



UNIVERSITY OF  
EASTERN FINLAND

*University of Eastern Finland*  
*Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta*  
*Faculty of Science and Forestry*

PEITTOMATERIAALIN VAIKUTUS SADEVEDEN PIDÄTTYVYYTEEN  
ENERGIARANKAKASASSA

Eetu Myöhänen

---

METSÄTIETEEN KANDIDAATINTUTKIELMA

JOENSUU 2015

Myöhänen, Eetu. 2015. Peittomateriaalin vaikutus sadeveden pidättyvyyteen energiarankakasassa. Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto. Metsätieteen kandidaatintutkielma, 29s.

## TIIVISTELMÄ

Kosteus on yksi tärkeimmistä energiajakeen laatutekijöistä, sillä veden haihduttaminen polttoprosessissa kuluttaa turhaan paljon energiaa. Kosteus vaikuttaa puun teholliseen lämpöarvoon ja täten välillisesti koko energialiiketoiminnan kannattavuuteen. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kahden erilaisen peittomateriaalin vaikutus sadeveden pidättyvyyteen energiarankakasassa, ja vertailla näiden paremmuutta. Vertailtavat peitot olivat JL-tuotteet Oy:n PS-peitto (kehikko 2) ja Walki Oy:n Biomass Coverly (kehikko 3). Vertailun perustana oleva painoaineisto on peräisin Mekrijärven tutkimusasemalla Ilomantsissa vuonna 2013 suoritetusta kuivauskokeesta ja sateen vaikutuksen arviointia varten Mekrijärven sadeaineiston toimitti Ilmatieteen laitos.

Seuranta jaettiin sekä lyhyen että pitkän aikavälin seurantaan. Lyhyen aikavälin seurannassa oli tarkoituksena havainnoida yksittäisten sateiden vaikutusta rankakasioihin. Kriteereinä lyhyen aikavälin seurantajaksojen valinnalle oli jaksonaikainen sade sekä poutasää ennen ja jälkeen jakson. Tällä tavoin oli mahdollista eristää sade ainoaksi painomuutoksia aiheuttavaksi tekijäksi. Kriteereiden mukaisia jaksoja löytyi aineistosta kaikkiaan 10 kappaletta. Tarkasteltavia tekijöitä näiden jaksojen sisällä olivat jaksonaikainen sademäärä, painonnousun huippu verrattuna painoon ennen sadetta sekä kuivumisajan pituus takaisin lähtöpainoon. Näiden tekijöiden avulla selvitettiin jaksonaikaisen sademäärän riippuvuutta painonnousun huipun ja kuivumisajan pituuden suhteen. Pitkän aikavälin seuranta tähtäsi rankojen absoluuttisten massojen ja kosteuksien muutosten havainnointiin aikavälillä 26.6.2013 - 30.9.2013 noin kahden viikon välein.

Tulosten mukaan molemmissa kehikoissa olleet rangat kuivuivat selvästi kokeen aikana. Kuitenkin Biomass Coverly:lla peitetty kehikko 3 kuivui lyhyen aikavälin seurannoissa sadetta edeltäneeseen painoonsa nopeammin jokaisella kymmenellä tarkastelujaksolla, ja pitkän aikavälin seurannassa kehikon 3 rankojen massa putosi kokeen aikana 34,5 % enemmän kuin kehikon 2. Kosteus pieneni kehikon 3 rangoissa 16,6 % enemmän kuin kehikon 2 rangoissa. Kehikon 3 painonnousun huippu osoitti selvästi pienempää positiivista korrelaatiota sademäärän suhteen, kuin kehikon 2 painonnousun huippuarvo. Myös kuivumisaikojen pituuksien riippuvuudet sademääristä noudattivat samaa linjaa kehikoiden välillä, joskaan ero ei ollut tässä tapauksessa yhtä selkeä. Puuaineksen fysikaalisista ominaisuuksista johtuen kuivuminen on vakiolämpötilassa ja -ilmankosteudessa sitä suurempaa, mitä kosteampaa puuaine on. Kehikon 2 rankojen kosteus oli kokeen perustamishetkellä 44,1 % ja kehikon 3 rankojen 50,1 %, joten tämä voi selittää osaltaan kehikon 3 suurempaa kuivumista. Toisaalta Biomass Coverly- peiton paremmuuteen viittaa myös kehikon 3 rankojen massan pienempi reagointi kokeen aikaisiin sateisiin ja pienempi positiivinen korrelaatio painonnousun huipun ja sademäärän, sekä kuivumisajan pituuden ja sademäärän välillä.

**Avainsanat:** Peittomateriaali, sadevesi, sade, pidättyminen, energiapuu, energiaranka, peittäminen

## Sisällysluettelo

1. JOHDANTO.....	4
1.1 Yleistä metsäenergiasta.....	4
1.2 Energiapuun korjuu.....	4
1.3 Nykyiset energiarangan varastointisuositukset.....	6
1.4 Kosteus energiarangan laatutekijänä.....	7
1.5 Työn tavoite.....	8
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	8
2.1 Aineisto.....	8
2.2 Koejärjestelyt.....	10
2.3 Lyhyen aikavälin seuranta.....	12
2.4 Pitkän aikavälin seuranta.....	14
3. TULOKSET.....	14
3.1 Kehikko 2 (JL-Tuotteet Oy, PS-peitto).....	14
3.2 Kehikko 3 (Walki Oy, Biomass covery).....	17
3.3 Tulosten vertailu.....	20
4. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	28
LIITTEET.....	29
Liite 1 Mekrijärven kuivauskokeen koejärjestelyt 2013.....	29

## 1. JOHDANTO

### 1.1 Yleistä metsäenergiasta

Uusiutuva energia on viime aikoina ollut runsaasti esillä energiapoliittisessa keskustelussa. Etenkin metsästä saatava bioenergia on ollut tutkimuksen ja yleisen mielenkiinnon kohteena, sillä fossiilisten polttoaineiden suhteen olemme täysin tuonnista riippuvaisia. Arviolta noin puolet maailmalla hakatusta puusta käytetään teollisuuden raaka-aineena ja toinen puoli polttopuuna (Uusitalo, 2003). Maassamme on laajat metsävarannot, eikä hakkuupotentiaalia käytetä läheskään kokonaan hyödyksi; viime vuosina poistuma on ollut noin 33 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin vuotuinen metsien yhteenlaskettu kasvu (Metsätilastollinen vuosikirja, 2014). Fossiilisten polttoaineiden korvaajaksi metsäenergia on houkutteleva vaihtoehto etenkin hiilidioksidipäästöjen kannalta; fossiilisia polttoaineita poltettaessa ilmakehään vapautuu hiilidioksidia, joka on ollut miljoonia vuosia poissa luonnon kierrosta, sitoutuneena esimerkiksi öljyyn, kaasuun tai hiileen. Myös puuta poltettaessa ilmakehään vapautuu hiilidioksidia, mutta tämä hiilidioksidi on sitoutunut puuainekseen puun kasvun aikana – yleensä Suomen oloissa puhutaan kymmenistä vuosista. Puuainekseen sitoutunut hiili on näin ollen käytännössä jatkuvassa kierrossa kasvillisuuden ja ilmakehän välillä (Hyvän metsänhoidon suositukset, 2010). Euroopan Unionin jäsenmaiden yhteisten ilmasto- ja energiatarvoitteiden myötä bioenergialla tulee olemaan myös Suomessa entistä merkittävämpi rooli energiantuotannossa. Suomessa tavoitteena on kasvattaa uusiutuvan energian osuutta kokonaisenergiantuotannosta 38 %:in vuoteen 2020 mennessä, ja lähes puolet lisäyksestä on tarkoitus tuottaa pelkästään metsähakkeen käyttöä lisäämällä (Maa- ja metsätalousministeriö, 2014). Suomessa käytettiin vuonna 2013 kaikkiaan 73,9 miljoonaa m<sup>3</sup> raakapuuta, josta energiantuotantoon käytetty osuus oli 9,44 miljoonaa m<sup>3</sup> (12,8 % kokonaiskäytöstä). Huomionarvoista on, että energiapuun kokonaiskäytöstä teollisen mittakaavan lämpö- ja voimalaitokset käyttivät vain 4,08 miljoonaa m<sup>3</sup> ja pientalot käyttivät loput 5,36 miljoonaa m<sup>3</sup> (Metsätilastollinen vuosikirja, 2014). Lämpö- ja voimalaitokset tosin käyttävät raakapuun lisäksi n. 14,7 miljoonaa m<sup>3</sup> metsäteollisuuden sivutuotteita, esimerkiksi sahanpurua ja lastuja. Puupolttoaine on siis merkittävä lämmön lähde suomalaisissa kotitalouksissa.

### 1.2 Energiapuun korjuu

Energiapuuta voidaan korjata joko päätehakkuun sivutuotteena tai varsinaisena energiapuuharvennuksena. Päätehakkuun yhteydessä kerättävä energiapuu käsittää

hakkuutähteet, eli latvukset ja oksat, sekä kannot. Hakkuutähteiden keruu päätehakkuukohteilta parantaa maanmuokkauksen laatua ja helpottaa sitä, sekä aikaistaa metsänviljelytöiden aloitusta (Uusitalo, 2003). Toisaalta toimenpide vähentää ravinteiden ja lahopuun määrää (Hyvän metsänhoidon suositukset, 2010). Nykyisin vallalla on kuitenkin käsitys, jonka mukaan hakkuutähteiden korjuu on taloudellisesti kannattavaa ainoastaan, mikäli se voidaan integroida laajojen päätehakkuuleimikoiden yhteyteen (Uusitalo, 2003). Kantojen keruu voi olla perusteltua, mikäli juurikäävän leviämisen riski on olemassa eikä puulajia voida uudistettaessa vaihtaa. Toimenpide pienentää samalla maanmuokkauksen kustannuksia. Toisaalta kantojen korjuu lisää uudistusalan vesoitumista lisäten perkauskustannuksia, vähentää ravinteiden ja eloperäisen aineksen määrää maaperässä, altistaa rikkoutuneen maanpinnan vuoksi ravinteiden ja kiintoaineksen huuhtoutumiselle pintavesiin ja vähentää järeän lahopuun määrää (Hyvän metsänhoidon suositukset, 2010). Energiapuuharvennus on järkevää kohteissa joissa hoitotoimenpiteiden laiminlyönnin tai muun syyn seurauksena puusto on runkoluvultaan tiheää ja huonolaatuista. Tässä tilanteessa ainespuun määrä on vähäinen, joten houkuttelevuuden ja taloudellisen kannattavuuden lisäämiseksi energiapuun korjuuseen on useissa tapauksissa tarjolla valtion rahoitustukea. Edellä kuvatun kaltaisia ”risusavotoita” on valitettavasti näillä näkymin tulevaisuudessa tarjolla runsaasti metsänomistajien kaupungistuessa, ja samalla välinpitämättömyyden ja omista metsistä tietämättömyyden lisääntyessä. Harvennuksen seurauksena jäljelle jäävä puusto järeyytyy ja seuraavassa harvennuksessa saatava ainespuun määrä kasvaa parantaen samalla kannattavuutta. Toisaalta voimakas energiapuuharvennus voi altistaa jäävän puuston lumituhoille, sekä harvennus vähentää myös pieniläpimittaisen lahopuun määrää (Hyvän metsänhoidon suositukset, 2010).

Energiapuun korjuu suoritetaan yhä useammin joukkokäsittelykouralla varustetulla harvesterilla tai maataloustraktorilla. Tällä tavoin korjuun tuottavuus on mahdollisimman hyvä, sillä kouraa ei tarvitse tyhjentää jokaisen rungon kaatamisen jälkeen – joukkokäsittelykouralla onkin mahdollista kasata samaan nippuun jopa kymmenen rankaa ennen kouran tyhjentämistä (Uusitalo, 2003). Hakkuutähteiden korjuu lisää väistämättä metsänuudistamisketjun suunnittelun tarvetta. Päätös hakkuutähteiden keruusta tulee tehdä hyvissä ajoin ennen hakkuun aloittamista, sillä päätös vaikuttaa myös hakkuukoneen kuljettajan työskentelytekniikkaan. Normaalisti työskenneltäessä hakkuukoneen kuljettaja pyrkii yleensä karsimaan rungot siten, että hakkuutähteet jäisivät ajouralle suojaamaan maan pintaa ja puiden juuria koneiden aiheuttamilta vaurioilta. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltavaa mikäli hakkuutähteet halutaan kerätä talteen, sillä toistuva hakkuutähteiden yli ajaminen vaikeuttaa keruuta huomattavasti.

Tämän takia hakkuutähteitä kerätessä rungot tulisi karsia ajouran sivulla joko yksi- tai kaksipuoleista tekniikkaa käyttäen (Uusitalo, 2003).

Korjuun jälkeen energiakäyttöön tarkoitettua puuta pyritään kuivattamaan ennen jatkojalostusta käytettävään muotoon, yleisimmin hakkeeksi. Kuivatus tapahtuu usein kahdessa vaiheessa; ensin pienissä palstakasoissa, jonka jälkeen puu kerätään suurempiin tienvarsikasoihin. Jahkonen ym. (2012) esittää tutkimuksessaan keskimääräiseksi palsta- ja tienvarsivarastointiajaksi harvennusenergiapuulle 324 vuorokautta ja oksa- ja latvusmassalle 438 vuorokautta. Energiapuun haketus tapahtuu suunnitellusta korjuuketjusta riippuen joko palstalla, tien varressa, terminaalissa tai käyttöpaikalla. Menetelmien osuudet energiapuun haketuksen kokonaismäärästä Suomessa vuonna 2013 olivat: palstahaketus ~0 %, tienvarsihaketus 56 %, terminaalihaketus 27 % ja käyttöpaikkahaketus 16 % (Metsätalastollinen vuosikirja, 2014). Palstahaketuksessa erillinen palstahakkuri liikkuu ajouria pitkin hakkuutähdekasalta toiselle, samalla hakettaen tähteet suoraan säiliöönsä. Säiliön täytyttyä hakkuri tyhjentää hakkeen tien varressa odottavaa kuljetusautoon. Tämä menetelmä ei ole koskaan saavuttanut suurta suosiota. Sen sijaan nykyisin käytetyin ketju on tienvarsihaketus, jossa energiajake lähikuljetetaan tien varteen, ja järeä, esimerkiksi kuorma-auton alustalle rakennettu hakkuri, hakettaa puun suoraan toisen auton tai peräkärryn lavalle. Näiden väliin mahtuu vielä kaksi mahdollista ketjua, terminaalihaketus ja käyttöpaikkahaketus. Ensin mainittu tarkoittaa, että energiajake kuljetetaan tienvarsivarastolta erilliseen terminaaliin jossa haketus tapahtuu, ja josta hake kuljetetaan edelleen käyttöpaikalle. Käyttöpaikkahaketus puolestaan tarkoittaa nimensä mukaisesti energiajakeen haketusta vasta käyttöpaikalla.

### **1.3 Nykyiset energianrangan varastointisuositukset**

Rangan ja kokopuun varastointiin metsätalouden kehittämiskeskus Tapio (2010) antaa seuraavanlaiset suositukset:

- Varastopinon pohjalle tulee laittaa riittävästi aluspuuta. Tällä estetään maakosteuden siirtyminen pinon alempiin kerroksiin, sekä pinon kallistuminen tai kaatuminen. Pino myös tuulettuu paremmin.
- Pinossa ei tulisi olla kiviä tai muita haitallisia esineitä jotka haittaisivat haketusta tai polttoa.
- Pinon tulisi olla mahdollisimman korkea (4-5 metriä), jotta pinon päällysosan ”kastuva ala” olisi mahdollisimman pieni.

-Varastopinon peittämisellä voidaan alentaa energiapuun kosteutta. Tuoreen kokopuupinon annetaan kuivua ennen peittämistä, koska peittäminen heikentää haihduntaa. Peitteen päälle nostetaan kourakasoja energiapuuta, jotta tuuli ei liikuttele peitettä. Tapauskohtaisesti on otettava huomioon myös lainsäädäntö metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta.

-Pinon sortumattomuus tulee varmistaa.

-Puiden tyvet tulisi osoittaa tielle päin ja mieluiten niin, että ne osoittaisivat etelään.

#### **1.4 Kosteus energiarangan laatutekijänä**

Kosteus on tärkein yksittäinen energiapuun laatutekijä, vaikuttaen suuresti energiapuun teholliseen lämpöarvoon ja täten myös energiapuuerien kokonaisenergiasisältöön (Jahkonen ym. 2012). Puuaines on ominaisuuksiltaan hygroskooppista eli se imee itseensä vettä sitä ympäröivästä ilmasta, mikäli vallitseva ilmankosteus on suurempi kuin puuaineksen kosteus. Veden liikkumista puuaineessa kuvataan termillä sorptio. Termi voidaan jakaa edelleen adsorptioon ja desorptioon, joista ensin mainittu tarkoittaa puun kosteuden lisääntymistä, kun taas jälkimmäinen puun kosteuden pienenemistä (Kärkkäinen, 2007). Varastoimalla energiapuu palstakasoisiin pyritään desorptioon, toisin sanoen puuaineksen kuivumiseen. Kuivumista tapahtuu kun puuta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on pienempi kuin puuaineksen suhteellinen kosteus, jolloin vettä siirtyy höyryinä ympäröivään ilmaan. Tämä jatkuu kunnes puuaines saavuttaa kutakin lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta vastaavan tasapainokosteuden, mikä tarkoittaa että puuhun tulevan ja siitä poistuvan vesihöyryn määrä on yhtä suuri (Kärkkäinen, 2007).

Kuivattaminen on perusteltua, sillä puuaineksen kuivuessa paino putoaa ja vastaavasti energiatiheys paranee. Tästä johtuen energiajakeen kuivattaminen palsta- tai tienvarsivarastolla alentaa kaukokuljetuksen kustannuksia, ja samalla puuaineksen polton hyötysuhde paranee sillä energiaa ei kulu polttoprosessissa veden haihduttamiseen (Jahkonen ym. 2012). Puun kosteuden aleneminen esimerkiksi 55 %:sta 40 %:iin saa aikaan liki 10 % kasvun puun tehollisessa lämpöarvossa eli energiatiheydessä tilavuusyksikköä kohti (Hillebrand, 2009).

Puun hygroskooppisuudesta johtuen puun massa, ja määrättyissä tilanteissa myös tilavuus, kasvavat kosteuden noustessa (Kärkkäinen, 2007). Näin ollen vesi lisää kuljetettavan energiapuu- tai hakekuorman painoa sekä puuaineksen tilavuutta, alentaen näin kuorman kuiva-ainetiheyttä – kosteuden lisääntyessä puun tilavuus kasvaa likimain suoraviivaisesti puun syiden kyllästymispisteeseen saakka (Kärkkäinen, 2007). Lähtökohtaisesti energiapuun kosteus

vaikuttaa koko energialiiketoiminnan kannattavuuteen (Jahkonen ym. 2012). Liiketoiminnan kannattavuutta tarkasteltaessa ja energiapuukasan peittämistä suunniteltaessa on kuitenkin hyvä pitää mielessä, että varastokasan tiiveys ja korkeus vaikuttavat suuresti peittämisen kustannuksiin. Peittokustannuksista jopa 80 % muodostuu itse peittomateriaalista, ja vain n. 20 % itse peittotyöstä (Hillebrand, 2009). Energiapuun kuivuuden merkitys korostuu etenkin pienten voimaloiden kohdalla, näiden tulisikin pyrkiä käyttämään puupolttoainetta jonka kosteus on enintään 40 %. Suuret voimalaitokset sietävät paremmin korkeampiakin kosteuksia ja kosteuden vaihteluita (Hillebrand, 2009). Toisaalta suurtenkin laitosten on järkevää pyrkiä minimoimaan poltettavan puun kosteus.

## **1.5 Työn tavoite**

Tässä tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää kahden erilaisen peittomateriaalin vaikutukset sadeveden aiheuttamiin painovaihteluihin energiarankakasoissa, sekä vertailla peittojen kykyä suojata puuainesta sateelta. Tutkimuksessa perehdyttiin ainoastaan rankapuuhun. Tutkimuksen tulokset perustuvat sekä lyhyen että pitkän aikavälin seurantajaksoihin, jotka kuvaillaan tarkemmin kappaleessa 2 (aineisto ja menetelmät), ja saatuja tuloksia vertailtiin soveltuvilta osin aiemmin tehtyihin tutkimuksiin. Tutkimushypoteesina pidettiin H0: peittomateriaalien välillä ei ole eroja, ja H1: peittomateriaaleilla on eroja. Tutkimukseen valikoituneet kehikot simuloivat energiapuun tienvarsivarastointia. Energiapuun varastointi noudatti luvussa 1.3 mainittuja metsätalouden kehittämiskeskus Tapion antamia suosituksia.

## **2. AINEISTO JA MENETELMÄT**

### **2.1 Aineisto**

Tutkimuksessa käytetty painoaineisto on peräisin Mekrijärven tutkimusasemalla suoritettusta ”LAAVA” –kuivauskokeesta (”Puupolttoaineiden laadunhallinta osana hankinnan ohjauksen ja varastojen hallinnan tietojärjestelmiä”) ja saman alueen sadeaineisto on puolestaan peräisin Ilmatieteen laitokselta. LAAVA on innovaatorahoituskeskus TEKES:n ja Euroopan aluekehitysrahaston EAKR:n rahoittama hanke joka toteutettiin vuosina 2011 - 2013. Hankkeen toteutuksessa olivat mukana Itä-Suomen yliopisto, Ilmatieteen laitos, Metsäntutkimuslaitos ja Karelia-ammattikorkeakoulu. Näiden tahojen lisäksi hankkeessa oli mukana yhdeksän yritystä.



Tutkimuksessa keskityttiin aineistoon kesältä 2013. Tutkimuksen kohteena oleva kuivatuskoe on perustettu 26.6.2013. Tutkimuksessa tarkasteltiin karsittua rankapuuta ja sen painovaihteluita suhteessa sademääriin aikavälillä 26.6.2013 – 30.9.2013. Kuivauskokeen kehikot olivat vaa’alla jatkuvassa punnituksessa, ja vaakojen rekisteröimää painodataa on pieniä taukoja lukuun ottamatta koko edellä mainitulta ajalta minuutin välein. Sadeaineistoon oli sisällytettyä myös sateen intensiteettiä kuvaava mittari, mutta tutkimuksessa keskityttiin tarkastelemaan ainoastaan tunnittaisia kumulatiivisia sadekertymiä. Sadeaineiston havainnot ovat UTC-ajassa ja Mekrijärven kuivauskokeen painodata on rekisteröity puolestaan Suomen kesäajassa (UTC +3), joten kellonaikojen ja päivämäärien täsmäämiseksi sadeaineiston kellonaikoihin on lisätty 3 tuntia. Koska sadeaineiston tarkkuus oli yksi tunti, päätettiin kehikoiden tuottamasta painodatasta laskea kehikoiden painoille tunnitaiset keskiarvot jotta sade- ja painohavaintojen vertailu olisi mahdollisimman relevanttia (Taulukko 1). Keskiarvon käyttäminen tuloksia vertailtaessa suodattaa tehokkaasti mittatarkkuudesta johtuvaa ”kohinaa”, sekä tiivistää aineistoa ja täten helpottaa datan analysointia.

**Taulukko 1.** Esimerkki paino- ja sadeaineiston yhdistelmästä kesäkuulta 2013.

Päivämäärä	Kellonaika	Kehikko 2, kg	Kehikko 3, kg	Sademäärä, mm
27.6.2013	13	8075,5	9178,8	0
27.6.2013	14	8086,6	9259,4	2,5
27.6.2013	15	8170,8	9444,9	1,3
27.6.2013	16	8184,7	9438,8	12,2
27.6.2013	17	8172,8	9429,9	0,1
27.6.2013	18	8162,9	9420,9	0
27.6.2013	19	8156,8	9414,6	0
27.6.2013	20	8152,8	9411,2	0
27.6.2013	21	8150,5	9410,7	0

Aluksi tarkasteluun valikoituivat kehikot 2-4 (Liite 1), kehikoiden 2 ja 3 ollessa peitettyjä ja kehikon 4 toimiessa peittämättömänä vertailukohtana kahdelle ensin mainitulle kehikolle. Painomittaustuloksia tarkasteltaessa kehikon 4 osalta paljastui kuitenkin niin suuria epä johdonmukaisuuksia, että koko kehikko päätettiin hylätä tarkastelusta todenmukaisten tulosten varmistamiseksi ja tämän jälkeen keskityttiin ainoastaan peittomateriaalien keskinäiseen vertailuun.

## 2.2 Koejärjestelyt

Kokeessa käytetty energiarankamateriaali on Stora Enson toimittamaa ja peräisin Tohmajärven Muskosta. Hakkuu oli päättynyt 29.3.2013 ja lähikuljetus oli tehty 3.4.2013. Rangat kuljetettiin Mekrijärven tutkimusasemalle kehikoihin 26.6.2013. Rankamateriaali oli sekoitus koivua (*Betula sp.*), kuusta (*Picea abies*) ja hieman mäntyä (*Pinus sylvestris*).

Kehikot 1-4 (Liite 1) vuorattiin Walkin Biomass covery-paperilla siten, että paperia oli kehikoiden pohjilla ja sivuilla (kuva 1). Paperi aseteltiin kehikoihin siten, ettei siihen päässyt tulemaan reikiä, eikä niitä myöskään tarkoituksellisesti tehty. Vuoraus tehtiin jotta pieni rankakasa ei kuivuisi liian nopeasti, ja koeolosuhteet vastaisivat näin ollen paremmin käytännön varastokasoja. Rangat kasattiin kehikoihin siten, että kasat ulottuivat hieman kehikoiden tolppien yli ja että kasojen päälliosista saatiin muodoltaan kuperia. Kasojen kuperuus oli tärkeää, sillä näin saatiin peittomateriaali asettumaan kasojen päälle sateenvarjomaisesti. Tämä varmisti sen, ettei vettä jäänyt seisomaan peiton päälle, vaan mahdollisimman suuri osa vedestä valui suoraan pois kasan päältä.



**Kuva 1.** Koekehikoiden perustamista Mekrijärven tutkimusasemalla. Kuva: Marja Kolström.

Kehikko 2 peitettiin JL-tuotteet Oy:n PS-peitolla ja kehikko 3 Walki Oy:n Biomass Covery:lla. Kokeen aluksi jokaisesta rankakasasta määritettiin niiden sisältämien rankojen kosteus. Rangat Mekrijärvelle tuonut kuljettaja valikoi kuormasta mahdollisimman edustavia koerankoja 5-6

kappaletta kutakin kehikkoa kohden. Kosteuden määrittämiseksi sahattiin rankojen molemmista päistä ja keskeltä noin senttimetrin paksuisia kiekkoja (kuva 2).



**Kuva 2.** Koerangoista sahattuja näytepaloja niiden kosteuden määrittämistä varten. Kuva: Marja Kolström.

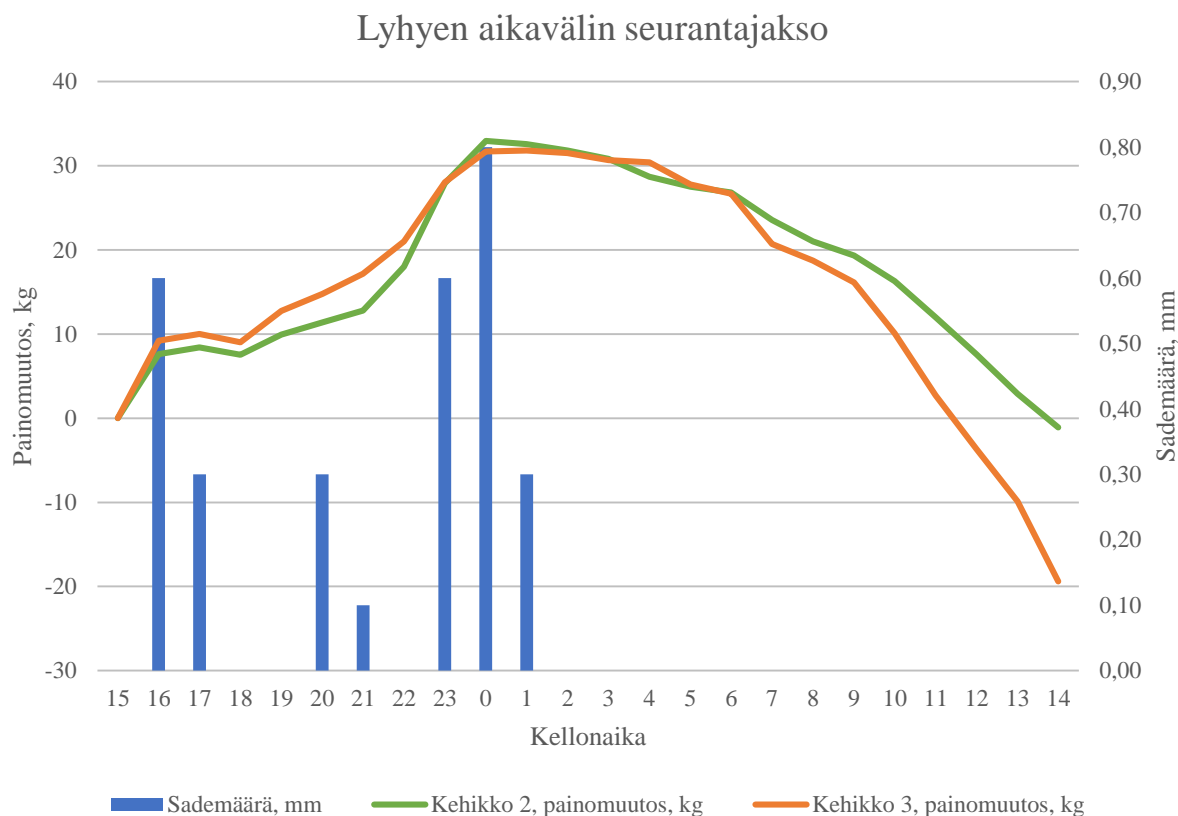
Näiden kiekkojen avulla uunikuivausmenetelmää käyttäen saatiin selville koerankojen kosteus kokeen alkuhetkellä, ja tulosta yleistämällä voitiin johtaa myös kunkin rankakasan kosteus. Uunikuivaus- tai lämpökaappimenetelmä on niin sanottu kaksivaiheinen menetelmä puun kosteuden määrittämiseksi. Menetelmä perustuu kahteen punnitustulokseen, joiden välissä puuainesta kuivataan lämpöä hyväksi käyttäen (Kärkkäinen, 2007). Menetelmä perustuu oletukseen, että puusta haihtuu kuivauksen yhteydessä ainoastaan vesi, joten vähentämällä kuivatun kappaleen massa saman kuivaamattoman kappaleen massasta saadaan selville kappaleeseen sitoutuneen veden massa ennen kuivausta. Lähtötilanteen kosteuden määrittämiseksi käytettyjen koerankojen jäljelle jääneitä osia käytettiin peittojen päällä painoina (kuva 3).



**Kuva 3.** Kuivauskokeen kehikot valmiina. Kuva: Marja Kolström.

### 2.3 Lyhyen aikavälin seuranta

Tutkimukseen valikoitiin paino- ja sadeaineiston yhdistelmästä ajanjaksoja jolloin satoi, mutta ennen sadetta ja sateen jälkeen oli poutajakso. Sateenjälkeisen poutajakson tuli olla niin pitkä, että molemmat tarkasteltavat kehikot kerkesivät kuivua takaisin sadetta edeltäneisiin painoihinsa. Tämä toimenpide eristi sateen ainoaksi kehikoiden painovaihtelua aiheuttavaksi tekijäksi. Edellä kuvatun kaltaisten jaksojen sisällä keskityttiin kolmeen tekijään ja näiden vaihteluihin: jaksonaikaiseen sademäärään (millimetriä), painonnousun huippuun (kilogrammaa) ja kuivumisajan pituuteen takaisin sadetta edeltäneeseen painoon (tuntia). Kuvatun kaltaisia jaksoja löytyi tarkasteltavasta aineistosta kaikkiaan 10 kappaletta sijoittuen aikavälille 6.7.2013 – 26.9.2013. Painonnousun maksimiarvoa tarkasteltaessa nollakohtana on käytetty havaintojakson alkuhetkeä, eli sateen alkua edeltävää tuntia, ja maksimiarvo selvitettiin vähentämällä jokaisesta tarkastelujakson painohavainnosta tarkastelujakson alkuarvo. Tarkastelujakson päivämäärä on aina se päivämäärä, jonka puolella tarkastelujakso on alkanut, siitäkin huolimatta että jakso jatkuisi seuraavan vuorokauden puolelle. Kuvassa 4 on esitetty esimerkin vuoksi yksi lyhyen aikavälin havaintojakso. Kuvaajasta on havaittavissa jaksonaikainen sademäärä ja sen jakautuminen ajan suhteen sekä molempien kehikoiden painon reagointi sateeseen.



**Kuva 4.** Esimerkki lyhyen aikavälin havaintojaksosta kuvaajan muodossa aikavälillä 10.7.2013 – 11.7.2013.

Lyhyen aikavälin seurantojen perusteella tehtiin regressioanalyysit sademäärän vaikutuksesta kuivumisajan pituuteen ja painonnousun huippuun. Regressioanalyysia käytetään tutkimaan selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan. Regressioanalyysin tuloksena saatavan P-arvon merkitsevyystasot on esitetty taulukossa 2. Regressioanalyysin selitysvoimaa kuvaavat  $R^2$ -arvot ja suoran yhtälöt ovat esitetty kuvaajien yhteydessä.  $R^2$ -luku vaihtelee 0 ja 1 välillä, ja se kertoo kuinka suuren osuuden selitettävän muuttujan vaihtelusta regressioanalyysin selittävät muuttujat pystyvät selittämään, 1 ollessa täysin selittävä ja 0 ollessa täysin selittämätön.

**Taulukko 2.** P-arvot ja niiden merkitsevyystasot.

P-arvo	Selite
< 0,001	Tilastollisesti erittäin merkitsevä
< 0,01	Tilastollisesti merkitsevä
< 0,05	Tilastollisesti melkein merkitsevä

## 2.4 Pitkän aikavälin seuranta

Lyhyen aikavälin seurannan lisäksi tarkasteltiin kehikoiden sisältämien rankojen kosteuden kehitystä kokeen perustamishetkestä 26.6.2013 alkaen. Tarkasteluun valikoitui päivämääriä n. kahden viikon välein, pääsääntöisesti kuukauden ensimmäinen ja 16. päivä. Poikkeuksena tästä ovat ensimmäinen ja viimeinen havainto, jotka sijoittuvat päiville 26.6.2013 (kokeen perustaminen) ja 30.9.2013 (aineiston viimeinen vuorokausi). Alkukosteus on määritetty kokeen perustamispäivänä n. klo. 11.30, joten tutkimuksessa pyrittiin valikoimaan kosteuden määrittämisaikakohdaksi kunkin havaintopäivän klo. 11 - 12 välinen painohavainto. Mikäli tätä havaintoa ei syystä tai toisesta ollut, valittiin lähin mahdollinen painohavainto. Kosteuden määrittäminen perustuu oletukselle, että puun kuiva-aineen massa pysyy koko kokeen ajan samana. Kosteus laskettiin käyttäen kaavaa 1 (Kärkkäinen, 2007).

$$\text{Puun kosteus (vesipitoisuus)} = \frac{100m_w}{m_o + m_w} \quad (1)$$

jossa

$m_w$  = puussa olevan veden massa [kg]

$m_o$  = puun kuiva massa [kg]

Kehikoiden alkukosteus on määritetty peittämättömistä kasoista 26.6.2013 ja kasat peitettiin 28.6.2013. Kehikon 2 massa kasvoi peittämisen seurauksena 143 kg ja kehikon 3 massa puolestaan 108 kg (liite 1).

## 3. TULOKSET

### 3.1 Kehikko 2 (JL-Tuotteet Oy, PS-peitto)

Aineistosta valikoituneet tarkastelujaksot, näiden ajankohdat ja jaksolla tarkastelun kohteena olleiden tekijöiden arvot kehikolle 2 on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Kehikon 2 tarkastelujaksot, ajankohdat ja tarkasteltavat tekijät.

Jakso	Pvm	Sademäärä, mm	Max painomuutos, kg	Kuivumisaika lähtöpainoon, h
1	6.7.2013	6,1	61,3	21
2	10.7.2013	3	33	23
3	21.7.2013	3,6	22,4	13
4	22.7.2013	1,9	19,3	10
5	15.8.2013	4,1	24,9	23
6	17.8.2013	2,2	16,9	15
7	12.9.2013	3,2	23,4	56
8	16.9.2013	8,6	85,3	119
9	22.9.2013	18,6	119,4	58
10	26.9.2013	9,5	64,5	62

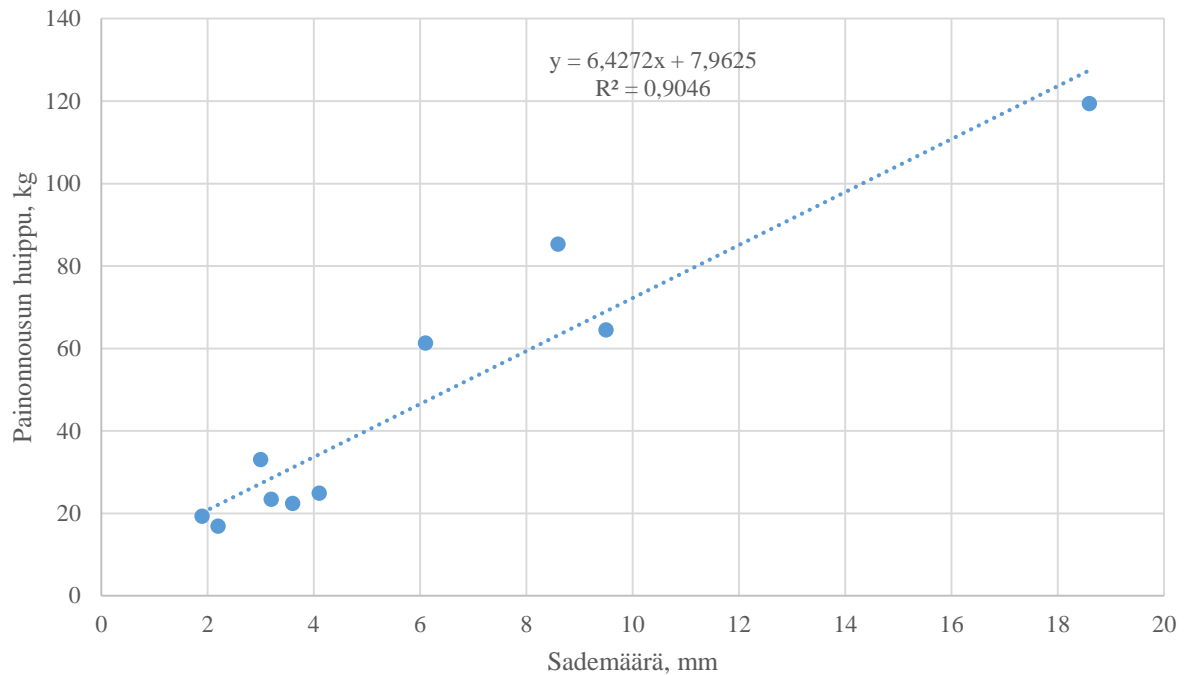
Kuten taulukosta 1 on havaittavissa, syksyä kohti sademäärä kasvaa, ja kesään verrattuna vähäisempi haihdunta yhdistettynä rankempiin sateisiin kasvattaa myös painomuutoksia sekä kuivumisaikaa. Sademäärä vaihteli tarkastelujaksoilla 1,9 ja 18,6 millimetrin välillä, painomuutosten minimi- ja maksimi-arvot olivat 16,9 ja 119,4 kilogrammaa sekä kuivumisaika (samalla tarkastelujaksojen pituus) vaihteli 10 ja 119 tunnin välillä. Pisimmillään siis kehikolla 2 kesti 119 tuntia kuivua takaisin sadetta edeltäneeseen painoonsa kun sadetta saatiin kyseisellä jaksolla yhteensä 8,6 millimetriä. Taulukossa 4 on esitetty havaintojaksojen keskimääräiset arvot tarkasteltaville tekijöille.

**Taulukko 4.** Kehikon 2 tarkasteltavien tekijöiden keskimääräiset arvot havaintojaksoilla.

Sademäärä, mm	Max painomuutos, kg	Kuivumisaika lähtöpainoon, h
6,08	47	40

Painonnousun huippu kasvaa sademäärän kasvaessa kuvan 4 mukaisesti, eli aineistossa on kehikon 2 osalta selkeä positiivinen, lineaarinen korrelaatio.

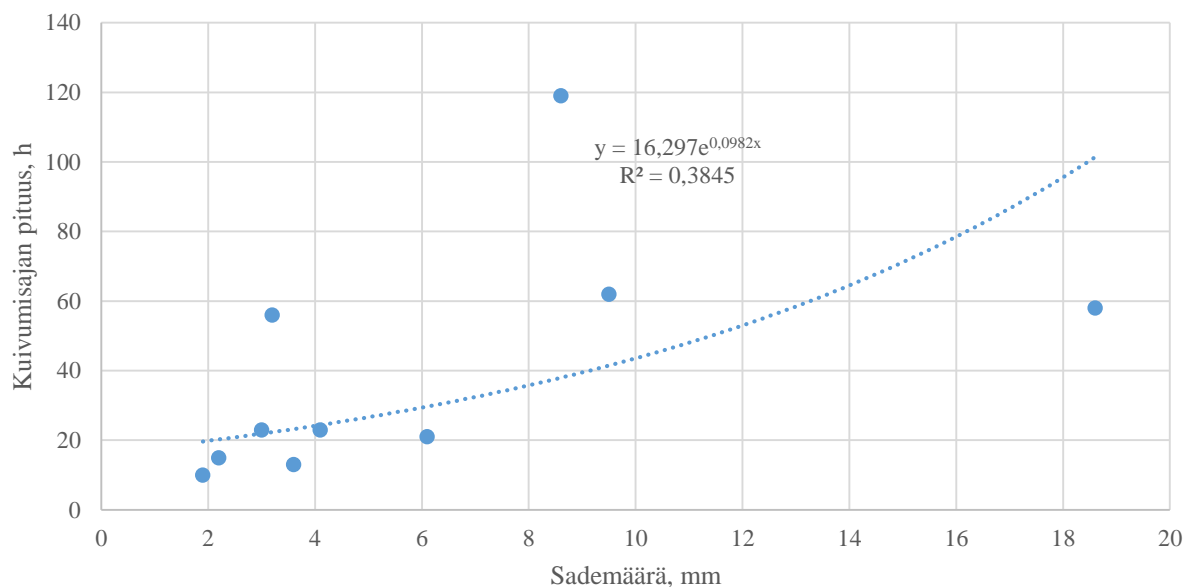
## Painonnousun huipun ja sademäärän välinen riippuvuus



**Kuva 4.** Kehikon 2 painonnousun huipun ja sademäärän välinen riippuvuus sekä suoran yhtälö,  $P = 0,2$  ja  $R^2 = 0,9$ .

Kuvassa 5 on esitetty puolestaan kuivumisajan pituuden riippuvuus suhteessa sademäärään. Tästä voidaan havaita, että mitä suurempi sademäärä on ollut, sitä pidempään rangoilla on kestänyt kuivua sadetta edeltäneeseen painoonsa. Korrelaatio on eksponentiaalinen.

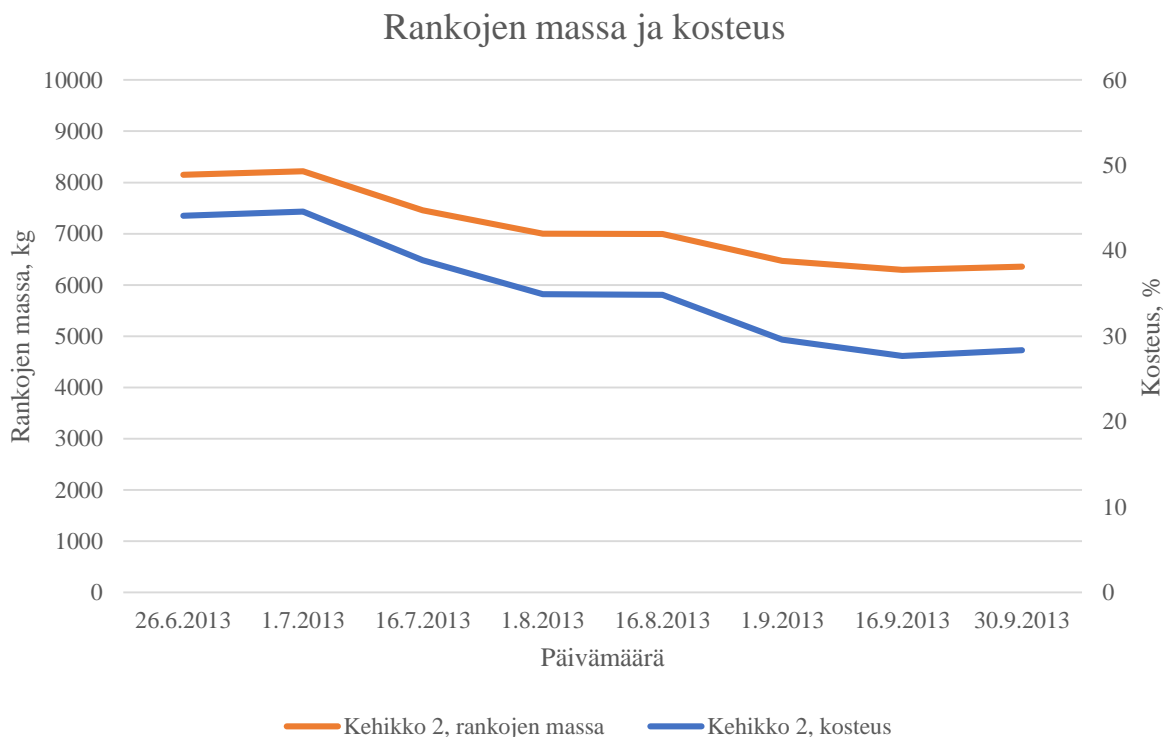
## Kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen riippuvuus



**Kuva 5.** Kehikon 2 kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen riippuvuus sekä suoran yhtälö,  $P = 0,27$  ja  $R^2 = 0,38$ .



Kosteuden kehitystä seurattiin kokeen perustamishetkestä 26.6.2013 alkaen. Tällöin kehikon 2 rankojen Kosteudeksi määritettiin 44,1 % (Liite 1). Tästä voidaan johtaa lähtötilanteessa kehikon 2 rankoihin sitoutuneen veden massaksi 3593 kg ja vastaavasti kuiva-aineen massaksi 4555 kg. Kuten kuvasta 6 havaitaan, kosteus laskee jyrkästi alkukesästä, tasoittuen ja jopa kääntyen nousuun syyskuun loppupuolella.



**Kuva 6.** Kehikon 2 rankojen massan ja kosteuden kehitys ajan funktiona.

### 3.2 Kehikko 3 (Walki Oy, Biomass covery)

Aineistosta valikoituneet tarkastelujaksot, näiden ajankohdat ja jaksolla tarkastelun kohteena olleiden tekijöiden arvot kehikolle 3 on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Kehikon 3 tarkastelujaksot, ajankohdat ja tarkasteltavat tekijät.

Jakso	Pvm	Sademäärä, mm	Max painomuutos, kg	Kuivumisaika lähtöpainoon, h
1	6.7.2013	6,1	37,4	17
2	10.7.2013	3	31,8	21
3	21.7.2013	3,6	6,6	5
4	22.7.2013	1,9	14,7	8
5	15.8.2013	4,1	11,2	21
6	17.8.2013	2,2	14,9	12
7	12.9.2013	3,2	15,2	28
8	16.9.2013	8,6	59,6	93
9	22.9.2013	18,6	51,6	37
10	26.9.2013	9,5	28,9	44

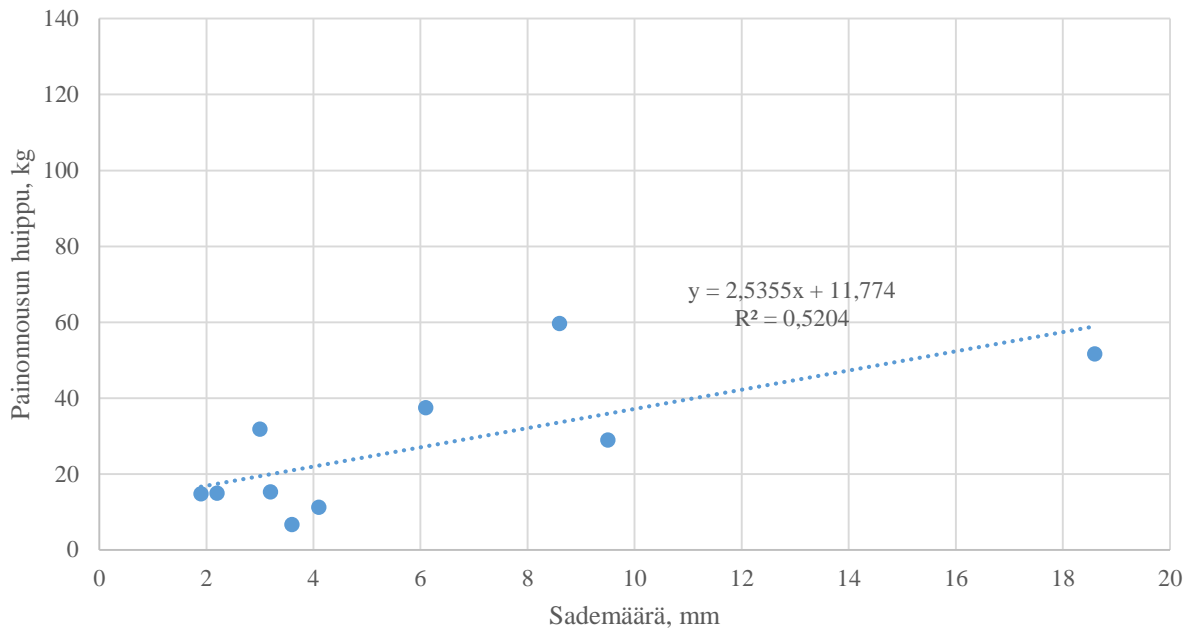
Vertailukelpoisten tulosten saamiseksi havaintojaksot ovat molemmilla kehikoilla samat, ja koska kaikki koekehikot sijaitsivat vierekkäin, voidaan olettaa molempien kehikoiden saaneen likimain saman verran sadetta. Tarkastelujaksojen aikaiset painomuutokset kehikolle 3 ovat 6,6 ja 59,6 kg välillä, ja kuivumisajat takaisin lähtöpainoon 5 ja 95 h välillä. Pisimmillään kehikolla 3 kesti 93 tuntia kuivua takaisin sadetta edeltäneeseen painoon, kun kyseisellä tarkastelujaksolla sadetta saatiin 8,6 mm. Pisin tarkastelujakso on siis molemmilla kehikoilla jakso 8, alkaen 16.9.2013. Taulukossa 6 on esitetty havaintojaksojen keskimääräiset arvot tarkasteltaville tekijöille.

**Taulukko 6.** Kehikon 3 tarkasteltavien tekijöiden keskimääräiset arvot havaintojaksoilla.

Sademäärä, mm	Max painomuutos, kg	Kuivumisaika lähtöpainoon, h
6,08	27	29

Painonnousun huipun ja sademäärän välillä on myös kehikon 3 tapauksessa havaittavissa positiivinen, lineaarinen korrelaatio (kuva 7). Painonnousun huippu on sitä suurempi, mitä enemmän on satanut.

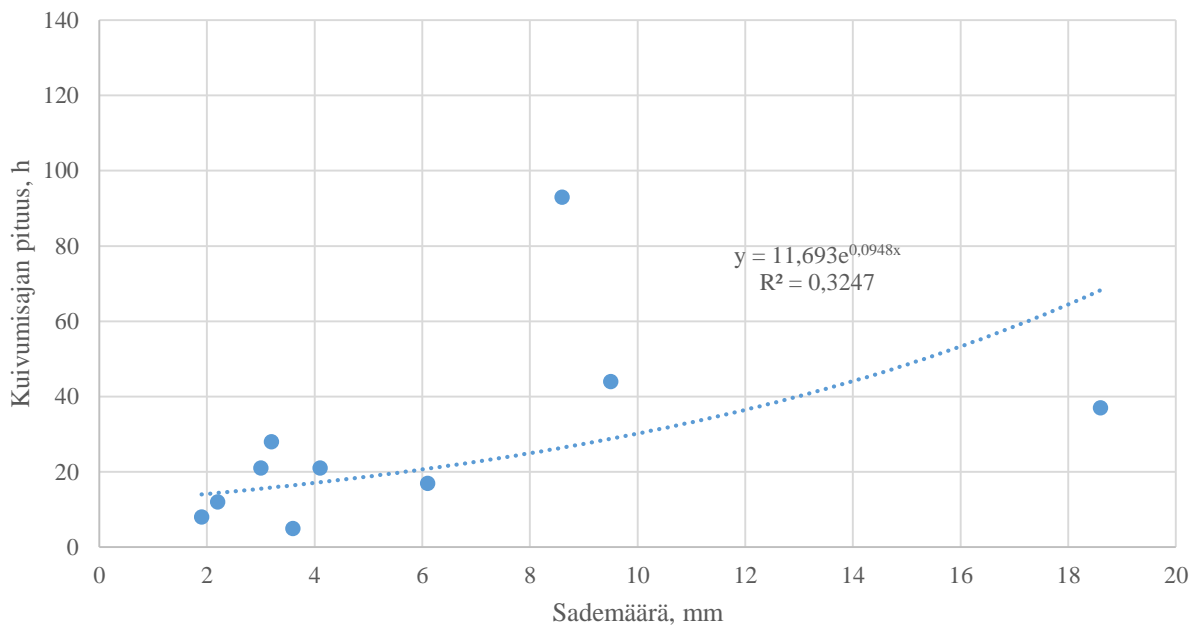
### Painonnousun huipun ja sademäärän välinen riippuvuus



**Kuva 7.** Kehikon 3 painonnousun huipun ja sademäärän välinen riippuvuus sekä suoran yhtälö,  $P = 0,12$  ja  $R^2 = 0,52$ .

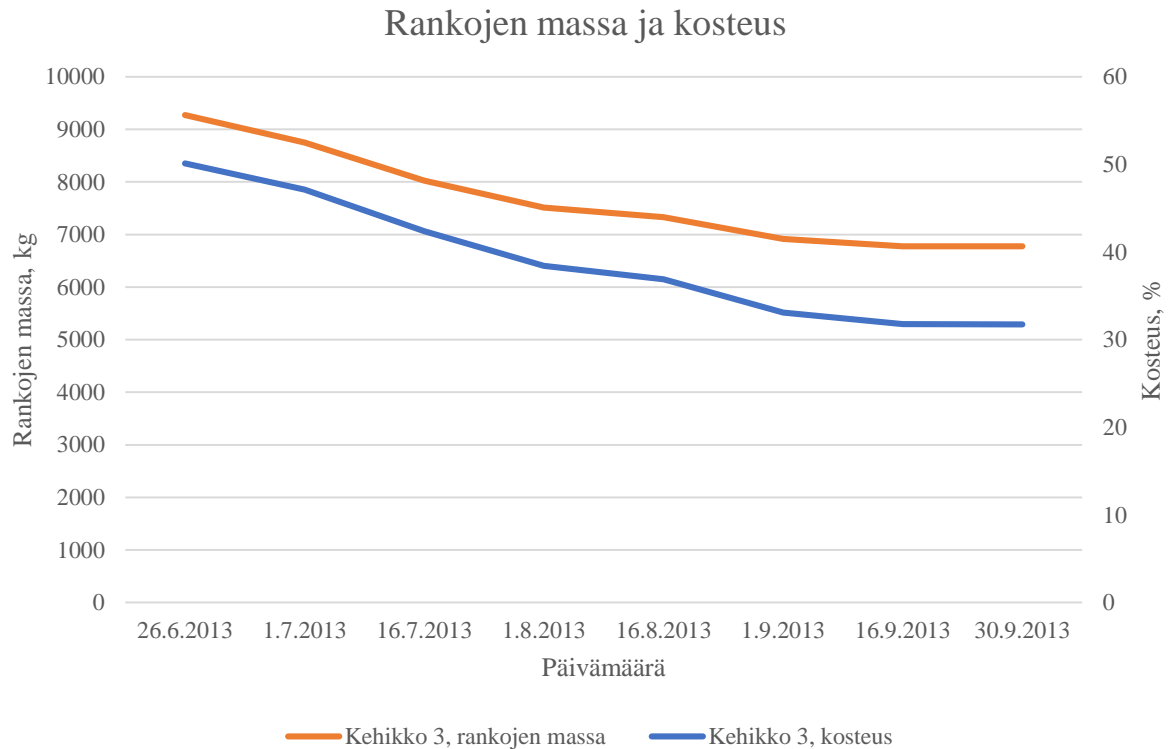
Kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen korrelaatio on eksponentiaalisesti positiivinen myös kehikon 3 tapauksessa (kuva 8). Kuvaajasta on havaittavissa, että sademäärän kasvaessa kehikon sisältämällä rangoilla kestää kauemmin kuivua takaisin lähtöpainoonsa.

### Kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen riippuvuus



**Kuva 8.** Kehikon 3 kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen riippuvuus sekä suoran yhtälö,  $P = 0,29$  ja  $R^2 = 0,32$ .

Kokeen perustamishetkellä 26.6.2013 kehikon 3 sisältämien rankojen kosteudeksi määritettiin 50,1 % (Liite 1). Tästä voidaan johtaa lähtötilanteessa kehikon 3 puuhun sitoutuneen veden massaksi 4644 kg ja vastaavasti kuiva-aineen massaksi 4625 kg. Myös kehikon 3 sisältämien rankojen massa ja kosteus laskevat alkuun jyrkästi, laskun tasoittuessa syksyä kohti (kuva 9).



**Kuva 9.** Kehikon 3 rankojen massan ja kosteuden kehitys ajan funktiona.

### 3.3 Tulosten vertailu

Kehikoilla 2 ja 3 erottavia tekijöitä olivat peittomateriaali, peiton ja peitonpainojen massa, rankojen massa ja lähtökosteus. Lyhyellä aikavälillä tarkasteltavien tekijöiden arvot on esitetty jaksokohtaisesti kummallekin kehikolle taulukoissa 7 ja 8.

**Taulukko 7.** Kehikot 2 ja 3 tarkasteltuna jaksokohtaisesti painonnousun maksimin ja kuivumisajan pituuden mukaan.

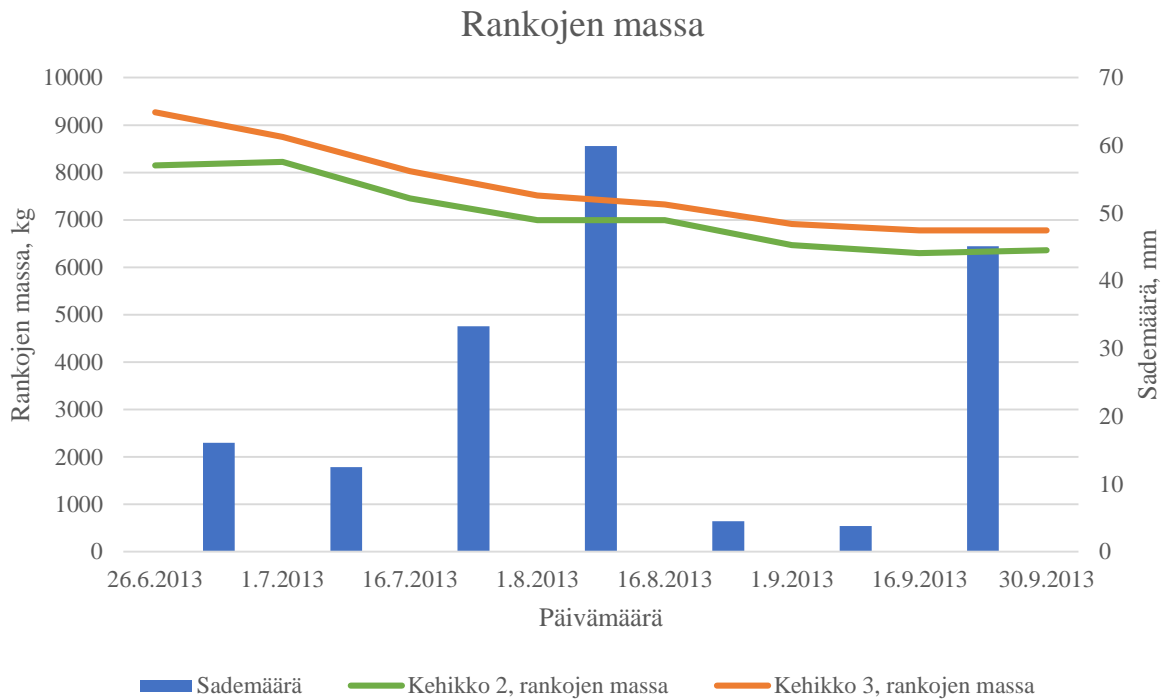
Jakso	Pvm	Kehikko 2 max muutos, kg	Kehikko 3 max muutos, kg	Kehikko 2, kuivumisaika lähtöpainoon, h	Kehikko 3, kuivumisaika lähtöpainoon, h
1	6.7.2013	61,3	37,4	21	17
2	10.7.2013	33	31,8	23	21
3	21.7.2013	22,4	6,6	13	5
4	22.7.2013	19,3	14,7	10	8
5	15.8.2013	24,9	11,2	23	21
6	17.8.2013	16,9	14,9	15	12
7	12.9.2013	23,4	15,2	56	28
8	16.9.2013	85,3	59,6	119	93
9	22.9.2013	119,4	51,6	58	37
10	26.9.2013	64,5	28,9	62	44

**Taulukko 8.** Kehikot 2 ja 3 tarkasteltuna jaksokohtaisesti kuivumisjärjestyksen mukaan. Viimeinen sarake tarkoittaa havaintoa jonka verran paino oli koholla kehikossa 2 sillä hetkellä kun kehikko 3 oli kuivunut takaisin sadetta edeltäneeseen painoonsa.

Jakso	Pvm	Kuivumisjärjestys	Paino kehikossa 2, kun kehikko 3 kuivunut lähtöpainoon, kg
1	6.7.2013	3, 2	5,5
2	10.7.2013	3, 2	7,6
3	21.7.2013	3, 2	17,9
4	22.7.2013	3, 2	7,1
5	15.8.2013	3, 2	7,9
6	17.8.2013	3, 2	8,6
7	12.9.2013	3, 2	11,6
8	16.9.2013	3, 2	17,6
9	22.9.2013	3, 2	41,3
10	26.9.2013	3, 2	32,5

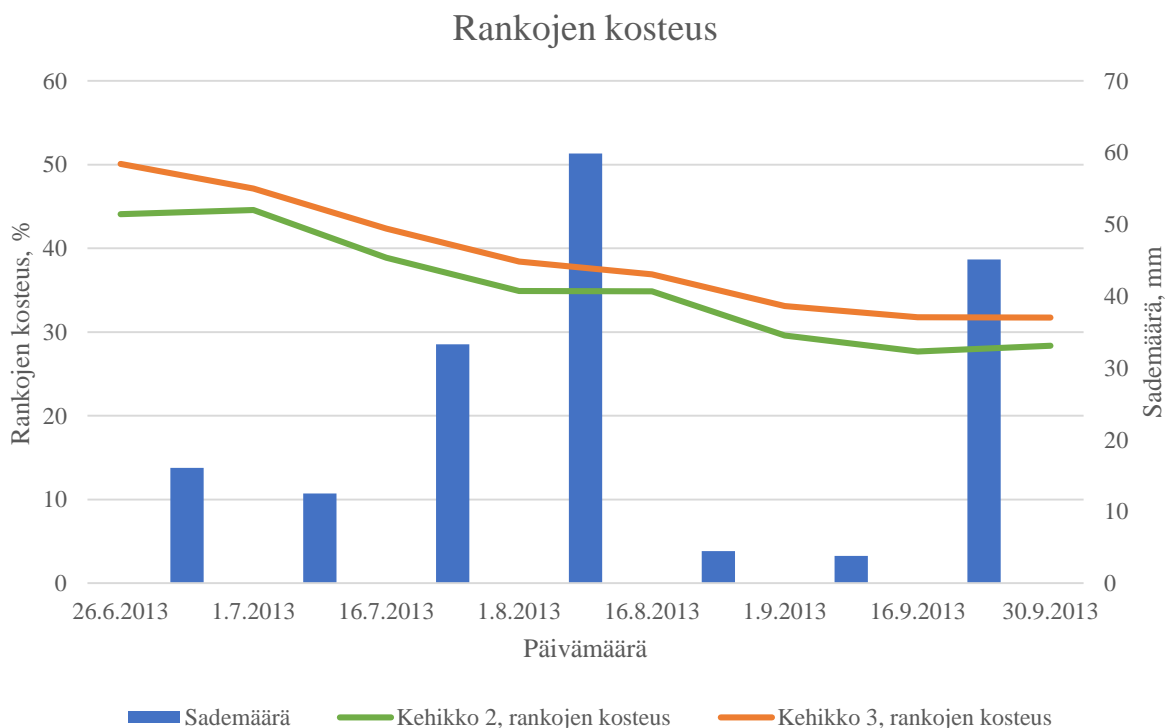
Lyhyen aikavälin seurannassa kehikon 3 painonnousun huippu on keskimäärin 42,2 % pienempi kuin kehikon 2, keskimäärin kehikolla 2 kestää 40 % pidempään kuivua takaisin sadetta edeltäneeseen painoon ja kehikon 3 kuivuttua lähtöpainoonsa oli kehikko 2 samalla ajanhetkellä keskimäärin 15,8 kg painavampi kuin ennen sateen alkua.

Kehikoiden välisiä eroja rankojen absoluuttisen massan muutoksissa tarkasteltaessa (kuva 10) havaitaan, että kehikon 3 massa on pienentynyt alkukesästä selkeästi nopeammin kuin kehikon 2, ja kehikon 2 rankojen massa on kääntynyt syyskuun lopulla jopa nousuun. Kehikon 2 kuivuminen on todella vähäistä väleillä 26.6.-1.7. ja 1.8.-16.8. Myös kehikon 3 kuivuminen pysähtyy syyskuun puolella välissä.



**Kuva 10.** Kehikoiden 2 ja 3 rankojen massan muutos ajan ja jaksonaikaisten sademäärien funktiona.

Samansuuntainen havainto tehdään tarkasteltaessa kehikoiden sisältämien rankojen kosteuksia (kuva 11). Kehikon 3 sisältämien rankojen kosteus putoaa selkeästi tasaisemmin koko kokeen ajan, kun taas kehikossa 2 olleiden rankojen kosteus ei juuri laske 26.6.–1.7. ja 1.8.–16.8. välisillä jaksoilla.



**Kuva 11.** Kehikoiden 2 ja 3 rankojen kosteuden muutos ajan ja jaksonaikaisten sademäärien funktiona.

Molempien kehikoiden sisältämien rankojen massa sekä kosteus ovat alkutilanteeseen verrattuna selkeästi pienentyneet seurannan loputtua. Kuitenkin kehikko 3 kuivui lyhyen aikavälin seurannassa jokaisella 10 jaksolla nopeammin sadetta edeltäneeseen painoonsa kuin kehikko 2 (taulukot 7 ja 8). Pitkän aikavälin seurannassa sekä absoluuttinen massa että kosteus pienenevät alkutilanteeseen verrattuna enemmän kehikossa 3 (taulukko 9).

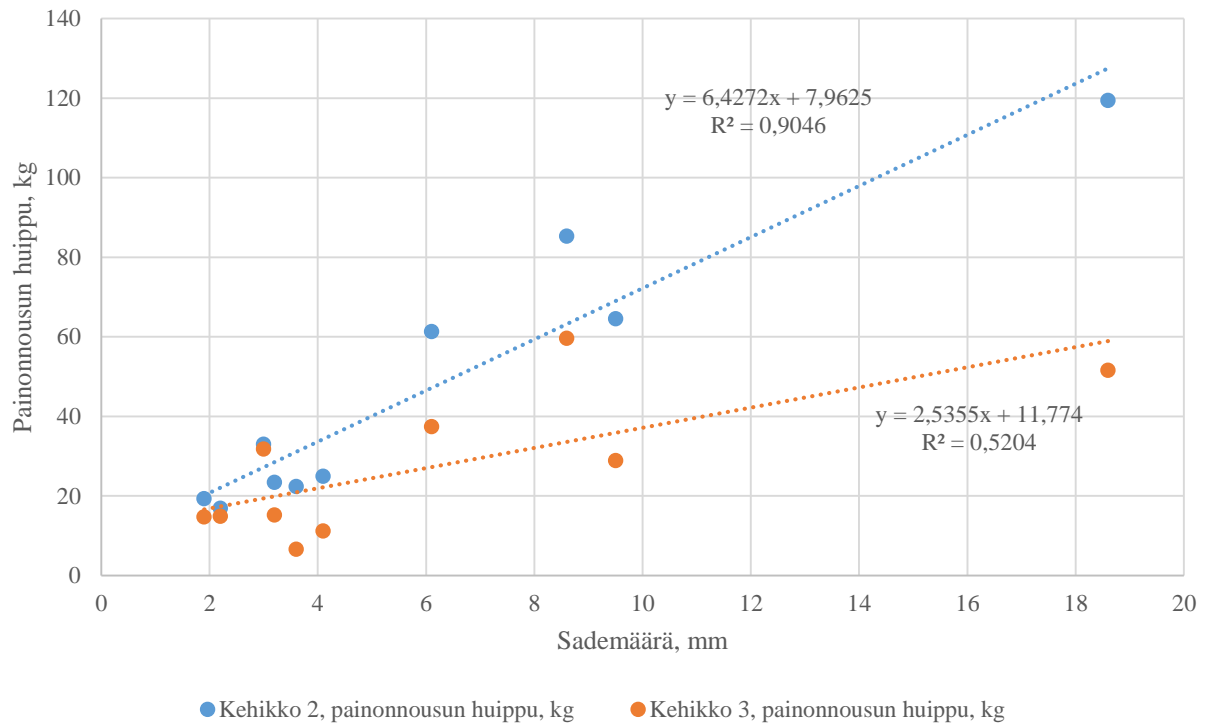
**Taulukko 9.** Kehikoiden 2 ja 3 rankojen absoluuttisen massan ja kosteuden kehitys kuivauskokeen aikana sekä muutokset alkutilanteeseen verrattuna.

	Kehikko 2, kg	Kehikko 2, kosteus, %	Kehikko 3, kg	Kehikko 3, kosteus, %
26.6.2013	8148	44,1	9269	50,1
30.9.2013	6358	28,4	6777	31,7
Muutos	-1790	-15,7	-2492	-18,4

Massa on pudonnut havaintojakson aikana kehikon 2 rangoissa 1790 kg ja kehikon 3 rangoissa 2492 kg. Erotus on 702 kg kehikon 3 hyväksi ja kehikon 3 rankojen massa on pudonnut 39,2 % enemmän kuin kehikon 2 sisältämien rankojen. Rankojen kosteus putosi puolestaan kehikossa 2 15,7 % ja kehikossa 3 18,4 %. Erotus on tässä tapauksessa 2,7 % ja suhteellisesti kehikon 3 rankojen kosteus on pudonnut 16,6 % enemmän kuin kehikon 2 rankojen.

Painonnousun huipun ja kuivumisajan pituuden riippuvuutta sademäärästä tarkasteltaessa tullaan samaan johtopäätökseen kuin taulukossa 5; kehikon 3 peittomateriaali pienentää sateen vaikutuksia tehokkaammin kuin kehikon 2 peite (kuva 12). Korrelaatio on selkeästi pienempi kehikon 3 osalta, joten samalle sademäärälle altistuessaan kehikon 3 rankojen paino kasvaa vähemmän kuin kehikossa 2 olevien rankojen. Mallin selitysstetta kuvaava  $R^2$ -luku on kehikolla 2 0,9 ja kehikolla 3 0,52. Malli selittää siis erityisen hyvin kehikon 2 painonnousun huipun riippuvuutta sademäärästä.

## Painonnousun huipun ja sademäärän välinen riippuvuus

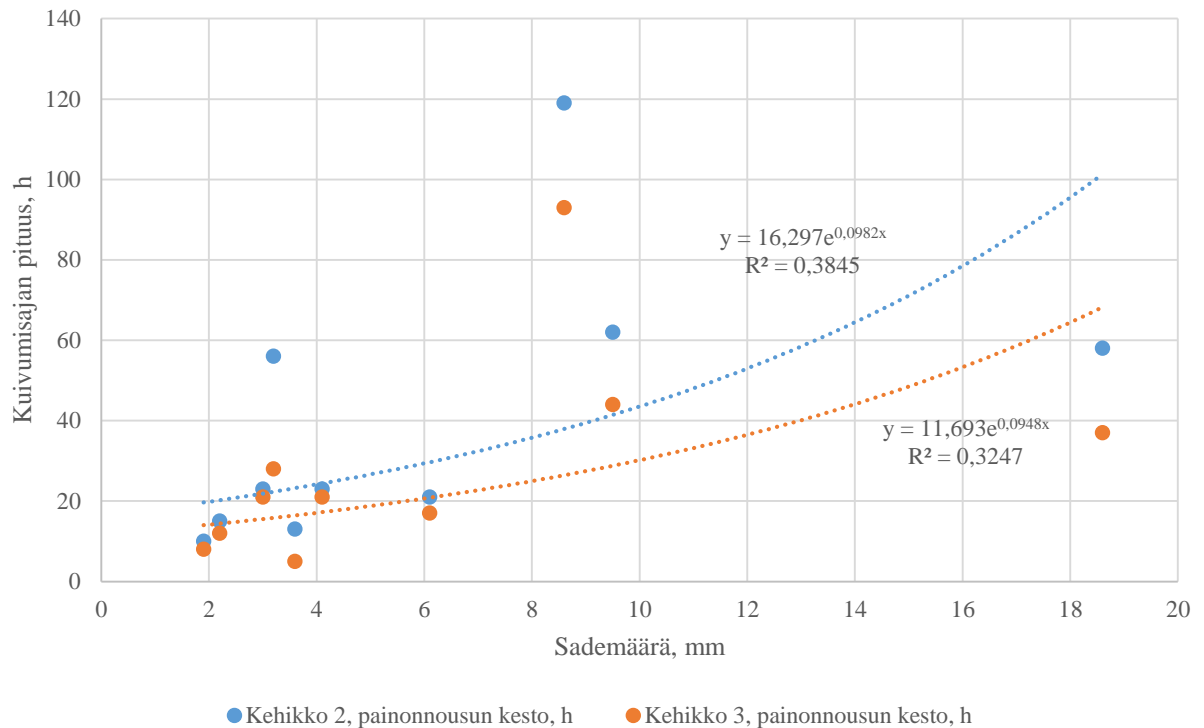


**Kuva 12.** Kehikoiden välinen vertailu painonnousun huipun ja sademäärän välisestä riippuvuudesta.

Kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen riippuvuus ei noudata yhtä selkeää linjaa kuin sademäärän ja painonnousun huipun välinen riippuvuus, mutta tässäkin on nähtävillä positiivista korrelaatiota kumpaisenkin kehikon osalta (kuva 13). Korrelaatiota kuvaavaksi jänäksi soveltui parhaiten kummankin kehikon tapauksessa eksponentiaalinen. Tämänkin riippuvuuden osalta kehikko 3 osoittaa pienempää positiivista korrelaatiota kuin kehikko 2, eli samalle sademäärälle altistuessaan kehikko 3 kuivuu nopeammin sadetta edeltäneeseen painoonsa, kuten taulukko 8 osoittaa.  $R^2$ -luku on tässä tapauksessa kehikolla 2 0,38 ja kehikolla 3 0,32.



### Kuivumisajan pituuden ja sademäärän välinen riippuvuus



**Kuva 13.** Kehikoiden välinen vertailu kuivumisajan pituuden ja sademäärän välisestä riippuvuudesta.

#### 4. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa selvitettiin kahden eri peittomateriaalin vaikutuksia sadeveden pidättyvyyteen energiarankakasoissa. Jahkonen ym. (2012) esittää harvennusenergian kuivumiskaudeksi toukokuun alun ja elokuun lopun välistä ajanjaksoa. Tutkimuksen perusteella kuivumiskausi loppuu syyskuun puoleenväliin, ja varsinkin kehikossa 2 vesipitoisuus lähtee itse asiassa jopa loivaan nousuun kohti syyskuun loppua. Hillebrandin (2009) mukaan avoimelle paikalle perustetun, peitetyn varastokasan kosteus alenee kesän aikana keskimäärin 36 %:iin, kun lähtökosteus oli kasojen perustamisvaiheessa keskimäärin 52 %. Tulos koskee pienkokopuuta, mutta kuten aineistosta havaitaan, molemmat karsittua rankaa sisältäneet kehikot kuivuivat kesän aikana alle 36 %:n kosteuteen. Tutkituista kehikoista erityisesti kehikko 3 vastasi Hillebrandin tutkimusta alkukosteuden (50,1 %) ja loppukosteuden (31,7 %) osalta. Kosteuden seuranta varten olettamuksena pidettiin kuiva-aineen massan muuttumattomuutta, minkä myös Hillebrandin tutkimus vahvistaa; koivu- ja mäntykokopuun kuiva-aineen tehollisessa lämpöarvossa ei havaittu merkittäviä muutoksia varastoinnin aikana. Tämä viittaa siihen, ettei

suuria muutoksia puuaineksen alkuainesuhteissa ehdi tapahtua yhden kesän varastoinnin aikana.

Riippuvuuksia tarkasteltaessa havaitaan, että kehikon 3 painonnousun huippu on huomattavasti vähemmän sateesta riippuvainen kuin kehikon 2 (kuva 12). Samansuuntainen havainto tehtiin myös painonnousun keston ja sademäärän välisestä riippuvuudesta (kuva 13). Kuitenkin on muistettava, että aineistosta löytyneet 10 tarkastelujaksoa on hyvin pieni otanta tilastollista analyysiä varten; samaa indikoivat regressioanalyysien P-arvot (kuvat 4, 5, 7 ja 8). P-arvot vaihtelivat välillä 0,12 – 0,29, kun yleisesti tilastollisesti melkein merkitsevän P-arvon rajana pidetään  $P < 0,05$  (taulukko 2). Tämä siis tarkoittaa, että 29 % todennäköisyydellä tulokset olisi voitu saada aikaan myös täysin sattumalta. Suurin P-arvo saatiin kuitenkin testattaessa sademäärän ja kuivumisajan pituuden välistä riippuvuutta, ja tässä tapauksessa on hyvä pitää mielessä, että tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota ainoastaan jaksonaikaisiin kumulatiivisiin sademääriin, eikä esimerkiksi sateen intensiteettiin. Tämä tarkoittaa sitä, että millimetreissä mitattuna suhteellisen vähäisenkin sade, pitkään jatkuessaan, pidentää kuivumisaikaa enemmän kuin rankempi, mutta lyhytkestoisempi sade. Alhainen merkitsevyytaso ja mallin selitystasetta kuvaava  $R^2$ -luku selittyvät suurelta osin juuri tällä.

Kehikon 3 rangat ovat kiistatta kuivuneet havaintojakson aikana nopeammin ja enemmän. Tästä ei kuitenkaan voi vetää suoraa johtopäätöstä Walki Oy:n Biomass Coverypiton paremmuudesta, sillä ero voi osaltaan selittyä myös alkukosteuden eroilla. Kehikoiden sisältämien rankojen kosteuksien erotus oli kokeen perustamishetkellä kehikoiden välillä 6 prosenttiyksikköä. Kehikko 3 oli kokeen perustamishetkellä kokonaisuudessaan 1121 kg painavampi kuin kehikko 2, ja näin ollen kehikon 3 rangoissa veden massa oli peräti 1051 kg suurempi. Kuivamassan ero oli puolestaan vain 70 kg, ollen myös suurempi kehikon 3 rangoissa.

Kärkkäisen (2007) mukaan puuta kuivattaessa energiamäärä veden poistamiseksi puusta on massayksikköä kohti sitä suurempi, mitä vähemmän vettä on jäljellä. Hän esittää veden poistamisen energiantarpeeksi kuuselle (*Picea abies*) esimerkiksi 1 % kosteus-suhteella 3303 kJ, vastaavasti 10 % kosteus-suhteella 2615 kJ ja 20 % kosteus-suhteella vain 2417 kJ. Kosteus-suhteella tarkoitetaan veden massan ja näytteen kuivan massan suhdetta. Tulokset koskevat 62,5 °C kuivauslämpötilaa, mutta havainnollistavat hyvin kuinka suuri merkitys puun kosteudella on veden poistamisen energiantarpeelle veden massayksikköä kohti. Ilmiöstä on mahdollista päätellä, että mikäli energiamäärä (lämpötila) ja ympäröivän ilman kosteus pysyvät

vakiona, on mahdollista että suurempi lähtökosteus selittäisi osaltaan kehikon 3 rankojen suurempaa kuivumista. Jahkonen ym. (2012) havaitsivat tutkimuksessaan, että energiapuubarastoon pidättyvän sadeveden määrään vaikuttavia tekijöitä ovat energiapuubarastolaji, varastomuodostelman koko ja korkeus, energiapuun kosteusaste ja sademäärä. Tämän tutkimuksen puitteissa oli mahdollista vakioida kaikki edellä mainitut tekijät alkukosteutta lukuun ottamatta - kehikot altistuiivat identtisille sademäärille, lämpötiloille ja ilmankosteuksille. Molempiin kehikoihin valikoitiin silmämääräisesti samankaltaista rankapuuainesta ja näistä pyrittiin tekemään kehikoihin muodoltaan ja korkeudeltaan yhtenevät kasat. Tutkimushypoteesi H1 (peittomateriaalien välillä on eroja) jää tulosten perusteella voimaan, sillä tutkimuksen aikana kehikon 3 rankojen massa pieneni 39,2 % enemmän kuin kehikon 2 rankojen, ja vastaavasti kosteus pieneni kehikon 3 sisältämissä rangoissa 16,6 % enemmän kuin kehikon 2 rangoissa. Lyhyen ja pitkän aikavälin seurantojen tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että peittomateriaalina Walki Oy:n Biomass Coverly onnistuu pienentämään sateen haitallisia vaikutuksia energiabarankakasalle paremmin kuin JL-tuote Oy:n PS-peitto.

Jatkotutkimuksen tarve on kuitenkin ilmeinen, sillä tämän tutkimuksen otanta on erittäin pieni, eikä esimerkiksi sateen intensiteettiä otettu tarkastelussa huomioon. Mikäli tutkimukseen sisällytettäisiin peittämätön kasa, peittämisen kustannukset töineen ja materiaaleineen sekä energiabarangan hinta, olisi mahdollista tehdä karkeita laskelmia peittämällä saavutetusta rahallisesta vaikutuksesta energiabarankaeriin myyntitilanteessa niin ostajan kuin myyjänkin näkökulmasta. Tämä olisi tärkeä ja mielenkiintoinen tieto, sillä nykyisin energiapuun mittaus perustuu pääosin painoon, kun taas puubarastolajimenetelmällä ainespuuta hakattaessa mittaus kohdistuu puiden tilavuuteen. Kosteudella on huomattavasti suurempi vaikutus puun massaan kuin sen tilavuuteen, joten kosteuden merkitys korostuu energiapuuliiketoiminnassa.

**KIRJALLISUUSLUETTELO**

Fredriksson, T. 2002. Hakkuutähteiden korjuu ja puuenergia. Teoksessa: Hyvämäki, T. (toim.). Tapion Taskukirja: 480 – 486.

Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi – yhteenveto aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista. VTT tutkimusraportti, VTT-R-07261-09: 4 – 6.

Ilmastonmuutos ja hillintä. 2014. [Verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa:  
[http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ilmastonmuutos\\_energia/ilmastonmuutos\\_hillinta.html](http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ilmastonmuutos_energia/ilmastonmuutos_hillinta.html).  
[Viitattu 9.4.2015].

Jahkonen M., Lindblad J., Sirkiä S., Laurén A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. Metlan työraportteja 241: 5 – 25.

Kaila, A. & Ihalainen, A. 2014. Metsävarat. Metsätalostollinen vuosikirja 2014: 33 – 78.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus Oy, Hämeenlinna. 468 s.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2006. Energiapuun korjuu. Hyvän metsänhoidon suositukset: 72 – 74.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2010. Energiapuun korjuu ja kasvatus. Hyvän metsänhoidon suositukset. 56 s.

Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet, Hämeenlinna. 230 s.

## LIITTEET

## Liite 1 Mekrijärven kuivauskokeen koejärjestelyt 2013

Kehikko	Materiaali	Peitto	Termoelementti	Alkupaino, kg 26.6.2013 * klo 11.30 ** klo 15.50	Valmispaino (lisätty peitot ja peittojen painot), kg 28.6.2013 klo 11.11	Alkukosteus, % 26.6.2013
1	hieman rankoja 20.9.2013  palstakasoilla kuivunutta latvusmassaa	-  PS	-  Lämpötila 13, keskellä kasaa  laitettu 8.1.2014	1042*	1092  1543	-
2	karsittua rankaa	PS	Lämpötila 13, keskellä kasaa  poistettu 8.1.2014	8148*	8291	44.1
3	karsittua rankaa	Walki	Lämpötila 15, keskellä kasaa	9269*	9377	50.1
4	karsittua rankaa	ei	-	9816*	10007	46.6
5	tuoretta latvusmassaa	Walki	-	2979**	3226	35.7
6	tuoretta latvusmassaa	PS	Lämpötila 11, kasan yläosa; Lämpötila 12, kasan alaosa	2977**	3210	48.0
7	palstakasoissa kuivunutta latvusmassaa	Walki	Lämpötila 14, keskellä kasaa	1427**	1640	21.12854 17.507 16.78231 24.94831 keskiarvo: <b>20.1</b>
8	tuoretta latvusmassaa	ei	Lämpötila 16, keskellä kasaa	2993**	3016	53.4
9	tuoretta latvusmassaa	ei	-	939**	982	42.0
10	tuoretta latvusmassaa	ei	-	1124**	1180	43.4