




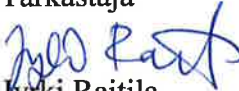


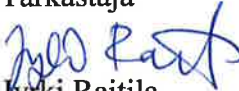


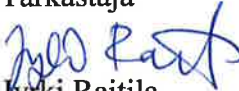

# Energiapilke-konsepti polttopuun tuotanto- ja toimitusketjussa

Kirjoittajat: Ari Erkkilä, Tuula Strömberg, Kari Hillebrand

Luottamuksellisuus: julkinen





Raportin nimi <b>Energiapilke-konsepti polttopuun tuotanto- ja toimitusketjussa</b>				
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Keski-Suomen metsäkeskus, PL 39, 40101 Jyväskylä	Asiakkaan viite			
Projektin nimi Energiasisältöön perustuvan polttopuuliiketoiminnan kehittäminen	Projektin numero/lyhytnimi 26100/Energiapilke			
Raportin laatija(t) Ari Erkkilä, Tuula Strömberg, Kari Hillebrand	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 74/2			
Avainsanat polttopuu, bioenergia, energiasisältö, liiketoiminta	Raportin numero VTT-R-00152-12			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tutkimuksen päätavoitteena oli polttopuuliiketoiminnan kehittäminen hyödyntämällä pilke-erän energiasisällön mittaamiseen perustuvaa tuotanto- ja kauppatapaa. Energiapilke-konseptia kokeili kuusi polttopuuyritystä.</p> <p>Lähtökohtana käsittely-yksiköihin valmistettujen pilkkeiden energiasisällön määrittämiseen on päiväkohtainen pilke-erä, jonka kosteus määritetään pilkonnassa syntyvästä sahauspurusta. Purunäytettä kerätään työpäivän ajan kokoomanäytteeksi, josta määritetään pilke-erän alkukosteus. Punnitsemalla käsittely-yksikössä olevien pilkkeiden massa pilkonnassa yhteydessä ja kuivauksen jälkeen, punnitustuloksista ja alkukosteudesta voidaan laskea kuivattujen pilkkeiden kosteus ja pilke-erän energiasisältö. Alkukosteus-punnitus-menetelmä sopii hyvin, kun pilkkeet valmistetaan suoraan asiakkaille toimitettaviin käsittely-yksiköihin, joissa pilkkeet myös kuivataan. Näitä ovat esimerkiksi klapisäkit ja kuormalavoilla olevat verkkosäkit.</p> <p>Energiasisällön määrittäminen on mahdollista myös irtopilketuotannossa ja myynnissä. Tutkimuksessa kerättiin tietoa irtopilkkeiden kuivumisesta erilaisissa kuivumispaikoissa, saavutetusta loppukosteudesta ja pilkkeiden kosteuksien keskihajonnasta. Tietoa voidaan hyödyntää määrittäessä tarvittavien pilkenäytteiden pienin lukumäärä, jotta voidaan määrittää irtopilke-erän keskikosteus halutulla tarkkuudella. Standardin suositus on kerätä kosteusnäytteiksi viisi pilkettä jokaista irtotilavuudeltaan kahden kuutiometrin toimituserää kohti. Pilkkeiden kosteus voidaan määrittää eri menetelmin, joista tarkin on lämpökaappi- eli uunikuivausmenetelmä.</p> <p>Saatujen tutkimustulosten ja kokemusten mukaan energiasisältöön perustuva polttopuukauppa on käytännössä mahdollista toteuttaa yhtenä kauppatapavaihtoehtona. Kaupan perusteena on selkeämpi mittayksikkö kuin irtotilavuuskaupassa ja samalla saadaan mitattua tärkein laatuominaisuus, pilkkeiden kosteus. Energiapilke-konseptin käyttäminen vaatii paneutumista asiaan ja vie yrittäjältä työaikaa, mutta vastaavasti työilleen saa korvauksen. Kun pilkkeiden valmistuslogistiikka on hyvin järjestetty, mittauksiin kuluvan ajan osuus koko valmistus- ja toimitusketjussa on van muutaman prosentin luokkaa. Menetelmän käyttämisen ansiosta yrittäjä tietää tuotteiden laadun tarkkaan, mikä osaltaan auttaa markkinoinnissa. Asiakkaille on hyötyä tuoteselosteesta, jossa on pilkkeiden laatuominaisuudet sekä valmistus- ja kuivaushistoria, jotka perustuvat seurantaan ja mittauksiin. Kun energiasisältö on tiedossa, vertailtavuus muihin energiamuotoihin paranee.</p> <p>Eri tavoin kuivattujen pilke-erien kosteudesta ja pilkkeiden välisestä kosteushajonnasta samassa kuivauserässä saatiin uutta tietoa. Luonnonkuivauksella voidaan tuottaa kuivia pilkkeitä yhden kevään ja kesän aikana, kun kuivausolosuhteet on hyvin järjestetty ja pilkkeiden kastuminen loppukesän ja syksyn sateissa estetään. Keväällä pilkottujen pilkkeiden kuivausaika oli riittävä. Hyvissä kuivausolosuhteissa myös pilkkeiden kosteuksien keskihajonta oli pieni, alle kolme prosenttiyksikköä ja parhaimmillaan alle yhden prosenttiyksikön. Myös kylmäilmakonttikuivurilla ja lämminilmakuivurilla kuivatut pilkkeet olivat kuivia ja tasalaatuisia.</p>				
Luottamuksellisuus	Julkinen			
Jyväskylä 14.2.2012 <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;">           Laatija              Ari Erkkilä            erikoistutkija         </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;">           Tarkastaja              Jyrki Raitila            tiimipäällikkö         </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;">           Hyväksyjä              Jouni Hämäläinen            teknologiapäällikkö         </td> </tr> </table>		Laatija  Ari Erkkilä erikoistutkija	Tarkastaja  Jyrki Raitila tiimipäällikkö	Hyväksyjä  Jouni Hämäläinen teknologiapäällikkö
Laatija  Ari Erkkilä erikoistutkija	Tarkastaja  Jyrki Raitila tiimipäällikkö	Hyväksyjä  Jouni Hämäläinen teknologiapäällikkö		
VTT:n yhteystiedot VTT, (Koivurannantie 1), PL 1603, 40101 Jyväskylä				
Jakelu (asiakkaat ja VTT)				
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.				





## Alkusanat

Tutkimusraporttiin on koottu tulokset energiasisällön määrittämiseen perustuvan pilkekaupan kehittämisestä, joka toteutettiin Keski-Suomen *Bioenergiasta elinvoimaa* (BEV) -klusteriohjelmassa *Lämpöyrittäjyyden ja polttopuuliiketoiminnan kehittäminen* –hankkeessa vuosina 2010 ja 2011. Hankkeen päärahoittaja oli Keski-Suomen ELY-keskus Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto.

Keski-Suomen metsäkeskuksen hallinnoimassa hankkeessa polttopuuliiketoiminnan kehittämisen tutkimuksellisesta osuudesta vastasi VTT. Tutkimuksen toteuttamiseen osallistuivat Metsäkeskuksen ja VTT:n lisäksi Jyväskylän ammattikorkeakoulu (JAMK), Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskus (POKE) sekä polttopuuyrittäjiä ja alan laitevalmistajia.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat puheenjohtajana lämpöyrittäjä Jussi Koskinen, sihteerinä projektin päällikkö bioenergianeuvoja Veli-Pekka Kauppinen (Keski-Suomen metsäkeskus), projektin vastuullinen johtaja Ari Nikkola (Keski-Suomen metsäkeskus), polttopuuyrittäjä Pasi Sironen, Martti Sinkkonen ja Veijo Kontro (Maaselän Kone Oy), Tapani Sauranen ja Hannu Vilkkilä (JAMK), Risto Janhunen (ELY-keskus) ja Pekka Janhonen (POKE).

Raportissa esitettyyn tutkimusosuuteen osallistuivat VTT:stä vastuuhenkilönä erikoistutkija Ari Erkkilä, erikoistutkija Kari Hillebrand, tutkija Antti Heikkinen sekä tutkimusinsinöörit Ismo Tiihonen ja Heikki Kaipainen sekä Tuula Strömberg (JAMK ja Keski-Suomen metsäkeskus), Hannu Vilkkilä (JAMK) sekä POKE:sta Maija Lehtonen, Jari Tuikkanen ja Jukka Lahti. Mittauksissa avusti useita JAMK:n ja POKE:n opiskelijoita.

Esitämme parhaat kiitokset työn tilaajalle, rahoittajille, ohjausryhmän jäsenille ja kaikille muille työhön osallistuneille.

Jyväskylä 14.2.2012

Tekijät

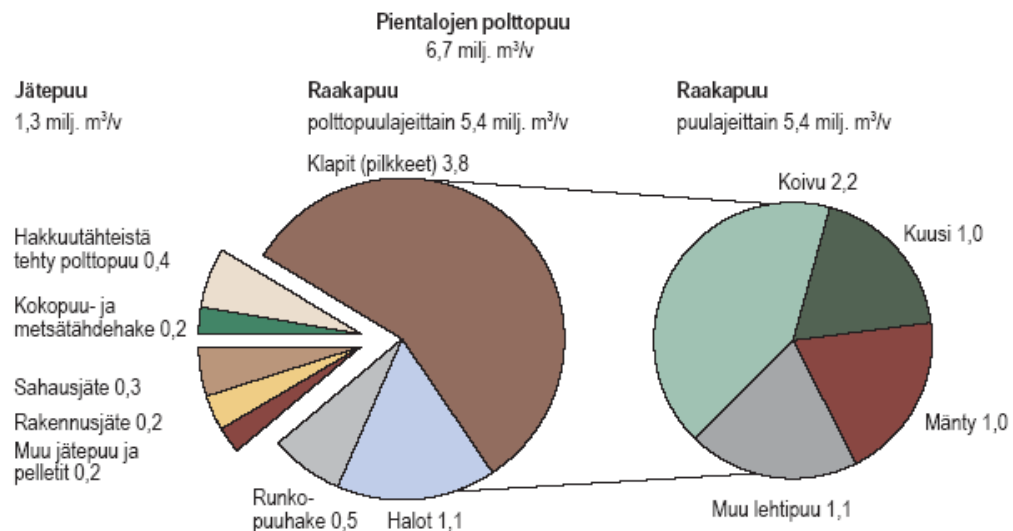
## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	3
1 Johdanto.....	5
1.1 Polttopuun käyttö Suomessa.....	5
1.2 Energiapilke-konseptin kehittäminen kauppatapavaihtoehdoksi.....	6
1.3 Energiasisällön määrittämisen periaatteet.....	6
2 Tutkimuksen tavoite ja toteutus.....	8
2.1 Tavoite.....	8
2.2 Pilkekaupankäynnin kehittäminen.....	8
3 Seurannassa mukana olleet yrittäjät ja tuotantotavat.....	9
3.1 Monthan.....	9
3.2 Mäkinen.....	10
3.3 Pietilä.....	12
3.4 Sironen.....	13
3.5 Kylmälahti.....	14
3.6 Laukaan vankilan tila.....	15
4 Mittausmenetelmät.....	18
4.1 Kosteuden määrittäminen.....	18
4.2 Pilkkeiden massan punnitus.....	20
4.2.1 Alkumassan punnitus.....	20
4.2.2 Massan punnitus toimitettaessa.....	24
4.3 Mittaustietojen käsittely.....	24
5 Tulokset ja niiden tarkastelua.....	26
5.1 Pilkkeiden valmistuksen työvaiheet ja ajanmenekit.....	26
5.2 Pilkkeiden kuivuminen.....	28
5.2.1 Pilkkeiden kuivuminen käsittely-yksiköissä.....	28
5.2.2 Pilkkeiden kuivuminen irtokasoissa.....	37
5.2.3 Pilkkeiden kuivuminen kylmäilmakuivurissa.....	47
5.2.4 Pilkkeiden kuivuminen lämminilmakuivurissa.....	51
5.2.5 Huomioita pilkkeiden kuivumisesta.....	53
5.3 Pilkkeiden kosteuden määrittämisen tarkkuus.....	57
5.3.1 Loppukosteuden laskeminen sahauspurusta määritetyn alkukosteuden ja käsittely-yksikön punnitustulosten avulla.....	57
5.3.2 Kosteuden määrittäminen irtopilkkeistä.....	59
5.4 Energiasisällön määrittämisen tarkkuus.....	61
5.5 Yrittäjien ja asiakkaiden kokemukset Energiapilke-konseptista.....	64
5.5.1 Yrittäjien kokemukset konseptin eri vaiheista.....	64
5.5.2 Asiakkaiden kokemukset.....	66
6 Energiapilke-konseptin käytännön soveltamisohje.....	67
6.1 Polttopuun energiasisällön määrittäminen.....	67
6.1.1 Pilkkeet käsittely-yksiköissä.....	67
6.1.2 Irtopilkkeet.....	69
6.2 Tuoteseloste.....	70
7 Johtopäätökset.....	71
Lähdeviitteet.....	74
Liitteet.....	74

# 1 Johdanto

## 1.1 Polttopuun käyttö Suomessa

Pientalojen (omakoti-, pari-, rivitalo tms., maatilan päärakennus, vapaa-ajan asunto) polttopuun käyttö Suomessa lämmityskaudella 2007/2008 oli 6,7 miljoonaa kiintokuutiometriä (Kuva 1). Määrä on kasvanut seitsemässä vuodessa 9 prosenttia. Polttopuusta on raakapuuta 5,4 ja erilaista jättepuuta 1,3 miljoonaa kuutiometriä. Pientaloissa poltetaan lähes kymmenesosa Suomessa käytetystä kotimaisesta raakapuusta. Keskimäärin polttopuuta kului 3,8 kuutiometriä vuodessa. Kun määrä lasketaan ilman rivitalokiinteistöjä, keskimääräinen polttopuun käyttö oli 4,6 kuutiometriä vuodessa. Pientaloissa käytetyn polttopuun energiasisältö oli 15 TWh kaudella 2007/2008, mikä oli noin 40 % pientalojen lämmitysenergian lähteistä ja 4 % Suomessa vuonna 2008 käytetyistä energialähteiden kokonaiskulutuksesta (Torvelainen 2009).



Kuva 1. Pientalojen polttopuu 2007/2008

*Kuva 1. Pientalojen polttopuun käyttö ja lajit Suomessa lämmityskaudella 2007/2008 (Torvelainen 2009).*

Metlan tutkimuksen mukaan Keski-Suomen Metsäkeskuksen alueella lämmityskaudella 2007/2008 käytettiin polttopuuta yhteensä 0,52 miljoonaa kuutiometriä, josta oli raakapuuta 0,42 miljoonaa kuutiometriä ja jättepuuta 0,10 miljoonaa kuutiometriä. Raakapuusta koivua oli 0,18, muuta lehtipuuta 0,12 sekä mäntyä 0,06 ja kuusta 0,06 miljoonaa kuutiometriä. Keskimääräinen kiinteistöä kohti oli 5,2 kuutiometriä. Lämmityskauteen 2000/2001 verrattuna pientalojen polttopuun käyttö kasvoi Keski-Suomessa 8 % (Torvelainen 2009).

Ostetun polttopuun määrä on Suomessa ollut noin yhden miljoonan kiintokuutiometrin luokkaa, josta halkoja noin kolmasosa ja pilkkeitä reilu neljäsosa. Suomessa toimii noin 200 pilkekauppiasta, joista parisen sataa saa pääosan

toimeentulostaan pilkkeen myynnillä. Asiakkaalle toimitetun polttopuun myynnin arvo on yli 60 miljoonaa euroa vuodessa. Polttopuun käyttö on kasvanut nimenomaan omakoti-, pari- ja rivitaloissa (kasvu 27 %), kun taas maatilojen päärakennusten lämmittämisessä vähentynyt (vähentymistä 8 %) viimeisen seitsemän vuoden aikana (Torvelainen 2009). Tämä viittaa kaupallisen polttopuun hankinnan lisääntymiseen. Tätä tukee myös koivun osuuden kasvaminen havupuun kustannuksella.

## 1.2 Energiapilke-konseptin kehittäminen kauppatapavaihtoehdoksi

Valmiiksi katkotun ja halkaistun polttopuun eli pilkkeen kauppa perustuu nykyisin toimituserien tilavuuden mittaukseen. Määrä ilmoitetaan irtotai pinokuutioina. Polttopuukauppiaan on nopeampi mitata irtokuutioita, kun taas asiakas yleensä pinoaa puut ja voi todeta toimitetun määrän pinokuutioina. Irtotai pinokuutiomitan suhdeluukuun vaikuttaa mm. pilkkeen mitat ja irtotavarana kuljetettavan pilkkeen toimitustapa (esim. säkeissä, häkeissä, irtopilkkeenä) sekä pilkkeiden pinoamistapa. Verkottunutta yrittäjien välistä yhteistyötä ja logistiikkaa helpottaisi yksikäsitteinen polttopuun määrän mittaustapa kaupankäynnin perusteena.

VTT:n johdolla tutkittiin Tekesin Puuenergian teknologiaohjelman Puun pientuotannon ja -käytön panostusalueen hankkeessa (Uusi pilkkeen käsittelykonsepti valmistuksesta asiakkaalle – PUUT46) voisiko pilkekauppa perustua energiasisältöön nykyisen tilavuusperusteisen kaupan sijasta. Hankkeessa luotiin pilkkeiden tuotantoon toimintamalli, jonka avulla pilke-erän energiasisältö voidaan riittävän luotettavasti määrittää. Toimintamallin avulla voidaan myös hallita entistä helpommin pilkkeiden laatua ja laatia asiakkaalle tuoteseloste, jossa ilmoitetaan energiasisällön ohella pilke-erän muut laatu- ja määrätiedot standardien suositusten mukaan (Erkkilä ym. 2006).

## 1.3 Energiasisällön määrittämisen periaatteet

Energiasisältöön perustuva pilkekauppa edellyttää pilke-erän kosteuden ja massan mittaamista, joiden avulla energiasisältö voidaan riittävällä tarkkuudella laskea, kun puun kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo tunnetaan. Kaupan kohteena olevan pilke-erän massa voidaan kaikissa tapauksissa mitata punnitsemalla vaakojen avulla. Toimituskosteuden määrittämiseen on erilaisia tapoja sen mukaan valmistetaanko pilkkeet irtopilkkeiksi vai käsittely-yksiköihin, joissa pilkkeet myös kuivataan asiakkaille toimitusta varten (taulukko 1). Käsittely-yksikköjä ovat esimerkiksi kuormalavan avulla liikuteltava verkkosäkki ja noston kestävä klapisäkki.

Käsittely-yksiköitä käytettäessä toimituskosteus voidaan määrittää tuoreen pilkkeen pilkonnassa syntyvästä purusta määritetyn kosteuden ja punnitustulosten avulla laskemalla. Toinen tapa on ottaa asiakkaalle toimitettavista pilkkeistä näytepilkkeitä ja määrittää niistä kosteus. Irtopilkkeitä tuotettaessa vaihtoehdoksi jää viimeksi mainittu tapa eli kosteuden määrittäminen toimitettavista pilkkeistä. Pilkkeiden kosteus riippuu monesta tekijästä. Saman valmistuserän pilkkeiden kesken voi olla suuriakin kosteuseroja. Tämän vuoksi luotettavan kosteusarvon määrittäminen toimituserästä on haasteellista. Mitä suurempi kosteusero on pilkkeiden välillä (kosteushajonta), sitä useamman pilkkeen kosteus tulee

määrittää, jotta pilke-erän keskimääräinen kosteus saadaan halutulla tarkkuudella. Tutkimuksen alkaessa ei ollut kerättyä tietoa eri tavoin kuivattujen pilke-erien kosteushajonnasta.

Kun pilke-erän kosteus on määritetty tai mitattu ja massa on punnittu, pilke-erän sisältämä energiamäärä on laskettavissa kosteuden ja puun kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon avulla. Pilkkeen raaka-aineena käytettävien suomalaisten puulajien kuiva-aineen lämpöarvot (MJ/kg) ovat lähellä toisiaan. Lämpöarvoon vaikuttavat puulajin ohella esimerkiksi puun ikä ja kuoripitoisuus.

Saapumistilassa eli toimituskosteudessa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo ( $q_{net,ar}$ , MJ/kg) voidaan laskea yhtälöllä (SFS-EN 14961-1)

$$q_{net,ar} = q_{net,d} \times (100 - M_{ar})/100 - 0,02443 \times M_{ar}, \quad (1)$$

missä

$q_{net,d}$  on tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)

$M_{ar}$  on kokonaiskosteus (vesi/kokonaismassa) (p-%)

0,02443 on veden höyrystymislämpö vakiopaineessa +25 °C:n lämpötilassa.

Pilke-erän energiasisältö saadaan edellä esitetyn toimituskosteudessa olevan pilke-erän lämpöarvon ( $q_{net,ar}$ ) ja pilke-erän massan tulona.

*Taulukko 1. Energiasisällön määrittämismuutokset valmistettaessa pilkkeet käsittely-yksiköihin ja irtopilkkeinä käsiteltäessä.*

<u>Pilkkeet käsittely-yksikössä</u>	<u>Irtopilkkeet</u>
Pilkottaessa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• määritetään kosteus purusta</li> <li>• punnitaan pilkeyksikön massa</li> </ul> Toimitettaessa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• punnitaan pilkeyksikön massa</li> <li>• lasketaan kosteus</li> <li>• lasketaan energiasisältö</li> </ul>	Toimitettaessa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• määritetään kosteus pilkkeistä</li> <li>• punnitaan pilkkeiden massa</li> <li>• lasketaan energiasisältö</li> </ul>

## 2 Tutkimuksen tavoite ja toteutus

### 2.1 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää pilkkeiden kaupankäyntiä hyödyntämällä pilke-erän energiasisällön mittaamiseen perustuvaa kauppatapaa, tehostaa hyvälaatuisen pilkkeen tuotantoa, kehittää pilkkeiden määrän ja laadun määrittämistä sekä mittaus- ja informaatioteknologian siirtämistä käytäntöön polttopuun laadun hallinnassa ja tuotannon ohjauksessa.

### 2.2 Pilkekaupankäynnin kehittäminen

Energiasisällön mittaamiseen perustuvan kauppataivan tutkimiseksi ja kehittämiseksi seurattiin kuutta pilkeyrittäjää, joiden tuotantoon Energiapilke-konseptia sovitettiin.

Seurantaan lähteneiden pilkeyrittäjien nykyinen toimintamalli ja pilkkeiden tuotantolinjan ominaisuudet kuten tyypilliset raaka-aine-erät, pilkkeiden valmistuskapasiteetti, kuivaustavat, kuivatun tavaran varastointi ja jakelu asiakkaille määritettiin. Sopivat kosteusnäytteiden ottamisvaihtoehdot ja kosteuden määrittymenetelmät sekä tuotantolinjaan sopivien pilkettä sisältävien käsittely-yksiköiden massan mittaamisen vaihtoehdot ja mittausvälineet valittiin.

Tutkimuksessa kerättiin tietoa Energiapilke-konseptin toteutuksen onnistumisesta ja yrittäjän kokemuksista pilkkeiden tuotantoketjussa. Loppukäyttäjän kokemuksista ja maksuhalukkuudesta (mm. ostopäätöksen peruste, energian hinnan vaikutus ym.) kerättiin tietoa.

Seurannan yhteydessä kerättiin tietoa myös tuotannon tehokkuudesta sekä kosteusnäytteiden ottamiseen ja punnitukseen kuluvan työajan vaikutuksesta niihin.

Seurannassa mukana olevien yrittäjien pilke-eristä otettiin kuivien pilkkeiden toimittamisen yhteydessä näytepilkkeitä, joista määritettiin toimituserän keskimääräinen kosteus ja energiasisältö. Näytepilkkeistä määritettyjä kosteuksia verrattiin alkukosteuden ja alkumassan määrittämisen perusteella laskettuihin arvoihin.

Tutkimuksessa kerättiin myös tietoa irtopilkkeiden kuivumisesta erilaisissa kuivumispaikoissa, saavutetusta loppukosteudesta ja pilkkeiden välisestä kosteushajonnasta. Tietoa voidaan hyödyntää laskettaessa tarvittavien pilkenäytteiden lukumäärä, jotta voidaan määrittää irtopilke-erän keskikosteus halutulla tarkkuudella.



### 3 Seurannassa mukana olleet yrittäjät ja tuotantotavat

Energiapilke-konseptia kokeili kuusi polttopuun tuottajaa Keski-Suomessa. Vuosina 2010 ja 2011 mukana olivat Matti Monthan Jyväskylän Vaajakoskelta, Riitta ja Hannu Mäkinen Saarijärveltä (Puumäkinen Oy), Ilkka Pietilä Petäjävedeltä (IP Puu ja Kone Oy) ja Pasi Sironen Saarijärven Pylkönmäeltä. Vuonna 2011 mukana olivat edellisten lisäksi Ulla Kylmälahti (Mikko Kylmälahti Oy) Jyväskylästä ja Laukaan vankilan tila työnjohtaja Kari Harjun johdolla Laukaan Vuonteelta.

#### 3.1 Monthan

Monthan valmistaa pilkkeet Japa 700 -pilkekoneella 15 irtokuutiometrin häkkeihin (kuva 2). Häkit ovat kaksi metriä korkea betoniverkkoa ja ne on asennettu neljän kuormalavan päälle. Häkin halkaisija on noin kolme metriä. Pilkehäkit täytetään päältä kuperiksi, jotta ne on helppo peittää kesän mittaan. Yrittäjä ostaa polttopuun raaka-aineen pystykaupalla metsänomistajilta ja korjaa puun itse. Puulaji on pääosin koivua, mutta yrittäjä valmistaa myytäviä polttopuita myös haavasta ja lepästä.



*Kuva 2. Pilkkeet 15 irtokuutiometrin häkeissä.*

Monthanin Japa 700 -pilkekone on traktorikäyttöinen ja katkaisee puun kova-metallisella pyöröterällä. Poistokuljetin on hydraulitoiminen ja sitä voi mekaanisesti kääntää kolmeen eri asentoon. Halkaisumäntä käynnistetään vetämällä syöttöpöytä taka-asentoon. Erikokoista puuta halkaistaessa käyttäjä voi säätää halkaisuterän korkeutta painamalla jalkapoljinta. Yrittäjällä on käytössään myös rankateline, joka keventää puiden siirtotyötä syöttökuljettimelle (kuva 3). Rankateline täytetään traktorin juontokouralla





*Kuva 3. Japa 700 -klapikone ja rankateline.*

Yrittäjä kuljettaa pilkkeet asiakkaille pääosin itse, vain muutama asiakas noutaa ostamansa puut. Yrittäjä pinoo myymänsä puut peräkärryn ja myy ne pinokuutiometreinä. Yrittäjä kuljettaa kahden pinokuutiometrin kuormat auton peräkärryllä ja isommat (yleensä 3 – 8 pinokuutiometrin) kuormat traktorilla asiakkailleen. Yrittäjän apuna puunkorjuussa ja pilketuotannossa on tilapäinen kausityöntekijä.

### 3.2 Mäkinen

Mäkiset (Puumäkinen Oy) ostavat polttopuun raaka-aineen metsänomistajilta ja metsänhoitoyhdistykseltä. Raaka-aine on kokonaan koivukuitupuuta. Tuotantokalustoon kuuluvat syöttöpöydällä varustettu Palax 70s –pilkekone (kuva 4) ja pyöräkuormaaja. Valmistetut pilkkeet ovat pääosin 33 senttimetriä pitkiä, mutta myös pidempiä valmistetaan pieniä määriä.

Pilkekoneen poistokuljetinta voidaan kääntää eri asentoihin. Kääntäminen mahdollistaa kahden säkitystelineen käytön, eikä pilkekoneita tarvitse pysäyttää säkin vaihdon ajaksi. Pilkkeet valmistetaan verkkosäkkeihin Palax Motti -säkitystelineen avulla. Säkit täytetään kuormalavan päälle. Pilkkeiden varastoinnissa hyödynnetään aiemman sahayrityksen rakennuksia. Pilkkeet kuivataan ulkona ja säkit siirretään varastoon heinäkuussa (kuva 5). Säkit pinotaan varastoon kolmeen kerrokseen. Ulos jääneet säkit peitetään pressuilla heinäkuun alussa. Pyöräkuormaajaa käytetään pilkekoneen syöttöpöydän täyttämiseen ja valmiiden pilkelavojen siirtelyyn.



*Kuva 4. Pilkkeet valmistetaan verkkosäkkeihin kuormalavojen päälle.*



*Kuva 5. Kuivat pilkkeet varastoidaan katoksessa.*

Yrityksessä työskentelee kaksi henkilöä. Yrittäjät aloittivat pilketuotantonsa kesällä 2010. Ensimmäisen vuoden tuotantomäärä oli noin 500 irtokuutiometriä ja toisen vuoden noin 1000 irtokuutiometriä. Pilkkeet markkinoidaan Halkoliiterin ja lehti-ilmoitusten kautta. Jakelun yrittäjät hoitivat kuorma-autolla, jossa on kuormain. Syksyllä 2011 jakeluauto vaihtui perälautanosturilla varustettuun umpikuorma-autoon.



Kuljetus hinnoitellaan matkan mukaan. Täyden kuorman kilometrihinta on pienempi kuin vajaan kuorman. Kuljetuksen hinnassa ei ole lähtöhintaa. Yrittäjät hakevat asiakkaan tyhjentämät kuormalavat takaisin ohi kulkiessaan. Samalla palautuvat myös verkkosäkit. Verkkosäkit ovat palautuneet suhteellisen hyväkuntoisina takaisin. Ainoastaan suljinnarujen solmut on vaikea avata, kun säkkiä käyttää uudestaan.

### 3.3 Pietilä

Pietilä (IP Puu ja Kone Oy) hankkii pilkkeiden raaka-aineen omasta metsästä tai ostaa sen suoraan metsänomistajilta tai metsänhoitoyhdistyksen kautta ja valmistaa pilkkeet 3,2 irtokuutiometrin hähkeihin Pilkemaster-pilkekoneella (kuvat 6 ja 7). Raaka-aine on koivua. Hähki kasataan kaksi metriä korkeasta betoniverkosta yhden kuormalavan päälle. Pilkemaster-pilkekoneen voimanlähteenä käytetään traktoria. Kalustoon kuuluvat myös kaivuritraktori, trukki, kuormaimella varustettu metsäperävaunu ja puiden jakelua varten kolmeen suuntaan kippaava auton peräkärri. Yrittäjän apuna pilketuotannossa on satunnaisesti kausiapulainen.

Pilkemaster-pilkekoneessa puu katkaistaan hydraulitoimisella ketjusahalla. Yrittäjällä ei ole käytössä syöttöpöytää, vaan rangat nostetaan kasasta syöttökuljettimelle. Valmiita hähkejä siirretään traktorin etukuormaajan trukkipiikeillä. Pilkkeet kuivataan ulkona ja siirretään syksyllä halliin sisätiloihin.

Yrittäjä on valmistanut pilkkeiden kuivaukseen kaksi 80 irtokuutiometrin konttikuivuria ja aloittanut käyttökokeilut keväällä 2011. Konttikuivurissa imuri imee kylmän ilman pilkekasan läpi. Kontti täytetään ylhäältä ja tyhjenetään pienellä kaivuritruktorilla, jolla mahtuu ajamaan kontin sisälle. Kaivuritruktorissa on etukuormaaja, jolla pilkkeet kuormataan kontista auton peräkärriin.

Polttopuiden markkinoinnin ja jakelun yrittäjä hoitaa itse. Markkinointikanavina ovat Halkoliiteri ja lehti-ilmoitukset. Pilkkeiden pienin toimituserä on kolme irtokuutiometriä. Mieluimmin yrittäjä kuljettaa kuitenkin täyden kuorman, kuusi irtokuutiometriä. Kuorma on mahdollista jakaa väliseinällä myös kahteen kolmen kuution tilaukseen. Yrittäjä käyttää kuljetuskohtaista hintaa eivätkä kilometrit vaikuta kuljetuksen hintaan.



*Kuva 6. Pilkemaster -pilkekone.*



*Kuva 7. Pilkkeet 3,2 irtokuutiometrin verkkohäkeissä.*

### 3.4 Sironen

Sironen hankkii polttopuiden raaka-aineen omasta metsästä tai ostaa muilta metsänomistajilta. Puulajit ovat mänty, kuusi ja koivu. Yrittäjällä on pilkkeiden valmistukseen kovametalliterällä katkaiseva Japa-pilkekone ja viiltävä Pilkemaster-pilkekone. Vuonna 2011 kaikki pilkkeet valmistettiin koekäytössä olleella Hakki Pilke 1x42 –pilkekoneella. Pilkkeiden kuivaukseen ja varastointiin valmistui vuodelle 2011 kymmenen metrin levyinen ja 30 metrin pituinen katos



(kuva 8). Yrittäjä valmistaa myös metrin pituista halkoa. Yrittäjän apuna työskentelee osa-aikaisia työntekijöitä. Jakelun yrittäjä hoitaa pakettiautolla ja peräkärryllä, traktorilla ja peräkärryllä tai ulkopuolisella rekkakuljetuksella.



*Kuva 8. Pilkkeiden kuivaus- ja varastointikatos sijaitsee avoimella, tuulisella paikalla. Pilkkeiden valmistusta suoraan katoksen sisälle.*

### 3.5 Kylmälahti

Yrittäjä valmistaa pilkkeitä 20 irtokuutiometrin häkkeihin (kuva 9) ja uutena menetelmänä on valmistaa pilkkeet 60 irtokuutiometrin häkkeihin. Näihin uusiin isoihin häkkeihin pilkkeet viedään pilkekoneelta pyöräkuormaajan etukauhalla (kuva 11) ja ne puretaan kaivurin kahmarilla.



*Kuva 9. Pilkkeitä 20 irtokuutiometrin torneissa.*



Yrittäjä pilkkoo puut uudella Sami Autochopper – automaattipilkkojalla (kuva 10). Kuitupuu kuormataan metsäkärystä kaivurin kahmarilla ketjupöydälle, joka purkaa puut erottelijalle. Erottelija pudottaa puut yksitellen kuljettimelle, joka vie ne pilkekoneelle. Pilkkeet valmistetaan laakasiiloon, josta siirretään pyöräkuormaajalla häkkeihin. Ketjupöytä, erottelija ja kuljetin toimivat sähköllä.



*Kuva 10. Pilkonta-asemassa on ketjupöytä, erottelija, syöttökuljetin sekä Sami Autochopper –automaattipilkoja. Pilkkeet putoavat laakasiiloon, josta ne siirretään kuivaushäkkeihin.*



*Kuva 11. Pilkkeiden siirto 60 irtokuutiometrin häkkiin.*

### 3.6 Laukaan vankilan tila

Laukaan vankilan tila hoitaa omia metsiään. Osa puuraaka-aineesta valmistetaan pilkkeiksi. Myytävä pilke on pääosin sekapuuta. Pilkkeiden kuivaukseen on käytetty luonnonkuivausta ja kylmäilmakuivuria. Tilalla on kaksi sahatavaran kuivaamiseen rakennettua lämminilmakuivuria, joita kokeilu pilkkeiden kuivaukseen aloitettiin alkuvuonna 2011.

Lämminilmakuivurien hyödyntämiseksi tilalla on kehitetty pilkkeiden kuivaukseen nimellismitoiltaan 2,5 irtokuutiometrin metallihäkkeitä, joihin pilkkeet valmistetaan. Häkkeitä siirretään etukuormaajaan liitettyllä nostopuomilla ja ketjuilla (kuva 12). Samassa yhteydessä häkit voidaan punnita. Kuivuriin sopii kerrallaan kuusi pilkehäkkiä. Päällekkäin pinoamisen ja ahtaan oviaukon vuoksi käytännön pilkemäärä häkissä on noin 2,4 irtokuutiometriä. Kuivauksen jälkeen häkit kipataan joko suoraan asiakkaan perävaunuun tai varastoon (kuva 13).



*Kuva 12. Pilkkeet valmistetaan häkkeihin, jotka pinotaan päällekkäin ja kuivataan lämminilmakuivurissa.*



*Kuva 13. Kuivauksen jälkeen häkit tyhjennetään varastoon.*

Hyvien kokemusten perusteella lämminilmakuivaus on vuoden mittaan tullut osaksi pilkkeiden tuotantoketjua. Pilkkeitä valmistettaessa ei ole enää mitattu alkukosteutta eikä tehty massan mittauksia, koska tutkimusvaiheessa tehtyjen mittausten perusteella on löytynyt kuivausaika, jolla saadaan tuotettua kuivaa pilkettä. Kuivauksen jälkeen on pilkkeiden kosteutta kontrolloitu pikamittarilla.



Lämminilmakuivurilla on kuivattu kesän 2011 ajan yksi pilke-erä viikossa. Viikoittain pilkkeet on valmistettu torstaina ja uuni on käynnistetty perjantaina. Pilkkeet ovat kuivuneet viikonlopun aikana ja kuivuri on tyhjennetty maanantaina. Kokemus on opettanut myös lukemaan kuivurin omia mittareita: kun kuivurin ilmankosteusmittari näyttää 28 %, ovat pilkkeet kosteudeltaan 18 %. Kuivauksen aikana häkillisestä pilkkeistä haihtuu vettä 250 - 350 kilogrammaa alkukosteudesta riippuen.

Kuivauslämpö tuotetaan pellettilämpökeskuksella, josta johdettu kuumavesi lämmittää kuivurin lämmönvaihtimet. Yhdessä kuivurissa on kuusi puhallinta, joiden nimellisteho on 0,55 kW/puhallin. Käytetystä kuivausilmasta otetaan lämpö talteen lämpöpumpulla. Lämpöpumpun kompressorin nimellisteho on 5,8 kW. Kuivureiden suunniteltu kuivauslämpötila on 60°C ja haihdutustehokkuudeksi valmistaja on ilmoittanut 450 litraa poistuvaa vettä vuorokaudessa.

Lämminilmakuivureiden käyttöönotto mahdollistaa pilkkeiden tuottamisen ympäri vuoden. Ympärivuotinen tuotanto on myös yksinkertaistanut logistiikkaa. Raaka-aine voidaan tuoda metsäperävaunulla metsästä suoraan pilkkeiden tekopaikalle kuivurin lähelle. Yksi työvaihe jää kokonaan pois, kun polttopuiden raaka-ainetta ei varastoida enää eri paikassa. Tila ottaakin pilkkeiden kuivaukseen myös toisen lämminilmakuivurinsa.

Tilalla on myös latomallinen kylmäilmakuivuri. Kuivausilman puhalluksen hoitaa 9 kW:n tehoinen puhallin. Puhallusilma välittyy puhalluskanavan kautta pilkesiiloon pitkältä sivulta (kuvat 14 ja 15). Pilkekerroksen paksuus on noin kaksi metriä. Kuivurilla on yleensä kuivattu kaksi pilke-erää vuodessa.



*Kuva 14. Kylmäilmakuivurin puhallin ja puhalluskanava.*



*Kuva 15. Kylmäilmakuivurin pilkesiilo.*

## 4 Mittausmenetelmät

### 4.1 Kosteuden määrittäminen

Sahauspuu kosteusnäytteitä varten kerättiin tekemättä pilkekoneisiin muutoksia. Sopivia ratkaisuja mietittiin erilaisista laatikoista, suppiloista ja pusseista. Purunäytteen keräysastian pitää olla suljettavissa, ettei purunäyte kuivuisi tai vastaavasti sateessa kastuisi. Aurinkoisella säällä näyteastia pitää siirtää varjoon. Parhaiten näytteiden kerääminen onnistuisi pilkekonevalmistajan valmiiksi suunnitteleamalla apuvälineellä, jota voisi käyttää pilkontapaikalta tarvitsematta kiertää koneen vastakkaiselle puolelle.

Sirosen ja Monthanin Japa-pilkekoneista saatiin otettua kosteusnäytteet muovilaatikkoon. Muovilaatikko asetettiin pilkekoneen ja traktorin väliin maahan purusuihkun alle. Aloitettaessa rungon pilkonta, jonka puru tulee kokoomanäytteeseen, pilkkoja asettaa laatikon purusuihkun alle. Purunäytteen keräämisen jälkeen keräysastia suljetaan ja siirretään varjoon. Energiapilkekoneen mukaan purunäyte otetaan joka puolen tunnin välein sahattavasta rungosta. Jokaista näytteenottokertaa varten purunkeräysastia siirretään purusuihkun alle ja katkonnan jälkeen poistetaan ja suljetaan.

Pietilän Pilkemasteriin muovilaatikko ei mahtunut rakenteiden väliin niin, että purusuihku olisi osunut laatikkoon. Yrittäjä kehitti itse sopivan purunäytteen kerääjän muovipussista ja muovisesta vesikanisterista (kuva 16). Kanisterin yksi reuna leikattiin auki ja kanisterin suu ja muovipussin suu teipattiin yhteen. Puru kerättiin kanisteriin, joka toimi suppilona, kun purut valutettiin muovipussiin. Purunkerääjä mahtui rakenteiden väliin, ja purunäytteenoton jälkeen pussin suu voitiin kiertää kiinni, ettei kosteus pääsisi haihtumaan pois. Samoin kuin muovilaatikko purunäytepusseja asetetaan ennen purunäytteen ottoa purusuihkun kohtaan ja poistetaan näytepurujen sahauksen jälkeen.



*Kuva 16. Muovipussista ja -kanisterista valmistettu purunkerääjä Pilkemasterissa ja purunäytteen pussitus.*

Mäkisten Palax-pilkekoneesta purusuihku suuntautui ylhäälle koneen taakse vaakatasossa, eikä osunut maassa olevaan muovilaatikkoon. Purun keräämistä varten ei rakennettu telinettä keruustialle tai muuta apuvälinettä. Toinen työntekijöistä piteli muovilaatikkoa purusuihkun edessä kerätäkseen näytteen samaan aikaan, kun toinen katkoi puuta (kuva 17). Puru kerättiin ottamalla puolen tunnin välein satunnaisesti pilkottavana olevan rungon sahauspurut.



*Kuva 17. Purunäytteen kerääminen Palax-pilkekoneesta ja kokoaminen suljettavaan astiaan.*

Yhden päivän aikana tasalaatuisesta raaka-aineesta puolen tunnin välein kerätyt purunäytteet muodostavat kokoomanäytteen, josta määritetään kosteus kyseiselle pilke-erälle. Kokoomanäyte sekoitetaan ja siitä otetaan kolme rinnakkaisnäytettä, joista kosteus analysoidaan. Kolmen rinnakkaisnäytteen kosteustuloksesta lasketaan keskiarvo. Purunäytteiden kosteuden määrittämistä varten yrittäjille annettiin seurannan ajaksi käyttöön Kern MLB 50-3N –kosteusmittausvaaka (kuva 18) ja yrittäjiä opastettiin vaa’an käytössä.

Kosteusmittausvaaka kuivaa pienen näytteen infrapunalämmittimen avulla. Lämmitysvastuksen teho on 400 wattia. Suurin mitattavan näytteen massa on 50 grammaa ja tarkkuus yksi milligramma. Purunäyte kuivataan  $105 \pm 2$  °C:n lämmössä. Analysaattori mittaa kuivumista vaa’an avulla kuivauksen edetessä.



Vaaka on ohjelmoitu kuivaamaan niin kauan, kunnes näytteen painon putoaminen aikayksikössä alittaa tietyn raja-arvon. Kuivauksen päätyttyä näytteen kosteus voidaan lukea näytöltä.

Purujen kosteuden määrittämiseksi analysoitiin 3 – 15 gramman painoisia näytteitä. Aikaa kului näytettä kohti 20 – 45 minuuttia. Näytteen koko ei vaikuttanut tulokseen, ainoastaan kuluvaan kuivausaikaan. Näytteen kuivuminen kosteusmittausvaa’alla ei vienyt mittaajan aikaa. Mittaajan oli vain huolehdittava näytteen asettamisesta analysaattoriin, sieltä pois ottamisesta ja tuloksen kirjaamisesta. Tulos jää näytölle näkyviin, kunnes se on kirjattu ylös ja näyttö nollataan.



*Kuva 18. Purunäyte Kern MLB 50-3N –kosteusmittausvaa’alla.*

## 4.2 Pilkkeiden massan punnitus

### 4.2.1 Alkumassan punnitus

#### 4.2.1.1 Punnitus nosturivaa’alla

Tuotettaessa Energiapilkettä alkukosteus-punnitus-menetelmällä pilkkeet valmistetaan käsittely-yksiköihin, joita voidaan punnita. Esimerkiksi kuormalavoilla olevat verkkosäkit ja 3,2 irtokuutiometrin häkit ovat punnittavissa ja niiden massojen punnitsemiset soveltuvat konseptiin sellaisenaan. Kun pilkkeet valmistetaan irtopilkkeiksi kasoihin, alkukosteus-punnitus-menetelmää ei voi suoraan käyttää. Alkupunnituksen yhteydessä käsittely-yksikkö saa koodin, jolla se on myöhemmin tunnistettavissa. Seurannassa koodina käytettiin numeroita.

Monthan otti käyttöönsä irtopilketuotannon rinnalle menetelmän, jossa pilkkeet valmistettiin klapisäkkeihin, koska suuret irtopilkekehikot eivät olleet punnittavissa. Monthan valmisti molempina seurantavuosina pilkkeitä kuuteen

klapisäkkiin. Näiden pilkkeiden puruista otettiin kosteusnäytteet, säkeistä punnittiin alkumassat ja pilkkeiden kuivumista seurattiin säkkien välipunnituksilla.

Klapisäkit olivat pilkkeille tarkoitettuja suursäkkejä, joissa kaksi reunaa on ilman liikkumista helpottavaa harvempaa kudosta. Säkin sangat kestävät säkin nostamisen. Säkeissä on etiketilaput, joihin myyjä voi kirjoittaa yhteystietonsa. Säkit olivat yhden irtokuutiometrin kokoisia. Säkkien massat punnittiin Tamtron-nosturivaa'alla (vuonna 2010) ja Dini Argeo MCWLT1 –nosturivaa'alla (vuonna 2011), joka oli kiinnitetty traktorin juontokouran puumiin (kuva 19). Nosturi- eli koukkuvaa'at saivat tarvittavan virran ladattavasta akusta. Säkit numeroitiin. Numero kirjoitettiin etiketilappuun veden kestäväällä tussilla. Pilkkeiden valmistuksen jälkeen säkit nostettiin katoksen alle kuivumaan.



*Kuva 19. Klapisäkkien punnitus nosturivaa'alla.*

#### 4.2.1.2 Punnitus palkkivaa'alla

Mäkisten verkkosäkit ovat punnittavissa kokonsa puolesta. Palax-pilkekoneen poistokuljetin voidaan kääntää eri asentoihin, mikä mahdollistaa, että toista säkkiä voidaan alkaa täyttämään pysäyttämättä pilkontaa.

Kuormalavan ja verkkosäkin massa punnittiin DG Gemini Stad02 -palkkivaa'alla (kuva 20). Palkkivaaka on kaksi palkkia, joiden päissä on punnitusanturi. Palkkien päälle voidaan asettaa punnittava esine joko suoraan tai käyttäen apuna sopivaa punnitusalustaa. Palkkivaa'an maksimi punnitusmäärä on 2000 kilogrammaa palkkia kohti ja mittaustarkkuus yksi kilogramma. Vaaka toimii verkkovirralla tai vaihtoehtoisesti akusta tai autopistokkeesta saatavalla virralla. Palkit kiinnitettiin kuormalavan päälle. Palkkien päälle laitettiin teräslevy suojaamaan palkkeja. Lisäksi levy esti kuormalavan läpi työntäviä pilkkeitä vääristämästä punnitus tulosta. Palkkivaa'an tarvitsema virta otettiin auton tupakansytyttimestä



ja vaa'an näyttö oli pakettiauton takaosassa kirjanpitovälineiden vieressä mahdolliselta sateelta suojassa. Kevään 2010 tuotannon alussa punnittiin massa joka toisesta säkistä, koska rinnakkain olevista säkeistä vaaka oli vain toisen alla. Myöhemmin vaaka siirrettiin sivummalle ja jokainen säkki käytiin punnitsemassa vaa'alla ennen varastopaikalle siirtämistä.



*Kuva 20. DG Gemini –palkkivaaka.*

Pietilän 3,2 irtokuutiometrin pilkehäkit oli ensin tarkoitus punnita mittaamalla häkkien massat traktorin etukuormainvaa'alla. Öljynpainetta mittaava anturi asennettiin etukuormaimen nostosylinterin letkuun T-kappaleen avulla. Hyttiin asennetulta näytöltä voitiin lukea punnitustulos. Etukuormainvaa'alla häkkien massat saataisiin punnittua työtä ja aikaa säästään samalla, kun häkkeitä siirretään traktorilla kuivauspaikalle, varastoon tai myyntiin. Tätä punnitustapaa ei kuitenkaan voitu käyttää epätarkkuuden vuoksi, mikä todennäköisesti aiheutui etukuormaimen nivelien kuluneisuudesta. Punnituksessa käytettiin palkkivaakaa.

Palkkivaaka kiinnitettiin kuormalavan päälle ja palkkien päälle laitettiin suojaksi paksu vaneri. Vaneri nopeutti punnitusta, koska palkkeja ei silloin tarvinnut varoa niin paljoa. Vaneri esti myös kuormalavan väleistä työntyvien pilkkeiden vääristämästä punnitustulosta. Palkkivaaka sai tarvitsemansa virran akusta. Vaa'an näyttö oli kiinnitetty telineeseen vaa'an viereen, niin että punnitustuloksen näki traktorin hytistä, jossa punnitustulokset kirjattiin muistiin paperille. Näyttö suojattiin sateelta muovipussilla. Pilkehäkit siirrettiin traktorilla valmistuspaikalta vaa'alle ja siitä edelleen kuivauspaikalle (kuva 21). Pilkehäkit numeroitiin punnituksen yhteydessä kirjoittamalla lavan kulmaan numero veden kestäväällä maalikynällä.



*Kuva 21. Pilkehäkin massan punnitus palkkivaa'alla.*

#### 4.2.1.3 Punnitus haarukkavaunuvaa'alla ja nosturivaa'alla

Sironen valmistaa pilkkeet irtokasaan, jonka massa ei ole punnittavissa. Pilkekasan vierelle tehtiin kontrollihäkki ja -säkki pilkkeitä täyteen. Ajatuksena oli kontrollierien välipunnituksilla seurata pilkekasan kuivumista.

Kontrollieriin pilkotuista näytteistä otettiin kosteusnäyte ja häkin ja säkin massat punnittiin pilkkeiden teon yhteydessä. Pilkehäkin massa punnittiin Rocla-haarukkavaunuvaa'alla (kuva 22). Haarukkavaunuvaaka, tunnetaan myös pumppukärryvaakana, vaatii kovan ja tasaisen alustan. Klapisäkin massa punnittiin traktorin etukuormaajaan kiinnitetyllä nosturivaa'alla eli koukkuvaa'alla.



*Kuva 22. Pilkehäkin punnitus Rocla-haarukkavaunuvaa'alla*



#### 4.2.2 Massan punnitus toimitettaessa

Toimittaessaan pilkkeitä Mäkiset punnitsivat aluksi myytävien pilkkeiden massan autonosturin koukkuun kiinnitetyllä Dini Argeo -nosturivaa'alla. Punnitus tapahtui ostajan luona ja ostaja näki pilkkeiden painon vaa'alta. Projektin aikana käytännöksi vakiintui tapa punnita toimitettavat pilkkeet lastauksen yhteydessä palkkivaa'an avulla (kuva 23). Asiakas saa tuoteselosteen, jossa on mittaustulokset.

Pietilän pilkkeiden massa punnittiin samalla tavalla kuin valmistuksen yhteydessä. Häkit siirrettiin traktorilla palkkivaa'alle, punnittiin ja massa kirjattiin muistiin. Häkki tyhjennettiin kuljetusta varten perävaunuun.



*Kuva 23. Pilkelavojen punnitus toimituksen yhteydessä palkkivaa'ojen avulla.*

#### 4.3 Mittaustietojen käsittely

Pilkkeiden valmistuksen eri mittaustietojen tallentamista ja tulosten käsittelyä varten laadittiin Excel-taulukko. Syötettäessä Excel-taulukkoon pilkkeiden teon yhteydessä pilkkeiden alkukosteus ja käsittely-yksiköiden massat, taulukko laskee tavoitemassan, joka saavutettaessa pilkkeet ovat tarpeeksi kuivia myyntiin. Pilkkeiden tavoitekosteuden saavuttamista seurataan välipunnitusten avulla. Taulukkoon merkitään pilkkeiden teon päivämäärä, erän yksilöintitieto eli koodi, tyhjän säkin tai häkin massa sisältäen punnitusvälineiden (liinat tai ketjut) massat sekä täyden häkin tai säkin bruttomassa. Taulukko laskee annetuilla tiedoilla käsittely-yksikön sisältämien pilkkeiden massan.

Kosteusnäytteen kolmen eri rinnakkaisnäytteen tulokset syötetään taulukkoon. Taulukko laskee tulosten keskiarvon, jota käytetään sen pilke-erän alkukosteutena. Näiden tietojen avulla taulukko laskee kunkin käsittely-yksikön pilkkeiden kuiva-ainemassan kiloina. Annettaessa taulukkoon tavoitekosteusprosentti, taulukosta voi nähdä, paljonko kunkin käsittely-yksikön bruttomassa on tässä tavoitekosteudessa. Kun tavoitemassa on saavutettu, ovat pilkkeet kuivuneet tavoitekosteuteen.

Alkukosteuspurut kerätään kokonaisen työpäivän pilke-erästä. Myös toimituskosteus tulisi määrittää punnitsemalla ja laskemalla kyseisen pilke-erän käsittely-yksiköiden, tai ainakin muutamien kyseistä erää edustavien käsittely-yksiköiden, kosteuksien keskiarvo. Näin päästään parempaan tarkkuuteen kuin yksittäisiä käsittely-yksiköitä punnitsemalla.

Tiedot kirjattiin pilkkeentekopaikalla paperille, josta ne syötettiin Excel-  
taulukkoon. Taulukon käyttöä laajennettiin niin, että tavoitekosteutta suuremmille kosteuspitoisuuksille laskettiin valmiiksi käsittely-yksikön massa. Näin voitiin seurata miten pilkkeiden kuivuminen edistyy. Kuivumisen edistyttyä hyvin, laskettiin vielä tavoitekosteutta alempia kosteuspitoisuuksia vastaavat käsittely-yksiköiden massat.

Välipunnituksilla voidaan seurata käsittely-yksiköiden massan muutosta, jolloin saadaan selville pilkkeiden kosteus ja ovatko pilkkeet saavuttaneet tavoitekosteuden, jolloin niitä voidaan alkaa myydä. Seurannan aikana tavoitekosteutena pidettiin 18 %.

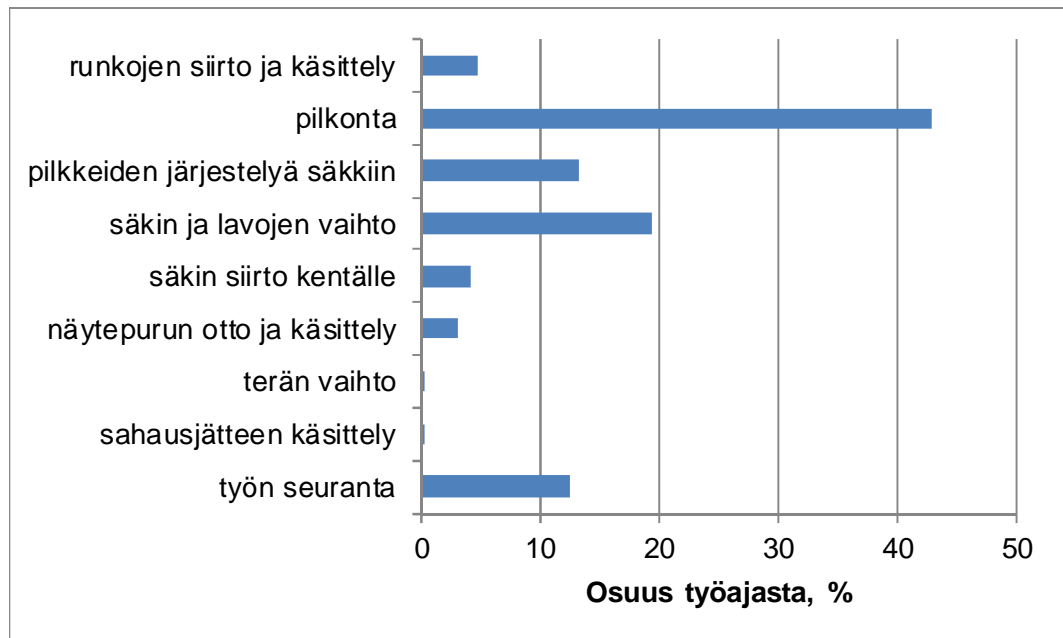
Taulukon avulla laskettiin myös käsittely-yksiköiden pilkkeiden sisältämät energiamäärät käyttäen luvussa 1.3 esitettyjä laskukaavoja. Taulukoista on esimerkki liitteessä 1.

## 5 Tulokset ja niiden tarkastelua

### 5.1 Pilkkeiden valmistuksen työvaiheet ja ajanmenekit

Kosteusnäytteiden ottamisesta ja pilkkeiden punnituksesta aiheutuvaa lisäajanmenekkiä selvitettiin pilkkeiden valmistuksen yhteydessä työvaiheiden seurannalla. Pilkkeiden valmistuksen työvaiheita seurattiin tästä lähtökohdasta Puumäkisellä sekä Pietilällä. Monthanilla sekä Laukaan vankilan tilalla purunäytteet otti tutkija. Kylmälahti otti itse purunäytteet, mutta ajanmenekkiä ei mitattu.

Mäkisen seurannassa pilkkeet valmistettiin 1,5 irtokuution verkkosäkkeihin. Purunäytteiden ottamisen ja sekoittamisen ajanmenekki oli keskimäärin 50 sekuntia irtokuutiometriä kohden. Täyden pilkesäkin punnitus pilkkonnan yhteydessä ei vienyt lisäaikaa, koska verkkosäkin täyttö tapahtui punnitusvaa'an päällä. Kuva 24 esittää pilkkeiden valmistuksen työvaiheet ja suhteelliset osuudet neljän tunnin työskentelyjaksosta. Työ tapahtui kahden henkilön tekemänä. Purunäytteen ottaminen tapahtui 20 minuutin välein ja vei avustavan henkilön työaika 40 sekuntia kerrallaan. Purunäytteiden ottaminen ja käsittely vei 3 % työparin kokonaistyöajasta. Pilkkeitä valmistui noin 2,2 irtokuutiota tunnissa työntekijää kohden. Pilkontatyövaiheen tehotuntuottavuus oli 5,1 irtokuutiota tunnissa.



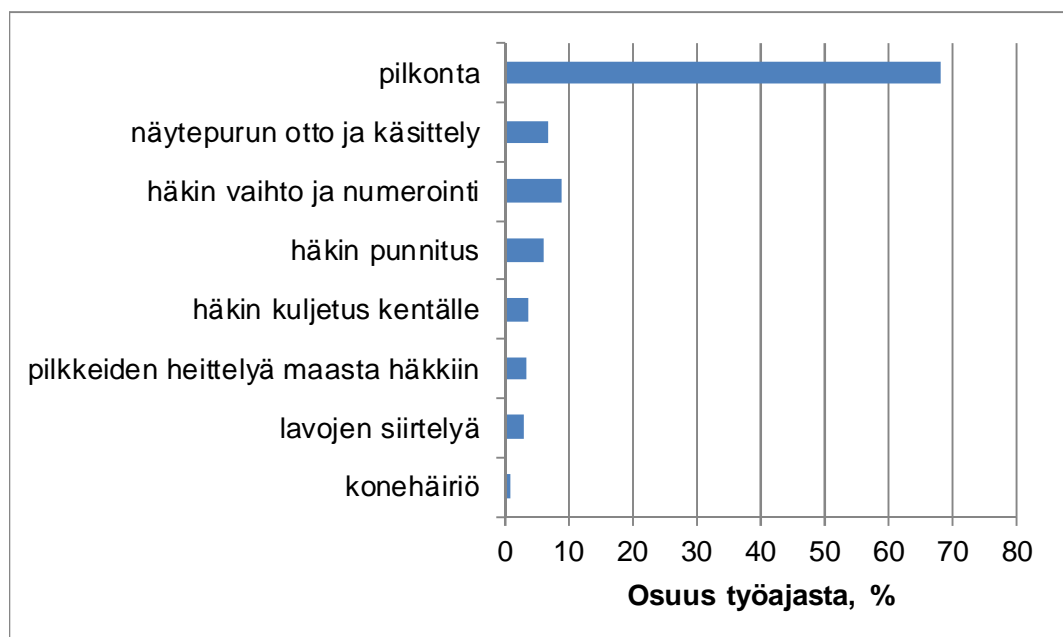
Kuva 24. Työvaiheiden osuus työajasta Mäkisten työtavassa, jossa kaksi henkilöä työskenteli. Pilkkonnan hoiti yksi ja muut työvaiheet toinen henkilö.

Taulukossa 2 on neljän eri lavallisen mittaustiedot. Kaikilla lavoilla pilkkeet ovat tilavuusmitaltaan 1,5 irtokuution verkkosäkkiin kehikon avulla täytettyjä. Tuloksista näkyy suuri vaihtelu, paljonko irtokuutioita yhdestä kiintokuutiosta raaka-ainetta on valmistunut. Verkkosäkkejä täytettäessä pilkkeitä oli jonkin verran aseteltava tiiviimpään järjestykseen, jotta pakkauksesta tuli tukeva.

Taulukko 2. Mittaustietoa pilkkeiden valmistuksesta Puumäkiset Oy:llä 2010. Toimituskosteuteen lasketussa irtotiheydessä ei ole otettu huomioon kutistumista eikä lavojen liikuttelussa tapahtuvaa tiivistymistä.

Lavallisten vertailu		Lava				keski-	keski-
		8	9	10	11	arvo	hajonta
kiintotilavuus	dm <sup>3</sup>	661	697	643	604	651	38
runkoja	kpl	24	21	19	25	22	2.8
keskiläpimitta	cm	10.6	11.6	11.6	9.9	10.9	0.8
keskikoko	dm <sup>3</sup>	28	33	34	24	30	4.6
irtotilavuus	dm <sup>3</sup>	1500	1500	1500	1500	1500	0
<b>irtoa/kiinto</b>		<b>2.27</b>	<b>2.15</b>	<b>2.33</b>	<b>2.48</b>	<b>2.31</b>	<b>0.14</b>
puiden massa	kg	567	542	518	506	533	27
kosteus	%	43.1	43.1	40.9	40.9	42.0	1.3
kiintotiheys	kg/m <sup>3</sup>	858	778	806	837	820	35
kuivatuoretiheys	kgKA/m <sup>3</sup>	488	443	476	495	475	23
irtotiheys	kg/i-m <sup>3</sup>	378	361	345	337	356	18
toimituskosteus	%	16	16	16	16		
irtotiheys (ei kutist.)	kg/i-m <sup>3</sup>	256	245	243	237	245	8
energiasisältö	kWh	1644	1571	1559	1523	1574	51

Pietilän seurannassa pilkkeet valmistettiin 3,2 irtokuution häkkeihin (Kuva 25). Pilkottavat rungot olivat pilkekoneen vieressä. Purunäytteiden käsittelyyn kului aikaa 1,5 minuuttia irtokuutiometriä kohden ja punnitukseen 1,3 minuuttia irtokuutiometriä kohden. Punnittaessa käsittely-yksikkö nostettiin vaa'alle, luettiin lukema ja käsittely-yksikkö siirrettiin kuivauspaikkaan. Pilkkeitä valmistui noin 2,7 irtokuutiota tunnissa. Pilkontatyövaiheen tehotuntuottavuus oli 4,0 irtokuutiota tunnissa.



Kuva 25. Työvaiheiden osuus työajasta Pietilän työtavassa. Kaikki työvaiheet hoiti yksi henkilö.

Laukaan vankilan tilalla pilkkeet valmistettiin 2,5 irtokuutiometrin häkkeihin. Pilkonnan tehotuntuottavuudet kahdella eri mittauskerralla olivat 6,8 ja 8,6

irtokuutiota tunnissa kahden henkilön työskentelyssä. Häkkien punnitus traktorin etukuormaimen, nostoketjujen ja koukkuvaa'an avulla kesti 3 – 5 minuuttia häkkiä kohti, keskimäärin 1,7 minuuttia irtokuutiota kohden. Punnituksen osuus yhteenlasketusta pilkonnan ja punnituksen työajasta oli 3 %.

## 5.2 Pilkkeiden kuivuminen

Pilkkeiden kuivumisesta ja pilkkeiden välisistä kosteuseroista kerättiin tietoa. Seuraavassa on esimerkkejä erilaisista kuivaustavoista vuosilta 2010 ja 2011. Tutkimuksessa kerättiin tiedot noin 50 kuivumistapauksesta, jotka käsittivät erilaisia käsittely-yksiköitä, irtopilkekehikoita, luonnonkuivausta sekä kylmä- ja lämminilmakuivausta. Kustakin kerättiin 15 – 70 näytepilkettä, joista määritettiin pilkkeiden loppukosteus kuivamassan suhteen (vesi/kuiva-aine). Pilkkeiden loppukosteuksista laskettiin keskiarvo ja keskihajonta (stdev). Lopuksi keskiarvon ja keskihajonnan yksikkö muutettiin kosteusprosentiksi (vesi/kokonaismassa). Keskihajonnan yksikkö on sama kuin alkuperäisen muuttujan eli kosteusprosentti. Tulokset esitetään kuvaajina ja taulukkoina. Useissa kuvaajissa on x-muuttujana pilkkeen kokoa kuvaamassa kuivamassa eli pilkkeen massa, kun kaikki kosteus on haihdutettu. Taulukossa 3 on esimerkki koivupilkkeen kuivamassan ja raaka-aineena käytetyn pyöreän puun läpimitan yhteydestä. Taulukossa on myös vastaava pilkkeen massa tuoreena.

### 5.2.1 Pilkkeiden kuivuminen käsittely-yksiköissä

Seuraavassa on esimerkkejä pilkkeiden kuivumisesta ja kuivien pilkkeiden kosteushajonnasta erilaisissa käsittely-yksiköissä.

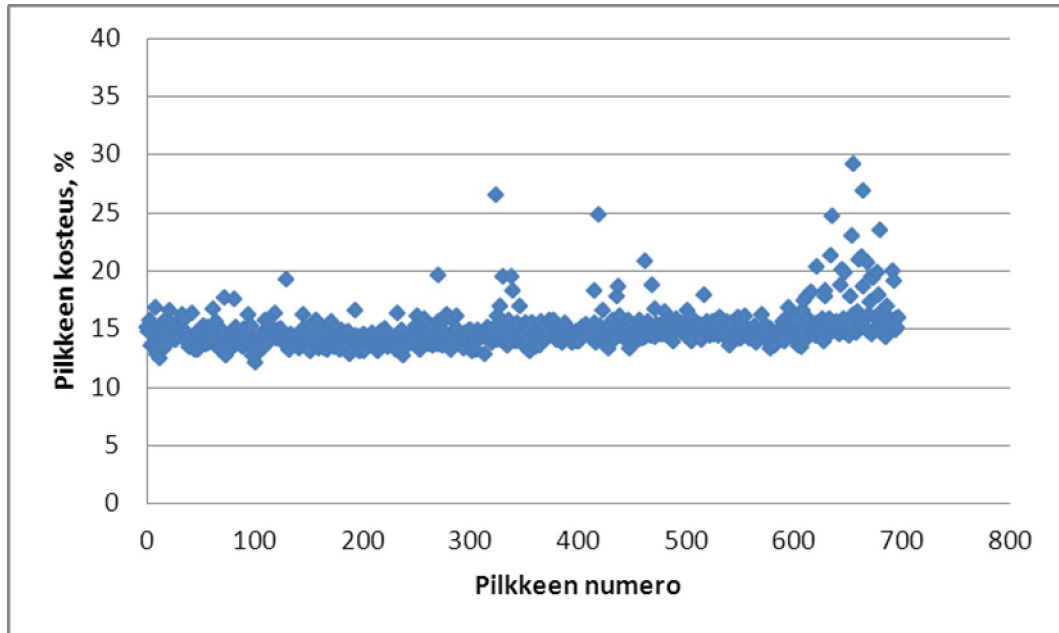


*Kuva 26. Pilkkeitä kuivumassa 1,5 irtokuution verkkosäkeissä kuormalavoilla avoimella paikalla kesällä 2010. Yhden säkillisen pilkkeet tutkittiin yksin kappalein.*

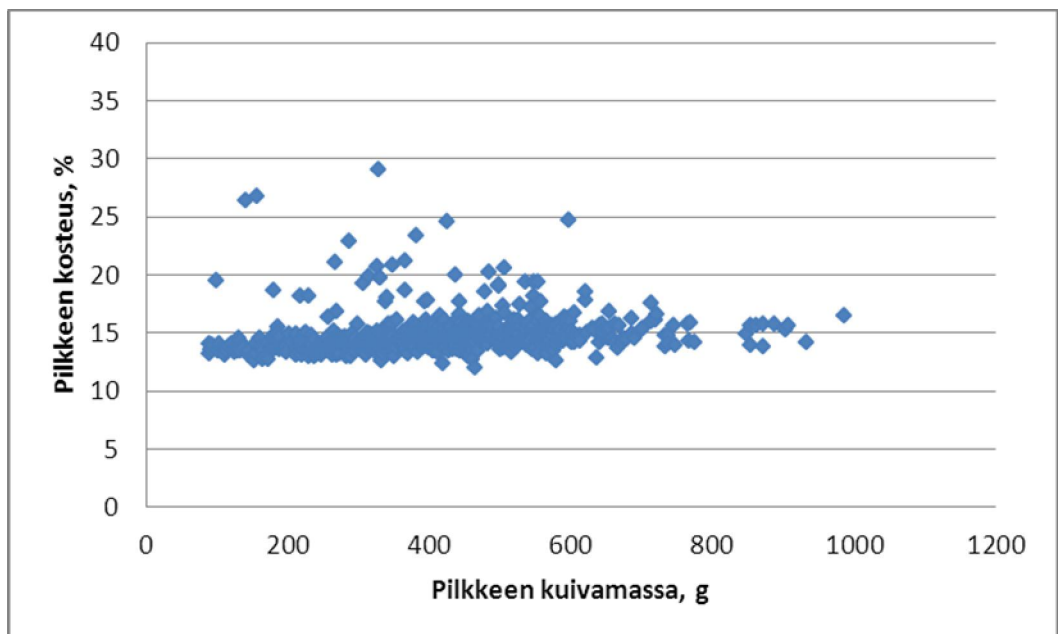
Kuvan 26 mukaisissa oloissa kuivuneet pilkkeet tutkittiin yksin kappalein. Jokaisen pilkkeen keskikosteus sekä joka toisen sisäinen kosteushajonta (3 osaa) määritettiin uunikuivausperiaatteella. Pilkkeet on järjestetty pilkkeen sijainnin mukaan kuvassa 27 ja pilkkeen koon (pilkkeen massa täysin kuivana) mukaan kuvassa 28. Pilkkeen kuivamassan ja pilkkeen dimensioiden yhteydestä on esimerkkejä taulukossa 3. Kolmeen osaan katkottujen pilkkeiden osien kosteudet ovat taulukossa 4.



Pilkelavan pohjalla oli muutamia muita kosteampia pilkkeitä (kuva 27). Tämän aiheutti kesän mittaan kasvanut nurmikko, joka kostutti uloimpia pilkkeitä. Myös ylempänä oli muutamia sateen kostuttamia pilkkeitä.



Kuva 27. Verkkosäkissä luonnonkuivauksella kuivuneiden pilkkeiden loppukosteudet. Pilkkeiden kuivausaika 20.5. - 26.8.2010. Pilkkeiden järjestysnumerot kasvavat pinnalta pohjalle. Loppukosteuksien keskiarvo 14,8 %, keskihajonta 2,4 % (n=697 kpl). Pilkkeiden alkukosteus oli keskimäärin 43,3 %.



Kuva 28. Verkkosäkissä luonnonkuivauksella kuivuneiden pilkkeiden loppukosteudet pilkkeiden koon mukaan järjestettynä. Pilkkeiden kuivausaika 20.5. - 26.8.2010. Loppukosteuksien keskiarvo 14,8 %, keskihajonta 2,4 % (n=697 kpl). Pilkkeiden alkukosteus oli keskimäärin 43,3 %.

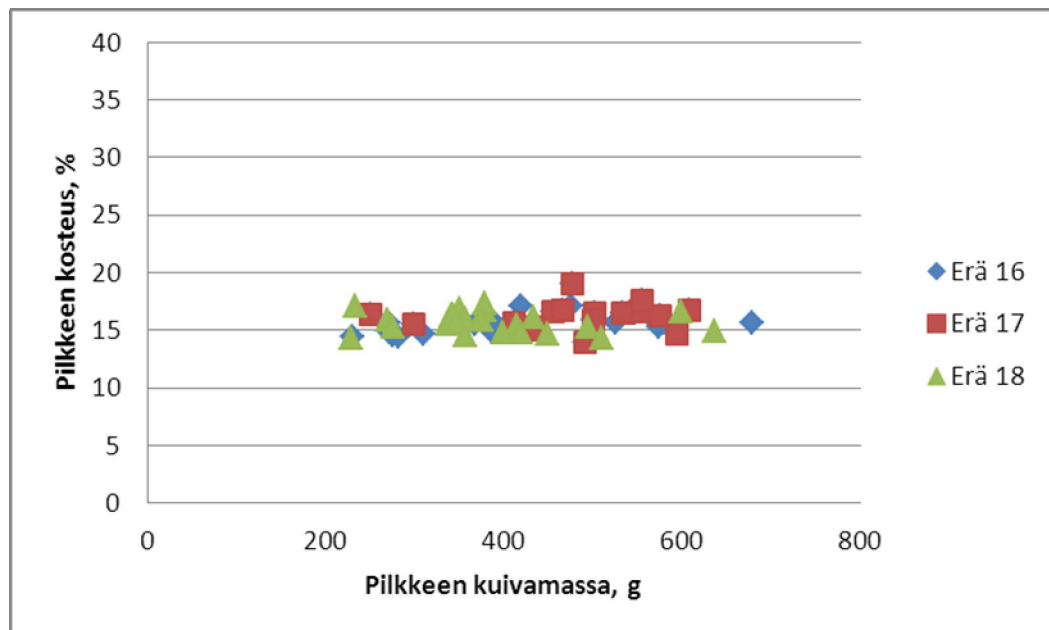
Taulukko 3. Esimerkki raaka-aineen läpimitan ja valmistetun koivupilkkeen kuivamassan (kosteus 0 %) laskennallisesta yhteydestä eri tavoin halkaistuilla pilkeillä, kun koivupilkkeen pituus on 33 cm. Taulukossa myös pilkkeen kuivamassaa vastaava tuoremassa (kosteus 43 %). Puun kuivatuoretiheys laskennassa 490 kg/m<sup>3</sup>.

Raaka-aineen läpimitta, cm					
Pilkkeen kuivamassa	halkaisematon pilke	1/2-pilke	1/4-pilke	1/6-pilke	Pilkkeen tuoremassa
500 g	6	9	13	15	900 g
1000 g	9	13	18	22	1800 g
1500 g	11	15	22	27	2600 g

Taulukko 4. Verkkosäkissä luonnonkuivauksella 20.5. - 26.8.2010 kuivuneiden kolmeen osaan katkaistujen pilkkeiden (n=348 kpl) osien kosteudet. Osa b on pilkkeen keskimäinen osa. Pilkkeen päätyjen a ja c suunta on ollut verkkosäkissä satunnainen.

Pilkkeiden osien kosteudet, %			
Osat	pääty a	keskiosa b	pääty c
keskiarvo	14,7	14,9	14,7
min	11,9	12,2	12,2
max	39,6	23,3	27,8

Kuvassa 29 on verkkosäkeissä kuivuneiden pilkkeiden kosteudet. Pilkkeet kuivuivat kuvan 26 mukaisissa olosuhteissa.



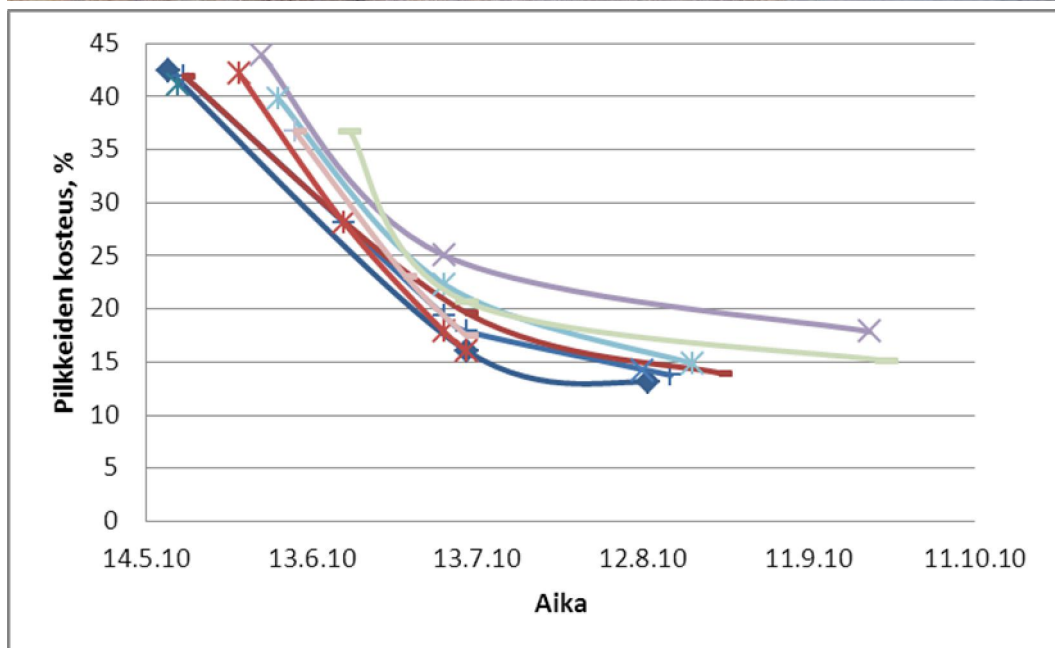
Kuva 29. Kolmen verkkosäkissä luonnonkuivauksella 2010 kuivuneen pilkelavallisen kosteus pilkkeiden kuivamassan mukaan järjestettynä. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvot ja keskihajonnat: Erä 16 15,5 % ja 1,1 %; Erä 17 16,2 % ja 1,7 %; Erä 18 15,7 % ja 1,3 %.



*Taulukko 5. Verkkosäkeissä luonnonkuivauksella vuonna 2011 kuivuneiden koivupilkkeiden kuivumistietoja. Puolentoista irtokuution verkkosäkit kuormalavoilla. Alkukosteudet on määritetty purunäytteistä. Alinna kuvat taulukossa esitetyistä tapauksista.*

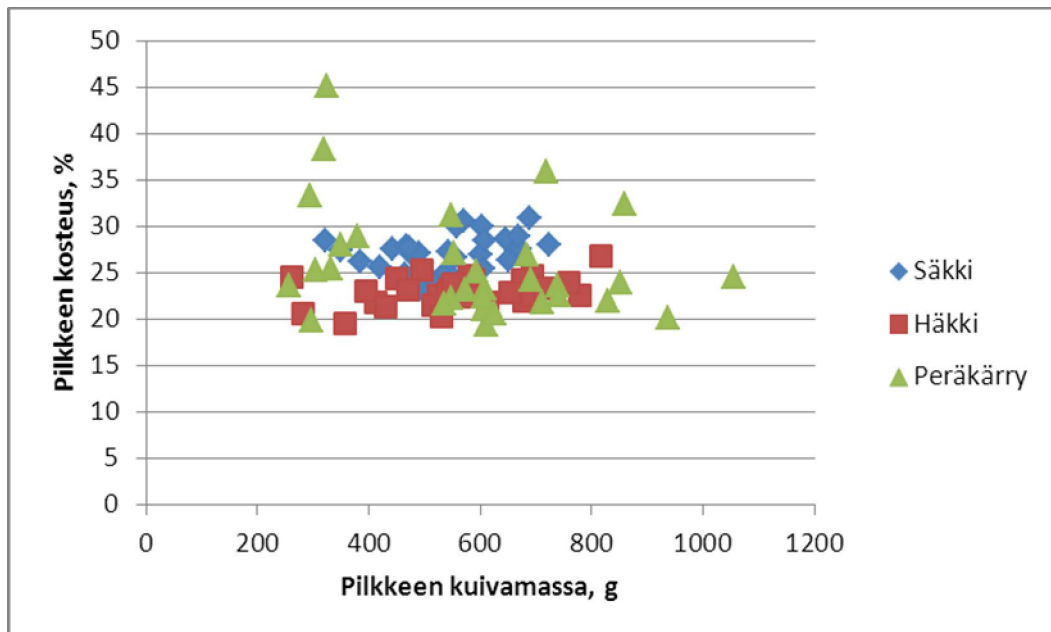
Kuivaus- ja varastointi	Säkki nro	Pilkkeiden valmistus pvm	Näytteiden otto pvm	Säkillisten alkukosteus %	Pilkkeiden kosteus		Näyte-pilkkeitä kpl
					keskiarvo %	keskihajonta %	
kuivaus katoksessa valmistuksesta alkaen							
	37	20.3.	12.8.	44.5	14.6	0.6	15
	62	20.3.	12.8.	44.5	13.6	0.5	15
kuivaus ulkona, kesäkuussa halliin							
	138	4.4.	8.9.	45.2	18.1	1.3	14
	144	5.4.	8.9.	43.7	17.3	2.3	15
	143	5.4.	20.9.	43.7	16.4	1.0	15
	158	5.4.	20.9.	42.9	14.9	0.4	16
	201	8.4.	8.9.	43.4	16.9	1.0	15
kuivaus ulkona, säilytetty ulkona pressun alla							
	628	30.6.	20.9.	30.1	17.0	1.1	16
	629	30.6.	8.9.	30.1	20.3	1.1	15



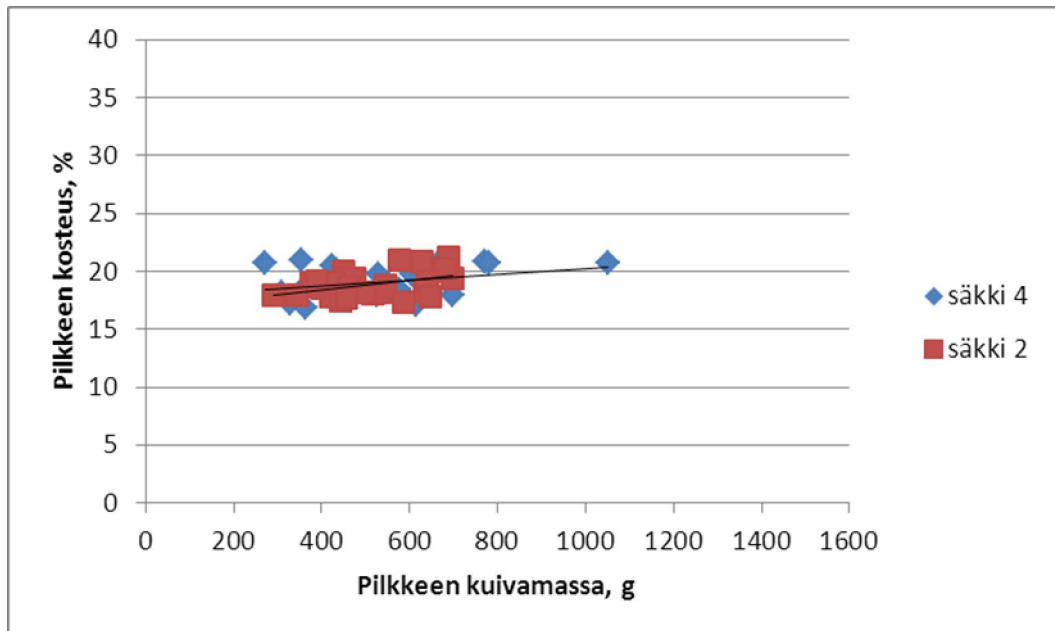


Kuva 30. Esimerkkejä pilkkeiden kuivumisesta 3,2 irtokuution metalliverkkohäikeissä luonnonkuivauksella. Alkukosteudet on määritetty sahauspurusta. Kuivumisen seuranta on tehty punnitsemalla.

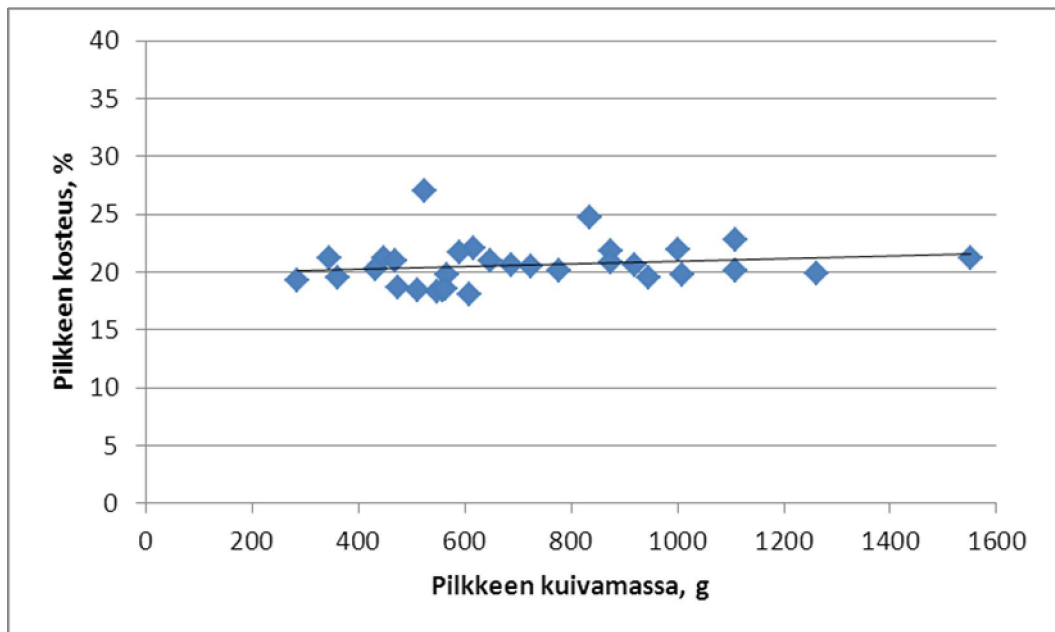
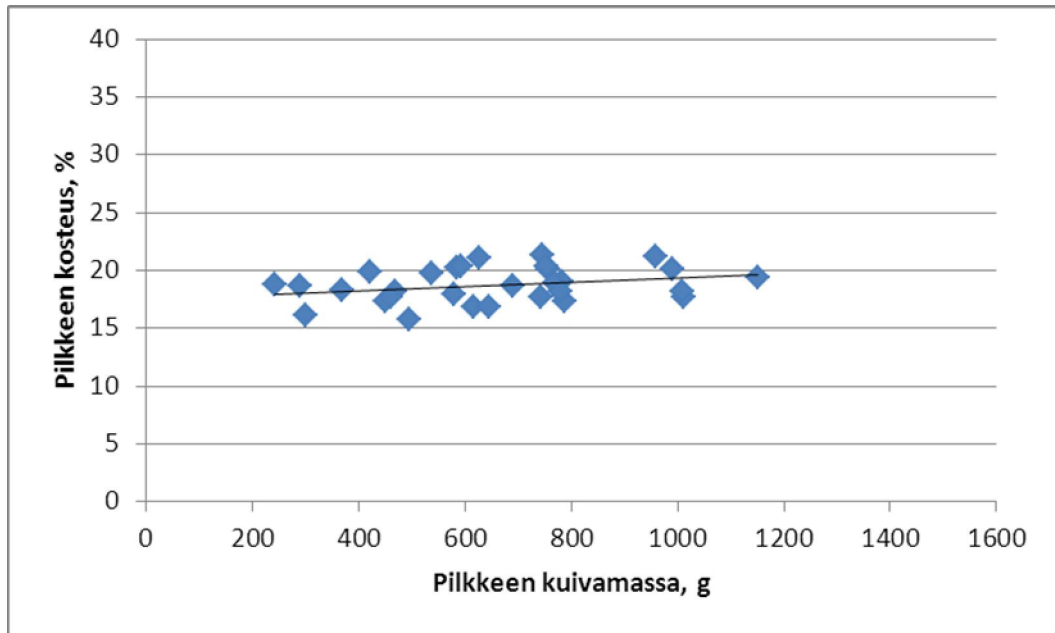




Kuva 31. Klapisäkissä, metallilankahäkissä sekä traktorin perävaunussa vuonna 2010 kuivuneiden pilkkeiden loppukosteudet. Pilkkeet ovat olleet säkissä ja häkissä taivasalla irtopilkekasan kyljessä toukokuusta syyskuuhun, jolloin siirretty katokseen, ja traktorin peräkärriyssä katoksessa toukokuussa valmistamisesta alkaen. Kosteusnäytteet on otettu marraskuun alussa. Pilkkeiden keskikosteudet ja kosteuden keskihajonnat: säkki ( $n=30$  kpl) 27,0 % ja 3,8 %, häkki ( $n=30$  kpl) 23,0 % ja 2,5 %, peräkärri ( $n=30$  kpl) 26,4 % ja 11,2 %.

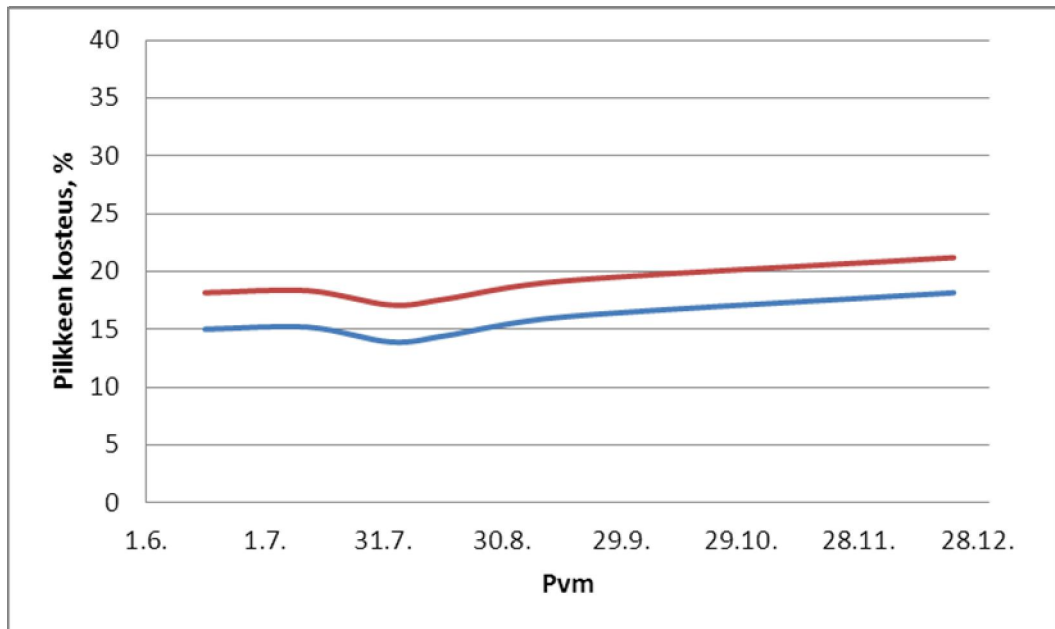


Kuva 32. Koivupilkkeiden kosteus katoksessa kuivauksen jälkeen. Pilkkeet 1,0 irtokuutiometrin klapisäkeissä. Kuivausaika 22.6. - 9.11.2010, alkukosteudet noin 46 %. Säkki 4: pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,0 %, keskihajonta 1,8 %. Näytepilkkeitä 30 kpl. Säkki 2: pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 18,9 %, keskihajonta 1,6 %. Näytepilkkeitä 30 kpl.



Kuva 33. Koivupilkkeiden kosteus kuvan 32 katoksessa kuivauksen jälkeen. Pilkkeet 1,0 irtokuutiometrin klapisäkeissä. Ylempi kuvaaja: kuivausaika 20.5.-14.10.2011, alkukosteuksien keskiarvo 44,1 %. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 18,7 %, keskihajonta 2,2 %. Näytepilkkeitä 30 kpl. Alempi kuvaaja: kuivausaika 28.6.-28.9.2011, alkukosteuksien keskiarvo 40,6 %. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 20,6 %, keskihajonta 3,0 %. Näytepilkkeitä 31 kpl.





Kuva 34. Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskuksen (POKE) valmistamia pilkkeiden kuivaus- ja varastointihäkkeitä. Kuvaaja esittää vinoseinäisen häkin pilkkeiden kosteuden muuttumista. Ylempi käyrä on laskettu joulukuussa otettujen ja alempi käyrä kesäkuussa otettujen näytepilkkeiden kosteuksien sekä pilkkeiden massan perusteella. Pilkkeet on valmistettu keväällä 2011.

Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskuksen (POKE) oppilaat valmistivat pilkkeiden kuivaus- ja varastointihäkkeitä (kuva 34). Häkit täytetään avattavan katon kautta ja puretaan päädyssä olevasta ovesta. Pilkkeet on valmistettu keväällä 2011. Pilkehäkkien punnitustulosten mukaan pilkkeet eivät juuri kuivuneet kesäkuun lopun jälkeen. Massa alkoi vähän lisääntyä syksyllä. Näytepilkkeistä määritetty pilkkeiden kosteus oli kesäkuun lopulla 15 % ja vuoden lopulla 21 %. Näytepilkkeet edustivat lähinnä pintakerroksia. Kuvaan 34 on laskettu vinoseinäisessä häkissä olevien pilkkeiden kuivumiskäyrät kesäkuussa ja joulukuussa otettujen näytteiden kosteuksien ja vinoseinäisen häkin massan perusteella. Todellinen kosteus lienee käyrien välissä, koska pintakerroksessa olevat pilkkeet kuivuvat nopeimmin, mutta myös kostuvat ensiksi.

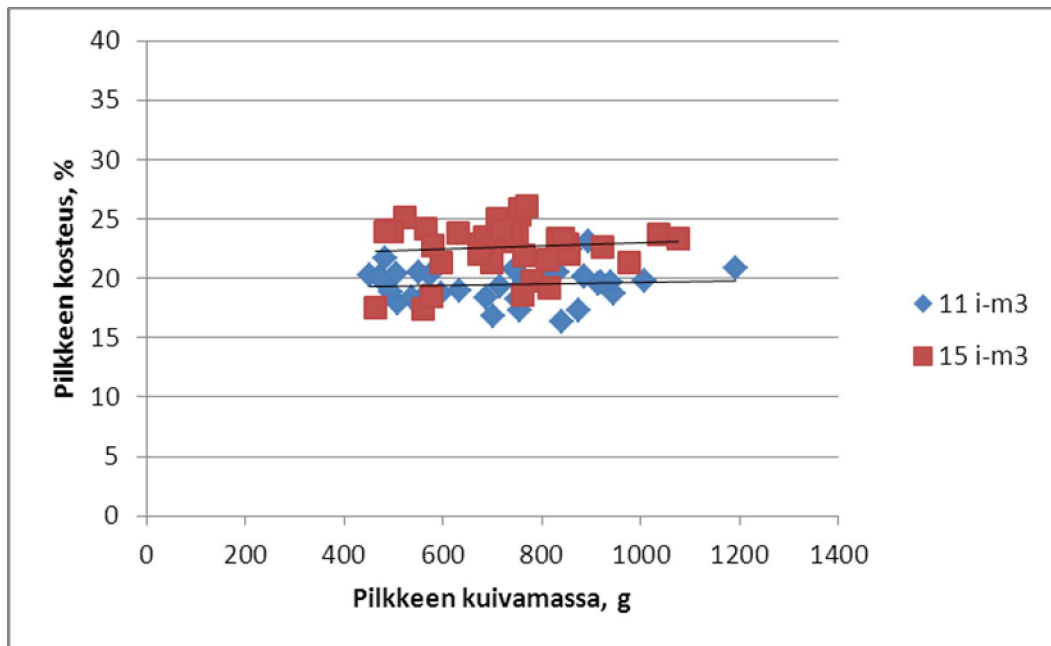


## 5.2.2 Pilkkeiden kuivuminen irtokasoissa

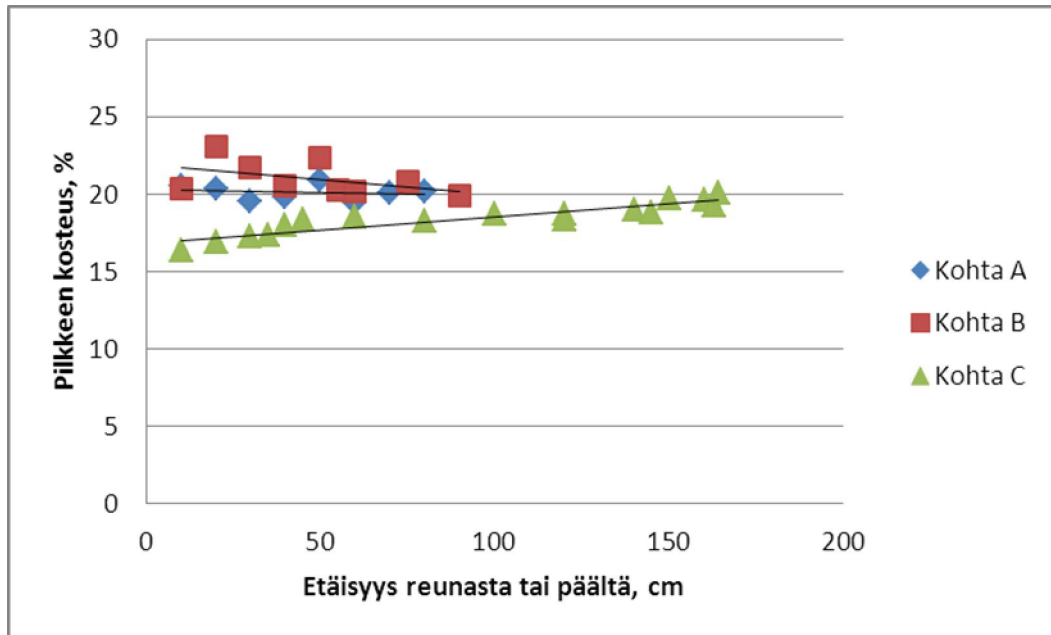
Seuraavassa on esimerkkejä pilkkeiden kuivumisesta ja kuivien pilkkeiden kosteushajonnasta erilaisissa irtopilkekasoissa.



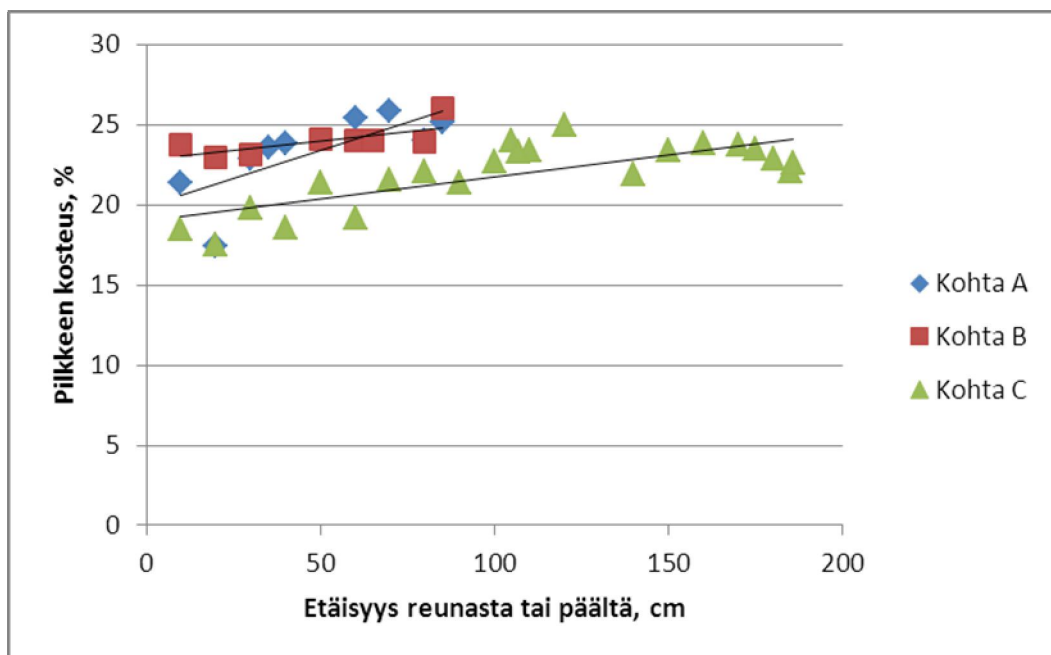
Kuva 35. Pilkkeitä kuivumassa 11 ja 15 irtokuutiometrin metalliverkkokehikoissa metsäaukealla.



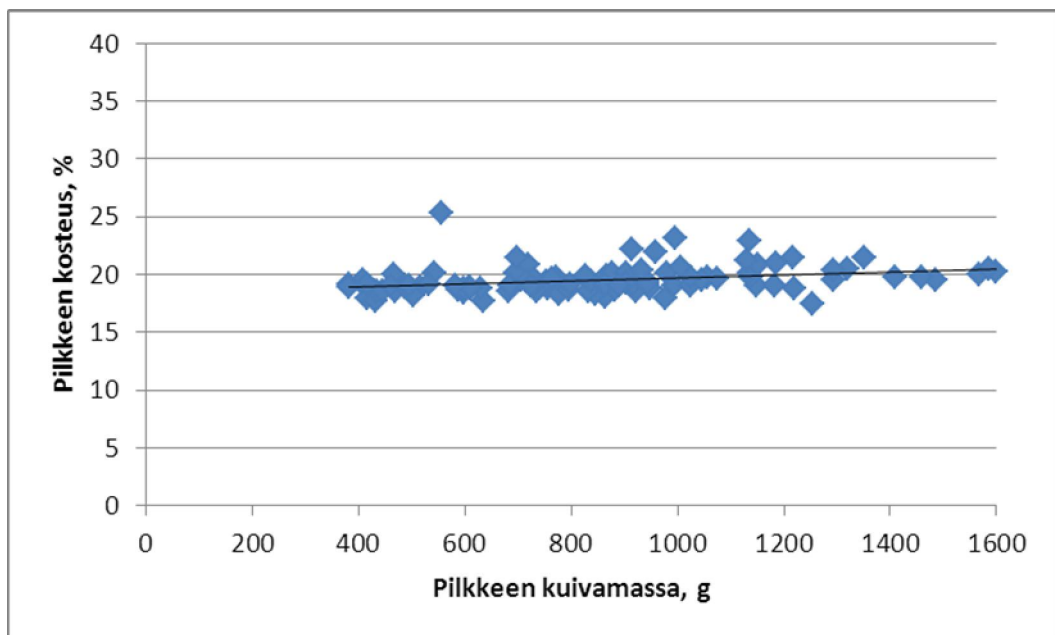
Kuva 36. Pilkkeiden kosteus 11 (valmistettu 14.5.) ja 15 (valmistettu 15.6.) irtokuutiometrin metalliverkkokehikoissa (kuva 35). Kehikot peitetty 13.8. ja näytteet kerätty 5.11.2011. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo pienemmässä kehikossa 19,5 % ja keskihajonta 2,2 % sekä suuremmassa kehikossa keskiarvo 22,7 % ja keskihajonta 3,4 %. Näytepilkkeitä 34 ja 39 kpl.



Kuva 37. Pilkkeiden kosteus 11 irtokuutiometrin metalliverkkokehikossa (kuva 35). Pilkkeet valmistettu 14.5., kasa peitetty 13.8. ja näytteet kerätty 5.11.2011. Näytepilkkeet on kaivettu kasan reunoilta keskelle päin vastakkaisilta puolilta (A ja B) ja päältä alaspäin (C). Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,5 ja keskihajonta 2,2 %.

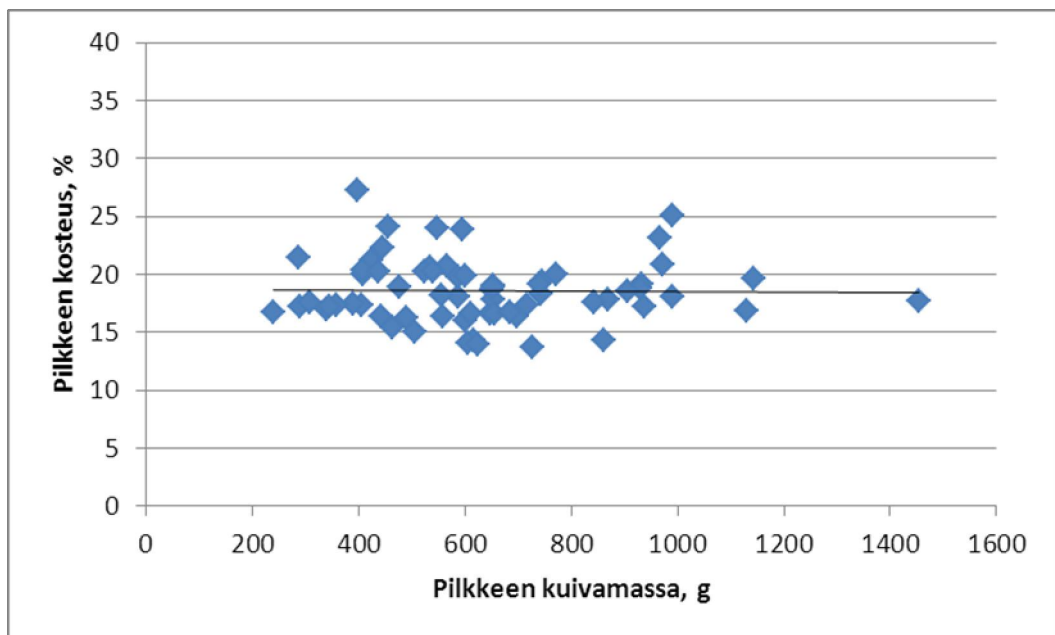


Kuva 38. Pilkkeiden kosteus 15 irtokuutiometrin metalliverkkokehikossa (kuva 35). Pilkkeet valmistettu 15.6., kasa peitetty 13.8. ja näytteet kerätty 5.11.2011. Näytepilkkeet on kaivettu kasan reunoilta keskelle päin vastakkaisilta puolilta (A ja B) ja päältä alaspäin (C). Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 22,7 % ja keskihajonta 3,4 %.

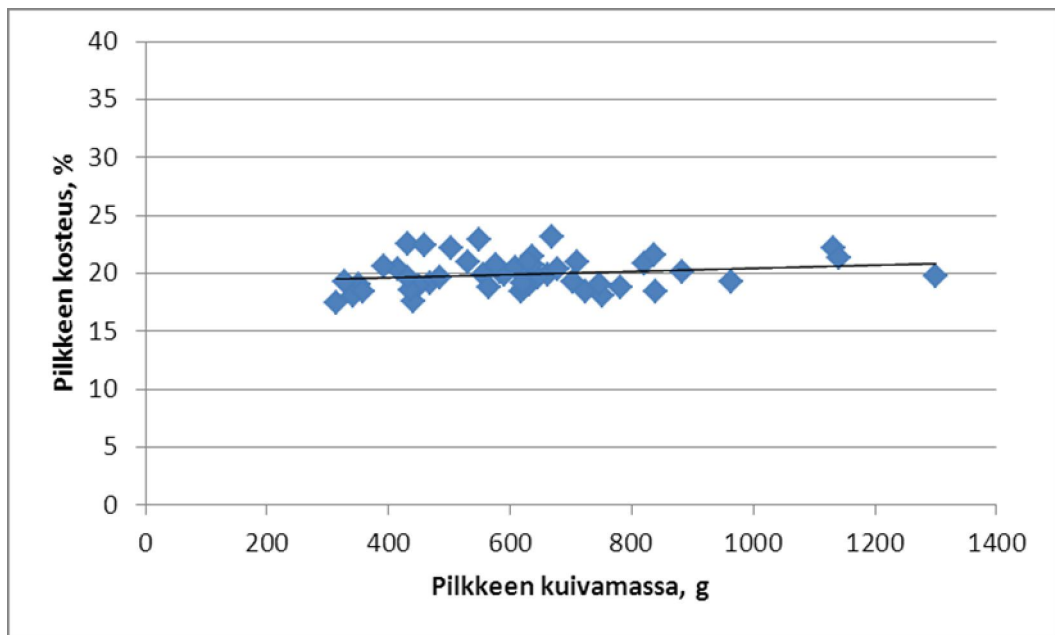


Kuva 39. Koivupilkkeiden kosteus 15 irtokuutiometrin metalliverkkokehikossa järven rannalla. Pilkkeet valmistettu kesäkuun alussa ja peitetty heinäkuun lopussa. Näytepilkkeet kerätty 4. ja 23.11.2011. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,5 % ja keskihajonta 1,9 %. Näytepilkkeitä 101 kpl.



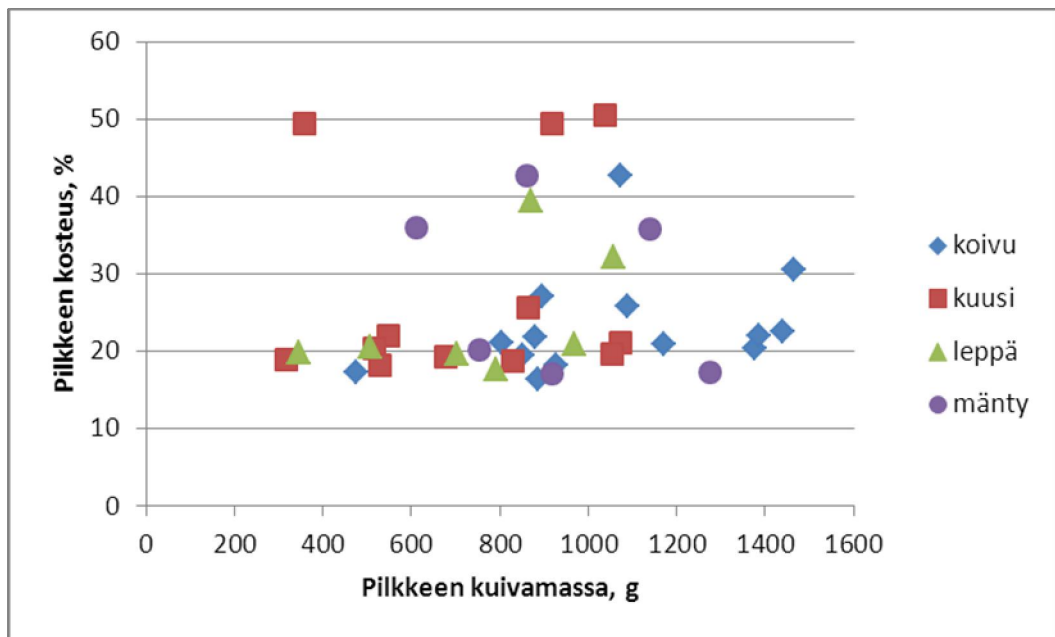


Kuva 40. Koivupilkkeiden kosteus 20 irtokuutiometrin metalliverkkokehikossa. Pilkkeet valmistettu 19.4. (alkukosteus 44,3 %) ja peitetty heinäkuun puolivälissä. Näytepilkkeet kerätty 12.10.2011. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 18,7 % ja keskihajonta 4,1 %. Näytepilkkeitä 65 kpl.



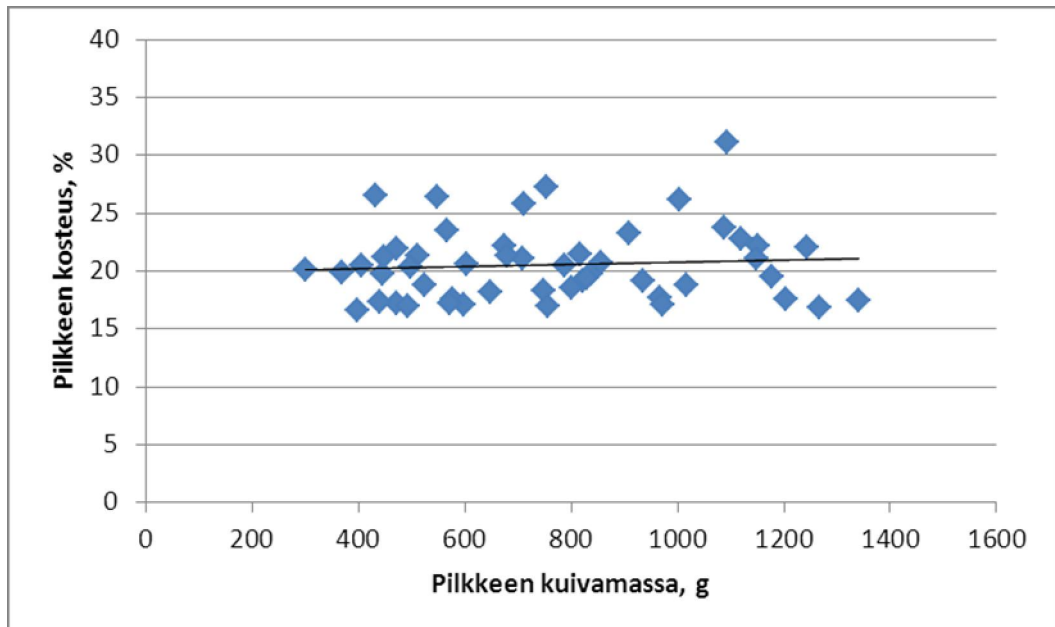
Kuva 41. Koivupilkkeiden kosteus 60 irtokuutiometrin metalliverkkokehikossa. Pilkkeet valmistettu toukokuun alussa 2011 (alkukosteus 42,1 %) ja peitetty elokuun lopussa. Näytepilkkeet kerätty 25.10.2011. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,9 % ja keskihajonta 2,2 %. Näytepilkkeitä 50 kpl.



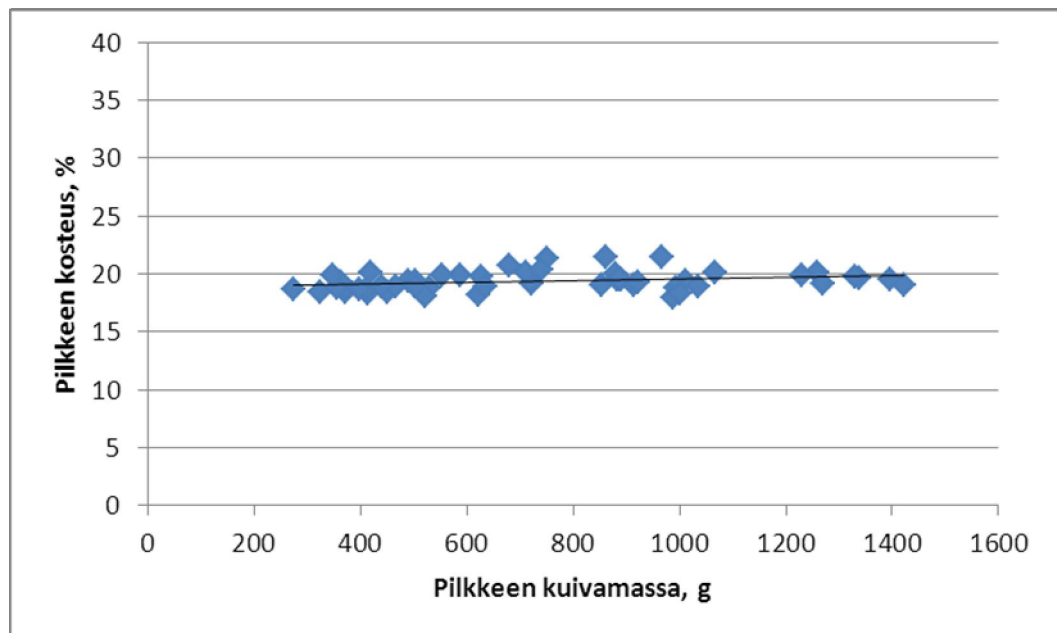


Kuva 42. Sekapilkkeiden kosteus avokasassa betonilaatan päällä. Pilkkeet valmistettu maaliskuussa 2011, ei peitetty. Näytepilkkeet kerätty 26.7.2011. Kaikkien pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 27,2 % ja keskihajonta 18,8 %. Näytepilkkeitä 39 kpl. Havupuupilkkeiden kuivumista häirtäsi erityisesti irronnut kuorimuru.

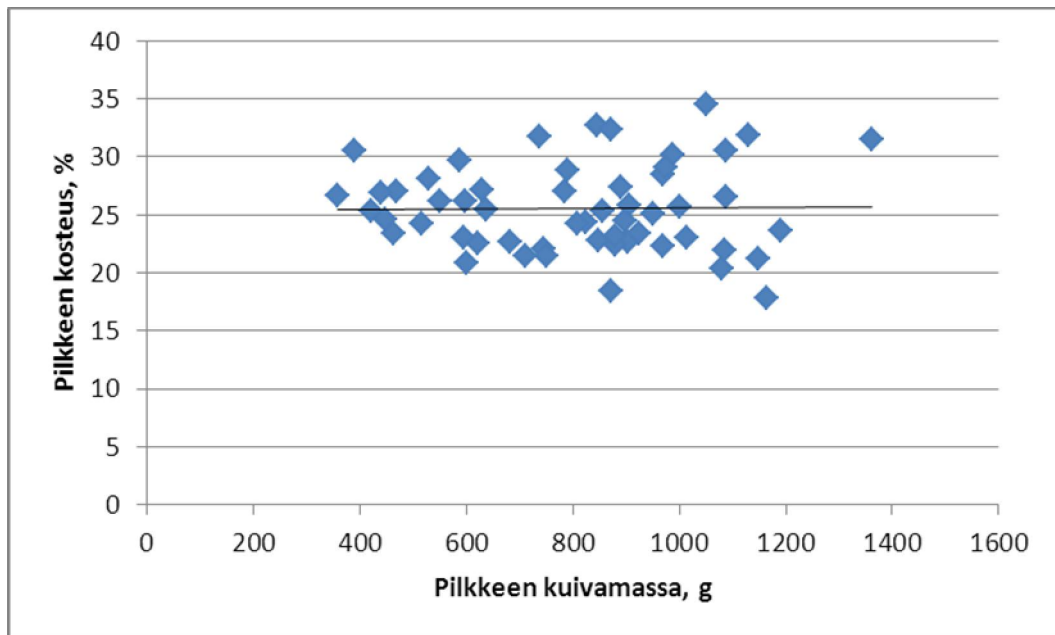




Kuva 43. Koivupilkkeiden kosteus katoksessa kuivauksen jälkeen. Näytepilkkeet on valmistettu toukokuun loppupuolella ja näytteet otettu katoksen etuosasta kahdesta ensimmäisestä pylväsvälisestä 14.9.2011. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 20,7 %, keskihajonta 5,0 %. Näytepilkkeitä 51 kpl.

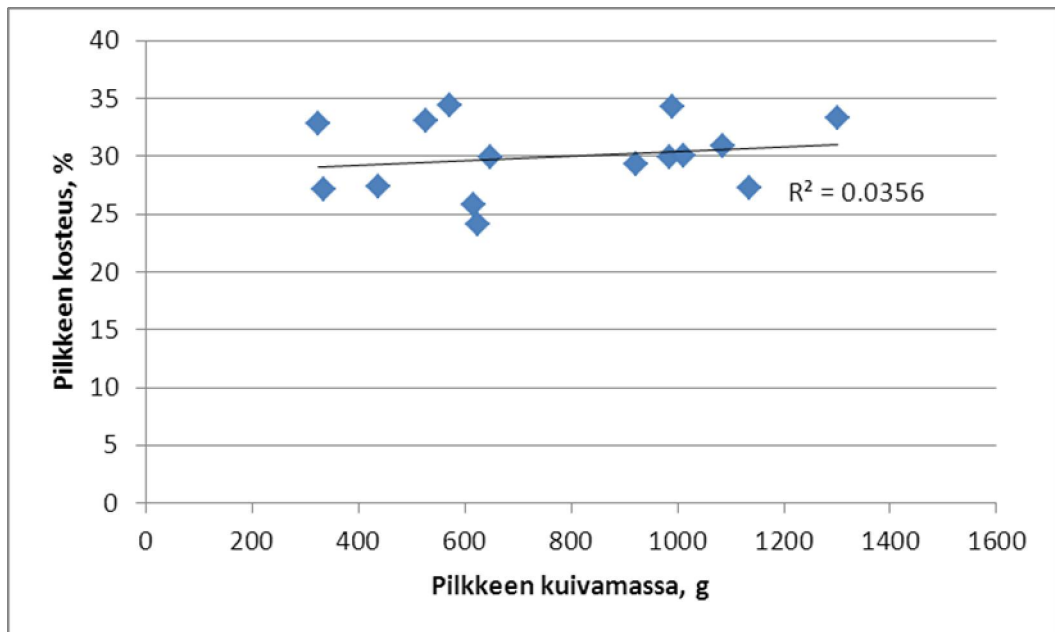


Kuva 44. Koivupilkkeiden kosteus katoksessa kuivauksen jälkeen. Kuivausaika 7.6.-3.11.2011, alkukosteuksien keskiarvo 38,4 %. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,3 %, keskihajonta 1,3 %. Näytepilkkeitä 51 kpl. Näytepilkkeet katoksen takaosasta.



Kuva 45. Koivupilkkeiden kosteus katoksessa kuivauksen jälkeen. Kuivausaika 27.5.-3.11.2011, alkukosteuksien keskiarvo 36,2 %. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 25,7 %, keskihajonta 6,5 %. Näytepilkkeitä 55 kpl. Näytepilkkeet katoksen etuosasta.



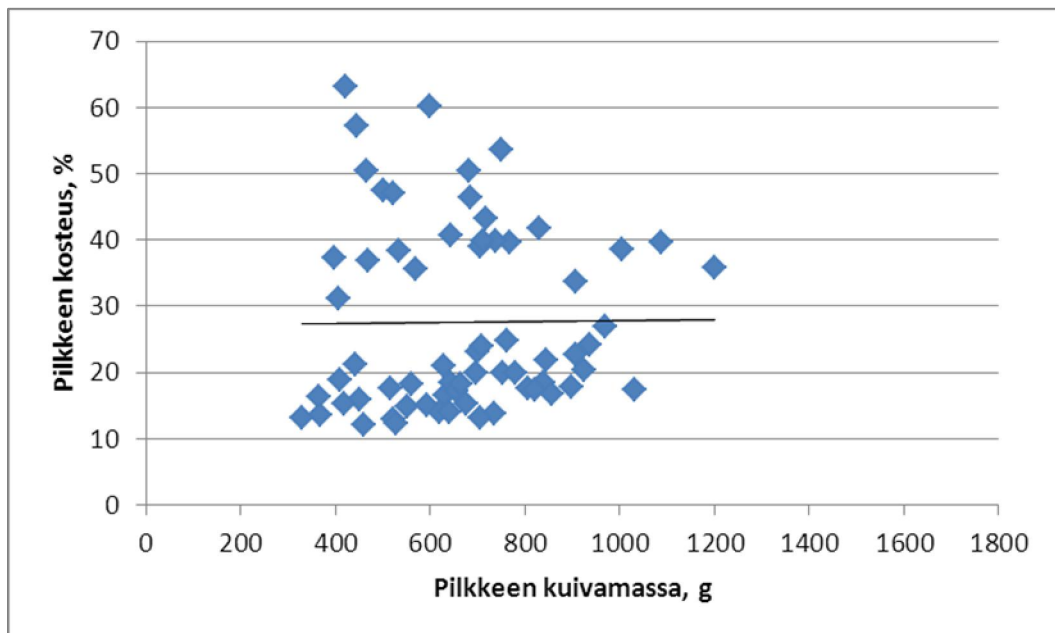
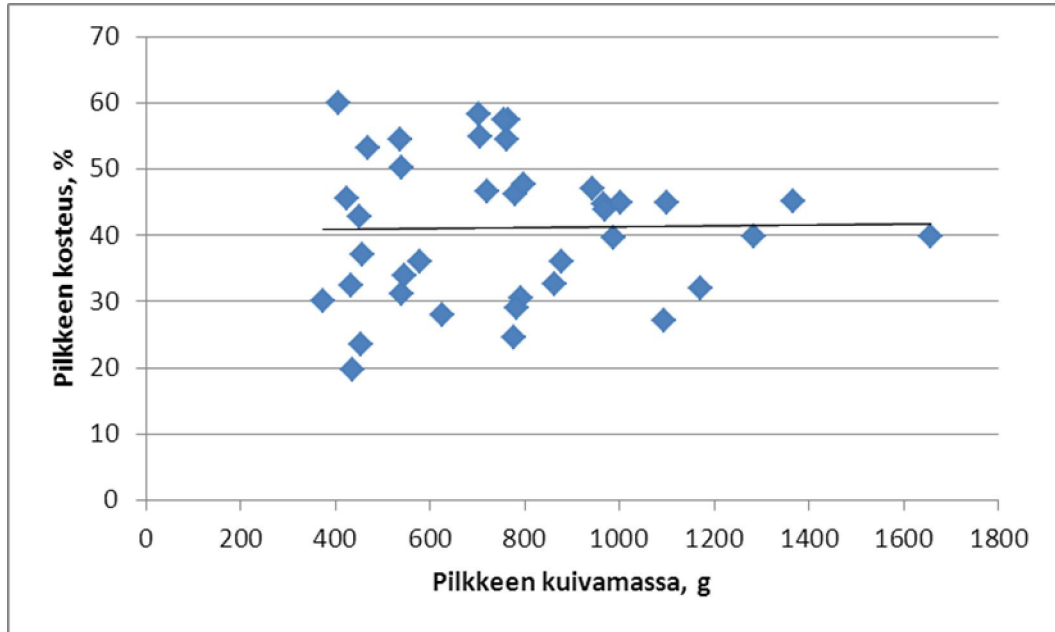


Kuva 46. Koivupilkkeiden kosteus ulkokasassa. Pilkkeet tehty heinäkuun alkupuolella ja näytteet otettu 3.11.2011. Kasa oli peittämättä. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 30,1 %, keskihajonta 6,1 %. Näytetilkkeitä 15 kpl.

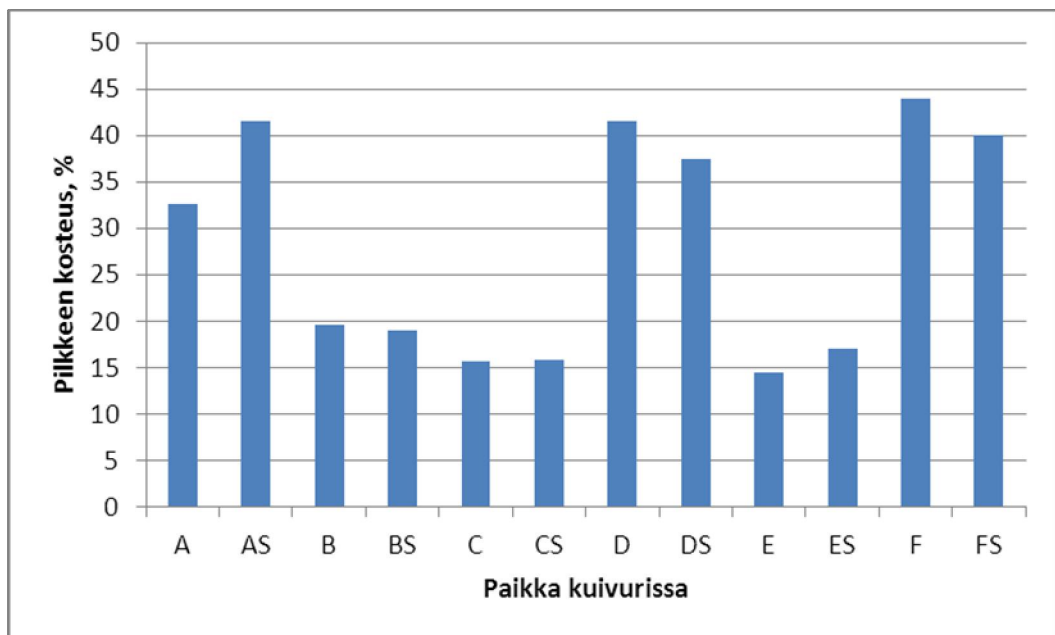
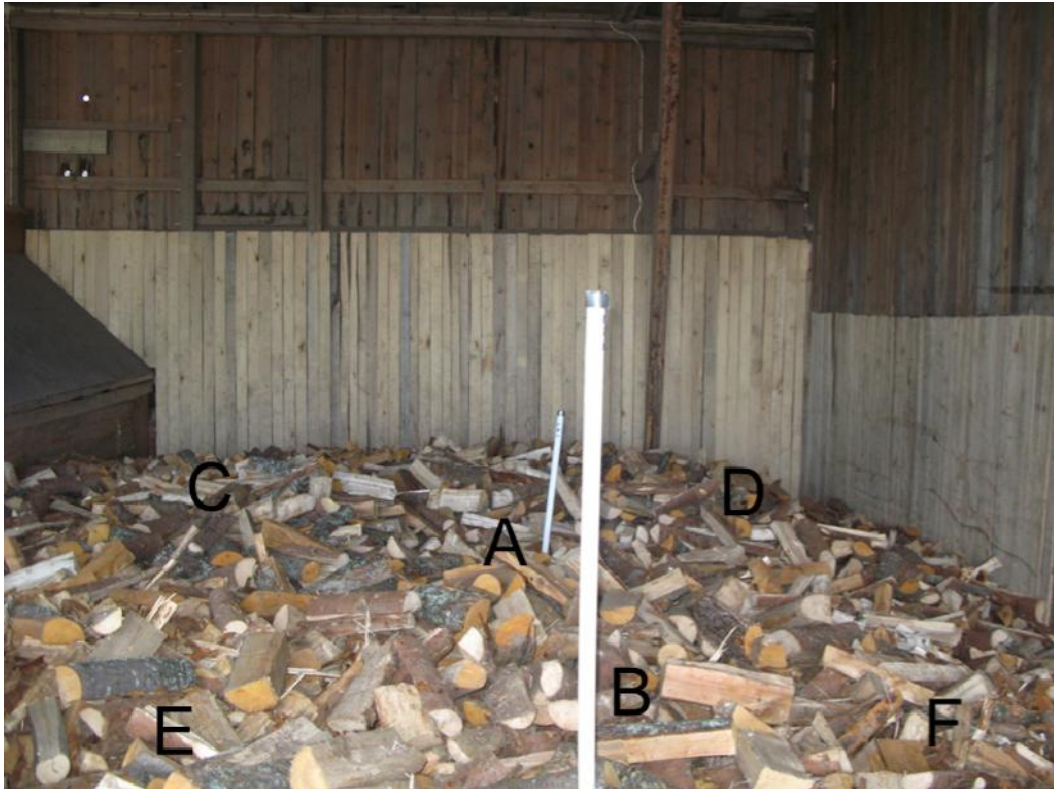


### 5.2.3 Pilkkeiden kuivuminen kylmäilmakuivurissa

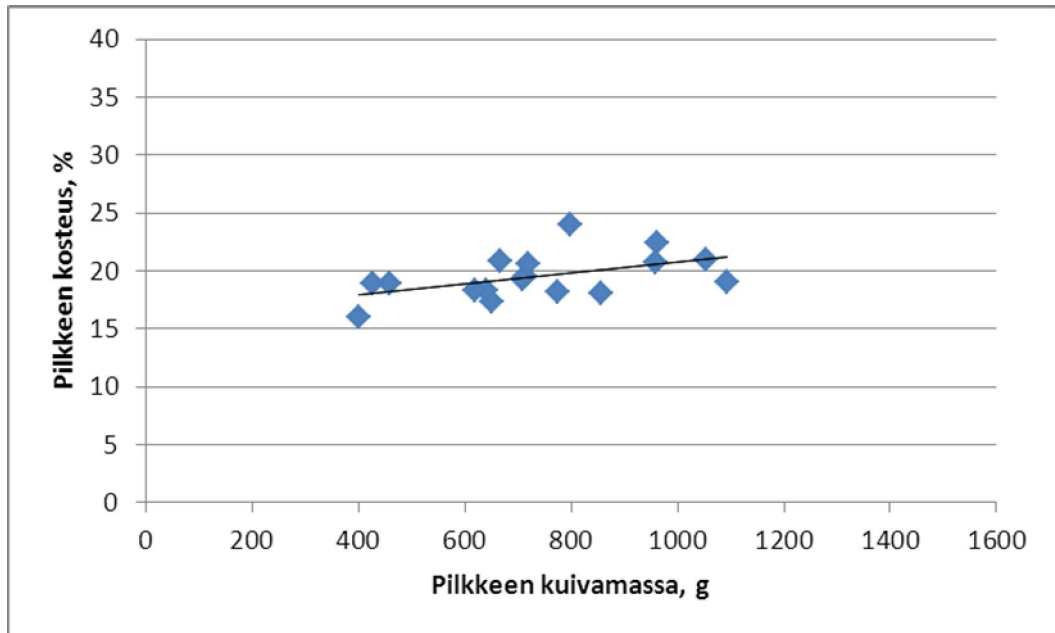
Seuraavassa on esimerkkejä pilkkeiden kuivumisesta ja kuivien pilkkeiden kosteushajonnasta kylmäilmakuivurissa. Ensimmäiset esimerkit ovat latomallisesta kuivurista, jossa ilma puhalletaan pilkekerrokseen (kuvat 47 ja 48). Toinen kuivurimalli on merikonttikuivuri, jossa pilkkeet ovat puhaltimien imupuolella, jolloin kuivausilma imetään pilkekasan läpi (kuvat 49, 50 ja 51).



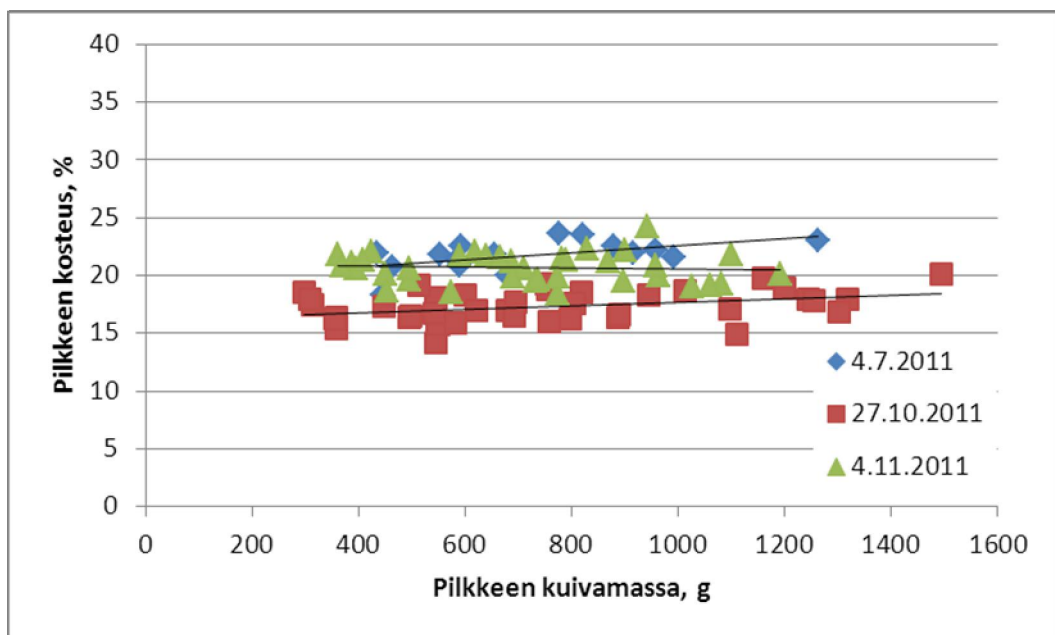
Kuva 47. Sekapilkkeiden (koivu, kuusi, leppä) kosteus kylmäilmakuivurissa (ks. kuvat 14, 15 ja 48). Kuivausaika 10.5.-14.6.2011. Ylemmän kuvaajan näytepilkkeet ( $n=39$  kpl) otettu 31.5., pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 43,1 % ja keskihajonta 25,2 %. Alemman kuvaajan näytepilkkeet ( $n=66$  kpl) otettu 14.6., pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 30,8 % ja keskihajonta 26,1 %.



Kuva 48. Pilkkeiden kosteus kylmäilmakuivurissa 10.5.-14.6.2011 kuivauksen jälkeen. Näytepilkkeet otettu kuvan mukaisista paikoista puolen metrin ja metrin (-S) syvyydeltä. Pilkekerroksen paksuus kaksi metriä. Näytepilkkeitä otettu 5 – 7 pilkettä jokaisesta paikasta.

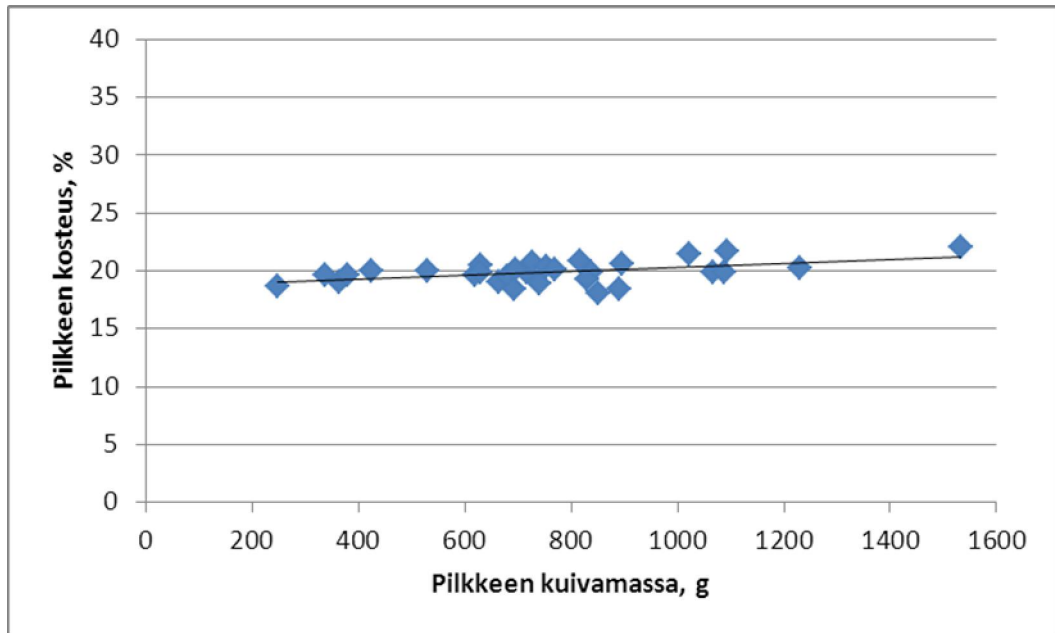


Kuva 49. Pilkkeiden kosteus 80 irtokuutiometrin merikontista rakennetussa kylmäilmakonttikuivurissa. Kuivausjakso huhtikuun alusta toukokuun 2011 loppuun. Näytepilkkeet (n=17 kpl) otettu 31.5.2011, pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,5 % ja keskihajonta 2,9 %.



Kuva 50. Pilkkeiden kosteus 80 irtokuutiometrin merikontista rakennetussa kylmäilmakonttikuivurissa. Kuivausjakso alkoi 6.6.2011. Näytepilkkeet (n=16 kpl) otettu kontin etuosasta 4.7., jolloin pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 21,7 % ja keskihajonta 2,1 %, keskiosasta 27.10., jolloin pilkkeiden (n=41 kpl) kosteuksien keskiarvo 17,3 % ja keskihajonta 1,9 % sekä takaosasta (kontin pää, jossa imupuhaltimet) 4.11., jolloin pilkkeiden (n=36 kpl) kosteuksien keskiarvo 20,7 % ja keskihajonta 2,0 %.





Kuva 51. Koivupilkkeiden kosteus 80 irtokuutiometrin merikontista rakennetussa kylmäilmakuivurissa. Kuivaus aloitettu 20.7.2011. Näytepilkkeet (n=30 kpl) otettu 14.12.2011, pilkkeiden kosteuksien keskiarvo 19,9 % ja keskihajonta 1,4 %.

Kylmäilmakuivurin puhaltimia käytetään olosuhteiden ja pilkkeiden kuivumisvaiheen mukaan. Kuvan 48 pilkkeiden raaka-aine oli kaadettu joulutammikuun vaihteessa. Pilkkeet oli valmistettu maaliskuuhuhtikuun vaihteessa. Puhallin oli päällä 8 - 10 tuntia vuorokaudessa. Puhallinta ei käytetty sateella ja käytettäessä ilman lämpötila oli yli 5°C ja ilman suhteellinen kosteus alle 80 %. Puhallin oli ollut päällä arviolta 200 tuntia toukokuun puoleen väliin saakka.

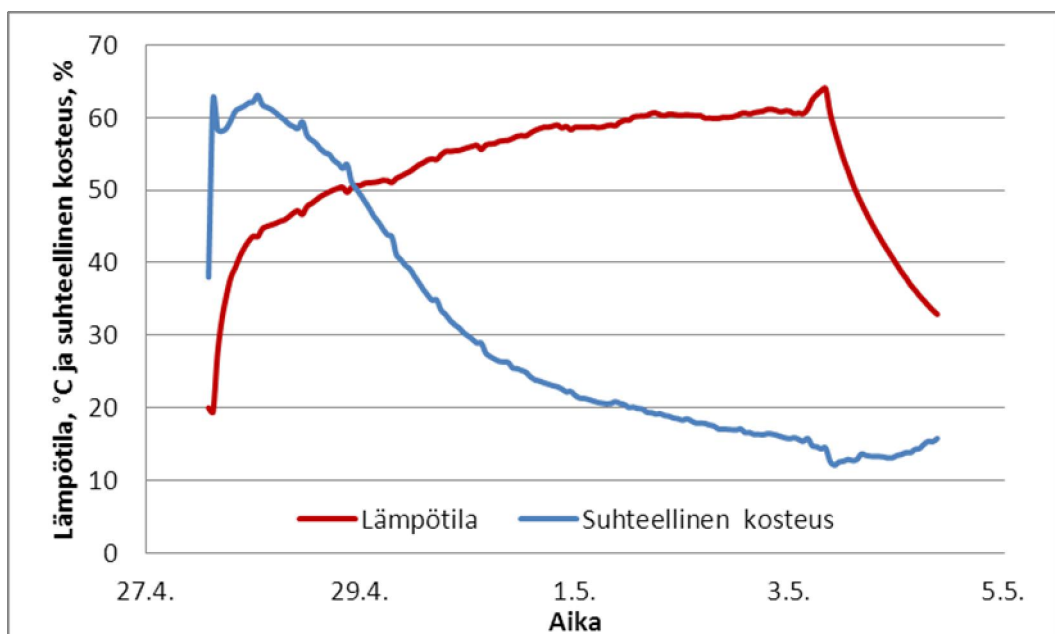
Kuvan 50 raaka-aine oli kaadettu tammi-maaliskuulla 2011 metsurityönä, jolloin tuohi oli ehjää. Yrittäjän mukaan puhallus oli päällä ensimmäisen kuivausviikon ajan ympäri vuorokauden ja siitä eteenpäin 6 - 10 tuntia vuorokaudessa kellokytkimellä ja käsiohjauksella ohjattuna ilmankosteuden mukaan muutaman viikon ajan. Myöhemmin elokuussa puhallus käynnistettiin silloin tällöin (1 - 2 kertaa viikossa) käsiohjauksella 4 - 6 tunniksi kerrallaan, kun ilmankosteus oli sopivan alhaalla. Puhaltimen tunteilaskuriin kertyi yli 300 tuntia.

#### 5.2.4 Pilkkeiden kuivuminen lämminilmakuivurissa

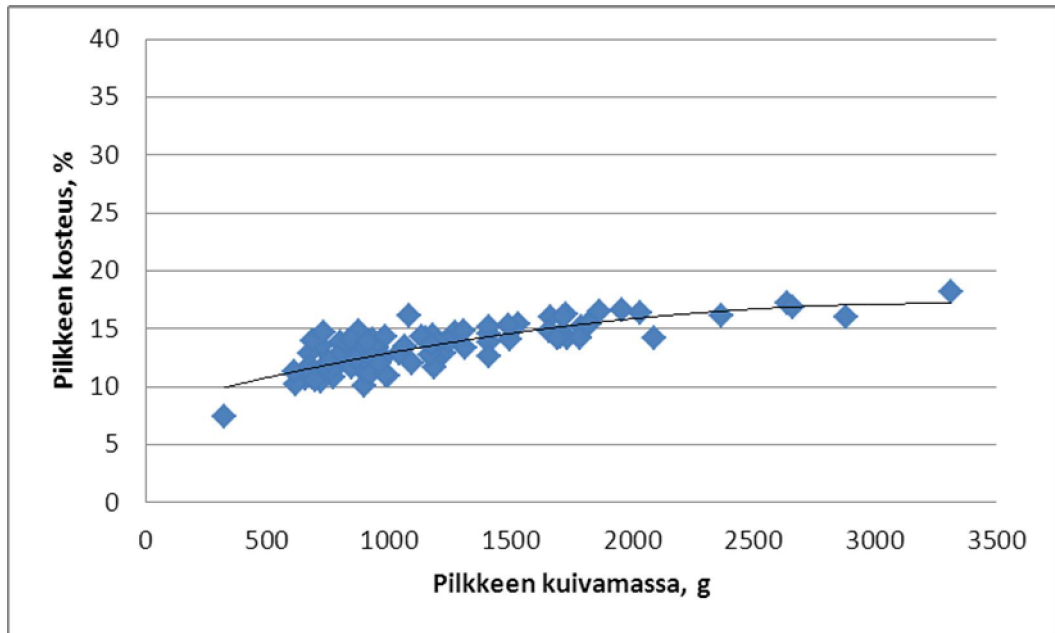
Laukaan vankilan tilalla seurattiin muutaman kuivauserän kuivumisolosuhteita ja määritettiin pilkkeiden kosteudet. Seuraavassa on esimerkkejä pilkkeiden kuivumisesta.



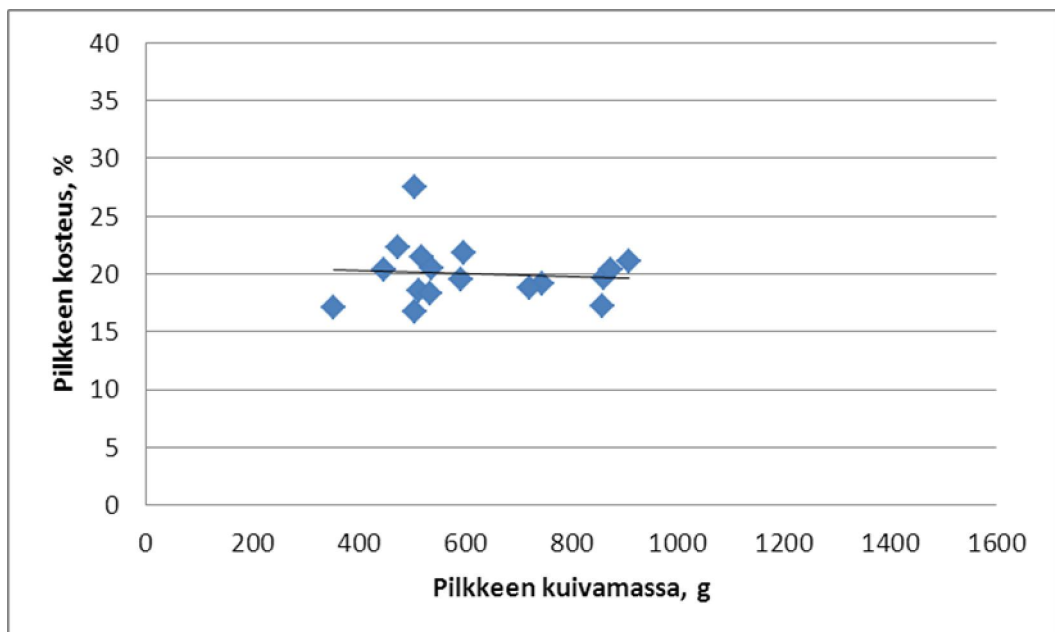
Kuva 52. Pilkkeiden kuivaushäkkejä Laukaan vankilan tilalla lämminilmakuivurin ovella.



Kuva 53. Laukaan vankilan tilan lämminilmakuivurin ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus kuivausjakson aikana 27.4. – 4.5.2011.



Kuva 54. Koivupilkkeiden kosteus lämminilmakuivurissa kuivauksen jälkeen. Kuivausaika 27.4. – 4.5.2011. Pilkkeiden alkukosteuksien keskiarvo 40,6 %. Pilkkeet 2,5 irtokuutiometrin metalliverkkohäkeissä, 6 häkkiä samaan aikaan kuivurissa. Näytepilkkeiden ( $n = 90$  kpl) kosteuksien keskiarvo 13,4 % ja keskihajonta 2,5 %. Eri häkeissä pilkkeiden kosteuksien keskiarvot 12,9 – 13,8 %, keskihajonnat 2,0 - 3,6 %. Näytepilkkeitä 15 kpl/häkki.



Kuva 55. Leppäpilkkeiden kosteus lämminilmakuivurissa kuivauksen jälkeen. Kuivausaika 23.5. - 31.5.2011. Pilkkeiden alkukosteuksien keskiarvo 44,5 %. Näytepilkkeiden kosteuksien keskiarvo 20,1 % ja keskihajonta 4,0 %. Pilkkeet 2,5 irtokuutiometrin metalliverkkohäkissä. Näytepilkkeitä 15 kpl.



### 5.2.5 Huomioita pilkkeiden kuivumisesta

Kuivausaikaan ja pilkkeiden väliseen kosteuseroon vaikuttavat sekä pilkkeestä että kuivausympäristöstä johtuvat seikat. Pilkkeestä johtuvia seikkoja ovat alkukosteus, pilkkeen mitat (tilavuuden ja pinta-alan suhde, pituuden ja paksuuden suhde), kuoren peittämä osuus, halkaistun pinnan osuus sekä puulajikohtaiset ominaisuudet. Näitä ovat diffusiviteetti, tiheys, lämmönjohtavuus ja ominaislämpö.

Kuivumiseen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat kuivauslämpötila, ilman suhteellinen kosteus, ilman virtausnopeus, mahdollinen säteily (suora ja hajasäteily) sekä sade.

Pilkkeen koolla ja kuoren osuudella on huomattava merkitys pilkkeiden kuivumisnopeuteen. Kuivumisnopeuteen vaikuttaa eniten pilkkeen paksuus. Paksuuden puolittuminen lyhentää kuivumisaikaa noin puoleen. Pilkkeen kuivumista voidaan tehostaa merkittävästi rikkomalla kuorta, esimerkiksi runkojen korjuun tai pilkkeiden teon yhteydessä. Jo pienikin kuoren rikkominen edistää pilkkeen kuivumista (Hillebrand & Frilander 2005). Pilkkeitten kuivumisnopeus riippuu voimakkaasti ympäristön lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Tässä tutkimuksessa kuivausajat luonnonkuivauksessa olivat kesän yli ja useissa tapauksissa pilkkeet olivat kuivumassa jo kevään aikana. Tällöin syksyllä otetuissa kosteusnäytteissä pilkkeen koon vaikutus kuivumisnopeuteen ei tule esille. Kosteuserot pilkkeiden välillä ovat tasoittuneet, kun suurimmatkin pilkkeet ovat ennättäneet hyvin kuivua.

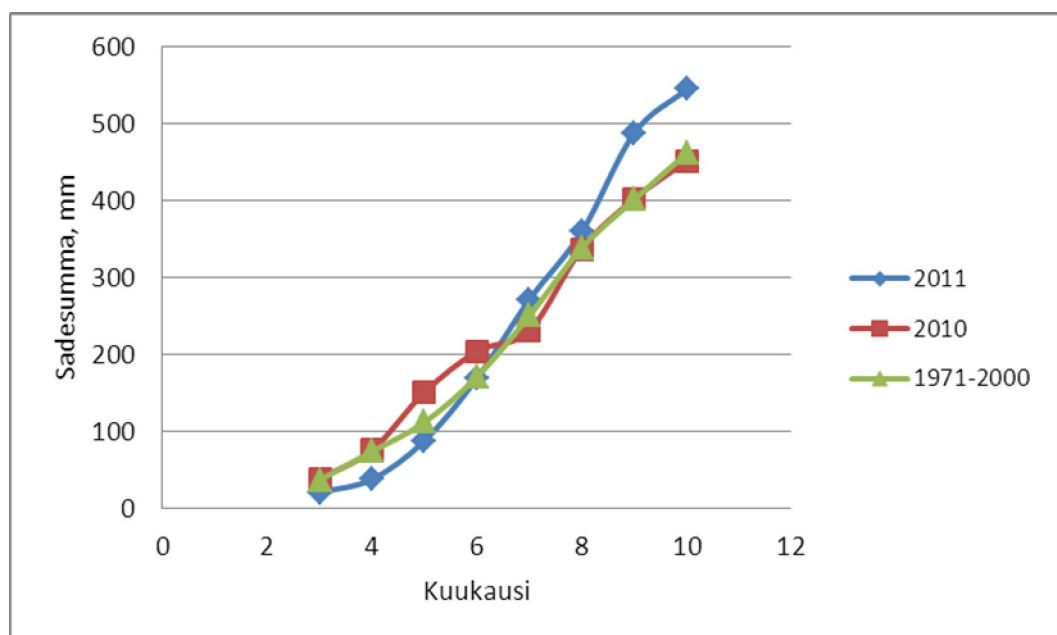
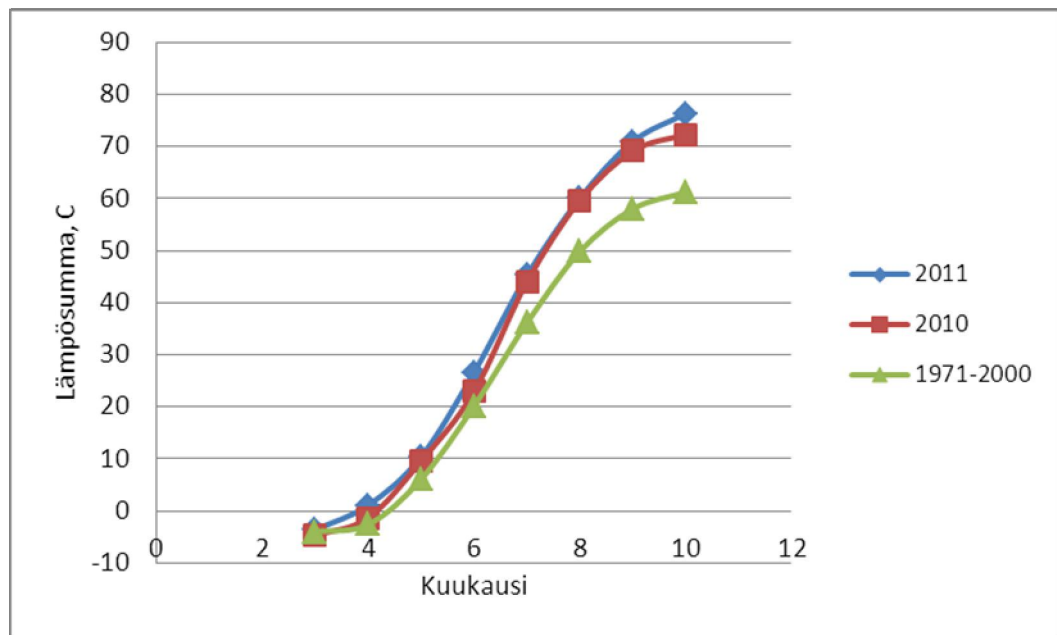
Luonnonkuivaus tapahtuu ulkoilman lämpötilassa. Luonnonkuivaus on edullinen, mutta sääriippuva ja voi aiheuttaa pilkkeiden ulkonäköön virheitä. Pilkkeitä kuivattaessa on ilman liikkuminen pilkekasassa varmistettava. Pilkekasan koolla, aluspuilla ja peittämisellä voidaan vaikuttaa kuivausolosuhteisiin ja pilkkeiden laatuun. Seurantakohteissa käytettiin usein kuormalavoja kuivausalustoina (kuvat 26, 30, 35, 40).

Taivasalla kuivattaessa sadeveden pääsy pilkekasaan kannattaa estää hyvissä ajoin kesällä. Peittäminen on hyvä tehdä kesä-heinäkuun vaihteessa tai aikaisemminkin, jos pilkkeet on valmistettu varhain keväällä. Liian tiiviisti pilkkeitä ei pidä peittää, sillä se voi aiheuttaa pilkkeisiin home- ja sienikasvustoa. Ilman liikkuminen vaikeutuu myös, jos pilkkeiden seassa on irtonaista kuoriainesta, purua ja muuta pilkontaroskaa. Jos sadevesi vielä pääsee kastelemaan irtoaineksen, pilkkeet eivät kuivu kasan sisältä. Tämä tuli esille kuvan 42 avokasassa. Pilkkeiden käsittely esimerkiksi etukuormajalla ja kippaaminen kasaan voi aiheuttaa irtoainekasauksia. Pilkkeiden valmistusprosessi tulisi olla sellainen, että irtokuori ja tikut seuloutuisivat pois eivätkä joutuisi kuivattavien pilkkeiden mukaan.

Keväällä tehdyt pilkkeet kuivuivat yhden kesän aikana noin 20 %:iin, pienissä käsittely-yksiköissä alle 20 %:n kosteuteen. Kesän yli kuivattaessa ei ollut merkittävää eroa erikokoisten (1 – 20 irtokuutiometrin) sateelta suojattujen varastokasojen kosteuden välillä. Suurimmat tutkitut kasat olivat läpimitaltaan 3,5 metrin levyisiä. Tätä leveämissä kasoissa voi olla ongelmia sisimpänä olevien pilkkeiden kuivumisessa. Luonnonkuivauksen onnistumisen varmistamiseksi kuivauspaikan tulee olla avoin ja tuulinen paikka, jossa ilma liikkuu. Pilkekasa tarvitsee myös riittävät alusrakenteet, jotta ilma kiertää myös kasan alla eikä

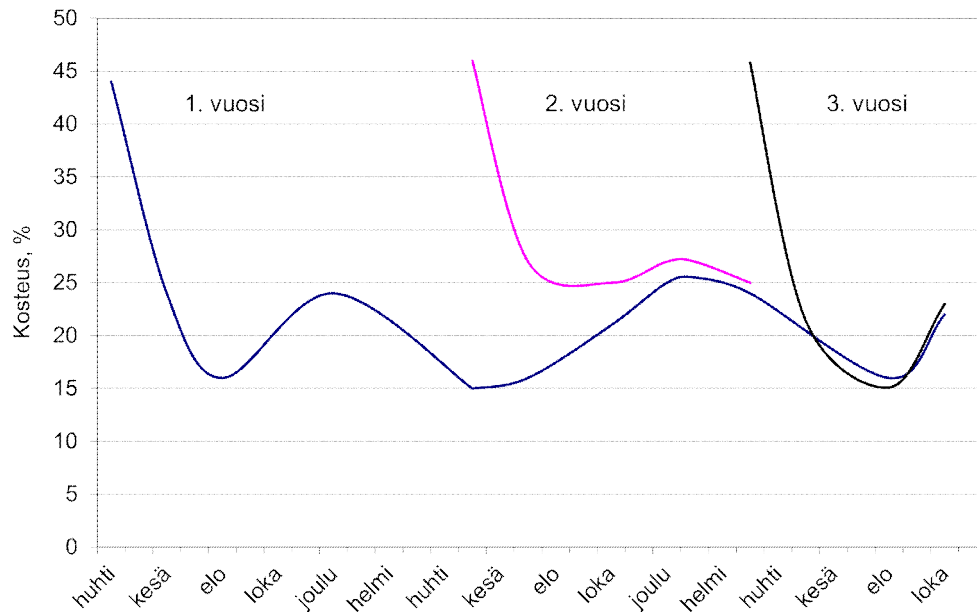
maasta nouseva kosteus tiivisty alimpiin pilkkeisiin. Katoksissa on varmistettava ilman liikkuminen tarvittaessa puhaltimilla. Katoksen seinät eivät saa olla liian tiiviit, vaan ilman on päästävä liikkumaan. Betoni- ja asfalttialusta olisi varminta kosteus- ja lämpöeristää maakosteuden nousun estämiseksi. Jos pilkkeet ovat kosketuksessa betonialustaan, lämpöeristys on tarpeen, jotta pilkekasan ilmassa oleva kosteus ei tiivistyisi ilman lämpötilaa kylmempään alustaan. Katoksissa kuivattaessa sateet voivat kostuttaa avoseinän puoleiset pilkkeet (kuvat 43, 44 ja 45).

Kesien 2010 ja 2011 säät Jyväskylän seudulla olivat lämpimämpiä verrattuna vuosien 1971 - 2000 keskiarvolämpötilaan. Vuonna 2011 syksy oli selvästi keskimääräistä sateisempi (kuva 56).



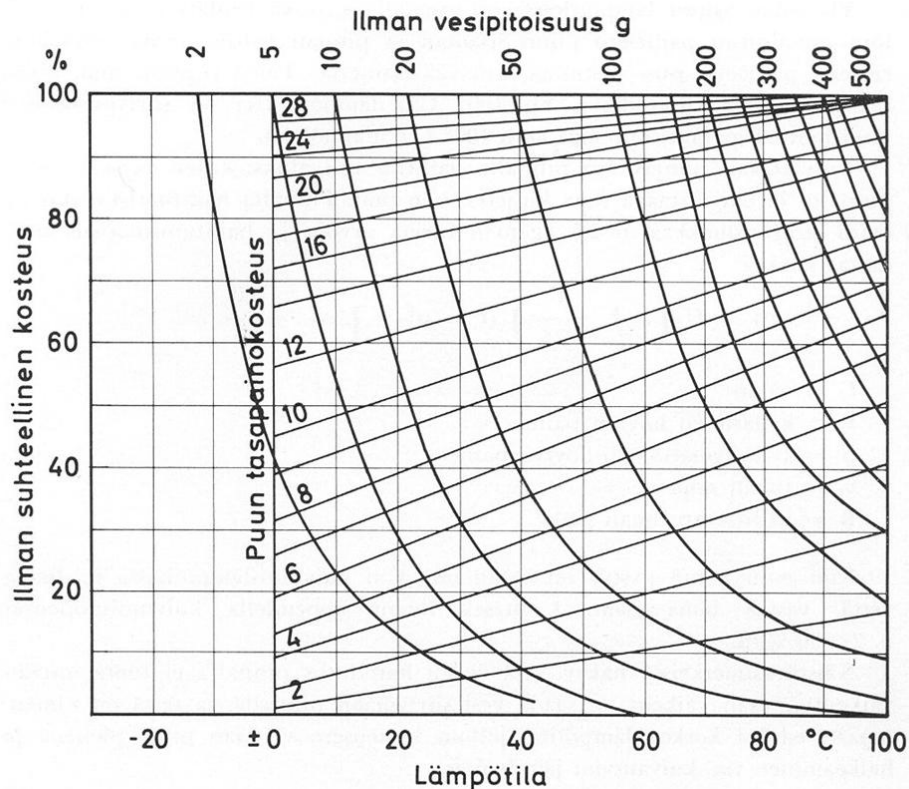
Kuva 56. Kuukausien keskilämpötilojen lämpösomma (ylempi kuva) ja kuukausien sadesomma (alempi kuva) Jyväskylässä vuosina 2010 ja 2011 sekä niiden pitkäaikaiset keskiarvot.

Kuivatut pilkkeet kannattaa pyrkiä säilyttämään mahdollisimman kuivina. Katetut tai peitetyt pilkkeet ovat ulkona varastoitaessa talvella noin 7 %-yksikköä kuivempia kuin peittämättömät pilkkeet. Talviaikana kostuminen on katetussakin ulkovarastossa 5 - 10 %-yksikön luokkaa puun kosteuden pyrkiessä ympäristön lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden mukaiseen tasapainokosteuteen (kuvat 57 ja 58) (Hillebrand & Frilander 2005, RIL 2004). Esimerkiksi, jos ilman lämpötila on 10 °C ja ilman suhteellinen kosteus 60 %, puun tasapainokosteus on noin 12 % (kuva 58).



*Kuva 57. Koivupilkkeiden kuivuminen ulkona katetussa verkkokehikossa ja kosteuden vaihtelu eri vuodenaikoina (Hillebrand & Frilander 2005).*





Kuva 58. Lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden vaikutus puun tasapainokosteuteen (RIL 120-2004).

Kylmäilmakuivaus tapahtuu ulkoilman lämpötilassa tai erilaisten auringon säteilyenergiaa hyödyntävien keräimien avulla vähän korotetussa lämpötilassa. Tehostettu kuivausilman liikkuminen nopeuttaa kuivumista. Kylmäilmakuivaus on myös sääriippuva. Ulkoilma joko puhalletaan tai imetään koneellisesti kuivattavan pilkekerroksen läpi. Kuivausilma pyritään ottamaan esimerkiksi aurinkoiselta seinustalta, jotta pilkekasaan menevän ilman lämpötila olisi mahdollisimman korkea ja suhteellinen kosteus alhainen. Puhaltimia ei kannata käyttää ympäri vuorokauden koko kuivausjakson ajan. Puhaltamista säädellään ilman suhteellisen kosteuden ja pilkkeiden kosteuden mukaan.

Kuivumistulokseen vaikuttaa, kuinka tasaisesti kuivausilma saadaan pilkekerroksen läpi ilman oikovirtauksia. Latomallisessa kylmäilmakuivurissa puhallettu ilma ei kulkenut tasaisesti pilkekerroksen läpi (kuvat 47 ja 48). Ilman liikkumista haittasi osaltaan irtonainen havupuiden kuori. Merikontista rakennetussa kylmäilmakuivurissa pilkkeet kuivuivat hyvin, kun ilma imettiin hallitusti pilkekasaan läpi (kuvat 49, 50 ja 51).

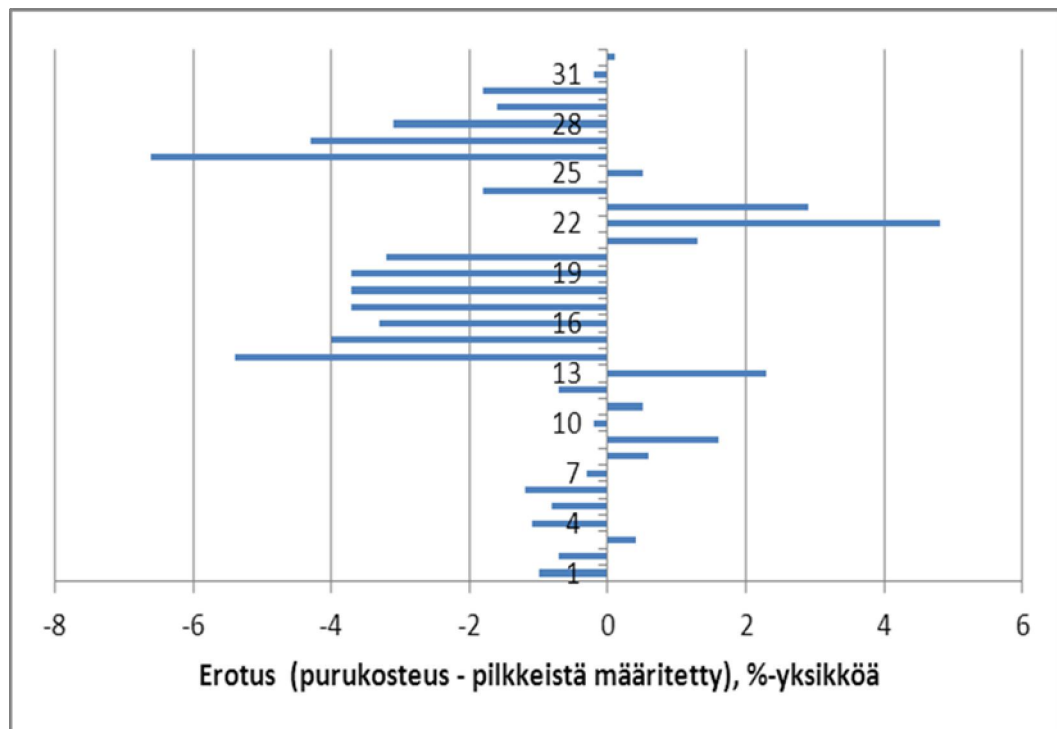
Lämminilmakuivauksessa kuivausilman lämpötilaa pidetään alle sadan asteen lämpötilassa, yleensä noin 60 °C:ssa. Lämminilmakuivaus mahdollistaa ympärivuotisen toiminnan ja nopeuttaa raaka-aineeseen sitoutuneen pääoman kiertoa. Lämpöenergian kulutus (ilman lämmön talteenottoa) on noin 100 kWh irtokuutiometriä kohti, kun ulkoilman lämpötila on +15 °C, ja noin 160 kWh irtokuutiometriä kohti, kun ulkoilman lämpötila on -15 °C. Sähköenergian kulutus aiheutuu pääosaksi puhaltimista, ja on yleensä enimmillään 10 kWh irtokuutiometriä kohti. Kuivausilman lämmön talteenotolla voidaan energiamäärä suunnilleen puolittaa (Hillebrand & Kouki 2006).

### 5.3 Pilkkeiden kosteuden määrittämisen tarkkuus

#### 5.3.1 Loppukosteuden laskeminen sahauspurusta määritetyn alkukosteuden ja käsittely-yksikön punnitustulosten avulla

Tutkimuksessa kerättiin tietoa alkukosteus-punnitus-menetelmän tarkkuudesta. Punnittuja pilkkeiden käsittely-yksiköitä olivat verkkosäkit kuormalavoilla, klapisäkit ja metallihäkit. Taulukkoon 6 on koottu alkukosteus-punnitus-menetelmällä määritetty loppukosteus ja vastaava pilkenäytteistä uunikuivausmenetelmällä määritetty loppukosteus ja laskettu määritetyn alkukosteuden ja pilkenäytteistä määritettyä loppukosteutta vastaavan alkukosteuden ero. Taulukkoon on laskettu myös useamman samaa erää olevan käsittely-yksikön keskiarvot.

Tuloksista havaitaan, että yksittäisten käsittely-yksiköiden kohdalla sahauspurusta määritetty alkukosteus voi poiketa useita prosenttiyksiköitä pilkkeistä määritettyjen loppukosteuksien ja punnitustulosten avulla lasketusta alkukosteudesta (kuva 59), mutta valmistuserän keskiarvot ovat lähellä toisiaan. Purunäyte on ollut todellista kuivempi sitä enemmän, mitä myöhäisempään kevään ja alkukesän aikaan pilkonta on tapahtunut. Tähän lienee syynä raaka-aineen kuivuminen kasassa, jolloin kosteuserot runkojen välillä lisääntyvät erilaisen kuoriotumisen vaikutuksesta. Myös purunäyte kuivahtaa keräämisen aikana helpommin kuin viileämpänä aikana varhaiskevällä. Suurimmat poikkeamat ovat tapauksessa, jossa valmistettiin vain muutama käsittely-yksikkö pilkkeitä, jolloin koontinäytteestä tuli suppea.



Kuva 59. Sahauspurusta määritetyn alkukosteuden sekä lasketun alkukosteuden erotus yksittäisissä käsittely-yksiköissä. Laskettu alkukosteus on saatu kuivatuista pilkkeistä uunikuivausmenetelmällä määritetyn loppukosteuden sekä ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen mitattujen punnitustulosten avulla.

Taulukko 6. Alkukosteuspuru-punnitus-menetelmällä saadun ja loppukosteuspilkenäytteistä uunikuivausmenetelmällä määritettyjen alkukosteuden ja loppukosteuden vertailu.

Tunniste	Yksikön		Pilkonta päivä	Loppu-punnitus päivä	Alkukosteus			Loppukosteus		
	tilavuus				alkukosteus-purusta määritetty	loppukosteus-pilkenäytteistä laskettu	erotus	alkukosteus-purusta laskettu	pilke-näytteistä määritetty	erotus
	m <sup>3</sup>		pvm	pvm	%	%	%	%	%	%
Mä 6	1.4		20.5.10	26.8.10	42.3	43.3	-1.0	13.2	14.8	-1.6
12	1.4		20.5.10	26.8.10	42.3	43.0	-0.7	15.7	16.8	-1.1
13	1.4		x.x.10	x.x.10	42.3	41.9	0.4	16.9	16.4	0.5
16	1.4		x.x.10	x.x.10	41.4	42.5	-1.1	14.0	15.5	-1.5
17	1.4		x.x.10	x.x.10	41.4	42.2	-0.8	15.0	16.2	-1.2
18	1.4		x.x.10	x.x.10	41.4	42.6	-1.2	13.9	15.7	-1.8
Mä 37	1.3		20.3.11	12.8.11	44.5	44.8	-0.3	14.1	14.6	-0.5
62	1.3		20.3.11	12.8.11	44.5	43.9	0.6	14.5	13.6	0.9
138	1.4		4.4.11	8.9.11	45.2	43.6	1.6	20.4	18.1	2.3
Mä 143	1.4		5.4.11	20.9.11	43.7	43.9	-0.2	16.1	16.4	-0.3
144	1.4		5.4.11	8.9.11	43.7	43.2	0.5	18.0	17.3	0.7
158	1.4		5.4.11	20.9.11	42.9	43.6	-0.7	13.9	14.9	-1.0
keskiarvo					43.4	43.6	-0.1	16.0	16.2	-0.2
Mä 201	1.4		8.4.11	8.9.11	43.4	41.1	2.3	20.2	16.9	3.3
628	1.4		30.6.11	20.9.11	30.1	35.5	-5.4	10.0	17.0	-7.0
629	1.4		30.6.11	8.9.11	30.1	34.1	-4.0	15.5	20.3	-4.8
Mo 2	1		22.6.10	9.11.10	42.3	45.6	-3.3	14.3	18.9	-4.6
4	1		22.6.10	9.11.10	42.3	46.0	-3.7	13.7	19.0	-5.3
1	1		20.5.11	28.9.11	40.4	44.1	-3.7	13.3	18.7	-5.4
7	1		28.6.11	28.9.11	36.9	40.6	-3.7	15.7	20.6	-4.9
Ky 1	1.2		12.4.11	14.10.11	43.7	46.9	-3.2	13.7	18.6	-4.9
2	1.2		12.4.11	14.10.11	43.7	42.4	1.3	21.5	19.6	1.9
4	1.2		12.4.11	14.10.11	43.7	38.9	4.8	23.6	17.1	6.5
keskiarvo					43.7	42.7	1.0	19.6	18.4	1.2
Ky 1	1.2		19.4.11	14.10.11	45.7	42.8	2.9	20.9	16.7	4.2
2	1.2		19.4.11	14.10.11	41.8	43.6	-1.8	14.0	16.6	-2.6
3	1.2		19.4.11	14.10.11	44.3	43.8	0.5	19.0	18.3	0.7
4	1.2		19.4.11	14.10.11	43.7	50.3	-6.6	7.8	18.7	-10.9
keskiarvo					43.9	43.4	0.5	18.0	17.2	0.8
La A	2.4		27.4.11	4.5.11	39.6	43.9	-4.3	6.3	12.9	-6.6
B	2.4		27.4.11	4.5.11	39.6	42.7	-3.1	8.6	13.2	-4.6
C	2.4		27.4.11	4.5.11	39.6	41.2	-1.6	11.3	13.6	-2.3
D	2.4		27.4.11	4.5.11	41.6	43.4	-1.8	10.9	13.7	-2.8
E	2.4		27.4.11	4.5.11	41.6	41.8	-0.2	12.9	13.2	-0.3
F	2.4		27.4.11	4.5.11	41.6	41.5	0.1	13.8	13.6	0.2
keskiarvo					40.6	42.4	-1.8	10.6	13.4	-2.8

Lähtökohtana energiasisällön määrittämiseen alkukosteus-punnitus-menetelmällä on päiväkohtainen pilke-erä ja sen pilkonnassa syntyvä sahauspuru. Purunäytettä kerätään työpäivän ajan kokoomänäytteeksi. Vastaavasti loppukosteus tulisi määrittää alkukosteusmäärittäystä vastaavasta pilke-erästä punnitustulosten avulla. Loppukosteuden määrittämistarkkuus paranee, kun lasketaan keskiarvo usean käsittely-yksikön punnitustuloksesta ja käytetään näin saatua kosteuslukemaa kyseiselle valmistuserälle. Punnitsemalla useita käsittely-yksiköitä havaitaan myös mahdolliset selvät poikkeamat ja virheet (esimerkiksi taulukossa 6 tunniste Ky 4), jotka voidaan jättää pois keskiarvon laskennasta.

Seurantatulosten mukaan systemaattisella purunäytteenotolla päästään varsin hyvään tarkkuuteen päiväkohtaisen valmistuserän alkukosteuden keskiarvon määrittämisessä. Mikäli halutaan yksittäisten käsittely-yksiköllisten pilkkeiden



kosteus tarkemmin, olisi alkukosteuspurua kerättävä jatkuvasti ja määritettävä kosteus pilkkeiden sahauspurusta erikseen jokaiselle pilkeyksikölle.

### 5.3.2 Kosteuden määrittäminen irtopilkkeistä

Pilkkeiden kosteus voidaan määrittää myös suoraan pilkkeistä. Tarvittavien pilkenäytteiden lukumäärä riippuu tavoiteltavasta määritystarkkuudesta ja pilkkeiden kosteushajonnasta. Standardin SFS-EN 15234-5 suositus on kerätä viisi pilkettä jokaista kahden irtokuutiometrin toimituserää kohti. Pilkkeiden kosteus voidaan määrittää eri menetelmin, joista tarkin on lämpökaappi- eli uunikuivausmenetelmä.

#### 5.3.2.1 Kosteuden määrittäminen lämpökaappimenetelmällä

Pilkkeiden kosteus voidaan tarkimmin määrittää kuivaamalla pilkkeet lämpökaapissa ja laskemalla haihtuneen veden osuus kokonaisuudesta. Standardissa SFS-EN 14774-2 ohjeistetaan polttopuun kosteuden määrittäminen. Näytepilkkeet halkaistaan, numeroidaan ja punnitaan tarkkuusvaa'alla (tarkkuus vähintään 0,1 g). Pilkkeet kuivataan lämpökaapissa, jonka lämpötila tulee olla  $105 \pm 2$  °C. Pilkkeitä kuivataan, kunnes vettä ei enää haihdu eli paino ei enää muutu. Kosteuspitoisuus (%) on haihdutetun veden massan suhde alkumassaan.

#### 5.3.2.2 Kosteuden määrittäminen pikamittarilla

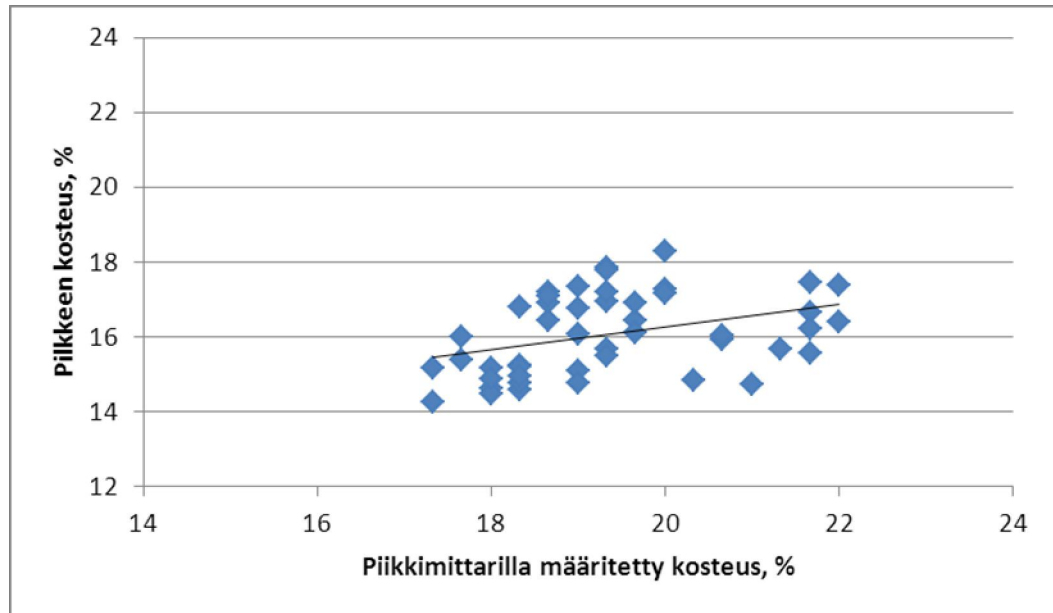
Loppukosteus pilkkeistä voidaan määrittää myös pikamittareilla. Vastuksen mittaukseen perustuvan piikkimittarin tarkkuutta verrattiin uunikuivausmenetelmällä määritettyyn kosteuteen. Näytepilkkeet halkaistiin ja mitattiin kosteus viiden senttimetrin etäisyydeltä pilkkeen päistä ja puolivälistä (kuva 60). Mittaustuloksista laskettiin keskiarvo.



*Kuva 60. Kosteuden määrittämistä varten näytepilkkeet halkaistaan ja kosteus mitataan piikkimittarilla halkaistulta pinnalta viiden senttimetrin etäisyydeltä pilkkeen päistä ja puolivälistä.*

Vertailussa tutkittiin 44 pilkettä. Piikkimittarilla ja uunikuivausmenetelmällä määritetyn pilkkeen kosteuden välinen ero oli keskimäärin 3,3 %-yksikköä (kuva 61). Piikkimittari näytti todellista kosteutta suurempaa lukemaa. Piikkimittaria käytettäessä on noudatettava valmistajan ohjeita. Yleensä on ensin valittava puulaji. Mittauslämpötila voi vaikuttaa mittaustarkkuuteen. Valmistajalla voi olla muuntotaulukko käytettävissä lämpötilakorjaukseen. Osa mittareista ilmoittaa kosteuden märkäpainon suhteen (vesi/kokonaismassa) ja osa kuiva-painon suhteen (vesi/kuiva-aineen massa). Pikamittareiden tarkkuutta on tutkittu aiemminkin. Vastusmittaukseen perustuvien piikkimittareiden tarkkuudet ovat

olleet laboratorio-olosuhteissa  $\pm 1,5 \dots \pm 2,5$  %-yksikköä ja teollisuusolosuhteissa  $\pm 2,0 \dots \pm 5,0$  %-yksikköä (Forsén & Tarvainen 2000).



Kuva 61. Piikkimittarilla ja uunikuivausmenetelmällä määritettyjen pilkkeiden kosteuksien vastaavuus. Pilkkeiden kosteuksien keskiarvo uunikuivausmenetelmällä määritettynä oli 16,1 % ja piikkimittarilla määritettynä 19,4 %.

### 5.3.2.3 Kosteuden määrittäminen porauslastuista

Loppukosteuden määrittämiseksi pilkkeistä kokeiltiin näytteen ottamista porakoneella puuporanterän irrottamista lastuista. Lastuista olisi nopea määrittää kosteus kosteusanalysaattorilla. Lastujen kosteutta verrattiin porattujen pilkkeiden kosteuteen. Poranterän halkaisija oli 20 millimetriä. Reiät porattiin pilkkeen molemmista päistä viiden senttimetrin etäisyydelle sekä pilkkeen puoliväliin (kuva 62). Reiät porattiin pilkkeen läpi. Porauslastujen kosteus oli 16,0 %, kun pilkkeiden kosteuksien keskiarvo oli 19,1 %. Suhteellisen huonon tuloksen vaikuttanee ainakin pari seikkaa. Koska poran tekemä reikä on sylinterin muotoinen pilkkeen läpi asti, porauslastuihin ei tule pilkkeen poikkileikkaus oikeassa suhteessa. Porattaessa voivat lastut myös hieman kuivua.

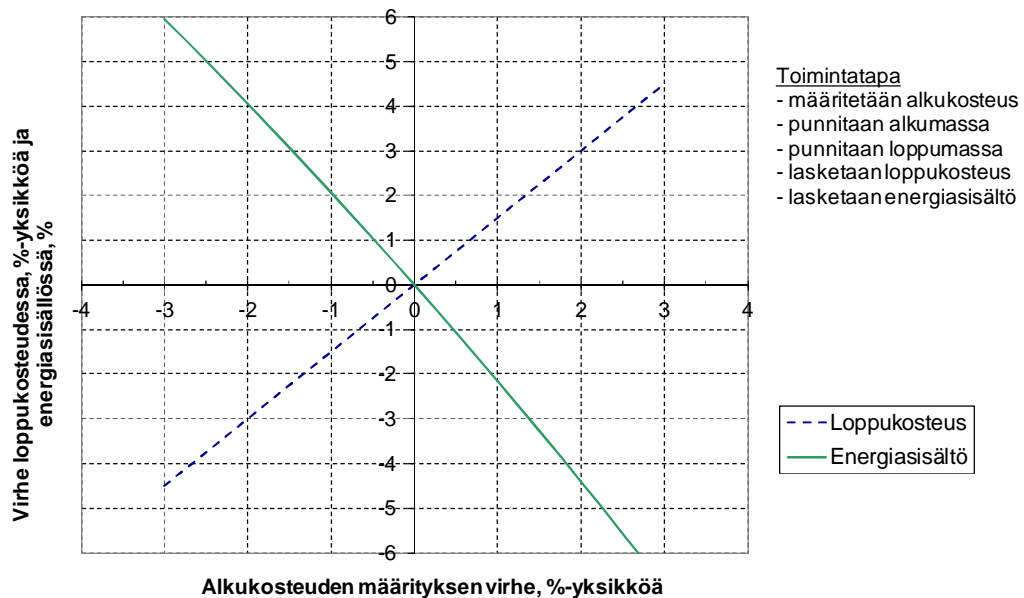


Kuva 62. Kosteusnäytteen ottaminen kuivista pilkkeistä porakoneen ja puuporanterän avulla. Porauslastujen kosteus oli 16,0 % ja pilkkeiden todellinen keskiarvo 19,1 %. Lastut kerättiin 20 pilkkeestä, kolme porausta kuhunkin pilkkeeseen.

## 5.4 Energiasisällön määrittämisen tarkkuus

Energiasisällön laskentatuloksen tarkkuuteen vaikuttaa kuinka tarkkaan saadaan määritetyksi pilkkeiden alkukosteus purusta tai loppukosteus pilkkeistä.

Kuva 63 esittää alkukosteus-punnitusmenetelmällä alkukosteuden määrittämisessä tehdyn virheen vaikutusta lasketun loppukosteuden virheeseen ja edelleen vaikutusta energiasisällön virheeseen. Kuvassa esitetyillä arvoilla laskettuna, jos purusta määritetty alkukosteustulos on esimerkiksi kaksi prosenttiyksikköä todellista kosteutta pienempi, laskennallinen loppukosteus on kolme prosenttiyksikköä todellista pienempi ja laskemalla saatu energiasisältö neljä prosenttia todellista suurempi. Kootun seurantatiedon perusteella alkukosteus voidaan määrittää  $\pm 2$  prosenttiyksikön tarkkuudella, kun otetaan purunäyte huolellisesti puolen tunnin välein.



Kuva 63. Pilke-erän alkukosteuden määrittämisessä tehdyn virheen vaikutus energiasisällön määrittämistarkkuuteen alkukosteus-punnitusmenetelmässä. Esimerkissä pilkkeiden todellinen alkukosteus 45 %, alkumassa 360 kg, loppumassa 240 kg, loppukosteus 17,5 % ja energiasisältö 1,02 MWh.

Kuivista irtopilkkeistä voidaan toimituskosteus määrittää näytepilkkeiden avulla. Hyvillä kuivausolosuhteilla ja -tavoilla saadaan pilkkeiden välinen kosteushajonta pieneksi, jolloin kohtuullisella näytepilkkeiden määrällä saadaan riittävän tarkka arvio pilke-erän keskikosteudesta. Tähän ovat keinoina esimerkiksi riittävän pitkä kuivausaika ja sateen aiheuttaman kastumisen estäminen. Myös tasalaatuinen pilkekoko auttaa pienen kosteushajonnan saavuttamiseen. Taulukkoon 7 on koottu edellä esitetyistä kuivumisseurantatuloksista pilkkeiden kosteuksien keskihajontatietoja. Taulukkoon kerätyt tapaukset ovat hyvin hoidetuista kuivumisjärjestelyistä lukuun ottamatta avokasoissa kuivumista. Pilkkeiden kosteuksien keskihajonta oli keskimäärin 1,3 prosenttia pienimmissä käsittelyyksiköissä, jotka oli valmistettu keväällä. Myöhäisempi valmistusajankohta aiheutti jo vähän suuremman keskihajonnan (3,0 prosenttia). Keväällä kehikkoihin valmistettujen irtopilkekasojen pilkkeiden kosteuksien keskihajonta oli myös pieni, keskimäärin 2,2 prosenttia. Kun pilkonta oli tehty kesäkuussa, keskihajonta



oli suurempi, 3,4 prosenttia. Katoksessa kuivaamalla pilkkeiden laatu oli tasainen, lukuun ottamatta katoksen avointa etuosaa, johon sade pääsee vaikuttamaan. Seurannassa olleissa avokasoissa kosteuksien keskihajonta oli varsin suuri, 6,1 – 18,8 prosenttia. Kylmäilmakuivurilla on mahdollista saada kosteudeltaan tasalaatuista pilkettä (taulukko 7). Lämminilmakuivurilla kuivatuissa seurantaerissä pilkkeiden kosteuksien keskiarvo oli pieni, mutta kosteuksien keskihajonta oli suurempi kylmäilmakonttikuivurilla. Suurin syy lienee lyhyempi kuivausaika. Tulosten perusteella pilkkeiden kosteuksien keskihajonnan ollessa noin kolme prosenttiyksikköä tai alle, kuivaus on onnistunut hyvin.

*Taulukko 7. Koonti eri tavoin kuivattujen pilkkeiden kosteuksien keskihajontojen (stdev) keskiarvoista ja vaihteluväleistä. Keskihajontojen arvot on ilmoitettu kosteusprosentteina.*

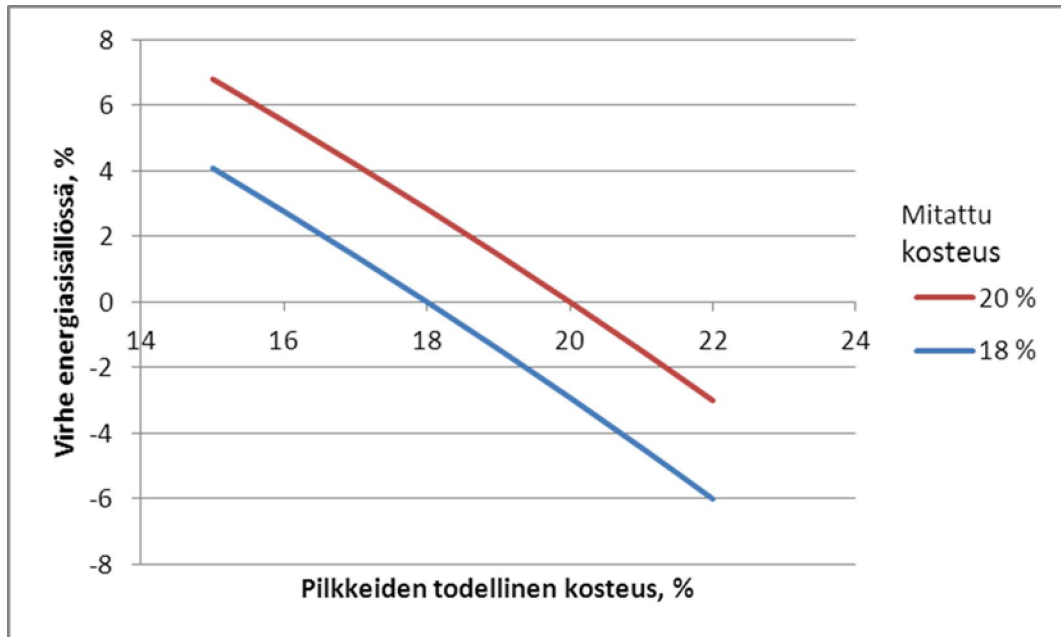
Kuivaustapa	Valmistusaika	stdev keskiarvo	stdev vaihteluväli	lukumäärä kpl
luonnonkuivaus käsittely-yksiköissä	keväällä	1,3	0,4 – 2,4	16
	kesäkuussa	3,0		1
irtopilkkeenä kehikoissa	keväällä	2,2	0,8 – 4,1	5
	kesäkuussa	3,4		1
irtopilkkeenä katoksessa	keväällä	1,3		1
irtopilkkeenä avokasassa	keväällä	11,3	6,1 – 18,8	2
kylmäilmakuivaus	konttikuivuri	2,1	1,4 – 2,9	3
lämminilmakuivaus	pilkkeet häkeissä	3,2	2,5 – 4,0	2

Standardin SFS-EN 15234-5 suositus pilkenäytteiden määräksi on viisi pilkettä jokaista kahden kuution erää kohden. Standardin SFS-EN 14778 laskentakaavoja käyttäen, jos pilke-erän kosteuden keskihajonta on kolme prosenttia, pilke-erän kosteus voidaan määrittää kolmen prosenttiyksikön tarkkuudella ottamalla viisitoista näytepilkettä, joiden kosteus määritetään ja lasketaan keskiarvo. Jos pilke-erän kosteuden keskihajonta on kaksi prosenttia, vastaavaan tarkkuuteen päästään kymmenellä näytepilkkeellä.

Irtopilkkeinä käsiteltäessä pilkkeistä määritetyn kosteuden virhe vaikuttaa myös energiasisällön laskentatarkkuuteen (kuva 64). Seuraavassa on kaksi esimerkkiä:

Esimerkki 1. Jos pilkenäytteiden kosteusmäärityksestä saadaan keskiarvokosteudeksi 18 % ja lasketaan energiasisältö sen mukaan, energiasisällön laskentavirhe on korkeintaan 4 % oikeasta arvosta, jos todellinen kosteus on välillä 15 – 21 % (kuva 64).

Esimerkki 2. Kun pilkkeiden kosteus ilmoitetaan olevan korkeintaan 20 % ja lasketaan energiasisältö 20 %:n mukaan, energiasisällön virhe on korkeintaan 5,5 %, jos todellinen kosteus on välillä 16 – 20 % (kuva 64).



Kuva 64. Pilkenäytteistä mitatun loppukosteuden määrittämismääritysvirheen vaikutus energiasisällön määritystarkkuuteen irtopilke-menetelmässä.

Energiasisällön määrittämistarkkuuteen vaikuttavat kosteuden määritystarkkuuden lisäksi punnituksen tarkkuus ja puun kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon tarkkuus. Punnitukseen on tarkkoja vaakalaitteita ja sopivalla vaa'alla virhe on alle 0,4 % (esimerkiksi 1 kg:n lukematarkkuus 250 kg:n erän punnituksessa). Pilkeeraaka-aineen kuiva-aineen tehollisen lämpöarvon virhe on 1 – 2 %:n luokkaa, jos käytetään arvoa 19 MJ/kg. Suomalaisten puulajien kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo vaihtelee puulajin, puun iän ja kuoripitoisuuden mukaan yleensä 18,5 – 19,5 MJ/kg.

Toimitettavan pilke-erän energiasisällön määrittämisen tarkkuus kosteuden määrittämismenetelmästä ja muiden tekijöiden tarkkuudesta riippuen on luokkaa  $\pm 5 \dots \pm 7$  %. Nykyisen tilavuusmittoihin perustuvan kauppataivan tarkkuus on vaikeasti määritettävissä. Toimituksen yhteydessä tehtävä irtopilkkeiden toimituserän mittaustapa vaihtelee yrittäjän mukaan. Pilkkeiden irtotilavuus voidaan mitata esimerkiksi peräkärryn, kuormaajan kauhan tai muun apuvälineen kehysmittana. Ongelmana on, paljonko puuainesta mitattu kehysmitta sisältää. Kehystilavuudessa olevien irtopilkkeiden määrään vaikuttavat raaka-aineen läpimitta, kuinka moneen osaan halkaisuterä halkoo pölkyt eli pilkkeiden läpimitta, pilkkeiden pituus ja valmiiden pilkkeiden käsittelytapa. Kiintotilavuudeltaan yhdestä kuutiometrillä raaka-ainetta syntyy vaihteleva määrä pilkkeitä. Esimerkissä (taulukko 2, luku 5.1) irtotilavuudeltaan samankokoisten verkkosäkillisten kiintotilavuuksina mitattujen pilkemäärien keskihajonta oli 6 % keskiarvosta.

Pilke-erän koko voidaan määrittää yksikäsitteisemmin energiasisältönä edellä esitetyin menetelmin kuin irtotilavuusmittana. Samalla tulee määritetyksi käytön kannalta tärkein laatutekijä eli pilkkeiden kosteus. Kosteusmääritykset voi tehdä tasalaatuiselle hyvin varastoidulle valmistuserälle jo ennakoon ennen toimitusta. Valmistuserästä voi toimittaa pienempiä toimituseriä, joilla on sama määritetty loppukosteus.

## 5.5 Yrittäjien ja asiakkaiden kokemukset Energiapilke-konseptista

### 5.5.1 Yrittäjien kokemukset konseptin eri vaiheista

#### 5.5.1.1 Kokemusten kerääminen

Seurannassa olleilta pilkeyrittäjiltä kerättiin kokemuksia Energiapilke-konseptista henkilökohtaisella haastattelulla. Haastattelussa kysyttiin yrittäjien mielipiteitä konseptin eri vaiheista ja mahdollisia ajatuksia konseptin kehittämiseksi.

Yrittäjien parannusehdotukset Energiapilke-konseptin kehittämiseksi olivat hyvin samansuuntaiset. Konseptin eri vaiheiden toteuttamiseen kuluva aikaa ja työtä tulee vähentää ja toisaalta energiasisällöltään tunnetun polttopuun kysyntää lisätä tiedottamalla asiasta. Seurannassa mukana olleista yrittäjistä perinteisen tilavuusmittojen mukaan pilkkeitä myyneet kertoivat, että asiakkaat eivät osaa vielä kysyä energiasisällön mukaan myytävää polttopuuta. Asiakkaat kysyvät ja tilaavat polttopuuta perinteisten tilavuusmittojen mukaan. Yrittäjien mielestä Energiapilke-konseptin mukaan kannattaa valmistaa polttopuuta, jos sillä on kysyntää. Kysynnän kasvattamisen tärkeimmäksi tekijäksi yrittäjät kokivat asiasta tiedottamisen. Tiedotusta tulisi antaa lehdissä, radiossa ja televisiossa. Polttopuiden mukana annettu tuoteseloste lisäisi yrittäjien käsityksen mukaan kuluttajien kiinnostusta polttopuiden sisältämää lämpöenergiaa kohtaan. Tuoteselosteessa kannattaisi olla myös vertailutaulukko eri energiamuotojen hinnoista.

#### 5.5.1.2 Kosteusnäytteiden ottaminen pilkkonnan yhteydessä ja kosteuden määrittäminen

Haastattelussa ilmeni, että pilkeyrittäjät eivät pitäneet purunäytteen ottoa liian aikaa vievänä tai liian työläänä. Eniten vaikeuksia tuli purunäytteen ottamisen muistamisessa. Purunäytteen ottaminen unohtui helposti, jolloin näytteenottoväli venyi puolta tuntia pidemmäksi. Yrittäjillä ei ollut näkyvillä kelloa, vaan se piti kaivaa aina taskusta, kun aikaa tarkisti. Jatkoa ajatellen kaikki yrittäjät olivat sitä mieltä, että purunäytteen otto tulisi automatisoida. Tällä säästetään työtä ja aikaa, lisäksi näyte tulee otettua oikeaan aikaan. Näin tehostetaan tuotantoa ja kosteusnäytteistä saadaan luotettavampia. Yksi parannusehdotus oli vielä pidemmälle kehitelty: purun kosteuden analysointi pilkekoneessa.

Kaikki kosteusmittausvaakaa käyttäneet yrittäjät pitivät sen käyttöä helppona ja selkeänä. Kosteusmittausvaaka koettiin tarkaksi ja käyttökelpoiseksi. Rinnakkaisnäytteiden tulokset olivat yhden prosenttiyksikön vaihteluvälillä. Kosteuden määrittämiseen kuluva aikaa ei pidetty merkittävänä. Näytteen asettamiseen, pois ottamiseen ja tuloksen kirjaamiseen kului vain noin minuutti aikaa.

#### 5.5.1.3 Pilkkeiden alkumassan punnitus

Isojen 3,2 irtokuutiometrin verkkohäkkien punnitus oli hidasta, koska häkit olivat huteria ja niitä piti käsitellä varovasti, jolloin punnitukseen kului paljon aikaa. Pienempien verkkosäkkien massan punnitukseen kuluva aikaa ja työtä yrittäjät eivät kokeneet liiallisena. Säkkejä ei kaatunut ja työ sujui nopeasti. Pilkeyrittäjät olivat sitä mieltä, että etukuormaajan öljynpaineesta mittaava vaaka olisi nopea ja säästyisi aikaa ja vaivaa. Käsittely-yksikön massaa ei tarvitsisi erikseen punnita. Tätä punnitusmenetelmää käyttäen pilkkeet voidaan punnita niitä siirrettäessä niin



varastopaikalle kuin toimitukseenkin. Erillisiä työvaiheita pilkkeiden massan punnitsemiseen ei silloin tarvittaisi. Myös kuivumisen seuranta välipunnituksin näin helpottuisi ja nopeutuisi.

#### 5.5.1.4 Tavoitemassan laskenta ja kuivumisen seuranta

Tavoitemassan laskemiseen käytetty taulukko on selvä ja yrittäjien mielestä sen täyttäminen on helppoa. Taulukosta tulee esille selvästi pilkeyksikkökohtaisesti, minkä verran mikäkin yksikkö painaa, kun se on kosteuden osalta myytäväksi kelpaavaa. Seurannan edetessä tietojen siirrossa pilkekasalta taulukkoon osoittautuivat pullonkaulaksi muistilaput, joihin alkumassat, purun kosteudet ja välipunnitukset oli merkitty. Paperilaput unohtuivat pilkekasalle, traktoriin tai autoon. Osa paperilapuista hävisi ja niiden mukana hävisivät myös tiedot monesta pilke-yksiköstä. Tiedonsiirtoa pilkekasalta kuivumisen seuranta-aulukkoon ehdotettiin parannettavaksi. Muistiinpanolippujen ja -lappujen tilalle olisi kehitettävä tehokkaampi ja luotettavampi menetelmä. Tiedonsiirron parantamiseksi ehdotettiin kotitietokoneelle tietokantaa, johon pääsisi yhteyteen vaikka kännykällä.

Alkuperäisestä taulukosta saatiin tavoitemassa vain yhdelle kosteuspitoisuudelle. Seurannassa käytettiin 18 %:n tavoitekosteutta. Taulukkoon kaivattiin lisäsarakeita, joista voi nähdä myös yli ja alle 18 %:n kosteudelle pilke-erän massan. Yksi ehdotus oli, että syötettäessä taulukkoon pilke-erän paino, nähdään taulukosta suoraan pilkkeiden kosteus. Tämä auttaisi kosteuden seurannassa kuivumisen joka vaiheessa, ennen tavoitekosteutta ja sitä pienemmillä kosteuspitoisuuksilla. Projektin aikana laskentataulukkoa täydennettiin erilaisilla vaihtoehdoilla.

Pilkkeiden kuivumista voidaan seurata välipunnituksin. Välipunnituksista saaduista kokemuksista tulivat esiin samat seikat, kuin alkupunnituksistakin. Isojen häkkien siirto punnitukseen vei paljon aikaa. Häkit ovat siirrettäessä huteria ja niitä kaatui vaa'alle laitettaessa. Välipunnituksia tehtäessä yrittäjä joutui myös etsimään ja valikoimaan punnitettavaa häkkiä. Tähän ongelmaan yrittäjä toivoisi tietojen keruuseen tietokantaohjelmaa, joka helpottaisi, kun etsii häkkiä, minkä ottaisi punnitukseen.

Yrittäjien mielestä kuivumisen seuranta punnitusten avulla antoi heille selvän kuvan pilkkeiden kuivumisesta. On hyvä tietää, milloin pilkkeet pitää siirtää varastoon tai ne voi laittaa toimitukseen. Kesän sääolot yllättivät pilkeyrittäjät pilkkeiden nopealla kuivumisella. Työmäärää välipunnitukset lisäsivät, koska välipunnituksille piti erikseen lähteä. Välipunnituksista saatua tietoa yrittäjät pitivät kuitenkin suurempana hyötynä, kuin mitä häittä aiheutui siihen kuluneesta työstä ja ajasta.

#### 5.5.1.5 Toimituksen yhteydessä tapahtuva punnitus

Siirrettäessä traktorilla pilkehäkkejä palkkivaa'alle kuluu aikaa ja punnitus vaatii työtä. Traktorin etukuormainvaaka auttaisi ja nopeuttaisi työtä. Silloin punnitus tapahtuisi samalla, kun häkkejä siirrellään. Kuorma-auton nosturiin kiinnitetyllä koukkuvaa'alla polttopuiden punnitus käy samalla vaivalla, kun kuorma puretaan asiakkaalle. Näin toimituksen yhteydessä tapahtuvasta punnituksesta ei tule muuta lisätyötä kuin massan kirjaaminen muistiin.

Toimituksen yhteydessä pilkkeiden punnitus lisää yrittäjän mielestä pilkkeiden myynnin luotettavuutta. Asiakas kokee saavansa polttopuita oikean määrän. Pilkkeiden massan mittauksesta yrittäjät kokivat lisäksi hyötyvänsä, kun saivat tietää, onko kuljetettavan kuorman massa laillisissa rajoissa.

Energiapilke-konseptin mukaan toimiminen tuo laadukkuutta koko valmistus- ja toimitusketjuun. Laadun varmistus alkaa jo pilkkeen teon yhteydessä mittausten tekemisellä ja tulosten dokumentoinnilla. Verkkosäkkeihin ja klapisäkkeihin pilkkeitä valmistettaessa pilkkeitä on aika-ajoin järjesteltävä, jotta pakkauksesta tulee tukeva. Irtopilkkeiden kaupassa tällainen työ on yrittäjän kannalta kannattamatonta ajan kulumista. Energiapilke-konseptissa pilkkeiden pakkaamiselle tiiviimpään kuljetusmuotoon saadaan korvaus, koska samaan yksikköön saadaan enemmän massaa ja mittaus tapahtuu punnitsemalla. Asiakkaat saavat puolestaan tiiviimpään tilaan pakatun toimituserän ja ilahtuvat suuresta puumäärästä. Verkostoituneessa polttopuuliiketoiminnassa myös jakelun tekevä yrittäjä tietää toimittavansa kuivia pilkkeitä, kun erän mukana on tuoteseloste, joka perustuu mittauksiin.

## 5.5.2 Asiakkaiden kokemukset

### 5.5.2.1 Haastattelu ja polttopuun käyttäjäkysely

Pilkeyrittäjien asiakkaille tehdyn haastattelun ja seitsemälle asuinalueelle Jyväskylän seudulla tehdyn polttopuun käyttäjäkyselyn tuloksena selvisi, että tarkempi tieto polttopuista kiinnostaa ostajia, jos tietoa vain on saatavilla. Polttopuun myyjät eivät ehkä ole vielä huomanneet asiakkaiden tarvetta tietää ostamistaan polttopuista enemmän. Vaikka yleisimmin polttopuut halutaan jatkossakin tilata erän tilavuusmitan mukaan, haluavat ostajat tietää tuoteselosteen välityksellä puistaan enemmän. Yli puolet vastaajista ilmoitti, että tuoteseloste olisi tarpeellista toimittaa ostetun polttopuun mukana.

Tärkeimpinä tietoina tuoteselosteessa pidettiin myytävän polttopuun puulajia, valmistajan yhteystietoja ja polttopuun kosteutta. Vastaajat halusivat nähdä tuoteselosteessa polttopuuerän tilavuuden mieluiten pinokuutiometreinä. Tieto polttopuuerän sisältämästä lämpöenergiasta koettiin tärkeämmäksi kuin tieto polttopuuerän tilavuudesta irtokuutiometreinä. Tuoteselosteeseen haluttiin myös tietoa siitä, mistä polttopuun raaka-aine on lähtöisin, milloin polttopuu on tehty ja kuinka se on kuivattu.

Tuoteselosteessa oleva tieto lämmöntuotannon kustannusten vertailusta eri energiamuotojen välillä ja tieto polttopuulla tuotetun lämpöenergian hinnasta auttaisi kuluttajaa helpommin mieltämään polttopuun hinnan. Polttopuun käyttäjät hyväksyvät puulle korkeamman hinnan lämpöenergiaa (kWh) kohti kuin hinnoiteltuna irtokuutiota kohti (Strömberg & Erkkilä 2012).

## 6 Energiapilke-konseptin käytännön soveltamisohje

### 6.1 Polttopuun energiasisällön määrittäminen

Pilke-erän energiasisältö riippuu pääosin pilkkeiden kosteudesta, mikä vaikuttaa myös poltossa syntyviin päästöihin ja käytettävyyteen. Kun tunnetaan polttopuun kosteus ja massa, sen energiasisältö voidaan laskea. Kuiva-ainekiloa kohti suomalaisilla puulajeilla on lähes sama lämpöarvo. Suomalaisen polttopuun kuiva-aineen tehollisena lämpöarvona voidaan käyttää 19 MJ/kg, ellei sitä ole tarkasteltavasta pilke-erästä erikseen määritetty.

Pilke-erän energiasisältö (MJ tai kWh) lasketaan toimituskosteudessa olevan pilke-erän tehollisen lämpöarvon ( $q_{net,ar}$ ) ja pilke-erän massan (kg) tulona.

Saapumistilassa eli toimituskosteudessa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo ( $q_{net,ar}$ , MJ/kg) lasketaan yhtälöllä (SFS-EN 14961-1)

$$q_{net,ar} = q_{net,d} \times (100 - M_{ar})/100 - 0,02443 \times M_{ar}, \quad (1)$$

missä

$q_{net,d}$  on tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)

$M_{ar}$  on kokonaiskosteus (vesi/kokonaismassa) (p-%)

0,02443 on veden höyrystymislämpö vakiopaineessa +25 °C:n lämpötilassa.

Energiayksiköiden yhteys on: 1 MJ on 0,2778 kWh.

Käsittely-yksiköissä oleville pilke-erille ja irtopilkkeelle on eri tavat määrittää energiasisältö. Seuraavassa esitetään ohjeet energiasisällön määrittämiseen.

#### 6.1.1 Pilkkeet käsittely-yksiköissä

##### 1. Määritä alkukosteus pilkonnassa syntyvästä purusta

Kosteusnäytettä kerätään yhden päivän pilketuotannon sahauspurusta niin, että näyte on samaa puulajia ja samasta raaka-aineen toimituserästä. Näytteeksi kerätään 30 minuutin välein pilkottavana olevan puun katkaisupurut. Purut kerätään kannelliseen muoviastiaan, josta kosteus ei pääse haihtumaan (kuva 65). Näytteiden oton välissä keräysastia suljetaan ja pidetään auringolta suojassa. Yhden päivän aikana tasalaatuisesta raaka-aineesta kerätyistä purunäytteistä sekoitetaan kokoomanäyte, josta määritetään kosteus. Samasta kokoomanäytteestä otetaan kolme rinnakkaisnäytettä ja kosteus analysoidaan. Kosteus määritetään kosteusmittausvaa'alla. Kolmen rinnakkaisnäytteen kosteustuloksesta lasketaan keskiarvo.





*Kuva 65. Puru kerätään kannelliseen muoviastiaan, säilytetään suljettuna ja auringolta suojattuna. Kosteus analysoidaan kosteusmittausvaa'alla.*

## **2. Punnitse pilkeyksikön massa**

Kunkin käsittely-yksikön massa punnitaan tyhjänä ja pilkkeitä täynnä. Punnitusmenetelmä valitaan käsittely-yksikön mukaan. Punnitukseen on käytettävissä erilaisia vaakoja mm. palkki-, nosturi- ja pumppukärryvaaka. Punnituksen yhteydessä käsittely-yksikkö numeroidaan, jotta se on myöhemmin tunnistettavissa. Punnitus- ja kosteustulokset merkitään seurantataulukoon. Taulukon voi laatia itse tai hakea Metsäkeskuksen verkkosivuilta internetosoitteesta: [www.metsakeskus.fi/lpy-materiaalit](http://www.metsakeskus.fi/lpy-materiaalit).

## **3. Punnitse pilkeyksikön massa toimitettaessa**

Toimitettavat käsittely-yksiköt punnitaan. Punnitukseen voidaan käyttää samoja vaakoja kuin alkupunnituksessakin tai kuljetuskaluston vaakaa.

## **4. Laske pilkkeiden toimituskosteus ja energiasisältö**

Pilke-erän toimituskosteus on samaa alkukosteusnäytettä vastaavien käsittely-yksiköiden laskettujen kosteuksien keskiarvo. Pilke-erän toimituskosteus lasketaan alkumassan, alkukosteuden ja toimitusmassan perusteella. Pilke-erän energiasisältö lasketaan toimitusmassan ja toimituskosteuden sekä puun kuiva-aineen lämpöarvon perusteella. Toimituskosteus ja energiasisältö lasketaan seurantataulukon avulla (kuva 66).

Lopputilanne							
Massa		Kosteus		Energia-sisältö			
yksikön brt massa	yksikön puiden massa	laskettu puiden kosteus	valmistuserän keskiarvokosteus	lämpöarvo	lämpöarvo	yksikön energiasisältö	energia-tiheys
kg	kg	p%	p%	MJ/kg	kWh/kg	kWh	MWh/i-m <sup>3</sup>
310	290	19.8	19.2	14.9	4.13	1199	1.09
302	283	19.3	19.2	14.9	4.13	1170	1.06
310	289	18.6	19.2	14.9	4.13	1194	1.09

Kuva 66. Ote seurantataulukosta, esimerkki. Pilke-erän koko 1,1 irtokuutiometriä.

## 6.1.2 Irtopilkkeet

### 1. Määritä toimituskosteus pilkkeistä

Toimitettavista pilkkeistä kerätään viisi näytepilkettä satunnaisesti eri puolilta erää jokaista kahden irtokuution erää kohden. Kosteus voidaan määrittää piikkimittarilla tai lämpökaappimenetelmällä.

Halkaise kukin näytepilke ja mittaa kosteus piikkimittarilla halkaisupinnalta viiden senttimetrin etäisyydeltä päistä ja keskeltä (kuva 67). Saaduista tuloksista lasketaan keskiarvo.



Kuva 67. Näytepilkkeen halkaiseminen ja kosteuden mittaaminen piikkimittarilla halkaistulta pinnalta.

Voit määrittää kosteuden myös lämpökaapissa. Tarvittava kuivausaika riippuu pilkkeiden koosta ja kosteudesta. Kuivausaika voi olla useita vuorokausia. Kuivumista voi nopeuttaa halkaisemalla pilkkeet. Näytepilkkeet punnitaan tarkkuusvaa'alla (0,1 g) ja laitetaan kuivumaan lämpökaappiin (105 °C ± 2 °C). Pilkkeitä kuivataan, kunnes massa ei enää muutu. Näytepilkkeet punnitaan ja lasketaan jokaisen pilkkeen kosteus märkäpainoa kohti. Kosteus on haihdutetun veden massan suhde kokonaisuun. Näytepilkkeiden kosteustuloksista lasketaan keskiarvo (SFS-EN 14774-2).

## 2. Punnitse pilkkeiden massa

Toimitettava pilke-erä punnitaan esimerkiksi etukuormain-, akselipaino- tai palkkivaa'alla.

## 3. Laske energiasisältö

Pilke-erän energiasisältö lasketaan toimitusmassan ja -kosteuden sekä puun kuiva-aineen lämpöarvon perusteella käyttäen edellä esitettyä laskentakaavaa (1). Toimituskosteuden ja energiasisällön laskemiseen voidaan käyttää apuna seurantataulukkoa (kuva 66).

## 6.2 Tuoteseloste

Mitattujen tietojen perusteella myytävälle pilkkeille voidaan laatia standardin SFS-EN 15234-5 mukainen tuoteseloste, jossa pilkkeiden laatu ilmoitetaan standardin SFS-EN 14961-5 mukaan (kuva 68).

<b>Energiapilke</b>	<b>Tuottaja</b>	Pasi Sironen Karstulantie 929 43480 Pääjärvi Puh. 040 566 5634
	<b>Raaka-aineen alkuperä</b>	1.1.3.1 Runkopuu (koivu)
	<b>Kaupanimike</b>	Pilke (uunivalmis), Laatuluokka A 1
	<b>Maa ja sijainti</b>	Pyökkönmäki, Suomi
	<b>Velvoittavat (SFS EN 14961-5)</b>	<b>Laatuluokka A1</b>
	<b>Mitat (cm)</b>	D10 (5 < D ≤ 10 cm), D15 (10 < D ≤ 15 cm),
	<b>Halkaisija (D) ja pituus (L)</b>	85% vaaditussa mitassa L33 (33 cm ± 2 cm) 15% voi olla lyhyempiä
	<b>Kosteus (M)</b> (p-% saapumistilassa)	M20 (10 ≤ M ≤ 20 p-%)
	<b>Tilavuus, (irto-m<sup>3</sup>)</b>	Arvot annettu 1 irto-m <sup>3</sup> kohti
	<b>Halkaistujen määrä</b>	Kaikki halkaistu
	<b>Katkaisupinnan laatu</b>	Sileä ja tasainen
	<b>Laho ja home</b>	Ei näkyvää lahoa tai homeita
	<b>Opastavat (SFS EN 14961-5)</b>	
<b>Energiasisältö, E</b> (kWh/irto-m <sup>3</sup> )	E1010 (1010 kWh/irto-m <sup>3</sup> )	
<b>Kuivausmenetelmä</b>	Luonnonkuivaus	

Kuva 68. Esimerkki tuoteselosteesta.

## 7 Johtopäätökset

Saatujen tulosten ja kokemusten mukaan energiasisältöön perustuva polttopuukauppa on käytännössä mahdollista. Kaupan perusteena on selkeämpi mittayksikkö kuin irtotilavuuskaupassa ja samalla saadaan mitattua tärkein laatutekijä, pilkkeiden kosteus. Alkukosteuden määrittäminen sahauspurusta yhdistettynä käsittely-yksiköiden punnitsemiseen (alkukosteus-punnitusmenetelmä) sopii hyvin, kun pilkkeet valmistetaan suoraan asiakkaille toimitettaviin käsittely-yksiköihin, joissa pilkkeet myös kuivataan. Näitä ovat esimerkiksi klapisäkit ja kuormalavoilla olevat verkkosäkit. Energiasisällön määrittäminen on mahdollista myös irtopilketuotannossa ja myynnissä. Hyvillä pilkkeiden kuivaustavoilla pilkkeiden väliset kosteuserot pilke-erässä ovat pieniä, jolloin kohtuullisella näytemäärällä päästään riittävään toimituskosteuden tarkkuuteen.

Energiasisällön määrittämismenetelmien käyttäminen vaatii paneutumista asiaan ja vie yrittäjältä työaikaan mutta vastaavasti työlleen saa korvauksen. Kun koko logistiikka on hyvin järjestetty, lisäajanmenekki ei koko valmistus- ja toimitusketjussa oleellisesti lisääny. Seurantakohteissa purunäytteiden ottaminen ja käsittely vei pilkonta-ajasta noin kolme prosenttia. Nosturivaakaa käyttäen punnitus vei myös kolme prosenttia pilkonta-ajasta. Punnitus on integroitavissa pilkkeiden valmistuksen yhteyteen siten, että lisäaika ei juuri mene. Menetelmän käyttämisen ansiosta yrittäjä tietää tuotteiden laadun tarkkaan, mikä osaltaan auttaa markkinoinnissa. Asiakkaille on hyötyä tuoteselosteesta, jossa on pilkkeiden laatutiedot sekä valmistus- ja kuivaushistoria, jotka perustuvat seurantaan ja mittauksiin. Asiakkaan luottamus myyjään vahvistuu.

Toistaiseksi asiakkaat eivät osaa tiedustella pilkkeiden energiasisältöä, kun asiasta ei ole tiedotettu. Toisaalta pilkkeitä, joiden energiasisältö on mitattu, ei ole juuri ollut kaupan. Tilavuusmittoihin perustuva polttopuukauppa jatkuneekin vielä pitkään. Olisi tosin hyvä, jos tilavuuskaupalla pilkkeitä myyvät yrittäjät tietäisivät pilke-erän energiasisällön ja ilmoittaisivat asiakkailleen. Tämä parantaisi eri energiamuotojen vertailtavuutta ja lisäisi tuntemusta energiayksiköihin.

Tutkimuksessa saatiin uutta tietoa eri tavoin kuivattujen pilke-erien kosteudesta ja pilkkeiden välisestä kosteushajonnasta samassa kuivauserässä. Tulosten mukaan yhden kevään ja kesän aikana voidaan tuottaa kuivia pilkkeitä luonnonkuivauksella, kun kuivausolot on hyvin järjestetty ja pilkkeiden kastuminen loppukesän ja syksyn sateissa estetään. Keväällä pilkottujen pilkkeiden kuivumisaika luonnonkuivauksessa on yleensä riittävä, jolloin tavanomaiseen käyttökelpoiseen kokoon valmistettujen pilkkeiden koolla eikä kuivattavan pilke-erän koolla ole suurta merkitystä loppukosteuteen. Hyvissä kuivumisoloissa pilkkeiden kosteuksien keskihajonta oli noin kolme prosenttiyksikköä ja parhaimmillaan jopa alle yhden prosenttiyksikön (taulukko 7). Kerättyjen tulosten perusteella noin kolmen prosenttiyksikön hajontaa voidaan pitää hyvänä tuloksena pilkkeiden kuivauksessa. Tämä tarkoittaa, että 68 prosenttia pilkkeistä on kosteudeltaan  $\pm 3$  prosenttiyksikön sisällä pilke-erän kosteuden keskiarvosta ja 95 prosenttia pilkkeistä  $\pm 6$  prosenttiyksikön sisällä keskiarvosta olettaen, että pilkkeiden kosteudet ovat normaalijakaumassa.



Mikäli pilkonta siirtyy kesäkuulle, riittävää kuivumista voi varmistaa rajoittamalla pilkkeiden läpimittaa ja pienentämällä kuivauskasan mittoja. Koivun kuoren rikkominen edistää kuivumista myös halkaistussa pilkkeessä.

Tutkimuksessa suurimman kuivattavan kasan pienin läpimitta oli 3,5 metriä, joka myös kuivui hyvin. Tätä suuremmista pilkekasan läpimitoista ei tässä tutkimuksessa saatu tietoa. Kuitenkin voi olettaa, mitä suurempi on etäisyys kasan ulkopinnalta keskelle, sitä heikommin ilma liikkuu kasan sisällä. Tällöin on riskinä pilkkeiden liian hidaskuivuminen, suuri ilman suhteellinen kosteus kasan keskellä ja homeen syntyminen pilkkeiden pintaan.

Luonnonkuivauksen onnistumiselle on olennaista avoin ja tuulinen kuivauspaikka sekä pilkekasan alusrakenteet, jotta ilma kiertää myös kasan alla eikä maasta nouseva kosteus tiivisty alimpiin pilkkeisiin. Katoksissa on varmistettava ilman liikkuminen tarvittaessa puhaltimilla. Katoksen seinät eivät saa olla liian tiiviit vaan ilman on päästävä liikkumaan. Betoni- ja asfalttialusta olisi varmintakosteus- ja lämpöeristää maakosteuden nousun estämiseksi. Lämpöeristys on tarpeen, jos pilkkeet ovat kontaktissa alustaan, jotta pilkekasan ilmassa oleva kosteus ei tiivistyisi ilmaa kylmempään alustaan.

Kuivausilman liikkuminen vaikeutuu, jos pilkkeiden seassa on irtonaista kuoriainesta, purua ja muuta pilkantaroskaa. Jos sadevesi vielä pääsee kastelemaan irtoaineksen, pilkkeet eivät kuiva kasan sisällä. Pilkonta- ja kuivausprosessit on suunniteltava siten, että kuivattava pilke on puhdasta irtoaineksista.

Taivasalla kuivattaessa sadeveden pääsy pilkekasaan kannattaa estää hyvissä ajoin. Peittäminen on hyvä tehdä kesä-heinäkuun vaihteessa tai aikaisemminkin, jos pilkkeet on valmistettu varhain keväällä. Ilman liikkumista pilkekassassa ei saa kuitenkaan estää. Estämällä sadeveden pääsy pilkkeisiin, ne säilyvät ulkonäöltäänkin laadukkaina.

Keinokuivauksen avulla voidaan pidentää kuivauskautta, nopeuttaa pilkkeiden kuivumista ja saada tasalaatuisempia pilkkeitä kuin luonnonkuivauksella. Myös varaston kiertoaika nopeutuu. Seurantakohteena ollut kylmäilmakonttikuivuri tuotti kosteudeltaan tasalaatuisia pilkkeitä. Mikäli kuivausaika halutaan lyhyeksi tai pilkkeiden tuotanto ympärivuotiseksi, kuivauksen mahdollistaa lämminilmakuivaus. Eri kuivaustavoilla kuivausajat ovat eripituiset. Luonnonkuivauksen kesto on kolmesta neljään kuukautta, kylmäilmakuivurilla kuivaus noin yhdestä kahteen kuukautta ja lämminilmakuivurilla vajaan viikon.

Energiapilke-konseptin käytäntöjä on edelleen mahdollista kehittää. Purunäytteen ottamista tulisi helpottaa tai automatisoida laitekehityksen avulla. Pilkekonevalmistajat tuntevat koneensa ja miettinevät ratkaisuja. Puruimurin hyödyntäminen on yksi vaihtoehto. Puru ei kuitenkaan saa kuivua imurin ilmavirrassa. Asiaa pyrittiin selvittämään jo tässä tutkimuksessa, mutta käyttökelpoisia tuloksia ei vielä saatu. Mittaustietojen syöttäminen taulukkolaskentaohjelmaan tehtiin käsin. Esimerkiksi kännykän välityksellä tiedot voisi syöttää tietokantaohjelmaan. Pilkekauppaan soveltuva ratkaisu tarvittaisiin. Erityisesti aloittavat pilkeyrittäjät kaipaavat lisää käytännön malliesimerkkejä työmaajärjestelyistä, valmistus- ja kuivaustekniikoista ja tuotantokustannuksista.

Pilkkeiden myyjiä ja käyttäjiä kiinnostaa pilkkeiden kosteuden muuttumisnopeus ulkovarastoinnissa ja lämpimään tilaan tuotuna. Eri puulajien soveltuvuudesta ja käyttäytymisestä tulisijoissa tarvitaan julkista tietoa. Kysymyksiä on herännyt myös lämminilmakuivatun puun käyttäytymisestä varastoinnissa ja poltossa verrattuna luonnonkuivattuun puuhun.

## Lähdeviitteet

Erkkilä, A., Kaipainen, H., Paappanen T., Alakangas E., Lindblad J., Sikanen L., Tahvanainen T., Kähkönen T. & Airaksinen U. 2006. Uusi pilkkeen käsittelykonsepti valmistuksesta asiakkaalle. Tutkimusraportti VTT-R-04964-06. VTT. 88 s. + liitt. 17 s.

Forsén, H. & Tarvainen, V. 2000. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. VTT Publications 420. Technical Research Centre of Finland. 70 p. + app. 17 p.

Hillebrand, K. & Frilander, P. 2005. Pilkkeen kuivaus ja laadun hallinta. Projektiraportti PRO2/P2068/05. VTT. 41 s. + liitt. 6 s.

Hillebrand, K. & Kouki, J. 2006. Pilkkeen kuivaus – luonnonkuivaus, keinokuivaus ja laadun hallinta. Työtehoseuran julkaisuja 398. Työtehoseura. 62 s.

RIL 120-2004. Puurakenteiden suunnitteluohjeet. Suomen Rakennusinsinööriliitto. Hakapaino Oy. 134 s.

SFS-EN 14961-1. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 1: Yleiset vaatimukset. 100 s.

SFS-EN 14961-5. Kiinteät biopolttoaineet. Polttoaineen laatuvaatimukset ja -luokat. Osa 5: Polttopuu ei-teollisuuskäyttöön. 22 s.

SFS-EN 14774-2. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. 13 s.

SFS-EN 14778. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto. 102 s.

SFS-EN 15234-5. Kiinteät biopolttoaineet. Laadunvarmistusstandardi. Osa 5: Polttopuu ei-teollisuuskäyttöön .

Strömberg, T. & Erkkilä, A. 2012. Polttopuun hankinta ja käyttö omakotitalouksissa. Tutkimusraportti. VTT-R-00154-12. VTT. 46 s. + liitt. 14 s.

Torvelainen, J. 2009. Pientalojen polttopuun käyttö 2007/2008. Metsätilastotiedote 26/2009. Metsätutkimuslaitos, Metsätilastollinen tietopalvelu. 4 s.

## Liitteet

Liite 1. Mittaustietotaulukko.

## MITTAUSTIETOTAULUKKO

Pilke-erän loppukosteuden ja energiasisällön laskenta alkukosteus-punnitus – menetelmällä


 Euroopan maaseudun  
kehittämisen maatalousrahasto:  
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

Lämpörittäjyyden ja polttopuuliekitoiminnan kehittämishanke 2009 - 2011

## ENERGIAPILKE

Pilke-erän loppukosteuden ja energiasisällön laskenta alkukosteus-punnitus

Syötä tiedot valkopohjaisiin soluihin. Muut solut sisältävät kaavoja!

Alkutilanne									
pvm	Yksikön koodi	Alkumassat			Alkukosteus				kuiva-aine massa kg
		säkin/häkin massa kg	brt massa kg	puiden massa kg	Näyte 1 p%	Näyte 2 p%	Näyte 3 p%	keskiarvo p%	
30.03.2011	1	20	439	419	43.2	43.5	43.7	43.5	236.9
30.03.2011	2	19	421	402	43.2	43.5	43.7	43.5	227.3
30.03.2011	3	21	429	408	43.2	43.5	43.7	43.5	230.7
30.03.2011	4	21	422	401	43.2	43.5	43.7	43.5	226.7
30.03.2011	5	19	433	414	43.2	43.5	43.7	43.5	234.0

Koivu				Lähde: ks. sivu Peruste - tehollinen lämpöarvo		
Loppukosteus -menetelmällä				Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa.		Yksikön tilavuus
				MJ/kg	kWh/kg	i-m3
				19.0	5.28	1.1

Lopputilanne							
Massa		Kosteus		Energia-sisältö			
yksikön brt massa kg	yksikön puiden massa kg	laskettu puiden kosteus p%	valmistus-erän keskiarvo-kosteus p%	lämpö-arvo MJ/kg	lämpö-arvo kWh/kg	yksikön energia-sisältö kWh	energia-tiheys MWh/i-m3
310	290	18.3	18.9	14.9	4.15	1204	1.09
302	283	19.7	18.9	14.9	4.15	1175	1.07
309	288	19.9	18.9	14.9	4.15	1196	1.09
303	282	19.6	18.9	14.9	4.15	1171	1.06
301	282	17.0	18.9	14.9	4.15	1171	1.06

Täyttöohje:

Merkitään pilkontapäivä (sarake A) ja käsittely-yksikön tunnistekoodi (sarake B).

Yksikön massa punnitaan tyhjänä (sarake C) ja täytettynä pilkkeillä (sarake D).

Alkukosteus määritetään sahauspurusta tai näytepilkkeistä ja merkitään rinnakkaisnäytteiden kosteudet sarakkeisiin F, G ja H.

&gt; kosteusmittausvaa'alla

&gt; tai haihduttamalla vesi lämpökaapissa ja laskemalla haihdutetun veden osuus kokonaismassasta.

Lopussa yksikkö punnitaan ja syötetään tulos taulukkoon (sarake K), jolloin saadaan puiden kosteus ja energiasisältö punnitushetkellä.

Sarakkeessa M on kunkin yksikön laskennallinen kosteus.

Sarakkeessa N on valmistuserän keskiarvo-kosteus, jonka avulla lasketaan yksiköitten energiasisältö.

Laske vaaleanpunaisiin soluihin kosteuden keskiarvo (M-sarakkeesta) (sama valmistuserän keskiarvokosteus samaa alkukosteusnäytettä vastaaville yksiköille).

&gt; muuta tarvittaessa laskentakaava ottamaan mukaan kaikki saman valmistupäivän rivit



# MITTAUSTIETOTAULUKKO

Pilke-erän energiasisällön laskenta pilkenäytteistä määritetyn toimituskosteuden ja toimituserän massan perusteella

Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahas-  
to Eurooppa investoi maaseutualueisiin

Lämpöyrittäjyyden ja polttopuuliiketoiminnan kehittämishanke 2009 - 2011		<b>KOIVU</b> Lähde: ks. sivu Peruste -								
<b>ENERGIAPILKE</b>		Tilavuuspaino (n. 5%:n tarkk.)	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa.							
Pilke-erän energiasisällön laskenta, kun alkutietoja ei ole käytettävissä		kgKA/irtto-m <sup>3</sup>	MJ/kg kWh/kg							
<i>Syötä tiedot valkopohjaisiin soluihin, keltaisella ja vihreällä pohjalla olevat solut sisältävät kaavoja!</i>		210	19.0 5.28							
Lopputilanne										
pvm	Yksikön koodi	säkin/häkin massa kg	Kosteus	Massa		Energia-sisältö			punnitun erän laskennallinen tilavuus irtto-m <sup>3</sup>	energia-tiheys MWh/i-m <sup>3</sup>
			toimitus-kosteus p%	brt massa kg	puiden massa kg	energia-sisältö MJ/kg	energia-sisältö kWh/kg	yksikön energia-sisältö kWh		
23.10.2011	11	20.0	19.0	310	290	14.9	4.15	1202	1.12	1.07
23.10.2011	14	21.0	21.0	303	282	14.5	4.03	1136	1.06	1.07
25.10.2011	17	20.0	19.0	612	592	14.9	4.15	2454	2.28	1.07
Täyttöohje:										
Kosteus määritetään riittävästä määrästä näytepilkkeistä ja syötetään taulukkoon.										
> pikakosteusmittarilla										
> tai haihduttamalla vesi lämpökaapissa ja laskemalla haihdutetun veden osuus kokonaismassasta.										
Yksikkö punnitaan ja syötetään tulos taulukkoon, jolloin saadaan energiasisältö punnitushetkellä.										
Arvio punnitun erän tilavuudesta on saatu kokemukseräisen kuiva-ainetilavuuspainon perusteella.										