

Energiapaalien luonnonkuivaamisen tehostaminen aurinkoenergialla

Arttu Pöyhönen

Opinnäytetyö
Helmikuu 2017
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Luonnonvara ja ympäristöala

| | | |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| Tekijä(t) Pöyhönen, Arttu | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä Helmikuu 2017 |
| | Sivumäärä 39 | Julkaisun kieli Suomi |
| | | Verkkojulkaisulupa myönnetty: x |
| Työn nimi Energiapuupaalien luonnonkuivaamisen tehostaminen aurinkoenergialla | | |
| Tutkinto-ohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma luonnonvara ja ympäristöala | | |
| Työn ohjaaja(t) Tero Vesisenaho | | |
| Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu | | |
| Tiivistelmä <p>Energiapuun kosteus vaikuttaa siihen, kuinka hyvää polttoainetta kaadetuista puista saadaan. Fixteri-paali teknologialla paalatut energiapuupaalit ovat olleet ongelmallisia kuivumisen kannalta.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää, voidaanko aurinkoenergiaa hyödyntäen tehostaa Fixteri-paalien kuivumista. Tutkimus toteutettiin Saarijärvellä Jyväskylän ammattikorkeakoulun biotalousinstituutin pihassa Tarvaalassa, jonne oli pinottu neljä eri pinoa, joista kaksi oli pinoladonta- ja kaksi ristiladontapinoa. Yhteen pinoladontapinoon asennettiin aurinkokuivaimet, jolloin kolme muuta pinoa toimi verrokkeina. Pinojen kuivumista mitattiin kosteusnäytteiden avulla ja punnitsemalla pinot ennen ja jälkeen tutkimuksen. Dataloggereita käytettiin koko tutkimuksen ajan mittaamaan yhden pinoladonta- ja yhden ristiladontapinon sisällä olevan ilman kosteutta. Koalueella oli myös sääasema, joka mittasi jatkuvasti ulkoilman kosteutta ja lämpötilaa.</p> <p>Saatuja tuloksia aurinkokuivatusta pinoladontapinosta verrattiin kolmeen muuhun verrokki-pinoon. Tarkkailtiin myös, kuinka ulkoilman kosteus ja lämpötila vaikuttavat pinojen sisällä olevaan ilmaan.</p> <p>Tuloksista huomattiin, että punnituksen perusteella aurinkokuivattu pino kuivui parhaiten, mutta kosteusnäytteet osoittivat, että parhaiten olivat kuivaneet luonnonmukaisesti kuivuneet ristiladontapinot. Tutkimuksessa selvisi myös, kuinka tästä tehtävät jatkotutkimukset tulisi tehdä. Dataloggerien tietojen perusteella saatiin osoitusta siitä, että aurinkoenergialla kuivatun pinon etuosassa ilma kiersi paremmin kuin ristiladontapinoissa. Aurinkokuivatun pinoladontapinon takaosassa ilma kiersi yhtä tehokkaasti kuin luonnonmukaisesti kuivaneessa ristiladontapinossa.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) Fixteri, aurinkoenergia, kuivaus, biopolttoaine, kosteus | | |
| Muut tiedot 14 sivua liitteitä | | |

| | | |
|--|--|--|
| Author(s) Pöyhönen, Arttu | Type of publication Bachelor's thesis | Date February 2017 Language of publication: Finnish |
| | Number of pages 39 | Permission for web publication: x |
| Title of publication The intensification of drying energy wood bales by solar energy | | |
| Degree programme Degree programme in Agriculture and Rural Industries | | |
| Supervisor(s) Vesisenaho, Tero | | |
| Assigned by Jyväskylä University of applied sciences | | |
| Abstract <p>The leaked tree humidity affects how good fuel made from the trees. Fixter-bale technology bales are particularly problematic in terms of drying.</p> <p>The aim was to find out whether drying of the Fixter-bales can be accelerated by utilizing solar energy. The study was carried out of yard in the Jyväskylä University of applied sciences in Tarvaala Saarijärvi, where there were four different stacks., two of which had normal hatched stacks and two crosshatched stacks. Solar dryers were installed to one of the stacks whereas the three other stacks functioned as baselines. Drying of the stacks was measured by the humidity samples, and by weighing the stacks before and after the study. Dataloggers were also used throughout the study to measure the one stack of typesetting and one cross typesetting stacks inside of humidity. On the test site there was also a weather station which constantly measured the ambient air humidity and temperature.</p> <p>The results obtained from the solar energy dried normal hatched stacks were compared to the three other baseline stacks. It was also observed how the outdoor air humidity and temperature affect the air inside the stacks.</p> <p>The results showed that, based on weighing, the solar energy dried stack dried best but the humidity samples indicated that the naturally dried crosshatched stacks had dried best. The study also found out how further research should be done. On the basis of the information received from the dataloggers it can be said that the air circulated better in the front part of the solar energy dried stack than in the crosshatched stacks. At the back of the solar energy dried normal hatched stacks air circulated as effective as in the crosshatched stacks.</p> | | |
| Keywords/tags (subjects) Fixter, Solar energy, Drying, Biofuel, Humidity | | |
| Miscellaneous 14 pages of attachments | | |

Sisältö

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 4 |
| 1.1 | Fixteri -konseptin kehittäminen | 4 |
| 1.2 | Fixteri-paalit- suomalainen keksintö | 5 |
| 2 | Aurinkoenergia | 6 |
| 3 | Energiapuupinojen kosteuden mittaustekniikka | 7 |
| 4 | Tutkimus | 8 |
| 4.1 | Tutkimussuunnitelma | 8 |
| 4.2 | Tutkimuksen tavoitteet | 9 |
| 4.3 | Dataloggerit | 9 |
| 4.4 | Kosteusnäytteet | 10 |
| 4.5 | Pino A pinoladonta luonnonmukainen kuivuminen | 11 |
| 4.6 | Pino B ristiladonta luonnonmukainen kuivuminen..... | 13 |
| 4.7 | Pino C ristiladonta luonnonmukainen kuivuminen..... | 14 |
| 4.8 | Pinoladontapino D aurinkoenergialla avustettu kuivuminen | 16 |
| 5 | Johtopäätökset | 18 |
| 5.1 | Dataloggerit | 18 |
| 5.2 | Kosteusnäytteet | 20 |
| 5.3 | Punnitus..... | 20 |
| 6 | Pohdinta | 22 |
| | Lähteet | 25 |
| | Liitteet | 26 |
| | Liite 1. Kuormaustodistus 10.6.2016..... | 26 |
| | Liite 2. Kosteus ristiladontapinon etuosassa. Anturi 2..... | 27 |
| | Liite 3. Kosteus ristiladontapinon etuosassa. Anturi 2..... | 28 |
| | Liite 4. Kosteus ristiladontapinon takaosa. Anturi 1 | 29 |
| | Liite 5. Kosteus ristiladontapinon takaosassa. Anturi 2 | 30 |
| | Liite 6. Kosteus ritiladontapinon takaosassa..... | 31 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Liite 7. | Kosteus pinoladontapinon takaosassa. Anturi 1 | 32 |
| Liite 8. | Kosteus pinoladontapinon takaosassa. Anturi 2 | 33 |
| Liite 9. | Kosteus pinoladontapinon etuosassa. Anturi 1..... | 34 |
| Liite 10. | Kosteus pinoladontapinon etuosassa. Anturi 2 | 35 |
| Liite 11. | Lämpötilat D-pinon sisällä..... | 36 |
| Liite 12. | Dataloggerien kosteustiedot aurinkokuivausjaksolta..... | 37 |
| Liite 13. | Ulkoilman kosteus kuivausjakson aikana..... | 38 |
| Liite 14. | Tutkimuksenpäiväkirja. | 39 |

Kuviot

| | | |
|-----------|---|----|
| Kuvio 1. | Fixteri-paalain | 5 |
| Kuvio 2. | Koepaikka. Pinojen yksilöinti kirjaimilla ja sijainti..... | 8 |
| Kuvio 3. | Tutkimuksessa käytetty dataloggeri..... | 10 |
| Kuvio 4. | Tutkimusympäristö..... | 11 |
| Kuvio 5. | Pinoladontapino A | 11 |
| Kuvio 6. | Ristiladontapino B | 13 |
| Kuvio 7. | Ristiladontapino C | 15 |
| Kuvio 8. | Pinoladontapino D..... | 17 |
| Kuvio 9. | Dataloggerien lämpötilatiedot aurinkokuivausjaksolta | 19 |
| Kuvio 10. | Ulkoilmanlämpötila kuivausjakson aikana. Mittauspiste Saarijärvellä. | 19 |
| Kuvio 11. | Kosteusnäytteiden mukaan pinojen kuivuminen prosentuaalisesti..... | 20 |
| Kuvio 12. | Pinojen painot ennen ja jälkeen kuivauksen..... | 21 |
| Kuvio 13. | Prosentteina painon väheneminen pinoittain | 21 |
| Kuvio 14. | Punnituspaikka punnituksen jälkeen | 23 |

Taulukot

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. A-pinon kosteusanalyysit..... | 12 |
| Taulukko 2. pinon A paino ennen ja jälkeen kuivauksen | 12 |
| Taulukko 3. B-pinon kosteusnäytteet | 13 |
| Taulukko 4. B-pinon paino ennen ja jälkeen kuivauskokeen | 14 |
| Taulukko 5. C-pinon kosteusnäytteet | 15 |
| Taulukko 6. C-pinon paino ennen ja jälkeen kuivauskokeen | 16 |
| Taulukko 7. D-pinon kosteusnäytteet | 17 |
| Taulukko 8. D-pinon paino ennen ja jälkeen kuivauskokeen..... | 18 |

1 Johdanto

1.1 Fixteri -konseptin kehittäminen

Fixteri Oy perustettiin vuonna 2003, ja se on erikoistunut pieniläpimittaisen puun korjuuteknologioihin ja kokonaisvaltaisen toimitusketjun kehittämiseen. Fixteri-paaliteknologia parantaa energiapuun käsiteltävyyttä erityisesti kuljetuksessa ja kuormaamisessa. (Fixteri uusinta teknologiaa ja aitoa kumppanuutta n.d.) Fixteri-paalaus nopeuttaa energiapuiden käsittelyä, vaikka on kalliimpi ratkaisu kuin kilpailevat korjuumenetelmät (Fixteri ei korjaa metsänomistajan taloutta 2012).

Suomessa vuodesta 2014 eteenpäin aurinkoenergian käyttö on yleistynyt suuressa määrin. Vuonna 2015 aurinkosähkökapasiteetti kaksinkertaistui reilusta 1500 asennuksesta vajaaseen 3500 asennettuun laitteeseen. Kasvu johtui siitä, että sinä vuonna rakennettiin seitsemän Suomen suurimmasta aurinkosähkövoimalasta. (Lovion n.d.) Tällainen aurinkoenergian yleistymisen herättää kysymyksen: voidaanko tätä energiamuotoa hyödyntää myös metsästä saatavan energian parantamiseen.

Fixteri-paalien kuivaamista on tutkittu aikaisemmin jonkin verran, mutta ei ole testattu, voidaanko siinä hyödyntää aurinkoenergiaa. Alhaisempi kosteus fixteri-paaleissa vähentää muun muassa polttoaineen kuljetuskustannuksia, koska tällöin ei jouduta kuljettamaan vettä. Alhaisempi kosteus tekee siis polttoaineesta kustannustehokkaampaa. Polttoaineen kosteus vaikuttaa myös siihen, kuinka paljon energiaa saadaan yhdestä kuutiosta haketta. (Fixteri ei korjaa metsänomistajan taloutta 2012.)

Puuhakkeen kosteus ja laatu vaihtelevat, koska usein materiaalikasat ovat sään armoilla. Hakkeen huonon laadun vuoksi voi lämpölaitoksen toiminnassa ilmetä häiriöitä, ja toimintaa joudutaan väliaikaisesti jatkamaan varapolttoaineella. Hakkeen suuri kosteus on haitallista, koska se vaikuttaa polttoaineen lämpöarvoon negatiivisesti. Kosteasta metsähakkeesta polton aikana syntyy enemmän haitallisia päästöjä kuin kuivana poltetusta puusta. (Salo-Kauppinen 2017.)

1.2 Fixteri-paalit- suomalainen keksintö

Fixteri-paalain on lisälaite (ks. kuvio 1), joka asennetaan alustakoneen kuormatilan päälle pulttiliitoksin. Paalain ottaa sähkö- ja hydraulijärjestelmän käyttövoiman alustakoneesta. Paalaimen toimintoja ohjataan alustakoneen ohjaamon käsikahvoista. Fixteri-paalaimen mukana tulee kosketusnäyttö, joka asennetaan alustakoneen ohjaamoon. Kosketusnäytöstä saadaan paalaimen parametrien asetukset sekä tietoa Fixteri-paalaimen toiminnasta ja tuotantomääristä. Paalain on kooltaan 240 cm leveä, 410 cm pitkä, 280 cm korkea ja se painaa 6500 kilogrammaa. (Fixteri uusinta teknologiaa ja aitoa kumppanuutta n.d.)



Kuvio 1. Fixteri-paalain

Fixteri-paalain paalaa kokopuurungon optimaalisen kokoiseksi paaleiksi, jotka on helppo kuljettaa tienvarsivarastoon. Samalla ajokerralla tehdään hakkuu ja runkopuiden niputus. Fixteri-paalauksen ansioista metsäkuljetus tienvarsivarastoon on 2-3 kertaa nopeampaan kuin irtojakeen kuljetus. Fixteri-paalauksen ansiosta metsäkuljetus tienvarsivarastoon on 2-3 kertaa nopeampaan kuin irtojakeen kuljetus. Fixteri-paalauksen ansiosta metsäkuljetus tienvarsivarastoon on 2-3 kertaa nopeampaan kuin irtojakeen kuljetus. Fixteri-paalauksen ansiosta metsäkuljetus tienvarsivarastoon on 2-3 kertaa nopeampaan kuin irtojakeen kuljetus. Fixteri-paalauksen ansiosta metsäkuljetus tienvarsivarastoon on 2-3 kertaa nopeampaan kuin irtojakeen kuljetus. Fixteri-paalauksen ansiosta metsäkuljetus tienvarsivarastoon on 2-3 kertaa nopeampaan kuin irtojakeen kuljetus. (Fixteri uusinta teknologiaa ja aitoa kumppanuutta n.d.)

Fixteri-paalien kuivumisen kannalta on tärkeää, että paalit ovat oikealla tavalla varastoituna. Varastoinnissa on otettava huomioon mm. riittävä vapaa ilmatila pinon alla, pieni kastumiselle altis pinta-ala, oikea varastointiaika, ilman kierto, varastointipaikka ja pinon peite. (Nieminen 2015.)

Ladontatekniikalla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka ilma kiertää pinon sisällä. Pöyryn tutkimuksessa on todettu, että ristiladontatekniikka kuivattaa fixteri-paaleja paremmin kuin normaaliladonta. Ristiladonnassa pinon pohjalle laitetaan aluspuiksi fixteri-paalit ja näiden päälle pinotaan ensimmäinen rivi. Seuraava rivi pinotaan vastakkaiseen suuntaan ja siitä seuraava normaalisti. Tätä toistetaan, kunnes pino on valmis. (Fixteri-teknologian kilpailukyky 2014.)

Luonnonmukaisesti kuivatetut fixteri-paalit kuivavat parhaiten, kun niiden antaa kuivua heti paalauksen jälkeen ns. palstakuivauksena. Tämän jälkeen siirretään esikuivatetut fixteri-paalit välivarastoon metsänlaitaan ristiladontana, jossa niiden annetaan olla siihen asti, kunnes ne haketetaan. (Fixteri-teknologian kilpailukyky 2014.)

Palstakuivaus tarkoittaa, että paalien annetaan kuivua yksitellen metsässä, jolloin ne pudottavat osan vihermassasta maahan vähentäen ravinteiden kulkeutumista pois metsästä. Fixteri-paaleja voidaan kuivata palstalla kesän yli ja varastoida syksyllä väliaikaiseen tienvarsivarastoon. (Nurmi n.d.)

2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergian odotetaan yleistyvän rajusti ympäri maailman, mutta erityisesti Suomessa. Tulevaisuusanalytikot ennustavat, että tulevaisuudessa aurinkoenergia tulee olemaan niin halpaa ja tehokasta, että kotitaloudet voivat irrota sähköjaka-
luksesta. (Lukkari 2016.)

Auringosta saatava energia voidaan muuttaa sähköksi keräämällä energia aurinkokeräimen avulla. Aurinkokeräimen toiminta perustuu sähkökemiallisiin muutoksiin kennon sisällä, minkä ansiosta sähköä voidaan johtaa omaan suljettuun sähköverkkoon tai vaihtoehtoisesti valtakunnalliseen verkkoon. Sähkö voidaan myös varastoida ak-

kuihin. Yleisimmin käytössä ovat lyijyakut ja jo 12 W:en jännite usein riittää pienemmissä kohteissa. (Aurinkopaneeli n.d.)

Vuoden 2016 lopussa maailmanlaajuisen tutkimuksen mukaan aurinkoenergia on halvinta uusiutuvista energioista. Siitä on tullut lyhyellä aikavälillä halvempaa kuin tuulienergiasta. Suurin osasyllinen aurinkoenergian investointien halpenemiseen on Kiinan halukkuus kehittää yhä halvempia ratkaisuja. Tutkijat ennustavat myös, että seuraavan vuosikymmenen aikana todennäköisesti aurinkoenergiasta tulee halvempaa kuin fossiilisista polttoaineista. (Randall 2016.)

3 Energiapuupinojen kosteuden mittaustekniikka

Energiapuupinoista puun kosteutta voidaan mitata ottamalla puupinosta kattavasti näytteitä, joista mitataan kosteus kuivaamalla ne lämpökaapissa. Energiapuupaaleista voidaan mitata myös, kuinka paljon kosteutta on poistunut, kun paalit punnitaan ennen ja jälkeen kuivauksen. Kosteus voidaan mitata ottamalla energiapuupinoista näytteitä. Näytteet on otettava mahdollisimman monesta kohtaa, jotta se kattaa koko energiapuupinon. Astiat, johon näytteet kaadetaan, punnitaan tyhjänä 1 g:n tarkkuudella. Näyteastian voi toimia esimerkiksi alumiinivuoka. Punnitsimisen jälkeen näyteastian kaadetaan 2-3 cm paksu, tasainen kerros näytettä. Näytteitä kuivataan lämpökaapissa noin 105 asteessa vakiopainoon. Näytteitä ei saa kuivata yli 24 tuntia. Vakiopaino on saavutettu sitten, kun kahden punnituksen välillä tapahtunut painonmuutos on pienempi kuin 0,2 %/h. Näytteet pitää punnita heti, kun ne on otettu pois lämpökaapista. (Fixteri-teknologian kilpailukyky 2014.)

Sitä kuinka paljon energiapuupinot ovat kuivuneet eli sitä kuinka paljon kosteutta on lähtenyt energiapuupinoista, voidaan mitata punnitsemalla pinot ennen ja jälkeen kuivaamisen. Punnitus tapahtuu kuormatraktorin kouraan asennetulla vaa'alla, joka punnitsee kouralla nostettavat puut joko kuormauksen aikana tai kuormaa purettaessa. Kuormatraktorin vaa'an toiminta perustuu, joko venymäliuskamittaukseen tai hydrauliseen paineanturiin. (Melkas 2010.)

4 Tutkimus

4.1 Tutkimussuunnitelma

Tutkimuksessa oli mukana neljä eri puupinoa (ks. kuvio 2), joista kaksi ristiladontana ja kaksi muuta pinoladontana pinottua pinoa. Alkuperäisessä suunnitelmassa tarkoituksena oli kuivata kaksi pinoa aurinkoenergian avulla ja kaksi ilman. Aurinkokuivaimet eivät kuitenkaan riittäneet kahden pinon kuivaukseen, joten päädyttiin kuivamaan vain yksi pino aurinkoenergialla.



Kuvio 2. Koepaikka. Pinojen yksilöinti kirjaimilla ja sijainti.

Tutkimusta lähdettiin suunnittelemaan keväällä 2016. Tutkimussuunnitelmaan kirjattiin tavoitteiksi selvittää, kuinka aurinkoenergialla kuivattu energiapuupino eroaa ominaisuuksiltaan (kosteus, vihernäyte, mikrobinäyte) luontaisesti kuivuneesta energiapuupinosta. Tarkoituksena oli, että koetilanne kestää kahden energiapuupinon osalta keväästä syksyyn, jolloin voidaan vertailla, miten kosteus muuttuu, kun puupi-

not ovat pihalla yli kesän. Kokeen tarkoituksena oli saada vastaus kysymykseen, kuinka aurinkoenergialla kuivatun pinon kosteus eroaa luontaisesti kuivaneesta pinosta.

Tutkimuksen aikana poikettiin tutkimussuunnitelmasta muutamaan otteeseen. Kokeen alussa päätettiin myöhästyttää aurinkoenergialaitteiston asentamista lokakuuhun. Oletuksena oli, että syksyllä asennetut laitteet pidentävät kuivausaikaa myöhäiseen syksyyn verrattuna kesällä asennettuihin laitteistoihin.

Suunnitelmasta poikettiin myös viher- ja mikrobinäytteen osalta. Kyseiset näytteet pitää ottaa tuoreesta puusta, jotta arvot olisivat luotettavia. Käytännön syistä tutkimuksessa ei ollut mahdollista käyttää vasta paalattuja Fixteri-paaleja. Sen sijaan käytettiin edellisenä vuonna paalattuja Fixteri-paaleja.

Suunnitelman mukaan tarkoituksena oli, että Fixteri-paalipinoja olisi neljä, joista kaksi on pinottu ristiladontana ja kaksi normaaliladontana (ks. kuvio 2). Yhteen ristiladontapinoon ja yhteen pinoladontapinoon olisi suunnitelman mukaan laitettu aurinkoenergiakuivaimet, ja kahden muun pinon tarkoitus oli olla vertailukohteita. Vähäisten resurssien takia päädyttiin kuivaamaan vain yksi pinoladontapino, jolloin kolme muuta pinoja toimivat vertailupinoina.

4.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli saada selville, kuinka aurinkoenergialla kuivattu eroaa kosteudeltaan luontaisesti kuivuneesta energiapuupinosta. Tutkimus rajattiin vain Fixteri-paalien kosteuksien analysointiin ja vertailuun. Rajaus tehtiin, koska muussa tapauksessa tutkimus olisi laajentunut niin isoksi, etteivät aika ja resurssit olisi riittäneet luotettavan tutkimuksen toteuttamiseen.

4.3 Dataloggerit

Tutkimuksessa käytettiin dataloggereita (ks. kuvio 3), joilla mitattiin koko kuivauksen ajan pinojen sisällä olevan ilman lämpötilaa ja kosteutta. Dataloggeri keräsi tietoja pinoista 10 minuutin välein 13.6-3.11.2016 välisen ajan. Tiedot siirtyivät automaatti-

sesti pilvipalveluun. Dataloggerit asennettiin pinoon C ja Pinoon D 13.10-3.11.2016 keinokuivaus jaksonajaksi. (Ks. liite 14.) Alun perin dataloggerit oli asennettu pinoon A ja B, jossa ne mittasivat tietoa 13.6-13.10.2016 jakson ajan. D-pino on aurinkoenergialla kuivattu pinoladottu pino ja C on luonnonmukaisesti kuivanut ristiladontapino. A-pino on normaaliladonta ja B-pino on ristiladonta luonnonmukaisesti kuivuneita pinoja. (Ks. kuvio 2.)



Kuvio 3. Tutkimuksessa käytetty dataloggeri

4.4 Kosteusnäytteet

Pinoista otettiin kosteusnäytteet ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen. Fixteri-paaleista kerättiin kahdenlaisia näytteitä. Moottorisahalla sahattiin yksi paali halki, josta otettiin näyte sekä sisäosasta että ulko-osasta paalia. Tämän näytteen perusteella saatiin tietoa siitä, miten kosteudet eroavat paalin sisä- ja ulko-osissa. Pinosta porattiin poralla myös näyte molemmilta puolilta pinoja, jotta niistä saataisiin kokonaisvaltaisempi kosteusanalyysi. Fixteri-paalit punnittiin myös ennen ja jälkeen kuivausta. Näin voitiin laskea, kuinka paljon kosteutta oli poistunut koko pinosta.

Pinot sijaitsivat kaikki samassa paikassa Saarijärven Tarvaalassa Jyväskylän ammattikoulun Biotalouskampuksen pihalla. Kaikille pinoille luotiin mahdollisimman samanlainen kuivumisympäristö. (Ks. kuvio 4.)



Kuvio 4. Tutkimusympäristö

4.5 Pino A pinoladonta luonnonmukainen kuivuminen

Pinoladontapino A annettiin kuivua luonnonmukaisesti (ks. kuvio 5). Pinosta otettiin kosteusnäytteitä ja fixteri-paalit punnittiin ennen ja jälkeen kuivauksen.



Kuvio 5. Pinoladontapino A

A-pinon halkaistu paali oli kosteudeltaan ennen kuivausta sisältä 39,78 % ja ulkopinnalta 23,08 %. Kuivauksen jälkeen halkaistun paalin kosteus oli sisältä 31,51 % ja ulkopinnalta 21,51 %. Fixteri-paali kuivui tutkimusajan aikana sisältä 8,28 % ja ulkopinnalta 1,57 % (ks. taulukko 1).

A-pinon porausnäytteiden kosteus ennen kuivausta pihan puolelta eli eteläpuolelta oli 34,35 % ja tien puolelta 36,93 %. Kuivauksen jälkeen kosteus pihan puolelta oli 26,34 % ja tien puolelta 36,41 %. Kosteudet olivat pudonneet kuivauksen aikana pihan puolelta 8 % ja tien puolelta 0,52 %. Keskiarvoisesti koko pinossa oli tapahtunut kuivumista 4,59 % (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. A-pinon kosteusanalyysit

| Pino | Paalin nro | kosteus ennen kuivausta | kuivauksen jälkeen | Erotus | | |
|------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------|---|-------------------|
| A | Halkaistu/A27 sisä | 39,78 % | 31,51 % | 8,28 % | } | Keskiarvo: 4,59 % |
| | Halkaistu/A27 ulko | 23,08 % | 21,51 % | 1,57 % | | |
| | A17 Tie | 36,93 % | 36,41 % | 0,52 % | | |
| | A17 Piha | 34,35 % | 26,34 % | 8,00 % | | |

A-pinon paino oli ennen kuivausta 8722 kg. Kuivauksen jälkeen paino oli 5718 kg, jolloin paino oli vähentynyt kuivauksen aikana 3004 kg. Prosentteina vähennys oli 34 % (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. pinon A paino ennen ja jälkeen kuivauksen

| Painot ennen kuivumista | Painot kuivumisen jälkeen KA: | Vähennys | Vähennys % |
|-------------------------|-------------------------------|----------|--------------|
| Pino A: | 8722 | 5718 | 3004 Kg 34 % |

4.6 Pino B ristiladonta luonnonmukainen kuivuminen

Pino B ristiladonta annettiin kuivua luonnonmukaisesti (ks. kuvio 6). Pinosta otettiin kosteusnäytteitä ja fixteri-paalit punnittiin ennen ja jälkeen kuivauksen.



Kuvio 6. Ristiladontapino B

B-pinon halkaistu paali oli kosteudeltaan sisältä ennen kuivausta 32,51 % ja ulkopuolelta 19,05 %. Kuivauksen jälkeen halkaistu paali oli sisältä kosteudeltaan 21,27 % ja ulkopinnalta 20,66 %. Paali oli kuivunut sisältä 11,24 % ja ulkopinta oli kerännyt lisää kosteutta 1,62 % (ks. taulukko 3).

Poranäytteet B-pinosta olivat kosteudeltaan tien puolelta 67,62 % ja pihan puolelta 57,69 %. Kuivauksen jälkeen kosteudet olivat tien puolelta 60,61 % ja pihan puolelta 45,76 %. Kosteudet olivat kuivaneet tien puolelta 7,02 % ja pihan puolelta 11,93 %. Koko pino oli kuivanut kuivauksen aikana keskiarvoisesti 7,14 % (ks. taulukko 3).

Taulukko 3. B-pinon kosteusnäytteet

| Pino | Paalin nro | kosteus ennen kuivausta | kuivauksen jälkeen | Erotus | | |
|------|--------------------|-------------------------|--------------------|---------|---|-------------------|
| B | Halkaistu/B24 Sisä | 32,51 % | 21,27 % | 11,24 % | } | Keskiarvo: 7,14 % |
| | Halkaistu/B24 ulko | 19,05 % | 20,66 % | -1,62 % | | |
| | B19 tie | 67,62 % | 60,61 % | 7,02 % | | |
| | B19 piha | 57,69 % | 45,76 % | 11,93 % | | |

B-pinon paino oli ennen kuivausta 7692 kg. Kuivauksen jälkeen pinon paino oli 5426 kg, jolloin painoa oli vähentynyt kuivauksen aikana 2265 kg. Prosentteina vähennys oli 29 % (ks. taulukko 4).

Taulukko 4. B-pinon paino ennen ja jälkeen kuivauskokeen

| Painot ennen kuivumista | Painot kuivumisen jälkeen KA: | Vähennys | | Vähennys % |
|-------------------------|-------------------------------|----------|-----------|------------|
| Pino B: | 7692 | 5426,5 | 2265,5 Kg | 29 % |

4.7 Pino C ristiladonta luonnonmukainen kuivuminen

Pino C ristiladonta annettiin kuivua luonnonmukaisesti (ks. kuvio 7). Pinosta otettiin kosteusnäytteitä ja fixteri-paalit punnittiin ennen ja jälkeen kuivauksen. Pinossa oli myös dataloggerit, jotka keräsivät tietoa pinon sisällä kiertävästä ilmankosteudesta ja lämpötilasta. Ristiladontapinon etuosassa ilma kiersi hieman paremmin kuin takaosassa. Alimmillaan kosteus pinon etuosassa oli noin 90 %. Pinon sisällä olevan ilman lämpötila laski tasaisesti talvea kohti (ks. liitteet 2,3,4,5,6).

Dataloggerit olivat pinossa koko keinokuivausjakson ajan 13.10-3.11.2016. Dataloggereita oli asennettu pinoon C neljä kappaletta kosteusantureita ja neljä kappaletta lämpötila-antureita. Kaksi kosteusanturia ja kaksi lämpötila-anturia oli asennettu pinon etuosaan ja loput anturit pinon takaosaan.



Kuvio 7. Ristiladontapino C

C-pinon halkaistun paalin kosteus oli ennen kuivumista sisältä 50,32 % ja ulkopinnalta 20,99 %. Kuivauksen jälkeen kosteudet olivat paalin sisältä 22,78 % ja ulkopuolelta 20,74 %. Paali oli kuivanut kuivauksen aikana paalin sisältä 27,54 % ja ulkopinnalta 0,24 % (ks. taulukko 5)

C-pinon porausnäytteet tien puolelta olivat ennen kuivausta 28,91 % ja pihan puolelta 31,01 %. Kuivauksen jälkeen kosteudet olivat tien puolelta 29,26 % ja pihan puolelta 22,82 %. C-pinon porausnäytteet olivat kuivuneet tutkimuksen aikana pihan puolelta 8,19 % ja tien puolella kosteutta oli tullut lisää 0,35 %. Koko c-pino oli kuivanut keskiarvoisesti 8,91 % (ks. taulukko 5).

Taulukko 5. C-pinon kosteusnäytteet

| Pino | Paalin nro | kosteus ennen kuivausta | kuivauksen jälkeen | Erotus | | | |
|------|--------------------|-------------------------|--------------------|---------|---|------------|--------|
| C | Halkaistu/C24 sisä | 50,32 % | 22,78 % | 27,54 % | } | Keskiarvo: | 8,91 % |
| | Halkaistu/C24 ulko | 20,99 % | 20,74 % | 0,24 % | | | |
| | C19 tie | 28,91 % | 29,26 % | -0,35 % | | | |
| | C19 piha | 31,01 % | 22,82 % | 8,19 % | | | |

C-pinon paino oli ennen tutkimuksen aloitusta 8317 kg. Kuivauksen jälkeen pinon paino oli 5353 kg, joten vähennystä painossa oli tullut tutkimuksen aikana 2963 kg. Prosentteina vähennys on 36 % (ks. taulukko 6).

Taulukko 6. C-pinon paino ennen ja jälkeen kuivauskokeen

| Painot ennen kuivumista | Painot kuivumisen jälkeen KA: | Vähennys | | Vähennys % |
|-------------------------|-------------------------------|----------|-----------|------------|
| Pino C: | 8317 | 5353,5 | 2963,5 Kg | 36 % |

4.8 Pinoladontapino D aurinkoenergialla avustettu kuivuminen

Pinoladontapino D kuivattiin aurinkoenergialla (ks. kuvio 8). Pinosta otettiin kosteusnäytteitä ja paalit punnittiin ennen ja jälkeen kuivauksen. Pinossa oli myös dataloggerit, jotka keräsivät tietoa sisällä kiertävästä ilmankosteudesta ja -lämpötilasta. Alimillaan kosteusprosentti pinon etuosassa oli noin 80 %. Pinon takaosassa ilma kiersi hieman huonommin ja kosteus pysytteli melkein 100 %:ssa koko tutkimuksen ajan. Pinon sisällä olevan ilmanlämpötila laski tasaisesti talvea kohti (ks. liitteet 7,8,9,10,11).

Dataloggerit olivat pinossa D koko keinokuivausjakson ajan 13.10-3.11.2016. Dataloggereita oli asennettu pinoon D neljä kappaletta kosteusantureita ja neljä kappaletta lämpötila-antureita. Kaksi kosteusanturia ja kaksi lämpötila-anturia oli asennettu pinon etuosaan ja loput anturit pinon takaosaan.



Kuvio 8. Pinoladontapino D

D-pinon halkaistun paalin kosteudet olivat ennen kuivausta paalin sisältä 41,40 % ja paalin ulkopinnalta 42,23 %. Kuivauksen jälkeen paalien kosteudet olivat paalin sisältä 38,05 % ja paalin ulkopinnalta 35,38 %. Paali oli kuivanut kuivauksen aikana sisältä 3,35 % ja ulkopinnalta 6,84 % (ks. taulukko 7).

D-pinon porausnäytteet olivat ennen kuivausta tien puolelta 58,44 % ja pihan puolelta 30,74 %. Kuivauksen jälkeen kosteudet olivat tien puolelta 41,72 % ja pihan puolelta 30,00 %. Porausnäytteiden mukaan pino oli kuivanut tien puolelta 16,72 % ja pihan puolelta 0,74 %. Koko d-pino oli kuivanut keskiarvon mukaan 6,91 % (ks. taulukko 7).

Taulukko 7. D-pinon kosteusnäytteet

| Pino | Paalin nro | kosteus ennen kuivausta | kuivauksen jälkeen | Erotus | | |
|------|--------------------|-------------------------|--------------------|---------|---|-------------------|
| D | Halkaistu/D26 sisä | 41,40 % | 38,05 % | 3,35 % | } | Keskiarvo: 6,91 % |
| | Halkaistu/D26 ulko | 42,23 % | 35,38 % | 6,84 % | | |
| | D14 tie | 58,44 % | 41,72 % | 16,72 % | | |
| | D14 piha | 30,74 % | 30,00 % | 0,74 % | | |

D-pinon paino oli ennen kuivausta 10058 kg. Kuivauksen jälkeen pinon paino oli 6254 kg, jolloin vähennystä kuivauksen aikana oli 3803 kg. Prosentteina tämä tarkoittaa 38 % (ks. taulukko 8).

Taulukko 8. D-pinon paino ennen ja jälkeen kuivauskokeen.

| Painot ennen kuivumista | Painot kuivumisen jälkeen KA: | Vähennys | | Vähennys % |
|-------------------------|-------------------------------|----------|-----------|------------|
| Pino D: | 10058 | 6254,5 | 3803,5 Kg | 38 % |

5 Johtopäätökset

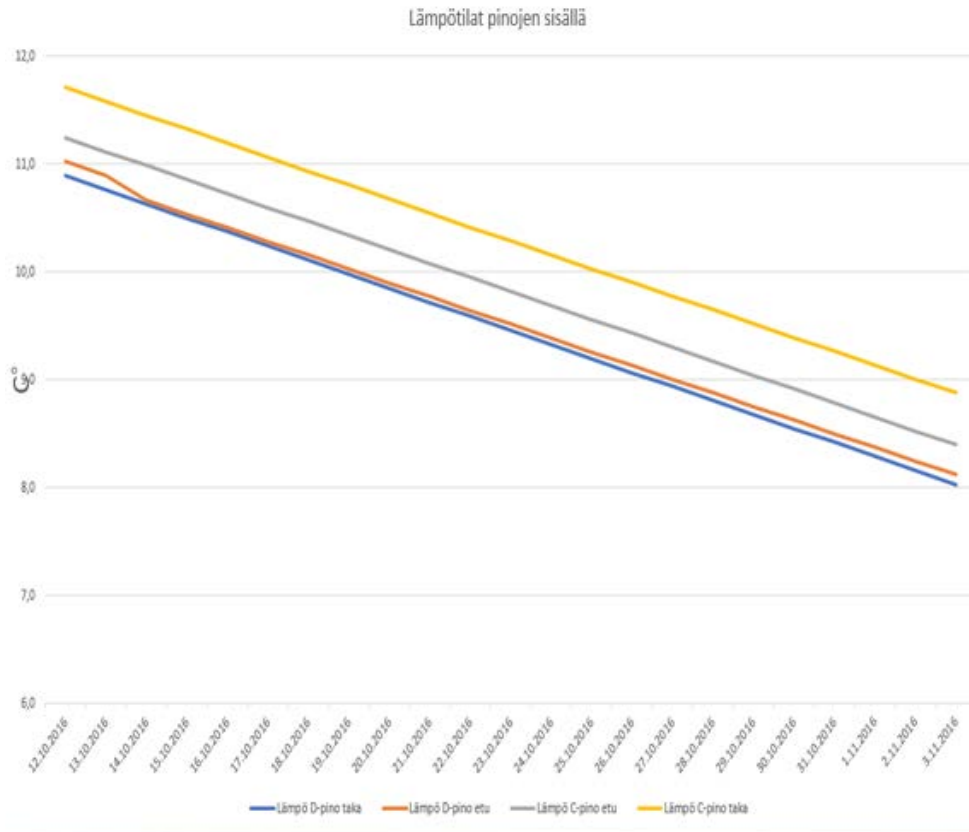
5.1 Dataloggerit

Tärkein huomio dataloggerien keräämässä datassa oli, että D-pinon etuosassa, jossa oli lähellä aurinkoenergialla toimivat tuulettimet, kosteusprosentti laski alhaisimmaksi. Tätä verrattaessa verrokkipinoon C huomataan, että kosteusprosentti hyvällä kuivausjaksolla oli noin 10 % alhaisempi. D- ja C-pinon takaosien kosteusprosentissa ei ollut suuria eroja, joten aurinkokuivauksella ei ollut vaikutusta pinon takaosaan asti (ks. liite 12).

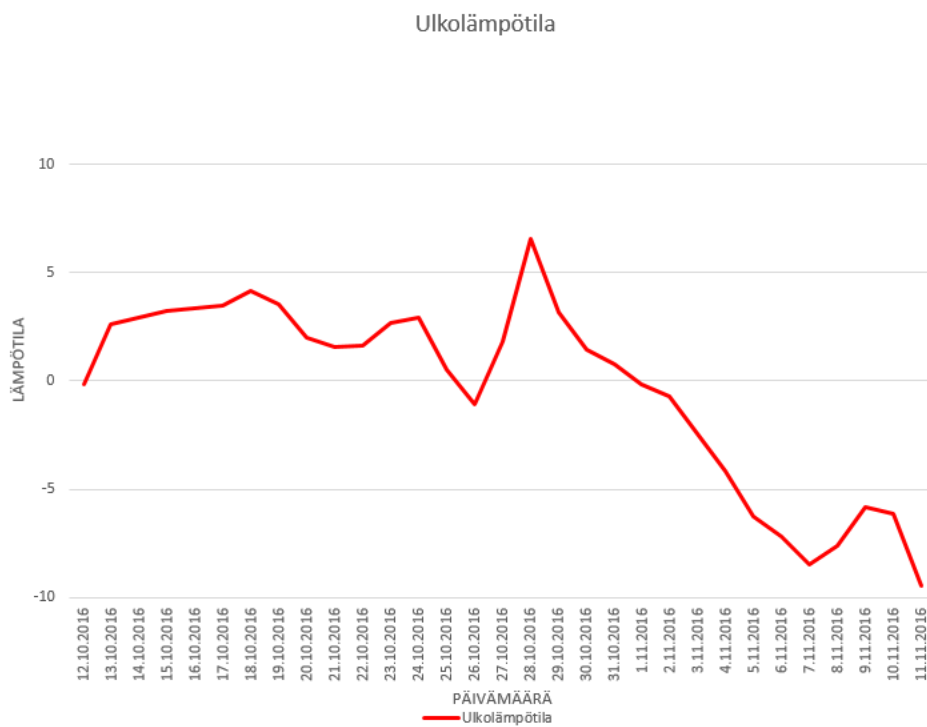
Dataloggerien kosteuskäyriä verrattaessa ulkoilmankosteuteen huomataan selkeästi, että pinojen sisällä oleva kosteus vaihtelee mukaillen ulkoilman kosteutta (ks. liitteet 12,13).

Lämpötilat aurinkoenergialla kuivatussa pinossa olivat hieman alhaisempia kuin luonnonmukaisesti kuivuneessa pinossa. Ero pinojen välillä oli maksimissaan noin yhden asteen luokkaa (ks. kuvio 9).

Pinojen sisällä olevan ilmanlämpötilaa verrattaessa ulkolämpötilaan huomataan, ettei pinojen sisällä oleva lämpötila vaihtelee suuresti ulkolämpötilojen mukaan. Lämpötilat olivat molempien pinojen sisällä tasaisesti laskeva talvea kohti, vaikka ulkoilman lämpötiloissa saattoi päivien sisällä olla vaihtelua (ks. kuviot 9, 10).



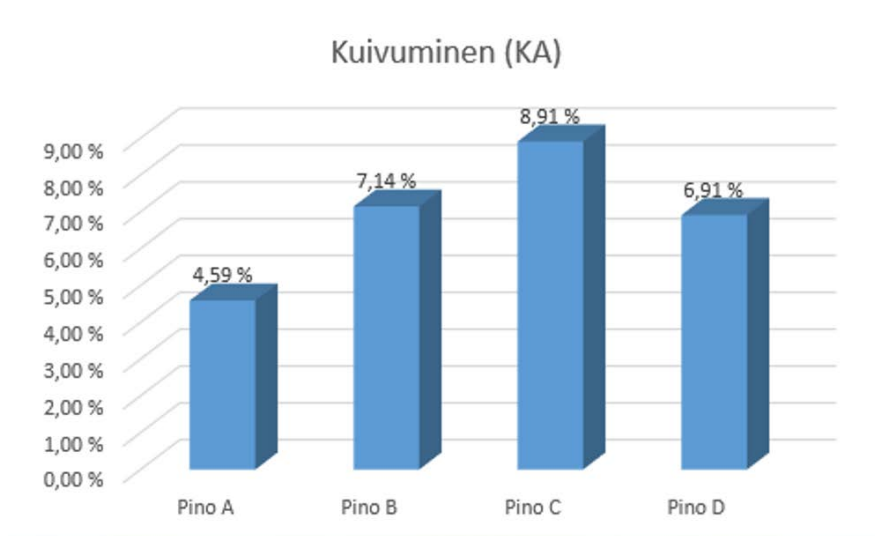
Kuvio 9. Dataloggerien lämpötilatiedot aurinkokuivausjaksolta



Kuvio 10. Ulkoilmanlämpötila kuivausjakson aikana. Mittauspiste Saarijärvellä Tarvaalassa.

5.2 Kosteusnäytteet

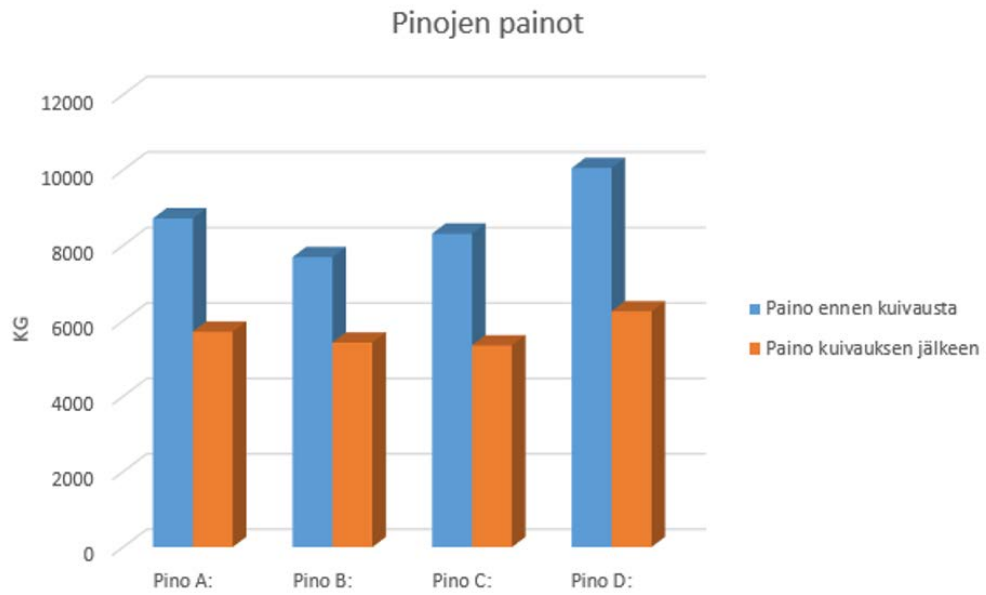
Kosteusnäytteiden mukaan ristiladontapino B ja C olivat kuivaneet parhaiten. Pino-
ladontapinoista paremmin kuivi aurinkoenergialla kuivattu pino. Kosteusnäytteiden
perusteella voidaan todeta, että merkittävämpää on se, kuinka pinot ladotaan eikä
se, kuivataanko sitä aurinkoenergialla. (Ks. kuvio 11.)



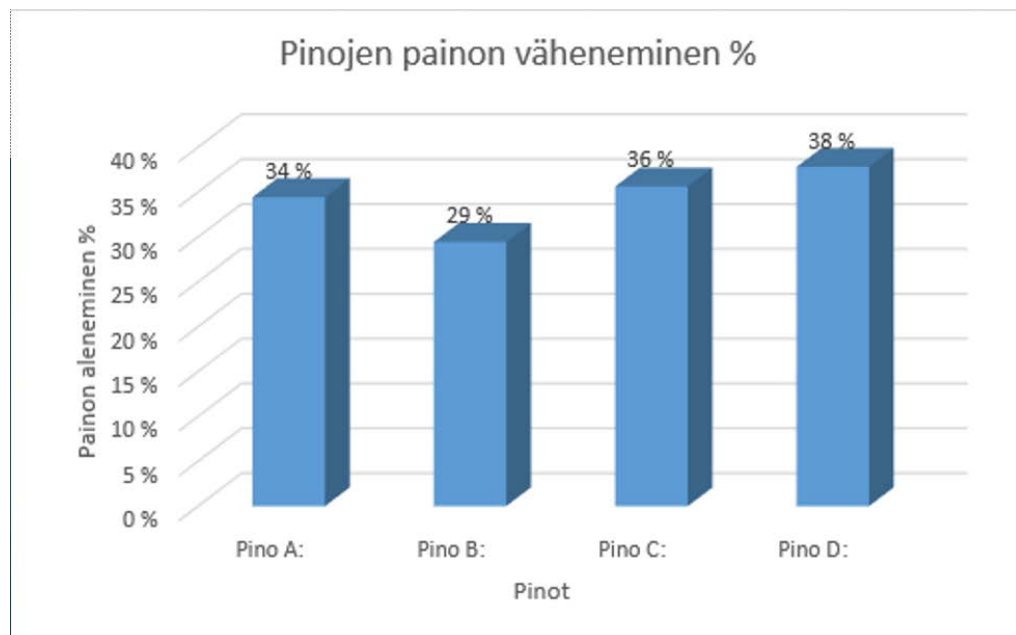
Kuvio 11. Kosteusnäytteiden mukaan pinojen kuivuminen prosentuaalisesti.

5.3 Punnitus

Punnituksen mukaan pinoista oli lähtenyt kuivauksen aikana noin kolmasosa pois.
Eniten prosentuaalisesti painoa oli lähtenyt pois aurinkoenergialla kuivatusta pinosta
D. Painoa oli lähtenyt pinosta D noin 3800 kg. Punnituksen perusteella D-pino oli kui-
vanut parhaiten (ks. kuvat 12, 13). Tähän painon pudotukseen on otettava huomi-
oon myös paalien havujen ja risujen variseminen punnituksen aikana, jota kuitenkin
tapahtui verrattain vähän.



Kuvio 12. Pinojen painot ennen ja jälkeen kuivauksen



Kuvio 13. Prosentteina painon väheneminen pinoittain

6 Pohdinta

Dataloggerien hyödyntäminen tutkimuksessa onnistui hyvin. Ne toivat arvokasta tietoa siitä, millainen ilmankosteus ja lämpötila olivat pinojen sisällä. Ne vahvistivat tietoa siitä, että aurinkoenergialla tehostetusta aurinkokuivauksesta on hyötyä.

Dataloggerit olisi pitänyt sijoittaa aurinkokuivatun pinoladontapinon ja luonnon mukaisesti kuivaneen ristiladontapinon sijaan aurinkokuivattuun pinoladontapinoon ja sen tärkeimpään verrokkipinoon eli luonnonmukaisesti kuivaneeseen pinoladontapinoon. Tällöin dataloggereista saatua tietoa olisi voitu vertailla keskenään paremmin.

Kosteusnäytteiden ottamismenetyksessä olisi kehitettävää. Tutkimuksessa otetut poranäytteet ja halkaistu paali eivät riittäneet kattamaan koko pinoja. Jotta voitaisiin todeta tarkkaan pinon kosteus, tulisi näytteitä ottaa kattavammin ympäri pinoja, myös keskeltä. Esimerkiksi pinon sisältä ei päästy ottamaan näytteitä ollenkaan. Siksi on vaikea sanoa, kuinka pinon sisäkosteus eroaa pinon ulko-osien kosteudesta. Myös määrällisesti näytteitä olisi pitänyt olla enemmän. Tällä menetelmällä näytteiden ottoon menee aivan liian paljon aikaa.

Paalien punnituksesta saatu tulos tuki myös sitä, että aurinkoenergialla kuivatetut fixteri-paalipinot olivat kuivaneet parhaiten. Punnitusmenetyksessä on kuitenkin otettava huomioon virhe, mikä tapahtuu, kun punnitaan paaleja nostelemalla jokainen paali erikseen. Paaleista tippui risuja ja havuja, jotka vääristävät lopputulosta.

Paalien punnitustuloksista voidaan huomata, että painoa oli lähtenyt paljon pois, jopa 3800 kg aurinkoenergialla kuivatetusta pinosta. Kaikkea ei voi selittää karissuilla risuilla ja neulasilla. Punnituspaikat kuvattiin punnituksen jälkeen. Kuvista huomataan, ettei varisemista ole tapahtunut kovin paljoa (ks. kuvio 14). Mutta mistä johtui sitten tämä suuri painon aleneminen? Virhe on voinut myös tapahtua punnituksen aikana, kun ihminen on koneen käyttäjänä, silloin saattaa tapahtua virheitä.



Kuvio 14. Punnituspaikka punnituksen jälkeen

Punnituksessa on otettava huomioon myös se jatkotutkimuksia ajatellen, että jokainen punnitus tulee kirjata käsin paperille. Tässäkin tutkimuksessa olisi ollut hyvä saada jokaisen paalin paino erikseen, jotta olisi voitu verrata kuinka paino vaihtelee pinnon eri osissa. Tutkimuksen lähtöpunnituksen jälkeen saatiin tietoa siitä, ettei kuormatraktorista tulostettu punnitustulos antanut paalien painoja yksitellen vaan pelkkien pinojen kokonaispainon (ks. liite 1), joten loppupunnituksessa kirjattiin käsin kaikkien paalien painot. Tästä ei ollut kuitenkaan enää hyötyä tähän tutkimukseen, kun alkupainoja ei ollut paalikohtaisesti.

Tutkimuksen aikana olisi ollut hyvä pitää jatkuvaa yhteistä päiväkirjaa henkilöiden kanssa, jotka toimivat projektin parissa. Tutkimuksen aikana oli hieman vaikea tietää, mitä kukin oli tehnyt milloinkin, ja tällainen tieto on tärkeää analysoidessa lopputuloksia.

Jatkotutkimuksia olisi hyvä tehdä karsitunrangan aurinkokuivaamiselle. Kuivalle metsähakkeelle on kysyntää. Laadukkaampi hake takaisi kustannustehokkaamman polttoaineen käytön, antaisi hakkeelle paremman lämpöarvon ja sitä pystyttäisiin polttamaan pienemmillä päästöillä. Kosteaa hakea tuottaa myös ongelmia lämpölaitoksissa ja joissakin tapauksissa joudutaan jopa siirtymään väliaikaisesti varapolttoaineen käyttöön. (Salo-Kauppinen 2017.)

Lähteet

Aurinkopaneeli. N.d. Aurinkoenergia.fi. Viitattu 2.2.2017.

<http://www.aurinkoenergia.fi/aurinkoenergia.html>.

Fixteri ei korjaa metsänomistajan taloutta. 2.12.2012. Puuntuottaja kotisivut. viitattu 29.11.2016 <http://www.puuntuottaja.com/fixteri-ei-korjaa-metsanomistajan-taloutta/>.

Fixteri uusinta teknologiaa ja aitoa kumppanuutta. N.d. Fixteri-paalaimen kotisivut. viitattu 29.11.2016 <http://www.fixteri.fi/>.

Fixteri-teknologian kilpailukyky. 2014. Pöyry. Viitattu 29.11.2016.

Lovion, R. N.d. Aurinkoenergian tilastot ja potentiaali. Artikkel. Finsolar. Viitattu 11.12.2016. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tilastot/>.

Lukkari, J. 2016 Tutkija: "Aurinkoenergia on nyt samassa tilanteessa kuin internet oli vuonna 1997". Artikkel, Tekniikka ja talous. Viitattu 2.2.2017. <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/tutkija-aurinkoenergia-on-nyt-samassa-tilanteessa-kuin-internet-oli-vuonna-1997-6550302>.

Melkas, T. 2010. Kuormainvaa'at ja niiden ominaisuudet vaakavalmistajittain. Metsätehon tulosalvosarja. Metsäteho. Viitattu 8.12.2016. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2010_04_Markkinoilla_olevat_kuormainvaat_ja_niiden_ominaisuudet_tm.pdf.

Nieminen, M. 2015. Energiapuun varastoinnin kulmakivet – Puun kuivumiselle suotuisat olosuhteet. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu, Metsätalouden koulutusohjelma. Viitattu 4.12.2016. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015120619587>.

Nurmi, J. N.d. Hakkuutähteen kuivatus palstalla. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 7.12.2016. https://ciweb.chydenius.fi/project_files/FI-INFO-pdf/INFO-F12.pdf.

Randall, T. 2016. World Energy Hits a Turning Point: Solar That's Cheaper Than Wind. Bloomberg technology. Viitattu 2.2.2017. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-15/world-energy-hits-a-turning-point-solar-that-s-cheaper-than-wind>.

Salo-Kauppinen, R. 2017. Metsähake kuivaksi keinokuivurilla. Maaseudun tulevaisuus. 9, 14s.

Liitteet

Liite 1. Kuormaustodistus 10.6.2016

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| PONSSE | Kuormaustodistus 10.6.2016 |
|---------------|--------------------------------------|

Leimikko valinnat

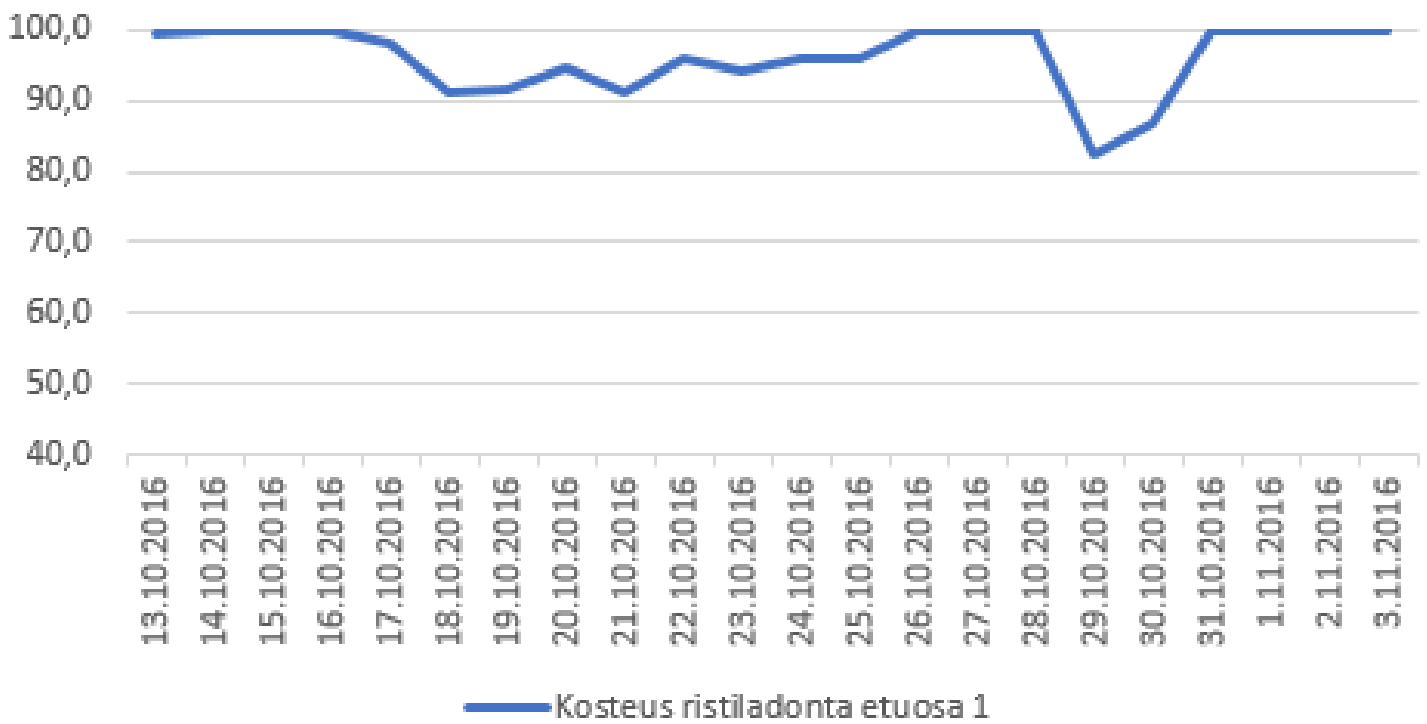
| Myyjä | Ostaja | Sopimus | Lohko |
|-------|--------|--------------|--------------|
| - | - | 090529150308 | 160610092859 |
| - | - | 090529150308 | 160610092859 |

Varastokohtainen erittely

| | | | Puutavaralaji | kg | m³ |
|-----------------|-----------|---------|---------------|--------------|--------------|
| 11 Jamk | | | | 34789 | 46,38 |
| Aloituspäivä | 10.6.2016 | 1 KUUSI | - RISUTUKKI A | 8722 | 11,63 |
| Lopetuspäivä | | 1 KUUSI | - RISUTUKKI B | 7692 | 10,26 |
| | | 1 KUUSI | - RISUTUKKI C | 8317 | 11,09 |
| | | 1 KUUSI | - RISUTUKKI D | 10058 | 13,41 |
| Mittaustapa | | | Vaaka | | |
| Yhteensä | | | | 34789 | 46,38 |

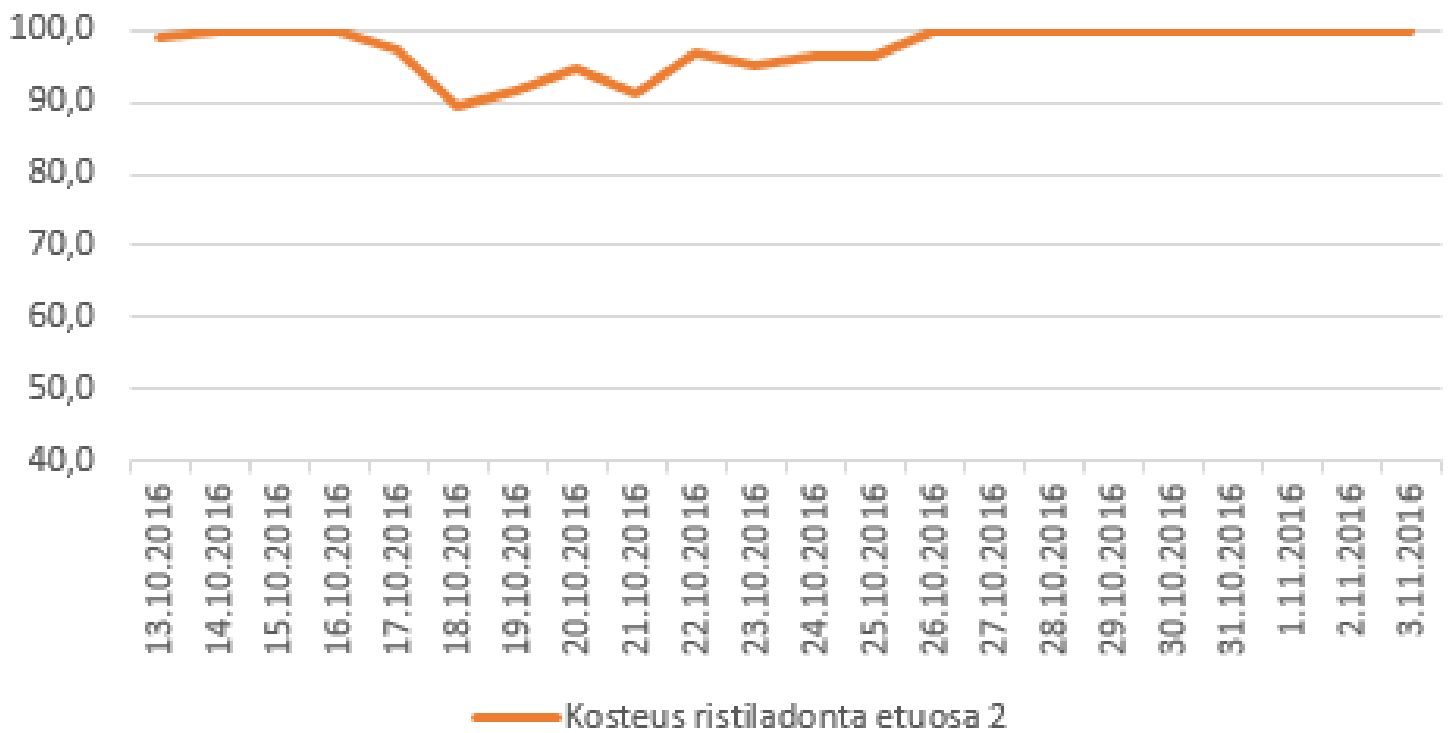
Liite 2. Kosteus ristiladontapinon etuosassa. Anturi 2

Kosteus ristiladonta etuosa 1

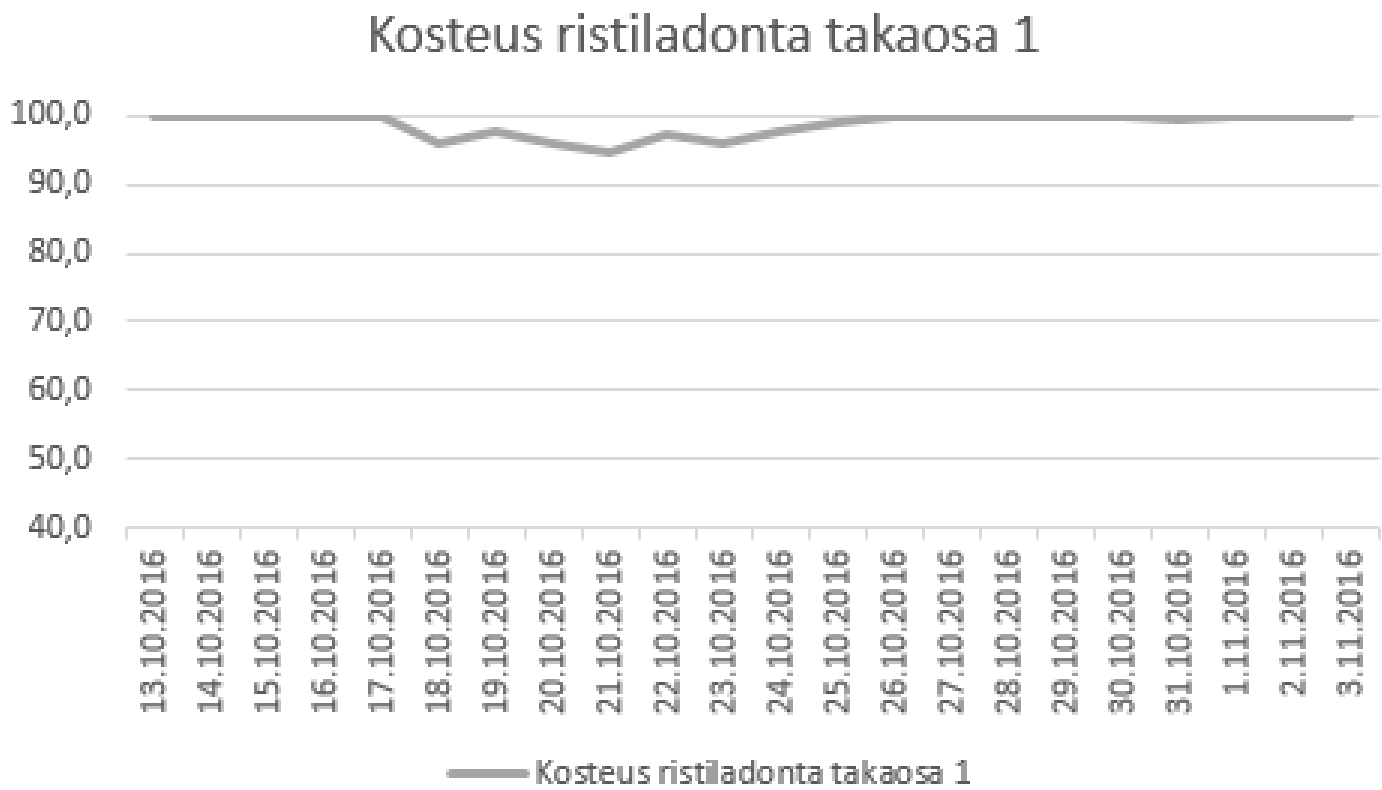


Liite 3. Kosteus ristiladontapinon etuosassa. Anturi 2

Kosteus ristiladonta etuosa 2

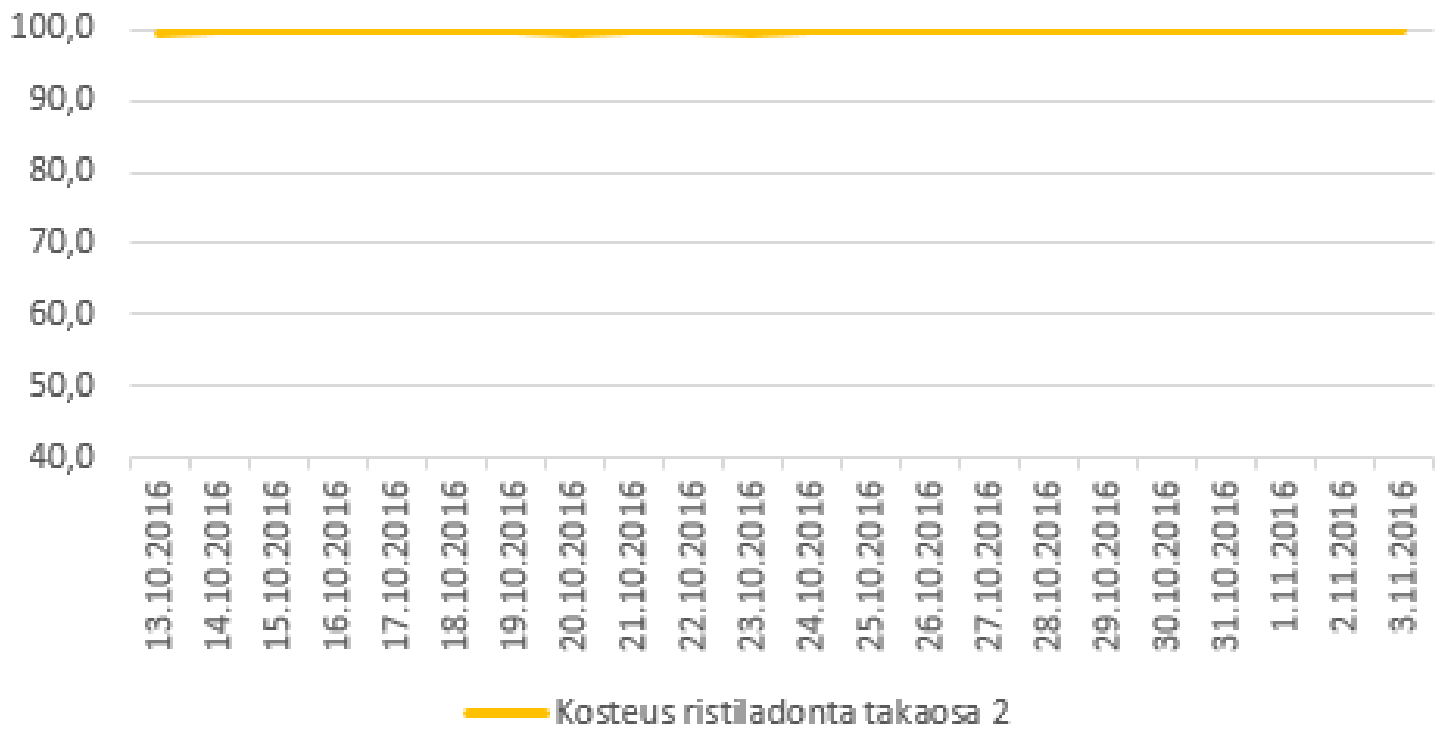


Liite 4. Kosteus ristiladontapinon takaosa. Anturi 1

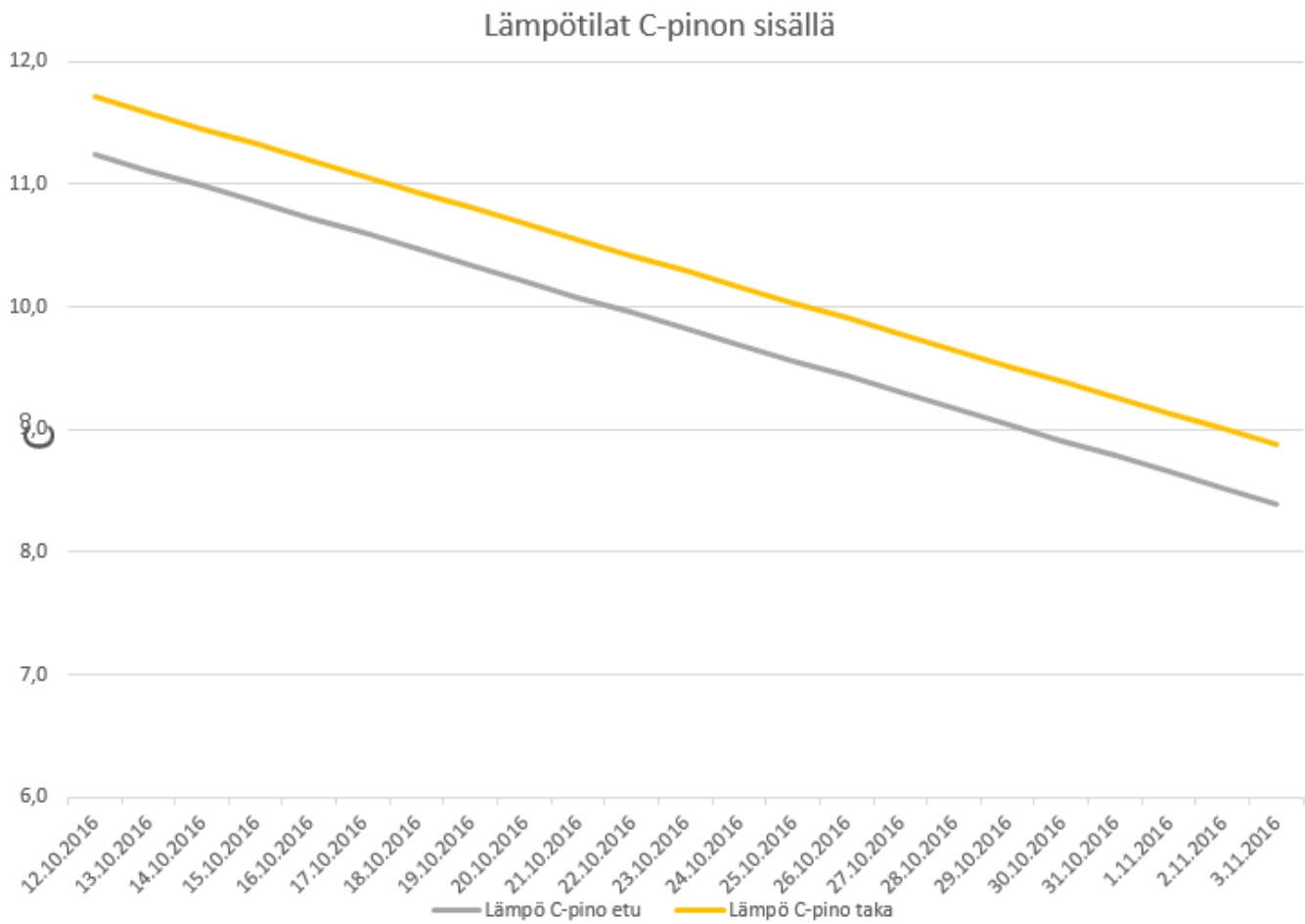


Liite 5. Kosteus ristiladontapinon takaosassa. Anturi 2

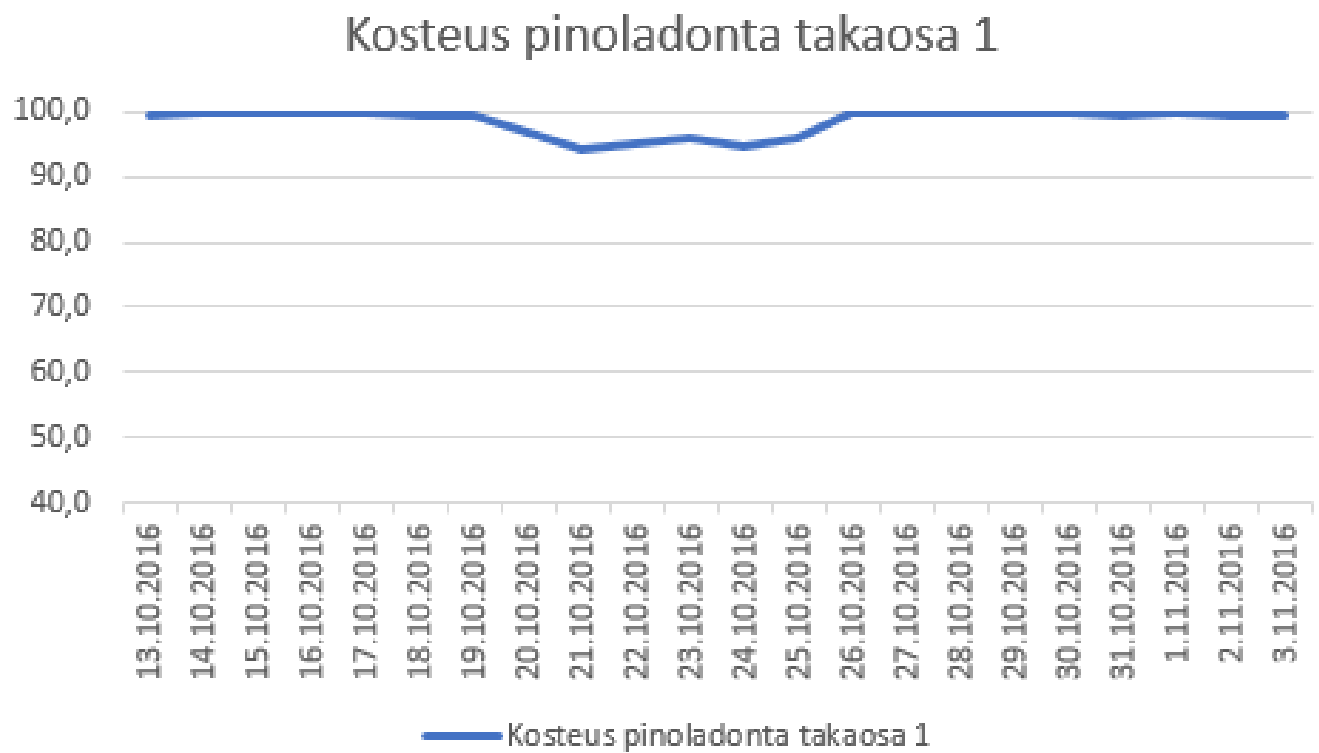
Kosteus ristiladonta takaosa 2



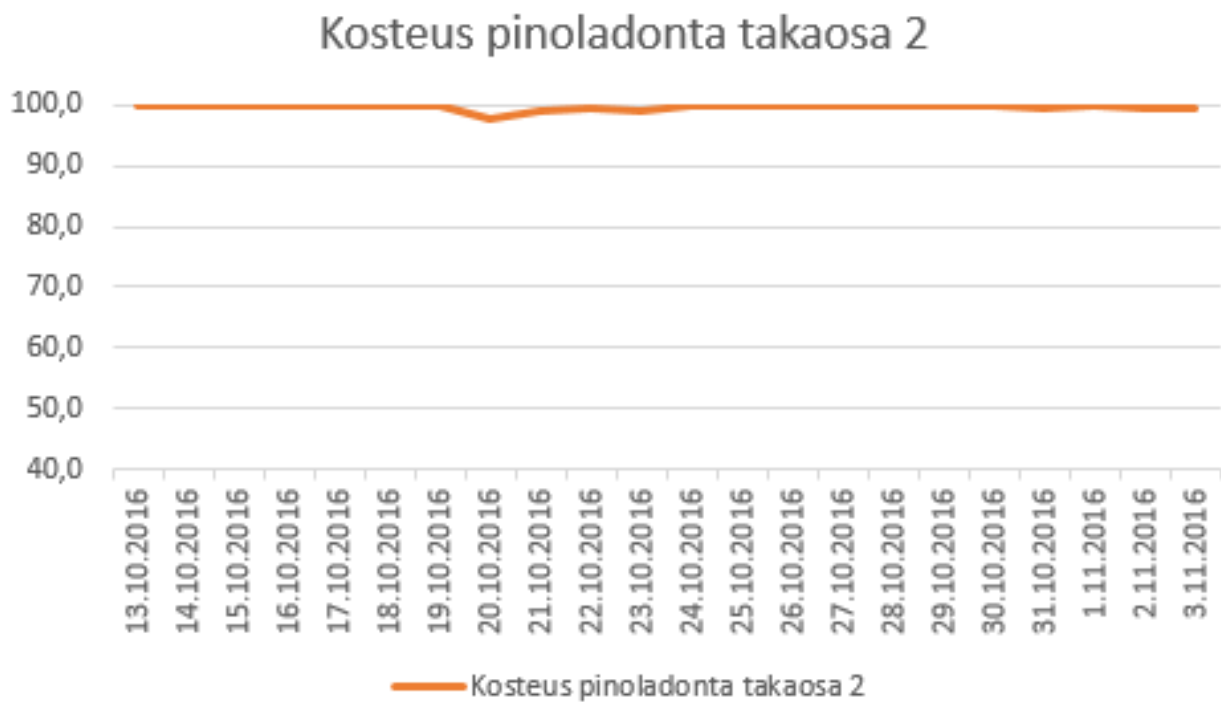
Liite 6. Kosteus ritiladontapinon takaosassa.



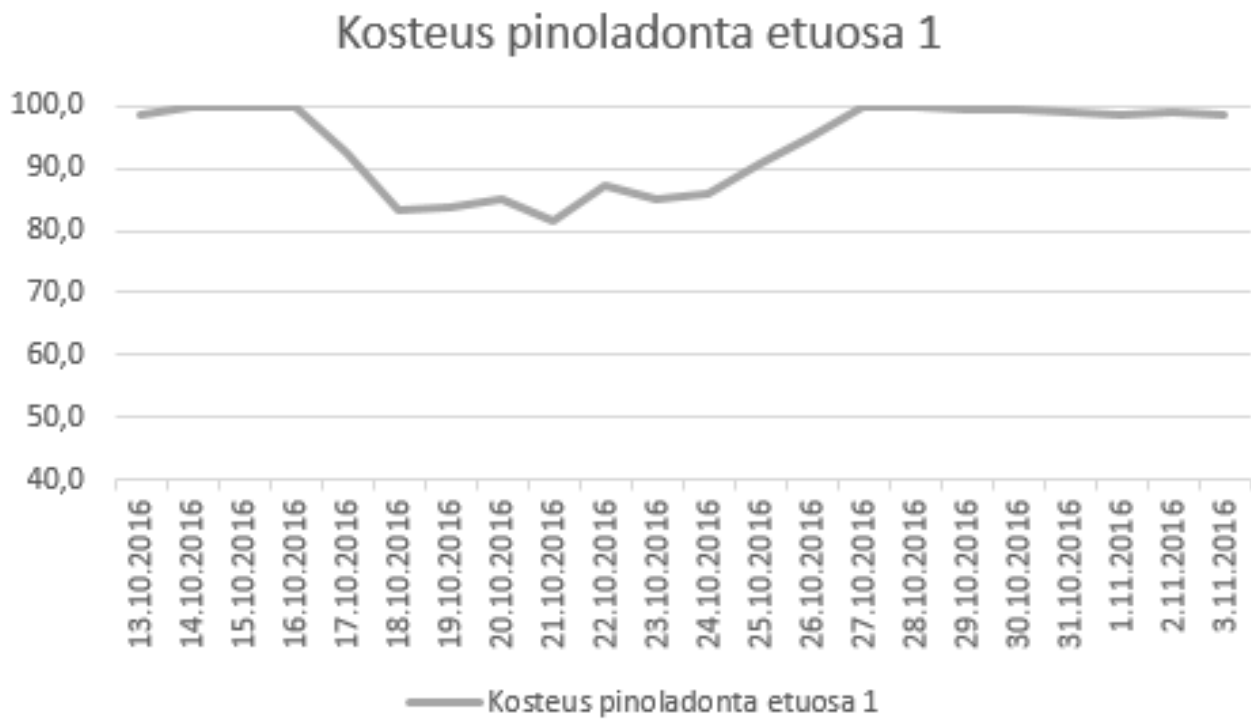
Liite 7. Kosteus pinoladontapinon takaosassa. Anturi 1



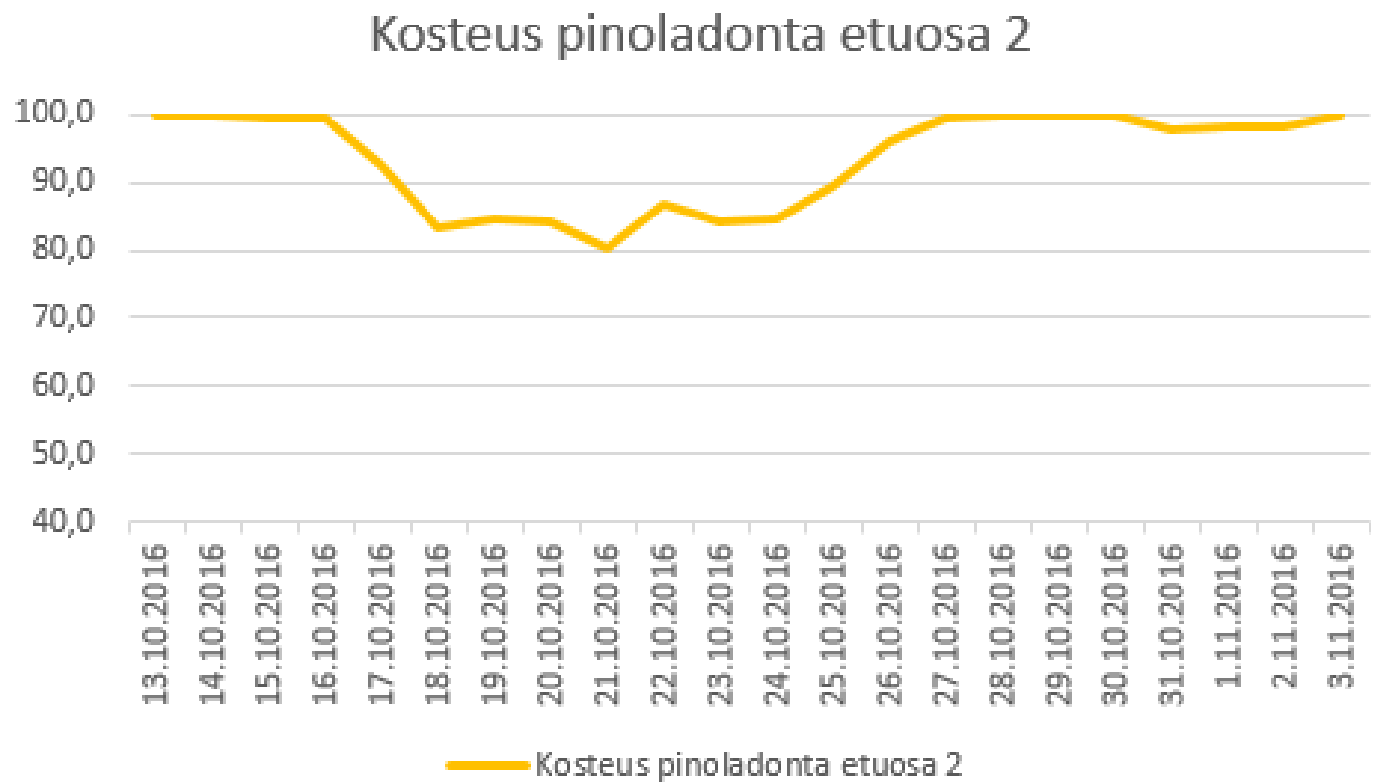
Liite 8. Kosteus pinoladontapinon takaosassa. Anturi 2



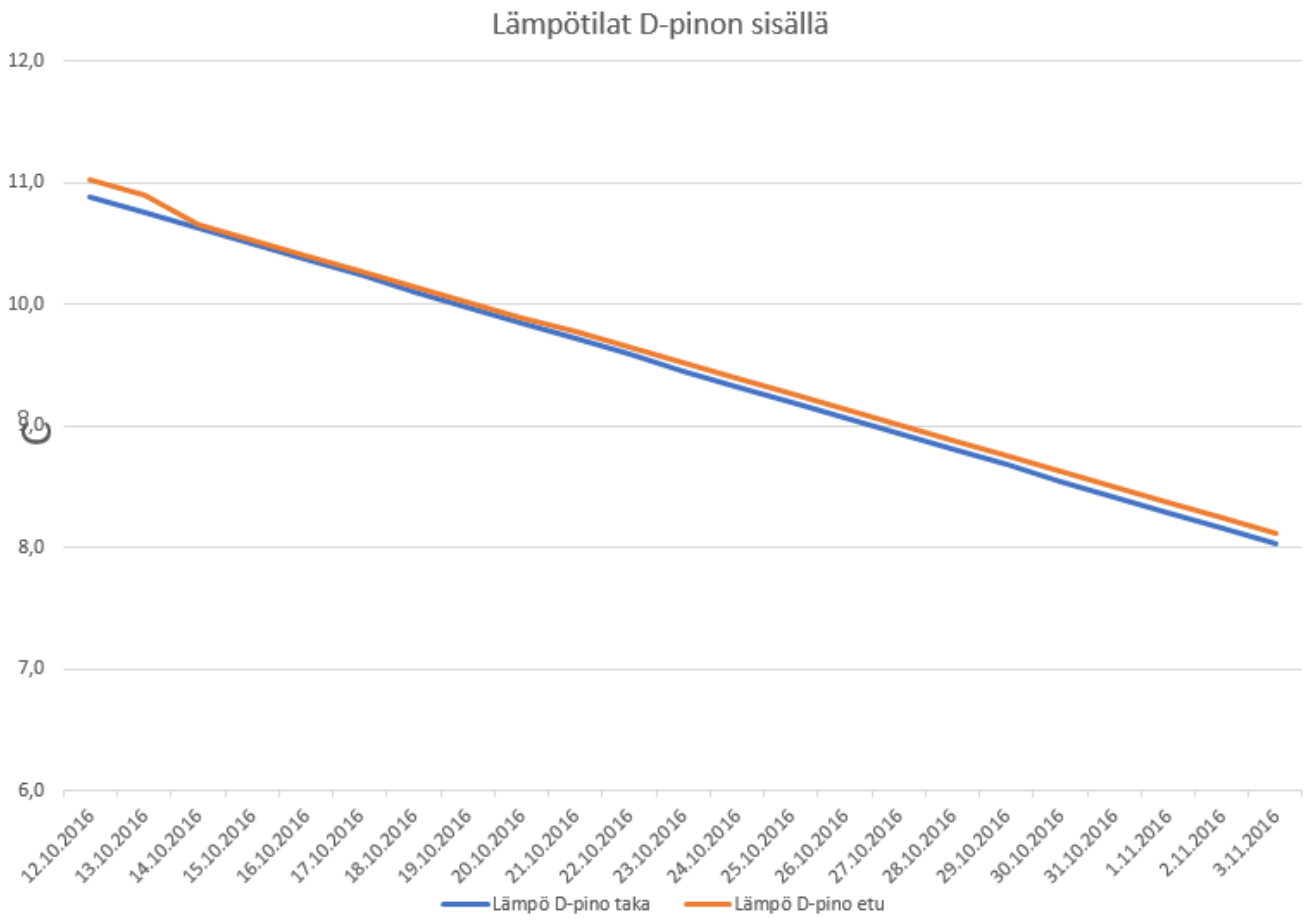
Liite 9. Kosteus pinoladontapinon etuosassa. Anturi 1



Liite 10. Kosteus pinoladontapinon etuosassa. Anturi 2

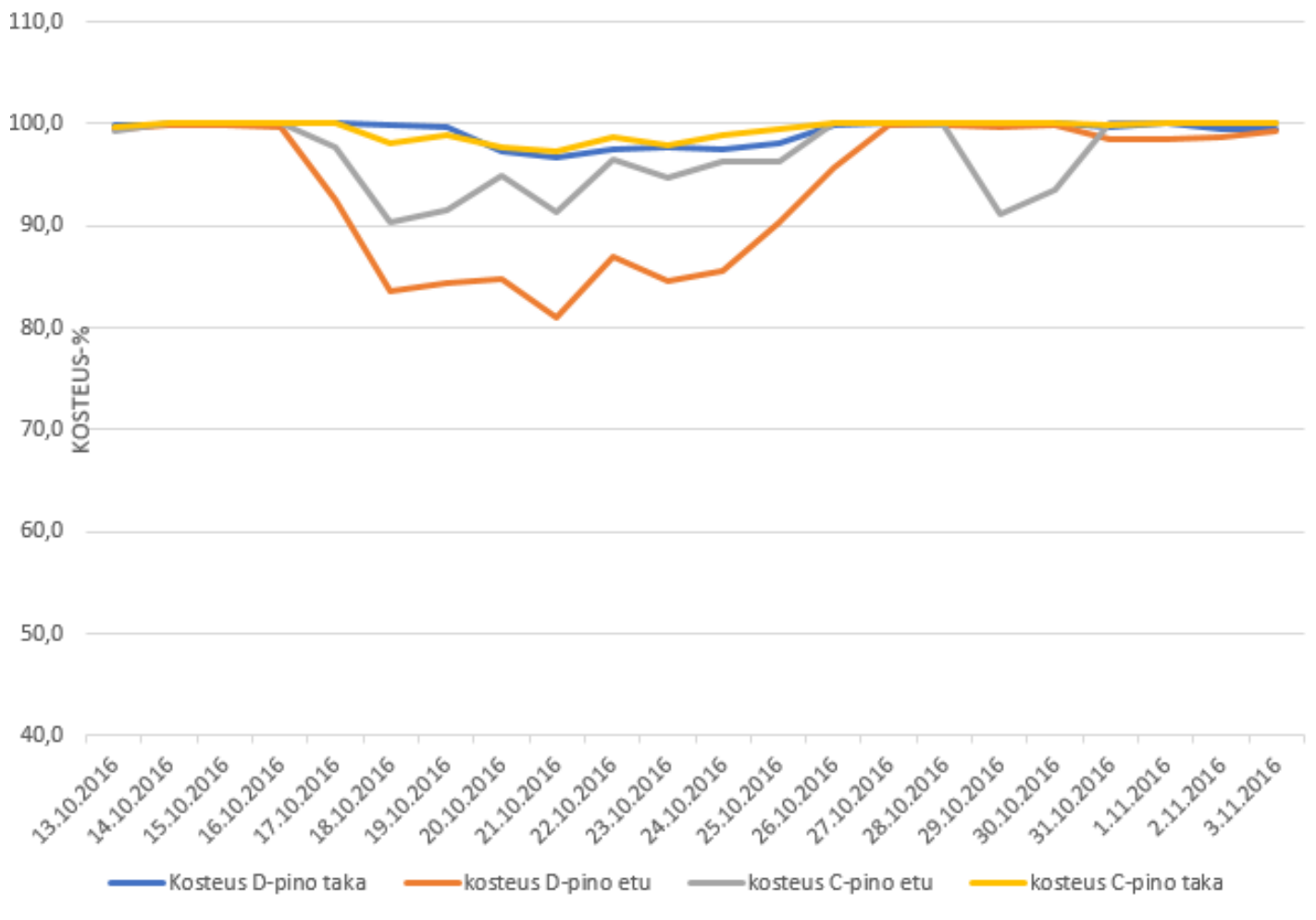


Liite 11. Lämpötilat D-pinon sisällä.

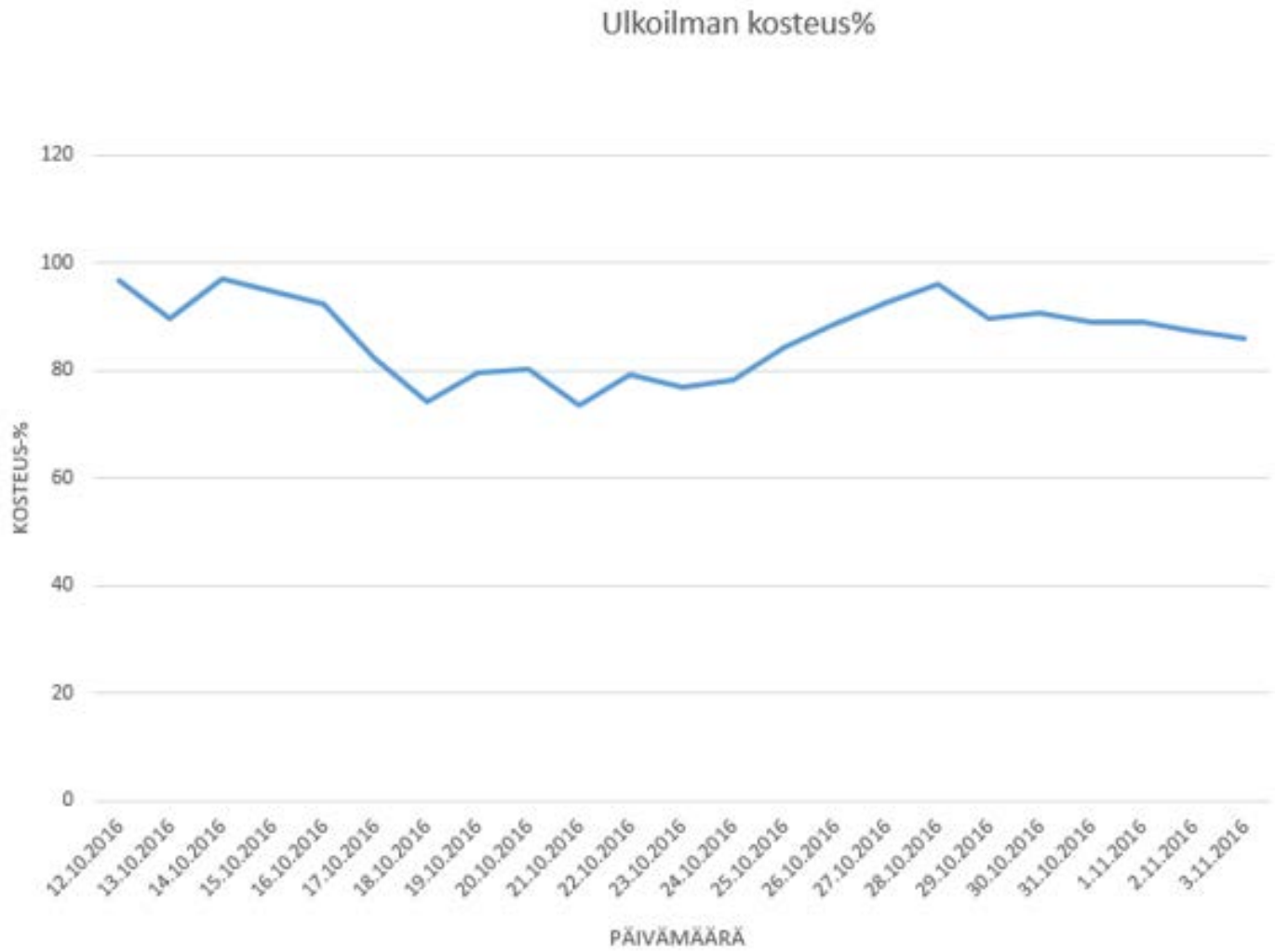


Liite 12. Dataloggerien kosteustiedot aurinkokuivausjaksolta

Kosteus pinojen sisällä



Liite 13. Ulkoilman kosteus kuivausjakson aikana.



Liite 14. Tutkimuksenpäiväkirja.

| | |
|------------|--|
| 10.6.2016 | Varsinaisen koetilanteet valmisteluita. Neljä pinoa pinottiin. Paalien alkupainoijen punnitus. (kaksi keinokuivaus ja kaksi luonnonmukainen kuvuminen) |
| 15.8.2016 | Palaveri |
| 29.8.2016 | Kosteusnäytteiden otto ja niiden laittaminen uuniin. |
| 30.8.2016 | Kosteusnäytteet pois uunista. |
| 19.9.2016 | Kosteusnäytteiden otto ja niiden laittaminen uuniin. |
| 20.9.2016 | Kosteusnäytteet pois uunista. |
| 13.10.2016 | Kuivatus aloitettiin |
| 3.11.2016 | Kuivaus lopetettiin |
| 9.11.2016 | Kosteusnäytteiden otto ja niiden laittaminen uuniin. +Paalien loppupunnitus |
| 10.11.2016 | Kosteusnäytteet pois uunista. |