring](https://www.researchgate.net/publication/276868491_Precision_measurement_of_forest_harvesting_residue_moisture_change_and_dry_matter_losses_by_constant_weight_monitoring)

Komatsu Forest AB. Kuormainvaaka. Tuote-esite. Luettu 26.3.2021. [http://shopv15.mediahandler.se/pdf/komatsu/kProtec\\_scale\\_ps\\_fi.pdf](http://shopv15.mediahandler.se/pdf/komatsu/kProtec_scale_ps_fi.pdf)

Kuoppala, R. & Kalervo, N. 1986. Anturit koneautomaatiassa. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus.

Laki puutavaran mittauksesta 14.6.2013/414

Lindblad, J. & Melkas, T. 2019. Kuitupuun painomittauksen toimintamallin kehittäminen (Online tuoretiheys) -projekti. Esityskalvot. Julkaistu 15.5.2019. Luettu 18.3.2021. <http://docplayer.fi/152343469-Kuitupuun-painomittauksen-toimintamallin-kehittaminen-online-tuoretiheys-projekti.html>

Lindblad, J. & Repola, J. 2019. Mänty- ja koivupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. Tutkimusartikkeli. Metsätieteen aikakauskirja 2019-10101. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article10101.pdf>

Lindblad, J. 2014. Uudistuvat puutuote-eräketjut ja puunhankintaratkaisut (PUU). Puutavaran mittaus. Työraportti. Metlan työraportteja 284. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp284.pdf>

Lindblad, J. 2018. Latvusmassan kuormainvaakamittauksessa voidaan jatkossa käyttää kosteusmallia. Verkkouutinen. Julkaistu 19.1.2018. Luettu 21.4.2021. <https://www.luke.fi/uutinen/latvusmassan-kuormainvaakamittauksessa-voidaan-jatkossa-kayttaa-kosteusmallia/>

Maa- ja metsätalousministeriö. 2013. Puutavaranmittauslainsäädäntö uudistuu-  
koulutusmateriaali. Kalvosarja. <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/wp-content/uploads/sites/9/2017/03/kalvosarja-1.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä 17.6.2013/12/13.

Melkas, T. & Tornberg, J. 2015. MWh-RoadMap. Esitysmateriaali. Metsäteho Oy. Julkaistu 16.2.2015. Luettu 8.4.2021. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja\\_2015\\_04a\\_MWh\\_roadmap\\_tm\\_jt.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2015_04a_MWh_roadmap_tm_jt.pdf)

Melkas, T. 2009. Kuormainvaakamittaus uudistuu. Metsätehon tuloskalvosarja 11/2009. <https://docplayer.fi/35490680-Kuormainvaakamittaus-uudistuu-timo-melkas-metsateho-oy.html>

Melkas, T. 2010. Markkinoilla olevat kuormainvaat ja niiden ominaisuudet. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2010. Julkaistu 23.3.2010. Luettu 23.3.2021. [https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja\\_2010\\_04\\_Markkinoilla\\_olevat\\_kuormainvaat\\_ja\\_niiden\\_ominaisuudet\\_tm.pdf](https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2010_04_Markkinoilla_olevat_kuormainvaat_ja_niiden_ominaisuudet_tm.pdf)

Melkas, T. 2018a. Kuormainvaan kalibrointi ja viritys. Verkkosivu. Julkaistu 8.5.2018. Luettu 23.2.2021. <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/kuormainvaakamittaus/punnitustarkkuuden-seuranta/kuormainvaan-kalibrointi-ja-saato/>

Melkas, T. 2018b. Energiapuu. Verkkosivu. Julkaistu 8.5.2018. Luettu 21.4.2021. <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/kuormainvaakamittaus/kuormainvaakamittauksen-vaiheet/energiapuu/>

Melkas, T. 2018c. Tilavuuden mittaus. Verkkosivu. Julkaistu 8.5.2018. Luettu 21.4.2021.

Niinistö, T. 2020. Kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuus ja menetelmän kehittäminen ainespuun mittauksessa. Metsätieteiden osasto. Helsingin yliopisto. Maisterintutkielma.

Ponsse. 2018. Metsien monipuolisinta tietotekniikkaa. Esite. Luettu 26.3.2021. <https://pim.ponsse.com/media/ponsse-pim-api/api/content/getfile/13902967.pdf>

Ponsse. 2020. Huoltopalvelut 2020. Tuotekuvasto. Luettu 19.3.2021. <https://pim.ponsse.com/media/ponsse-pim-api/api/content/getfile/16562432.pdf>

Puutavaranmittauksen neuvottelukunta. 2019. Vaakojen mittaustarkkuuden ylläpito puutavaranmittauksessa. Suositus.

Puutavaranmittauksen neuvottelukunta. 2020. Energiapuun mittaaminen. Suositus.

Ronkainen, P., Sirkiä, S., Lindblad, J. 2014. Harvennusenergiapuun ja latvusmassan kosteuden määrittäminen metsäkuljetuksessa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2014. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article5882.pdf>

Schaller. N.d. humimeter BMA-2 bioenergy wood chip moisture meter. Verkkosivu. Luettu 1.5.2021. <https://www.humimeter.com/bioenergy/humimeter-bma-woodchip-moisture-meter>

Skogforsk. n.d. StanForD 2010 – modern communication with forest machines. Yleinen tiedotusmateriaali. Luettu 23.3.2010. Saatavissa: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/>

Suomen Teollisuusvaaka. n.d. Useimmiten kysytyt kysymykset. Verkkosivu. Luettu 19.2.2021. <https://www.teollisuusvaaka.fi/useimmiten-kysytytja-kysymyksia/>

Tamtron Oy. n.d. One Timber -puutavaranosturivaaka. Esite. Luettu 16.2.2021. [https://www.tamtrongroup.com/wp-content/uploads/2019/12/dn15689\\_1-fi\\_brochure-one-timber-scale\\_191127.pdf](https://www.tamtrongroup.com/wp-content/uploads/2019/12/dn15689_1-fi_brochure-one-timber-scale_191127.pdf)

Tuunanen, L. 2013. Energiarangan ja latvusmassan kosteuden mittaaminen leimikolla. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Itä-Suomen yliopisto. Maisterintutkielma.

Uuden sukupolven puukuormainvaaka nyt saatavilla!. Kuvakaappaus demonstraatiovideosta. YouTube 2020. Katsottu 16.2.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=EzCLDLjaa3g>