

Jari Lindblad<sup>1</sup> ja Jaakko Repola<sup>2</sup>

## Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella

Lindblad J., Repola J. (2019). Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys paino-otantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. Metsätieteen aikakauskirja 2019-10101. Tutkimusartikkeli. 26 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10101>

### Tiivistelmä

Puutavaran painon mittausta tehdään puutavaran kuljetuksen yhteydessä metsätraktoreiden ja puutavara-autojen nostureiden vaaoilla tai puutavaran tehdasvastaanoton yhteydessä kiinteillä ajoneuvovaaioilla tai puunkäsittelykoneiden vaaoilla. Ensimmäisestä käytetään nimitystä kuormainvaakamittaus ja jälkimmäisestä nimitystä paino-otantamittaus.

Puutavaran painon muuntamiseen tilavuussuureiden arvoiksi käytetään muuntokertoimia, niin sanottuna tuoretiheyslukuja [ $\text{kg m}^{-3}$ ]. Kuormainvaakamittauksessa tuoretiheyslukuina käytetään kiinteitä, säädösperusteisia kertoimia. Vastaavasti paino-otantamittauksessa tuoretiheysluvut määritetään puutavarasta valittavan otoksen ja otantaeristä tehtävien mittausten perusteella. Paino-otantamittaus tehdään mittauspaikka-, eli tehdaskohtaisesti, jolloin otannan perusjoukko muodostuu tietyn puutavaralajin tehtaalle toimitettavasta puutavarasta.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyttä, sekä laadittiin tuoretiheyden ennustemalli. Puutavaran tehdasmittauspaikkojen, alkuperämaakuntien ja mittausvuosien välillä tuoretiheydessä oli tilastollisesti merkitseviä eroja, mutta absoluuttiset erot olivat pieniä. Tärkeimmät tuoretiheyteen vaikuttavat tekijät olivat mittausajankohdan vuodenaika ja varastointiaika, joiden mukaan tuoretiheyden vaihteluväli oli enimmillään noin  $100 \text{ kg m}^{-3}$ . Tarkasteltaessa samasta maakunnasta eri mittauspaikkoihin toimitettua puutavaraa, suurimmassa osassa tapauksista tuoretiheydessä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja mittauspaikkojen välillä. Tällä perusteella näyttää alustavasti mahdolliselta, että paino-otantamittauksessa otannan perusjoukko muodostettaisiin aluekohtaisesti nykyisen mittauspaikkakohtaisen otannan sijasta. Edellytyksenä kuitenkin on, että eri mittauspaikkoihin toimitettava puutavara on tuoretiheyteen vaikuttavien ominaisuuksien suhteen samankaltaista.

Tutkimuksessa laadituilla malleilla pystytään ennustamaan mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys tehtaalle toimitettaessa, kun tunnetaan puutavaralaji, varastointiaika ja maantieteellinen alkuperä. Jatkossa malleja on tarvittaessa mahdollista hyödyntää kuormainvaakamittauksen kiinteiden tuoretiheyslukujen määrittämisessä.

**Avainsanat** mittausta; puutavaranmittaus; kuormainvaakamittaus; paino-otantamittaus; tuoretiheys; kuitupuu

**Yhteystiedot** <sup>1</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Tuotantojärjestelmät, Joensuu; <sup>2</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Luonnonvarat, Rovaniemi

**Sähköposti** jari.lindblad@luke.fi

**Hyväksytty** 9.5.2019

# 1 Johdanto

## 1.1 Painon mittaukseen perustuva puutavaranmittaus

Puutavaran painon mittaukseen perustuvat mittausmenetelmät (jatkossa painomittaus) ovat yleistyneet puutavaranmittauksessa 2010-luvulla. Tärkeänä syynä yleistymiseen on ollut painomittauksen nivoutuminen joustavasti osaksi puunkorjuuta, kuljetusta ja tehdasvastaanottoa. Periaatteessa puutavaran paino on mitattavissa aina, kun puutavaraa käsitellään. Lisäksi painomittaus perustuu koeteltuun ja varmaan mittaustekniikkaan (Sikanen ym. 1992; Heikkilä ym. 2004). Tiettyillä puutavaralajeilla, lähinnä energiapuulla, painomittaus saattaa olla ainoa toteutettavissa oleva mittausmenetelmä. Myös hankintakauppojen puutavaralla painomittauksen osuus on merkittävä.

Puutavaran painomittaus voidaan toteuttaa metsä- tai kaukokuljetuksen yhteydessä metsätraktoreiden tai puutavara-autojen nostureiden vaaioilla eli kuormainvaaioilla, tai puutavaran tehdasmittauspaikoilla kiinteillä ajoneuvovaaioilla tai puunkäsittelykoneiden vaaioilla. Ensimmäisestä mittausmenetelmästä käytetään nimitystä kuormainvaakamittaus, jälkimmäisestä nimitystä paino-otantamittaus.

Paino-otantamittaus on syrjäyttänyt muita mittausmenetelmiä kuitupuun tehdasmittauksessa viime vuosina. Paino-otantamittauksen osuus kuitupuun tehdasmittauksessa oli noin 91 prosenttia vuonna 2017 (Melkas 2018). Vastaavasti kuormainvaakamittaus on korvannut hankintakauppaerien mittauksia sekä tienvarressa että tehtaalla. Tukki- ja kuitupuutavaralajeja mitattiin kuormainvaakamittauksella noin 2,6 miljoonaa kuutiometriä vuonna 2017. Hankintakaupoissa kuormainvaakamittauksen osuus oli 38 prosenttia (2,4 milj. m<sup>3</sup>) (Melkas 2018).

Puutavaran mitattu paino voi olla lopullinen mittaustulos puutavaran perusmittauksessa, lähinnä kuljetuksen urakointimaksujen perusteena. Puukaupan perusteena olevassa mittauksessa tavoitteena on tavallisesti puutavaran kuorellinen kiintotilavuus myös painomittauksessa. Yhteistä painomittausmenetelmille on se, että puutavaran painon arvot muunnetaan tilavuussuureiden arvoiksi muuntoluvulla, niin sanotulla tuoreiheysluvulla, yksikkönä kg m<sup>-3</sup>. Tuoreiheysluvun tuottaminen poikkeaa kuitenkin eri mittausmenetelmissä. Kuormainvaakamittauksessa käytetään tavallisesti puutavaralajikohtaisia kiinteitä tuoreiheyslukuja, jotka on annettu säädösperusteisesti (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013). Vastaavasti paino-otantamittauksessa tuoreiheysluvut tuotetaan tehdaskohtaisen otannan avulla. Siten tietyn puutavaraerän mittauksessa käytettävä tuoreiheysluku määräytyy sen mukaan, mitä painomittausmenetelmää käytetään, tai mihin tehdasmittauspaikkaan puutavaraerä toimitetaan.

Puutavaran painomittausmenetelmät ovat oleellisesti määrän, siis painon ja tilavuuden, mittausmenetelmiä. Tarvittaessa puutavaran laatu ja laatuvaatimukset täyttävän puutavaran osuus määritetään tehdasolosuhteissa erillisellä otannalla tai kuormien laadun silmävaraisella määrittämisellä.

## 1.2 Paino-otantamittaus

Paino-otantamittauksessa tehtaalle tuotavan puutavaraerän tilavuus määritetään painon ja vastaanottoaikana voimassa olevan tuoreiheysarvon perusteella. Tuoreiheysarvot määritetään erikseen esimerkiksi puutavaralajin tai puun toimittajan mukaan (paino-otantamittauksen perusjoukko). Puutavarasta valitaan tyypillisesti noin yhden prosentin suuruinen otos tuoreiheyden määrittämistä varten. Siten paino-otantamittausmenetelmän sisältö kokonaisuudessaan jakautuu viiteen vaiheeseen: koko puutavaraerän punnitukseen, otantaan, otantaerien mittaukseen, tuoreiheysluvun määrittämiseen ja tilavuuden laskentaan. Puutavaraerä punnitaan tehtaalla ajoneuvovaaioilla (siltavaa'at) tai purkukoneiden vaaioilla (esimerkiksi kurottajavaa'at). Puutavarasta vali-

taan otannalla otantaeriä, jotka käytännössä ovat puutavaraniippuja. Otantaeristä mitataan paino ja tilavuus, joiden suhteena määritetään tuoretiheys [ $\text{kg m}^{-3}$ ]. Tuoretiheyttä käytetään muuntolukuna muunnettaessa puutavaran painon arvoja tilavuuden arvoiksi. Otantaerän tilavuuden mittausta toteutetaan lähes aina upotusmittauksella.

Paino-otantamittauksen perusjoukko – siis se puutavara, johon otanta kohdistetaan – voidaan muodostaa eri tavoin. Useimmiten tehdään paino-otantamittauksen perusjoukko muodostetaan puutavaralajeittain siten, että useita kyseisen puutavaralajin toimittajia kuuluu samaan perusjoukkoon. Yksityisten metsänomistajien puutavaraeristä on mittausta koskevien säädösten mukaan muodostettava oma perusjoukko, jos puutavaraerän koko ylittää 110 kuutiometriä. Tätä pienemmät yksityisten metsänomistajien puutavaraerät voidaan sisällyttää johonkin suurempaan perusjoukkoon, joka muodostuu esimerkiksi kyseiseen mittausta paikkaan toimitettavasta vastaavasta puutavaralajista.

Paino-otantamittauksen tuoretiheysluvun laskenta perustuu tasatun liukuvan keskiarvon laskentaan. Tiettyinä ajankohtana voimassa oleva tuoretiheysarvo voi perustua esimerkiksi tavaramäärän seitsemään viimeiseen otantaerään, joiden tuoretiheysarvoista suurin ja pienin jätetään pois keskiarvon laskennasta (7/5-laskenta).

Jotta tietyille ajanhetkelle määritetty tuoretiheysarvo olisi luotettava, on laskentaan sisällytettävä riittävä määrä havaintoja, otantaeriä. Toisaalta otoksen kierron on oltava riittävän nopea, jotta tuoretiheyden tason muutokset tulevat otetuiksi huomioon lyhyellä viiveellä. Tämä on tärkeää erityisesti keväällä ja syksyllä, jolloin tuoretiheys muuttuu nopeasti.

### 1.3 Kuormainvaakamittaus

Kuormainvaakamittauksessa puutavaran paino punnitaan metsäkuljetuksen tai kaukokuljetuksen yhteydessä. Puutavaran paino muunnetaan tilavuudeksi käyttäen yleisiä tuoretiheyslukuja, jotka on annettu Luonnonvarakeskuksen (aiemmin Metsätutkimuslaitos) määräyksellä (Määräys nro 1/2017). Puutavaran mittaustilastointilain (MMM:n asetus 2013) mukaan mittaus voi kuitenkin vaihtoehtoisesti käyttää muuntamiseen otantaerien mittaukseen perustuvia, puutavaraerän ominaisuuksia paremmin kuvaavia tuoretiheyslukuja. Tätä menetelyä ei ole ainakaan merkittävässä määrin käytetty.

Kuormainvaakamittauksen käyttöönoton taustalla oli tarve tehostaa erityisesti pienten kuitupuuerien tienvarressa tehtävää luovutusmittausta (Heikkilä ym. 2004). Energiapuun mittauksessa kuormainvaakamittauksella on tärkeä rooli. Metsässä tai tienvarressa mitattavalle energiapuulle metsäkuljetuksen yhteydessä tehtävä kuormainvaakamittaus saattaa olla ainoa käytettävissä oleva mittaustapa. Lisäksi kuormainvaakapunnitusta on alettu käyttää kuljetusmaksujen perusteena silloin, kun siltavaakoja ei ole käytettävissä esimerkiksi rautatieasemilla tai terminaaleissa.

Viime vuosien suuntauksena on ollut vähentää yksityisten metsänomistajien puutavaraerien mittausta tehtaalla. Kuormainvaakamittaus on osaltaan korvannut erityisesti hankintakaupparien tehdasmittausta, ja myös hakkuukonemittaus on yleistynyt hankintakauppojen maksuperusteena (Melkas 2018). Tavoitteena on ollut vähentää puutavaraerien erillään pidosta aiheutuva työtä kuljetuksissa ja toisaalta lisätä puutavaralogistiikan joustavuutta. Hakkuukoneella tai kuormainvaakalla saatu mittaustulos mahdollistaa puutavaran kuljettamisen välivarastoihin, asemille tai terminaaleihin, joissa mittausta ei voida toteuttaa. Logistiikkaetujen kannalta kuormainvaakamittaus on käyttökelpoinen menetelmä myös suurehkojen hankintakaupparien mittauksessa.

## 1.4 Tuoretiheys mittaussuureena

Puutieteessä suurella tuoretiheys [ $\text{kg m}^{-3}$ ] tarkoitetaan puun tuoreena määritetyn massan ja tilavuuden suhdetta. Puuaineen tuoretiheyteen vaikuttavat puuaineen kuiva-tuoretiheys ja kosteus, joiden perusteella on määritettävissä ennuste tuoretiheydestä.

Kuiva-tuoretiheydellä, yksikkönä  $\text{kg m}^{-3}$ , tarkoitetaan puuaineen kuivamassan ja tuoreena määritetyn tilavuuden suhdetta. Kuiva-tuoretiheyden vaihtelu on kohtalaisen suurta. Paitsi puulajien välillä, kuiva-tuoretiheys vaihtelee samalla puulajilla eri yksilöiden välillä ja yksittäisen rungon sisällä (esimerkiksi Repola 2006). Kuiva-tuoretiheyteen vaikuttavat puun ikä ja koko, kasvunopeus, kasvupaikan laatu ja geneettiset tekijät (esimerkiksi Hakkila 1966; Kärkkäinen 2007). Kasvupaikan maantieteellinen sijainti ja ravinteisuus vaikuttavat kasvunopeuteen ja siten puuaineen kuiva-tuoretiheyteen (Hakkila 1968).

Puutavaran painomittauksessa on otettava huomioon myös varastointiaikana tapahtuneet tuoretiheyden muutokset. Tuoretiheys on siis käsitettävä mittaajankohdan tuoretiheytenä. Kosteuden muutos vaikuttaa tuoretiheyteen eniten, mutta pitkänä varastointiaikoina puutavaran kuiva-tuoretiheys voi laskea puuaineen lahoamisen vuoksi (Routa ym. 2015 ja 2018).

Puutavaran sisältämä vesimäärä (kosteus) vaikuttaa suoraan puutavaran painoon, mutta myös tilavuuteen. Puutavaranmittauksessa kosteuden vaikutus tilavuuteen voidaan kuitenkin jättää huomiotta, sillä puuaineen tilavuus pienenee merkittävästi vasta, kun kosteus alittaa puunsiiden kyllästymispisteen (noin 23–24 prosenttia, kosteussuhde 30–31 prosenttia). Käytännössä kuitupuun kosteus pysyy aina puunsiiden kyllästymispisteen yläpuolella.

Kasvavan puun kosteus vaihtelee vuodenajan mukaan. Kosteus on alimmillaan kesällä, minkä jälkeen se kasvaa syksyä kohti ja laskee jälleen seuraavana keväänä (Hakkila 1962). Varastoinnin aikana puutavara saattaa luovuttaa ilmaan vettä ja kuivua, mutta hygroskoopisena aineena se voi myös sitoa vettä ympäröivästä ilmasta. Kosteus muuttuu kohti tasapainokosteutta, jossa haihtuvan ja sitoutuvan veden määrä ovat yhtä suuria. Koska luonnossa olosuhteet muuttuvat, on myös puutavaran kosteus jatkuvassa muutostilassa. Muutoksen nopeus ja suunta riippuvat paitsi olosuhteista, myös puutavaran vallitsevasta kosteustasosta (mm. Kärkkäinen 2007). Puutavaranmittauksen kannalta vuodenajoilla on selvä yhteys puutavaran kuivumisnopeuden kanssa.

Tuoretiheyden vaihtelu otantaerien välillä on tyypillisesti verraten suurta. Tuoretiheyden keskihajonnat ovat suuruusluokassa  $50 \text{ kg m}^{-3}$ , joissakin tapauksissa jopa  $80\text{--}90 \text{ kg m}^{-3}$ . Tuoretiheyden keskiarvo vaihtelee puutavaralajista ja vuodenajasta riippuen välillä  $750\text{--}950 \text{ kg m}^{-3}$ . Tukkipuulla tuoretiheyden vuodenajoittainen vaihtelu on verraten pientä, suuruusluokkaa  $30\text{--}50 \text{ kg m}^{-3}$ . Sen sijaan kuitupuutavaralajeilla tuoretiheyden vuodenajoittainen vaihtelu voi olla yli  $100 \text{ kg m}^{-3}$  (Kainulainen ja Lindblad 2005; Puutavaran tuoretiheystaulukot 2010).

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. Poikkeavien arvojen ja vinon jakauman vuoksi tilavuuden laskennassa käytettävät tuoretiheyden arvot voivat systemaattisesti poiketa todenmukaisesta tuoretiheyden tasosta. Käytännössä kysymys on mittauksen systemaattisesta virhelähteestä.

## 1.5 Tavoite

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tehtaalle tuotavan kuitupuun tuoretiheyden vaihteluun vaikuttavia tekijöitä, ja miten niitä voidaan hyödyntää paino-otantamittauksen kehittämisessä. Päätaavoitteena oli löytää keinot, joilla voidaan parantaa paino-otantamittauksen luotavuutta ja vähentää systemaattista virhettä mm. normaalia pidempään varastoiduille kuitupuuerille, joissa kuivumisesta johtuva alhainen tuoretiheys johtaa nykykäytännöllä useimmiten tilavuuden aliarvioon. Tutkimuksen tavoitteet jaettiin kolmen osaan:

1. Tutkia mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden tasoa ja vaihtelua tehdasmittauspaikan, maantieteellisen alkuperän, mittausajankohdan ja varastointiajan mukaan,
2. Tutkia paino-otantamittauksen aluekohtaisen otannan muodostamisen edellytyksiä tarkastelemalla samasta maakunnasta eri tehtaalle toimitettavan puutavaran tuoretiheyden tasoa ja eroja,
3. Laatia puutavaran tuoretiheyden ennustemalli, joissa otetaan huomioon puutavaralaji, maantieteellinen alue, puutavaran vastaanottoajankohta ja varastointiaika.

## 2 Aineistot ja menetelmät

Tutkimusaineistot koostettiin Metsä Fibren, UPM-Kymmene Oyj:n ja Stora Enso Oyj:n tehdasmittauspaikoilla paino-otantamittauksessa määritetyistä kuitupuun otantaerien tuoretiheystavoitteenavainnoista. Tehdasmittauspaikat, jotka olivat selluloosa- ja paperitehtaiden puuvastaanottoja, valittiin siten, että kyseiseen tehdasmittauspaikkaan todennäköisesti toimitettiin kuitupuuta myös Keski-Pohjanmaan maakunnasta. Tutkimusaineiston aluerajaus johtui siitä, että tutkimus toteutettiin alueellisessa Keski-Pohjanmaan metsälogistiikka -projektissa.

Tutkimusaineisto kattaa kokonaisuudessaan vuodet 2013–2016 sekä vuoden 2017 alun. Tarkasteltaviksi puutavaralajeiksi valittiin mänty- ja koivukuitupuuta, joiden mittauksessa paino-otantamittaus on yleisintä, ja siten myös mittausaineistoja oli eniten saatavilla.

Tutkimusaineistojen havaintomäärät mittauspaikoittain on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Havaintomäärät vastaavat niitä mänty- ja koivukuitupuun otantaeriä, joista tunnetaan puutavaralaji, mittauspaikka ja mittausajankohta. Mittausajankohdalla tarkoitetaan tässä otantaerien tuoretiheyden mittausajankohtaa, joka vastaa korkeintaan joidenkin vuorokausien viiveellä puutavaran vastaanottoajankohtaa tehdasmittauspaikassa. Otantaerien maantieteellinen alkuperä eli metsikön sijainti kunta- tai maakuntatasolla, sekä hakkuuajankohta olivat käytettävissä noin puolessa havainnoista.

Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden tasoa ja vaihtelua tarkasteltiin mittauspaikoittain, mikä asetelmana vastaa vallitsevaa käytäntöä paino-otantamittauksessa. Edelleen tuoretiheyttä tarkasteltiin otantaerien alkuperän, siis metsikön sijaintimaakunnan mukaan. Tässä verrattiin tuoretiheyttä maakuntien välillä sekä tarkasteltiin samasta maakunnasta eri mittauspaikkoihin toimitetun puutavaran tuoretiheyttä. Lisäksi tuoretiheyttä tarkasteltiin otantaerien mittausajankohdan ja varastointiajan mukaan jaoteltuina. Tarkastelut tehtiin vertaamalla normaaleja keski- ja hajontalukuja.

Tuoretiheydelle laadittiin lineaarinen regressiomalli, jolla voidaan ennustaa kuitupuun tuoretiheys tehtaalla mittausajankohtana. Mallin selittäjiä ovat otantaerien puutavaralaji, mittausajankohta, varastointiaika ja maantieteellinen alkuperä. Mänty- ja koivukuitupuulle laadittiin omat mallit. Mallien laskenta-aineistoon hyväksyttiin vain otantaerät, joista oli saatavilla mittaus- ja hakkuuajankohta sekä otantaerien alkuperä eli metsikön sijainti. Mallin laadinnassa käytettyjen otantaerien määrä oli männyllä 12582 ja koivulla 9814 kappaletta. Malli on muotoa:

$$TT_{ki} = b_0 + b_1x_{1ki} + b_2x_{2ki} + b_3x_{3ki} + u_k + e_{ki}, \quad (1)$$

**Taulukko 1.** Mäntykuitupuun otantaerien kappalemäärät puutavaran alkuperämaakunnan ja tehdasmittauspaikan mukaan.

	Kemi	Oulu	Pietarsaari	Rauma	Veitsiluoto	Äänekoski	Yhteensä
Etelä-Pohjanmaa	133	-	1722	297	-	42	2195
Etelä-Savo	-	-	-	63	-	11	74
Kainuu	151	100	115	-	-	-	366
Kanta-Häme	-	-	-	60	-	1	61
Keski-Pohjanmaa	9	3	683	-	-	87	782
Keski-Suomi	5	17	1255	46	-	1186	2509
Lappi	1536	-	-	-	1	-	1537
Pirkanmaa	4	-	228	337	-	58	627
Pohjanmaa	-	-	2113	83	-	-	2196
Pohjois-Pohjanmaa	1692	141	620	-	-	28	2481
Pohjois-Savo	-	-	63	-	-	192	255
Päijät-Häme	-	-	-	-	-	4	4
Satakunta	-	-	121	470	-	-	591
Uusimaa	-	-	-	11	-	-	11
Varsinais-Suomi	-	-	-	290	-	1	291
Maakunta ei tiedossa	2439	2220	5477	362	1130	103	11731
Yhteensä	5669	2481	12397	2019	1131	1714	25711

missä  $TT_{ki}$  on otantaerän  $i$  tuoretiheys [ $\text{kg m}^{-3}$ ] tehtaalla vuotena  $k$ ,  $x_{1ki}$  mittausajankohta ( $vk$ ),  $x_{2ki}$  varastointiaika,  $x_{3ki}$  alkuperä maakuntatasolla,  $b_0, b_1, b_2, b_3$  ovat estimoitavia parametreja,  $u_k$  on vuoden  $k$  satunnaisvaikutus ja  $e_1$  on otantaerän  $i$  satunnaisvirhe ( $\text{kg m}^{-3}$ ). Alaindeksi  $i$  viittaa otantaerään ja  $k$  satunnaiseen vuositekijään.

**Taulukko 2.** Koivukuitupuun otantaerien kappalemäärät puutavaran alkuperämaakunnan ja tehdasmittauspaikan mukaan.

	Kaskinen	Kemi	Pietarsaari	Veitsiluoto	Äänekoski	Yhteensä
Etelä-Karjala					24	24
Etelä-Pohjanmaa	46	37	977	3	110	1173
Etelä-Savo	1				390	391
Kainuu		260	49	27	2	338
Kanta-Häme	1		1		26	28
Keski-Pohjanmaa		6	484	8	52	550
Keski-Suomi	1	13	384	28	1142	1585
Kymenlaakso					1	1
Lappi		858				858
Pirkanmaa	29	5	201	6	344	585
Pohjanmaa	44	2	1587	1	1	1635
Pohjois-Karjala				25	6	31
Pohjois-Pohjanmaa		1995	622	153	28	2798
Pohjois-Savo		37	24	45	353	459
Päijät-Häme	1				14	15
Satakunta	30		296		134	460
Uusimaa					23	23
Varsinais-Suomi			9		24	33
Maakunta ei tiedossa	10	1240	3507	1311	387	6455
Yhteensä	163	4453	8141	1607	3062	17426

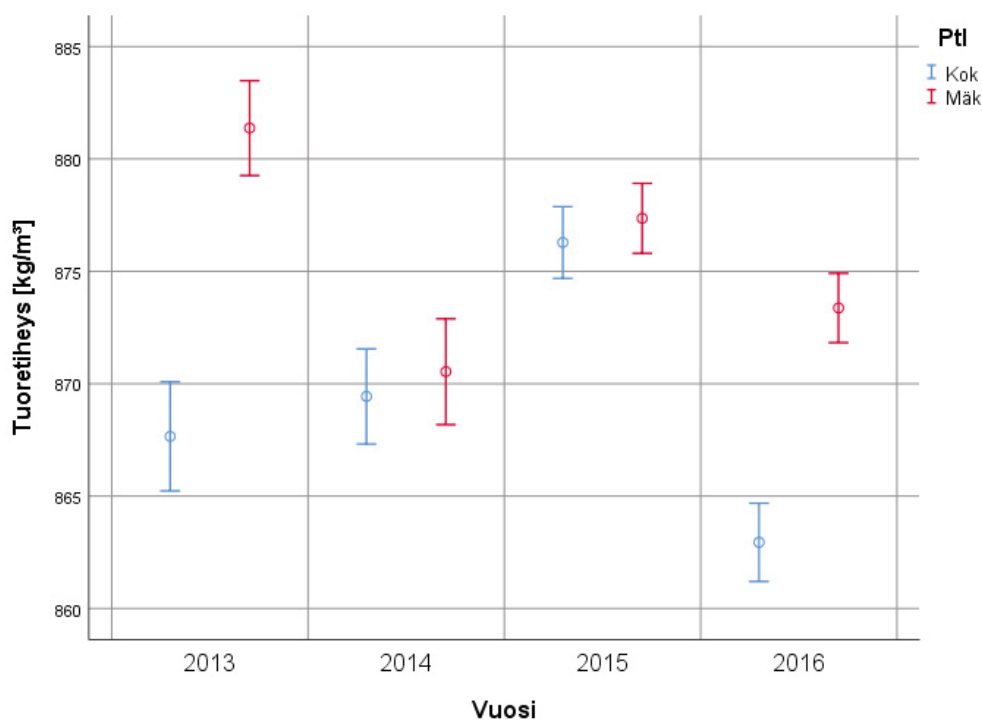
### 3 Tulokset

#### 3.1 Mittausajankohdan ja varastointiajan vaikutus tuoretiheyteen

Kuvassa 1 on esitetty mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvot ja keskiarvon 95 prosentin luottamusvälit koko laskenta-aineistoissa vuosina 2013–2016. Vuosien välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja. Keskiarvojen absoluuttiset erot vuosien välillä olivat kuitenkin verraten pieniä; keskiarvojen vaihteluväli puutavaralajeittain oli noin  $15 \text{ kg m}^{-3}$ . Erojen syynä ovat paitsi vuosien väliset olosuhde-erot, myös erot havaintojen jakaumassa vuodenaikojen ja varastointiaikojen mukaan.

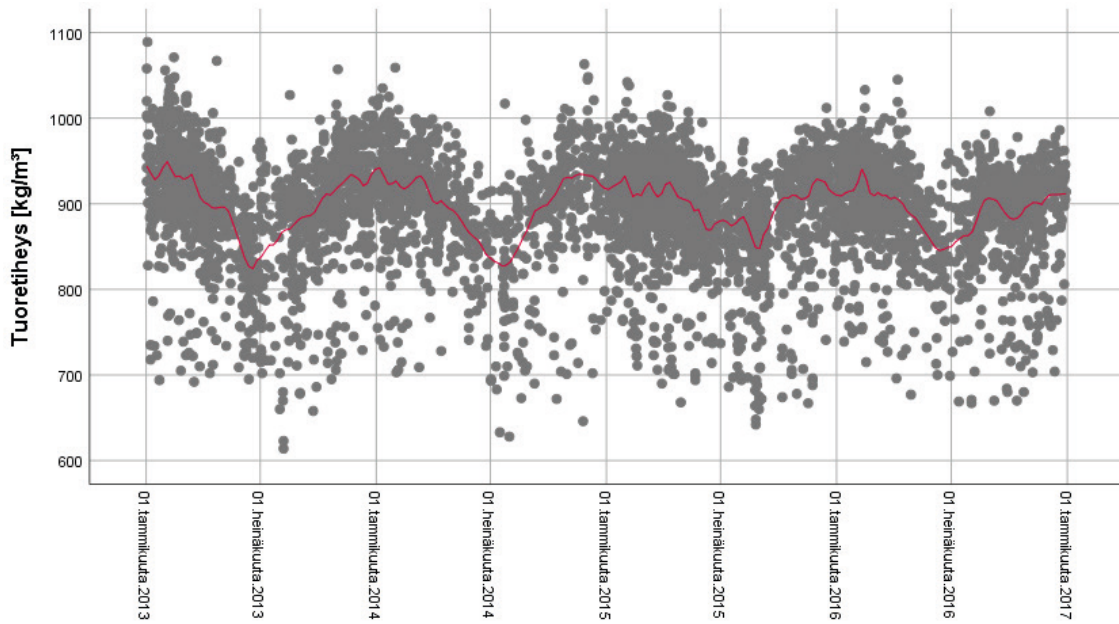
Kuvissa 2 ja 3 on esitetty mänty- ja koivukuitupuun otantaerien tuoretiheydet mittausajankohdan mukaan kaikilla mittauspaikoilla vuosina 2013-2016. Käyrä kuvissa on tuoretiheyden LOESS-tasointus. LOESS on paikallisesti painotettu regressiomalli. Siinä kullekin selittävän muuttujan havaintopisteelle määritetään regressiomalli valitun levyisessä havaintopisteiden ikkunassa. LOESS-käyrä syntyy, kun regressiomalli on muodostettu ja regressiomallin vastemuuttujan arvo laskettu kaikissa havaintopisteissä. Periaate on siten samankaltainen kuin liukuvan keskiarvon laskennassa. Liukuva keskiarvo on tavallaan LOESS-tasointuksen tapaus, jossa valitun regressiomallin asteluku on nolla.

Kuvien 1 ja 2 LOESS-tasointuksista nähdään, että tuoretiheys vaihtelee selvästi mittausajankohdan vuodenajan mukaan. Alempi tuoretiheys kesäkaudella johtui paitsi tuoreen kasvavan puun normaalista kosteusvaihtelusta vuodenajoin, myös puutavaran kuivumisesta varastointiaikana. Tässä otantaerien varastointiaika oli verraten lyhyt (<31 vrk).

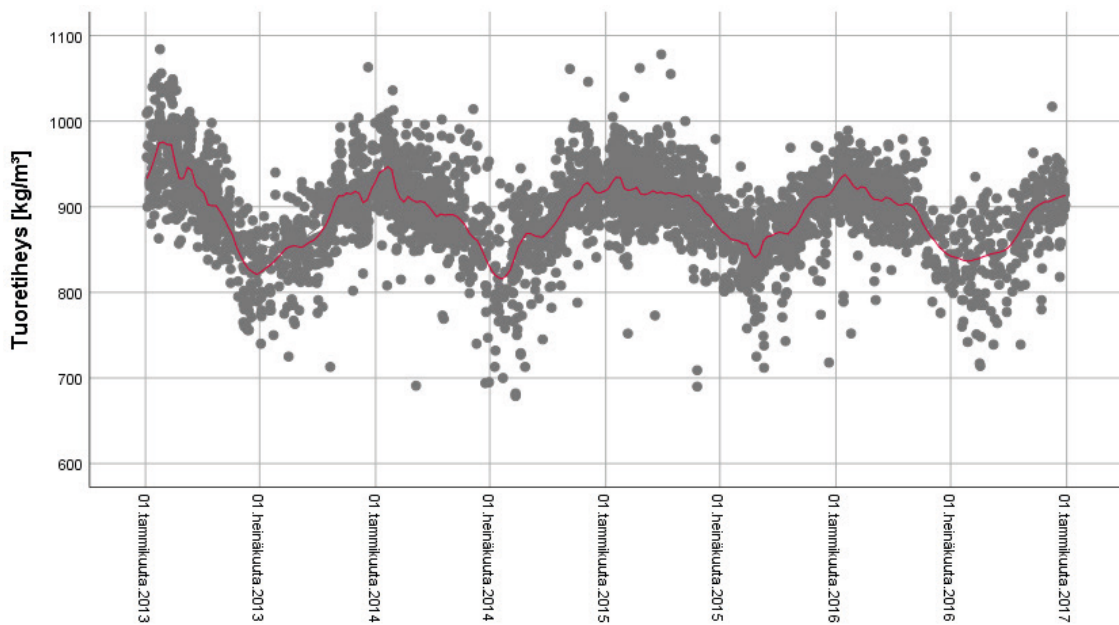


**Kuva 1.** Mäntykuitupuun (Mäk) ja koivukuitupuun (Kok) tuoretiheyden keskiarvot ja keskiarvon 95 prosentin luottamusvälit mittausvuoden mukaan (Ptl = puutavaralaji).



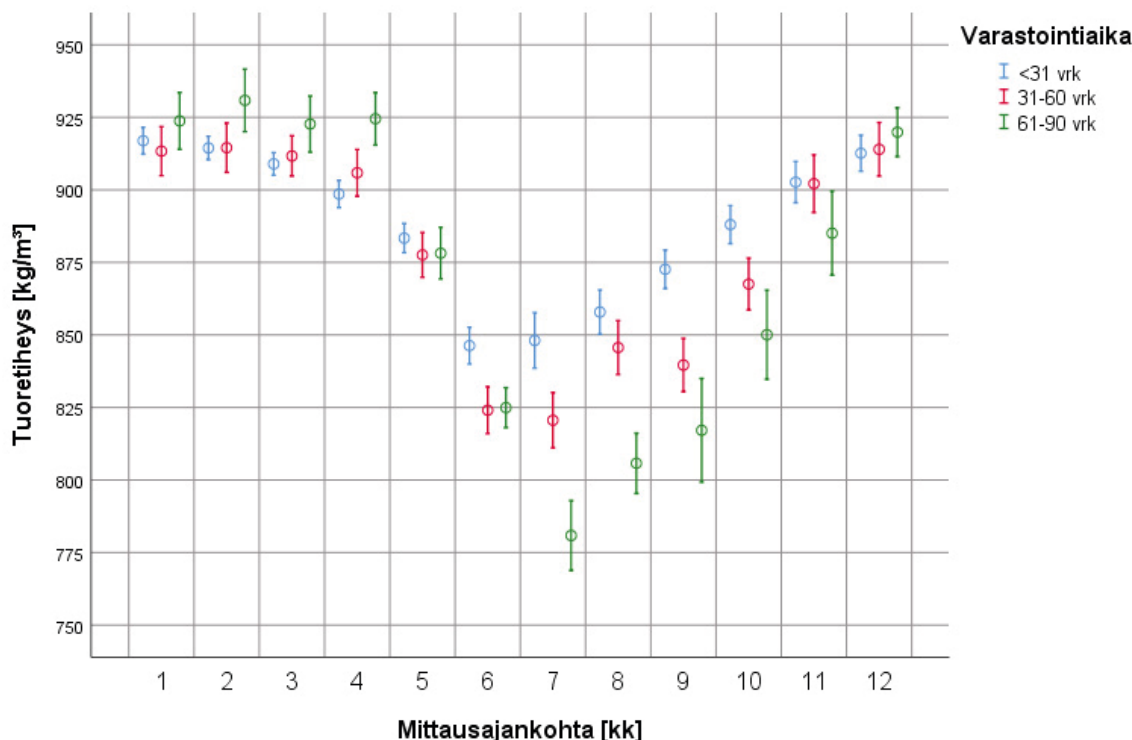


Kuva 2. Mäntykuitupuun otantaerien tuoretiheys mittausajankohdan mukaan, kun varastointiaika oli alle 31 vuorokautta.



Kuva 3. Koivukuitupuun otantaerien tuoretiheys mittausajankohdan mukaan, kun varastointiaika oli alle 31 vuorokautta.



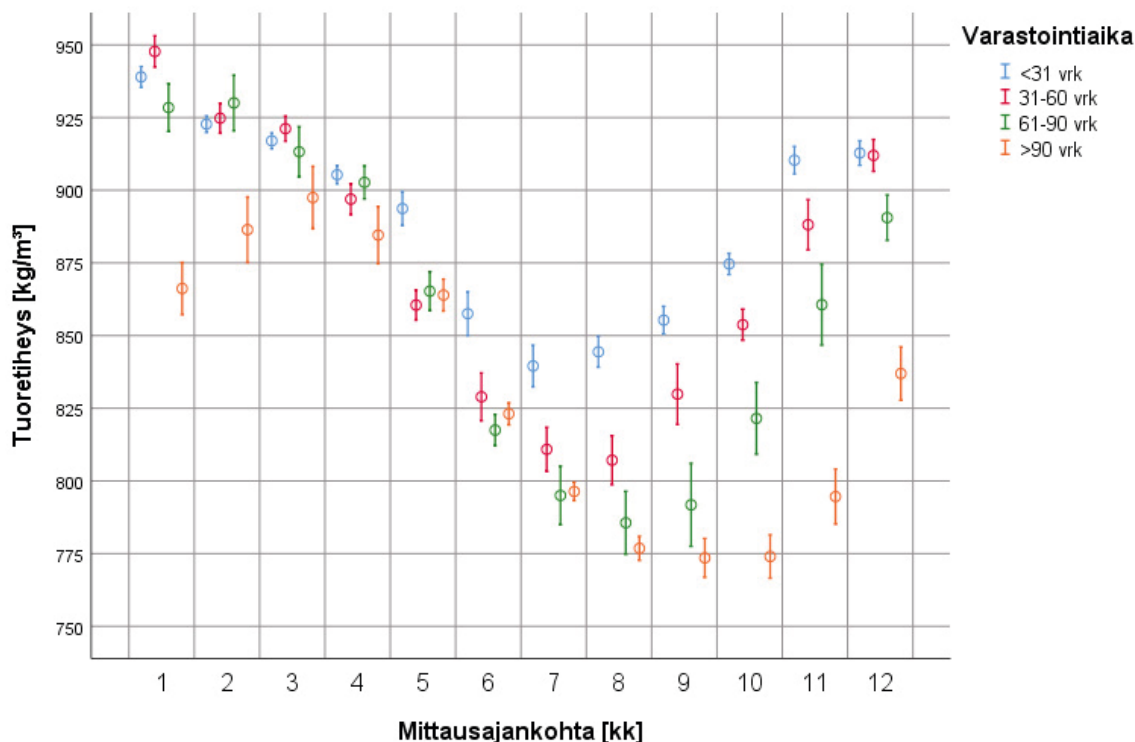


**Kuva 4.** Mäntykuitupuun tuoretiheyden keskiarvot ja keskiarvon 95 prosentin luottamusvälit mittausajankohdan ja varastointiajan mukaan koko laskenta-aineistossa.

Kuvassa 4 on esitetty mäntykuitupuun tuoretiheyden keskiarvot ja keskiarvon 95 prosentin luottamusvälit mittausajankohdan ja varastointiajan mukaan. Laskennassa on käytetty koko laskenta-aineistoa sisältäen kaikki mittauspaikat ja vuodet (taulukko 1). Kun puutavaran varastointiaika oli alle 31 vuorokautta, oli tuoretiheyden keskiarvo korkeimmillaan talvikuukausina noin  $915 \text{ kg m}^{-3}$  ja kesäkuukausina noin  $850 \text{ kg m}^{-3}$ . Jos kuiva-tuoretiheytenä käytetään arvoa  $395 \text{ kg m}^{-3}$  (Hakkila ym. 1995), vastaavat edelliset tuoretiheydet laskennallisia kosteuksia 57 ja 54 prosenttia. Vaikka arvioitujen kosteuksien ero on verraten pieni, noin kolme prosenttiyksikköä, on tuoretiheyden tasoero puutavaran mittauksen kannalta merkittävä; alle 31 vuorokautta varastoidun mäntykuitupuun tuoretiheys oli kesällä noin seitsemän prosenttia pienempi kuin talvella.

Varastointiaika vaikutti merkittävästi tuoretiheyden tasoon. Kesä–lokakuussa alle 31 vuorokautta ja 61–90 vuorokautta varastoidun mäntykuitupuun tuoretiheyden ero oli tilastollisesti merkitsevä. Tuoretiheyden keskiarvo oli pienin 61–90 vuorokautta varastoidulla mäntykuitupuulla heinäkuussa, noin  $775 \text{ kg m}^{-3}$ , joka vastaa noin 49 prosentin laskennallista kosteutta. Ero alle 31 vuorokautta varastoidun puutavaran tuoretiheyteen oli noin  $75 \text{ kg m}^{-3}$  (noin yhdeksän prosenttia), joka vastaa noin viiden kosteusprosenttiyksikön laskennallista eroa. Vuoden alussa, tammi–huhtikuussa, pitkään varastoidun puutavaran tuoretiheys oli jopa korkeampi kuin lyhyen aikaa varastoidun. Tämä voi olla selitettävissä varastoinnin ja kuljetusten aikana puutavaraan kertyvällä lumella ja jäällä, joita voi sisältyä otantaerien mittaustuloksiin.

Koivukuitupuun tuoretiheys muuttuu mittausajankohdan ja varastointiajan suhteen samankaltaisesti kuin mäntykuitupuun tuoretiheys (kuva 5). Lyhyillä varastointiajoilla (<31 vuorokautta) korkein tuoretiheyden keskiarvo oli tammikuussa (noin  $940 \text{ kg m}^{-3}$ ) ja alin heinäkuussa (noin  $840 \text{ kg m}^{-3}$ ). Jos koivukuitupuun kuiva-tuoretiheydeksi arvioidaan  $481 \text{ kg m}^{-3}$  (Hakkila 1979), saadaan edellisiä tuoretiheyksiä vastaaviksi koivukuitupuun laskennallisiksi kosteuksiksi 49 ja 43 prosenttia.



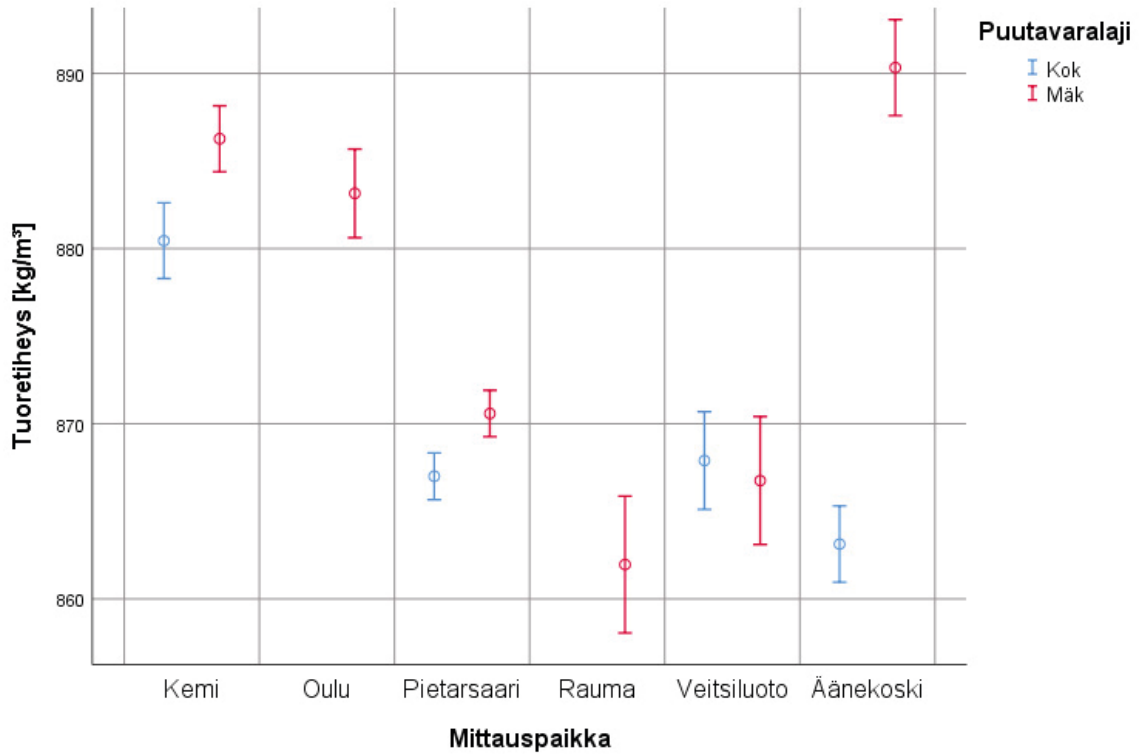
**Kuva 5.** Koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvot ja keskiarvon 95 prosentin luottamusvälit mittausajankohdan ja varastointiajan mukaan koko laskenta-aineistossa.

Koivukuitupuulla voitiin tarkastella myös pitkän, yli 90 vuorokautta kestävästä varastoinnin vaikutusta (kuva 5). Näillä otantaerillä varastointiajan keskiarvo oli 177 vuorokautta. Tammi–maaliskuussa mitatun tuoretiheyden keskiarvo oli pitkällä varastointiajoilla nouseva. Tämä johtuu siitä, että alkuvuonna mitatun pitkään varastoidun puutavaran hakkuuajankohta voi ulottua edelliseen kesäkauteen tai jopa aiemmaksi. Maaliskuussa mitatusta pitkään varastoidusta puutavarasta suuri osa on hakattu syksy- ja talvikuukausina, joten puutavara ei ole todennäköisesti missään vaiheessa kuivunut merkittävästi. Pitkään varastoidun puutavaran tuoretiheys oli alimmillaan elo–lokakuussa, jolloin puutavara on voinut olla varastoituna keväästä saakka.

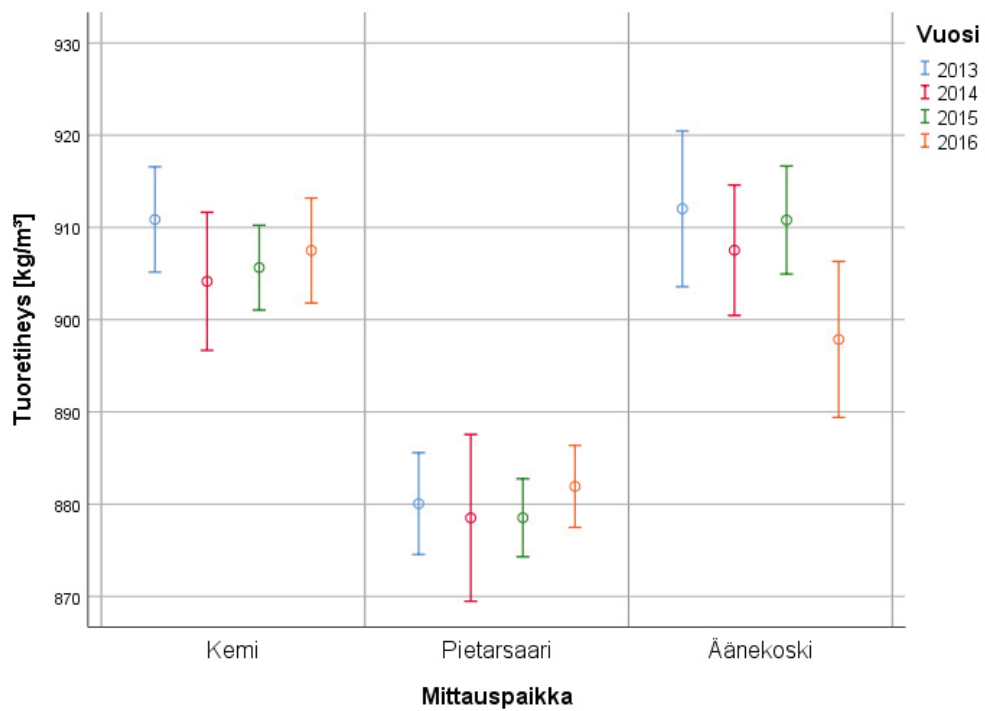
Maalis–huhtikuussa tuoretiheyden keskiarvot olivat eri varastointiajoilla hyvin lähellä toisiaan (kuva 5). Vastaavasti lokakuussa alle 31 vuorokautta ja yli 90 vuorokautta varastoidun koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvojen ero oli noin  $100 \text{ kg m}^{-3}$ . Erityisesti vuoden loppupuoliskolla varastointiaika vaikutti tuoretiheyteen oleellisesti.

### 3.2 Tuoretiheys mittauspaikan mukaan

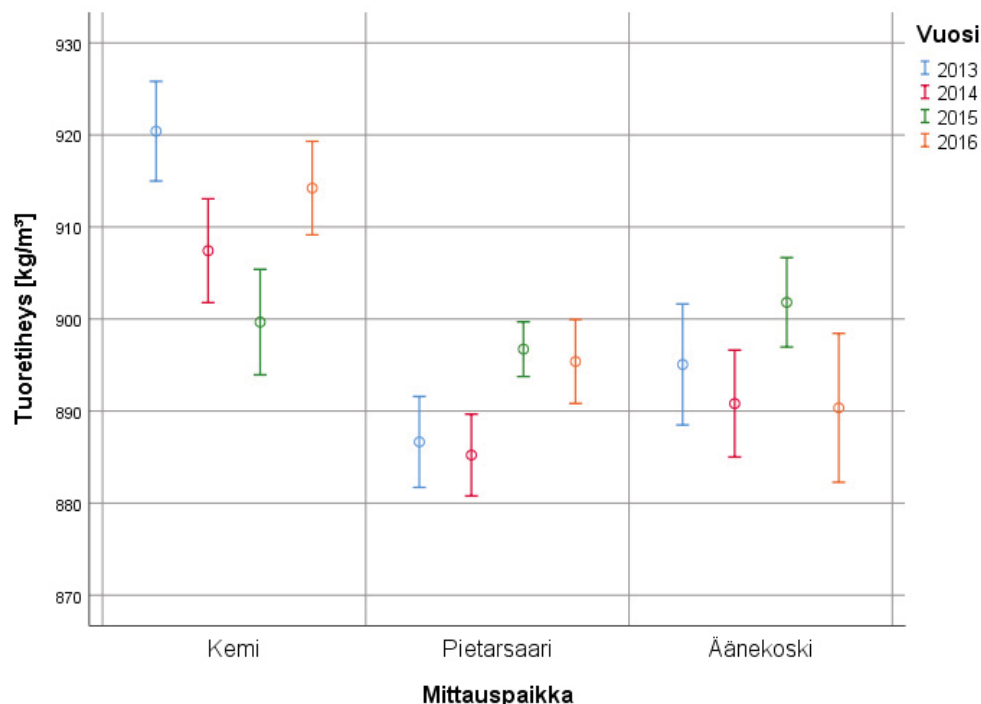
Kuvassa 6 ovat esitetty mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvot ja keskiarvon luottamusvälit mittauspaikan mukaan vuosina 2013–2017. Mittauspaikkojen välillä tuoretiheydessä oli tilastollisesti merkitseviä eroja. On huomattava, että myös varastointiaikojen pituudessa oli eroja paitsi mittauspaikkojen, myös vuosien välillä. Kuvissa 7 ja 8 ovat esitetty mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvot ja luottamusvälit mittauspaikkojen ja mittausvuoden mukaan. Tässä varastointiajat rajattiin alle 31 vuorokautteen, jolloin saatiin paremmin esille nimenomaisesti mittauspaikkojen ja -vuosien väliset erot. Tarkasteluun valittiin ne mittauspaikkojen ja -vuosien yhdistelmät (varastointiaika < 31 vrk), joissa otantaerien määrä tutkimusaineistossa oli vähintään



**Kuva 6.** Mäntykuitupuun (Mäk) ja koivukuitupuun (Kok) tuoreiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli mittauspaikan mukaan vuosina 2013–2017.



**Kuva 7.** Mäntykuitupuun tuoreiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli mittauspaikan ja toimitusvuoden mukaan, kun varastointiaika oli alle 31 vuorokautta.



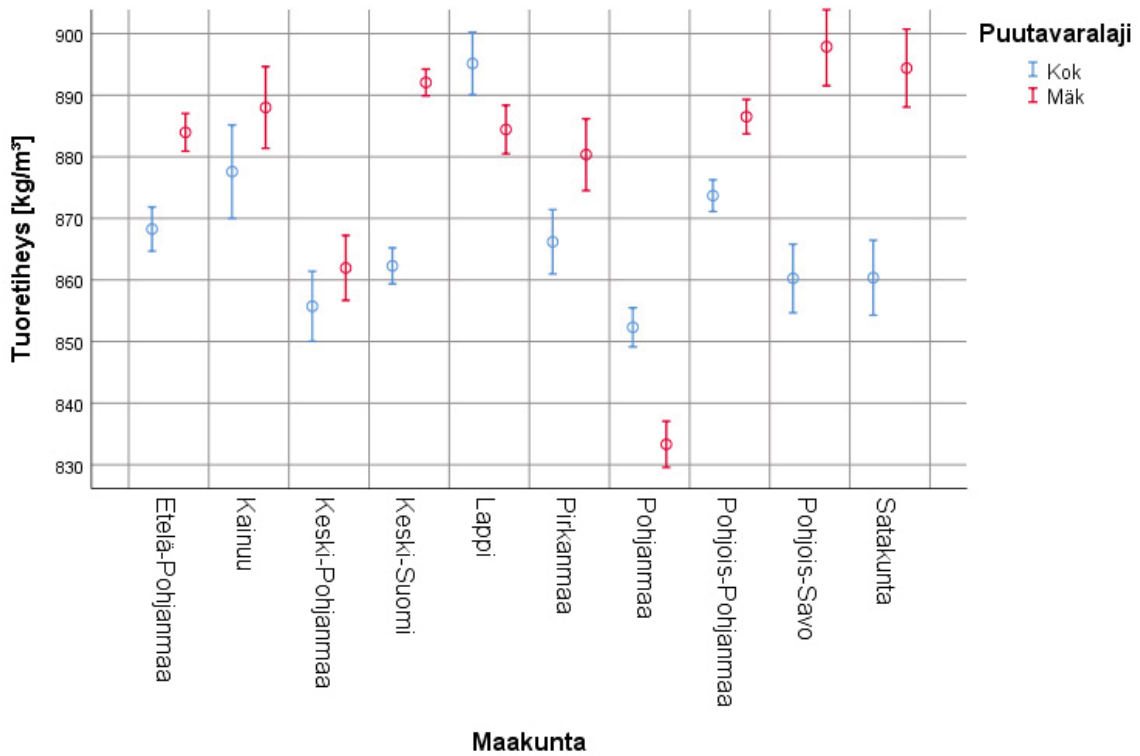
**Kuva 8.** Koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli mittauspaikan ja toimitusvuoden mukaan, kun varastointiaika oli alle 31 vuorokautta.

sata. Mäntykuitupuulla tuoretiheys erosi tilastollisesti merkitsevästi mittauspaikkojen välillä. Sen sijaan samassa mittauspaikassa vuosien välillä tuoretiheydessä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Koivukuitupuulla tilastollisesti merkitseviä eroja oli sekä mittauspaikkojen välillä että mittauspaikoittain mittausvuosien välillä (kuva 8). Absoluuttiset keskiarvojen erot olivat pieniä, ja ne voivat osaltaan selittyä aineistojen erilaisista jakaumista mittausajankohdan mukaan.

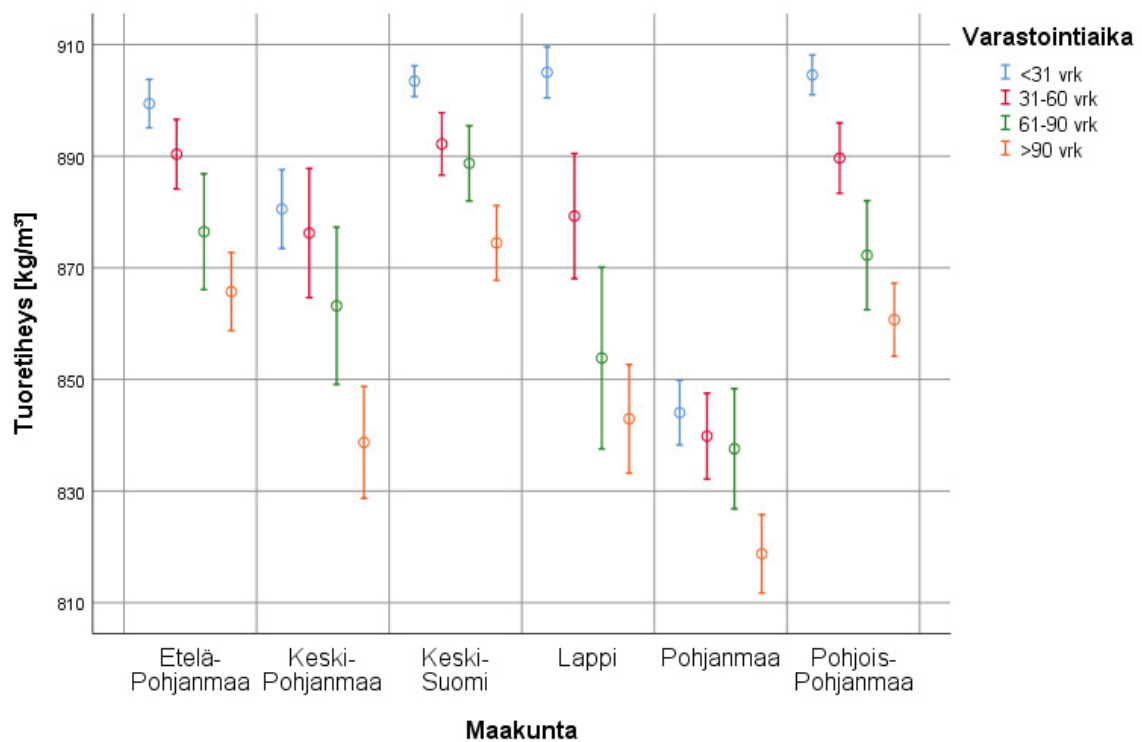
### 3.3 Tuoretiheys maakunnan mukaan

Kuvassa 9 on tarkasteltu mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyttä maakunnittain erittelemättä mittauspaikkoja, -vuosia tai varastointiaikoja. Tarkasteluun on otettu ne maakunnat, joista oli peräisin vähintään sata otantaerää kutakin puutavaralajia kohti. Mäntykuitupuulla maakuntien tuoretiheyden keskiarvot olivat pääosin tasolla 880–900 kg m<sup>-3</sup>. Erot maakuntien välillä olivat pieniä, mutta maakuntien välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja. Keski-Pohjanmaalta ja Pohjanmaalta peräisin olevien otantaerien tuoretiheyden keskiarvo oli selvästi muita alempi. Koivukuitupuulla tuoretiheyden keskiarvot olivat pääosin tasolla 850–880 kg m<sup>-3</sup>, mutta Lapista peräisin olevien otantaerien tuoretiheyden keskiarvo oli korkeampi.

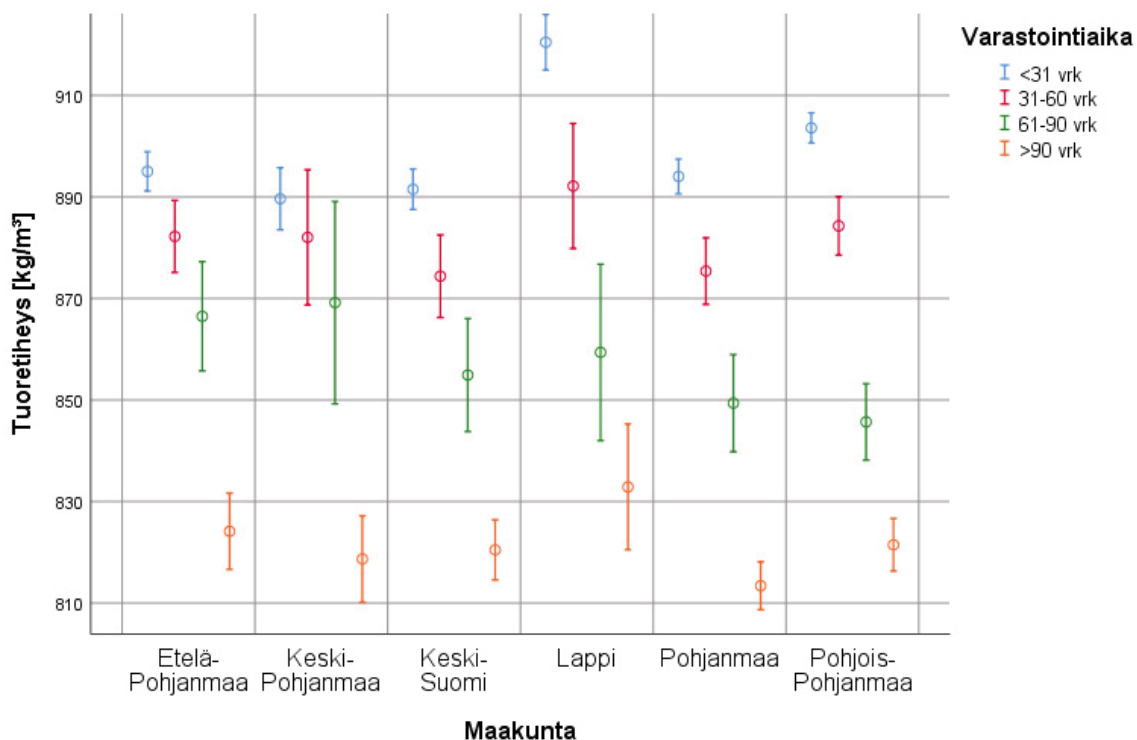
Kuvissa 10 ja 11 ovat esitetty mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvot maakunnan ja varastointiajan mukaan vuosina 2013–2017. Alle 31 vuorokautta varastoidun mäntykuitupuun tuoretiheys oli samalla tasolla neljässä maakunnassa (noin 900 kg m<sup>-3</sup>). Keski-Pohjanmaalla tuoretiheys oli hieman tätä alempi (noin 880 kg m<sup>-3</sup>) ja Pohjanmaalla huomattavasti alempi (noin 840 kg m<sup>-3</sup>). Yli kolmen kuukauden varastointi (>90 vrk) alensi tuoretiheyttä noin 40–60 kg m<sup>-3</sup> alle kuukauden (<31 vrk) varastoituun kuitupuuhun verrattuna. On otettava huomioon, että tässä tarkastelussa mukana olivat kaikkien mittausajankohtien laskenta-aineistot.



**Kuva 9.** Mäntykuitupuun (Mäk) ja koivukuitupuun (Kok) tuoreiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien alkuperämaakunnan mukaan vuosina 2013–2017.



**Kuva 10.** Mäntykuitupuun tuoreiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien alkuperämaakunnan ja varastointiajan mukaan vuosina 2013–2017.



**Kuva 11.** Koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien alkuperämaakunnan ja varastointiajan mukaan vuosina 2013–2017.

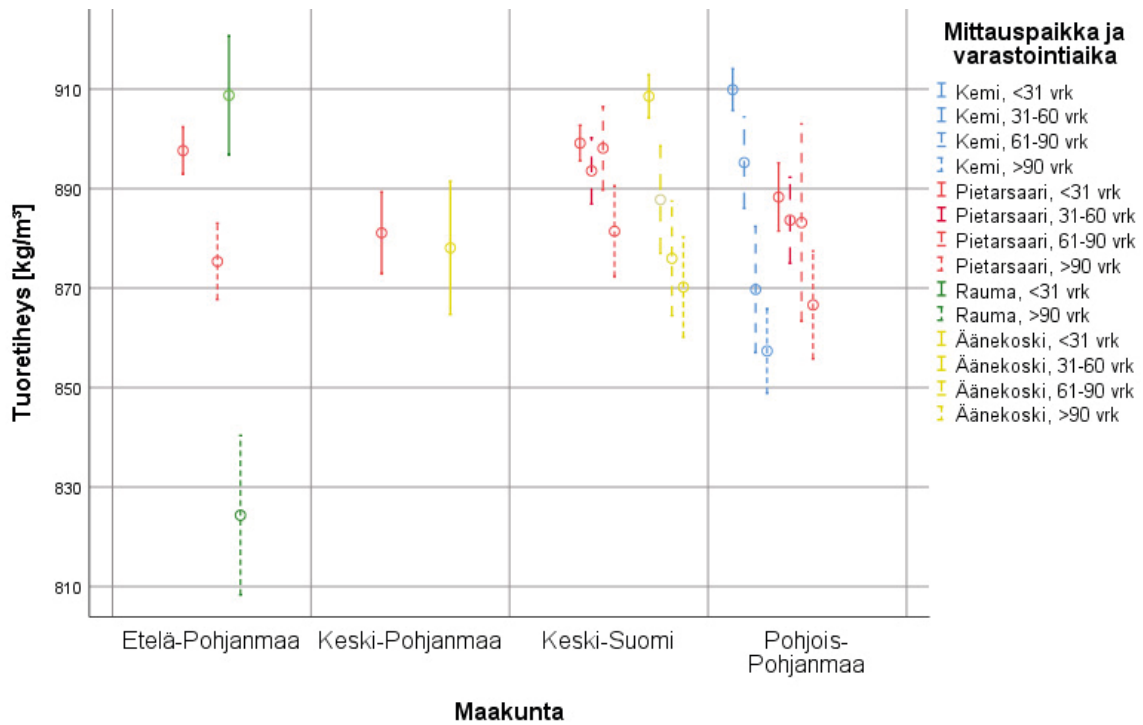
Koivukuitupuulla varastointiaika vaikutti selvästi tuoretiheyden tasoon (kuva 11). Alle kuukauden (<31 vrk) ja yli kolme kuukautta (>90 vrk) varastoidun koivukuitupuun tuoretiheyksien keskiarvojen ero oli suuruusluokkaa 60–70 kg m<sup>-3</sup> yli vuodenaikojen tarkasteltuna koko aineistossa. Sen sijaan erot maakuntien väliset erot yhtä pitkään varastoidulla kuitupuulla olivat pääosin pieniä.

Seuraavassa (kuvat 12, 13, 14 ja 15) on tarkasteltu mittauspaikkojen tuoretiheyttä puutavaran alkuperämaakunnan mukaan. Tarkasteluissa on otettu huomioon mittausvuosien ja varastointiajan taustavaikutus rajaamalla laskenta-aineistoa näiden perusteella.

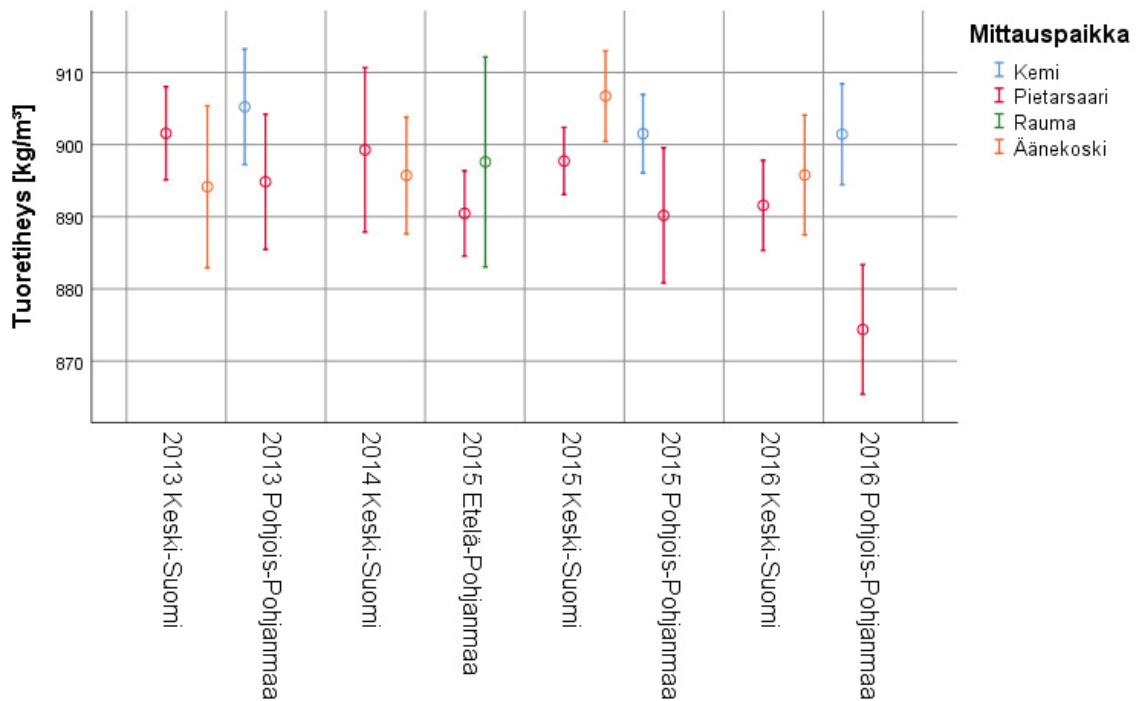
Kuvassa 12 on tarkasteltu mäntykuitupuun tuoretiheyttä neljässä maakunnassa mittauspaikan ja varastointiajan mukaan. Etelä-Pohjanmaalta Raumalle ja Pietarsaaren toimitetun, lyhyen aikaa varastoidun (<31 vrk) mäntykuitupuun tuoretiheydessä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Sen sijaan pitkään varastoidulla (>90 vrk) Raumalle toimitetulla mäntypuulla tuoretiheys oli selvästi alempi kuin Pietarsaaren toimitetulla. Varastointiajan keskiarvo oli tässä luokassa Raumalla 185 ja Pietarsaassa 180 vuorokautta. Keski-Pohjanmaalta peräisin olleella mäntykuitupuulla Pietarsaassa ja Äänekoskella määritetyt tuoretiheydet alle kuukauden varastoidulla puutavaralla olivat samalla tasolla.

Keski-Suomesta Pietarsaaren ja Äänekoskelle toimitetun mäntykuitupuun tuoretiheyden keskiarvot vaihtelivat eri varastointiajoilla 870–910 kg m<sup>-3</sup>. Näillä mittauspaikoilla määritettyjen tuoretiheyksien ero oli tilastollisesti merkitsevä lyhyellä varastointiajalla (<31 vrk). Pohjois-Pohjanmaalta Kemiin ja Pietarsaaren toimitetun mäntykuitupuun tuoretiheyksien ero lyhyellä varastointiajalla (<31 vrk) oli tilastollisesti merkitsevä.

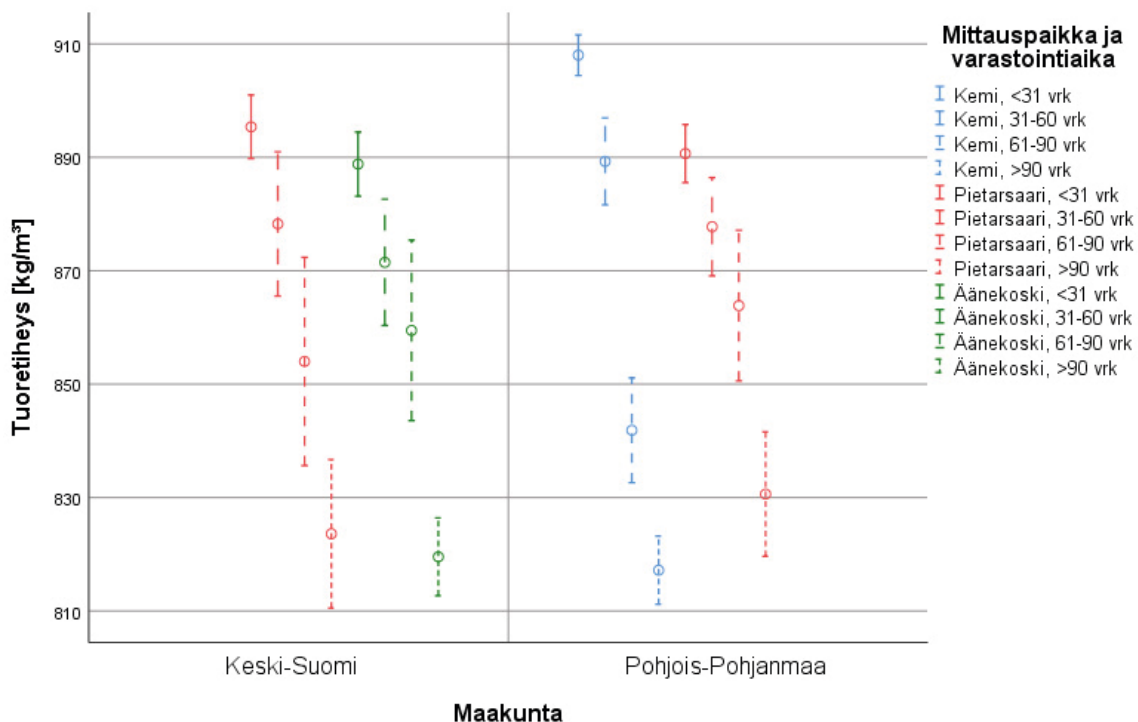




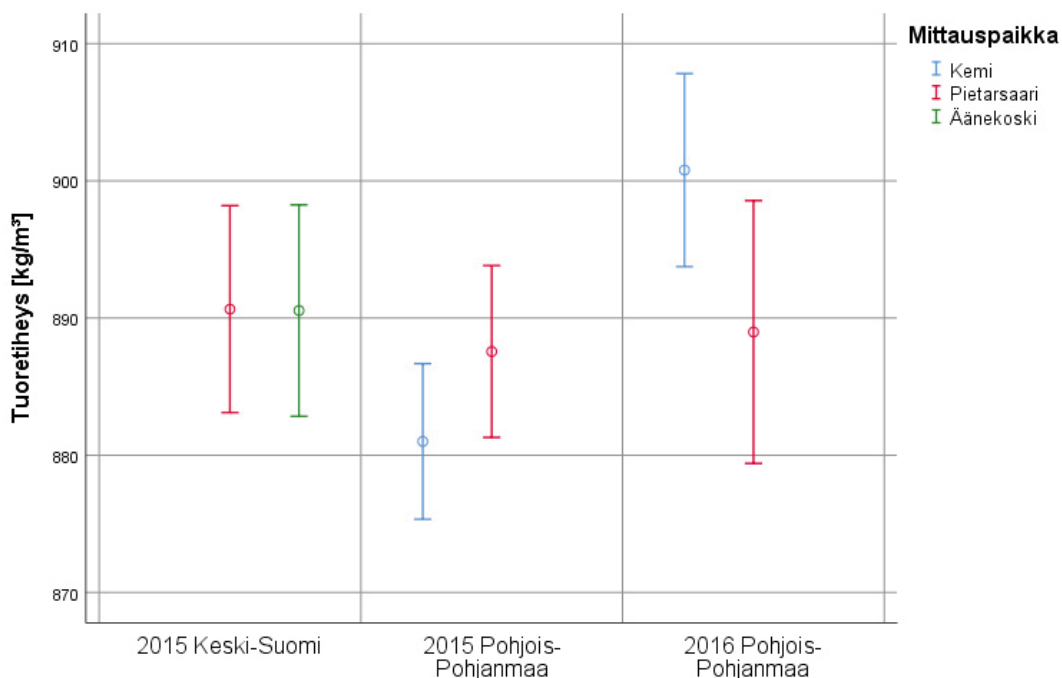
**Kuva 12.** Mäntykuitupuun tuoretiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien alkuperämaakunnan, mittauspaikan ja varastointiajan mukaan vuosina 2013–2016.



**Kuva 13.** Mäntykuitupuun tuoretiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien mittausvuoden, alkuperämaakunnan ja mittauspaikan mukaan, kuvan varastointiaika oli alle 90 vuorokautta.



**Kuva 14.** Koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien alkuperämaakunnan, mittauspaikan ja varastointiajan mukaan vuosina 2013–2016.



**Kuva 15.** Koivukuitupuun tuoretiheyden keskiarvo ja keskiarvon 95 prosentin luottamusväli otantaerien mitausvuoden, alkuperämaakunnan ja mittauspaikan mukaan, kuvan varastointiaika oli alle 90 vuorokautta.

Koivukuitupuulla (kuva 14) Pietarsaaren ja Äänekosken tuoretiheyksien erot eivät olleet varastointiaikojen suhteen tarkasteltuna tilastollisesti merkitseviä. Pohjois-Pohjanmaalta Kemiin ja Pietarsaareen toimitetun puutavaran tuoretiheydet poikkesivat tilastollisesti merkitsevästi alle 31, ja 61–90 vuorokauden varastointiajoilla.

Kuvissa 13 ja 15 on verrattu mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyttä mittauspaikkojen välillä silloin, kun puutavaran alkuperämaakunta oli sama. Tarkastelu on rajattu yksittäisiin mittausvuosiin, ja varastointiaika enintään kolmeen kuukauteen (<90 vrk). Tarkasteluun valituissa puutavaralajien, mittausvuosien, mittauspaikkojen ja puutavaran alkuperämaakuntien yhdistelmissä oli vähintään 99 tuoretiheyshavaintoa. Mäntykuitupuulla (kuva 13) tuoretiheydet poikkesivat mittauspaikkojen välillä tilastollisesti merkitsevästi ainoastaan Pohjois-Pohjanmaalla vuonna 2016, josta Kemiin toimitetun puutavaran tuoretiheys oli selvästi Pietarsaareen toimitettua korkeampi. Ero oli samansuuntainen myös vuonna 2015, joskaan ei tilastollisesti merkitsevä. Tässä on otettava huomioon Pohjois-Pohjanmaan maakunnan laajuus; Kemin ja Pietarsaaren puunhankinta-alueet sen sisällä poikkeavat toisistaan. Koivukuitupuulla (kuva 15) tuoretiheys mittauspaikkojen välillä ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi missään kolmesta tarkastellusta maakunnasta.

### 3.4 Regressiomallit tuoretiheyden ennustamiseksi

Tutkimuksessa laadittiin sekä mänty- että koivukuitupuulle mallit, joilla voidaan ennustaa puutavaraerän tuoretiheys tehtaalle toimitettaessa. Selittäjiksi malliin hyväksyttiin vain sellaiset tuoretiheyteen vaikuttavat muuttujat, jotka ovat yleisesti saatavilla malleja sovellettaessa. Malleihin selittäjiksi valikoitui puutavaran mittausajankohta, varastointiaika ja niistä johdettuja muuttujia sekä puutavaraerän alkuperä (metsikön sijainti) maakunnittain (taulukko 3).

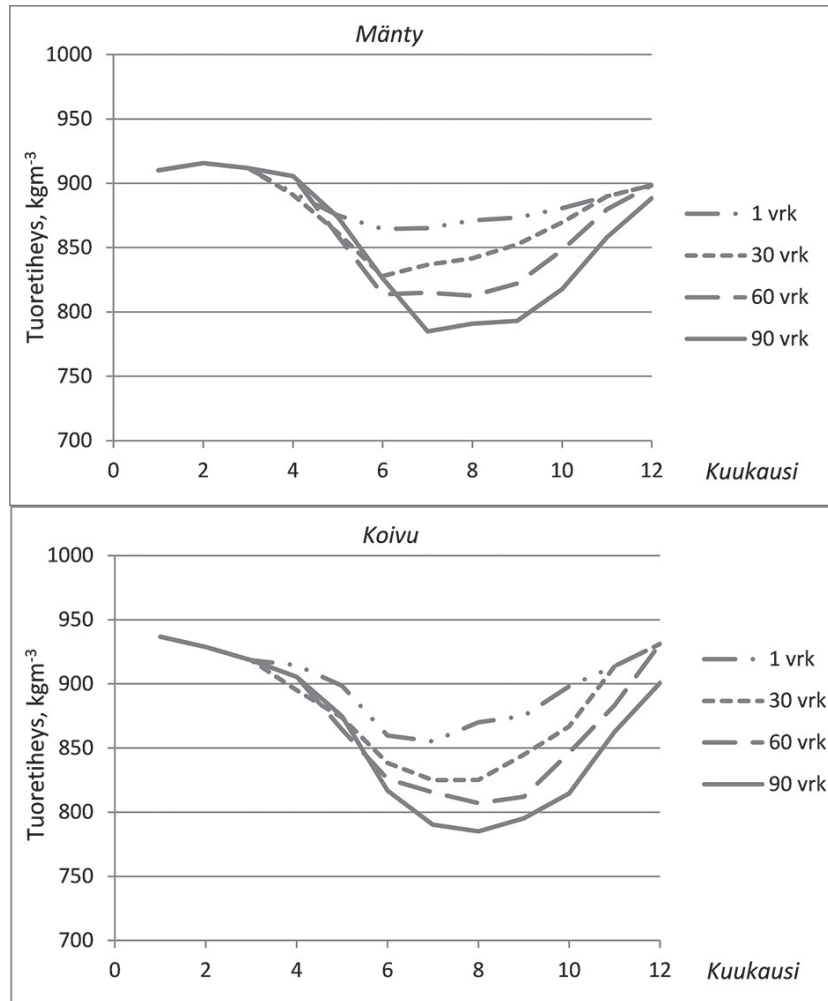
Puutavaran mittausajankohdan vaikutuksen kuvaamisessa käytettiin kalenteriviikkoa ( $vk$ ) ja sen eri muunnoksia ( $vk^3$ ,  $vk^3$ ,  $vk^4$ ). Mittaus- ja hakkuuajankohdan avulla laskettiin puutavaraerän varastointiaika vuorokausissa ( $vrk$ ). Mallien laadinnassa varastointiajan vaikutus tuoretiheyteen oletettiin olevan erilainen eri vuodenaikoina. Tämän perusteella varastointiaika jaettiin kahteen osaan: kesäkauteen (huhtikuusta syyskuuhun) ja talvikauteen (lokakuusta maaliskuuhun) tapahtuvaan varastointiin. Kesäkaudella tapahtuva varastointi kuvattiin jatkuvalla muuttujalla ( $Kui\_vrk$ ) ja se jaettiin vielä kalenterikauden mukaan ( $Kui\_vrk =$  kuluva kalenterikausi,  $Kui\_vrk2 =$  edellinen kalenterikausi). Talvikaudella tapahtuva varastointi kuvattiin dummy-muuttujilla, jossa luokittelevana tekijänä käytettiin varastointiajan pituutta. Päävaikutuksen lisäksi varastointiajan pituus (dummy-muuttuja) oli mallissa mukana yhdysvaikutuksena vastaanottoajankohdan kanssa. Lisäksi mittaus- tai hakkuukuukautta käytettiin tarpeen mukaan dummy-muuttujana. Puutavaran alkuperä kuvattiin luokkamuuttujalla maakuntatason tarkkuudella. Mallin satunnaisosa koostui jäännösvirheestä ( $e_{ki}$ ) ja vuosien välisestä satunnaisvaihtelusta ( $u_k$ ). Vuosien välisen satunnaisvaihtelun kuvaamisessa käytettiin sekä otantaerän mittausvuotta että jatkuvana muuttujana varastointiaikaa huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana (kulmakertoimen vaihtelu vuodesta toiseen).

Varastointiajan vaikutus tuoretiheyteen oli merkittävä, ja sen vaikutus vaihteli puutavaran mittausajankohdan mukaan (kuva 16). Varastointiajan vaikutus tuoretiheyteen näkyi selvimmin kevään ja syksyn välisenä aikana (huhti–syyskuu), jolloin tuoretiheys oli sitä alempi mitä pidempi varastointiaika (kuva 16). Vaikutus oli suurimmillaan heinä–elokuussa vastaanotetulla puutavaralla, joilla esimerkiksi pitkä kolmen kuukauden varastointi johti sekä mänty- että koivukuitupuulla matalaan, alle  $800 \text{ kg m}^{-3}$ :n tuoretiheyteen. Varastointiajan vaikutus tuoretiheyteen huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana oli lähes lineaarinen molemmilla puulajeilla (kuva 17). Kuukauden varastoinnin aikana tuoretiheys laski mäntykuitupuulla keskimäärin noin  $20 \text{ kg m}^{-3}$  ja koivukuitupuulla noin  $15 \text{ kg m}^{-3}$ . Tuoretiheyden muutosnopeudessa oli vaihtelua vuosien välillä, mikä näkyi

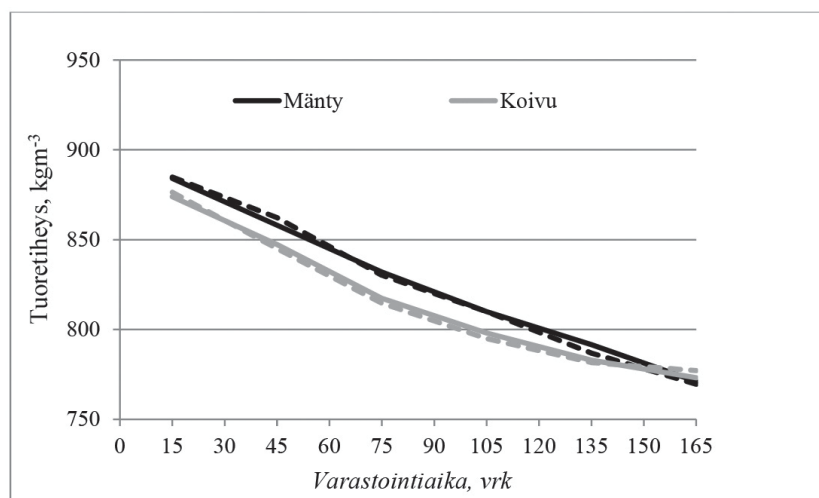
**Taulukko 3.** Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden ( $\text{kg m}^{-3}$ ) ennustemallin parametrien estimaatit ja keskivirheet sekä satunnaisparametrien hajonnat.

Muuttuja	Mänty		Koivu	
	Estimaatti	Keskivirhe	Estimaatti	Keskivirhe
Vakio	899,98	3,746	927,46	2,884
$vk$	5,289	0,851		
$vk^2$	-0,505	0,066	-0,223	0,014
$vk^3$	0,013	0,002	0,007	0,001
$vk^4$	-0,0001	0,00002	-0,00005	6,974E-6
$Kui\_vrk$	-0,730	0,084	-0,486	0,044
$\ln(Kui\_vrk)$			-4,912	0,356
$Kui\_vrk^2$	-0,440	0,036	-0,334	0,028
Talvivarastointi > 100 $vrk$	23,790	1,991		
Talvivarastointi > 200 $vrk$	41,479	8,489	53,675	7,568
Talvivarastointi_4 > 30 $vrk$	15,500	2,288	10,307	1,363
$Kui > 14\ vrk$ *kesäkuu	-14,874	3,570		
$Kui\ 61-90\ vrk$ *heinäkuu	-32,092	5,401		
$Kui\ 61-90\ vrk$ *(heinä- tai elokuu)			-14,249	3,106
$Kui\ 91-120\ vrk$ *syyskuu	-23,283	9,006		
Hakkuu touko- tai kesäkuu	-17,384	2,050		
Hakkuu huhti- tai heinäkuu	-9,238	1,842		
Hakkuu toukokuu			-6,732	1,978
Hakkuu kesä- tai heinäkuu			-14,941	1,617
$Vot\_kk$ huhti- /toukokuu			20,026	1,562
Satakunta	11,257	3,178		
Keski-Suomi	19,888	1,735		
Pirkanmaa	13,584	3,092		
Etelä-Pohjanmaa	10,560	1,780	-3,129	1,398
Pohjanmaa	-31,934	1,734	-5,253	1,206
Pohjois-Pohjanmaa	13,646	1,692	3,363	1,031
Kainuu	16,567	4,050	7,142	2,536
<b>Satunnaisosa</b>				
Vastaanottovuosi	3,052		4,963	
Vastaanottovuosi* $Kui\_vrk$	0,164		0,081	
Jäännösvirhe ( $e_{ik}$ )	60,225		40,873	

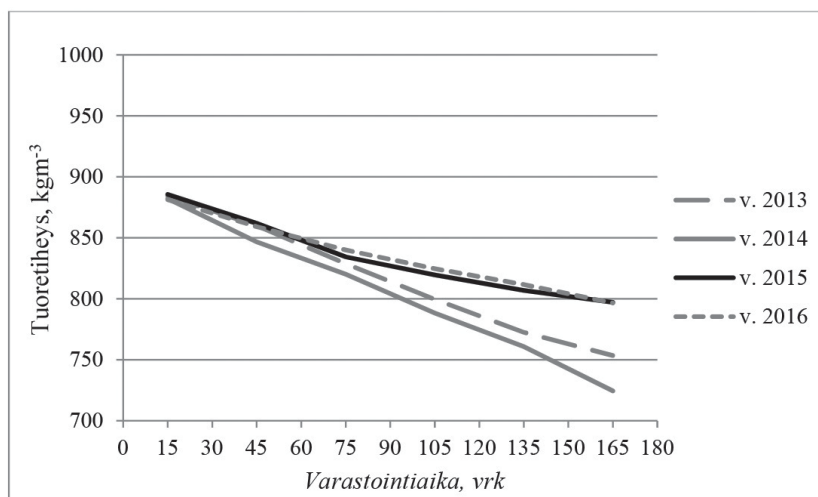
$vk$  = vastaanottoviikko (1–52),  $Kui\_vrk$  = varastointiaika (vrk) huhti–syyskuussa,  $Kui\_vrk^2$  = varastointiaika (vrk) huhti–syyskuussa edellisellä kalenterikaudella, Talvivarastointi > 100  $vrk$  = varastointi yli 100 vrk loka–maaliskuussa, Talvivarastointi > 200  $vrk$  = varastointi yli 200 vrk loka–maaliskuussa, Talvivarastointi\_4 > 30  $vrk$  = varastointi ennen huhtikuuta yli 30 vrk,  $Kui > 14\ vrk$ \*kesäkuu = varastointi huhti–syyskuussa yli 14 vrk ja vastaanotto kesäkuussa,  $Kui\ 61-90\ vrk$ \*heinäkuu = varastointi huhti–syyskuussa 61–90 vrk ja vastaanotto heinäkuussa,  $Kui\ 91-120\ vrk$ \*syyskuu = varastointi huhti–syyskuussa 91–120 vrk ja vastaanotto syyskuussa, Hakkuu = hakkuukuukausi,  $Vot\_kk$ : vastaanottokuukausi, Satakunta–Kainuu = puun alkuperä (leimikon sijainti maakuntatasolla)



**Kuva 16.** Varastointiajan ja vastaanottoajankohdan vaikutus mänty- ja koivukuitupuun tuoreiheyteen Keski-Pohjanmaalla (mallilla simuloituid tulokset).

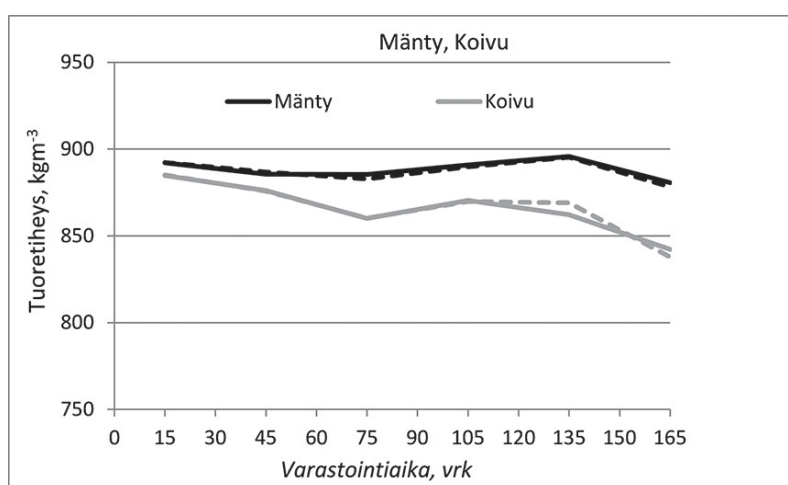


**Kuva 17.** Varastointiajan vaikutus mänty- ja koivukuitupuun tuoreiheyteen (kg m<sup>-3</sup>). kesäkaudella (huhtikuu–syyskuu). Yhtenäinen viiva on mallin ennuste ja katkoviiva on mitattu arvo.



**Kuva 18.** Kesäkaudella (huhtikuu–syyskuu) tapahtuvan varastoinnin vaikutus (mallin ennuste) mäntykuitupuun tuoretiheyteen ( $\text{kg m}^{-3}$ ) eri vuosina.

erityisesti mäntykuitupuulla varastointiajan kasvaessa (kuva 18). Varastointiajan kulmakertoimen vuosittainen satunnaisvaihtelu oli männyllä 0,164 ja koivulla 0,081 (taulukko 3). Päävaikutuksen lisäksi pitkä varastointiaika (>60 vrk) kesäkaudella indikoi alemmaa tuoretiheyttä heinä–syyskuussa vastaanotetuille puuerille. Edellisellä kalenterikaudella (huhtikuu–syyskuu) tapahtuvan varastoinnin (*Kui\_vrk2*) vaikutus tuoretiheyteen oli vähäisempi: kuukauden varastoinnin aikana tuoretiheys laski mäntykuitupuulla keskimäärin  $13 \text{ kg m}^{-3}$  ja koivukuitupuulla  $10 \text{ kg m}^{-3}$  (taulukko 3). Talvikaudella, lokakuu–maaliskuussa tapahtuvan varastoinnin vaikutus puutavaran tuoretiheyteen oli vähäinen, ja pitkä varastointiaika talvikaudella (>100 vrk ja/tai >200 vrk) indikoi jopa korkeampaa tuoretiheyttä (kuva 19 ja taulukko 3).



**Kuva 19.** Varastointiajan vaikutus mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyteen ( $\text{kg m}^{-3}$ ) talvikaudella (lokakuu–maaliskuu). Yhtenäinen viiva on mallin ennuste ja katkoviiva on mitattu arvo.



Puutavaran alkuperä vaikutti tuoretiheyteen, eli tuoretiheys vaihteli maakunnasta toiseen, mäntykuitupuulla selvästi enemmän kuin koivukuitupuulla. Tuoretiheys oli alin puutavaraerillä, jotka olivat peräisin Pohjanmaalta. Ero mallin odotusarvoon oli koivulla  $-5 \text{ kg m}^{-3}$  ja männyllä peräti  $-32 \text{ kg m}^{-3}$ . Sen sijaan mäntykuitupuuerät, jotka olivat peräisin Satakunnasta, Keski-Suomesta, Pirkanmaalta, Etelä-Pohjanmaalta, Pohjois-Pohjanmaalta ja Kainuusta indikoivat mallin odotusarvoa korkeampaa ( $>10 \text{ kg m}^{-3}$ ) tuoretiheyttä. Muista maakunnista peräisin olevat puutavaraerät eivät poikenneet mallin odotusarvosta kummallakaan puutavaralajilla.

Mallin satunnaisvaihtelu oli suurta. Mallin jäännöshajonta eli puutavaran tuoretiheyden satunnaisvaihtelu puutavaraerästä toiseen oli mäntykuitupuulla  $60,2 \text{ kg m}^{-3}$  ja koivukuitupuulla  $40,9 \text{ kg m}^{-3}$ . Vuosien välisen satunnaisvaihtelun merkitys oli vähäinen suhteessa jäännösvirheeseen, mäntykuitupuulla  $3,1 \text{ kg m}^{-3}$  ja koivukuitupuulla  $5,0 \text{ kg m}^{-3}$ . Tämän lisäksi varastointiajan vaikutus huhti–syyskuussa (*Kui\_vrk*) vaihteli hieman vuodesta toiseen, eli kulmakertoimen vuosittainen satunnaisvaihtelu oli männyllä  $0,164$  ja koivulla  $0,081$ .

## 4 Tulosten tarkastelu

Puutavaran tuoretiheys muuttuu puutavaralajin, tehdasmittauspaikan, maantieteellisen alkuperän, sekä mittausajankohdan ja varastointiajan mukaan. Osalla edellisistä tekijöistä on syys-seuraussuhde tuoretiheyden kanssa, osalla vain korrelaatio. Puutavaralajin puulaji ja ominaisuudet, muun muassa luonteenomainen kosteus ja kuiva-tuoretiheys, määrittävät puutavaralajille ominaisen tuoretiheyden. Lisäksi esimerkiksi puutavaran järeys vaikuttaa kosteuden, ja sitä kautta tuoretiheyden, muutosnopeuteen. Kasvavan puun kosteus noudattaa vuodenaikarytmiä, minkä seurauksena tuoreenkin puutavaran tuoretiheys muuttuu vuodenajan ja mittausajankohdan mukaan. Puutavaran varastointi, varastointiaika ja varastoinnin olosuhteet edelleen muuttavat tuoretiheyttä. Puutavaran tehdasmittauspaikan ja maantieteellisen alkuperän vaikutus tuoretiheyteen on osin välillistä. Nämä vaikuttavat tuoretiheyteen paitsi alueellisten sääolosuhteiden, mahdollisesti myös puutavaran ominaisuuksien vaihtelun kautta.

Tässä tutkimuksessa puutavaralajien tuoretiheydessä oli tilastollisesti merkitseviä eroja mittauspaikkojen välillä. Edelleen samoissa mittauspaikoissa tuoretiheydessä oli tilastollisesti merkitseviä eroja vuosien välillä. Absoluuttiset tuoretiheyden erot mittauspaikkojen ja vuosien välillä olivat kuitenkin tasoltaan pieniä; mittauspaikkojen tuoretiheyden keskiarvojen vaihteluväli oli noin  $30 \text{ kg m}^{-3}$ , ja mittausvuosien keskiarvojen vaihteluväli mittauspaikoittain oli noin  $20 \text{ kg m}^{-3}$ . Tuoretiheyksien tasossa oli tilastollisesti merkitseviä eroja myös puutavaran alkuperämaakuntien välillä, joskin absoluuttiset erot olivat tässäkin pääosin pieniä. Erityisesti muista maakunnista erottui Pohjanmaa, josta peräisin olevan mäntykuitupuun tuoretiheys oli selvästi alempi kuin muista maakunnista peräisin olevan. On olemassa mahdollisuus, että vähintään osa Pohjanmaan mäntykuitupuun aineistosta oli tosiasiaassa havukuitupuuta, siis joukossa oli jokin määrä kuusikuitupuuta.

Mittausajankohta ja varastointiaika vaikuttivat olennaisesti puutavaran tuoretiheyteen. Kun varastointiaika rajattiin alle kuukauteen ( $<31 \text{ vrk}$ ), oli tuoretiheyden vaihteluväli mittausajankohdan (vuodenaika) mukaan suuruusluokkaa  $100 \text{ kg m}^{-3}$  sekä mänty- että koivukuitupuulla. Varastoinnin ajoittuminen vaikutti siihen, miten varastoinnin keston vaikutus ilmeni. Tarkasteltaessa varastointiajan vaikutusta keskimäärin vuoden sisällä, alle kuukauden ja yli kolme kuukautta varastoidun puutavaran tuoretiheyden ero oli tyypillisesti  $50\text{--}80 \text{ kg m}^{-3}$ . Varastointiajan merkitys oli suurin loppukesällä ja syksyllä, jolloin alle kuukauden ja yli kolme kuukautta varastoidun puutavaran tuoretiheyksien erot olivat enimmillään  $100 \text{ kg m}^{-3}$  koko laskenta-aineistossa. Tuoretiheyden muutosnopeudessa kesävarastoinnin aikana oli kuitenkin selviä eroja vuosien välillä, mikä ilmeni tuoretiheyden regressiomallin laadinnassa.

Paino-otantamittaus toteutetaan nykykäytännön mukaan tehdas- eli mittauspaikkakohtaisesti. Tuoretiheydessä ei joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta ollut tilastollisesti merkitseviä eroja, kun tarkasteltiin samasta maakunnista eri mittauspaikkoihin toimitettua puutavaraa. Tästä näkökulmasta olisi perusteltua, että paino-otantamittauksen perusjoukko muodostettaisiin mittauspaikan sijasta puutavaran maantieteellisen alkuperän mukaan. Näin toteutetussa otannassa puutavaran alkuperään liittyvät ominaisuuksien vaihtelut, mutta myös alueelliset sääolosuhteet tulisivat huomioon otetuiksi jopa paremmin kuin nykyisessä käytännössä. Perusedellytyksenä alueperusteiselle otannalle olisi kuitenkin se, että alueelta eri tehdasmittauspaikoille toimitettava puutavara olisi ominaisuuksiltaan mahdollisimman samanlaista. Näistä ominaisuuksista oletettavasti tärkein on puutavaran järeys, sillä se vaikuttaa olennaisesti puutavaran kuivumisnopeuteen. Lisäksi järeys vaikuttaa havupuilla sydänpuuosuuteen, joka edelleen vaikuttaa tuoretiheyteen.

Varastointiaika ja varastoinnin sääolosuhteet määrittävät oleellisesti kuitupuun tuoretiheyttä mittausajankohtana. Varsin keskeiseltä vaikuttaa se, että varastointiaika tulisi pystyä ottamaan huomioon paino-otantamittauksessa. Kuitupuun tuoretiheyden määritystarkkuus voisi parantua osittamalla otannan perusjoukko varastointiaikojen mukaan esimerkiksi kuukauden pituisiin luokkiin.

Tuoreiheysmallien laadinnan keskeisenä tarkoituksena oli rakentaa työkalu, jolla voidaan ennustaa mänty- ja koivukuitupuun tuoreiheys mittausajankohdan, varastointiajan ja maantieteellisen alkuperän mukaan. Mallin laadintaan ja sen luotettavuuden arviointiin tarvitaan kattava aineisto, jossa riippumattomien muuttujien (mallin selittäjien) vaihtelun tulee olla riittävän suurta. Tässä tutkimuksessa laaditut mallit perustuivat laajaan aineistoon, jossa varastointiaika vaihteli muutamasta päivästä jopa kolmeen vuoteen (yli 1000 vrk). Aineisto kuitenkin painottui kuitupuuhun, jonka varastointiaika oli alle kolme kuukautta. Näiden kuitupuuerien osuus koko aineistosta oli molemmilla puutavaralajeilla noin 60 prosenttia ja yli puoli vuotta varastoitujen osuus oli vain noin kymmenen prosenttia. Tästä syystä ennusteiden luotettavuus heikkenee, kun varastointiaika pitenee. Alle kolme kuukautta varastoiduilla kuitupuuerillä ennusteiden keskivirhe oli 1–2 kg m<sup>-3</sup> ja vähintään vuoden varastoiduilla kuitupuuerillä yli 10 kg m<sup>-3</sup>. Koska tutkimusaineistot koostettiin tehtaiden paino-otantamittauksen mittaustiedoista, vastasi aineiston jakautuminen varastointiajan suhteen käytännön puunhankintaa.

Vaikka laaditut tuoreiheysmallit ennustavat tehokkaasti mittausajankohdan ja varastointiajan vaikutuksen tuoreiheyteen, on puutavaraeräkohtaisen ennusteen satunnainen epävarmuus suuri. Puutavaraerien välinen tuoreiheyden vaihtelu on suurta muun muassa paikallisten sää- ja varastointiolosuhteiden vaihtelun vuoksi. Erityisesti sääolosuhteet voivat vaihdella huomattavasti alueiden ja vuosien välillä. Mallissa käytettiin satunnaistekijänä mittausvuotta, eli otettiin huomioon sääolojen vaihtelu vuosien välillä. Tämän merkitys jäi kuitenkin vähäiseksi verrattuna puutavaraerien väliseen satunnaisvaihteluun (mallin jäännösvirhe). Siten satunnaisen vuositekijän hyödyntäminen esimerkiksi mallien kalibroinnissa ei ole tehokasta, varsinkaan käytännön näkökulmasta.

Malleja laadittaessa varastointiajan vaikutuksen tuoreiheyteen oletettiin olevan erilainen kesä- ja talvikaudella. Puutavaran oletettiin kuivuvan huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana ja tämän perusteella varastointiaika jaettiin kesäkaudella (huhtikuusta syyskuuhun) ja talvikaudella (lokakuusta maaliskuuhun) tapahtuvaan varastointiin. Käytännössä puu kuivuu parhaiten keväällä ja alkukesällä, ja kuivumista voi tapahtua myös määritellyn kuivumiskauden ulkopuolella, riippuen vallitsevista sääolosuhteista (Hultnäs ym. 2012; Hultnäs 2012). Tätä ei otettu suoraan huomioon mallien laadinnassa, vaan varastoinnin vaikutus kuvattiin jatkuvalla muuttujalla (varastointivuorokausien määrä) ja vasteen oletettiin olevan vakio huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana. Toisaalta mallissa oli mukana mittausajankohta, joka korreloi varastointiajankohdan kanssa. Näin ollen myös varastointiajankohdan vaikutus huhtikuun ja syyskuun välisenä tuli ainakin osittain kuvattua mallissa.

Varastointiajan vaste puun kuivumiseen etenkin huhtikuun ja syyskuun välisenä aikana ei ole vakio, ei vuosien välillä eikä samalla kalenterikaudella, vaan se riippuu merkittävästi valitsevista sääolosuhteista (Hultnäs ym. 2012; Hultnäs 2012). Hultnäs ym. (2012) käytti kuusen tuoretiheysmalleissa säämuuttujia kuten lämpötilaa, kosteutta, sademäärää ja tuulisuutta, ja niiden vaikutus rajoittui lähinnä kesäkauteen (huhtikuusta syyskuuhun).

Tutkimusaineistossa puutavaran maantieteellinen alkuperä määritettiin maakuntatasolla, mikä kuvaa varsin karkeasti leimikon sijaintia ja olosuhteita. Tarkempi leimikon sijainnin määrittäminen kuntatasolla tai koordinaatteina mahdollistaisi topografian (esimerkiksi korkeus merenpinnasta) tai pitkän ajan säämuuttujien (esimerkiksi alueen keskimääräinen lämpösusma) käyttämisen mallinnuksessa. Edelleen kehitettynä tarkka sijaintitieto mahdollistaisi myös varastointiajan toteutuneen paikallisen säähavaintotiedon käyttämisen mallinnuksessa. Niitä ei nyt käytetty, ja laaditut mallit pidettiin varsin pelkistettyinä. Jatkossa malleihin olisi liitettävissä myös säämuuttujia, jolloin mallien luotettavuus ja käytettävyys todennäköisesti parantuisivat. Tällöin voitaisiin entistä paremmin ottaa huomioon vuosien välinen vaihtelu ja paikallisista eroista johtuva vaihtelu tuoretiheysennusteiden laskennassa.

Kuormainvaakamittauksessa käytettävät tuoretiheysluvut (ns. yleiset muuntoluvut) perustuvat suuriin, kaikkina vuodenaikoina ja monilta tehdasmittauspaikoilta kerättyihin puutavaralajikohtaisiin otanta- ja perusmittausaineistoihin. Yleisimmillä puutavaralajeilla tuoretiheysluvut kuvaavat varsin hyvin tuoretiheyden keskimääräistä tasoa suuralueella. Yleisten muuntolukujen käytön ongelmana on se, että ne eivät ota huomioon vuosien välistä ja toisaalta paikallista, olosuhde-eroista johtuvaa tuoretiheyden vaihtelua. Lisäksi nykyiset tuoretiheysluvut ottavat puutteellisesti huomioon varastointiajan. Kuitupuutavaralajeilla on ainoastaan kaksiportainen luokitus varastointiajalle. Tuoretiheysluvut on erikseen niin sanotuille tuoreelle ja puolikuivalle kuitupuulle. Puolikuivan kuitupuun ehtona on vähintään kuuden viikon varastointi kesäkaudella, 1.5.–30.9. välisenä aikana.

Määritettäessä painomittausmenetelmillä puutavaran tilavuutta, on tilavuuden mittaussyhtälö yksinkertaisesti tulosuureiden paino ja tuoretiheys osamäärä. Koska tulosuureiden kertoimet ja asteluvut mittaussyhtälössä ovat samat, on tulosuureiden arvojen mittauserpävarmuuden vaikutus lopputuloksen epävarmuuteen yhtä suuri.

Käytännön mittaustoiminnassa tehtyjen havaintojen mukaan kuormainvaaoilla punnituksessa esimerkiksi tietyillä puutavaralajeilla tai toisistaan poikkeavissa kuormaustilanteissa tai kuormaustavoilla on saattanut olla haasteita. Kuormainvaakamittauksessa vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi pinon tai kuorman korkeus. Kuormainvaakojen mittaustekniikkaa ja automaatiikkaa on kuitenkin kehitetty jatkuvasti, ja mittausteollisuuslaitteet tuovat säännöllisesti markkinoille uusia vaakalaitteita (Melkas 2010). Lisäksi mittaus ja mittaustarkkuus itsessään ovat jatkuvan omavalvonnan, ja tehtailta käytettävien vaakojen osalta myös viranomaisvalvonnan, piirissä (Laki puutavaran mittauksesta 414/2013; Mittauslaitelaki 707/2011).

Tavallisessa tilanteessa tuoretiheysluvut ovat painon mittausta suurempi epävarmuuslähde puutavaran tilavuuden määrittämisessä. Epävarmuus aiheutuu mittauserien todellisen tuoretiheyden systemaattisesta ja satunnaisesta vaihtelusta. Vuosien ja alueiden välisten olosuhde-erojen vuoksi mittauksen virhelähde voi olla systemaattinen, mikä tarkoittaa sitä, että tietyllä ajanjaksolla tai maantieteellisellä alueella yleisen muuntoluvun käyttö voi tuottaa jatkuvasti liian suuria tai liian pieniä mittaustuloksia. Satunnaiset vaihtelut tuoretiheydessä johtuvat paitsi paikallisista sääolosuhteista ja varastopaikan olosuhteista, myös puutavaran ominaisuuksista. Epävarmuuteen vaikuttaa oleellisesti myös tuoretiheysluvuissa käytettävä luokitus. Vaikka tuoretiheyslukujen arvoissa ei sinänsä olisikaan systemaattista virhettä, aiheutuu karkeasta luokituksesta mittauserpävarmuutta.

Tässä tutkimuksessa esitetyt mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheyden ennustemallit mahdollistaisivat nykyisiä tuoretiheyslukuja tarkempien yleisten tuoretiheyslukujen määrittämisen. Mallien perusteella tuoretiheysluvut olisi mahdollista määrittää mittauseräjäkohdan mukaan käyttämällä

lyhyttä, esimerkiksi yhden viikon porrastusta. Lisäksi malleja käyttämällä tuoreiheyslukuihin olisi mahdollista laatia varastointiaikaan perustuva nykyistä useampiportainen luokitus. Edellisillä parannuksilla pystyttäisiin oleellisesti vähentämään tuoreiheyslukujen luokituksista johtuvaa epävarmuutta. Lähinnä vuosien välinen olosuhteiden vaihtelu (systemaattiset virhelähteet) ja varastointipaikkaan ja -aikaan liittyvät tekijät (satunnaiset virhelähteet) aiheuttaisivat kuitenkin epävarmuutta.

Yleisten tuoreiheyslukujen laatimisen ja säädösperusteisen käyttöönoton edellytyksenä olisi maantieteellinen kattavuus siten, että tietyn puutavaralajin tuoreiheysluvut pystyttäisiin ottamaan käyttöön samanaikaisesti ja yhdenmukaisesti esitettynä koko maassa. Tässä tutkimuksessa käytetty laskenta-aineisto ei ole maantieteellisesti kattava, eli mallien perusteella ei suoraan pystytä muodostamaan yleisiä tuoreiheyslukuja. Maantieteellisen kattavuuden lisäksi tulisi ottaa huomioon kattavuus puutavaralajien suhteen. Tarkoituksenmukaista olisi, että tuoreiheyslukujen määrittäisiin ainakin kaikille tärkeimmille kuitupuutavaralajeille.

Kuitupuun painomittauksesta on tehty verraten vähän tutkimusta. Viimeisten 15 vuoden aikana Suomessa on toteutettu ainoastaan joitakin tutkimuksia, joiden tavoitteet ovat liittyneet kuormainvaakamittauksen kehittämiseen. Viimeisistä paino-otantamittausta koskevista laajemmista tutkimuksista on ilmeisesti vuosikymmeniä.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat mahdollistaneet painomittauksen kehittämiseen keskitetyn jatkotutkimuksen suunnittelun. Valmisteilla oleva jatkotutkimus on vaiheistettu siten, että eri kuitupuutavaralajien tuoreiheydelle määritettäisiin kahdentyyppiset ennustemallit. Ensimmäisessä vaiheessa laadittaisiin kuitupuutavaralajien maantieteellisesti kattavat ennustemallit, joissa hyödynnetään tässä tutkimuksessa esitettyä mallinnusta ja käytettäisiin tuoreiheyden selittäjinä varastointiaikoja ja tähän perustuvia muuttujia. Toisessa vaiheessa laadittaisiin vastaavat ennustemallit, joissa selittäjinä käytettäisiin toteutuneisiin säähavaintotietoihin perustuvia säämuuttujia muiden muuttujien lisäksi. Säämuuttujat tulisivat olemaan esimerkiksi varastointiajalle tai sen osalle laskettavia summamuuttujia, kuten sade-, lämpö- tai haihduntasummat. Lisäksi tuoreiheyden ennustemalleille laadittaisiin kalibrointimenetelmä. Perusajatuksena olisi, että tuoreiheysmalleja pystyttäisiin jatkuvasti kalibroimaan ja korjaamaan tehdasmittauspaikoilla mitattavien otantaerien perusteella. Sekä tuoreiheyden ennustemalleissa että kalibrointimenetelmässä käytettäisiin tutkimuksen tuloksena tuotettavaa maantieteellistä aluejakoa.

Valmisteilla olevassa jatkotutkimuksessa kehitettävän toimintamallin ehkä merkittävin käytännöllinen etu olisi painomittauksen yhtenäistäminen yhtäältä mittaajien välillä ja toisaalta painomittausmenetelmien välillä. Yhtenäisyydellä pyritään paitsi mittauksen luotettavuuteen, myös mittausmenettelyn uskottavuuteen ja luottamukseen mittausosapuolten välillä. Edellisen lisäksi tutkimuksessa kehitettävällä toimintamallilla on mahdollista ja pyritään parantamaan mitaustarkkuutta varsinkin metsänomistajien mittauseriällä. Oletettavasti toimintamalli mahdollistaisi nykyistä pienemmän paino-otantamittauksen kokonaisotosmäärän.

## Kiitokset

Tutkimus toteutettiin osana Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmaan 2014–2020 kuulunutta Keski-Pohjanmaan metsälogistiikka -projektia (2016–2018), jota rahoitti Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Tutkimusaineistot koostettiin Metsä Groupin, UPM-Kymmene Oyj:n ja Stora Enso Oyj:n toimittamista tehdasmittauspaikkojen paino-otantamittauksen mittausaineistoista. Esitämme parhaat kiitokset tutkimuksen rahoittajalle ja aineistoja luovuttaneille yhtiöille.

## Kirjallisuus

- Hakkila P. (1962). Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(4). 82 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171086>.
- Hakkila P. (1966). Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(5). 98 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171093>.
- Hakkila P. (1968). Geographical variation of some properties of pine and spruce pulpwood in Finland. Seloste: Eräitten mänty- ja kuusipaperipuun ominaisuuksien maantieteellinen vaihtelu Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66(8). 60 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207171098>.
- Hakkila P. (1979). Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu – Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 96(3). 59 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0470-1>.
- Hakkila P., Kalaja H., Saranpää P. (1995). Etelä-Suomen ensiharvennusmänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. 93 s. + liitteet 6 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1489-8>.
- Heikkilä J., Lindblad J., Hujo S., Verkasalo E. (2004). Pienten kuitupuuerien mittausta puutavara-auton kuormainvaa'alla. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004: 527–540. <https://doi.org/10.14214/ma.5669>.
- Hultnäs M. (2012). Weight scaling – methods to determine the quantity of pulpwood. Doctoral thesis. SLU, Department of Forest Products, Uppsala. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2012:34. 64 s.
- Hultnäs M., Nylinder M., Ågren A. (2012). Predicting the green density as a means to achieve the volume of Norway spruce. Scandinavian Journal of Forest Research 28(3): 257–265. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.735697>.
- Kainulainen J., Lindblad J. (2005). Puutavaralajien tuoretiheyden alueellinen vaihtelu mittausasemien vastaanottomittauksessa. Metsäntutkimuslaitoksen työraportteja 19. 24 s. + liitteet 5 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1981-4>.
- Kärkkäinen M. (1984). Puutavaran mittauksen perusteet. Helsingin yliopiston monistuspalvelu. 252 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:bib:me:I00476074300>.
- Kärkkäinen M. (2007). Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy. Karisto Oy, Hämeenlinna. 468 s.
- Laki puutavaran mittauksesta 414/2013. Helsinki 14.6.2013. Suomen säädöskokoelma. <https://finlex.fi/fi/laki/smur/2016/20160725?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=725%2F2016>.
- Luonnonvarakeskus (2017). Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista annetun Metsäntutkimuslaitoksen määräyksen liitteen muuttamisesta. Määräys nro 1/2017. 21.12.2017. Dnro 3512/13 04 00 00 02/2017. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/410001/43823>.
- Maa- ja metsätalousministeriö (2013). Maa- ja metsätalousministeriön asetus puutavaran mittauksen mittausmenetelmäryhmien ja mittausmenetelmien tarkemmasta sisällöstä sekä mittauslaitteiden käytöstä. Asetus Nro 12/13. 17.6.2013. <https://www.finlex.fi/data/normit/41198/13012fi.pdf>.
- Melkas T. (2010). Markkinoilla olevat kuormainvaa'at ja niiden ominaisuudet. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2010. Metsäteho Oy.

- Melkas T. (2018). Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2017. Metsätehon tuloskalvosarja 6a/2018. Metsäteho Oy.
- Mittauslaitelaki 707/2011. Helsinki 17.6.2011. Suomen säädöskokoelma. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110707>.
- Puutavaran tuoreiheystaulukot (2010). Lausunto Puutavaranmittauksen neuvottelukunnalle. Metsäntutkimuslaitos, 20.1.2010. TME2576. 8 s. + liitteet 9 s.
- Repola J. (2006). Models for Vertical wood density of scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density. *Silva Fennica* 40(4): 676–685. <https://doi.org/10.14214/sf.322>.
- Routa J., Kolström M., Ruotsalainen J., Sikanen L. (2015). Precision measurement of forest harvesting residue moisture change and dry matter losses by constant weight monitoring. *International Journal of Forest Engineering* 26(1):71–83. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1012900>.
- Routa J., Kolström M., Sikanen L. (2018). Dry matter losses and their economic significance in forest energy procurement. *International Journal of Forest Engineering* 29(1): 53–62. <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1421332>.
- Sikanen L., Marjomaa J. (1992). Metsätraktorin kuormainvaa’an käyttöön perustuva puutavaran tilavuuden mittaus. *Metsätehon katsaus* 14/1992.

22 viitettä.