

Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen

**Timo Hokka
Tuomo Vuorenpää**

**Metsätehon raportti 103
30.3.2001**

Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen

Timo Hokka
Tuomo Vuorenpää

Metsätehon raportti 103
30.3.2001

Konsortiohanke: Metsäliitto Osuuskunta, Stora Enso Oyj,
UMP-Kymmene Oyj, VTT Energia

Asiasanat: kuitupuu, puutavaran tehdasmittaus, lajittelu

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

SISÄLLYS

| | |
|---|-----------|
| TIIVISTELMÄ | 5 |
| Tavoite..... | 5 |
| Kuitupuun lajittelun ja tehdasmittauksen nykytila | 5 |
| Mäntykuitupuun lajittelun vaikutus kuivatuoretiheyteen ja kosteuteen..... | 6 |
| Tavoite ja toteutus | 6 |
| Kuivatuoretiheys..... | 7 |
| Kosteus | 7 |
| Sydänpuuosuus | 7 |
| Päätelmät | 8 |
| Puun kosteuden ja kuiva-ainemassan mittaamisesta..... | 8 |
| Kurottajavaaka puutavaran punnituksessa tehtaalla | 10 |
| Tausta ja tavoite | 10 |
| Toteutus ja tulokset | 10 |
| Päätelmät | 13 |
| | |
| 1 JOHDANTO | 14 |
| | |
| 2 KUITUPUUN LAJITTELUN JA TEHDASMITTAUKSEN NYKYTILA | 15 |
| 2.1 Kuitupuun lajittelu..... | 15 |
| 2.2 Kuitupuun tehdasmittaus | 15 |
| 2.3 Tulokset..... | 15 |
| 2.3.1 Puunkäyttö..... | 15 |
| 2.3.2 Perusmittauksen menetelmät | 18 |
| 2.3.3 Otantamittauksen menetelmät..... | 19 |
| 2.3.4 Kuitupuun laatulajittelu..... | 20 |
| | |
| 3 MÄNTYKUITUPUUN LAJITTELUN VAIKUTUS KUIVATUORETIHEYTEEN JA KOSTEUTEEN | 21 |
| 3.1 Tavoite ja toteutus | 21 |
| 3.2 Tulokset..... | 23 |
| 3.2.1 Kuivatuoretiheys..... | 23 |
| 3.2.2 Kosteus | 24 |
| 3.2.3 Sydänpuuosuus | 25 |
| 3.3 Päätelmät | 26 |
| 3.3.1 Lajittelun vaikutus ominaisuuksiin | 26 |
| 3.3.2 Lajittelun vaikutus eräkokoon..... | 26 |
| | |
| 4 PUUN KOSTEUDEN MITTAAMISESTA | 29 |
| 4.1 Tausta..... | 29 |
| 4.2 Puun kosteus fysikaalisena ilmiönä..... | 29 |
| 4.3 Vaatimukset pyöreän puun ja hakkeen kosteuden mittaamiselle..... | 30 |
| 4.4 Kosteuden mittausmenetelmiä | 30 |
| 4.4.1 Lämpökaappimenetelmä | 30 |
| 4.4.2 Johtokyky menetelmä | 31 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.4.3 | Kapasitiivinen menetelmä..... | 31 |
| 4.4.4 | IR-menetelmä..... | 31 |
| 4.4.5 | Radio- ja mikroaaltomenetelmä..... | 31 |
| 4.4.6 | Gamma- ja röntgensäteilymenetelmät | 32 |
| 4.4.7 | Neutronimenetelmä..... | 32 |
| 4.4.8 | NMR-tekniikka..... | 33 |
| 4.4.9 | Impedanssispektroskopia | 33 |
| 4.5 | Soveltamiskelpoisimmat mittausmenetelmät | 33 |
| 5 | KUIVAMASSAAN PERUSTUVA KUITUPUUN LUOVUTUSMITTAUS | 34 |
| 5.1 | Tausta..... | 34 |
| 5.2 | Kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu yksittäisen pölkyn sisällä..... | 34 |
| 5.3 | Kuiva-ainemassan mittausprosessi..... | 35 |
| 5.3.1 | Yleiskuvaus | 35 |
| 5.3.2 | Näytteenottomenetelmät | 36 |
| 5.3.3 | Mittauksen tarkkuus | 37 |
| 5.3.4 | Menetelmän soveltaminen..... | 39 |
| 5.4 | Mallien käyttö kuitupuun kuivatuoretiheyden arvioinnissa | 40 |
| 5.5 | Päätelmät | 41 |
| 6 | KUROTTAJAVAAKA PUUTAVARAN PUNNITUKSESSA TEHTAALLA | 43 |
| 6.1 | Tausta ja tavoite | 43 |
| 6.2 | Vaakojen toimintaperiaatteen kuvaus | 43 |
| 6.3 | Tutkimuksen toteutus | 45 |
| 6.4 | Tulokset Pietarsaaren tehtaalta..... | 45 |
| 6.4.1 | Testit punnuksilla | 45 |
| 6.4.2 | Testit puutavaranipuilla..... | 49 |
| 6.5 | Tulokset Anjalankosken tehtaalta..... | 52 |
| 6.6 | Päätelmät | 55 |
| | KIRJALLISUUS | 56 |

TIIVISTELMÄ

Tavoite

Projektin tavoitteena oli selvittää nykyisten puutavaran tehdasmittausmenetelmien soveltuvuus kuitupuun laadun mittaamiseen sekä määrittää niiden kehittämistarpeet. Tarkastelun kohteena olivat erityisesti kuitupuun kosteuden ja kuiva-ainepitoisuuden tehdasmittaukseen soveltuvat menetelmät.

Projekti on osatehtävä Metsätehon hankkeessa "Kuitupuun lajittelu ja mittaus puunhankinnan ja tehdaskäsittelyn yhteydessä". Toinen osatehtävä hankkeessa on "Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä". "Kuitupuun lajittelu ja mittaus puunhankinnan ja tehdaskäsittelyn yhteydessä" -hanke kuuluu VTT Energian koordinoimaan Tekesin Puulaatuteknologiaohjelmaan.

Kuitupuun lajittelun ja tehdasmittauksen nykytila

Kuitupuun tehdasmittauksen nykytilan selvittämiseksi tehtiin keväällä 1999 kysely kahdellekymmenelle UPM-Kymmene Oyj:n ja Stora Enso Oyj:n kuitupuuta vastaanottavalle tehtaalte. Mukana oli sekä kemiallista että mekaanista massaa valmistavia tehtaita.

Kyselyyn vastasi 17 tehdasta, joiden yhteenlaskettu pyöreän puun käyttö vuonna 1998 oli 19,2 milj. m³. Vastaanotetusta puumäärästä 35 % oli kuusikuitua, 31 % koivukuitua, 26 % mäntykuitua, 1 % haapakuitua ja 0,5 % eukalyptusta. Kuitupuun lisäksi vastaanotettiin 6 % kuusitukkia. Tehdasmittaukseen käytettiin puutavaran luovutusmittauksena 2,9 milj. m³:lla eli 15 prosentilla vastaanotetusta puumäärästä.

Massateollisuuden puunkäyttö oli vuonna 1998 yhteensä 35,9 milj. m³, josta kyselyyn vastanneiden tehtaiden osuus oli 54 %. Kyselyyn vastanneiden tehtaiden käyttämän puun puutavaralajijakauma vastasi melko hyvin massateollisuuden puutavaralajijakaumaa. Massateollisuudessa käytettiin mäntykuitupuuta 36 %, kuusikuitupuuta 29 %, lehtikuitupuuta 33 % ja kuusitukkia 2 % kokonaispuumäärästä.

Vastausten mukaan 82 % puutavarasta mitattiin otantaan perustuvilla ja 18 % totaaliseen mittaukseen perustuvilla menetelmillä. Otantaan perustuvista menetelmistä yleisin oli paino-otanta, jolla mitattiin 66 % puutavarasta (taulukko A). Vaunulukuotannon osuus oli 8 %, ja nippuluku- sekä kehysotannon osuudet olivat 4 %. Totaalisen mittauksen menetelmistä käytettiin pinomittaukseen ajoneuvossa (14 %) ja kehyskuva-mittaukseen (5 %).

Kyselyyn vastanneilla tehtailla mitattiin otantaan perustuvilla menetelmillä 15,7 milj. m³ pyöreää puuta. Ositetun otannon osuus oli 13 % ja osittamattoman 87 %. Otantaan tuli 772 000 m³ puuta, josta 53 % mitattiin upottamalla, 27 % kappaleittain ja 20 % automaattisella mittaus- ja laadutusasemalla (taulukko B).

TAULUKKO A Perusmittausmenetelmät

| | Kehys- kuvaus | Pinomittaus ajoneuvossa | Paino- otanta | Kehys- otanta | Nippuluku- otanta | Vaunuluku- otanta |
|-------------------------|------------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| 1 000 m ³ | 959 | 2 553 | 12 571 | 685 | 833 | 1 573 |
| % | 5,0 | 13,3 | 65,6 | 3,6 | 4,3 | 8,2 |

TAULUKKO B Otantamittausmenetelmät

| | Kappaleittain mittaus | Upotusmittaus | Mittausasema |
|-------------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| 1 000 m ³ | 208 | 413 | 152 |
| % | 26,9 | 53,4 | 19,7 |

Kyselyyn vastanneista 17 tehtaasta 12 käytti jotakin laatulajittelumenetelmää. Yleisimmät laatutekijät olivat läpimitta, puutavaran kosteus tai tuoreus sekä metsävarastointiaika. Läpimitan käyttö laatulajittelussa tarkoitti yleensä järeiden pölkkyjen, esimerkiksi tyvileikkojen, erilläänpitoa. Kosteutta ja tuoreutta seurattiin metsä- ja tehdasvarastointiajan avulla tai painomittauksen yhteydessä likimääräisen kuutiopainon avulla.

Mäntykuitupuun lajittelun vaikutus kuivatuoretiheyteen ja kosteuteen

Tavoite ja toteutus

Osatehtävän tavoitteena oli selvittää mäntykuitupuun kaksijakoisen lajittelun vaikutus ositteiden keskimääräiseen kuivatuoretiheyteen, kosteuteen ja sydänpuuosuuteen. Lajitteluositteet olivat tyvikuitu ja latvakuitu. Lisäksi tarkasteltiin keskimääräisen luston leveyden vaikutusta kuivatuoretiheyteen. Vertailuna tarkasteltiin samasta leimikosta korjatun lajittelemattoman mäntykuitupuun ominaisuuksia.

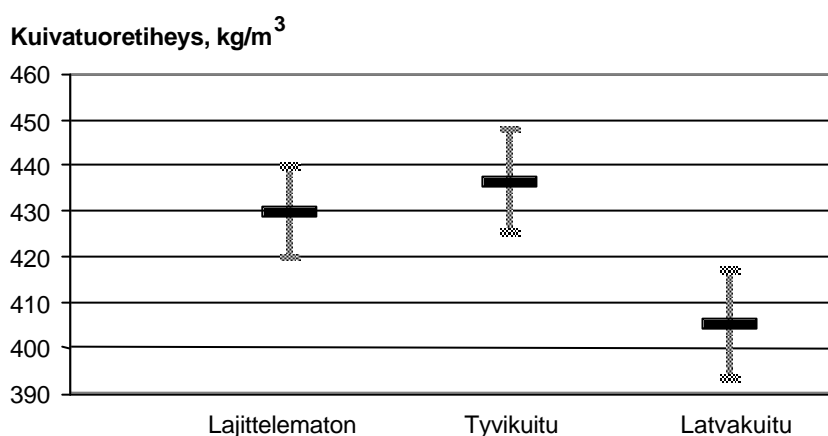
Tutkimusleimikko oli noin 50-vuotias tuoreen kankaan männikkö, jonka puuston lähtötiheys ennen harvennusta oli 1 100 runkoa/ha. Aineisto hakattiin kahdelta koealalta. Ensimmäisellä koealalla ei käytetty mitään kuitupuun lajittelua, toisella koealalla lajiteltiin kuitupuu tyvi- ja latvakuituun. Kuitupuun minimilatvaläpimitta oli 7 cm, minimipituus 230 dm ja maksimipituus 550 dm. Tukkipuun minimilatvaläpimitta oli 15 cm ja minimipituus 370 dm.

Hakkuun jälkeen kuitupuuositteista tehtiin otanta ositteiden kuivatuoretiheyden, kosteuden, sydänpuuosuuden ja keskimääräisen luston paksuuden selvittämiseksi.

Kuivatuoretiheys

Lajittelemattoman kuitupuun kuivatuoretiheyden keskiarvo oli 430 kg/m³, tyvikuidun 437 kg/m³ ja latvakuidun 405 kg/m³ (kuva A). Tyvikuidun ja latvakuidun kuivatuoretiheyden keskiarvojen välinen ero oli tilastollisesti merkittävä.

Keskimääräisen luston leveyden kasvaessa kuivatuoretiheys pieneni. Kuitenkin tietyllä luston leveydellä kuivatuoretiheyden hajonta oli suuri.



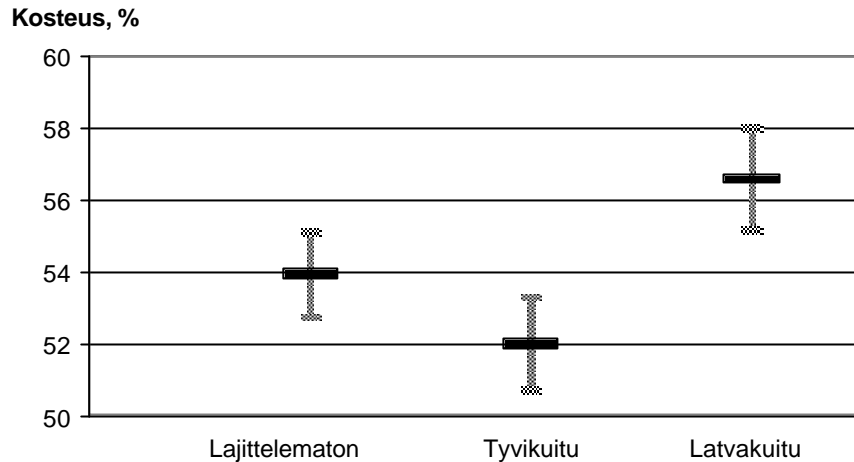
Kuva A. Kuitupuuositteiden kuivatuoretiheyden ositteittaiset keskiarvot ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit.

Kosteus

Lajittelemattoman kuitupuun kosteus oli keskimäärin 54 %, tyvikuidun 52 % ja latvakuidun 57 % (kuva B).

Sydänpuuosuus

Lajittelemattoman kuitupuun sydänpuuosuus oli keskimäärin 39 %, tyvikuidun 42 % ja latvakuidun 33 %. Ositteiden sydänpuuosuuksien erot selittävät valtaosan ositteiden välisestä keskimääräisen kosteuden erosta.



Kuva B. Eri kuitupuusortteiden keskimääräinen kosteus ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit.

Päätelmät

Tutkitussa mäntykuitupuun kaksijakoisessa lajittelussa tyvi- ja latvakuituun saatiin kaksi kuivatuoretiheydeltään ja kosteudeltaan eroavaa kuitupuusortteita. Kuivatuoretiheys on suoraan verrannollinen saantoon massan valmistuksessa ja suoraan yhteydessä myös puun kuituominaisuuksiin. Kuitupuun kosteudella on merkitystä massan valmistusprosessin ohjaamisessa.

Tutkimuksessa kuvattu mäntykuitupuun lajittelu tarjoaisi mahdollisuuden ohjata raaka-ainetta sellaisiin tuotteisiin, joihin se ominaisuuksiltaan parhaiten sopii, tai sekoittaa hallitusti ominaisuuksiltaan erilaisia raaka-aineita halutun lopputuloksen saamiseksi.

Tutkimusleimikossa käytetyssä kaksijakoisessa lajittelussa kuitupuun jakautui ositteisiin lähes tasan. Aivan pienillä leimikoilla lajittelu kahteen kuitupuutavaralajiin ei ole mielekää, koska molemmat ositteet jäävät silloin pieniksi.

Puun kosteuden ja kuiva-ainemassan mittaamisesta

Projektin yhtenä tavoitteena oli selvittää, onko olemassa pyöreän puun kosteuden mittaamiseen sopivaa menetelmää, sekä testata mahdollista mittaamenetelmää. Melko alkuvaiheessa alkoi näyttää selvältä, ettei ole olemassa valmiita kosteusmittareita tai järjestelmiä, joita olisi voitu testata. Kosteuden mittaamisen tarpeita ja potentiaalisia ratkaisuja selvitettiin aiempien tutkimusten ja kirjallisuuden perusteella.

Kuitupuun kosteuden mittaaminen on vaativa tehtävä. Perusongelmana on pinta- ja sydänpuun kosteuksien suuri ero, joten pölkyn keskimääräisen kosteuden mittaamisen tulisi perustua pölkyn läpimittaukseen.

Lisäksi kosteus vaihtelee myös pölkyn pituussuunnassa. Mittausmenetelmän tulisi kyetä mittaamaan sekä sulaa että jäistä puuta. Lisäksi menetelmän tulisi soveltua suurten puuvirtojen mittaamiseen ja olla toiminnaltaan lähes reaaliaikainen. Pyöreän puun kosteuden mittaamisessa lupaavimpia ovat impedanssispektroskopia sekä gamma- ja röntgensäteilyyn tai neutronimenetelmään perustuvat laitteet. Tosin impedanssispektroskopiolla ei voida mitata jäistä puuta. VTT Energia kehittää parhaillaan impedanssispektroskopiaan perustuvaa käsiikäyttöistä kosteusmittaria. Gamma- ja röntgensäteilyyn tai neutronitekniikkaan perustuvaa pyöreän puun kosteuden mittaamenetelmää ei tiettävästi ole kehitteillä. Röntgenmenetelmää on kokeiltu puun sisäisten vikojen tunnistamisessa, mutta kosteuden tai kuivatuoretiheyden mittaamisessa ei näissä kokeiluissa ole päästy riittävään tarkkuuteen.

Kuitupuun kosteuden mittaaminen on tarpeen toisaalta puun luovutusmittauksessa, toisaalta valmistusprosessin ohjauksessa. Jos kuitupuun kosteus voitaisiin luotettavasti mitata kustakin luovutettavasta erästä, saataisiin selville puun kuivamassa ja siten raaka-aineen todellinen arvo prosessin kannalta. Raaka-aineen kosteuden tunteminen mahdollistaisi myös valmistusprosessin tarkemman ohjauksen. Eräkohtaista kuivamassan mittaamista on kokeiltu useissa aiemmissä tutkimuksissa. Ne ovat perustuneet autokuormasta eri tavoin otettaviin purunäytteisiin, joiden kosteus ja kuiva-ainepitoisuus on määritetty lämpökaapin avulla. Purunäytteisiin perustuvalla menettelyllä kuivamassa saadaan mitattua, mutta näytteiden otto ja käsittely on raskasta. Kuivamassan sujuva mittaaminen voisi mahdollistua kehittämällä automaattisen mittaus- ja laadutusaseman yhteyteen gamma-, röntgen- tai neutronitekniikkaan perustuva kosteuden mittaaminen. Mittaus vastaisi nykyistä painotannon yhteydessä käytettävää menettelyä, mutta otantaerän pölkystä mitattaisiin tilavuuden lisäksi myös niiden keskimääräinen kosteus.

Kuivatuoretiheyden mallintaminen apumuuttujien kuten puulajin, leimikon sijainnin ja kasvunopeuden perusteella ei tuota riittävää tarkkuutta puutavaraerän tilavuuden muuttamiseksi kuiva-ainemassaksi. Malleja voidaan käyttää hyväksi raaka-aineen lajittelussa erilaisiin laatuositteisiin.

Kuivamassan mittaamiseen perustuva luovutusmittaus ei vaikuta vielä kovin toteutuskelpoiselta. Sen sijaan prosessin ohjaamiseen tarvittavan hakevirran kosteuden mittaamiseen on jo olemassa kaupallisia sovelluksia, ja esimerkiksi VTT Energia kehittää parhaillaan gammasäteilyyn perustuvaa hakkeen kosteuden mittaamenetelmää.

Kurottajavaaka puutavaran punnituksessa tehtaalla

Tausta ja tavoite

Paino-otanta on yleisin kuitupuun mittaamenetelmä. Menetelmässä puutavara punnitaan tavallisesti siltavaa'alla. Otantanipuista määritellään tuoretiheys, jonka avulla puutavarasta mitattu massa muunnetaan tilavuudeksi. Paino-otanta soveltuu hyvin suurehkojen erien mittaamiseen. Kurottajatruckiin asennettu vaaka olisi eräs vaihtoehto, jolla paino-otantaa voitaisiin käyttää myös pienille erille sekä juna-, alus- ja uittopuulle.

Osatehtävän tavoitteena oli selvittää kurottajatruckiin asennetun vaa'an tarkkuus puutavaran punnituksessa.

Toteutus ja tulokset

Punnituskokeet tehtiin UPM-Kymmene Oyj:n Pietarsaaren tehtailla ja Stora Enso Oyj:n Anjalankosken tehtailla, joilla molemmilla oli käytössä Tamtronkurottajavaaka. Pietarsaassa oli käytössä venymäliuskaantureihin perustuva vaaka ja Anjalankoskella nostohydrauliikan paineen mittaamiseen perustuva vaaka. Tutkimuksessa vaakojen tarkkuutta testattiin punnituksen ja puutavaranippujen avulla. Lisäksi tutkittiin kuormitushuippujen sekä kurottajan poikkeuksellisten asentojen vaikutusta punnitukseen.

Testit Pietarsaassa

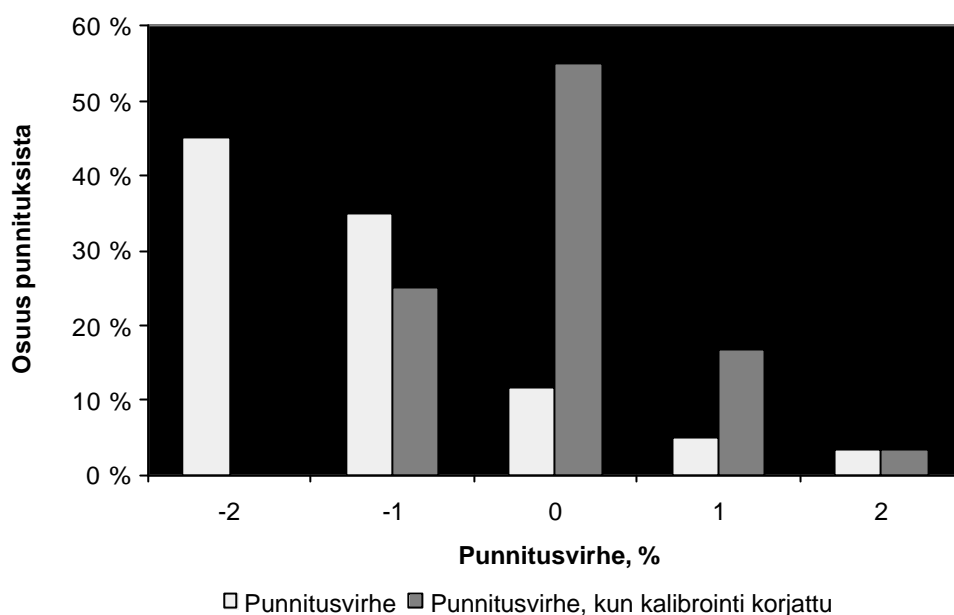
Testissä käytettiin kolmea erikokoista nippua, joita kutakin punnittiin yhteensä 20 kertaa tarttuen kurottajalla nipun eri kohtiin. Nippujen masat olivat

| | |
|---------------------|-----------|
| Iso nippu | 15 875 kg |
| Keskikokoinen nippu | 9 175 kg |
| Pieni nippu | 4 650 kg |

Kurottajavaa'alla mitattu massa oli pienimmän nipun punnituksessa upotusvaa'alla mitattuun massaan verrattuna hyvin lähellä oikeaa, sillä ero oli testistä riippuen - 40 – + 70 kg. Keskikokoisella taakalla erot olivat 135 – 235 kg ja suurella nipulla 215 – 405 kg.

Punnitusten hajonta pysyi pienenä. Virheellinen kalibrointi aiheutti mitausvirhettä pientä taakkaa lukuun ottamatta, erot olivat silti korkeintaan +/- 2 % (kuva C). Mittauksista 80 % oli aliarvioita, ja yliarvioita oli vain noin 8 %.

Mikäli vaaka olisi kalibroitu oikein, olisi testissä päästy erittäin tarkkaan tulokseen (kuva C) 55 prosentissa tapauksista virhe olisi ollut korkeintaan 0,5 %, ja 96,7 prosentissa punnitusvirhe olisi ollut korkeintaan yksi prosentti.



Kuva C. Kurottajavaa'an tulosten ero upotusvaa'an tuloksiin.

Testit Anjalankoskella

Testissä tutkittiin puutavaraniipun koon ja kuljetusvälineen sekä kurottajapihdin tarttumakohdan vaikutusta testituloksiin punnitsemalla sekä auto- että junapuuta. Testissä käytettiin kahta erikokoista nippua, joita kumpaakin punnittiin yhteensä 15 – 20 kertaa tarttuen kurottajalla nipun eri kohtiin. Nippujen massat olivat

| | |
|-------------|-----------|
| Iso nippu | 14 240 kg |
| Pieni nippu | 9 620 kg |

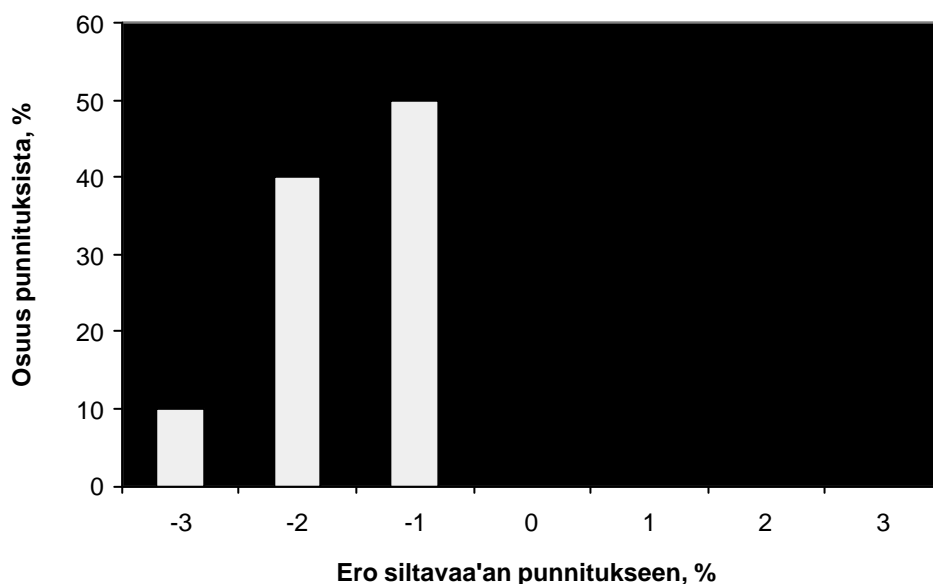
Kurottajavaa'alla mitattu massa oli siltavaa'alla mitattuun massaan verrattuna hyvin lähellä oikeaa, sillä ero oli testistä riippuen -230 – +46 kg. Autonippujen kalibrointi onnistui hyvin. Junapuulla kalibrointi ei onnistunut yhtä hyvin, sillä aliarvio oli 100 – 200 kg.

Punnitusten hajonta oli pieni. Autonippujen mittauksessa suurimmat erot jäivät alle 1,5 prosentin, ja yli 70 %:ssa punnituksista ero oikeaan oli alle 0,5 prosenttia (kuva D). Junapuun mittauksessa kalibroinnin takia suuri osa tuloksista on lieviä aliarvioita (kuva E). Mittauksista 50 %:ssa aliarvio oli -1,5 – -0,5 prosenttia. Neljässä punnituksessa oli kahden prosentin ero siltavaakaan, ja yhdessä ero oli kolme prosenttia.

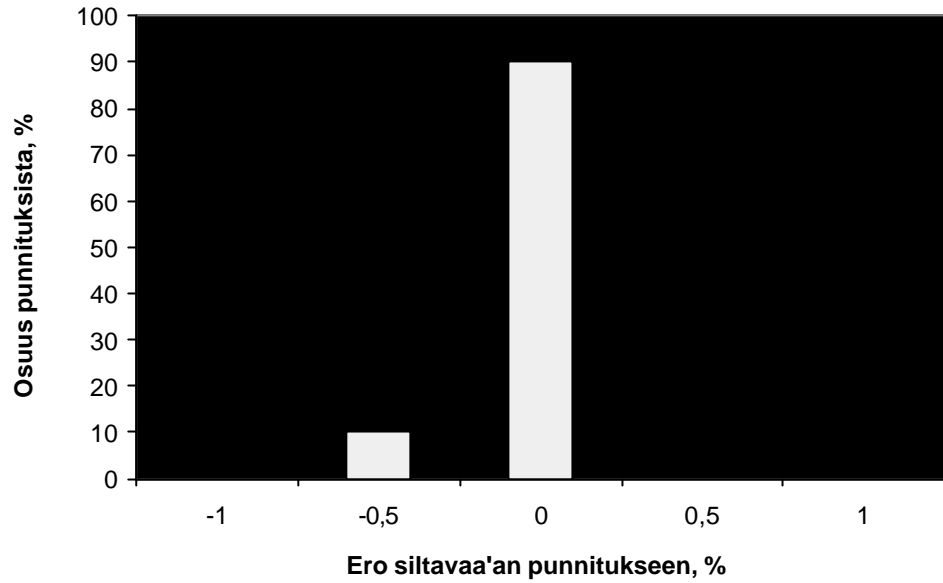


Kuva D. Kurottajavaa'an tulosten ero upotusvaa'an tulokseen autopuulla.

Mikäli vaaka olisi kalibroitu oikein, testissä olisi päästy erittäin tarkkaan tulokseen myös junapuulla (kuva F). Kaikissa junapuun punnituksissa virhe olisi jäänyt korkeintaan 0,5 prosenttiin. Punnituksista 90 %:ssa virhe oli korkeintaan 0,25 %. Mittaushavaintoja oli vain 10, joten tulosta voidaan pitää suuntaa antavana, mutta lupaavana.



Kuva E. Kurottajavaa'an tulosten ero upotusvaa'an tulokseen junapuulla.



Kuva F. Anjalankosken kurottajavaa'an tulosten ero siltavaa'an tulokseen junapuulla, kun kalibrointivirhe on eliminoitu.

Päätelmät

Sekä venymäliuska-antureihin että hydrauliiikan paineen mittaamiseen perustuva kurottajavaaka toimi tehdyissä testeissä luotettavasti ja tarkasti. Kaikissa punnituksissa erot jäivät korkeintaan +/- 2 prosenttiin. Normaalin työn kuormitushuiput, kuten esteiden yli ajaminen, eivät juuri vaikuttaneet vaa'an tarkkuuteen. Kun kurottajavaaka on kalibroitu oikein ja kuljettaja on huolellinen ja seuraa vaa'an tulosta vertailuvaa'an tai -punnusten avulla, on kurottajaan asennettu vaaka erittäin käyttökelpoinen puutavaran punnitukseen.

1 JOHDANTO

Tämä raportti kuuluu osana Metsätehon projektiin ”Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen”, jonka tavoitteena oli selvittää nykyisten puutavaran tehdasmittausmenetelmien soveltuvuus kuitupuun laadun mittaamiseen sekä määrittää niiden kehittämistarpeet. Tarkastelun kohteena olivat erityisesti kuitupuun kosteuden ja kuiva-ainepitoisuuden tehdasmittaukseen soveltuvat menetelmät.

Projekti on osatehtävä Metsätehon hankkeessa "Kuitupuun lajittelu ja mittaus puunhankinnan ja tehdaskäsittelyn yhteydessä", johon kuuluu toinenkin osatehtävä: "Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä". "Kuitupuun lajittelu ja mittaus puunhankinnan ja tehdaskäsittelyn yhteydessä" -hanke kuuluu VTT Energian koordinoimaan Tekesin Puulaatu-teknologiaohjelmaan.

Projekti koostui useista eri osiosta. UPM-Kymmenen ja Stora Enson kuitupuuta käyttäville tehtaille suunnatussa kyselyssä selvitettiin nykyisin käytössä olevat kuitupuun tehdasmittausmenetelmät ja niiden osuudet mitatuista puumääristä sekä käytössä olevat laadun mittausmenetelmät ja lajittelumenetelmät.

Kuitupuun lajittelun vaikutuksia raaka-aineen kuivatuoretiheyteen ja kosteuteen tutkittiin kokeilemalla mäntykuitupuun kaksijakoista lajittelua "Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä" -hankkeen koetyömaalla.

Kuitupuun kosteuden mittausmenetelmää tai mittareita ei projektissa päästy testaamaan, koska pyöreän puun kosteuden mittaamiseen sopivia valmiita sovelluksia ei ollut tarjolla. Eri kosteudenmittausmenetelmien soveltuvuutta pyöreän puun mittaamiseen sekä mahdollisuuksia kuiva-ainemassan käyttämiseen luovutusmittauksessa tarkasteltiin aiempien tutkimusten ja kirjallisuuden pohjalta.

Paino-otantamittauksen käyttöalueen laajentamista silmälläpitäen testattiin kahden erityyppisen kurottajavaa'an toimintaa.

2 KUITUPUUN LAJITTELUN JA TEHDASMITTAUKSEN NYKYTILA

2.1 Kuitupuun lajittelu

Tällä hetkellä massateollisuuden raaka-aineeksi käytettävä kuitupuu jaetaan harvoin eri laatuositteisiin. Kuitupuun laatu-tekijöitä ei tunneta riittävästi, ja mittaus- ja lajittelumenetelmät vaativat kehittämistä. Kiinnostusta kuitupuun tarkempaan lajitteluun kuitenkin on. Kuitupuun lajittelu käyttöominaisuuksiltaan erilaisiin ositteisiin mahdollistaa raaka-aineen tarkemman ohjauksen prosessiin. Puu- ja kuituominaisuudet vaihtelevat huomattavasti rungon eri osissa, ja havupuilla vaihtelu on suurempaa kuin lehtipuilla.

Puutavaran lajittelun nykykäytäntöä selvitettiin Metsätehon hankkeessa ”Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä”. Hankintapiireille tehty kysely kattoi 46 piiriä, joiden yhteisvolyymi on 24,4 milj. m³. Kyselyssä kutakin piiriä pyydettiin arvioimaan työmaittain toteutuvien puutavaralajien määrän prosenttijakauma ja kuvaamaan käytettävät lajittelumenetelmät sekä lajittelun käytännön toteutus. Lisäksi koottiin tiedot kunkin piirin tukki- ja kuitupuutavaralajien vuosivolyymistä.

Kuitupuulle oli käytävissä keskimäärin 8 eri puutavaralajia, piirikohtaisesti tavaramäärä vaihteli välillä 2 – 17. Yksittäisellä työmaalla ei kuitenkaan hyödynnetty kaikkia käytävissä olevia puutavaralajeja. Tyypillisesti päätehakkutyömailla samoin kuin harvennushakkutyömaillakin esiintyi 4 – 5 kuitupuutavaralajia. Tärkein kuitupuutavaralajeja erottava tekijä oli puulaji. Muita erottelukriteerejä olivat mm. laho, järeys ja pölkyn asema rungossa.

Kyselyyn vastanneista yli puolet arvioi erillään pidettävien puutavaralajien lukumäärän pysyvän lähitulevaisuudessa entisellään. Puutavaralajien lisääntymistä piti todennäköisenä hieman alle 15 % vastaajista (puumäärillä painotettu osuus).

2.2 Kuitupuun tehdasmittaus

Kuitupuun tehdasmittauksen nykytilan selvittämiseksi tehtiin keväällä 1999 kysely kahdellekymmenelle UPM-Kymmene Oyj:n ja Stora Enso Oyj:n kuitupuuta vastaanottavalle tehtaalle. Mukana oli sekä kemiallista että mekaanista massaa valmistavia tehtaita. Tavoitteena oli kartoittaa nykyisin käytettävät tehdasmittausmenetelmät sekä niiden tarjoamat mahdollisuudet kuitupuun laatuominaisuuksien mittaamiseen ja mittaamiselle asetetut rajoitteet. Kyselyyn vastasi 17 tehdasta.

2.3 Tulokset

2.3.1 Puunkäyttö

Kyselyyn vastanneiden tehtaiden yhteen laskettu pyöreän puun käyttö vuonna 1998 oli 19,2 milj. m³ (taulukko 1). Vastaanotetusta puumäärästä 35 % oli kuusi-kuitua, 31 % koivukuitua, 26 % mäntykuitua, 1 % haapakuitua ja 0,5 % euka-

lyptusta. Kuitupuun lisäksi vastaanotettiin 6 % kuusitukkia. Tehdasmittausta käytettiin puutavaran luovutusmittauksena 2,9 milj. m³:llä eli 15 prosentilla vastaanotetusta puumäärästä.

Massateollisuuden puunkäyttö oli vuonna 1998 yhteensä 35,9 milj. m³, josta kyselyyn vastanneiden tehtaiden osuus oli 54 %. Kyselyyn vastanneiden tehtaiden käyttämän puun puutavaralajijakauma vastasi melko hyvin massateollisuuden puutavaralajijakaumaa. Massateollisuudessa käytettiin mäntykuitupuuta 36 %, kuusikuitupuuta 29 %, lehtikuitupuuta 33 % ja kuusitukkia 2 % kokonaispuumäärästä.

TAULUKKO 1 Kyselyyn vastanneiden tehtaiden pyöreän puun käyttö.

| Vastaanotettu pyöreä puu, kaikki kuljetusmuodot | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|-------|------|----------|-------|-------|----------|
| | Kuitupu | | | | | Tukkipuu | | | Yhteensä |
| | Mänty | Kuusi | Koivu | Haapa | Euka | Mänty | Kuusi | Koivu | |
| 1 000 m ³ | 5 024 | 6 723 | 5 926 | 214 | 94 | 10 | 1 184 | 1 | 19 175 |
| % | 26,2 | 35,1 | 30,9 | 1,1 | 0,5 | 0,1 | 6,2 | 0,0 | 100 |

Pyöreän puun kuljetusmuodoista autokuljetus oli yleisin, sen osuus oli 63 %, junakuljetuksen 29 %, aluskuljetuksen 6 % ja uiton 2 % (taulukko 2).

TAULUKKO 2 Eri kuljetusmuotojen osuudet pyöreän puun kuljetuksessa.

| Vastaanotettu pyöreä puu, eri kuljetusmuodot | | | | | |
|--|--------|-------|-------|-------|----------|
| | Auto | Juna | Uitto | Alus | Yhteensä |
| 1 000 m ³ | 12 154 | 5 601 | 336 | 1 083 | 19 175 |
| % | 63,4 | 29,2 | 1,8 | 5,6 | 100 |

Haketta vastaanotettiin yhteensä 4,6 milj. m³ (taulukko 3). Hakkeesta 52 % oli mäntyhaketta, 42 % kuusihaketta, 6 % koivuhaketta ja alle 1 % haapahaketta. Massateollisuus käytti vuonna 1998 yhteensä 12,2 milj. m³ haketta. Kyselyyn vastanneiden tehtaiden käyttö oli siten 38 % koko massateollisuuden käyttömäärästä.

TAULUKKO 3 Vastaanotetun hakkeen määrä puulajeittain.

| Vastaanotettu hake | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | Mänty | Kuusi | Koivu | Haapa | Yhteensä |
| 1 000 m ³ | 2 358 | 1 919 | 282 | 1 | 4 561 |
| % | 51,7 | 42,1 | 6,2 | 0,0 | 100 |

Kyselyssä pyydettiin määrittelemään kuitupuulle tehtaan kannalta toivotut ja ei-toivotut läpimitan ja pituuden yhdistelmät (taulukko 4). Useimmat tehtaat pitivät parhaana pituutta 300 mm läpimittaluokissa 80 – 160+. Pituus 400 mm läpimittaluokissa 100 – 160+ oli lähes yhtä suosittu. Läpimittaluokka 60 oli epäsojiva kaikilla pituuksilla, samoin pituus 270 kaikissa läpimittaluokissa. Osa tehtaista ilmoitti, että pituudet hieman alle tasamitan ovat sopivimmat. Nämä tapaukset on taulukossa 4 yhdistetty tasapituuksiin.

TAULUKKO 4 Toivotut ja ei toivotut läpimitan ja pituuden yhdistelmät. Mitä suurempi lukuarvo dimensiolla on, sitä useampi tehdas piti kyseistä dimensiota toivottavana.

| lpm | Pituus | | | | | |
|-------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 270 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 60 | -4 | -1 | -6 | -7 | -7 | -5 |
| 80 | 1 | 9 | -1 | 2 | -2 | 0 |
| 100 | 0 | 9 | -2 | 4 | -3 | 2 |
| 120 | -3 | 7 | 0 | 6 | -3 | 2 |
| 140 | -3 | 9 | -2 | 6 | 1 | 2 |
| 160 | -3 | 9 | -2 | 6 | 1 | 2 |
| 160+ | -2 | 8 | -2 | 4 | 0 | 0 |

2.3.2 Perusmittauksen menetelmät

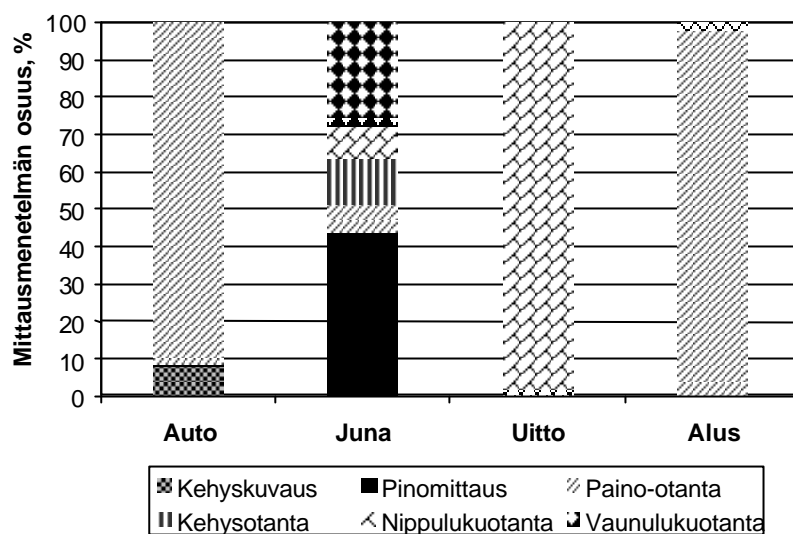
Vastausten perusteella 82 % puutavarasta mitattiin otantaan perustuvilla ja 18 % totaaliseen mittaukseen perustuvilla menetelmillä. Otantaan perustuvista menetelmistä yleisin oli paino-otanta, jonka osuus mitatusta puumäärästä oli 66 % (taulukko 5). Vaunulukuotannan osuus oli 8 % ja nippuluku- sekä kehysotannan molempien osuus oli 4 %. Totaalisen mittauksen menetelmistä käytettiin pinomittausta ajoneuvossa (14 %) ja kehyskuvamittausta (5 %).

Perusmittausmenetelmä oli varsin tiukasti sidoksissa puun kuljetusmuotoon. Autokuljetuksen yhteydessä paino-otanta oli yleisin menetelmä, sen osuus oli 91 % autokuljetuksista. Junakuljetuksessa yleisin menetelmä oli ajoneuvossa suoritettu pinomittaus, jolla mitattiin 44 % junapuusta. Uiton yhteydessä yleisin menetelmä oli nippulukuotanta, jolla mitattiin 99 % uittopuusta. Aluskuljetuksessa yleisin menetelmä oli paino-otanta, jolla mitattiin 98 % aluskuljetetusta puusta.

Vastaanotetun hakkeen mittaamisessa käytettiin lähes kaikilla tehtailla painoon perustuvaa mittausmenetelmää, jossa hakkeen kuiva-ainepitoisuus määritetään otannalla.

TAULUKKO 5 Perusmittausmenetelmät

| | Kehyskuvaus | Pinomittaus ajoneuvossa | Paino-otanta | Kehysotanta | Nippulukuotanta | Vaunulukuotanta |
|----------------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 1 000 m ³ | 959 | 2 553 | 12 571 | 685 | 833 | 15 73 |
| % | 5,0 | 13,3 | 65,6 | 3,6 | 4,3 | 8,2 |



Kuva 1. Perusmittausmenetelmien osuudet puumääristä kuljetusmuodoittain

2.3.3 Otantamittauksen menetelmät

Kyselyyn vastanneilla tehtailla mitattiin 15,7 milj. m³ pyöreää puuta otantaan perustuvilla menetelmillä. Ositetun otannan osuus oli 13 % ja osittamattoman otannan 87 % . Keskimääräiset otantasuhteet vaihtelivat välillä 1,5 – 20 % (taulukko 6). Otantaan tuli niiden mukaan laskettuna 772 000 m³, josta 53 % mitattiin upottamalla, 27 % kappaleittain ja 20 % automaattisella mitaus- ja laadutusasemalla (taulukko 7). Osalla tehtaista käytetään kesäaikaan upotusmittausta ja talvisin kappaleittain mittausta. Näissä tapauksissa mitattu puumäärä on jaettu tasan kappaleittain mittausten ja upotusmittauksen kesken. Raakkipölkyt mitataan yleensä upotusmittauksen ja totaalimittauksen yhteydessä kappaleittain. Laatu määritetään mitaus- ja laadutusasemalla visuaalisesti ja optisesti, muissa menetelmissä visuaalisesti.

TAULUKKO 6 Tehtaiden keskimääräiset otantasuhteet kuljetusmuodoittain

| Otantasuhte | Auto | Juna | Uitto | Alus |
|-------------|------|------|-------|------|
| Pienin | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 |
| Suurin | 11,5 | 20 | 7 | 10 |
| Yleisin | 2 | 1 | 1,5 | 1,5 |

TAULUKKO 7 Otantamittausmenetelmät

| | Kappaleittain mittaus | Upotusmittaus | Mittausasema |
|-------------------------|-----------------------|---------------|--------------|
| 1 000 m ³ | 208 | 413 | 152 |
| % | 26,9 | 53,4 | 19,7 |

2.3.4 Kuitupuun laatulajittelu

Kyselyyn vastanneista 17 tehtaasta 12 käytti jotakin laatulajittelumenetelmää. Yleisimmät laatutekijät olivat läpimitta, puutavaran kosteus tai tuoreus sekä metsävarastointiaika. Läpimitan käyttö laatulajittelussa tarkoitti yleensä järeiden pölkkyjen, esimerkiksi tyvileikkojen, erilläänpitoa. Kosteutta ja tuoreutta seurattiin metsä- ja tehdasvarastointiajan avulla tai painomittauksen yhteydessä likimääräisen kuutiopainon avulla.

3 MÄNTYKUITUPUUN LAJITTELUN VAIKUTUS KUIVATUORETIHEYTEEN JA KOSTEUTEEN

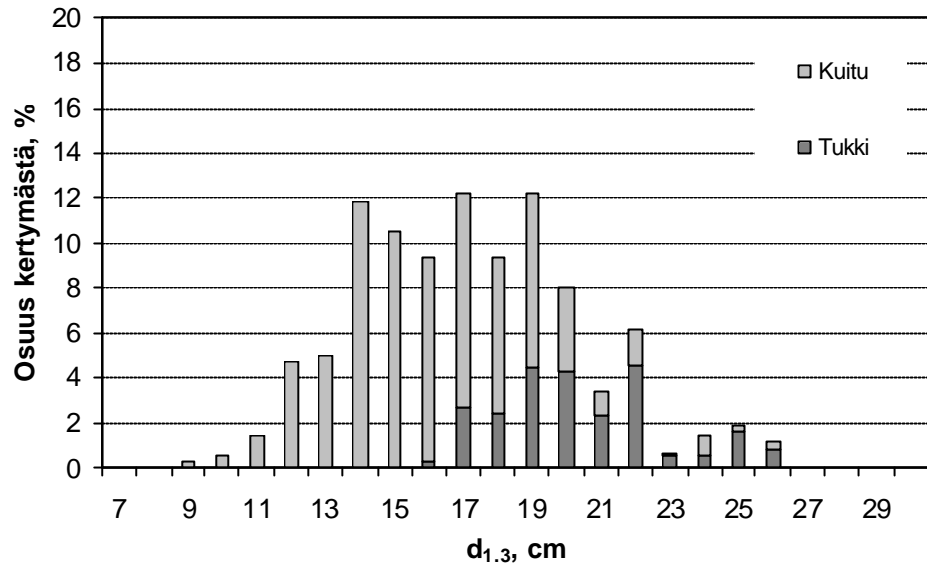
3.1 Tavoite ja toteutus

Projektin osatehtävän tavoitteena oli selvittää mäntykuitupuun kaksijakoisen lajittelun vaikutus ositteiden keskimääräiseen kuivatuoretiheyteen, kosteuteen ja sydänpuuosuuteen. Lajitteluositteet olivat tyvikuitu ja latvakuitu. Lisäksi tarkasteltiin keskimääräisen luston leveyden vaikutusta kuivatuoretiheyteen. Havainnointia verrattiin samasta leimikosta korjatun lajittelemattoman mäntykuitupuun ominaisuuksiin.

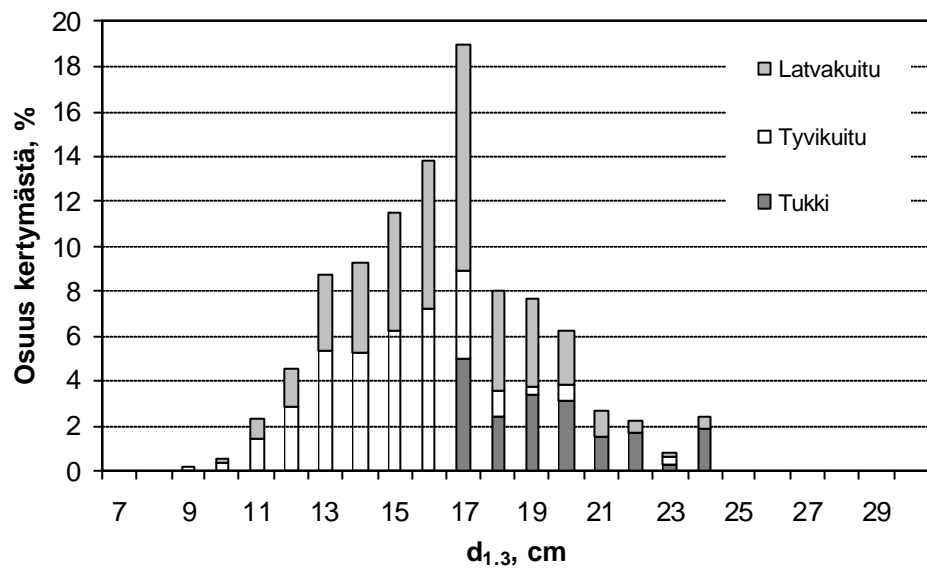
Tutkimusaineisto kerättiin "Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä"-hankkeen ohessa. Tutkimusleimikko sijaitsi Keuruun kunnassa. Se oli noin 50-vuotias tuoreen kankaan männikkö, jonka puuston lähtötiheys ennen harvennusta oli 1 100 runkoa/ha. Aineisto hakattiin kahdelta koealalta. Ensimmäisellä koealalla ei käytetty mitään kuitupuun lajittelua, toisella koealalla kuitupuu lajiteltiin tyvi- ja latvakuituun. Molemmilta koealoilta hakattiin yhteensä noin 40 m³ kuitupuuta (taulukko 8). Tyvikuitua syntyi kaikista kuiturungoista eli rungoista, joissa tyvestä laskien ensimmäinen pölkky oli kuitupuupölkky. Tyvikuitua syntyi myös niistä tukkirungoista, joiden tyvipölkky ei laatunsa puolesta kelvannut tukiksi. Latvakuituun kuuluivat sekä kuiturunkojen tyvipölkyn yläpuoliset pölkkyt että tukkirunkojen tukkiosan yläpuoliset kuitupölkkyt. Kuitupuun minimiläpimittana oli 7 cm, minimipituus 230 ja maksimipituus 550 dm. Tukkipuun minimiläpimittana oli 15 cm ja minimipituus 370 dm. Koealalla 1 tukkipuuta alkoi kertyä 16 cm:n rinnankorkeusläpimittaluokasta lähtien (kuva 2). Koealalla 2 tyvikuidun osuus kertymästä oli yli puolet läpimittaluokkaan 16 saakka. Rinnankorkeusläpimittaltaan yli 16 senttimetrin runkojen tyvestä saatiin tukkipuuta, jolloin tyvikuidun osuus supistui hyvin pieneksi (kuva 3).

TAULUKKO 8 Aineiston kuvaus ja otantasuhteet.

| Hakattu erä | Lajittelutapa | | |
|----------------------------|---------------|-------------------------|------------|
| | Ei lajittelua | Kaksijakoinen lajittelu | |
| | | Tyvikuitu | Latvakuitu |
| Tilavuus (m ³) | 36 | 17 | 22 |
| Pölkkyjä (kpl) | 696 | 233 | 505 |
| Pölkyn keskitilavuus (l) | 52 | 73 | 43 |
| Pölkkyjä otoksessa | 22 | 13 | 21 |
| Otantasuhde (%) | 3 | 6 | 4 |



Kuva 2. Puutavaralajien osuudet kertymästä rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan koealalla 1.



Kuva 3. Puutavaralajien osuudet kertymästä rungon rinnankorkeusläpimitan mukaan koealalla 2.

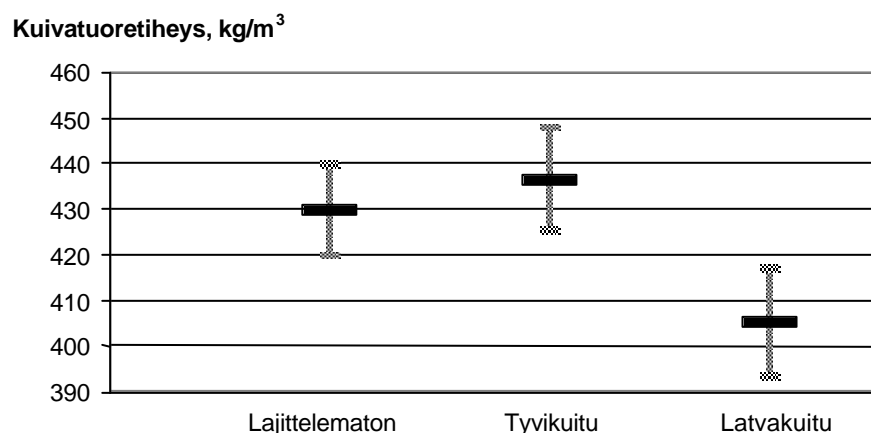
Hakkuun jälkeen kuitupuuositteista tehtiin otanta ositteiden kuivatuoretiheyden, kosteuden, sydänpuuosuuden ja luston keskimääräisen paksuuden selvittämiseksi. Tavoitteena oli saada kustakin ositteesta vähintään kolmen prosentin otos pölkkyjen lukumäärästä (taulukko 8).

Hakkuukoneen PRD-tietojen avulla valittiin otantaan kunkin ositteen läpimitta- ja pituusjakaumaa hyvin edustavat pölkyt. Otantaan valituista pölkyistä sahattiin pölkyn keskeltä oksattomasta kohdasta noin 3 cm:n paksuinen koekiekkko. Koekiekkosta mitattiin ristimitauksella kuoreton läpimitta. Sydänpuun läpimitta mitattiin yhteen suuntaan. Sydänpuu oli erotettavissa, koska puu oli jäässä aineiston keruun aikana. Koekiekkujen kaikki mittaukset tehtiin kuorettomina. Kiekoista mitattiin tuoretilavuus upotuspunnituksella ja tuoremassa sekä laskettiin vuosilustojen lukumäärä. Tämän jälkeen kiekot kuivattiin lämpökaapissa ja mitattiin kuivamassa. Mittausten perusteella kiekkoille laskettiin kuivatuoretiheys, kosteus, keskimääräinen luston paksuus ja sydänpuuosuus.

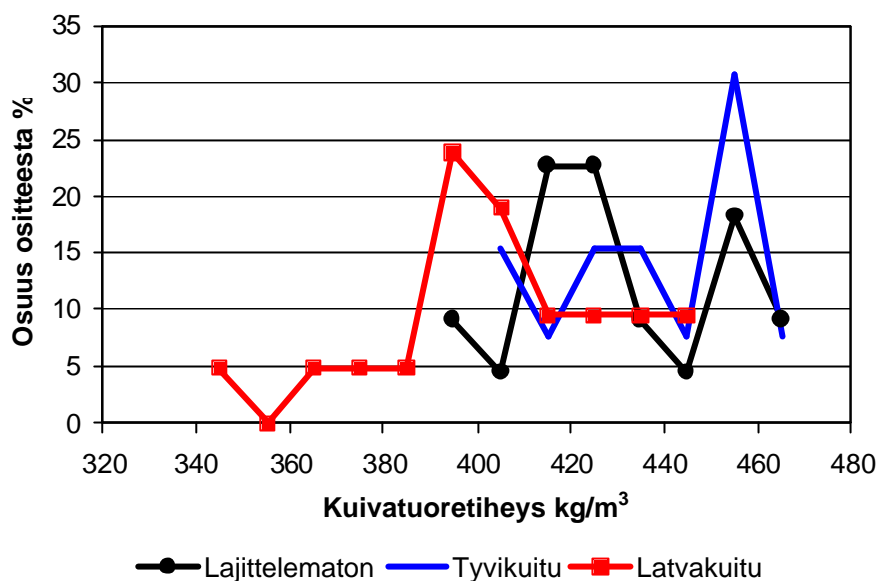
3.2 Tulokset

3.2.1 Kuivatuoretiheys

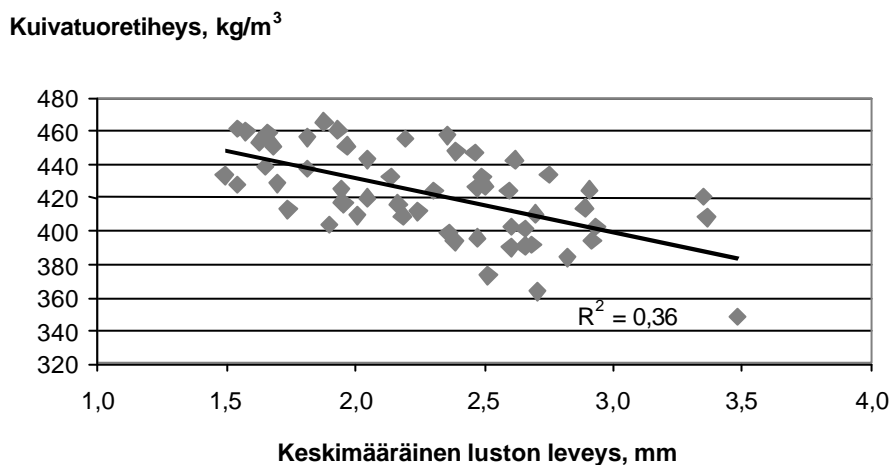
Lajittelemattoman kuitupuun kuivatuoretiheyden keskiarvo oli 430 kg/m^3 , tyvikuidun 437 kg/m^3 ja latvakuidun 405 kg/m^3 (kuva 4). Tyvikuidun ja latvakuidun kuivatuoretiheyden keskiarvojen välinen ero oli tilastollisesti selvä. Kuivatuoretiheyden keskihajonta oli lajittelemattomassa ositteessa $22,4 \text{ kg/m}^3$, tyvikuidulla $18,8 \text{ kg/m}^3$ ja latvakuidulla $26,2 \text{ kg/m}^3$. Tyvi- ja latvakuidun ositteiden sisäiset kuivatuoretiheyden jakaumat menevät osittain päällekkäin (kuva 5). Keskimääräisen luston leveyden ja kuivatuoretiheyden välistä yhteyttä tarkasteltiin koko aineistossa. Keskimääräisen luston leveyden kasvaessa kuivatuoretiheys pieneni. Kuivatuoretiheyden hajonta oli kuitenkin suuri (kuva 6).



Kuva 4. Kuitupuuositteiden kuivatuoretiheyden ositteittaiset keskiarvot ja keskiarvon 95 % luottamusvälit.



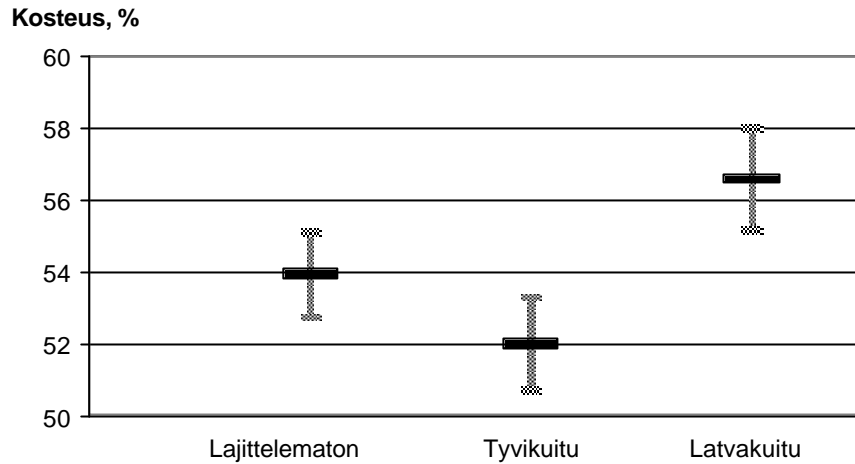
Kuva 5. Kuivatuoretiheyden jakauma eri kuitupuositteiden sisällä.



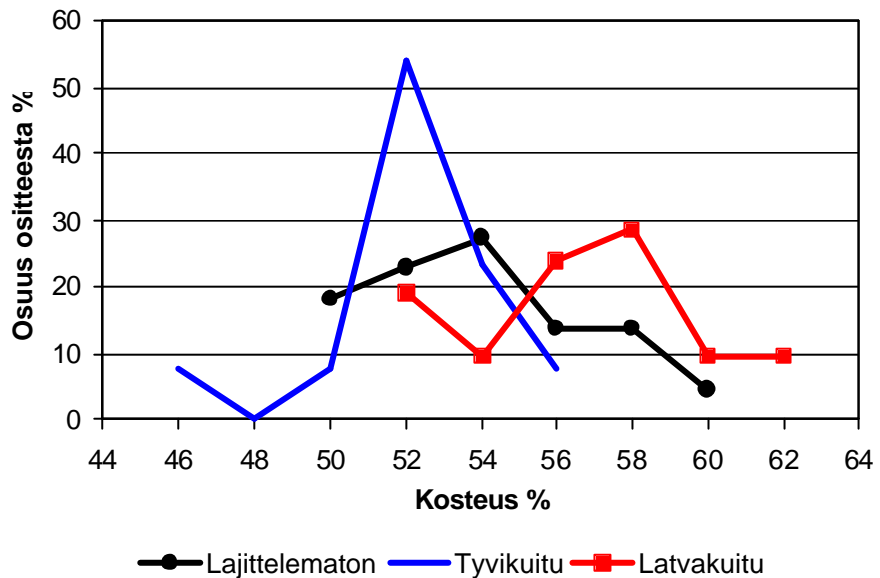
Kuva 6. Kuivatuoretiheyden riippuvuus pölkyn keskimääräisestä luston leveydestä. Kaikki kuitupuositteet yhteensä.

3.2.2 Kosteus

Lajittelemattoman kuitupuun kosteus oli keskimäärin 54 %, tyvikuidun 52 % ja latvakuidun 57 % (kuva 7). Kosteusprosentin keskijakonta oli lajittelemattomassa ositteessa 2,7 prosenttiyksikköä, tyvikuidulla 2,1 prosenttiyksikköä ja latvakuidulla 3,1 prosenttiyksikköä. Tyvi- ja latvakuidun ositteiden sisäiset kosteusprosentin jakaumat olivat jonkin verran päällekkäiset (kuva 8).



Kuva 7. Eri kuitupuuositteiden keskimääräinen kosteus ja keskiarvon 95 %:n luottamusvälit.

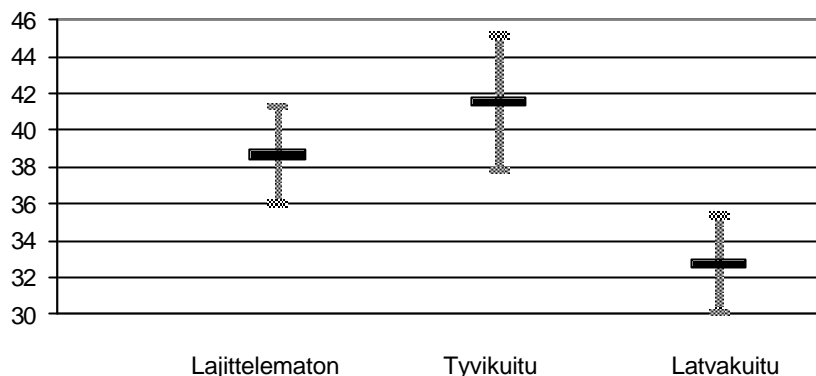


Kuva 8. Kosteusjakauma eri kuitupuuositteiden sisällä.

3.2.3 Sydänpuuosuus

Lajittelemattoman kuitupuun sydänpuuosuus oli keskimäärin 39 %, tyvikuidun 42 % ja latvakuidun 33 % (kuva 9). Sydänpuuosuuden keskihajonta oli lajittelemattomassa ositteessa 6,0, tyvikuidulla 6,1 ja latvakuidulla 5,5 prosenttiyksikköä. Ositteiden sydänpuuosuuksien erot selittävät valtaosan ositteiden välisestä keskimääräisen kosteuden erosta.

Sydänpuuosuus, %



Kuva 9. Sydänpuuosuuden keskiarvot ja keskiarvon 95 % luottamusvälit.

3.3 Päätelmät

3.3.1 Lajittelun vaikutus ominaisuuksiin

Tutkitussa mäntykuitupuun kaksijakoisessa lajittelussa tyvi- ja latvakuituun saatiin kaksi kuivatuoretiheydeltään ja kosteudeltaan eroavaa kuitupuuositetta. Kuivatuoretiheys on suoraan verrannollinen saantoon massan valmistuksessa. Mitä suurempi kuivatuoretiheys on, sitä enemmän kuutiometristä puuta saadaan massaa. Kuivatuoretiheys on yhteydessä myös puun kuituominaisuuksiin. Kuivatuoretiheyden kasvaessa kuitujen lujuusominaisuudet paranevat. Kuivatuoretiheyden laskiessa puolestaan kuitujen optiset ominaisuudet paranevat. Kuitupuun kosteudella on merkitystä massanvalmistusprosessissa.

Tutkimuksessa kuvattu mäntykuitupuun lajittelu tarjoaa mahdollisuuden ohjata raaka-ainetta sellaisiin tuotteisiin, joihin se ominaisuuksiltaan parhaiten sopii, tai sekoittaa hallitusti ominaisuuksiltaan erilaisia raaka-aineita halutun lopputuloksen saamiseksi. Esimerkiksi tyvikuitua voisi käyttää armeerausmassan raaka-aineena joko sinällään tai sahakkeeseen sekoitettuna, jolloin saataisiin repäisyjuuudeltaan hyvää massaa. Latvakuidusta valmistettua massaa voitaisiin käyttää painopaperissa, joilta vaaditaan hyvää veto- ja puhkaisulujuutta, läpinäkymättömyyttä ja sileyttä.

3.3.2 Lajittelun vaikutus eräkokoon

Tutkimusleimikossa käytetyllä kaksijakoisella lajittelutavalla 39 m³:n kuitupuukertymästä oli tyvikuitua 17 m³ (44 %) ja latvakuitua 22 m³ (56 %). Lajittelu pienensi siten eräkokoja, mutta kuitupuu jakautui ositteisiin lähes tasan. Tällä lajittelutavalla kuitupuuositteet muodostuvat järkevän kokoisiksi, mikäli leimikon kuitupuukertymä on riittävän suuri.

Aivan pienillä leimikoilla lajittelu kahteen kuitupuutavaralajiin ei liene mielekästä, koska molemmat ositteet jäävät silloin pieniksi ja niiden erillään pito aiheuttaa ongelmia korjuussa ja kaukokuljetuksessa. Lajittelun vaikutusta hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuuteen selvitetään ”Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä” -hankkeessa.

Lajittelun vaikutusta puutavaralajeittaisiin kertymiin tarkasteltiin myös toteutuneista hakkuista Metsätehon runkopankkiaineiston perusteella. Tarkasteluun valittiin Oulun eteläpuolelta leimikot, joissa pääpuulajin osuus kertymästä oli yli 70 % ja joista ei tehty pikkutukkia. Tarkastelussa käytettiin kolmijakoista lajittelua tyvikuituun, välikuituun ja latvakuituun. Tyvikuituun kuului rungon tyvestä tehty kuitupölkky, ja latvakuituun rungon viimeinen kuitupölkky, joka katkaistaan läheltä kuitupuun minimilatvaläpimittaa. Välikuituun kuuluivat kaikki tyvi- ja latvapölkyn väliltä tehtävät kuitupölkkyt.

Runkopankkiaineisto on painottunut kuusen avohakkuihin. Mäntyleimikoita on yhteensä vain 27, ja niistä harvennuksia ainoastaan kolme (taulukko 9). Mäntyleimikoiden tuloksia voidaankin pitää vain suuntaa-antavina. Tarkastelua vaikeuttaa lisäksi se, että kyse on hakkuun jälkeen tehdystä luokituksesta. Kohteet on hakattu vallitsevien käytäntöjen mukaisesti ja kuitupuuositteet muodostettu pölkyn aseman perusteella. Myös kuitupuun mittavaatimukset vaihtelevat, pölkkyjen keskimääräinen pituus oli noin 4 metriä.

TAULUKKO 9 Tarkasteluun valittujen kohteiden leimikkotiedot. Pinta-ala ja puuston ikä ovat kohteiden keskiarvoja.

| Leimikkotyyppi | Leimikoita, kpl | Kasvupaikka | Pinta-ala, ha | Puuston ikä, a |
|-----------------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|
| Avohakkuu mänty | 18 | MT, VT, CT | 1,5 | 100 |
| Siemenpuuhakkuu mänty | 6 | VT,CT | 1,7 | 105 |
| Harvennushakkuu mänty | 3 | MT | 1,5 | 58 |
| Avohakkuu kuusi | 112 | OMT, MT | 1,9 | 90 |
| Suojuspuuhakkuu kuusi | 14 | MT | 2,5 | 94 |
| Harvennushakkuu kuusi | 13 | OMT, MT | 3,4 | 78 |

Männyn avo- ja siemenpuuhakkuissa kolmijakoinen kuitupuun lajittelu tuotti leimikkotasolla hyvin vähän tyvikuitua (taulukko 10). Sen sijaan väli- ja latvakuitua saatiin kohtuullisen kokoiset ositteet. Tyvikuituositteen voisi käytännössä yhdistää välikuituun järkevän kokoisten ositteiden muodostamiseksi.

Tällöin saataisiin ominaisuuksiltaan todennäköisesti melko keskimääräinen kuituosite tyvi- ja välipölkkyistä sekä siitä ainakin jossain määrin eroava latvakuituosite.

Männyn harvennushakkuissa aikaansaatiin kolme kohtuullisen kokoista kuitupuuositetta. Kaikki tarkastellut mäntyleimikot olivat melko pieniä, mikä osaltaan vaikutti siihen, että kokonaiskuitupuukertymä ja siten myös ositteittainen kertymä leimikkoa kohti oli melko pieni.

Kaikissa kuusileimikoissa jako kolmeen eri kuitupuuositteeseen tuotti suhteellisen tasaisen jakauman eri kuitupuuositteiden välillä sekä kohtuullisen kokoiset ositteet. Tätä selittää se, että päätehakkuikäisessä kuusikossa on huomattavasti enemmän kuitupuurunkoja kuin päätehakkuikäisessä männikössä. Kuusileimikoiden kuitupuukertymät olivat suuremman leimikkokoon ja kuusen erilaisen runkomuodon vuoksi suurempia kuin mäntyleimikoiden. Kuusella puuominaisuuksien vaihtelu rungon pituussuunnassa on kuitenkin vähäisempää kuin männyllä, joten lajittelemalla ei saada aikaan yhtä suuria eroja kuin männyllä. Toisaalta, mekaanisen massanvalmistuksen kannalta puuaineen kosteus ja vaaleus ovat tärkeitä tekijöitä, joihin lajittelemalla voidaan vaikuttaa.

TAULUKKO 10 Pääpuulajin keskimääräinen leimikkokohtainen kuitupuukertymä tarkasteltavilla leimikkotyypeillä.

| Leimikkotyyppi | Pääpuulajin kuitupuukertymä, m ³ /leimikko | | | |
|---------------------------------|---|------|-------|----------|
| | ositteittain | | | yhteensä |
| | tyvi | väli | latva | |
| Avohakkuu mänty | 6,9 | 21,0 | 15,1 | 43,0 |
| Siemenpuuhakkuu mänty | 8,0 | 21,2 | 17,6 | 46,7 |
| Harvennushakkuu mänty | 13,8 | 21,5 | 13,2 | 48,4 |
| Avohakkuu kuusi | 30,7 | 44,2 | 30,0 | 104,9 |
| Suojuspuuhakkuu kuusi | 33,0 | 44,1 | 36,8 | 113,9 |
| Harvennushakkuu kuusi | 44,1 | 35,9 | 28,2 | 108,2 |

4 PUUN KOSTEUDEN MITTAAMISESTA

4.1 Tausta

Projektin yksi tavoite oli selvittää, onko olemassa pyöreän puun kosteuden mittaamiseen sopivaa mittaamenetelmää, sekä testata mahdollista menetelmää. Jo alkuvaiheessa alkoi näyttää selvältä, ettei ole olemassa valmiita menetelmiä tai kosteusmittareita, joita olisi voitu testata. Tekesin Puulaatu-teknologiaohjelmaan kuuluvissa VTT Energian hankkeissa kehitettiin ja kehitetään edelleen mittaamenetelmiä. Seuraavassa tarkastellaan puun kosteuden mittaamiseen liittyviä ongelmia ja tarpeita sekä mahdollisia ratkaisuja pääosin Lappalaisen (1999) tutkimuksen pohjalta.

4.2 Puun kosteus fysikaalisena ilmiönä

Puu on hygroskooppista eli kosteutta sitovaa ainetta. Hygroskooppisuus johtuu puun OH-ryhmistä, joita on erityisesti selluloosassa ja hemiselluloosassa. Vesi voi puussa joko sitoutua soluseinämään tai olla niin sanottuna vapaana vetenä soluontelossa. Soluseinämiin vesi sitoutuu voimakkaammin ja puun kuivuessa vesi poistuu ensin soluonteloista. Puun syiden kyllästymispisteellä tarkoitetaan suurinta mahdollista kosteutta, jossa puun soluseinämät ovat kyllästyneet vedellä mutta soluonteloissa ei ole vettä. Puun fysikaaliset ominaisuudet ovat merkittävästi erilaiset sen mukaan, onko kosteus kyllästymispisteen ylä- vai alapuolella. Tämä puolestaan vaikuttaa siihen, miten kosteus kannattaa mitata. Tuoreen runkopuun kosteus on syiden kyllästymispisteen yläpuolella.

Puussa olevan veden määrän kuvaamiseen käytetään kahta eri käsitettä: *kosteus* ja *kosteussuhde*. Kosteudella tarkoitetaan veden massan ja näytteen kokonaismassan suhdetta. Kosteussuhde määritellään puolestaan veden massan ja näytteen kuivamassan suhteeksi. Tässä raportissa on käytetty pelkästään käsitettä kosteus.

Kosteus = veden massa / (veden massa + näytteen kuivamassa)
Kosteussuhde = veden massa / näytteen kuivamassa

Suurin ongelma puuraaka-aineen kosteuden mittaamisessa on se, ettei ole mitään fysikaalista ominaisuutta, johon vaikuttaisi pelkästään puun sisältämä vesipitoisuus. Kaikissa puun kosteuden mittaamenetelmissä mittaustulokseen vaikuttavat myös muut puumateriaalin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. Puun kosteus vaihtelee leimikoittain, puulajeittain ja puittain. Lisäksi vaihtelua esiintyy yksittäisen rungon sisällä sekä säteen että pituuden suunnassa. Havupuilla pinta- ja sydänpuun kosteusero on suuri. Keskimääräisen kosteuden mittaamiseksi on mitattava erikseen sydän- ja pintapuun kosteus sekä sydänpuun osuus tai säteensuuntainen kosteusjakauma.

4.3 Vaatimukset pyöreän puun ja hakkeen kosteuden mittaamiselle

Kuitupuun kosteuden mittausta voidaan käyttää kahteen eri tarkoitukseen. Kuitupuun hinnoittelussa voitaisiin siirtyä tilavuuden mittaamisesta kuiva-ainemassan mittaamiseen, mikäli kosteus (veden massa puutavaraerässä) voitaisiin luotettavasti selvittää. Prosessin ohjaus voitaisiin tehdä mekaanisen tai kemiallisen massan valmistuksessa tarkemmin, jos raaka-aineen kosteus tunnettaisiin. Kosteus vaikuttaa esimerkiksi pölkkyjen kuoriutumiseen sekä keittokemikaalien imeytymiseen ja sitä kautta keittotulokseen.

Kuivapainoon perustuvassa luovutusmittauksessa kosteus tulisi mitata pölkkyistä tai niistä otetuista näytteistä, kuitenkin niin että mittaus olisi eräkohtaista. Prosessinohjausta varten mittaus voi tapahtua myös myöhemmässä vaiheessa, pölkkyjen haketuksen jälkeen hakekuljettimella.

Metsätehon ja Uudenmaan ruotsinkielisen ammattikorkeakoulun vuonna 1997 tekemässä kyselyssä hakkeen ja pölkkyjen kosteuden mittausjärjestelmälle asetettiin seuraavia tavoitteita:

- automaattinen tai puoliautomaattinen toiminta
- kosteuden mittaustarkkuus 1 – 2 %
- ulkoilmaolosuhteisiin sopiva
- jatkuvatoiminen, muttei välttämättä reaaliaikainen toiminta
- myös jäisen hakkeen tai pölkkyjen kosteus voitava mitata.

Kosteuden mittausmenetelmälle asetetut tavoitteet ovat vaativia. Varsinkin jäisen puun mittaaminen on hankala tehtävä. Seuraavassa käydään läpi tärkeimpiä kosteuden mittausmenetelmiä sekä niiden hyviä ja huonoja puolia.

4.4 Kosteuden mittausmenetelmiä

4.4.1 Lämpökaappimenetelmä

Lämpökaappimenetelmä on niin kutsuttu kaksivaiheinen mittausmenetelmä. Mittaustulosta ei saada vielä kosteaa puunäytettä mitattaessa, vaan näyte pitää kuivaimisen jälkeen mitata uudelleen. Lämpökaappimenetelmässä puunäyte punnitaan ensin kosteana ja uudelleen absoluuttisen kuivana lämpökaappikuivauksen jälkeen. Punnitustulosten ero ilmaisee veden massan näytteessä.

Menetelmää pidetään tarkimpana puun kosteuden mittausmenetelmänä. Sen mittaustarkkuuteen vaikuttavat kuitenkin punnitustarkkuus, mahdollinen jäännöskosteus kuivatuksen jälkeen ja muiden puussa olevien aineiden kuin veden haihtuminen.

Lämpökaappimenetelmä on tarkka kaikilla kosteusalueilla ja sitä voidaan käyttää myös jäisen puun kosteuden mittaamisessa. Sen yksi huono puoli on hitaus, kuivatusaika on 16 – 24 tuntia. Lisäksi kosteusjakaumien mittausta varten kappale on pilkottava pienempiin osiin, joiden kosteus mitataan erikseen. Menetelmää on käytetty hakkeen, purun ja puukappaleiden kosteuden mittaamiseen. (Tosin suurempien puukappaleiden kuivatukseen tarvitaan pidempi aika.)

4.4.2 Johtokyky menetelmä

Johtokyky menetelmä perustuu puun sähkönjohtokyvyn mittaamiseen. Kosteuden kasvaessa puun sähkövastus alenee. Puun syiden kyllästymispisteen yläpuolella puun sähkövastus on lähes vakio. Menetelmällä ei siten voida mitata syiden kyllästymispisteen ylittäviä kosteuksia. Menetelmää voi käyttää kosteusprosentin ollessa noin 6 – 23. Mittaustulokseen vaikuttavat huomattavasti mittaussuunta puun syihin nähden sekä lämpötila. Jäistä puuta ei voida mitata johtokyky menetelmällä. Menetelmää on sovellettu kuivatun sahatavaran kosteuden mittaamiseen.

4.4.3 Kapasitiivinen menetelmä

Kapasitiivinen mittausta perustuu siihen, että puu on dielektrinen väliaine, ja mittaamalla dielektrisyysvakio saadaan selville puun sisältämän veden määrä. Menetelmän mittausalue on noin 7 – 60 %:n kosteus, joten menetelmä sopisi periaatteessa myös tuoreen puun kosteuden mittaamiseen. Mittaustarkkuus kuitenkin huononee selvästi kosteuden ylittäessä puun syiden kyllästymispisteen. Puun dielektrisiin ominaisuuksiin vaikuttavat kosteuden lisäksi myös puun tiheys, lämpötila, syysuunta ja mittaamisessa käytettävä taajuus. Lämpötilan vaikutus on pieni verrattuna johtokyky mittaukseen. Kapasitiivisella menetelmällä ei voida mitata jäistä puuta. Se on myös hyvin herkkä näytteen pintakosteudelle. Kapasitiiviseen menetelmään perustuvia kosteusmittareita on käytetty sahatavaran ja hakkeen kosteuden mittaamisessa.

4.4.4 IR-menetelmä

Infrapunasäteilyn käyttö puun kosteuden mittaamisessa perustuu siihen, että puussa olevat vesimolekyylit absorboivat energiaa. Absorboituneen säteilyn määrä on suoraan verrannollinen näytteen sisältämän veden määrään. Puun kosteuden mittausta on tehtävä heijastusperiaatteella, siis mittaamalla näytteestä heijastuneen säteilyn määrä. Mittausta on ainetta koskematon, mutta tapahtuu vain näytteen pinta-kerroksesta. Kosteuden mittausalue on ainakin 0 – 60 %:n kosteus. Veden jäätyminen ei pitäisi merkittävästi vaikuttaa mittaukseen, mutta puunäytteen jäänyt pinta voi olla peiliheijastava, mikä vaikuttaa tulokseen. Infrapunamittausta on käytännössä sovellettu paperin ja hakkeen kosteuden mittaamiseen.

4.4.5 Radio- ja mikroaaltomenetelmä

Radio- ja mikroaaltomenetelmissä mitataan yleensä joko mikroaaltotehon absorboitumista tai resonanssitaajuuden muutosta. Puussa olevan veden määrä vaikut-

taa näiden suureiden käyttäytymiseen. IR-menetelmään verrattuna radio- ja mikroaalloilla voidaan mitata korkeampia vesipitoisuuksia ja niiden tunkeutumissyvyys näytteeseen on suurempi. Puun mittaamisessa käytetään läpäisymittausta, jossa kosteus mitataan siitä kerroksesta, jonka mikroaallot läpäisevät. Menetelmää voi käyttää, kun kosteusprosentti on 0 – 60. Jäätynyttä puuta ei voida mitata radio- tai mikroaaltojen avulla. Radio- ja mikroaaltoja on käytetty sahatavaran ja hakkeen kosteuden mittaamiseen.

4.4.6 Gamma- ja röntgensäteilymenetelmät

Gamma- ja röntgensäteilymenetelmät perustuvat säteilyn vaimenemisen mittaamiseen säteilyn läpäistessä kohteen. Veden lineaarinen vaimennuskerroin on suurempi kuin puun, ja siten veden määrä on selvitetävissä. Mittaus ei ole riippuvainen veden olomuodosta, joten jäistäkin puuta voidaan mitata. Kosteusalueella ei ole rajoituksia. Puun tiheys vaikuttaa säteilyn vaimenemiseen samoin kuin kosteus. Tällöin tarkkoihin tuloksiin pääseminen edellyttääkin, että tunnetaan mitattavan kappaleen tiheysjakauma. Menetelmä on siis käytännössä kaksivaiheinen.

Röntgentomografiaa on käytetty puun sisäisten vikojen analyysissä. Gammasäteilymenetelmää on käytetty muun muassa lastulevyn, vanerin ja sahatavaran tiheysjakaumien määrittämisessä. Valmiita kosteuden mittauslaitteistoja ei ole olemassa, mutta tarvittavia komponentteja on myynnissä. VTT Energia kehittää parhaillaan hakkeen on line -kosteusmittausta, joka perustuu gammasäteilyyn.

4.4.7 Neutronimenetelmä

Neutronimenetelmä perustuu materiaalin vetypitoisuuden mittaamiseen. Menetelmän periaate puumateriaalin mittaamisessa on, että puun kosteuden kasvaessa suurempi osa neutronilähteestä emittoituneista nopeista neutroneista muuttuu termisiksi neutroneiksi, jotka pystytään havaitsemaan säteilydetektorilla. Neutronimenetelmän kosteuden mittausalue ei periaatteessa ole rajoitettu, mutta paras tarkkuus saavutetaan 20 – 40 %:n kosteudessa. Menetelmässä tulee huomioida itse puuaineksessa olevan vedyn määrä ja taustasäteily. Mittausaika on menetelmällä yleensä melko pitkä, muutamia minutteja. Menetelmällä voidaan mitata myös jäistä puuta ja sitä on sovellettu sementti- ja lasiteollisuudessa. Myös hakkeen kosteuden mittaamiseen on kehitetty sovelluksia.

4.4.8 NMR-tekniikka

Magneettikuvauksen perustana on ydinmagneettinen resonanssi-ilmiö eli NMR. Magneettikuvauksessa ei käytetä ionisoivaa säteilyä, kuten perinteisessä röntgen-diagnostiikassa. NMR-tekniikalla voidaan määrittää vapaan veden määrä puussa, joten kosteuden mittausalueen alaraja on puun syiden kyllästymispisteessä eli noin 23 %:n kosteudessa. Menetelmällä ei voida mitata jäätynyttä puuta. NMR-tekniikka on kallista muihin kosteuden mittaamenetelmiin verrattuna.

4.4.9 Impedanssispektroskopia

Dielektrisillä mittaamenetelmillä voidaan mitata kosteutta myös puun syiden kyllästymispistettä suuremmilla kosteuksilla. Kyllästymispisteen yläpuolisilla kostearvoilla näiden kosteusmittareiden tarkkuus heikkenee muun muassa siitä syystä, että tällöin näytteen kosteusjakauma on yleensä suuri ja yhdellä taajuudella toimiva laite reagoi voimakkaasti puun pinnan kosteudenmuutoksiin. Impedanssispektroskopian perusero kapasitiiviseen menetelmään on, että mitataan näytteen taajuusspektri ja mitattava suure on impedanssi eikä kapasitanssi. Mittausalue on 7 – 60 %:n kosteus, sama kuin kapasitiivisella menetelmällä. Etuna on, että mitatun taajuusspektrin mallinnuksen avulla saadaan tietoa kosteudesta eri syvyyksiltä puussa. Menetelmä ei sovi jäisen puun kosteuden mittaamiseen.

Menetelmän käyttöä puun kosteuden mittaamiseen on tutkittu vasta muutamien vuosien ajan, eikä kaupallisia mittareita ole vielä saatavilla. VTT Energia kehittää menetelmästä parhaillaan käytännön mittaussovellusta.

4.5 Soveltamiskelpoisimmat mittaamenetelmät

Edellä kuvattuja kosteudenmittaamenetelmiä tarkastellessa reaaliaikainen tai jatkuvatoiminen mittaaminen voidaan toteuttaa kaikilla muilla paitsi lämpökaappimenetelmällä. Tuoreen puun kosteus on syiden kyllästymispistettä korkeammalla, jolloin johtokykyymittaus ei tule kysymykseen. Kapasitiivisen menetelmän tarkkuus huononee merkittävästi syiden kyllästymispisteen yläpuolella. NMR-menetelmä puolestaan on liian kallis.

Sulan puuaineen mittaamiseen soveltuvia menetelmiä ovat IR-menetelmä, radio- ja mikroaaltomenetelmä, gamma- ja röntgensäteily, neutronimenetelmä ja impedanssispektroskopia. Näistä IR-mittaus on erittäin herkkä näytteen pintakosteudelle.

Ideaalin hakkeen tai puutavarapölkkyjen kosteudenmittaamenetelmän tulisi kyetä mittaamaan myös jäätynyttä materiaalia. Tällöin jäljelle jää vain gamma- ja röntgensäteilyn käyttö sekä neutronitekniikka. Lappalaisen (1999) mukaan pölkkyjen on-line-kosteusmittaus olisi todennäköisesti parhaiten toteutettavissa neutronitekniikalla, johon on yhdistetty pölkkyjen painon mittaaminen. Neutronimittausta on kaupallisesti sovellettu hakkeen on-line-mittauksessa muttei pölkkyjen mittaauksessa. Myös gammasäteily on mahdollinen; sen hyviä puolia neutronimenetelmään verrattuna ovat lyhyempi mittausaika ja edullisemmat valmistuskustannukset.

5 KUIVAMASSAAN PERUSTUVA KUITUPUUN LUOVUTUSMITTAUS

5.1 Tausta

Puutavaran määrää on Suomessa perinteisesti mitattu tilavuuden avulla. Tukkipuun mittauksessa tilavuus on luonteva suure, mitataanhan lopputuotteetkin tilavuuden avulla. Kuitupuun mittauksessa puuerän tilavuutta mielekkäämpää olisi selvittää erän kuiva-ainemassa, koska lopputuotteenkin määrä mitataan kuivatonneina. Sahahakkeen ja purun mittauksessa käytetään kuiva-ainemittausta. Siinä massa mitataan tuoretonneina, minkä jälkeen otetaan näytteet, joista määritetään kuiva-ainepitoisuus ja saadaan siten selville kuivamassa. Kuitupuuerän massa on helposti punnittavissa, mutta kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen on huomattavasti hankalampaa kuin hakkeesta ja purusta.

Suomessa kuivapainomittausta on tutkittu viimeksi 1970-luvulla. Tuolloin todettiin, että riittävään tarkkuuteen pääsemiseksi tarvitaan melko työläs ja aikaa vievä näytteenotto-prosessi. Lisäksi systemaattisten virheiden mahdollisuus jäi näissä tutkimuksissa epäselväksi. Kuivapainomittausta ei ole kokeiltu käytännön vaatimassa laajuudessa. Ruotsissa sitä on tutkittu ja kokeiltu laajamittaisesti 1980-luvun lopussa. Seuraava kuivapainomittauksen tarkastelu perustuikin ruotsalaisiin tutkimuksiin. Käytännön mittausten menetelmänä kuivamassan mittausta ei kuitenkaan Ruotsissa sovelleta. Kuivamassan mittausta on tutkittu ja kokeiltu myös Norjassa.

Pohjois-Amerikassa ja Kanadassa massan mittausta on vallitseva kuitupuun mittausten menetelmä. Käytössä ovat sekä tuoremassaan että kuivamassaan perustuvat menetelmät. Tuoremassaa käytettäessä maksuperusteena on puuerän tuoremassa ja mahdollisesti vuodenajan mukaan porrastetut hinnastot. Kuivamassaa käytettäessä laskennallinen kuiva-ainemassa saadaan tuoremassasta joko keskimääräisten muuntokertoimien avulla tai purunäytteistä saatavien muuntokertoimien perusteella. Purunäytteiden otanta on varsin ylimalkaista, otantasuhde on 0,1 – 0,2 % pölkkyjen lukumäärästä. Suurin osa puusta hankitaan valtion omistamista metsistä, joten eräkoot ovat hyvin suuria. Mittausmenetelmät ovat suurpiirteisiä, mutta suurissa erissä päästään menetelmän käyttäjien mukaan keskimäärin hyväksyttävään mittaustulokseen.

5.2 Kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu yksittäisen pölkyn sisällä

Kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu aiheutuu kosteuden eli puussa olevan veden määrän vaihtelusta. Yksittäisen pölkyn kuiva-ainepitoisuus vaihtelee vuodenajan mukaan sekä samanakin vuodenaikana pölkyn säteen suunnassa ja pituussuunnassa. Säteensuuntainen vaihtelu selittyy suurelta osin sydänpuun ja pintapuun kuiva-ainepitoisuuden erolla. Pituussuuntainen vaihtelu puolestaan liittyy osin rungon ominaisuuksiin, osin pölkyn kuivumiseen. Kesäaikana pölkyn sisäinen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee kuivumisen tuloksena siten, että pölkkyjen päiden kuiva-ainepitoisuus on kaikkein suurin ja se pienenee pölkyn keskikohtaa kohden.

Björklundin (1988) tutkimuksen mukaan kolmemetrissä kuitupuupölkkyssä ensimmäisen 25 cm matkalla kuiva-ainepitoisuus pieneni mänyllä noin 10 prosenttiyksikköä verrattuna pölkyn pään kuiva-ainepitoisuuteen. Kuusella ja koivulla muutos oli pienempi, kuusella noin 5 ja koivulla noin 7 prosenttiyksikköä. Pölkyn keskelle mentäessä kuiva-ainepitoisuus pienenee tästä vain noin 2 prosenttiyksikköä kaikilla kolmella puulajilla. Kesällä tyvi- ja latvapään kuiva-ainepitoisuuksissa ei ole juurikaan eroa. Talvella kuiva-ainepitoisuudessa ei esiinny vastaavaa gradienttia pölkyn päästä keskelle mentäessä. Mänyllä ja kuusella kuiva-ainepitoisuus vaihtelee pölkyn pituussuunnassa siten, että tyvipään kuiva-ainepitoisuus on n. 2 prosenttiyksikköä suurempi tyvipäässä kuin latvapäässä ja muutos tyvipäästä latvaan mentäessä tapahtuu lähes lineaarisesti. Koivulla on talvellakin pieni ero aivan pölkyn päiden kuiva-ainepitoisuudessa verrattuna pölkyn sisäosiin, sen sijaan pölkyn sisällä kuiva-ainepitoisuus pysyy lähes vakiona.

Pölkyn sisäisellä kuiva-ainepitoisuuden vaihtelulla on suuri merkitys pyrittäessä saamaan pölkystä edustava näyte kuiva-ainepitoisuuden määrittystä varten. Säteensuuntaisen kuiva-ainepitoisuuden vaihtelun hallitsemiseksi on otettava näyte joko pölkyn koko poikkileikkauspinnasta tai sektorinmuotoisesti, jolloin sydänpuun osuus on sama kuin koko poikkileikkauksessa.

5.3 Kuiva-ainemassan mittausprosessi

5.3.1 Yleiskuvaus

Kuiva-ainemassan mittauksessa selvitetään ensimmäiseksi puutavaraerän tuoremassa. Autokuljetuksen yhteydessä auto punnitaan täytenä ja tyhjänä, jolloin saadaan erotukseksi kuorman tuoremassa. Tuoremassasta päästään kuivamassaan selvittämällä erän sisältämän veden massa ja laskemalla muuntokerroin tuoremassasta kuivamassaksi; kyseessä on siis puutavaraerän keskimääräisen kosteuden selvittäminen.

Koko erän keskimääräistä kosteutta on käytännössä lähes mahdotonta mitata, vaan joudutaan turvautumaan otokseen. Otoksesta selvitetään yksittäisten pölkkyjen keskimääräinen kosteus ja niiden perusteella edelleen koko erän keskimääräinen kosteus. Esimerkiksi autokuormassa on useita satoja pölkkyjä ja kosteus vaihtelee yksittäisen pölkyn sisällä sekä pölkkyjen välillä. Keskeiseksi ongelmaksi kosteuden mittaamisessa muodostuukin, miten erästä saadaan valittua kosteuden suhteen edustava otos käytännössä mahdollisella tavalla.

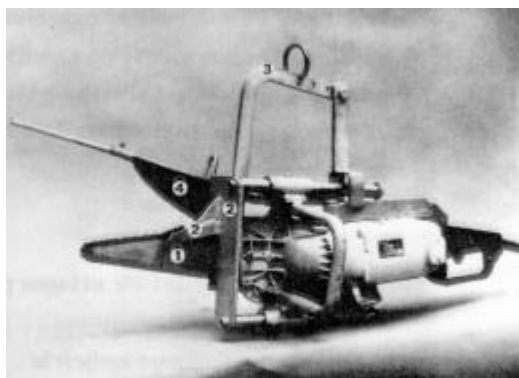
Talviaikana menetelmän käyttöä hankaloittaa kuorman sisältämä lumi ja jää. Oikean tuloksen varmistamiseksi kuiva-ainenäytteen tulisi sisältää lunta ja jäätä samassa suhteessa kuin koko kuorman. Muutoin lumen ja jään massa on arvioitava ja vähennettävä kuorman kokonaisuudesta.

5.3.2 Näytteenottomenetelmät

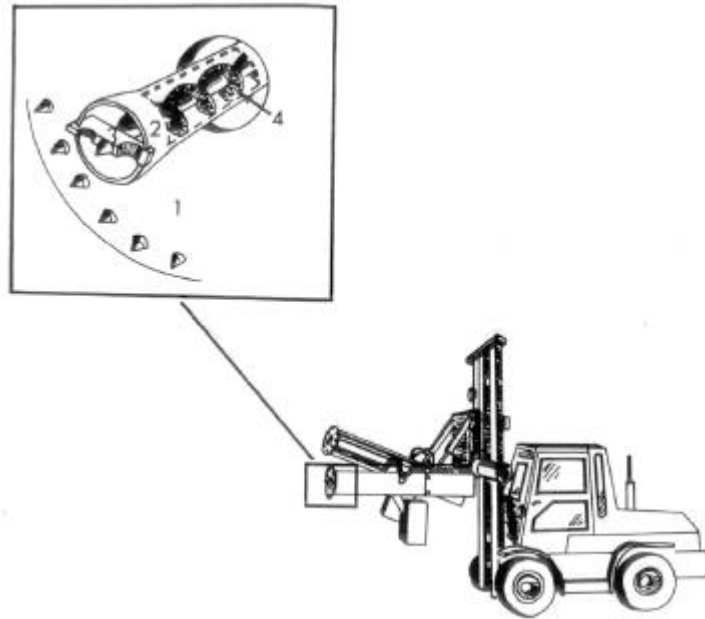
Björklundin tutkimuksessa puutavarapinon kosteuden mittaamisessa käytettävät näytteenottomenetelmät jaetaan ainetta rikkomattomiin ja ainetta rikkoviin menetelmiin. Ainetta rikkomattomilla menetelmillä tarkoitetaan mittaamenetelmiä, joilla voitaisiin suoraan määrittää koko puutavarapinon kosteus esimerkiksi sähköjohtavuuden tai radioaktiivisen säteilyn perusteella. Koko pinon kosteuden mittaaminen riittävällä tarkkuudella todetaan mahdottomaksi suuren pölkkyjen välisen ja sisäisen kosteuden hajonnan takia.

Ainetta rikkovista näytteenottomenetelmistä esitellään koekiekkojen sahaus, purunkeräimellä varustetun moottorisahan käyttö sekä ketjujyrsimen ja poran käyttö purunäytteen otossa. Eri tavalla otetuista näytteistä voidaan määrittää kosteus joko kosteusmittareilla tai perustuen näytteen kuivaamiseen joko pikamenetelmillä tai lämpökaapissa.

Ketjujyrsin (kuva 10) on moottorisahaa muistuttava laite, jonka laipan muoto on kiilamainen. Laitteella voidaan tehdä pölkyn kylkeen ytimeen asti ulottuva sektorinmuotoinen pistosahaus ja kerätä puru talteen. Sektorinmuotoinen näyte on edustava, koska tällöin näytteeseen saadaan pinta- ja sydänpuuta oikeissa suhteissa. Tutkimuksessa poranäyte otettiin puutavarapinosta halkaisijaltaan 6 senttimetrin paksuisella poralla (kuva 11). Suurin mahdollinen porausvyvyys oli 1,5 metriä.



Kuva 10. Ketjujyrsin. (Björklund 1988.)

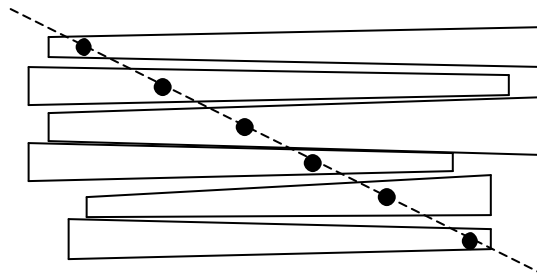


Kuva 11. Kaaviokuva trukkiin asennetusta porauslaitteistosta. Kuvan laitteessa kaksi poraa (Björklund 1988).

5.3.3 Mittauksen tarkkuus

Björklundin tutkimuksessa kuiva-ainemassan mittaamista tutkittiin kuudella mitta-
asemalla Etelä-Ruotsista Pohjois-Ruotsiin. Tutkimuksessa keskityttiin kuivamas-
san määritykseen purunäytteiden perusteella. Purunäytteiden kosteuden mittaami-
sessa käytettiin lämpökaappimenetelmää, koska pienten näyte-erien kosteus piti
määrittää tarkasti, jotta päästiin mahdollisimman tarkasti erän keskimääräiseen
kosteuteen. Kuiva-ainepitoisuuden vertailutieto saatiin koekiekkujen perusteella.

Tutkimuksessa otettiin 750 kuormasta yhteensä noin 30 000 näytettä. Käytössä
oli kaksi näytteenottomenetelmää: ketjujyrsin ja pora. Yksi näyte käsitti joko 10
pistoa ketjujyrsimellä tai 1,5 metrin poraamisen halkaisijaltaan kuuden senttimetrin
poralla. Ketjujyrsintä käytettäessä näytteet otettiin kustakin nipusta nipun diago-
naalilta (kuva 12). Pora käytettäessä näyte otettiin pinon päältä tai sivusta ja
porauskohta valittiin osittain subjektiivisesti.



Kuva 12. Näytteenotto nipun diagonaalin mukaan ketjujyrsimellä.

Ketjujyrsimellä työskenneltäessä systemaattisten virheiden riski näytteenotossa on suurempi kuin poralla. Laitteen oikeaoppinen käyttö vaatii harjaannusta, jotta leikkusyvyyt ja -suunta pysyvät oikeina. Lisäksi järeiden pölkkyjen osuus pyrkii kasvamaan liian suureksi, kun näyte otetaan ketjujyrsimellä.

Molemmissa menetelmissä näytteen kuivuminen kitkalämmön vaikutuksesta saattaa aiheuttaa systemaattista virhettä. Ketjujyrsimen puru on hienojakoista, minkä vuoksi se kuivuu herkemmin. Poranäytteissä suurin riski liittyy poran kuntoon. Jos pora on jostain syystä tylsä, lämpötila voi nousta huomattavasti porauksen aikana ja aiheuttaa näytteen kuivumista. Myös lumi ja jää aiheuttavat ongelmia näytteenottoon. Ketjujyrsintä käytettäessä lumen ja jään vaikutus kuorman kosteuteen tulee aliarvioiduksi. Poraa käytettäessä taas kuorman sisäisen löysän lumen vaikutus tulee yliarvioitua. Sen sijaan jään vaikutus tulee paremmin huomioitua poranäytteessä.

Tutkimuksessa arvioitiin koko aineiston perusteella kuiva-ainepitoisuuden määrittämisen keskivirhe erikokoisille yksiköille erilaista otantatiheyttä käyttäen (taulukko 11). Myös aikaisemmissa vastaavissa tutkimuksissa on päädytty saman suuruusluokan keskivirheisiin.

TAULUKKO 11 Suhteellinen keskivirhe kuiva-ainemassan määrittämisessä. Näytteellä tarkoitetaan joko 1,5 metrin porausta kuuden senttimetrin poralla tai kymmenen ketjujyrsinnäytteen yhdistelmää. Yksi kuorma koostuu viidestä nipusta.

| Puutavaralaji | 1 nippu 1 näyte | 1 kuorma 1 näyte | 1 kuorma 3 näytettä | 4 kuormaa 2 näytettä | 100 kuormaa 10 näytettä |
|-----------------|--------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| mänty tai kuusi | 4,5 % | 5,5 % | 2,6 % | 5,7 % | 3,1 % |
| havu | 5,5 % | 6,5 % | 3,2 % | | |
| koivu | 2,1 % | 2,5 % | 1,2 % | 2,5 % | 1,7 % |

Keskivirhe vaihteli sekä ketjujyrsimellä että poralla otettuja näytteitä käytettäessä, eikä kumpikaan menetelmä ollut yksiselitteisesti tarkempi. Koivukuidun kuiva-ainepitoisuuden keskivirhe vaihteli vuodenajan mukaan ollen suurimmillaan syksyllä. Havupuilla keskivirhe pysyi läpi vuoden suhteellisen vakiona otettaessa näyte jokaisesta nipusta. Havupuilla keskivirhe pieneni etelästä pohjoiseen mentäessä. Pölkkyjen keskiläpimitta vaikutti keskivirheeseen: keskiläpimitan kasvaessa näytteeseen tuli vähemmän pölkkyjä ja keskivirhe kasvoi.

Tutkimuksessa todetaan, että kuiva-ainemassan määrittäminen onnistuu pienemmällä keskivirheellä kuin tilavuuden mittaus pinomittauksena ajoneuvossa. Ero oli selvä varsinkin vapaapituudessa kuitupuussa. Kuitupuun pinomittaus ajoneuvossa oli tutkimuksen tekovaiheessa ja on edelleenkin valtamenetelmä kuitupuun tehdasmittauksessa Ruotsissa.

5.3.4 Menetelmän soveltaminen

Björklundin tutkimuksessa tarkasteltiin menetelmän tarkkuuden lisäksi myös menetelmän soveltamista käytäntöön. Kokonaismassan mittaaminen ei aiheuta ongelmia, koska mitta-asetus on useimmiten käytössä siltavaaka. Mikäli yhdessä kuormassa on useamman eri toimittajan puita, joudutaan joko punnitsemaan kuorma vaiheittain tai punnitsemaan kuorman osat esimerkiksi kurottajavaa'alla erien massojen selvittämiseksi. Tällöin myös kuiva-ainenäytteet on otettava eräkohtaisesti.

Kuiva-ainenäytteen otto ja käsittely sen sijaan vaatii suurehkoja laitehankintoja ja erilaisia järjestelyjä näytteenottomenetelmän mukaan. Ketjujyrsimen etuja poraan verrattuna ovat edullinen hankintahinta ja parempi toimintavarmuus; edullisen hinnan takia laitteita voi olla myös varalla. Muita etuja ovat hieman nopeampi näytteenotto-prosessi ja pienemmän näytetilavuuden ansiosta helpompi näytteen käsittely. Koko ketjujyrsinnäyte voidaan kuivata, kun poranäytteestä otetaan sekoituksen jälkeen vain osa kuivattavaksi. Ketjujyrsimen haittoja puolestaan ovat ihmistyövaltainen näytteenotto, jota ei ole mahdollista automatisoida. Ketjujyrsimen käyttö puutavaraniipun diagonaaliseen suuntaan (kuva 12) vaatii sopivan porarakennelman mitta-asetuksen yhteyteen. Lisäksi ketjujyrsimen käyttö vaatii harjaannusta virheettömän näytteen saamiseksi. Laitteen käsittely on työturvallisuudeltaan verrattavissa moottorisahaan. Poranäytteenoton etuja ovat objektiivisuus, parempi työturvallisuus ja mahdollisuus automatisoida menetelmä.

Molempien näytteenottotapojen yhteydessä purunäytteiden kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen lämpökaappimenetelmällä on työlästä ja aikaa vievää. Näytteiden tuoremassa on punnittava, minkä jälkeen ne kuivataan (24 tuntia) lämpökaapissa absoluuttisen kuiviksi ja kuivamassa punnitaan. Tulokseksi saadaan näytteen kosteus ja kuiva-ainepitoisuus. Näytteitä on käsiteltävä niin, etteivät ne pääse kuivahtamaan ennen kuivamassan punnitsemista, sillä muutoin kosteus aliarvioidaan ja kuiva-ainepitoisuus yliarvioidaan.

5.4 Mallien käyttö kuitupuun kuivatuoretiheyden arvioinnissa

Kuitupuuerän kuivamassa voidaan selvittää paitsi punnitsemalla tuoremassa ja määrittämällä kosteus myös mittaamalla tilavuus ja selvittämällä kuivatuoretiheys. Kuivatuoretiheyttä on tutkimuksissa pyritty mallintamaan eri tekijöiden perusteella.

Puun kuivatuoretiheys vaihtelee eri leimikoiden välillä mm. leimikon iän, leimikkotyyppin, kasvunopeuden ja maantieteellisen sijainnin mukaan. Leimikon sisällä runkojen välinen kuivatuoretiheyden vaihtelu on suurempaa kuin leimikoiden välillä. Myös runkojen välistä vaihtelua selittää kasvunopeus ja ikä. Lisäksi vaihteluun vaikuttaa mm. oksa- ja reaktiopuun määrä.

Mikäli mallien avulla arvioitua kuivatuoretiheyttä käytettäisiin puutavaran mittaamisessa, kyseessä olisi puutavarapinojen tai -nippujen keskimääräisen kuivatuoretiheyden arviointi. Nylinderin (1993) tutkimuksessa mallinnettiin lajiteltujen havu- ja kuusikuituerien kuivatuoretiheyttä. Kuusella oli neljä eri lajitteluluokkaa: 1) nopeakasvuinen puu 1. tai 2. harvennuksesta 2) hidaskasvuinen puu 1. tai 2. harvennuksesta 3) keskimääräisesti kasvanut puu päätehakuusta 4) keskimääräisesti kasvanut puu päätehakuusta ylänköalueilta. Havukuidulla oli viisi eri luokkaa: 1) tuore mänty 1. tai 2. harvennuksesta 2) tuore mänty päätehakuista 3) varastolahoa sisältävä mänty päätehakuista tai harvennuksista 4) puhdas varastolahoa sisältävä kuusi päätehakuista tai harvennuksista 5) paljon metsälahoa kuusta sisältävä sekoitus mäntyä ja kuusta.

Hakkuutapa, boniteetti ja korkeus merenpinnasta selittivät vain osan kuusikuidun kuivatuoretiheyden vaihtelusta. Sen sijaan vuosiluston leveys ja maantieteellinen sijainti etelä-pohjoissuunnassa selittivät suuren osan vaihtelusta. Tutkimuksessa muodostetuissa yhtälöissä olivat selittävinä tekijöinä vuosiluston keskimääräinen leveys ja maantieteellinen sijainti etelä- pohjoissuunnassa. Yhtälön selitysaste koko nipun keskimääräistä tiheyttä laskettaessa oli kuusikuitupuulla noin 80 %. Eri lajitteluluokkien tiheyttä laskettaessa selitysaste vaihteli välillä 23 – 94 %.

Havukuidun tiheyttä mallitettaessa tehtiin yhtälöt erikseen männylle ja kuuselle. Näissä yhtälöissä oli em. selittäjien lisäksi mukana metsälahon ja varastolahon puun osuus. Männyllä yhtälön selitysaste koko aineistossa oli 31 %. Eri lajitteluluokilla selitysaste vaihteli välillä 42 – 57 %.

Hakkilan (1979) tutkimuksessa runkojen keskimääräisen kuivatuoretiheyden vaihtelua kuvattiin regressioyhtälöllä, jonka selittäviä tekijöitä olivat puun koko, ikä ja kasvunopeus. Kuivatuoretiheyden vaihtelusta voitiin näillä muuttujilla selittää männyllä 39 %, kuusella 65 % ja koivulla 40 %.

Edellä mainituissa tutkimuksissa näytteet oli otettu tuoreista puutavaraeristä. Arvioitaessa kuivatuoretiheyttä tehtaalla siihen vaikuttaa lisäksi se, miten paljon puu on kuivunut kaatotuoreeseen puuhun verrattuna. Puun kaatoajankohta on yleensä tallessa korjuun tietojärjestelmissä, joten metsävarastoinnin ja kuljetuksen aikana tapahtuva kuivuminen olisi todennäköisesti hallittavissa. Kuitenkin kaatotuoreenkin puun kuivatuoretiheyden arvioiminen mallien perusteella on siinä määrin epävarmaa, ettei sen avulla luotettavasti voida muuntaa puutavaraerän tilavuutta kuiva-ainemassaksi.

5.5 Päätelmät

Björklundin tutkimus on tehty hieman yli kymmenen vuotta sitten. Tutkimus antaa kuitenkin hyvän kuvan näytteiden ottoon perustuvasta kuiva-ainemassan mittaamisen menetelmästä. Kuitupuun kulku metsästä tehtaalle on kymmenessä vuodessa nopeutunut, ja pitkään tienvarressa kuivuneet puutavaraerät ovat jääneet pois. Näin ollen kuiva-ainepitoisuuden vaihtelu on pienentynyt. Tämä todennäköisesti parantaisi jonkin verran kuiva-ainemassan mittaustarkkuutta tutkimuksessa käytetyillä otantamäärillä.

Tutkimuksessa päästiin puutavaranmittauslain edellyttämään alle neljän prosentin tarkkuuteen melko massiivisen otannan kautta. Pienissä erissä jokaisesta kuormasta on otettava yksi tai useampi kuiva-ainenäyte. Näytteiden yhteismäärä riippuu vastaanotettujen autokuormien määrästä. Tyypillinen tehtaan vastaanottomäärä voi olla 100 – 150 autokuormaa päivässä, mistä seuraa yli 200 kuiva-ainenäytettä päivässä. Näin suuret näytemäärät edellyttävät sujuvasti toimivaa näytteenottoa. Tällainen voisi olla mitta-asemalle asennettu lähes automaattisesti toimiva porauslaitteisto, jolla purunäytteet otettaisiin auton punnituksen yhteydessä. Näytteiden kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen lämpökaappimenetelmällä ei liene realistinen vaihtoehto suurilla näytemäärillä. Kuiva-ainepitoisuus saataisiin punnitsemalla näytteen tuore massa ja mittaamalla näytteen kosteus jollakin nopealla nykyaikaisella kosteusmittarilla. Tällainen voisi olla esimerkiksi gammasäteilyyn tai neutroniteknikkaan perustuva kosteusmittari. Yhdistämällä poraus- ja näytteenkäsittelylaitteisto siten, että purunäyte siirrettäisiin suoraan poralta analyysiin, saataisiin sujuvasti ja lähes viiveettä toimiva kuiva-ainemassan mittaussysteemi.

Vaihtoehtoisesti voitaisiin kehittää automaattisen mittaus- ja laadutusaseman kaltaisen kosteuden mittausasema, jolla gamma-, röntgen- tai neutronimenetelmää käyttäen mitattaisiin otoksen pölkkyjen keskimääräiset kosteudet, ja koko erän kosteus ja kuivamassa laskettaisiin otoksen perusteella. Yksittäisen pölkyn kosteuden mittaamisessa lupaavaksi osoittautunutta impedanssispektroskopiaa voitaisiin ehkä hyödyntää mittaamalla sen avulla useita näytteitä autokuormassa olevista pölkkyistä. Näin tulokseksi saataisiin koko kuorman tai nipun kosteus ja tuorepainon punnituksen myötä edelleen kuiva-ainemassa. Näytteiden mittaus puutavara-kuorman useasta osasta voisi sopivalla tekniikalla olla automatisoitavissa. Tosin impedanssispektroskopiolla ei voida mitata jäistä puuta.

Kuivatuoretiheyden mallintaminen apumuuttujien, kuten puulajin, leimikon sijainnin ja kasvunopeuden perusteella ei tuota riittävää tarkkuutta puutavaraerän tilavuuden muuttamiseksi kuiva-ainemassaksi. Malleja voidaan käyttää hyväksi raaka-aineen lajittelussa erilaisiin laatuositteisiin.

6 KUROTTAJAVAACA PUUTAVARAN PUNNITUKSESSA TEHTAALLA

6.1 Tausta ja tavoite

Kuitupuun tehdasmittauksessa – määrän ja laadun toteamisessa tehtäällä – on tavoitteena tehdaskohtainen ja eräkohtainen tarkkuus sekä kustannustehokas mittaus. Useille kuiduttavan teollisuuden tehtaille puutavara tuodaan autojen lisäksi myös muilla kuljetusmuodoilla. Tämän takia tehdasmittauksessa joudutaan usein käyttämään monia eri mittausmenetelmiä, mikä lisää kustannuksia ja heikentää mittauksen kehittämismahdollisuuksia. Tarkoituksenmukaisinta olisi, että kaikki puuerät kyettäisiin mittaamaan yhdellä, tarkalla mittausmenetelmällä.

Paino-otanta on yleisin kuitupuun mittausmenetelmä. Menetelmässä puutavara punnitaan tavallisesti siltavaa'alla. Otantanipuista määritellään tuoretiheys, jonka avulla puutavarasta mitattu massa muunnetaan tilavuudeksi. Tuoretiheyden määrittämiseksi otantaniput punnitaan ja niiden tilavuus mitataan upottamalla tai yksin kappalein.

Paino-otanta soveltuu hyvin suurehkojen erien mittaamiseen. Kurottajatruckiin asennettu vaaka olisi eräs vaihtoehto, jolla paino-otantaa voitaisiin käyttää myös pienille erille sekä juna-, alus- ja uittopuulle.

Osatehtävän tavoitteena oli selvittää kurottajatruckiin asennetun vaa'an tarkkuus puutavaran punnituksessa.

6.2 Vaakojen toimintaperiaatteen kuvaus

Tamtron raakapuukurottajavaaka (RPKV) on digitaalinen, kiinteästi kurottajaan asennettava vaaka. Punnitus perustuu joko nostohydrauliikan painetta tunnustelemaan järjestelmään tai kahmarin kiinnitysakseihin asetettaviin venymäliuskaantureihin, jotka mittaavat nostettavaa kuormaa.

Tamtron vaa'at ovat varustettu punnitushjelmistolla, joka mahdollistaa puueräkohtaisen seurannan ja tarvittaessa langattoman tiedonsiirron suoraan tehdasjärjestelmään.

RPKV:n punnitustapa on staattinen. Staattisessa punnituksessa käyttäjä pysäyttää noston, kun kuorma on oikealla korkeudella maasta ja raakapuukurottaja on paikoillaan.

Punnitus tehdään puomiston ollessa samassa asennossa, jotta mahdolliset painopisteen muutokset eivät pääse vaikuttamaan punnitustulokseen. Puomistoon on kiinnitetty rajakatkaisijat, jotka antavat automaattisesti vaa'alle tiedon mittausalueesta. Vaaka tiedottaa rajojen ohittamisista LO- ja HI-merkkivalojen syttymisellä näyttöyksikössä sekä onnistuneesta punnitustapahtumasta äänimerkillä.

Akseliantureilla varustetun vaa'an toimintaperiaate (päältä tarttuvat koneet)

Kurottajan puomin päissä olevat niveltapit on korvattu aksiaalisilla mittausantureilla. Nostettaessa kuormaa välittyy taakan massa venymäliuska-antureille. Mittausanturit on lukittu puomiin tiettyyn asentoon, jolloin punnitustapahtuma onnistuu tietyllä taakan korkeudella. Akseliantureilla varustettu Svetruckin raakapuukurottaja on käytössä mm. UPM-Kymmene Pietarsaaren tehtailla.



Kuva 13. Päältä tarttuvassa kurottajassa vaaka perustuu venymäliuska-antureihin.

Nostohydrauliikan painetta mittaavan vaa'an toimintaperiaate (sivulta tarttuvat koneet)

Kurottajan nostosylintereihin on asennettu hydrauliikan painetta mittaavat anturit. Hydrauliikkalohkojen paine- ja paluupuolelta mitataan järjestelmässä vallitseva paine, jonka erotuksesta ohjelmallisesti saadaan laskettua nostettavan kuorman massa.

Mittaus suoritetaan, kun puomisto on taka-asennossa, pihti käännettynä nostopuomiin kiinni ja kuorma nostettuna tietylle korkeudelle maasta. Punnitusohjelmisto laskee kuorman painon. Paineantureilla varustettu Kalmarin raakapuukurottaja on käytössä mm. Stora Enson Anjalankosken tehtailla.



Kuva 14. Sivulta tarttuvassa kurottajassa punnitus perustuu nostohydrauliikan paineen mittaamiseen.

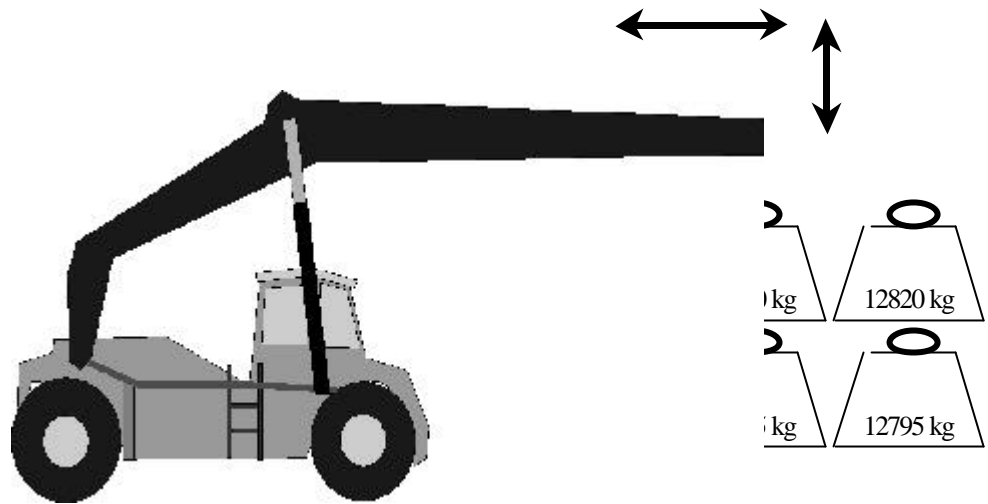
6.3 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin UPM-Kymmene Oyj:n Pietarsaaren tehtailla 29.-30.11.1999 ja Stora Enso Oyj:n Anjalankosken tehtailla 9.12.1999. Ensimmäisen päivän testien tavoitteena oli selvittää punnitusajankohdan, kurottajan pihdin asennon, maaston kaltevuuden ja satunnaisten kuormitushuippujen vaikutus punnitustulokseen. Toisena testipäivänä tutkittiin puutavaranipun koon ja pihdin tartuntakohdan vaikutusta mittauksen tarkkuuteen.

6.4 Tulokset Pietarsaaren tehtaalta

6.4.1 Testit punnuksilla

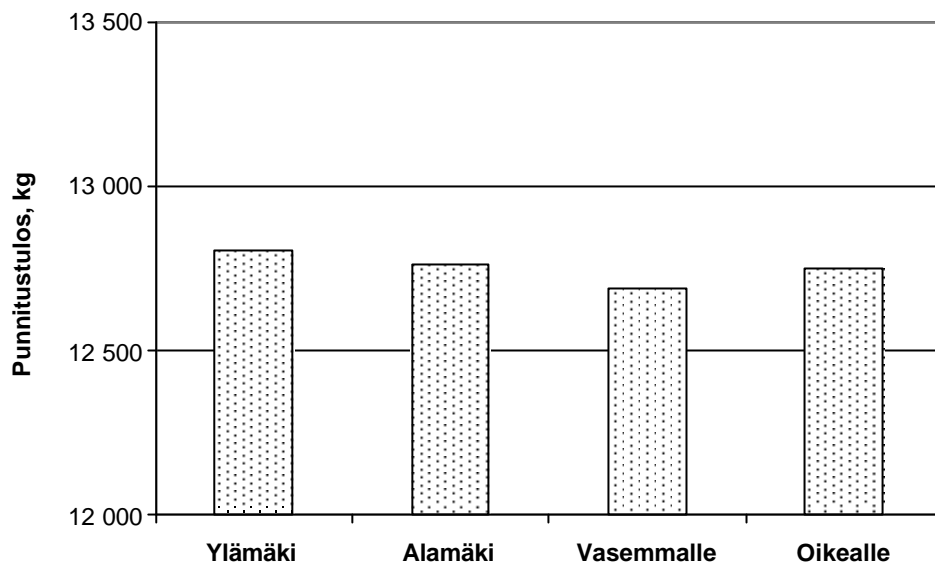
Kuormitustestissä käytettiin 22 400 kg:n punnusta. Vaa'an lukemat luettiin ensimmäisen tunnin aikana minuutin välein, ja seuraavan kolmen tunnin aikana 30 minuutin välein. Kurottajavaa'an mittaustulos pysyi testin aikana alle +/- 1 %:n sisällä oikeasta tuloksesta (kuva 15). Testin ensimmäisen tunnin ajan vaa'an näyttämä laski yhteensä 150 kg ja päättyi jakson päätteeksi oikeaan punnitustulokseen. Tämän jälkeen punnitustulos oli 50 kg todellista massaa suurempi, 22 450 kg. Punnitustulos pysyi koko loppuajan tässä lukemassa.



Kuva 16. Taakan punnituskohdan vaikutus mittaustulokseen. Nuolet kuvaavat kurottajan pihdin siirtosuuntia. Punnuksissa olevat luvut ovat punnitustestin keskiarvoja.

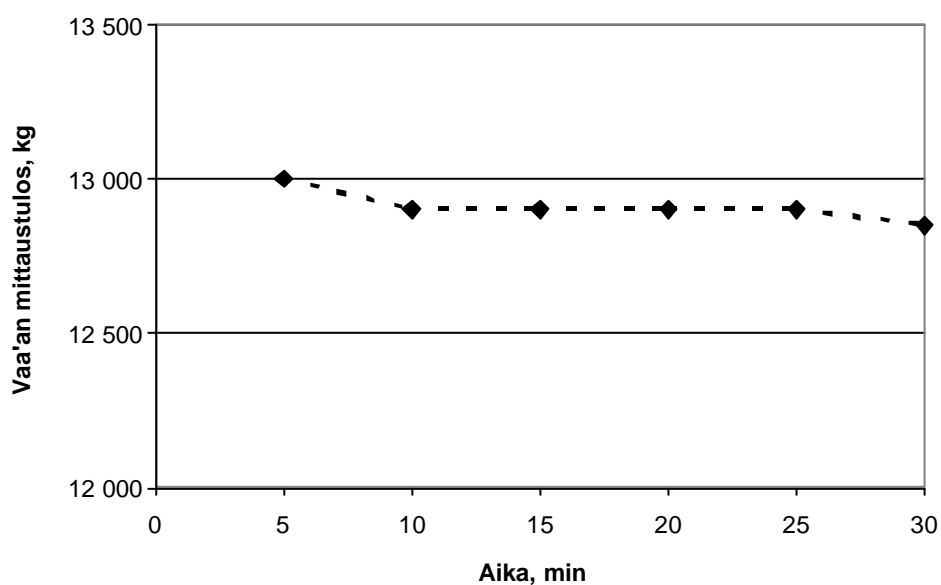
Vaakavalmistajan ohjeen mukaan kurottajalla tulee punnita keskiasennossa, ja kuljettaja ilmoitti useimmiten punnitsevansa ala-asennossa keskellä. Kuljettaja totesi muiden käytettyjen mittauskohtien olleen poikkeuksellisia. Käytännössä punnitus kyetään suorittamaan varsin tarkasti samassa punnituskohdassa, ja vaaka tulee siten kalibroida näyttämään mahdollisimman oikeaa tulosta tässä mittauskohdassa.

Maaston kaltevuuden vaikutusta punnitustulokseen tutkittiin olosuhteissa, joissa normaalisti ei punnita liiallisen kaltevuuden vuoksi. Trukki nosti punnusta viisi kertaa ylämäessä, alamäessä sekä sivukaltevissa asennoissa. Rinteen kaltevuus oli lähes viisi prosenttia. Suurin keskiarvo punnitustuloksissa tuli ylämäessä mitattaessa, 12 800 kg (kuva 17). Pienin keskiarvo, 12 690 kg, mitattiin, kun trukki oli vasemmalle sivukaltevassa rinteessä. Havaittu 110 kg ero vastaa 0,8 prosenttia, mikä ääriolosuhteet huomioiden on hyväksyttävää. Mittaustuloksen tarkkuuden arvioinnissa on huomioitava myös se, että tässäkin mittauksessa hajonnat jäivät hyvin pieniksi, olosuhteittain vain 0 – 35 kiloon. Myös tässä testissä kaikki mittaushavainnot olivat aliarvioita, mikä voidaan korjata oikealla kalibroinnilla.



Kuva 17. Maaston kaltevuuden vaikutus punnitustulokseen.

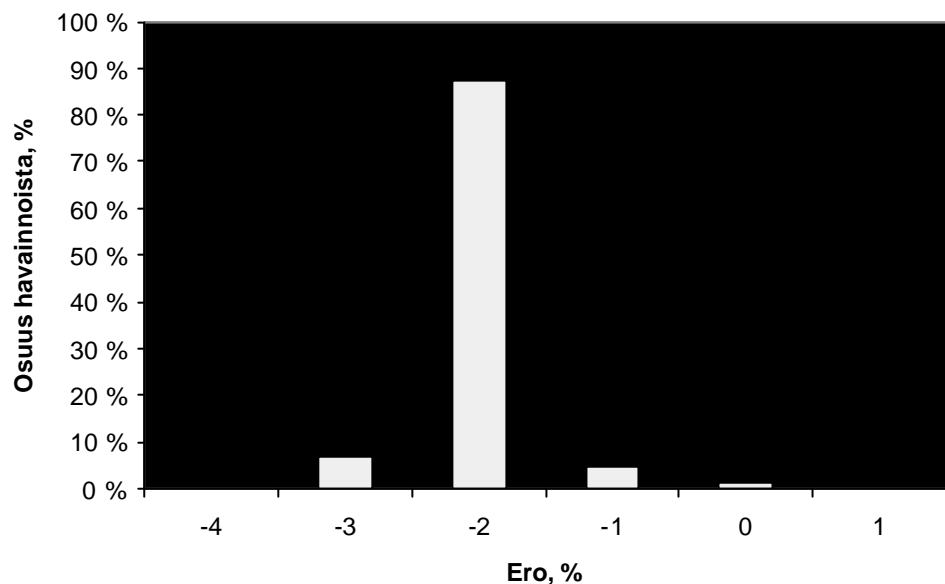
Trukkityöskentelyssä esiintyvien satunnaisten suurien kuormitusten vaikutusta tutkittiin ajamalla trukilla 13 050 kg:n testipunnus pihdissä puukentällä. Noin viisi minuuttia kestäneellä ajoreitillä ylitettiin junarata kahteen kertaan. Lisäksi vaakaan kohdistui satunnaisia kuormitushuippuja mm. kuitupuupölkkyjen ylityksestä ja kuljettajan tekemistä, nykäyksittäisistä pysähtelyistä. Vaaka taarattiin kierroksen jälkeen, minkä jälkeen mitattiin punnuksen massa.



Kuva 18. Punnitustulokset mitattuna kunkin koekierroksen jälkeen.

Kuormitushuiput vaikuttivat hyvin vähän punnitustulokseen (kuva 18). Ensimmäisen kierroksen jälkeen havaittu 13 000 kg:n tulos saattaa johtua siitä, että ensimmäisen kierroksen jälkeen vaakaa ei taarattu. Toisen kierroksen jälkeen tehdyssä taarauksessa havaittiin vaa'an näyttäneen tuolloin tyhjänä 100 kg. Tämä ero saattoi vaikuttaa ensimmäisen kierroksen tulokseen. Toisen kierroksen jälkeinen punnitustulos oli taarauksen jälkeen 12 900 kg, kuten myös kolmen seuraavan kierroksen jälkeen. Viimeisen kierroksen jälkeen punnitustulos oli 12 850 kg. Vaa'an taaraukseen ja kalibrointiin tuleekin kiinnittää huomiota, jotta satunnaisten kuormitushuippujen ja muun kuormaustyön aiheuttamat virheet voidaan eliminoida punnitustuloksista.

Päivän aikana tehtyjä 13 050 kg:n taakan punnituksia oli yhteensä 86. Näistä laskettuna lähes 90 % oli 2 prosentin aliarvioita (kuva 19). Mittaustuloksen jakaumasta voidaan todeta, että vaakamittasi erittäin tarkasti. Kun kalibroinnista aiheutuvat erot eliminoidaan, on mittaushavainnoista +/- 1 prosentin sisällä peräti 98,8 %.



Kuva 19. Kurottajavaa'an punnitustulos verrattuna punnituksen oikeaan painoon.

6.4.2 Testit puutavaraniipuilla

Toisen testipäivänä testattiin puutavaraniipun koon ja kurottajapihdin tarttumakohdan vaikutusta testituloksiin seuraavalla koejärjestelyllä:

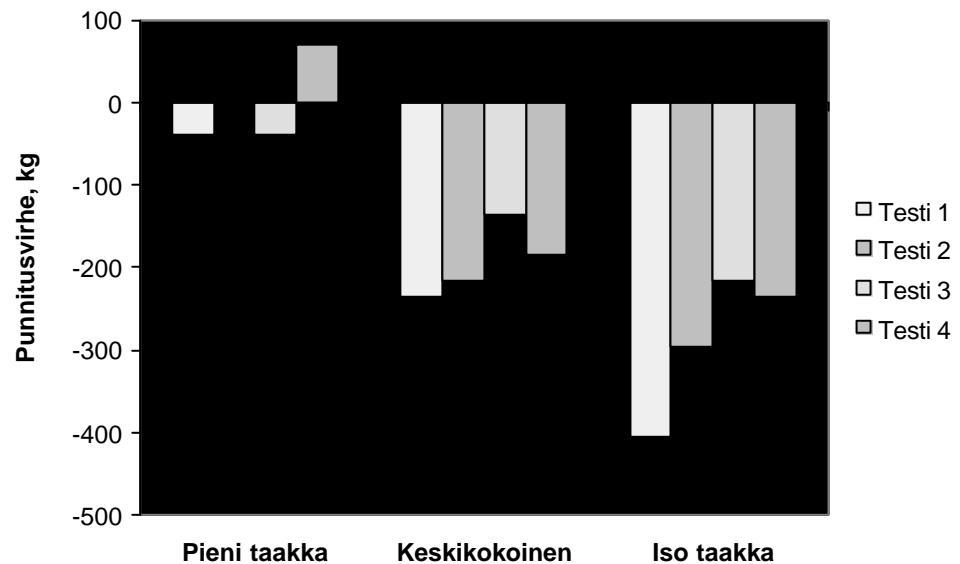
| | Punnittava määrä | Tarttumakohta |
|---------|------------------|---------------|
| Testi 1 | 3 nippua | Keskeltä |
| Testi 2 | 3 nippua | Keskeltä |
| Testi 3 | 3 nippua | Nipun päästä |
| Testi 4 | 3 nippua | Keskeltä |

Testissä käytettiin kolmea erikokoista nippua, joita punnittiin kurottajavaa'alla kussakin testissä viisi kertaa. Kokeessa eliminoitiin myös nippujen punnitusjärjestyksen vaikutus tulokseen. Yhteensä kutakin nippua punnittiin kurottajavaa'alla 20 kertaa. Testatut niput punnittiin upotusvaa'alla testin alussa ja myös testin lopussa, jotta voitiin eliminoida mm. kuoren kulumisesta aiheutuvat virheet. Nippujen massat olivat

| | |
|---------------------|-----------|
| Iso nippu | 15 875 kg |
| Keskikokoinen nippu | 9 175 kg |
| Pieni nippu | 4 650 kg |

Iso ja keskikokoinen nippu laskettiin jokaisen punnituksen jälkeen nippukehiköön ja kurottajan pihdin ote nipusta irrotettiin. Tämän jälkeen kuljettaja otti kurottajalla nipusta kiinni ja nosti nipun uudelleen punnitusasentoon, kunnes viisi punnituskertaa kutakin sarjaa oli suoritettu. Pienellä nipulla ei käytetty nippukehiköä, vaan toistojen välillä kuljettaja irrotti pihdin otteen nipusta siten, että vaa'an anturiin kohdistui vain tyhjän pihdin kuormitus.

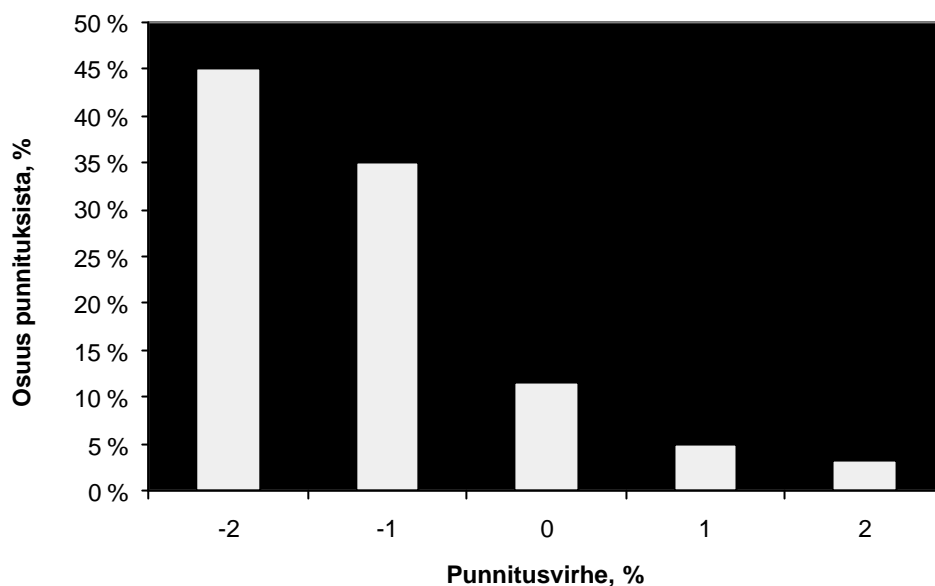
Kurottajavaa'alla mitattu massa oli pienimmän nipun punnituksessa hyvin lähellä upotusvaa'alla mitattua massaa, sillä ero oli testistä riippuen -40 – +70 kg (kuva 20). Keskikokoisella taakalla erot olivat 135 – 235 kg ja suurella nipulla 215 – 405 kg. Aamulla tehdyissä punnituksissa vaaka näytti pienempiä tuloksia kuin myöhemmin illalla tehdyissä punnituksissa.



Kuva 20. Eri ajankohtina tehtyjen testien punnitusten keskiarvon ero oikeaan tulokseen (0).

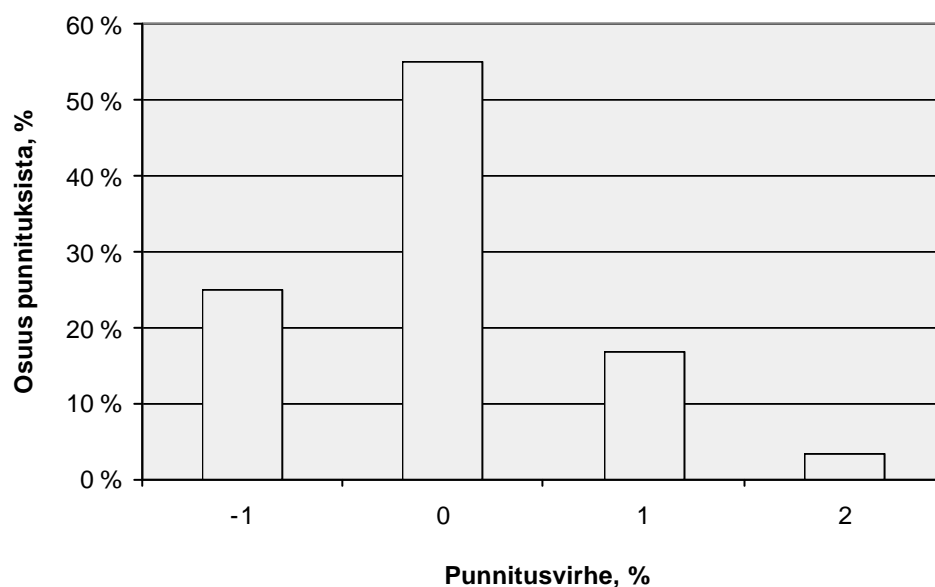
Punnitusten hajonta pysyi pienenä. Vaikka pientä taakkaa lukuun ottamatta virheellinen kalibrointi aiheutti mittausvirhettä, pysyivät kaikki punnitukset +/-2 prosentin sisällä oikeasta tuloksesta. Jo kuvassa 20 havaittu aliarvio ilmenee vielä

selkeämmin kuvassa 21. Peräti 80 % mittauksista oli aliarvioita, ja yliarvioita oli vain noin 8 %.



Kuva 21. Kurottajavaa'an tulosten ero upotusvaa'an tulokseen.

Mikäli vaaka olisi kalibroitu oikein, olisi testissä päästy erittäin tarkkaan tulokseen (kuva 22). Peräti 55 prosentissa tapauksista virhe olisi ollut korkeintaan 0,5 %, ja 96,7 prosentissa ja punnitusvirhe olisi ollut korkeintaan 1 %. Vaa'an kalibroinut vaakatoimittaja ilmoitti jo etukäteen, että kalibroinnin vuoksi mittaustulokset ovat lieviä aliarvioita.



Kuva 22. Kurottajavaa'an tulosten ero oikeaan tulokseen, kun kalibrointivirhe on eliminoitu.

6.5 Tulokset Anjalankosken tehtaalta

Anjalankoskella ei ollut käytettävissä riittävän painavia testipunnuksia, minkä vuoksi testiä jouduttiin lyhentämään. Testissä tutkittiin puutavaraniipun koon ja kuljetusvälineen sekä kurottajapihdin tarttumakohdan vaikutusta testituloksiin seuraavalla koejärjestelyllä:

| | Purettava nippu | Tartuntakohta |
|---------|-----------------|---------------|
| Testi 1 | Autosta | Keskeltä |
| Testi 2 | Autosta | Nipun päästä |
| Testi 3 | Junasta | Keskeltä |

Testissä käytettiin kahta erikokoista nippua, joita punnittiin kurottajavaa'alla kussakin testissä 5 – 6 kertaa. Kokeessa eliminoitiin myös nippujen punnitusjärjestyksen vaikutus tulokseen. Testatut niput punnittiin siltavaa'alla testin alussa. Nippujen massat olivat

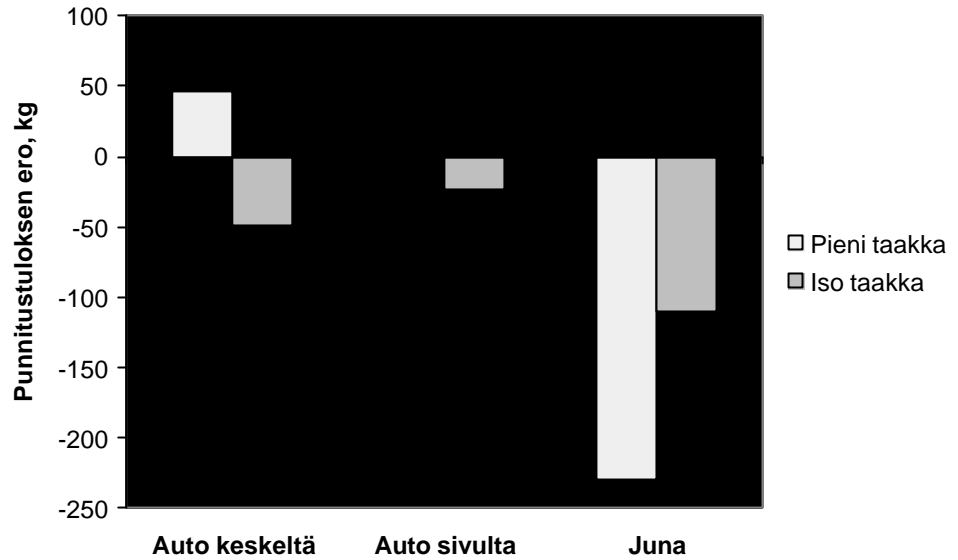
| | |
|-------------|-----------|
| Iso nippu | 14 240 kg |
| Pieni nippu | 9 620 kg |

Autopunnitusta jäljittelevässä testissä niput laskettiin jokaisen punnituksen jälkeen nippukehikkoon ja kurottajan ote nipusta irrotettiin. Tämän jälkeen kuljettaja otti kurottajalla nipusta kiinni ja nosti nipun uudelleen punnitusasentoon, kunnes kuusi punnituskertaa kutakin sarjaa oli suoritettu. Nippukehikossa olleen nipun muoto vastasi hyvin auton karikoitten välissä olevan nipun muotoa.

Punnitustarkkuutta junastapurussa testattiin laskemalla (em.) niput junanvaunuun. Ote nipusta irrotettiin, ja kuljettaja peruutti noin viisi metriä taaksepäin. Sen jälkeen kuljettaja ajoi uudestaan nipun viereen ja nosti nipun punnittavaksi.

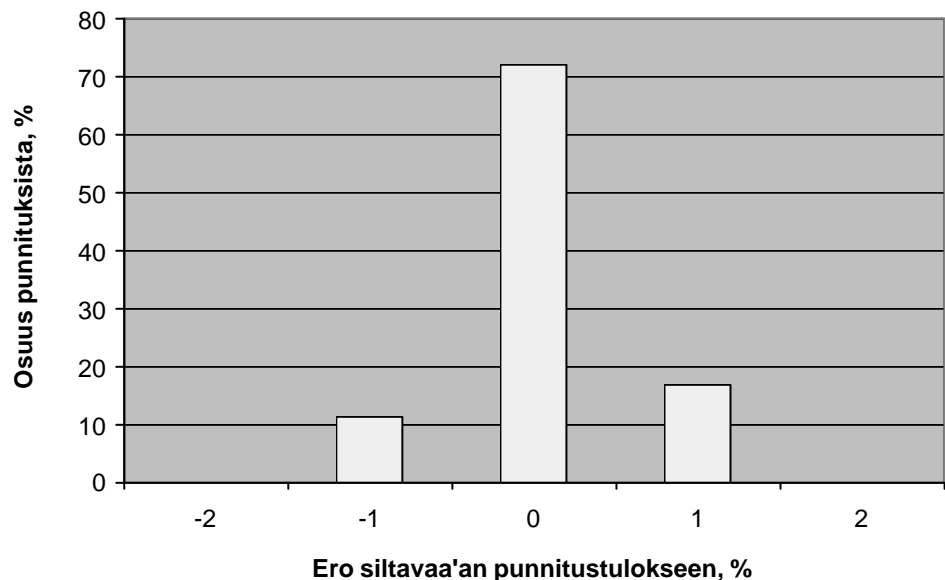
Kurottajavaa'alla mitattu massa oli hyvin lähellä siltavaa'alla mitattua massaa, sillä ero oli testistä riippuen $-230 - +46$ kg (kuva 23). Junanipuilla tehdyn testin tuloksiin vaikuttaa se, että yksi pölkky putosi taakan kuormausvaiheessa junavauunun taakse, mistä sitä ei kyetty enää noutamaan. Niinpä todellinen taakan massa oli pienempi kuin testin aloitusvaiheessa, ja pienen taakan junapuulla mitattu aliarvio -230 kg on todellisuudessa noin 30 kg pienempi, 200 kg.

Autonippujen kalibrointi onnistui hyvin. Mittauserot jäivät niin pieniksi, että on hankalaa päätellä, kumpi vaaka näyttää oikeampaa tulosta. Junapuulla kalibrointi ei ollut yhtä hyvä, sillä aliarvio oli 100 – 200 kg.

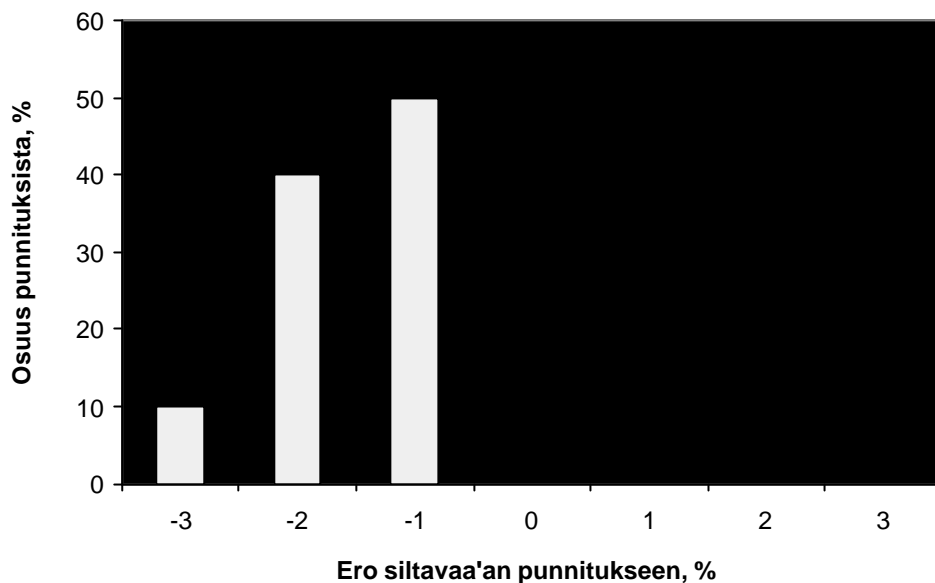


Kuva 23. Purettavan nipun sijaintipaikan ja kahmarin tartunta-kohdan vaikutus punnitusten keskiarvoon verrattuna siltavaa'an tulokseen (0).

Punnitusten hajonta oli pieni. Autonippujen mittauksessa suurimmat erot olivat alle 1,5 %, ja yli 70 prosentissa punnituksista ero oikeaan oli alle 0,5 % (kuva 24). Junapuun mittauksessa kalibroinnin takia suuri osa tuloksista on lieviä aliarvioita (kuva 25). 50 prosentissa mittauksista aliarvio oli -1,5 – -0,5 %. Neljässä punnituksessa oli 2 prosentin ero siltavaakaan, ja yhdessä ero oli 3 %.

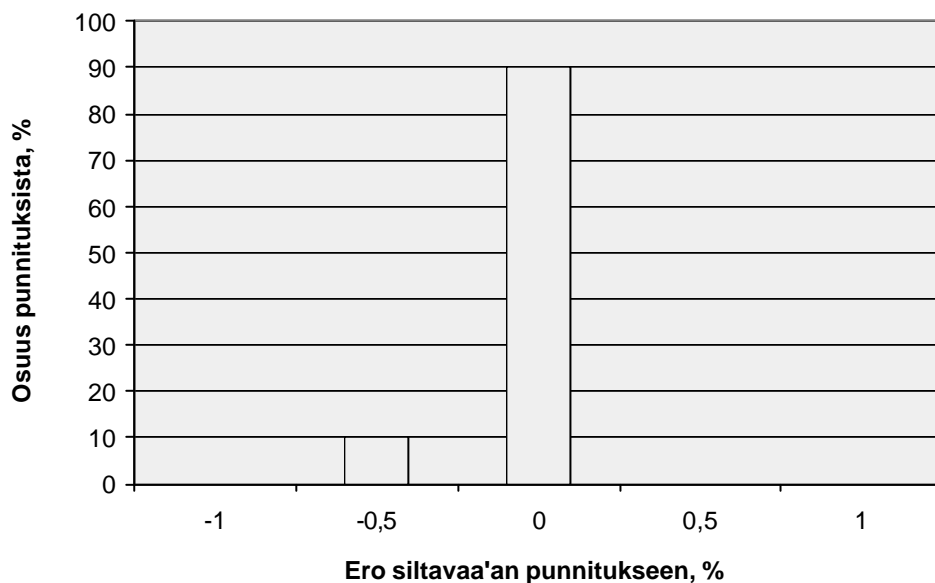


Kuva 24. Kurottajavaa'an tulosten ero upotusvaa'an tulokseen autopuulla.



Kuva 25. Kurottajavaa'an tulosten ero upotusvaa'an tulokseen junapuulla.

Mikäli vaaka olisi kalibroitu oikein, olisi testissä päästy erittäin tarkkaan tulokseen myös junapuulla (kuva 26). Kaikissa junapuun punnituksissa virhe olisi ollut korkeintaan 0,5 %. 90 prosentissa punnituksia virhe oli korkeintaan 0,25 %. Mittaushavaintoja oli vain 10 kpl, joten tulosta voidaan pitää suuntaa antavana, mutta lupaavana.

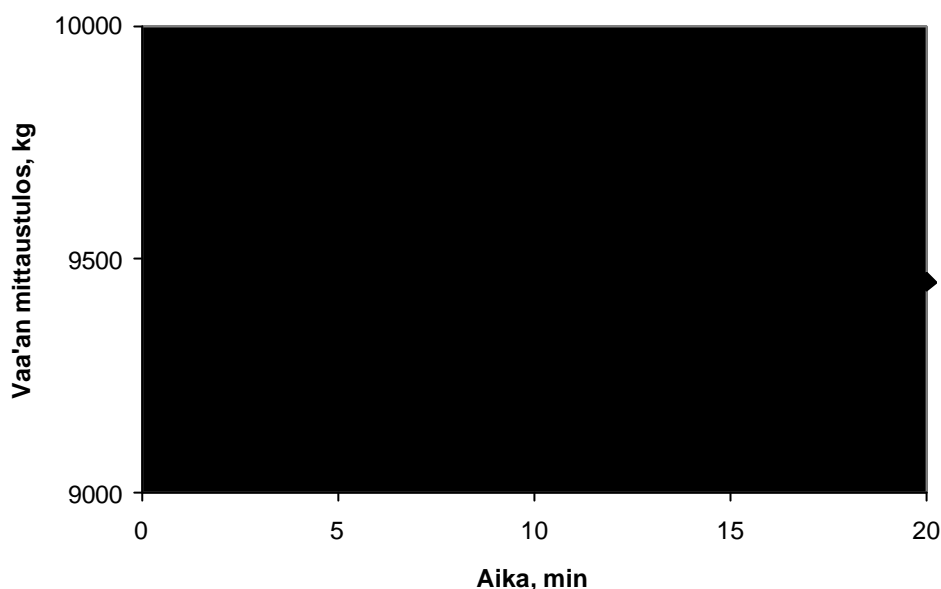


Kuva 26. Anjalankosken kurottajavaa'an tulosten ero siltavaa'an tulokseen junapuulla, kun kalibroitivirhe on eliminoitu.

Satunnaisten suurien kuormitusten vaikutusta tutkittiin ajamalla trukilla noin neljä minuuttia kestänyt lenkki 9 620 kg:n nippu pihdissä puukentällä. Kentällä oli epä-

tasaista lunta ja jäätä sekä muutamia kuitupuupölkkyjä. Vaaka taarattiin kolmannen ja neljännen kierroksen jälkeen.

Kuormitushuiput vaikuttivat hyvin vähän punnitustulokseen (kuva 27). Toisen kierroksen jälkeen havaittu 50 kg muita suurempi tulos saattaa johtua siitä, että kahden ensimmäisen kierroksen jälkeen vaakaa ei taarattu. Kolmannen kierroksen jälkeen tehdyssä taarauksessa havaittiin vaa'an näyttäneen tuolloin tyhjänä 50 kg. Tämä ero saattoi vaikuttaa toisen kierroksen tulokseen.



Kuva 27. Punnitustulokset mitattuna kunkin koekierroksen jälkeen.

6.6 Päätelmät

Sekä venymäliuska-antureihin perustava Tamtron-vaaka Pietarsaareissa että hydraulikan paineen mittaukseen perustuva Tamtron-vaaka Anjalankoskella toimivat tehdyissä testeissä luotettavasti ja tarkasti. Kaikissa punnituksissa erot olivat +/- 2 prosentin sisällä. Punnitusvirheen tulisikin pysyä näissä rajoissa, koska monivaiheisessa paino-otantamittauksessa on myös muita virhelähteitä. Vaa'an tarkkuutta voidaan edelleenkin parantaa, kun vaaka kalibroidaan tämän testin tulosten ja testipunnusten punnitsemisen avulla.

Kurottajaan asennettu vaaka helpottaa ja tehostaa huomattavasti puun mittausta, sillä puutavara pystytään mittaamaan kuorman purkuvälineellä. Täten siirrot voidaan minimoida ja siltavaakaan verrattuna voidaan tehokkaasti punnita pieniäkin mittauseriä.

Kun vaaka on kalibroitu oikein, kuljettaja on huolellinen ja seuraa järjestelmällisesti vaa'an tulosta vertailuvaa'an tai -punnusten avulla, on kurottajaan asennettu vaaka erittäin käyttökelpoinen puutavaran punnitukseen.

KIRJALLISUUS

- Berg, M., Bjurulf, A. & Löfgren M.** 1995. Ved- och massaegenskaper i fem olika granbestånd. SkogFors Stencil 95-05-08. Uppsala.
- Berg, M., Bjurulf, A. & Löfgren, M.** 1995. Variationer i granmassavedens egenskaper – mellan olika beståndstyper, olika trädklasser och olika höjd på stammen. SkogForsk Stencil 95-05-12. Uppsala.
- Bjurulf, A. & Spångberg, K.** 1994. Nya massavedssortiment – en möjlighet till bättre råvaruutnyttjande. SkogForsk Resultat nr 19 1994. Uppsala.
- Björklund, L.** 1988. Vägning av massaved med torrhaltsbestämning. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport nr 198. Uppsala.
- Björklund, L.** 1993. Tallvedens egenskaper i Sverige: torr-rådensitet, kärnvedhalt, fuktighet och barkhalt. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport nr 234. Uppsala.
- Hakkila, P. & Kalaja, H. & Saranpää, P.** 1995. Etelä-Suomen ensiharvennumänniköt kuitu- ja energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 582. Vantaa.
- Hakkila, P.** 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 96.3. Helsinki.
- Hakkila, P.** 1998. Kuitupuun laadun vaihtelu ja lajitteluperusteet. Metsätieteen aikakauskirja. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki.
- Heikkilä, K.** 1997. Puuaineen tiheyden määrittäminen suoraan näytteen poikkileikkauspinnasta WinDENDRO-laitteiston avulla. Opinnäytetyö. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.
- Heinelo, V.** 1998. Männyn ja mäntymassan ominaisuuksien vaihtelu leimikossa. Opinnäytetyö. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.
- Hägg, A.** 1997. System för sortering och blandning av ved för att uppnå TMP-massa med bestämda egenskaper. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära, Rapport nr 253. Uppsala.
- Johansson, F.** 1992. Granens värde som industriråvara vid olika röjningsprogram. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport nr 227. Uppsala.
- Kärenlampi, P., Suur-Hamari, H., Rantanen, R. & Hämäläinen, T.** 1996. Havusellun laadun ohjaus raaka-ainetta luokittelemalla. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 13.
- Kärkkäinen, M.** 1985. Puutiede. Karisto. Hämeenlinna.
- Lappalainen, T.** 1999. Kuitupuun tehdasmittauksen kehittäminen. Puun kosteuden mittaamenetelmät. VTT Energia. Jyväskylä.

- Lappi, J.** 1998. Mäntyraaka-aineen keitto- ja kuituominaisuuksien vaihtelu rungon eri osissa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Leinonen, E.** 1974. Purunäytteisiin perustuvasta kuivapainomittauksesta. Folia Forestalia 199. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki.
- Löfgren, M.** 1995. Uppdelning av granmassaved efter egenskaper. Skogforsk Resultat nr 6 1995. SkogForsk Uppsala.
- Nylinder, M.** 1993. Bestämning av massavedens densitet i samband med inmätning. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära, Rapport nr 233. Uppsala.
- Pennanen, O., Laamanen, J., Lucander, M., Terävä, J. & Varhimo, A.** 1993. Kuusi mekaanisten massojen valmistuksessa kesäaikana. KCL seloste 2105. Espoo.
- Rantanen, R.** 1997. Luokitellun armeeraussellun käytön vaikutus puuvapaaseen ja mekaaniseen paperiin. Opinnäytetyö. Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.
- Rissanen, A. & Sirviö, J.** 2000. Havukuitupuun lajittelun vaikutuksista. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 24.
- Rissanen, A. & Sirviö, J.** 2000. Männyn (*Pinus sylvestris*) ja kuusen (*Picea Abies*) puuaineen ja -kuitujen ominaisuuksien vaihtelu. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 23.
- Sirviö, J. & Kärenlampi, P.** 1996. Puukuitujen ominaisuuksien jakaumia ja korrelaatioita. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 14.
- Spångberg, K.** 1998. Sorting Norway spruce pulpwood. Acta universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria 82. Swedish University of Agricultural Science. Uppsala.
- Tuovinen, A.** 1973. Havupuiden tilavuuden painon ja kuiva-aineen mittaamisesta tehtaalla. Metsätehon tiedotus 325. Helsinki.
- Tyrväinen, J.** 1995. Wood and fiber properties of Norway spruce and its suitability for thermomechanical pulping. Acta Forestalia Fennica 249. The Finnish Society of Forest Science. The Finnish Forest Research Institute.
- Varjo, J.** 1991. Männyn puuaineen tiheyden mallittaminen. Opinnäytetyö. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.