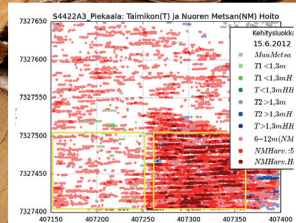


**Kalevi Pietikäinen**

# **Energiapuun tehokas käsittely ja kuivuminen**

**Metsä työllistäjänä  
ja ympäristön hoitokohteena**



# Energiapuun tehokas käsittely ja kuivuminen

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA 191

KALEVI PIETIKÄINEN

# Energiapuun tehokas käsittely ja kuivuminen

METSÄ TYÖLLISTÄJÄNÄ JA YMPÄRISTÖN HOITOKOHTENA

**NAARVA**

**PP** PENTIN PAJA Oy

**jamk.fi**

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUJA -SARJA  
Toimittaja • Teemu Makkonen

© 2014

Tekijät & Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Kalevi Pietikäinen

ENERGIAPUUN TEHOKAS KÄSITTELY JA KUIVUMINEN  
Metsä työllistäjänä ja ympäristön hoitokohteena

Kannen kuvat • Kalevi Pietikäinen & Pentin Paja Oy  
Ulkoasu • JAMK / Pekka Salminen  
Taitto ja paino • Suomen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print • 2014

ISBN 978-951-830-359-9 (Painettu)

ISBN 978-951-830-360-5 (PDF)

ISSN-L 1456-2332

JAKELU

Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjasto

PL 207, 40101 Jyväskylä

Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä

Puh. 040 552 6541

Sähköposti: [julkaisut@jamk.fi](mailto:julkaisut@jamk.fi)

[www.jamk.fi/julkaisut](http://www.jamk.fi/julkaisut)



# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	7
ABSTRACT .....	8
ESIPUHE.....	9
JOHDANTO .....	11

## OSA I – KLAPIEN KÄSITTELY

1 KÄSITTEET JA MITTASUUREIDEN ESITTELY .....	16
2 KLAPIEN KUIVUMISEN TEORIOITA .....	20
3 POLTTOPUIDEN LÄHTÖ- JA LOPPUKOSTEUDEN MÄÄRITTÄMISEN ONGELMAT .....	29
4 UUDET JA VANHAT VARASTOINTI- JA PINOAMISTAVAT .....	33
5 KLAPIEN TUOTTAMINEN METSÄSSÄ SYKEHARVESTERILLA .....	40
6 MISTÄ TUNNISTAA HYVÄN KLAPIN? .....	48

## OSA II – KUIVUMISNOPEUSKOKEET JA KESKEISET TULOKSET

1 KIEKKOJEN JA RULLIEN SISÄ- JA ULKOTILAKUIVATUS .....	52
2 KOIVUKLAPIEN KUIVATUS SISÄTILASSA JA KÄSITTELYTAVAT .....	59
3 KOIVUKLAPIEN JA LATVAN ULKOKUIVATUS.....	62
4 KOIVUKLAPIEN SISÄ-, PARVEKE- JA ULKOKUIVATUS .....	71
5 MÄNTYKLAPIEN SISÄTILA- JA ULKOTILAKUIVATUS.....	83
6 KLAPINIPPUJEN SISÄ- JA ULKOKUIVATUS.....	88
7 SUURSÄKITETTYJEN KLAPIEN HALLI- JA ULKOKUIVATUS .....	98
8 RASIIN KAADETUN KOIVUN KUIVUMISKOKEET KESÄLLÄ 2013 .....	106

## OSA III – YMPÄRISTÖHOITO JA TYÖLLISYYS

1	LASERKEILAAMALLA TARKKAA KOLMIULOTTEISTA TIETOA .....	110
2	NUOREN METSÄN HOITO- JA KORJUUTYÖN MÄÄRÄN ARVIOINTI ENSIHARVENNUKSESSA .....	112
3	BIOHIILEN TULEVAISUUSNÄKYMÄT .....	132
4	YMPÄRISTÖN HOITO JA TYÖLLISYYS .....	134
	YHTEENVETO .....	139
	LÄHTEET .....	142
	TUTKIMUKSEN ESITELMÄT JA MUUT JULKAISUT .....	145

# TIIVISTELMÄ

Kalevi Pietikäinen

Energiapuun tehokas käsittely ja kuivuminen

Metsä työllistäjänä ja ympäristön hoitokohteena

(Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 191)

Tutkimuksessa keskityttiin eri tavoilla käsiteltyjen klapien kuivumiseen ja laatuun vaikuttaviin tekijöihin. Tavoitteena oli määrittää erot kuivatustavoissa ja parantaa polttopuun laatua sekä minimoida riittävän laadun saavuttamiseen kuluva aika. Klapien kuivumista seurattiin punnituksella. Kuivumista seurattiin eri ympäristöissä, kuten ulkona suojaamattomana, parvekkeella ja sisätiloissa. Myös klapien halli- ja ulkotilakuivumista suursäikeissä tutkittiin. Tarkoituksena oli käsittely- ja kuivatustapojen suhteellinen vertailu ja kuivatustapahtuman kvalitatiivinen kuvaaminen.

Tuloksena saatiin kattava vertailu klapien käsittelylle ja kuivumiselle. Todettiin, että laadukkaiden klapien tuottamiseksi klapit tulee halkaista mielellään jo metsässä kaadon yhteydessä. Keski- ja kevättalvi ovat parhaat ajat tuottaa klapeja ja energiapuuta loppukevään ja toukokuun ollessa tehokkainta kuivumisaikaa. Metsänomistajien näkökulmasta on keskeistä nuorien metsien hoito ja hoitotöiden kiireellisyys. Valtakunnan tasolla keskeistä on energiapuuvarojen määrittäminen lentokonekeilauksella paikkatietoon sidottuna. Työllisyyspotentiaalit arvioidaan varsin suuriksi. Energiapuun tuotantoon yhdistyvät myös ympäristön hoito ja työllisyys.

Hakusanat: polttopuu (halot, klapit, pilkkeet), metsävarat, nuoret metsät, taajamametsät, kaukokartoitus (laserkeilaus), ympäristö

# ABSTRACT

Kalevi Pietikäinen

Energiapuun tehokas käsittely ja kuivuminen

Metsä työllistäjänä ja ympäristön hoitokohteena

(Publications of JAMK University of Applied Sciences, 191)

Different treating methods of chopped firewood and how they affect the speed of drying during different seasons are presented in this study. The aim was to define the differences between treating methods and improve the quality of chopped firewood and minimize the time required to reach adequate quality level for long-term storage and use.

Drying in different seasons was monitored by measuring the weight of untreated and treated chopped firewood samples. Long-term monitoring was performed in various environments.

The result was a comprehensive comparison made between treating methods and qualitative description of drying. It was found that to achieve good quality firewood should be chopped as soon as possible to speed up drying. It was also found that mid- or late winter and early spring is the best time for chopping firewood, because drying is fastest in late spring and humidity lowest.

The national forest resources were also examined. From owners' point of view the timing for treating young forests during the right season is important because it improves the value of the forest. This means huge potential for energy wood resource and employment, as well as taking care of environment.

Key words: chopped firewood, energy wood, drying, wood resource, young forest, laser-scanning, environment, remote sensing



## ESIPUHE

Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) ”Metsävara kunnostamattomissa nuorissa metsissä” -projekti on päätynyt keväällä 2014. Projektin tuloksena lentokonekeilausdatasta löydetään projektissa kehitetyn maanpintamallin ja algoritmien avulla taimikot ja nuoret kunnostamattomat metsät sekä voidaan määrittää niiden hoitotarpeet myös kuvioiden sisältä. Projektin innoittamana on syntynyt tarve tutkia Suomen energiapuuvaroja sekä klapien käsittelyä ja kuivumista. Kokorunkoina tuotettavan energiapuun tuotantoketju sisältää useita työvaiheita, ja kannattavuus on erityisen riippuvainen varastoidun puun loppukosteudesta. Kotitalouksissa käytettävien klapien arvonnousu on merkittävää, jos klapien käsittely- ja varastointitavalla laatu saadaan paremmaksi. Metsävara-projektin laserkeilauksen kaukokartoitusta käyttävillä algoritmeilla on tutkittu mm. Tervolan kunnan Piekäälä-nimisen metsätilan 29 ha nuoren metsän kunnostushakkuuta tilanteessa, jossa on rinnakkain juuri harvennettu ja harventamaton alue.

Polttopuiden käsittelyä ja kuivatusta on tutkittu eri tavoin ja lähtökohdista. Tässä tutkimuksessa menetelmäksi on valittu prosessitekkinen tarkastelutapa ja klapien punnitus. Prosessitekkinen aikavakion määrittäminen ja tarve verata kuivumisaikoja on ollut lähtökohtana. Käsittelytavoiksi on valittu halkaisu, rouhinta, viilto ja laikutus. Osa klapeista on jätetty käsittelemättä katkaistujen klapien kuoren säilyessä ehjänä.

Aikoinaan metsiin tehtiin halkomotteja, joissa kussakin oli noin yksi pino-kuutio halkaistuja koivuhalkoja. Metrini mittaiset halot tehtiin metsässä puun kaadon yhteydessä ja ladottiin pinomuotoon kuivumaan. Motti halkoja toimi samalla metsässä olevana pienvarastona, josta ne seuraavina talvina haettiin kuivuneina suoraan polttoon.

Sahatavaraa kuivataan hyvin pinottuna tai erillisissä kuivaamoissa. Kuivatus tapahtuu yleensä suhteellisen korkeassa lämpötilassa, tai kuivatusaika on vähintäänkin yksi vuosi. Näytteeksi on myös otettu yli 100-vuotias vanha hirsisiivu, joka ei sisällä haihtuvia aineita. Yli vuoden varastoidussa saha- ja polttopuussa solukko on kuollutta ja solujen sisäinen vesi on pääsääntöisesti haihtunut. Lyhytaikaisessa ulkotilakuivatuksessa polttopuun solut pysyvät elävinä. Pitempiaikainen tai sisätilassa 25 °C:ssa tapahtunut kuivuminen tuhoaa puun elävän solukon ja puu kuivuu pysyvästi kuivemmaksi ja keveämmäksi kuin ulkona. Kuollut puun solukko ei ime juurikaan ulkotilassa itseensä vettä.

Puun polton lähtökohtana on lämpöenergian saanti. Polton vaiheina ovat veden höyrystyminen, pyrolyysikaasujen palaminen ja hiiltojäännöksen palaminen. Pieni kosteus tosin voi edistää palamista mm. hiiltojäännöspalamisen yhteydessä. Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13 kertoo yksityiskohdaisesti ja energiantuottajien näkökulmasta halutusta laadusta.

Klapit sisältävät kosteutta, haihtuvia tai palavia pyrolysoituvia aineita ja tervoja sekä tietenkin kuivaa puuainesta. Klapien kuiva-aineen ja kosteusprosentin määrittämistä suorittavat useat laboratoriot mm. Ahma ympäristö Oy:n laboratorio Oulussa (Teollisuus- ja voimalaitosanalytiikan palvelut). Kuivuminen on energian ja aineen siirtoa. Tuore ja kostea puu sisältää kuivumisenergiaa, eli alussa puusta haihtuu suhteessa enemmän vettä kuin kuivumisprosessin loppuvaiheessa. Kuivuminen on tehokkainta, kun halkaistua tuoretta klapia kuivataan lämpimällä vähän kosteutta sisältävällä ilmavirtauksella. Kuivumisnopeuteen vaikuttavat myös klapien koko ja lämmönsiirtopinta-ala. Puusta leikatut kiekot (siivut) ja lastut kuivuvat todella nopeasti. Varastointitavalla on merkitystä energiapuun kuivumiseen. Kuivumista tapahtuu eri aikaskaaloissa, mikä johtuu mm. edellä mainituista seikoista: puusiivut tai kiekot tuntiluokassa, halkaistut klapiet ja klapienput vuorokausiluokassa sekä suursäkit viikko- tai kuukausiluokassa. Kesällä ulokuivatuksena käsittelemättömän kuorellisen kokopuun ja klapien kuivumisajat tasapainokosteuteen ovat 3–5 kuukautta loppukosteuden jäädessä 30–35 p-%:iin. Pilkottujen klapien tasapainokosteus ulkona kesällä on parhaimmillaan 15 p-%:n luokkaa, josta kosteuspitoisuus ulkokatoksen suojaan siirtämisen jälkeenkin nousee syksyn kosteudesta yli 20 p-%:iin. Kuiviksi saatuja klapeja ei saa jättää ulos sateeseen kastumaan. Loppukesällä läjiin jääneiden klapien sisältä on vaikea saada haihdutettua vettä. Sadevesi edesauttaa klapien pintojen homehtumista ja sienikasvustoja. Pentin Paja Oy:n Naarva S23 -sykeharvesteri varustettuna halkaisukiiloilla tekee yhdellä kertaa monivaiheisen klapien käsittelyn jo metsässä.

Marjatta ja Eino Kollinsäätiö on tukenut tätä tutkimusta.

Kalevi Pietikäinen  
Lehtori, Tekniikan lisensiaatti  
Jyväskylän ammattikorkeakoulu  
Teknologiayksikkö

## JOHDANTO

Metsäsektori pyrkii nuorien metsien kunnostukseen ja laadukkaan tukkipuun tuottamiseen. Metsäsuunnittelussa eletään parhaillaan murroksen aikaa ja metsien hoidossa toteutetaan myös jatkuvan hakkuun periaatetta, jossa vain haluttu puusto poistetaan tekemättä avohakkuuta koskaan. Maastossa tapahtuva metsänmittaus on kallista, minkä vuoksi kaukokartoitusmenetelmien käyttö metsäsuunnittelussa onkin yleistynyt viime vuosina. Esimerkiksi yksityismetsien metsäsuunnittelussa käytetään kuviotason metsikkötietoa kaukokartoitusmenetelmien avulla.

Metsien hoidon laiminlyömisestä seuraa Metsäkeskuksen arvion mukaan parinsadan miljoonan euron tulonmenetykset vuodessa jo pelkästään metsänomistajille. Suomessa on 3,3 miljoonaa hehtaaria metsää, joka tarvitsisi kiireellistä hoitoa tai hakkuuta, selviää Metsäntutkimuslaitoksen tekemästä valtakunnan metsien inventoinnista. Raivaussahaperkausta odottavia taimikoita ja harvennusta odottavia kasvatusmetsiä on 2,2 miljoonaa hehtaaria, ja loput 1,1 miljoonaa hehtaaria ovat uudistuskypsiä eli päätehakkuuta odottavia metsiä, joita ei ole uudistettu ajallaan tai joissa nykyisen puuston kasvatus ei muuten ole järkevää. 1,6 miljoonaa hehtaaria hoitamattomista metsistä on ollut hoitamattomana yli 30 vuotta, ja niiden hoitotarve on kiireellinen. (Toikkanen 2014, 9.) Energiapuuta tuotetaan nykyisin noin 8 milj. kiintokuutiometriä vuodessa. Korjuumäärä voitaisiin nostaa 16 milj. kiintokuutiometriin vuodessa. (Rantanen 2014.)

Energiapuun käsittelytapojen tutkimisella ja vertailulla etsittiin ratkaisuja pienpuun kuivumiseen liittyviin laatu- ja kannattavuusongelmiin. Riittävän kuivan energiapuun siirtäminen metsästä lämpö- ja voimalaitoksiin tuo kannattavuutta. Kuorellisen energiapuun kuivumiseen liittyviä ongelmia pyrittiin ratkaisemaan eri näkökulmista. Tavoitteena oli aikaan sidottu kvantitatiivinen (määrällinen) ja kvalitatiivinen (laadullinen) klapien ja energiapuun kuivumistapahtuman kuvaaminen. Tässä julkaisussa esitellään mittaus-tuloksia ja vertaillaan eroja eri tavoilla käsiteltyjen klapien vuodenajasta riippuvasta kuivumisesta. Tuloksia voidaan soveltaa laadukkaan polttopuun tuottamisen edistämiseksi myös suurissa erissä. Kun polttopuut (klapit) on ensimmäisen kerran saatu riittävän kuivaksi, ne ovat sieniltä ja lahottajilta toistaiseksi suojassa. Puiden laatu on korkea, ja ne eivät kuljeta mukanaan pölyä ja hometta. Tämän hankkeen tuloksista hyötyvät polttopuuta

käyttävät kotitaloudet ja energiapuuta käyttävät lämpö- ja voimalaitokset, energiapuukourien valmistajat, metsäkoneyrittäjät ja -urakoitsijat sekä metsänomistajat.

Lisäksi testattiin energiapuuvarojen määrittämistä kaukokartoituksella eräässä nuoren metsän hoitokohteessa, jossa on tehty lentokonekeilaus harvennustyön ollessa käynnissä. Tällä tavoin on saatu vertailuun hoitamaton ja hoidettu alue ja niiden aines- ja energiapuusaannot ja työmäärät. Lopuksi esitetään potentiaaliarvioita metsänhoidosta työllistäjänä ja ympäristön hoitokohteena.

## TUTKIMUKSEN JAKSOTUS

### 1. VAIHE 2012–2013

Mielenkiinnosta klapien kuivumiseen on tehty suuri määrä punnitukseen perustuvia mittauksia sekä kuivumiskokeita. Käsittelytavoiksi on valittu klapien aisaus, viilto, rouhinta, pilkonta. Osa klapeista on jätetty käsittelemättä ehytkuorisiksi. Rasiin kaadettu lehdellinen koivu on ollut kiinnostava. ”Aikavakioiden” määrittämisen soveltuvuutta ja antia on pohdittu. Osa tuloksista on raportoitu keväällä 2014. Pentin Paja Oy on tehnyt Naarva S23 sykeharvesterin lisälaitteena olevalla halkaisukiilalla klapien aisauksen, halkaisun ja suursäkityksen.

### 2. VAIHE KEVÄT 2014

Keväällä on suoritettu koejaksoja sisätiloissa sekä käsitelty klapit loppukeväästä tapahtuviin kuivatuskokeisiin ulko-, parveke- ja sisätiloissa. Myös suursäkkien kuivatuskokeet on toteuttanut Pentin Paja Oy hallissa ja ulkotiloissa. Vertailutavaksi on valittu klapien punnitus ja punnitustuloksien sovitussuhteessa alkupainoon. Alustavat käyriin sovitukset on suoritettu. Eri tavoilla käsiteltyjen klapien sisätiloissa kuivatuksen tulokset on raportoitu.

### 3. VAIHE KESÄ 2014

Kesällä on tutkittu kuivumista ja varastointia suursäkeissä. Talvella ja keväällä kaadetut ja käsitellyt puut on kuivattu ja varastoitu. On määritetty klapien kuivumisen aikavakioita ja kuivumisaikoja myös silloin, kun eri tavoin käsitellyt kuivat klapit kastuvat sateessa.

#### 4. VAIHE SYKSY 2014

Syksyllä 2014 on jatkettu klapien kuivumiskokeita ja tuloksien käsittelyä sekä raportointia. Raportti käsittely- ja kuivumiskokeiden tuloksista on päivitetty sekä koostettu 1. versio painettavasta kirjasta. Keskeisimmät klapien kuivumistulokset ja lentokonekeilaukseen perustuvat nuorien metsien kaukokartoitukseen perustuvat tulokset on esitelty Jyväskylän KoneAgria-messuilla 10.10.2014 ja messuesitelmä on julkaistu messujen ProArgia-sarjassa. Messuesitelmä sisälsi myös Pentin Pajan tuotteiden esittelyn ja S23-sykeharvesterin esittelyvideon.





Klapien käsittely



# 1 KÄSITTEET JA MITTASUUREIDEN ESITTELY

## KÄSITTEET

### AINESPUU

Ainespuu on raakapuuta, jota käytetään muuhun kuin polttopuuksi. Ainespuuksi nimitetään mitä tahansa raakapuuta, jota on taloudellisesti kannattavaa jalostaa. Sen tarkat mitta- ja laatuvaatimukset sovitaan ostajan ja myyjän välillä. Ainespuuta ovat tukki, pikkutukki, sahakuitu, erikoispuu, kuitupuu, kotitarvepuu, muu raakapuu.

### HALKO

Halot ovat noin 1 m:n pituisia, polttokäyttöön tarkoitettuja halkaistuja tai pyöreitä karsittuja pölkkyjä.

### KLAPI

Klapit ovat halkoja lyhyempiä, 0,25–0,50 m:n pituisia polttopuita. Klapeista käytetään usein myös nimitystä pilke.

### KOKOPUU

Karsimaton runko tai siitä tehty puutavara.

### PUUHIILI

Puuhiili on orgaanista hiiltä, joka valmistetaan kuumentamalla puuta ilmatto-massa tilassa (hiiltämällä eli pyrolyysin avulla). Puuhiili on haurasta huokoista materiaalia, jolla on puun alkuperäinen muoto ja jonka mikrorakenne säilyttää kasvisolurakenteensa. Pyrolyysissä eli puun hitaassa hiillossa syntyy kaasuja, kondensoituvia nesteitä ja kiinteää hiiltä. Puuhiilen valmistukseen käytetään mm. miiluja ja retortteja. Puuhiilen energiatiheys on suuri.

## RANKA

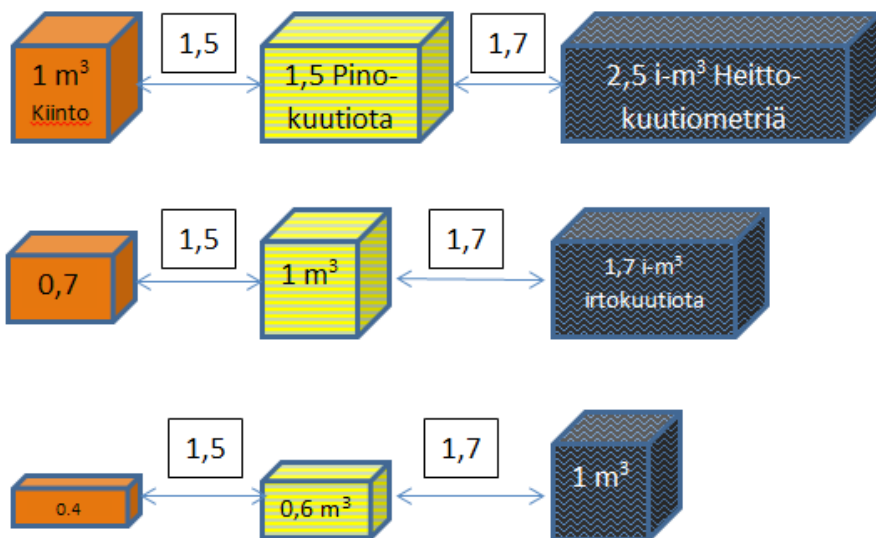
Karsittu runko ja pölkky, jotka eivät täytä ainespuun vaatimuksia. Termiä käytetään ensisijaisesti pienikokoisesta puusta.

## RASI

Rasikuivatuksella tarkoitetaan polttopuun korjuutapaa, jossa lehdelliset rungot jätetään kaadon jälkeen karsimatta, jolloin ne haihduttavat kosteutta elävän latvuksensa kautta.

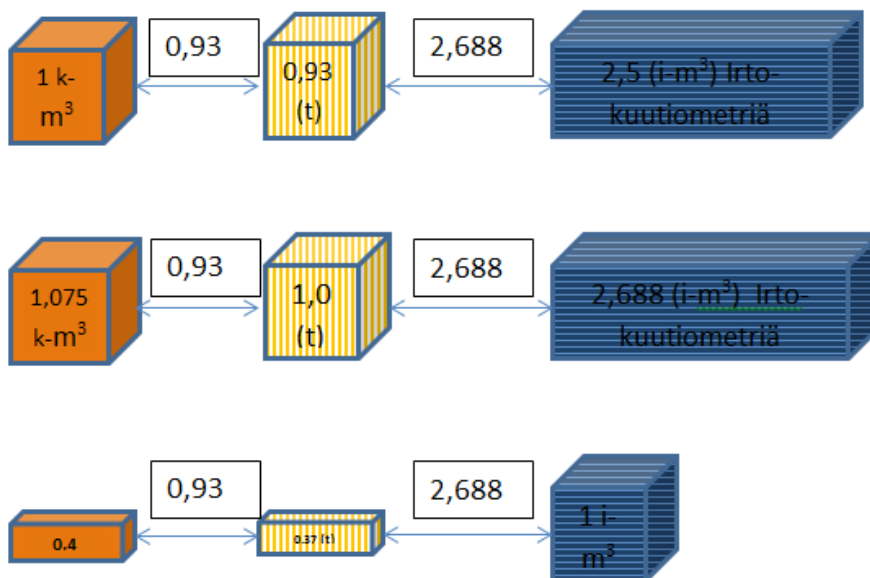
## MITTASUUREET

Klapeja on pääsääntöisesti myyty tilavuuteen perustuvilla mittayksiköillä. Yksiköinä on käytetty kiintokuutiota, pinokuutiota ja heitto- eli irtokuutiota. Kuviossa 1 on esitetty kaaviona mittasuureiden keskinäisiä suhteita. Suhdeluvut on saatu Perinnemestarin klapikirjasta (Rinne 2013, 15). Uutena suuntauksena klapeja ja energiakokopuuta halutaan myydä energiasisällön mukaan, jolloin tarvitaan erän paino ja tieto energiasisällöstä. Muunnoksia kiintokuution, pinokuution ja irtokuution välillä voi laskea Metsäkeskuksen Halkoliiteri.com-verkkopalvelussa Mitta- ja laatuvaatimuksia kohdan muuntolaskurin avulla. (Halkoliiteri 2011.)



Kuvio 1. Klapien kiintokuution, pinokuution ja heittokuution suhteelliset koot

Kokopuuta mitataan eli punnitaan kuormausvaa'alla tonneina (t) ja myyntihinta lasketaan kiintokuutiometreinä ( $k\text{-m}^3$ ). Kertoimet riippuvat mm. puulajista, paikkakunnasta ja vuodenajasta sekä hakkuuajankohdasta (kuivumisasteesta). Eräässä mäntyvaltaisessa ensiharvennuskohteessa kokopuun kuutiointi suoritettiin kuviossa 2 esitetyillä kertoimilla.



Kuvio 2. Energiapuun kiintokuution, tonnien ja irtokuution suhteelliset koot

Piekäälän ensiharvennuskohteessa saatiin seuraavanlaisia lukuja ja kertoimia. Energiapuuta mitattiin 1232,60 tonnia (t) ja kuutioiksi määritettiin 1325,30 kiintokuutiota ( $k\text{-m}^3$ ) ja 3313,25 irtokuutiota ( $i\text{-m}^3$ ). Kertoimiksi saadaan 1,075 ja 2,688 sekä jakajiksi 0,93 ja 0,372. Kertoimet riippuvat mm. vuodenajasta, paikkakunnasta ja puulajista. Ainespuun saanto koko alueelta oli 903,93 kiintokuutiota, ja energiapuun saanto oli 3313,25  $i\text{-m}^3$ , 1232,60 t eli 1325,30 kiintokuutiota. Hakattu puusto yhteensä oli kuviolla  $903,93 + 1325,30 = 2229,13\text{ m}^3$  eli  $76,5\text{ m}^3/\text{ha}$ . Uusi suuntaus on myydä ja ostaa energiapuuta energiasällön perusteella, jolloin myyntierän kokonaispaino ja energiasäiltö ( $\text{kwh}/\text{kg}$ ) tulee tietää. Taulukossa 1 on pilkkeiden lämpöarvoja 20 p-%:n kosteudessa. Vesipitoisuus, painoprosentit (p-%) eli vedenosuus kokonaisuudesta saadaan, kun laboratoriuunissa puunäytteistä haihdutettu veden paino jaetaan näytteen alkupainolla ja kerrotaan sadalla.

TAULUKKO 1. Pilkkeiden lämpöarvoja 20 p-%:n kosteudessa (Alakangas 2000)			
Puulaji	Lämpömäärä (kWh/kg)	Lämpömäärä (kWh/irto-m <sup>3</sup> )	Lämpömäärä (kWh/pino-m <sup>3</sup> )
Koivu	4,15	1010	1700
Mänty	4,15	810	1360
Kuusi	4,10	790	1320
Leppä	4,05	740	1230
Haapa	4,00	790	1330

## 2 KLAPIEN KUIVUMISEN TEORIOITA

Energiapuun kuivumisen yhteydessä tulisi puhua kuivumisesta ja kastumisesta. Tämä tutkimus ei perustu syvällisiin kuivumisen aineen ja energian siirron teorioihin. Lähtökohdaksi on valittu kuivumisen prosessitekkinen tarkastelu (aikavakiot). Tasapainokosteus saavutetaan kolmen aikavakion kuluttua kyseisissä kuivumisoloissa (lämpötila, tuuli, suhteellinen kosteus (vuodenaika)). Tasapainotilalla ja kuivumisajalla on suurempi painoarvo kuin todellisella kosteuspitoisuudella. Vertaillaan ja arvioidaan pohtimalla poikkeamien syitä.

Tässä tutkimuksessa kaatotuoreen klapiin lähtökosteudeksi on useimmiten valittu 50 % ja loppukosteudeksi saavutetun tasapainotilan kosteus. Ehdottoman tarkalla alku- ja loppukosteudella ei ole tässä tutkimuksessa painoarvoa. Punnituksen avulla on saatu käyrä, joka on suhteutettu alkupainoon. Käyrä kertoo veden haihtumisen paino-osuuksina. Laboratoriossa tehtävää kuiva-aineen määritystä ei ole tehty. Tutkimus pyrkii selvittämään ja vertailemaan kuivumisaikoja eri olosuhteissa ja sopivan tasapainokosteuden saavuttamista polttoa ja välivarastointia varten. On ilmeistä, että klapien tuottamiseen tarkoitettuja puita ei tulisi kaataa kasvun käynnistyessä toukokuussa, kun runkojen jälsi-, nilakerros sisältävät reilusti lahottajien ravinnoksi soveltuvia ravinteita. Myös klapien homehtuminen tulisi estää riittävällä kuivatuksella.

### POLTTOPUIDEN KOSTEUDEN JA ENERGIASISÄLLÖN SEKÄ TEHOILLISEN LÄMPÖARVON MÄÄRITTÄMINEN

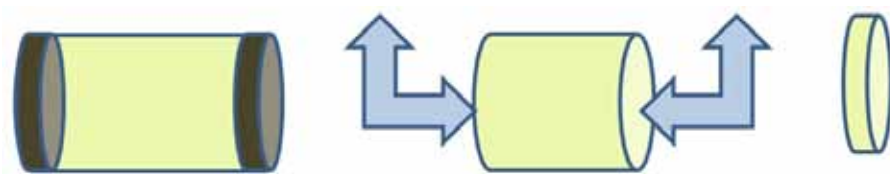
Ahma ympäristö Oy:n Oulun laboratorio tekee polttoaineiden analysointia. Biopolttoaineiden, kuten puun energiasisällön määrittäminen tapahtuu useassa vaiheessa. Puunäyte esihienonnetaan 25 mm:n kokoisiksi kappaleiksi ja sekoitetaan. Osa erästä kuivataan 105 °C:ssa. Alku- ja loppupainon erosta saadaan laskettua kosteuspitoisuus. Loppuosa kuivataan aluksi 40 °C:ssa ja hienonnetaan vielä alle 1 mm:n raekokoon. Jauhetusta näytteestä puristetaan pelletti, joka poltetaan kalorimetrissä. Lämpöenergia siirtyy veteen, jonka lämpötilamuutos kertoo energiasisällön. Toisessa vaiheessa näytteen kuivatusta jatketaan 105 °C:ssa, jolloin analyysikosteus määritetään standardin 14774-3 mukaisesti. Kaikki Ahma ympäristön laboratoriot ovat FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoimia ISO IEC 17025:2005 testauslaboratorioita. (Leinonen 2014.)

## EHYTKUORISTEN KOIVUKLAPIEN KUIVUMINEN

Ehytkuorisen klapin kuivumista voi kuvata ajatusmallilla ehytkuorisesta, vettä huonosti läpäisevästä ”klapiputkesta”, jonka päihin kuivuu tai muodostuu huonosti vettä läpäisevät ”korkit”. Elävä ja vastakaadettukin puu pyrkii suojaamaan pintavaurioita ja katkenneiden oksien kohdat mahlan ja tervojen tyypisillä tahmeilla, hyytyvillä aineilla. Talvella nopeiden säätömuutosten seurauksena syntyy puiden runkoihin pakkashalkeamia, joita elävät puut korjaavat kyljestymällä kyseiset kuorihaavat, jotta vioittuneet kohdat välttyisivät sisäisiltä lahopesäkkeiltä. Elävät puut pyrkivät tukkimaan halkeamat ja katkenneiden oksien kohdat, jottei niistä pääse tippumaan ravinteita ja vettä.

Tuoreesta koivupuusta leikattiin 20 cm pitkä kuorellinen tikku, jonka halkaisija oli 1 cm ja paino 18 g. Koivutikun läpi imettiin ensin 5 g vettä ja mahlaa. Seuraavassa kokeilussa imettiin uudelleen vesilasista 5 g vettä kolmessa minuutissa. Tuore koivusta tehty tikku toimii imentäpillin tavoin. Yhdessä kokeilussa tiputettiin vettä 3 cm paksun ja 25 cm pitkän ehytkuorisen koivuklapin läpi tyvisuunnasta latvaan päin. Kokeilu onnistui odotetusti, mutta veden virtausnopeus oli hidas ja vesimäärä erittäin pieni.

Kuviossa 1 on rullien ja kiekkojen kvalitatiivinen malli. Koivun ”vettä läpäisemätön” kuori on kasvavalla puulla hyvä suoja rungon kuivumiselle kuivina kesäkausina. Samalla vettä huonosti läpäisevä kuoriossa estää kaadetun puun ja klapien nopean kuivumisen. Perusteorianana on, että ehytkuoriset koivuklapit ensimmäisessä vaiheessa kaadon jälkeisenä kesänä kuivuvat pelkästään klapi molempien päiden kautta. Klapiin päihin tosin syntyy kuivumisen edessä vettä huonosti läpäisevät kerrokset puun suoja-aineiden ja solukkojen kuivumisen seurauksena. Täten ehytkuoristen klapien molempiin päihin voisi kuvitella syntyvän vettä huonosti läpäisevät ”korkit”, jotka estävät tehokkaan kuivumisen ja kostumisen. Samalla puussa olevan veden ja ravinteiden myötä muodostuu lahottajille otollinen kasvualusta. Myöhemmin tosin tuohi alkaa halkeilla ja irrota. Ohuiden koivu- ja leppäkiekkojen kuivuminen on nopeaa. Aikavakiot ovat kymmenien tuntien suuruusluokkaa. Puukiekkojen kuivumisajoista (1–2 vrk) voidaan nopeasti päätellä kyseisen klapien kuivumispotentiaaleja ja -aikoja. Tästä syystä kuivumiskokeisiin on otettu koivu- ja leppärullia (kiekkoja, siivuja) mukaan ja seurattu niiden kuivumisaikoja tasapainokosteuden saavuttamiseen. Määrityksen perusteena on painokäyrä, jonka punnitut painot otetaan prosentteina alkupainosta. Tällä tavalla muodostetut näytteet, klapi ja klapiput ovat toistensa kanssa vertailukelpoisia.



Kuvio 1. Rullien ja kiekkojen kvalitatiivinen malli

Kuvissa 1 ja 2 on leppänpöytästä tehtyjä kiekkoja. Kuivuessaan tällainen puukieppo alkaa kovertua tai halkeilla. Puun sisempi osa on aina vanhempaa, tiiviimpää ja kuivempaa puuainesta kuin tuore kasvava pintakerros. Kuivumisen seurauksena tuore pintakerros supistuu voimakkaasti ja aiheuttaa koveran tai halkeilleen pinnan. Halkeamia näkyy myös kauan kuivuneiden ehytkuoristen klapien päissä, mikä hiukan edesauttaa kuivumista. Kuviossa 2 esitetään klapien monivaiheisen käsittelytavan ja kuivatuksen vaihtoehtojen luokittelua.

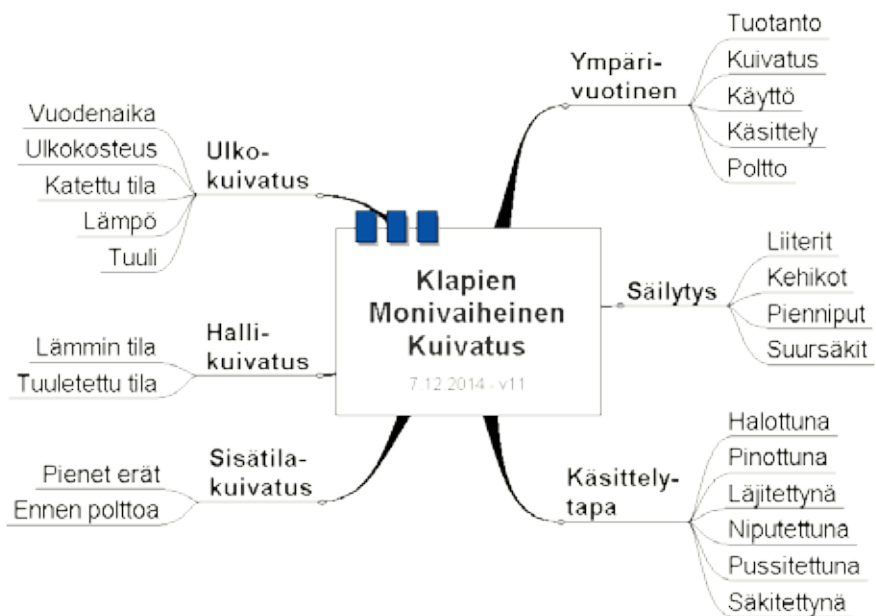


Kuva 1. Kuivuessaan käyrystyneet ohuet leppäkietot





Kuva 2. Kuivuksessa halkeilleet ohuet leppäkiekot



Kuvio 2. Klapien monivaiheisen käsittelytavan ja kuivatuksen vaihtoehtojen luokittelu

## POHDINTAA JA KLAPIEN KUIVUMISEEN LIITTYVIÄ KARKEITA TUNNUSLUKUJA

Syksyllä kaadetuista ja säkitetyistä klapeista vettä haihtuu tuuletetussa, lämpimässä hallissa noin 0,1 g/s, 5 g/min, 250 g/tunti eli noin 6 kg/vrk. Suursäkkien painoluokka oli noin 650 kg, joka oli mitattu kuivatuksen alussa. Jos hallissa on kolme suursäkkiä kuivumassa, yhteensä niistä haihtuu kuivatuksen aikana noin 860 litraa vettä. Koska vesi höyrystyessään laajenee 1000-kertaiseen tilavuuteen, ko. vesimäärästä muodostuu 860 m<sup>3</sup> vesihöyryä, joka on siirrettävä muualle. Veden höyrystyminen tarvitsee ulkopuolista energiaa. Tuuletusilmaa tulee olla reilusti, jotta poistuvan kuivausilman kosteus ei nouse 100 %:iin.

Kuivuminen perustuu mm. veden ja vesihöyryn osapaineiden, suhteellisen ilman kosteuden sekä ilmavirtauksen että ilman sisältämän lämmön vuorovaikutukseen. Kuivumisessa on kyse aineen ja energian siirrosta. Kaatotuoreiden pilkottujen klapien kuivumista tapahtuu kaikkina vuoden aikoina. Kuivumisen teho on sidottu kuivattavan kohteen mm. kosteuspitoisuuteen ja kuivausilman lämpötilaan, määrään ja suhteelliseen kosteuteen.

## VEDON JA TUULETUKSEN PARANTAMINEN KLAPISUURSÄKEISSÄ JA TERÄSVERKKOKEHIKOISSA

Piippuja vedon aikaansaamiseksi on käytetty mm. ulkovessoissa, kompostoreissa ja luonnollisesti myös uuneissa. Leivinuunien vetoa joudutaan usein parantamaan piippua jatkamalla. Veto syntyy paine-erosta piipun ylä- ja alaosan välillä. Piipussa ei saa olla vuotokohtia, joista paine-ero karkaa. Ilman paine on katon korkeudella pienempi ja maantasossa suurempi. Paine-ero johtuu siitä, että näkymättömiä ilmamolekyylejä on enemmän maanpinnan tasossa kuin talon piipun korkeudella. Ilma kerrostuu ja ilman tiheyden mukaan ilman ja sen sisältävien molekyylien paino vaihtelee. Tällaisia luonnon vetoon perustuvia piippuja voidaan käyttää myös kuivaimissa ja suursäkeissä sekä teräsverkoissa. Hatullisen piipun tulisi olla 2–5 m korkea, jotta saataisiin riittävä veto. Tällöin kuivausilma virtaisi suursäkkien sivuilta kohti keskiosaa ja edelleen piippua pitkin ylös. Klapisäkkien ja -kehikoiden sisälle asennettavien ilmakanavien tulisi olla ilmaa hyvin läpäisevää salaojaputkea. Kun tuotetaan suuria määriä klapeja, kaiken pitäisi tapahtua mahdollisimman vaivattomasti. Suursäkkien sisäosien tuulettamista voisi kehittää edelleen. Teräsverkkokehikoiden peitteet voidaan asentaa yläviistoon ja jättää klapien yläpuolelle reilun ilmatilan. Tällöin tuuli saa aikaan ali- ja ylipainetta ja vetoa klapikehikon sisäosiin.

## NESTEIDEN LIIKKEET RUNGON SISÄLLÄ

Puun rungolla on kyky kuljettaa nesteitä ja ravinteita elävän kuoren alla olevan jälsi- ja nilakerrossolukon avulla. Nesteiden kuljetuskyky perustuu solukoissa syntyviin ali- ja ylipaineisiin ja puoliläpäiseviin kalvoihin. Kaadettu puu pystyy kuljettamaan nesteitä kaadon jälkeenkin. Täten kuivumista voisi olettaa olevan eniten ehytkuoristen klapien ja rankojen katkaistuissa päissä.

## TUTKIMUSMENETELMÄN PERUSTEET

Energiapuun on taloudellinen ja ympäristöystävällinen energialähde. Riittävän kuivan energiapuun tuottaminen suurissa erissä tai nopeasti on ollut haasteellista. Tässä tutkimuksessa on käytetty punnitusta ja aikavakioiden määrittämistä selvittämään eri tavoilla käsiteltyjen koivuklapien kuivumista. Energiapuun käsittelytavoilla etsitään ratkaisuja pienpuun kuivumiseen liittyviin laatu- ja kannattavuusongelmiin. Riittävän kuivan energiapuun siirtäminen metsästä polttolaitoksiin tuo kannattavuutta. Kotitaloudet ovat valmiita maksamaan käyttämistään korkealaatuisista polttopuista hyvän hinnan.

Polttopuiden välitön käsittely kaatamisen yhteydessä ja siirtäminen kuivumistilaan on askelmainen prosessi. Kuivumistahtumassa vaikuttavat mm. ilman suhteellinen kosteus, lämpötila, vesi ja vesihöyryn osapaineet, tuuli, klapien alkukosteus, niputus, säkitys ja kuivumiseen käytetty vuodenaika. Tällainen askelmainen muutos on esimerkiksi polttopuun kaataminen ja pilkkominen sekä varastointi tietyssä vuodenaikana sisä- tai ulkotiloissa.

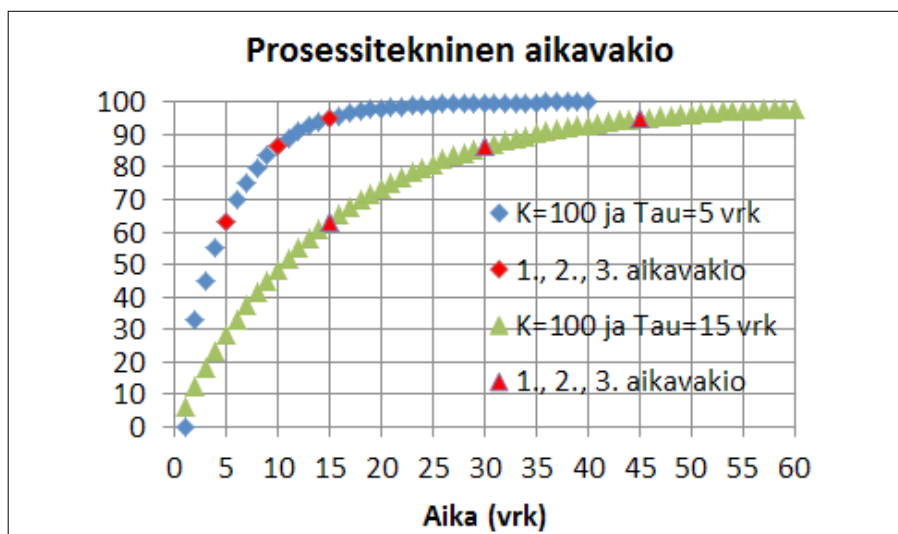
Koivun ”vettä läpäisemätön” kuori on kasvavalla puulla hyvä suoja rungon kuivumiselle kuivina kesäkausina. Samalla vettä huonosti läpäisevä kuoriosasto estää kaadetun puun ja klapien nopean kuivumisen. Klapien alkukosteus riippuu puulajista. Tuoreen koivun alkukosteuden on arvioitu olleen toukokuussa hiukan alle 50 % ja kesällä ja talvella 40–48 %. Absoluuttisella kosteudella tai puun sisältämällä vesimäärällä ei ole ollut tässä tutkimuksessa painoarvoa, vaan sillä, missä ajassa kosteus poistuu ja saavutetaan tasapainokosteus kuivan klapien talvivarastoon siirtämiseksi.

Tässä raportissa käsitellään keväällä tehtyjen, eri tavoilla käsiteltyjen koivun klapien kuivumista ja kuivumisaikoja prosessitekniikan aikavakioiden avulla. Toisissa vastaavissa raporteissa käsitellään mm. rasiin kaadetun koivun kuivumista, klapien ulkokuivatusta, klapien ja klapien kuivumista suursäkeissä sekä halli- että ulkotilakuivatuksena. Myös eri puulajien kuivumista on vertailtu. Raportissa on käytetty käsitettä klapi. Toinen nimivaihtoehto olisi pilke. Halko koetaan usein halkaistuksi, leivinuuneissa poltettavaksi pienpuuksi, jonka pi-

tuus on noin yksi metri, joten tätä nimitystä ei käytetä tässä raportissa, jossa vertaillaan lyhempiä, eri tavoilla käsiteltyjä ja käsittelemättömiä polttopuita.

## PROSESSITEKNINEN AIKAVAKIO JA SEN KÄYTTÖ ERI TUTKIMUSKOHTEISSA

Prosessiteknisen aikavakion määrittäminen on otettu tutkimuksen menetelmäksi, koska sen avulla voidaan vertailla ja arvioida kuivumisaikoja ja ulkoisten olosuhteiden muutoksia. Syntyy ideaaliskoittimen mukaisia käyriä ja poikkeamia ideaalisista käyristä. Prosessitekninen 1. aikavakio (ks. kuvio 3) kertoo tässä asiayhteydessä, missä ajassa kuivumisprosessi on edennyt 63,2 %:iin suhteessa tasapainokosteuteen, eli 63,2 % puun haihtumiskelpoisesta vedestä on poistunut puusta kyseisessä ajassa. Kahden aikavakion kohdalla haihtumiskelpoisesta vedestä on haihtunut 86,5 % ja kolmen aikavakion kohdalla 95 %. Aikavakioiden avulla voidaan kuivumisnopeuden vertailut sitoa aikaan. Klapien kuivumisen painokäyrän muoto on laskeva, mutta vastaavan haihtuneen veden määrän painokäyrä on nouseva. Tarkkaa absoluuttista kosteutta ei ole määritetty klapien tekohetkellä eikä tasapainokosteudessa. Punnitukseen perustuvat kuivumiskokeet on aloitettu 1. koejaksolla keväällä 2012 tammikuun 7. päivänä, jolloin koepuuna oleva koivu on kaadettu, katkottu ja klapi käsitelty valituilla tavoilla. Klapeja on sulatettu kolme päivää autotallissa muutaman asteen lämpötilassa, minkä jälkeen ne on siirretty lämmitettyihin, tuuletettuihin sisätiloihin.



Kuvio 3. Havainnollinen kuva aikavakion (Tau) muuttujista

Käsitteitä prosessitekniinen kuollut aika ja aikavakio käytetään elektroniikassa ja prosessitekniikassa. Vahvistuksella (k) tarkoitetaan askelmaisen pitoisuusmuutoksen vaikutusta ulostulosuureen muutokseen aikavakion ilmoittamalla nopeudella. Esimerkiksi hyvin sekoitetussa tankissa on jo nestettä 100 litraa ja tankkiin virtaa 100 litraa uutta nestettä ja 100 litraa poistuu sekoitettua nestettä tietyssä ajassa. Kyseinen aika on aikavakio eli aika, jonka kuluessa tankkiin tuleva neste on kertaalleen vaihtunut. (Aikavakio (Tau) on  $V (100 \text{ m}^3) / F (100 \text{ m}^3/\text{h})$  eli  $100 \text{ l}/(100 \text{ l}/60 \text{ min})$  60 minuuttia (1 h)). Aikavakiolla tarkoitetaan aikaa, joka saadaan jakamalla säiliön nestetilavuus säiliön läpi jossain aikayksikössä virtaavalla nestevirtauksella askelmaisen pitoisuusmuutoksen yhteydessä. Klapien kuivatuksella on yhtäläisyyksiä ja eroja prosessitekniiseen aikakäyttämiseen. Klapien ja kuivatuserien koko vaikuttaa oleellisesti aikavakioon kuten myös tuuli ja suhteellinen kosteus sekä halkaistujen klapien kuoreton pinta-ala. Kuivumisviivettä tapahtuu syksyllä, sydäntalvella sekä keväällä. Kevättalvella ilman lämmitessä haihtunut vesimäärä (paino) voi muodostaa suoran, joka käyristyy siirtofunktioksi toukokuussa. Aktiivisin kuivatusaika on loppukevät ja alkukesä, jolloin kuivumisviivettä ei juuri ole ja kuivumisajat (aikavakiot) ovat lyhimmillään. Askelmaista tapahtumaa kuvaa puun kaataminen ja klapien teko. Prosessia kuvaa tuulen ja lämmön vaikutus veden haihduttamiseen. Virtausta kuvaa tuuli ja poistuva vesihöyryinen ilma.

Askelmaisen pitoisuusmuutoksen vasteesta voidaan laskea ja päätellä prosessin viive eli kuollut aika, vahvistus K ja aikavakio Tau. Prosessin viiveaika (kuollut aika) Te on askelmuutoksen ja prosessimittauksessa havaittavan muutoksen välinen aika.

Vaste aikatasoon muutettuna:

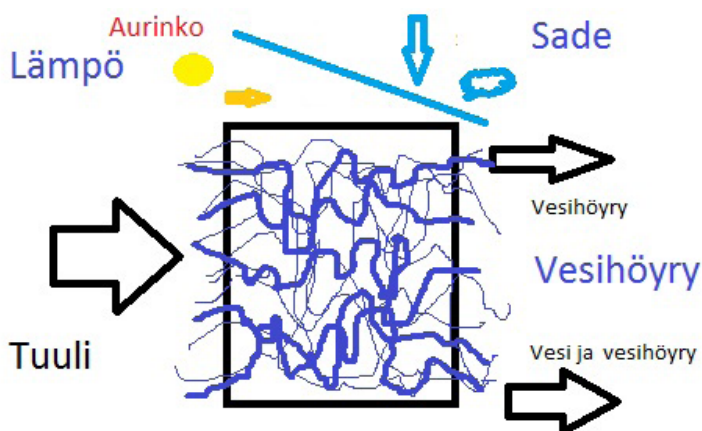
$$Y(t) = K * (1 - e^{-(t+Te)/Tau}) c(t) = K * (1 - 1/e^{(t-Te)/Tau}) c(t) \quad (1)$$

Paino alkupainosta prosenttia  $(t) = 100 - \text{Vahvistus} * (1 - 1/(2,71828^{((t-Viive)/Aikavakio)}))$

Kuollutta aikaa (viivettä) ja aikavakiota voidaan käyttää kaikkien aikariippuvien ilmiöiden tutkimisessa, jotka noudattavat kyseisen käyrän muotoa ja ohjaisuuteen muutokset ovat askelmaisia. Tällaiseksi ilmiöksi tässä tutkimuksessa on todettu klapien tai rasiin kaadetun koivun kuivuminen. Muutoksen tulee olla askelmainen ja ulkoisten olosuhteiden tulee pysyä kutakuinkin samanlaisina. Askelmaisen muutoksen vaikutusta ulostulosuureen loppuarvon ja lähtöarvon erotukseen kutsutaan vahvistukseksi. Alku- ja loppupainon avulla voidaan arvioida alku- ja loppukosteusprosenttia. Kun tehdään puukiekko tai halkaistu klapi, alkupaino tulee punnita välittömästi. Yksittäisen ohuen puukiekon tai -rullan aikavakio on tunteja, ohuen käsitellyn klapiin ja klapiinipun päiviä, klapiinippukasan viikkoluokassa ja suursäkkien kuukausiluokassa.

## KVALITATIIVINEN KLAPIEN KUIVUMISTILAN MALLI

Kuviossa 4 on kuivumistilaa verrattu prosessitekniseen ideaalisekoittimeen, jonka aikavakio voidaan määrittää tuulen, lämmön ja ilmaa läpäisevän säiliön koon perusteella. Säiliön tai verkkosäkin tilavuus on  $V$  ( $m^3$ ). Läpivirtaava tuuli tai oikeammin vesihöyryn ja lämmön virtaus kuvaa virtausta  $F$  ( $m^3/h$  tai  $kg/vrk$ ). Suhteellinen kosteus vastaa tulevan ilman vesihöyryn pitoisuutta ( $g/m^3$ ), joka kuivumisprosessissa kasvaa hiukan. Aikavakio  $\tau$  ( $V/F$ ) kuvaa aikaa, jonka kuluttua klapeista on poistunut 63,2 % haihtumiskelpoisesta vedestä. On luonnollista, että halkaistujen klapien, klapiinippujen ja klapi-kassien sekä suursäkkien koko vaikuttaa kuivumisaikoihin. Kuollutta aikaa eli aikaa, jolloin kuivuminen ei käynnisty, esiintyy eri syistä. Talvella lyhytaikainen kuollut aika syntyy, kun jäinen puu tuodaan sisätiloihin ja kylmään pintaan tiivistyy aluksi ilman kosteutta. Tästä syystä syntyvä kuollut aika on hyvin lyhytaikainen. Kuollutta aikaa syntyy tai kuivuminen keskeytyy talvella ulkokuivatuksessa, kun ilman lämpötila laskee pakkaselle tai suhteellinen kosteus nousee lämpötilan laskiessa. Alkukevällä ilmojen lämmitessä ulkokuivatuksessa klapien punnituskäyrä muodostaa suoran. Vasta loppukevään punnituskäyrästä voidaan laskea aikavakiot. Samoin pakkaset ja sateet tekevät kuollutta aikaa kuivumisen alkuvaiheessa.



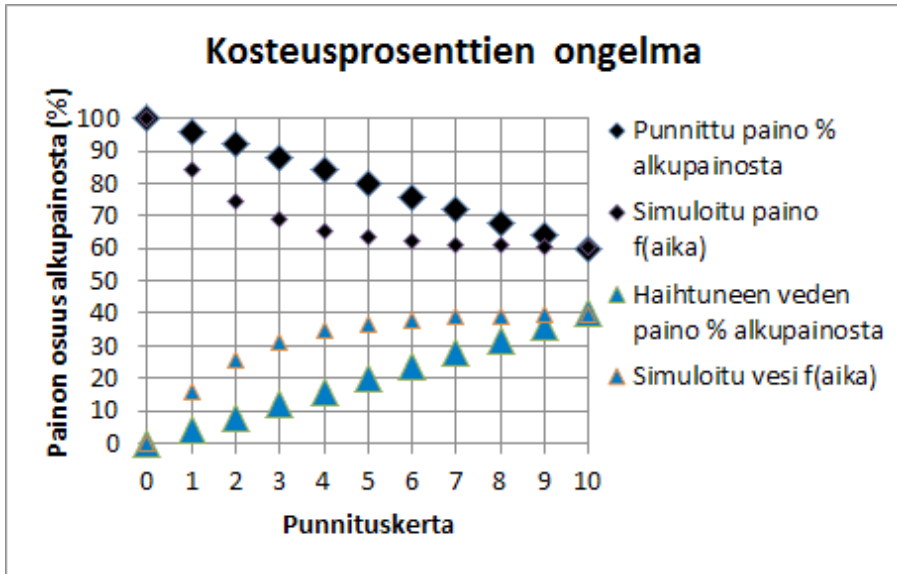
Kuvio 4. Kvalitatiivinen klapien kuivumistilan malli ”Melkein ideaalisekoitin”

### 3 POLTTOPUIDEN LÄHTÖ- JA LOPPUKOSTEUDEN MÄÄRITTÄMISEN ONGELMAT

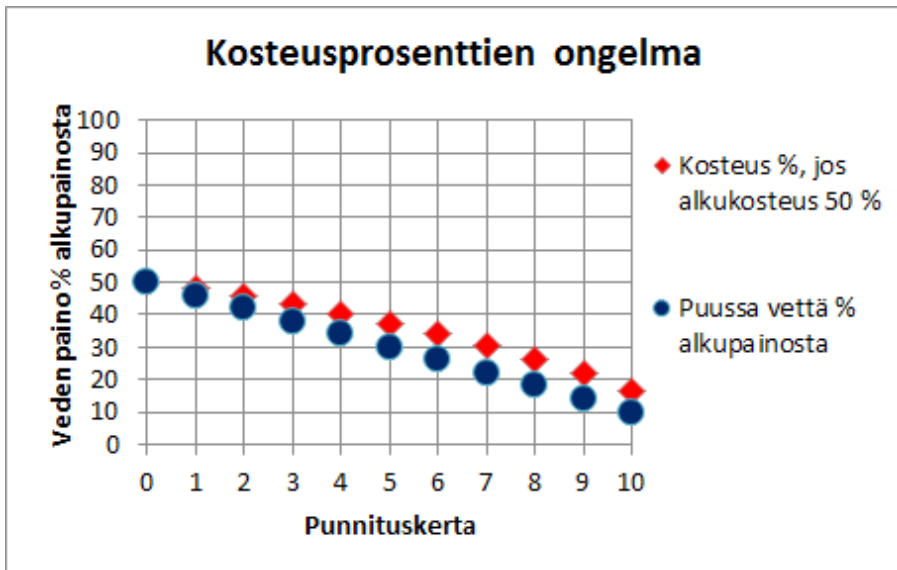
#### PUUN KOSTEUDEN MITTARIT JA KOSTEUDEN MÄÄRITTÄMINEN

Klapin kosteus tulisi mitata puun halkaisun yhteydessä halkaisupinnalta alku- ja loppukosteuden määrittämiseksi. Kaupalliset mittarit on tarkoitettu enimmäkseen sahatavaran kosteuden mittaamiseen (10–40 %). Mittauspinnan tulisi olla mittaushetkellä halkaistua puuta. Tämän tutkimuksen koejaksoissa klapit ja klapiniput on punnittu tietyin aikaväleihin, mikä tuo mahdollisuuden sovittaa kaikki punnitustulokset suhteessa alkupainoon prosentteina. Puun kosteusprosentit suhteutetaan aina sen nykyiseen painoon eli tulos vääristyy hiukan. Kosteuspitoisuus voidaan suhteuttaa puun kuiva-aineen painoon, jos se on mitattu. Kuvioissa 1 ja 2 on graafisesti esitettyä kosteusprosenttien ongelma. Punnitun puun paino ja suhteellinen muutos alkupainosta kertoo myös haihtuneen veden määrästä. Tämä tuo mahdollisuuden vertailla eri koeeriä keskenään, vaikka todellista tarkkaa kosteutta ei tiedetä. Alkukosteudeksi voidaan arvioida esim. 48 % tai 50 %. Haihtuneen veden määrän lisäksi tässä tutkimuksessa on tärkeää punnituskäyrän muoto ja aika, jossa kuivatettava vesi poistuu. Esimerkiksi koe-erän alkupaino on 100 yksikköä ja loppupaino 60 yksikköä; vettä on näin ollen haihtunut 40 yksikköä. Painolle ja haihtuneelle vedelle on myös piirretty aikariippuvat mallikäyrät.





Kuvio 1. Kosteuden laskeminen painon osuutena alkupainosta

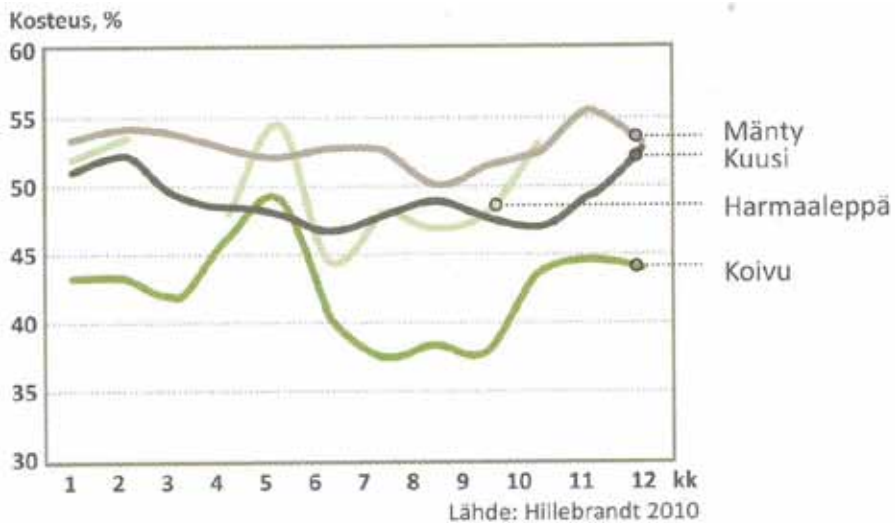


Kuvio 2. Kosteusprosenttien ongelma

Ongelmana on se, että eri kosteusprosentteissa haihdutettavan veden määrä on erisuuruinen. Kuivumisajan aikavakion määrittäminen voi olla ongelmallista. Ulkoisten olosuhteiden tulee olla lähes muuttumattomat. Tämä on ongelma tulkittaessa talvella ja alkukeväästä tapahtunutta kuivumista, kun lämpötilan kohotessa ja suhteellisen ilmankosteuden laskiessa kuivumisnopeus kiihtyy. Lähtötilanteen muutoksen tulee olla askelmainen. Kuivumisaika ja -aste on kyettävä laskemaan tai arvioimaan. Tätä kirjaa varten tehdyissä kuivatuskokeissa kuivumisastetta arvioitiin vain karkealla tasolla painon muutokseen perustuen.

## POLTTOPUIDEN LÄHTÖ- JA LOPPUKOSTEUDEN MÄÄRITTÄMISEN ONGELMAT

Puiden kosteus ei jakaannu tasan puiden sisäosien ja pintaosien välillä. Isojen puiden sydänpuu on huomattavasti kuivempaa kuin tuore pintapuu tai puun kuorikerros. Elävien puiden kosteus laskee hiukan talveksi, jolloin puilla on lepotila. Keväällä lehtipuiden juuresta nousee runsaasti sokerisia ravintoaineita sekä kosteutta. Kasvun käynnistyessä puun runko-osan kosteuspitoisuus on korkeimmillaan. Kesällä ja talvella pystypuiden kosteuden voidaan olettaa olevan noin 45–50 %:n tasossa. Kuviossa 3 näkyy puiden vuodenaikojen mukainen kosteudenvaihtelu (Rinne 2013a). Tämän tutkimuksen lähtökohtana ei ole ollut mitata tarkkoja kosteuspitoisuuksia, vaan selvittää ja vertailla eri tavoin käsiteltyjen klapien kuivumisnopeuksia. Loppukosteuden tulee kuitenkin olla riittävän alhainen varastointiin ja polttoon. Kotitalouksissa ei ole mahdollisuutta tai halukaan kuivata klapeja hyvin tuuletetuissa sisätiloissa, jossa lämpötila ja suhteellinen kosteus mitataan ja säädetään halutuksi. Useimmat puiden kosteuden mittarit mittaavat vain 50 % pienempiä kosteuspitoisuuksia. Kyseiset mittarit on tarkoitettu lähinnä sahapuutavaran kosteuden mittaamiseen. Sahatavaran kuivatus ja kuivaimet eroavat polttopuun kuivauksesta merkittävästi mm. siksi, että sahatavara tulee kuivata noin 8 %:n kosteuteen. Kuivattamista jatketaan korkeassa lämpötilassa tai niin kauan, että solujen sisäinen vesi ja ravintoaineet myös poistuvat ja solut kuolevat. Huonekaluihin käytettävää puutavaraa on yleensä kuivattu vähintään vuosi. Yksi tällainen puun kosteusmittari on ALL005 EM4806, jonka mitta-alue on 8 %:sta 40 %:iin. Mittarissa on kaksi pientä piikkiä, jotka painetaan välittömästi ennen mittausta halkaistun klapiin pintaan. Yksi tapa mitata puutavaran kosteutta on kuumentaminen korkeassa lämpötilassa. Kuumentaminen tuottaa haasteita kosteuden määrittämiseen puussa olevien haihtuvien tervojen vuoksi. Metsätehon tulosalvosarjan artikkelissa on testattu menetelmiä energiapuun kosteuden mittaamiseen metsäkuljetusten yhteydessä (Tuunanen, Melkas, Hämäläinen & Palander 2014).



Kuvio 3. Puiden vuodenaikojen mukainen kosteuden vaihtelu (Rinne 2013a)

Tässä tutkimuksessa lähtökosteudeksi on useimmiten valittu 50 % ja loppukosteudeksi saavutetun tasapainotilan kosteus, joka on laskettu punnituksen perusteella. Ehdottoman tarkalla alku- ja loppukosteudella ei ole tässä tutkimuksessa painoarvoa. Tutkimus pyrkii selvittämään ja vertailemaan kuivumisaikoja eri olosuhteissa ja sopivan tasapainokosteuden saavuttamista polttoa ja välivarastointia varten. Klapien kuiva-aineen, kosteuden ja energiasisällön määrittäminen laboratoriossa antaisi tälle tutkimukselle merkittävän lisäarvon. Klapien energiasisältöön liittyviä asioita on käsitelty VTT:n julkaisussa Energiapilke-konsepti polttopuun tuotanto- ja toimitusketjussa (Erkkilä, Strömberg & Hillebrand 2012). Kosteus voidaan myös määrittää veden osuutena kuiva-aineeseen tai veden osuutena veden ja kuiva-aineen yhteispainoon.

Klapeja ei tulisi kuivata sisätiloissa energiataloudellisin perustein, koska veden haihduttaminen tarvitsee polttoaineilla tuotettua lämpöenergiaa ja haihtunut vesi tulee poistaa sisätiloista. Klapien kuivatuksessa tulisi hyödyntää kevätkauden ulkotiloissa olevaa alhaista kosteuspitoisuutta ja suoraan auringosta saatavaa lämpöenergiaa ja tuulta. Keväällä ja alkukesästä Suomen ilmastossa on reilusti klapien ja polttopuun kuivatuspotentiaalia, jota tulisi hyödyntää oikealla ajoituksella.

## 4 UUDET JA VANHAT VARASTOINTI- JA PINOAMISTAVAT

### KLAPIAITA

Ikitaio Oy valmistaa kivitoreja, joita voidaan myös käyttää klapien kuivatukseen ja varastointiin ympäristöystävällisesti. Kivikorit valmistetaan 7 mm:n ja 5,5 mm:n teräslangasta. Korit toimitetaan kokonaisina myös asiakkaan tai käyttötarkoituksen mukaan. Koreista on helppo koota monenlaisia rakenteita porrastamalla niitä maaston mukaan, laittamalla päällekkäin tai kokoamalla ne ketjuiksi. Klapiet syötetään rakennelman yläosasta ja puretaan alaosan luukusta. Katto-osan pelti on turvallisuussyistä aika kapea. Kuva 1 klapiaidasta on otettu Jyväskylän asuntomessuilla 2014 (Ikitaio 2014)



Kuva 1. Jyväskylän asuntomessuilla esitelty klapiaita

Kuvassa 2 klapit ovat kuivumassa teräsverkkokehikoissa, joiden yläosaan on jätetty ilmatilaa kuivumisen edistämiseksi. Aluksi pressut oli asetettu viistoon, jotta tuuli tehostaisi yli- ja alipainetta sekä vetoa klapikehikon sisäosissa. Polttopuut on tuotettu vuonna 2010 kyseisiin varstokehikoihin ja sen jälkeen poltettu hyvälaatuisina seuraavan viiden vuoden aikana.

Kuvassa 3 esitellään klapi-nippujen hyvin tuulettuva kuivauspaikka, kuljetus ja loppusijoitus sisävarastossa. Klapien kuivuminen on erityisen tehokasta klapi-nippuissa. Niput tulisi tehdä heti metsästä tuoduista pölkyistä pilkkomisen jälkeen. Naruna on käytetty paalinarua, joka on taitettu kaksinkertaiseksi silmukaksi. Nippujen läpimitta on noin 30 cm. Suurin työ on klapi-nippujen teko, jossa viimeiset klapit pitää takoa vasaralla tiukan kannettavan nipun saamiseksi. Kuivuessaan yksittäiset klapit ja klapi-nippu supistuvat hiukan. Pinottaessa nippuja niiden väliin syntyy tuulettumista suosivia aukkoja. Pieninä erinä hyvin tuulettuvaan varastoon niputetut klapit voidaan varastoida tuoreena suoraan metsästä tuotuna.



Kuva 2. Klapit kuivumassa teräsverkkokehikoissa





Kuva 3. Klapinippujen hyvin tuulettuva kuivauspaikka, kuljetus ja loppusijoitus sisävarastossa

## KLAPIKASSIT, VERKKOPUSSIT, KLAPISÄKIT JA VERKKOSÄKIT

Internetistä löytyy useita yrityksiä, jotka myyvät kyseisiä tuotteita ja niihin soveltuvia telineitä ja suojaressuja. Tuotevalikoimassa on myös hyvin ilmaa läpäiseviä klapien verkkosäkkejä. Espegard on yksi näiden tuotteiden toimittaja (Espegard 2014). Espegardilla on tuotevalikoimassa mm. lavasäkit ja lavasäkkitelineet sekä nostolenkkisäkit. Verkkosäkeissä on hyvä UV-suojaus, ja ne on valmistettu vahvasta narusta. Säkeissä on neljä nostolenkkiä ylä- ja alaosassa, mikä tekee siirron ja tyhjennyksen helpoksi. Klapisäkin ovat kooltaan 30, 40, 60 tai 80 litran kokoisia. Kuvassa 4 vasemmalla on verkkopussin rakenne ja oikeassa reunassa verkkosäkin rakennetta ja yksi nostolenkeistä. Kyseisen verkkosäkin (136) solmittujen aukkojen koko on 5 cm \* 5 cm, joten tuuletusilma pääsee vapaasti puhaltamaan 1,5 m<sup>3</sup> vetävän klapisäkin läpi. Kuvassa 5 verkkosäkit on täytetty klapeilla.



Kuva 4. Vasemmalla verkkopussin ja oikealla verkkosäkin rakennetta



Kuva 5. Eri valmistajien klapisuursäkkejä

## HALKOMOTTI

Halkomotti on hyvä esimerkki polttopuun riittävästä kuivumisesta ja joustavasta varastoinnista. Miestyönä tehtävän pinokuution keskimääräinen tuotos on ollut 1 motti tunnissa ja 8 mottia päivässä. Kuvassa 6 on koivuhalkomotti metsässä talvella. Motin mitat ovat 1 m x 1 m x 1,1 m. Tukipuuhun on tehty kirveellä kolmiomainen lohipyrstöliitos. Tukipuuna on käytetty mielellään haapaa, joka on teroitettu alapäästään. Metrin mittaiset halot on lapettu sivuille ja pintaan halkaistu pinta ulospäin. Koivuhalkomotti on säilynyt sisäosiltaan kuivana jopa 4 vuotta metsässä. Pintakerros on kosteampaa noin 10 cm:n paksulta vyöhykkeeltä. Erittäin hyvin kuivuneet ja säilyneet halot on haettu metsästä talvella ja hyödynnetty välittömästi lämmityksessä.





Kuva 6. Koivuhalkomotti varastopaikallaan (Halkomotti 2014)

## VARASTOINTI SISÄTILOISSA JA KATOKSISSA

Milloin klapit saa siirtää varastoon ja millaiseen varastoon?

- Kosteita polttopuita ei saa siirtää huonosti tuulettuvaan sisävarastoon homevaaran vuoksi. Sisävarastoon siirrettävät polttopuut eivät saa olla tuoreita eivätkä osittainkaan kosteita, koska ne voivat sisältää homeille altistavia ravinteita.
- Tasapainokosteuden määrittämiseksi voi tehdä ohuen kiekon tai lastun (50–100 g). Näytettä voi kuivata sisätiloissa esim. kaksi päivää ja punnita alku- ja loppupainon kuivumispotentiaalini määrittämiseksi. Alku- tai keskikesällä huonosti tuulettuvan sisävaraston ovea tai ikkunoita voi pitää auki poutakausina.
- Pienenä eränä tuoreet pilkotut puut voi heti pinota hyvin tuulettuvaan sisävarastoon kuivumaan.

- Elävän puun jälsi- ja nilakerros sisältävät runsaasti ravinteita. Tuuletuksen tulisi koko kuivatusjakson ajan olla jatkuvaa siten, että klapien pintakerros ja siinä olevat ravinteet pysyvät riittävän kuivina estämään homevauriot.

## 5 KLAPIEN TUOTTAMINEN METSÄSSÄ SYKEHARVESTERILLA

Pentin Paja Oy:n Naarva S23 Firewood sykeharvesteri varustettuna halkaisukiiloilla tekee yhdellä kertaa monivaiheisen klapien käsittelyn. Kyseisellä harvesterikouralla otetaan metsästä harvennettava puu, siirretään puun tyviosa suursäkin yläpuolelle, aisataan, katkotaan ja pilkotaan. Automaatioastetta on nostettu siten, että koko rungon pilkonta jatkuu niin kauan, kuin yhtä kytkintä painetaan. (Naarva S23.)

Kuvassa 1 oleva Naarva S23 Firewood suorittaa seuraavat työvaiheet:

- katkonta
- karsinta ja aisaus
- halkaisu
- säkitys.



Kuva 1. Klapien suora suursäkitys Naarva S23 sykeharvesterilla (Naarva 2014c)

Kun nuoren metsän kunnostuskohteessa tuotetaan klapeja suoraan suursäkkeihin, seuraava vaihe on suursäkkien siirto kuivatuspaikalleen. Klapeja sisältäviä suursäkkejä voidaan myös varastoida alussa hakkuupaikan lähellä tuulisella paikalla, jolloin siirto kuivatuspaikalle voidaan tehdä hakkuun yhteydessä.

## PYSTYPUU HALOKSI, KLAPEIKSI JA SUORAAN SÄKKIIN

Pentin Paja on kehittänyt maataloustraktoriin kiinnitettävän säkkitelineen. Yksinkertainen säkkiteline voidaan kiinnittää maataloustraktoriin kolmipiste-kiinnityksellä tai vaikkapa kaivinkoneen puskulevyyn. Klapiussi on nopea ja helppo ripustaa. Telineen avulla klapi-koneella voidaan halot ja klapiit tuottaa suoraan säkkiin.

## NAARVA S23 HARVESTERI JA SÄKKITELINE

Kun traktorin perässä on säkki, johon pystypuut tehdään suoraan haloiksi Naarva S23 sykeharvesterilla, tuottavuus kasvaa. Näin syntyy erittäin suoraviivainen kuljetusketju, jossa harvennettavat pystypuut saadaan klapisäkeissä suoraan tien varteen odottamaan myyntiä. Polttopuusäkki täyttyy puolimetrisestä halosta 15 minuutissa Naarva S23 -sykeharvesterilla, joka on varustettu kuvan 2 mukaisella giljotiinilla ja klapien halkaisukiilalla. Halkojen tai klapien pituutta voidaan luonnollisesti säätää. (Naarva 2014). Naarva S23 sykeharvesterin toteuttamaa klapien halkaisua voidaan katsoa Pentin Pajan esittelyvideosta (Naarva Videot 2014).



Kuva 2. Pentin Paja Oy:n Naarva S23 -sykeharvesterin giljotiini sekä klapien halkaisukiila

#### PENTIN PAJA OY:N YRITYSESITTELY

Pentin Paja Oy on vuonna 1982 perustettu perheyrittys, joka on erikoistunut pienpuun korjuuseen tarkoitettujen laitteiden tuotekehitykseen ja valmistukseen. Lisäksi yritys tarjoaa teollisuuslaitoksille huolto-, asennus- ja kunnossapitopalveluita (Naarva 2014.).

Pentin Paja Oy myy Naarva-tuotenimellä yli 10 erilaista mallia sykeharvestereita, kaatopäitä, energiakouria ja perkaajia. Lisäksi valikoimaan kuuluu Naarva-pylväskauha. Naarva-tuoteperheestä löytyy laitteita kaikkien konevalmistajien alustakoneisiin: traktoreihin, metsäkoneisiin, kaivinkoneisiin ja kuorma-autoihin. Naarva-tuotteita käytetään mm. energiapuun hakkuuseen, ensiharvennuksiin, ongelmapuiden kaatoon, taimikonhoitoon sekä piennarten ja pellonreunojen raivaukseen. Naarva-tuotteita on viety jo yli 30 maahan. Yhtiön suurimpia vientimaita ovat Ruotsi, Saksa, Norja ja Viro (Naarva-tuotteet tuoteryhmittäin 2014.)

Oma tuotekehitys on selkeä vahvuus ja pyrkimys pitää asiat riittävän yksinkertaisina ja teknisesti helposti toteutettavina. Tämän lisäksi tuotteiden tarkoituksenmukaisuus ja kestävyys ovat aina suunnittelun lähtökohtia.

Yritys aloitti toimintansa Ilomantsin Naarvassa. Nykyisin toimipisteet ovat Ilomantsissa ja Joensuussa. Tuotantotilaa on n 2000 m<sup>2</sup>. Liikevaihto oli vuonna 2012 noin 2 miljoonaa euroa ja työntekijöitä on 23. Yhtiötä johtavat omistajaveljekset Mikko ja Janne Häikiö ja yrityksessä on töissä jo kolmannen polven Häikiöitä. Vuonna 2009 Pentin Pajan osaomistajaksi tuli Outokummun Metalli Oy (Naarva 2014.).

NAARVA S23 sykeharvesteri on kevyt: 230 kg. Harvesterin ominaisuuksia ovat kaato ja karsinta, nopea giljotiinikatkaistu (maksimi LPM 23 cm). Harvesteri on helppo asentaa eikä se tarvitse erillistä hydraulikka tai sähköä ja se toimii pelkästään kouran auki/kiinni venttiilillä. Työkohteita ovat ensiharvennukset, polttopuunteko, energiapuun korjuu ja integroitu korjuu. Giljotiini on vahva, varmatoiminen ja helppo huoltaa. Katkaisuterään on saatavilla halkaisukiilat, joiden avulla voit tehdä 25–50 cm polttopuuta heti kaadon jälkeen. Kiilat on helppo asentaa ja irrottaa kolmella pultilla. Traktoriin kiinnitettävän kätevän säkkitelineen avulla voi tehdä pystypuut haloiksi suoraan säkkiin. Polttopuun tuotantoketjusta turhat välivaiheet jäävät pois. Kiiloilla varustettuna S23 on pilkekone, joka tekee klapia suoraan pystypuusta. TTS:n pikatestissä 30.-31.10.2013 Joensuussa S23:n tuottavuus oli 3–5,5 irto-m<sup>3</sup> polttopuuta tunnissa



Kuva 3. Halkaisukiilalla varustettu sykeharvesteri toiminnassa

#### HAKKUUKOURAAN ASENNETTAVA HAKERANGAN HALKAISEVA TERÄ (POHJANKYRÖ 2014)

YLISTARO Hakkuukoneen kouraan on suunniteltu terä, joka halkaisee rungon sen karsimisen ja katkaisun yhteydessä. Yli kymmensenttisten energiapuuksi hakattavien runkojen halkaisu nopeuttaa huomattavasti puun kuivumista. ”Koska energiapuun kuivuminen kasassa on usein hidasta, tuli mieleeni, että miksei rankaa voisi halkaista metsässä hakkuun yhteydessä”, kertoi ideansa esille tuonut Metsänhoitoyhdistys Etelä-Pohjanmaan metsänhoidon neuvoja Jukka Karhunen. ”Vaikka energiapuukasat pyritään varastoimaan ilmaville

paikoille kuivumisen nopeuttamiseksi, ei kuorellinen puu kuitenkaan kuivu hetikään niin nopeasti kuin halkaistu ranka”, selvitti ylistarolainen Topi Saari, metsänhoitoyhdistyksen toinen neuvoja. Kun energiapuu, jossa yli kymmen-senttiset rangat on halkaistu, kuivuu kesän yli, siitä syntyy riittävän kuivaa haketta. Märkä hake ei pala kunnolla eikä tuota lämpöä läheskään niin hyvin kuin kuiva polttoaine (Pohjankyrö 2014).

## 6 MISTÄ TUNNISTAA HYVÄN KLAPIN?

Nopein tapa tunnistaa klapien kunto on lyödä niitä kevyesti toisiaan vasten. Jos syntyy kirkas sointuva ääni, klapien kunto on hyvä. Myös vaalea väri ja siisti pinta kertovat hyvästä laadusta. Jos kosteutta ei voida mitata tarkasti, 1 cm:n vahvuista näytepalaa punnitsemalla voi selvittää, onko koko klapietä saavuttanut halutun tasapainokosteuden. Riittävä kuivuminen muuttaa elävän puussa olevat ravinteet sellaisiksi, etteivät lahottajat ja home pääse lisääntymään klapissa. Kuvassa 1 on kaksi klapiä ideaali klapipeikkopariskuntana. Kuvasta huomataan uuden sahapinnan vaaleus. Teon yhteydessä syntyneet sahattu ja halkaistu pinta ovat tosin tummuneet. Rouhittu tuohi edistää roskaisuutta ja syttymistä, mutta ei ole varsinainen este hyvälle laadulle. Metsään jätetään harvennuksen yhteydessä parhaat, suurimmat puut kasvamaan ja huonoimmat puut otetaan polttopuiksi.





Kuva 1. Ideaalit klapipeikkopariskunta

Kuvissa 2 ja 3 olevien klapinippujen kuivatus on tapahtunut hyvin tuulettuvassa ulkovarastossa. Klapinippujen klapien vaaleus ja siisteys kertovat siitä, että klapit on tuotu metsästä suoraan hyvin tuulettuvaan varastoon kuivumaan ilman, että ne olisivat olleet päiväkkään sateessa ulkona. Paalinarulla sidottujen noin 10 kg painavien nippujen siirto sisävarastoon ja polttoon on helppoa. Varastoitaessa klapinippuja niiden väliin syntyy luonnollisia tuuletusaukkoja. Oleellista klapien kuivumisessa on se, että klapien pinta pysyy kuivana ja tuuletettuna koko kuivumistapahtuman ajan. Kuvassa 4 on klapinippujen kuivatus tuulisella paikalla isojen kuusten alla sateilta suojassa kesällä 2014.



Kuva 2. Klapi niput kuivumassa hyvin tuulettuvassa sisävarastossa



Kuva 3. Klapinippujen siirto sisävarastoon



Kuva 4. Klapinippujen kuivatus kesällä 2014

## MISTÄ TUNNISTAA HUONOLAATUISEN KLAPIN?

Kuvassa 5 on pitkään ulkona olleista tukeista tehtyjä klapeja. Klapien pinta ja kuorikerros ovat tummuneet, ja niistä irtoaa helposti roskia. Kuori irtoaa myös pelkästä kosketuksesta tai klapiinippua siirrettäessä. Kyseisten klapiinippujen yhden vuoden ajan kestänyt kuivatus on suojannut klapit homeelta. Kuvassa 6 on neljän kuvan sarja erilaisista sienivaurioista. Klapeissa ja rangoissa esiintyy lahovaurioita. Kuori on hiukan irronnut ja sen alta on kosteata verinahakkaa havaittavissa ja puun halkaistu pintakerros tuntuu pehmeältä. Myös elävien puiden pintavaurioihin ja pakkashalkeamiin syntyy sienikasvustoa. Tikaskuoriainen ja lehtipuupiirtäjä munivat vauriokohtiin ja vievät sientä käyttäviinsä. Siellä on puolestaan kyky ottaa ilmasta kosteutta ja lahottaa myös sydänpuuta.



Kuva 5. Pitkään ulkona olleista tukeista tehtyjä klapeja





Kuva 6. Puiden ja klapien sieni- ja lahovaurioita



Kuivumisnopeuskokeet ja keskeiset tulokset

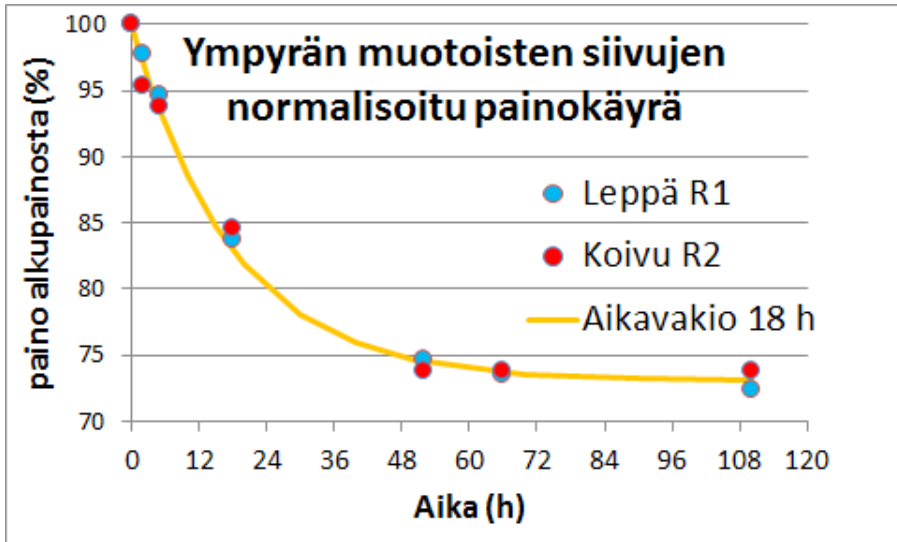
# 1 KIEKKOJEN JA RULLIEN SISÄ- JA ULKOKUIVATUS

## LEPPÄ- JA KOIVUKIEKOT

Kuvassa 1 on vasemmalla rasiin kaadetusta lepästä ja oikealla koivusta sahatut 1 cm:n paksuiset kiekot. Rasipuut ovat kuivuneet reilun 5 viikon aikana, kun näytekiekot on sahattu. Sisätilassa tasapainokosteus on saavutettu 74 paino-osuuden kohdalla eli vettä on haihtunut 26 osaa. Karkeana laskennallisena arviona rasiinäytteet ovat kuivuneet 54 tunnissa 35 kosteusprosentista 15 kosteusprosenttiin. Simulointi antoi kuivumisen aikavakioksi 18 tuntia ja kuivumisajaksi 54 h (2 vrk).



Kuva 1. Rasileppäkiekko ja rasikoivukiekkko



Kuvio 1. Leppä- ja koivukiekon normalisoitu painokäyrä ja aikavakion simulointi

## LEPPÄKIEKOT JA -RULLAT

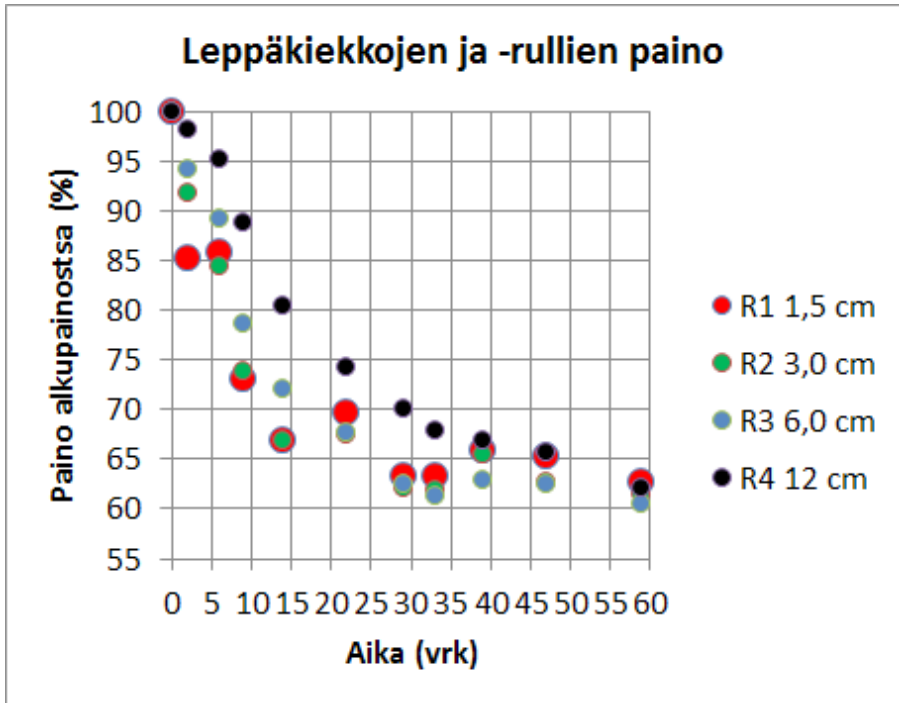
Kuvassa 2 olevat leppäkiekot ja rullat on tehty 9.6.2014, jolloin on mitattu alkupaino ja kiekon paksuus ja läpimitta. Syksyllä otetusta kuvasta näkyy laadun heikkeneminen ulkokuivatuksen seurauksena. Mittausjakso on kahden kuukauden mittainen. Taulukossa 1 ovat arvioidut aikavakiot ja kuivumisajat muuttujana kiekon paksuus. Kuviossa 2 on normalisoitu painokäyrä ajan funktiona.

TAULUKKO 1. Leppäkiekkojen kuivumistiedot ja aikavakiot					
Tunnus	Paino	Halkaisuja LPM 20 cm	Paino	Aika- vakio	3xAika- vakio
pvm	9.6.14		7.8.14	vrk	vrk
	kg	Kiekkojen paksuus	kg		
R1 1,5 cm	0,354	Leppäkiekko 1,5 cm	0,222	7	21
R2 3,0 cm	0,661	Leppäkiekko 3,0 cm	0,406	8	24
R3 6,0 cm	1,266	Leppäkiekko 6,0 cm	0,766	11	33
R4 12,0 cm	2,7	Leppäkiekko 12,0 cm	1,678	22	66
Aika (vrk)	0		59		

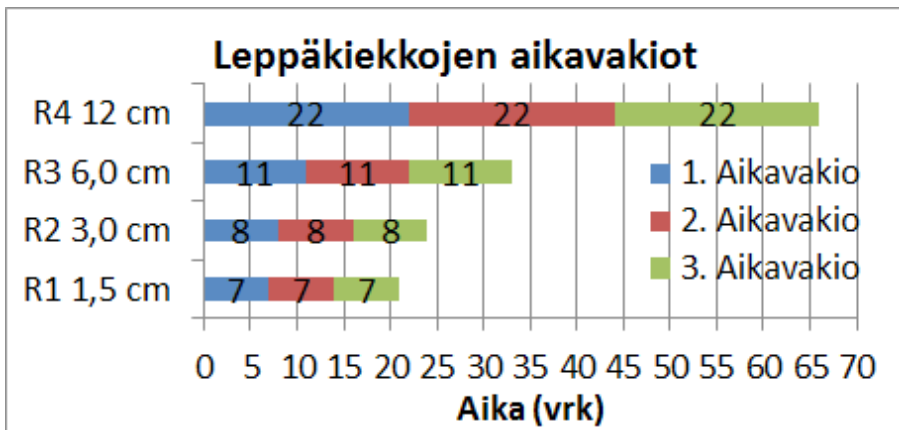




Kuva 2. Ulkona kuivatetut leppäkiekot syksyllä 2014



Kuvio 2. Leppäkiekkojen ja -rullien normalisoitu painokäyrä



Kuvio 3. Leppäkiekkojen aikavakiot ja kuivumisajat

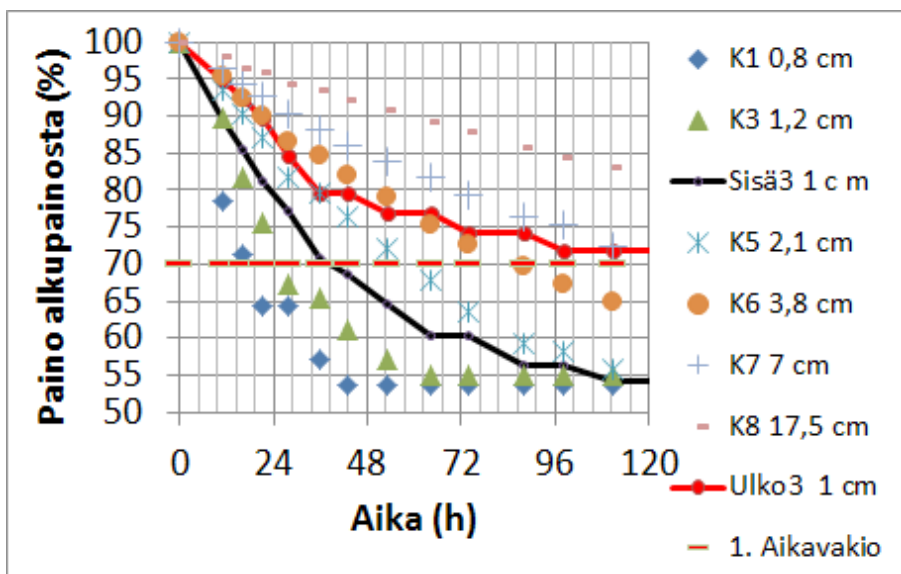
## TERIJOENSALAVAKIEKOT JA -RULLAT

Lehtipuiden tavoin koristepuiden ja havupuiden kuori muodostaa erittäin huonosti vettä läpäisevän pinnan myös puun kaatamisen jälkeen. Lokakuussa 2014 on tehty kahden viikon koejakso kaadetulla terijoensalavalla, josta on sahattu ohuita kiekkoja ja rullia. Punnitusta on suoritettu alussa useita kertoja päivässä ja aika-akselina on tunti. Taulukossa 2 on esitelty kiekot ja rullat ja niiden keskeiset aikariippuvat kuivumistulokset. Kaavioissa 4 ja 5 ovat normalisoidut painokäyrät. On huomattava, että ulkona tapahtuu kuivumista myös lokakuussa. Ulkona parvekkeella kuivattu 1 cm:n paksu kiekko Ulko3 on kuivunut yhtä nopeasti kuin sisällä lämmitetyllä lattialla kuivatettu 7 cm paksu näyte K7. Ulkona kuivatetussa kiekossa on alussa siisti käyrä, joka on muuttunut suoraksi yöpakkasten alettua. Kuivuminen on siis jatkunut ilman vesipitoisuuden laskiessa (vettä  $\text{g}/\text{m}^3$ ). Ensimmäisen aikavakion piirretty tasoviiva on laskettu kaavalla  $100\% - 63,2\% \text{ vahvistuksesta} = 100 - 0,632 \times (100 - 53) = 70,3$  yksikköä. Vertailevat aikavakiopylväät esitetään kaaviossa 6.

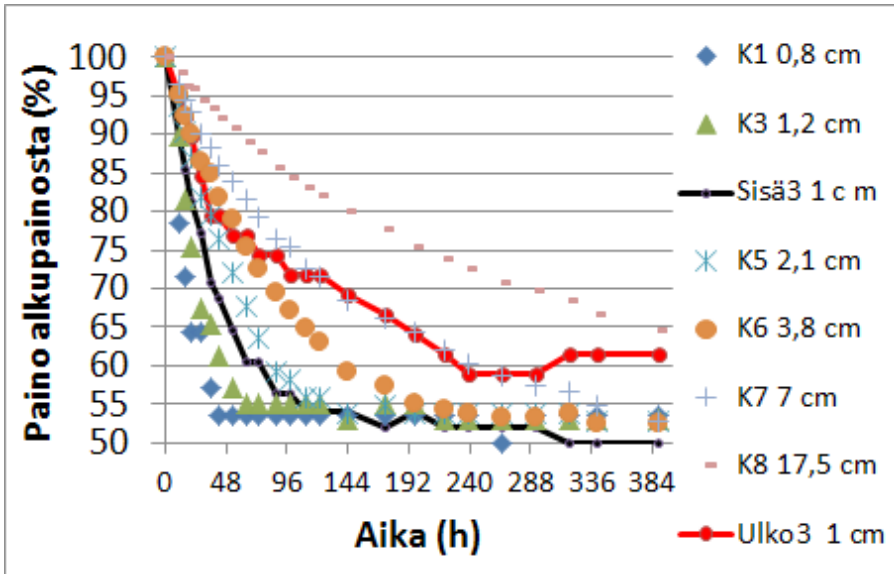


Kuva 3. Terijoensalavan kiekot ja rullat sisällä ja ulkona kuivatus lokakuu 2014

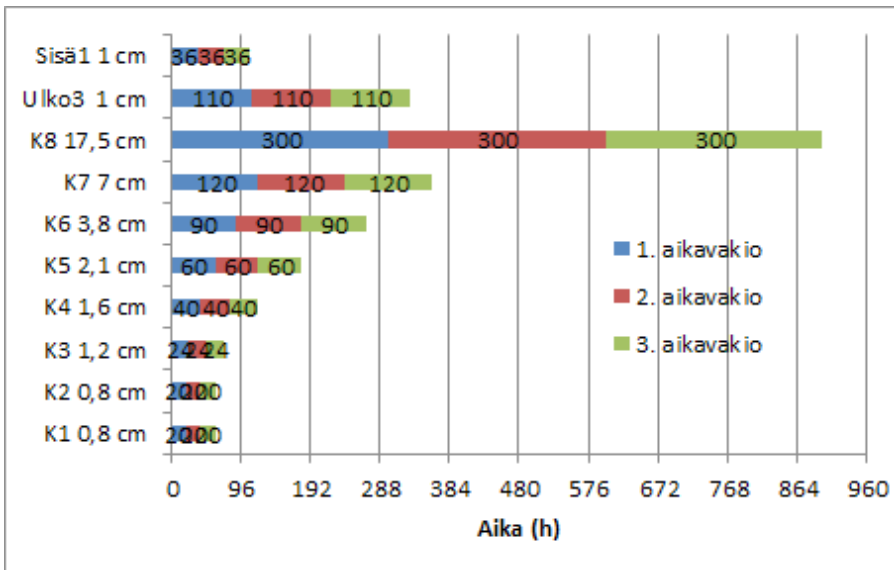
TAULUKKO 1. Terijoensalavan kiekkojen ja rullien vertailutiedot					
Tunnus	6.10. 2014		22.10.	Aika-	Kuivumis-
	g	K1–K8 Kylpyhuoneen lattialla	g	vakio	aika
				h	h
K1	28 g	Kiekkopaksuus 0,8 cm	15 g	20 h	60 (2,5 vrk)
K2	38 g	Kiekkopaksuus 0,8 cm	19 g	20	60 (2,5 vrk)
K3	49 g	Kiekkopaksuus 1,2 cm	26 g	24	72 (3 vrk)
K4	66 g	Kiekkopaksuus 1,6 cm	35 g	40	120 (5 vrk)
K5	93 g	Kiekkopaksuus 2,1 cm	90 g	60	180 (8 vrk)
K6	171 g	Rulla paksuus 3,8 cm	161 g	90	270 (11 vrk)
K7	365 g	Rulla paksuus 7 cm	365 g	120	360 (15 vrk)
K8	680 g	Rulla paksuus 17,5 cm	440 g	300	900 (38 vrk)
Ulko <sup>3</sup>	39 g	Kiekkopaksuus 1 cm ulkona	23 g	100–120	330 (14 vrk)
Sisä <sup>3</sup>	48 g	Kiekkopaksuus 1 cm sisällä	25 g	36	108 (5 vrk)
Aika (h)	0		388		



Kuvio 4. Viiden päivän ja 120 tunnin (h) punnituskäyrä



Kuvio 5. Viidentoista päivän ja 400 tunnin (h) punnituskäyrä



Kuvio 6. Terijoensalavan kiekkojen kuivatuksen aikavakioyplvääät sisällä ja ulkona

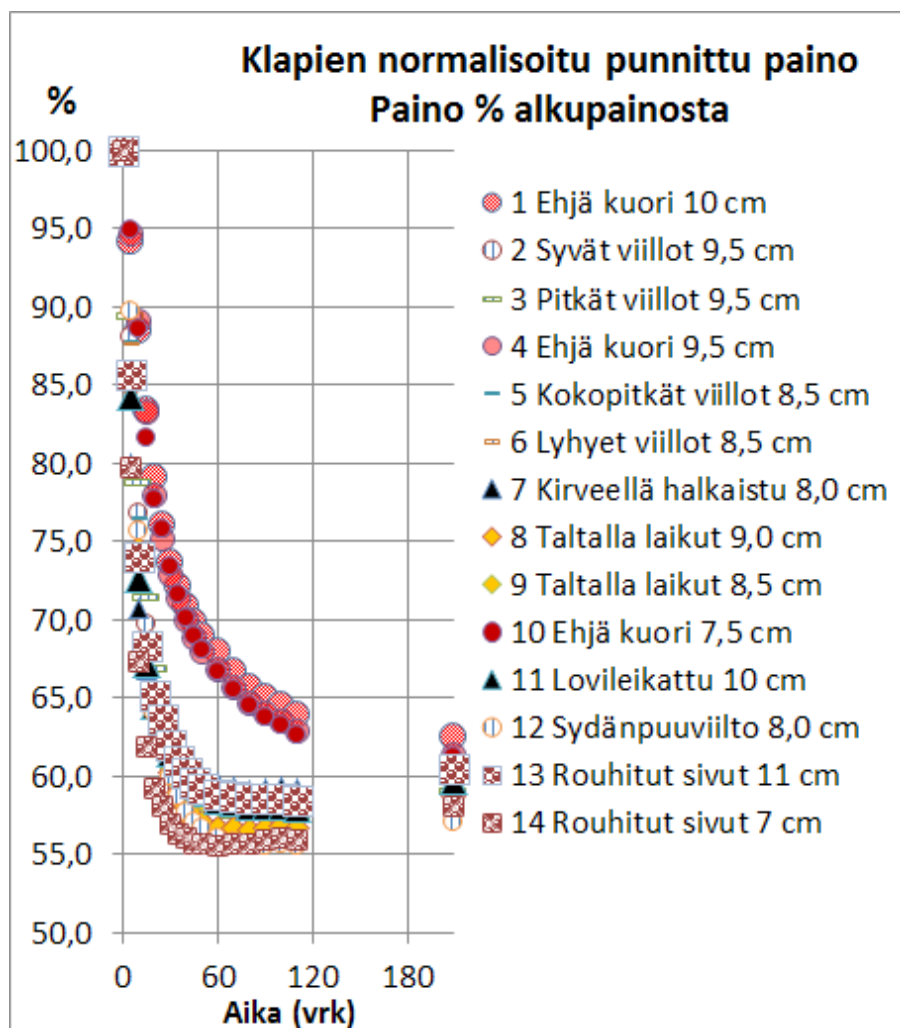
## 2 KOIVUKLAPIEN KUIVATUS SISÄTILASSA JA KÄSITTELYTAVAT

Kevään 2012 koejaksossa olleet 14 klapiä on käsitelty eri tavoilla. Noin 10 cm tyviläpimitaltaan olevan koivun käsittely aloitettiin tyvestä latvaan päin ja klapiin halkaisija mitattiin. Klapi on kuivattu saunan lämmitetyllä lattialla koreissa. Taulukossa 1 on esitetty klapien halkaisijat ja käsittelytavat sekä alkua- ja varastointipainot. Kuvassa 1 klapi on kuvattu järjestyksessä vasemmalta oikealle 1–14 kahdessa kuivatuskorissa. Tästä koejaksosta on tehty tarkempi raportti aikaisemmin. Käsiteltyjen klapien aikavakiot ovat 7–14 vrk ja kuivumisaika 20–40 vrk sekä ehytkuoristen 24 vrk ja kuivumisaika 3–4 kk. Varastoon siirto 4 kuivumiskuukauden jälkeen on nostanut ja tasannut kosteutta 7 ja 35 kuukauden kohdilla tehtyjen punnitusten mukaan. Kuviossa 1 nähdään ehytkuoristen klapien hidas kuivuminen.

TAULUKKO 1. Eri tavoilla käsitellyt koivuklapit sisätalakuivatuksessa				
	LPM	Käsittelytapa → Punnitus pvm / kg	11.1. 2012	30.10. 2014
1	10 cm	Ehjä kuori	2,264	1,330
2	9,5 cm	Moottorisahalla tehdyt syvät viillot	1,998	1,137
3	9,5 cm	Moottorisahalla tehdyt Pitkät viillot	1,902	1,109
4	9,5 cm	Ehjä kuori	1,876	1,083
5	8,5 cm	Moottorisahalla tehdyt kokopitkät viillot	1,661	0,968
6	8,5 cm	Moottorisahalla tehdyt tiheät viillot	1,391	0,791
7	8,0 cm	Kirvellä halkaistu	1,513	0,905
8	9,0 cm	Isolla taltalla koivuun tehdyt laikut	1,735	0,989
9	8,5 cm	Pienellä taltalla koivuun tehdyt laikut	1,635	0,954
10	7,5 cm	Ehjä kuori	1,374	0,783
11	10,0 cm	Moottorisahalla kahteen osaan lovileikattu	2,150	1,246
12	8,0 cm	Moottorisahalla leikattu 6 cm:n syvä viilto läpi pilkkeen, muu kuori jäi ehjäksi.	1,178	0,655
13	11,0 cm	Moottorisahalla rouhitut klapiin sivut	2,422	1,415
14	7,0 cm	Moottorisahalla rouhitut klapiin sivut	1,213	0,682
14	7,0 cm	Moottorisahalla rouhitut klapiin sivut	1,213	0,682



Kuva 1. Eri tavoilla käsitellyt koivuklapit numerot 1–10 vasemmalta oikealle



Kuvio 1. Ehytkuoristen klapien hidas kuivuminen suhteutettuna muihin klapeihin



### 3 KOIVUKLAPIEN JA LATVAN ULKOKUIIVATUS

Klapien kuivumista on määritetty kuivumisnopeuden ja laadun kannalta. Myös latvaosan kuivumista ja laatua on seurattu 2,5 vuoden ajan. Mitattavissa olevia eroja on syntynyt muun muassa halkaistujen klapien koon mukaan tai sen mukaan, onko kuori jätetty ehjäksi vai rikottu. Näytteiden määrä on pidetty tässä koe-erässä viitenä koivuklapina. Lisäksi yksi koivun latva oli mukana tutkimuksessa. Klapi on pyritty punnitsemaan kuivan päivän iltapäivällä, jotta ulkopinnassa ei olisi irta- tai yökosteutta.

#### KLAPIEN KUIIVATUS

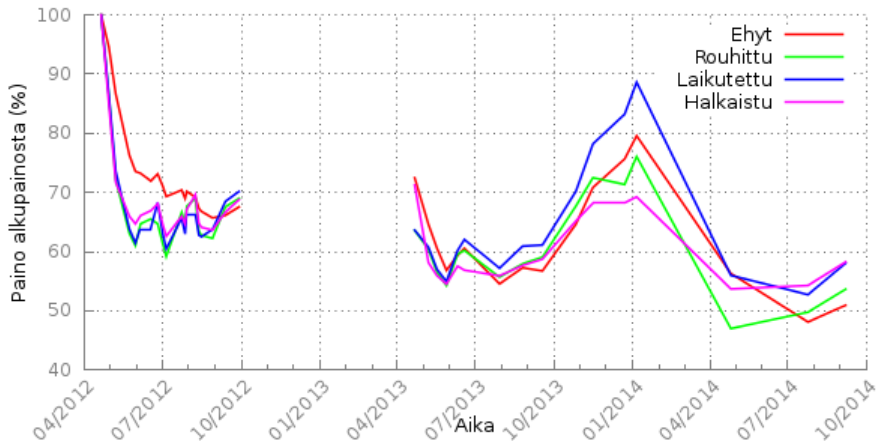
Testiklapien käsittely tapahtui 10 päivää ennen vappua 21.4.2012. Puut oli kaadettu 11.1.2012. Kuvassa 1 näkyy klapien käsittelyn jälkeen alkaneen kuivumisen lähtötilanne, jossa kosteusprosentiksi on arvioitu 48 %. Klapien silmin havaittava laatu on vielä hyvä. Taulukossa 1 on eritelty klapien käsittelytavat.

TAULUKKO 1. Klapien käsittelytavat		
1a	7,0 cm	Kirveellä halkaistu iso klapi a
1b	7,0 cm	Kirveellä halkaistu pieni klapi b
1c	7,0 cm	Kirveellä halkaistu a ja b
2	6,5 cm	Taltalla koivuun tehdyt laikut
3	6,5 cm	Moottorisahalla rouhitut pilkkeen sivut
4	6,5 cm	Ehjä kuori
5	6,5 cm	Ehjä kuori ja koko koivun latva, jossa oksat mukana



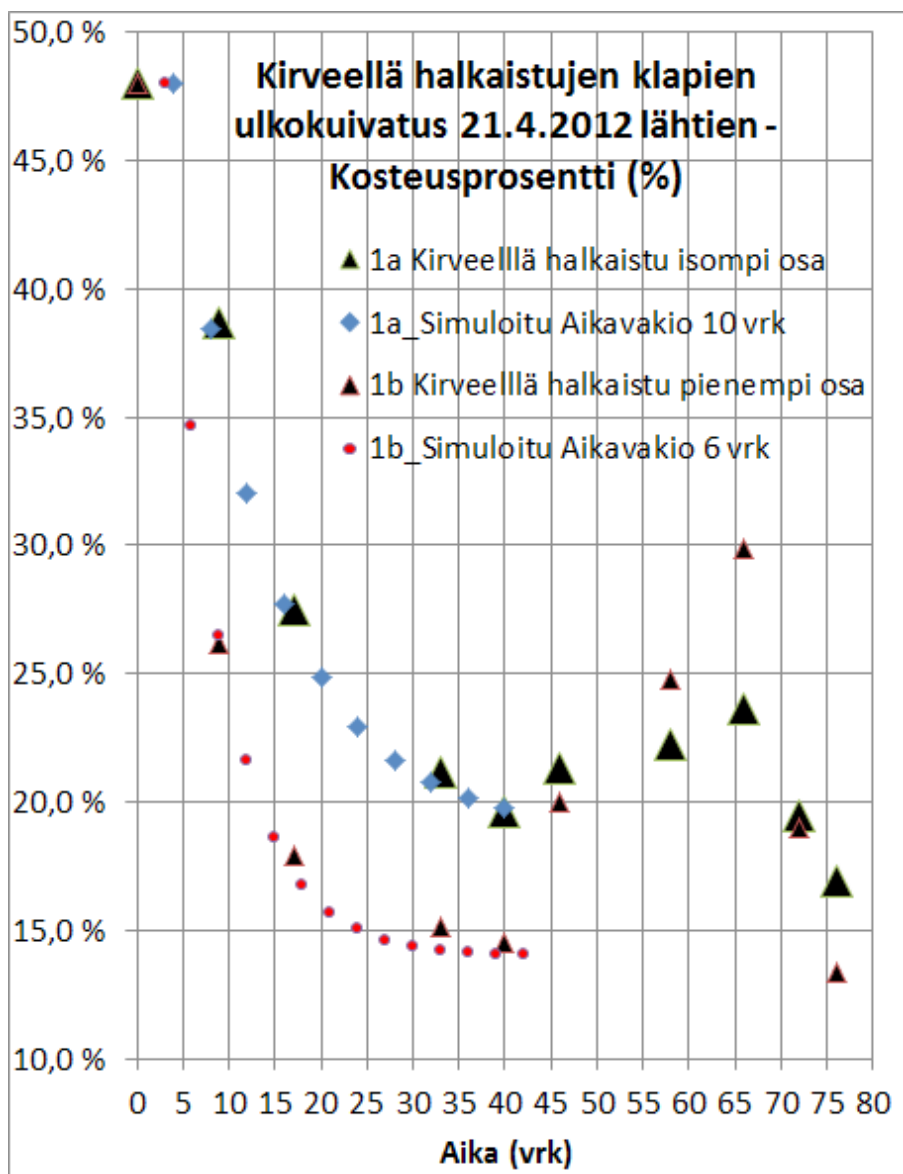
Kuva 1. Koivun klapit kuivatuskorissaan ulkona

Klapeja on säilytetty koko ajan kuvassa 1 näkyvässä korissa. Klapit eivät ole olleet kosketuksissa kosteaan maahan tai heinään. Kuviossa 1 on esitetty kesän 2012 klapien pitkän aikavälin punnitustulokset vuodenaikaan sidottuna. Klapien painoa ja laatua on seurattu noin 2,5 vuoden ajan. Pitkän aikavälin seurannassa klapeista on haihtunut vettä ja paino on keventynyt myös muista syistä, kuten kuorenpalasten irtoamisen vuoksi (ks. kuvio 2). Talvella 2012–2013 ja kevättalvella 2014 ei tehty mittauksia.



Kuvio 1. Suhteellinen painonmuutos kahden ja puolen vuoden ajalta

Kirveellä kahteen osaan halkaistujen klapien ulkokuivatus ja kuivumisen aikavakioiden simulointi on esitetty kuviossa 2. Simulointi antoi isomman klapien kuolleeksi ajaksi 4–6 päivää ja aikavakioksi 10 päivää. Isompi klapi kuivui 20 %:n kosteuteen 35 päivässä (5 + 30). Pikkuklapien kuolleeksi ajaksi saatiin 3–4 päivää ja aikavakioksi 6–7 päivää. Pikkuklapi kuivui 15 %:n kosteuteen 24 päivässä (3 + 21). Näytteenottovälin olisi tullut olla koejakson alussa tiheämpi, jotta kuollut aika, kuivumisen käynnistyminen ja käyrän muoto olisivat tulleet paremmin esille. Kuollut aika johtuu siitä, että huhtikuun lopulla oli vielä lunta maassa. Vuonna 2012 kesä- ja heinäkuu olivat sateisia. Käyrän muodosta nähdään, että klapiet kastuivat sateessa yllättävän paljon. Pikkuklapien kosteuspitoisuus nousi 15 %:sta 30 %:iin. Uudelleen kuivuminen on ulkona kuitenkin nopea tapahtuma. Loppukosteudet olivat parhaimmillaan 17 % (isompi) ja 13 % (pienempi). Syksyn sateissa halkaistut klapiet kastuivat 25–30 %:n kosteuteen.



Kuvio 2. Kahteen osaan halkaistun klapien kosteuskäyrät.

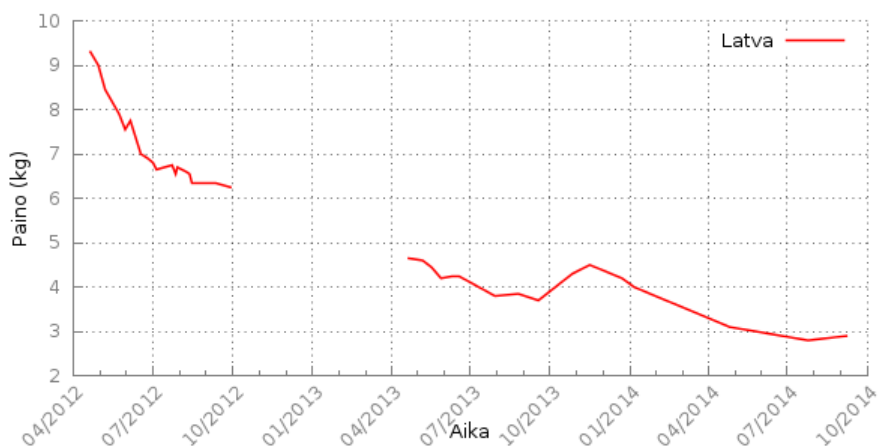
Kuvassa 2 näkyy klapien huonontunut laatu elokuussa 2014. Klapien kuntoa ja näkyvää laatua on seurattu kuvasarjalla kahden vuoden ajan.



Kuva 2. Klapienä kuvattuna kesällä 2014.

## LATVAN KUIVATUS

Koivun latvaosan painoa ja laatua on seurattu kahden vuoden ajan. Lähtötilanteen klapikuvasta 1 näkyvät kuivan tuoreen puuaineksen vaalea hyvä laatu ja tuohiosan eheys ja pölyttömyys. Kuviossa 3 näkyy latvaosan punnittu painokäyrä 2,5 vuoden ajalta 21.4.2012 alkaen.



Kuvio 3. Talvella kaadetun koivun latvan punnituskäyrä runsaan kahden vuoden ajalta

Koivunlatvan tyviosa on ollut ulkona kantoa vasten. Koivun latva on kuivunut kesällä 2012 riittävän hyvin, joten se on välttynyt havaittavilta sienivaurioilta. Ehytkuorinen koivun latva jatkoi kuivumistaan vielä seuraavanakin kesänä, mutta puun laatu alkoi heiketä. Runko ja oksat ovat lahonneet ja ilmeisesti siksi menettäneet painoaan. Suurin osa oksista on katkeillut, ja rungon kuori on irronnut kauttaaltaan. Kuvassa 2 näkyy latva elokuussa 2014. Kahden vuoden vaikutus puun laatuun on ollut merkittävä, ja kaikki hyvän laadun ominaisuudet on menetetty. Kahdessa vuodessa latvaosan lähtöpaino 9,3 kg on tippunut alle 3 kg:aan eli kolmannekseen. Paino on pudonnut myös siksi, että oksia on katkeillut ja tuohi on murentunut osittain pois. Luonnollisesti latva on kuivunut hellekautena hyvin kuorettomana, mutta osa energiasisällöstä on menetetty pysyvästi. Pienestäkin kosketuksesta oksia katkeilee ja kuorenpaloja irtoilee.





Kuva 3. Kaadetun koivun latva kahden vuoden jälkeen kaatamisesta kesällä 2014

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Toukokuu on Suomessa erittäin hyvää klapien ja energiapuun kuivumisaikaa. Aisatut ja riittävän pieneen kokoon pilkotut klapit voivat olla toukokuun lopussa polttokuivia ja siirrettävissä talvivarastoon. Kuljetus voisi olla edullista jo toukokuun lopussa.

Aisattu ja halkaistu energiapuu kuivuu parhaimmillaan alle 20 %:n kosteuteen toukokuun kuivana jaksona kuukaudessa noin 10–15 päivän aikavakiolla. Klapit, joiden kuori on rikottu ja paljas puupinta näkyy, imevät sadekautena tehokkaasti itseensä ympäristön kosteutta, mutta uudelleen kuivuminen on myös erittäin nopeata. Käsittelemätön ehytkuorinen koivuranka ja klapi kuivuu 30 %:n kosteuteen viidessä kuukaudessa riippumatta sadekausista 40–50 päivän aikavakiolla. Ehjäkuorisen klapin tai kokopuun ulkopinnan kuivumisen aikavakio on muutamia tunteja.

Pikkuklapin aikavakioksi arvioidaan reilu viikko ja isomman klapin ja rouhitun klapin aikavakioksi reilut kaksi viikkoa. Aikavakion määrittämisessä on vaikeutena mm. se, että huhtikuun lopusta lähtien ilman keskimääräinen lämpötila ja kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ ) ovat vähitellen nousseet loppukesään tultaessa. Kesänaikainen vaihtelu näkyy myös hyvin kuivumiskäyristä. Ehytkuorisen klapin aikavakioarvio on reilu kuukausi ja latvan noin kaksi kuukautta. Tosin ehytkuoristen klapien loppukosteus viiden kuukauden kuivumisen jälkeenkin on 30 %:n luokkaa. Ehytkuoriset klapit eivät suuresti kastu sadejaksoissa, vaan ne jatkavat hidasta kuivumistaan läpi kesän. Koska kyseinen koivu kaadettiin tammikuussa ja otettiin ylös lumihangesta 21.4.2012, käsittelemättömään latvaosaan ei syntynyt lehtiä toukokuun aikana.

### HUOMIOITA:

Halkaistu koivuklapi kuivuu aikavakiolla 10 päivää (3x aikavakiolla 30 päivää), rouhitu tai laikutettu aikavakiolla 15 päivää (3x aikavakiolla 45 päivää). Käsiteltyjen klapien paras ja kuivin tasapainotila oli toukokuun ja kesäkuun vaihteessa noin 40 päivän kohdalla. Alhaisin saavutettu kosteusprosentti oli 13–17 %. Käsitellyt klapit kastuivat loppukesästä merkittävästi. Hyvin tuulettuvaan varastoon ne voidaan siirtää pienenä eränä välittömästi pilkkomisen jälkeen. Hiukan tuulettuvaan varastoon käsitellyt klapit voidaan siirtää yhden tai kahden aikavakion ajan kuluttua. Huonosti tuulettuvaan sisävarastoon voidaan siirtää vain täysin kuivia käsiteltyjä klapeja, mutta sinne ei sovi siirtää ehytkuorisista klapeja, vaikka niiden kuivumista olisi jatkettu viisi kuukautta. Käsittelemättömien klapien aikavakio oli noin 50 päivää (3x aikavakiolla 150



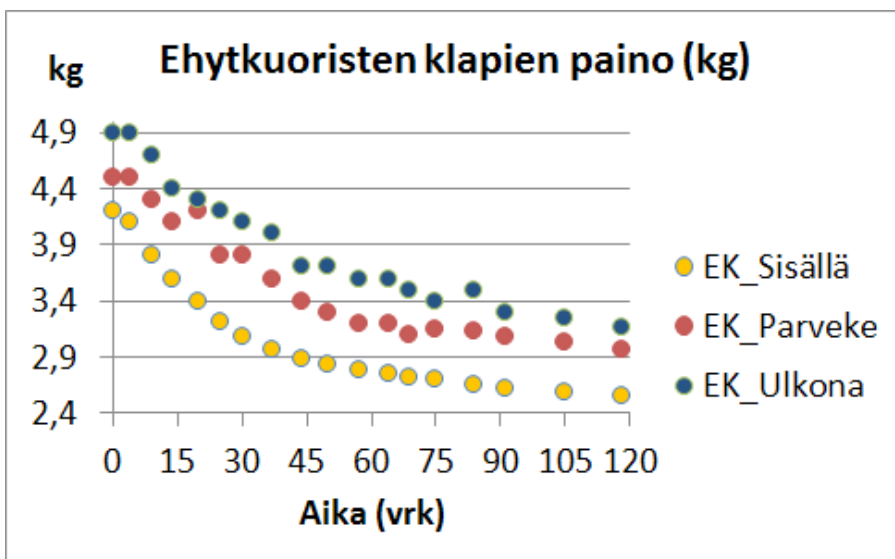
päivää). Paras tilanne oli 130 päivän kohdalla eli syyskuun alkupäivinä, jolloin kosteus oli vielä 30 %:n luokkaa. Käsittelemättömien klapien koko kesän alhaisin kosteuspitoisuus oli noin 30 %. Kuivumista tapahtui sadekausista riippumatta. Ehytkuorinen klapi jatkaa kuivumistaan vielä seuraavanakin kesänä, mutta laatu alkaa heiketä.

## 4 KOIVUKLAPIEN SISÄ-, PARVEKE- JA ULKOKUIVATUS

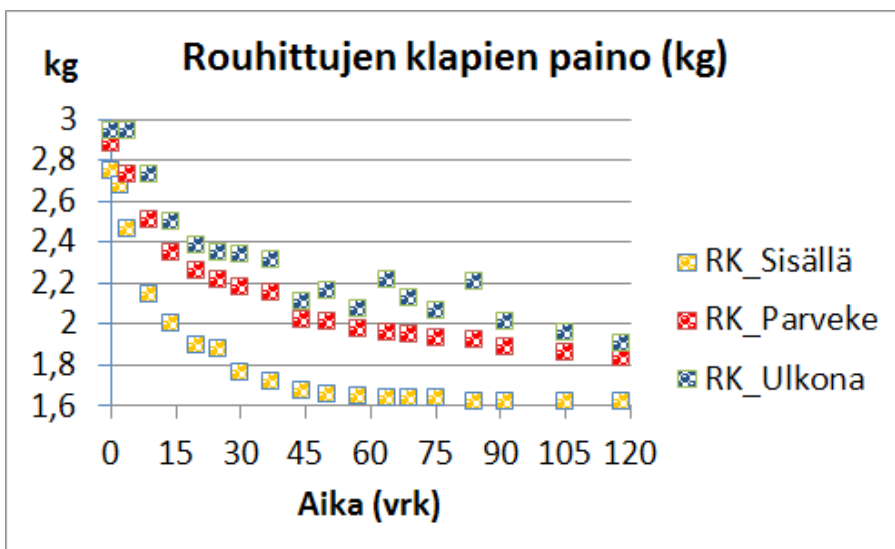
Eri tavoilla käsiteltyjä ja eri kuivatuspaikoissa kuivatettuja klapeja on vertailtu keskenään. Kuvassa 1 on parvekkeella kuivattu vertailuerä kuivumispaikassaan. Muut kaksi erää on käsitelty vastaavalla tavalla, mutta toinen erä on kuivattu lämmitetyllä kylpyhuoneen lattialla ja kolmas ulkona tuulisella ja aurinkoisella paikalla lautapinon päällä. Sydänpuuhun viilletty klapi on asetettu ulkona kuivumaan viiltokohta alaspäin. Kuivumisen perusteena on tässä ollut ajatus, että klapiin sisus ei kastu sateella, mutta kuivuu tuulella. Klapiin rouhinnalla on haluttu saada aikaan nopea kuivuminen ilman, että ehyt vettä pitävä kuori estää kuivumisen. Punnitukset on piirretty painokäyrinä kuvioissa 1–4. Muuttujina ovat kuivatuspaikat sisätilassa, parvekkeella sekä aurinkoisella ja tuulisella paikalla ulkona. Kuviossa 1 on ehytkuoristen, kuviossa 2 rouhittujen, kuviossa 3 sydänviillettyjen ja kuviossa 4 halottujen klapien painokäyrät.



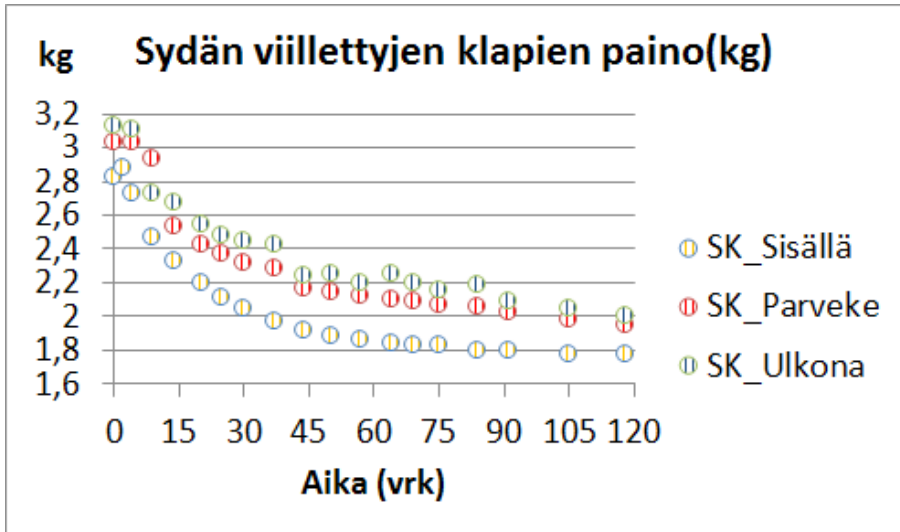
Kuva 1. Parvekkeella kuivattu vertailuerä kuivumispaikassaan



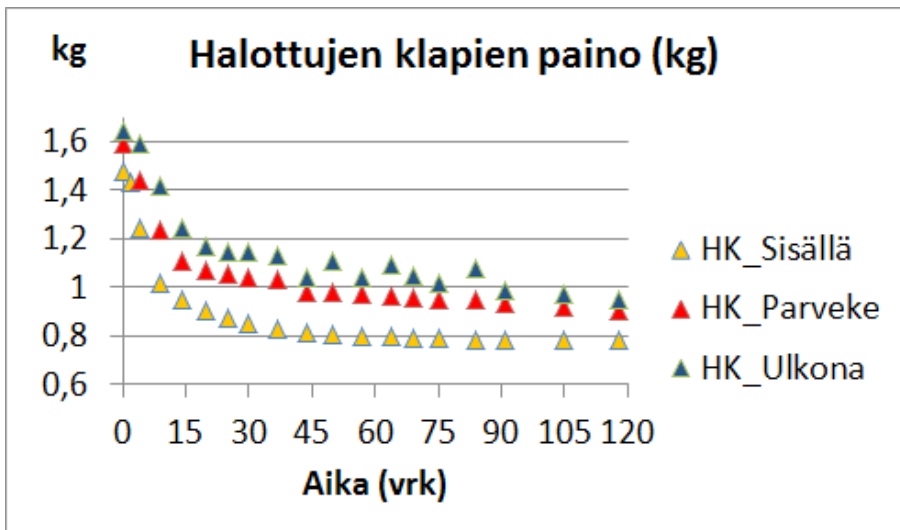
Kuvio 1. Ehytkuoristen klapien vertailu kuivumispaikan mukaan



Kuvio 2. Rouhittujen klapien vertailu kuivumispaikan mukaan



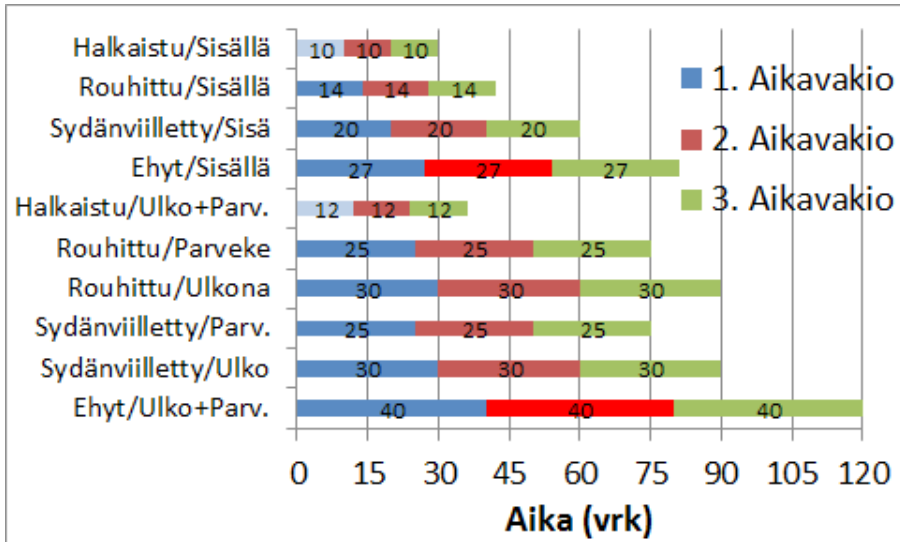
Kuvio 3. Sydänpuuhun viillettyjen klapien vertailu kuivumisaikan mukaan



Kuvio 4. Halottujen klapien vertailu kuivumisaikan mukaan

Klapeille on määritelty punnituskäyristä aikavakiot suhteessa alkupainoon ja normalisoituna osuuksina sataan. Ensimmäinen aikavakio on muutoksen 63 yksikön, toinen aikavakio 86,5 yksikön ja kolmas aikavakio 95 yksikön muutoksen tasosta laskettuna. Kolmannen aikavakion kohdalla klapien voidaan arvioida olevan kuivia ja kuivumisen tasoittuneen. Taulukossa 1 on klapien tiedot, mm. alkupainot (12.4.2014) ja painot (7.9.2014). Taulukosta löytyvät myös mitatut aikavakiot ja arvioidut kuivumisajat. Kuviossa 5 on piirretty taulukon 1 tiedot pylväinä. Pylväistä huomataan ehytkuoristen klapien hidas kuivuminen. Halkaistujen klapien kuivuminen on lähes yhtä nopeaa ulkona ja sisällä. Sade hidastaa ulkona kuivumista, mutta tuuli ja auringon lämpö vastaavasti nopeuttavat sitä. Vastaavasti katoksen alla oleviin klapeihin sateen ja auringon suoran lämmön vaikutukset ovat vähäisiä.

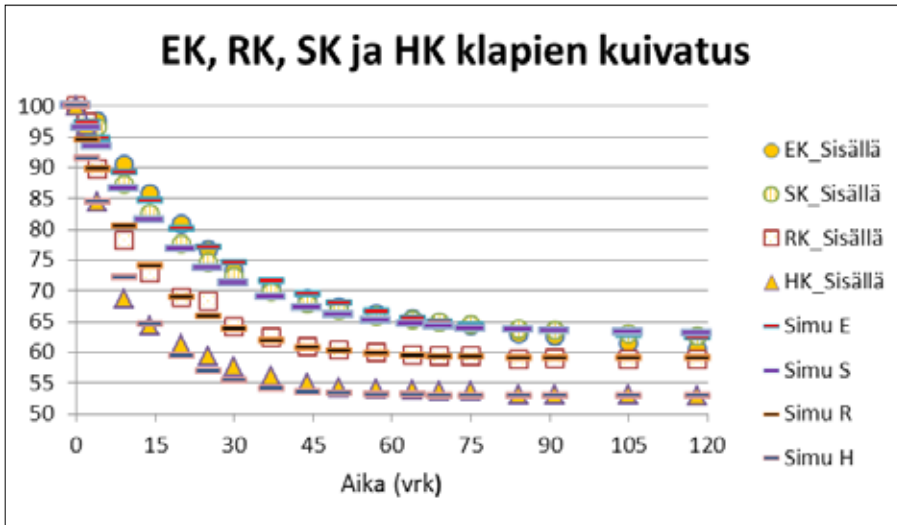
TAULUKKO 1. Klapien vertailutiedot					
Tun	pvm		pvm	Aikavakio	Kuivumisaika
pvm	12.4.	2014	7.9.	1.	3. aikavakio
	kg	Klapien halkaisijat 10–12 cm	kg	vrk	vrk
EK_S	4,2 kg	Ehytkuorinen klapi sis.	2,499	27	81
EK_P	4,5 kg	Ehytkuorinen klapi parv.	2,944	40	120
EK_U	4,5 kg	Ehytkuorinen klapi ulkona	3,227	40	120
RK_S	4,2 kg	Rouhittu klapi sisällä	1,620	14	42
RK_P	4,5 kg	Rouhittu klapi parveke	1,865	25	75
RK_U	4,5 kg	Rouhittu klapi ulkona	2,078	30	90
SK_S	2,827	Sydänviilletty klapi sisällä	1,767	30	90
SK_P	3,037	Sydänviilletty klapi parveke	1,955	25	75
SK_U	3,129	Sydänviilletty klapi ulkona	2,091	25	75
HK_S	1,479	Halkaistu klapi sisällä	0,785	10	30
HK_P	1,590	Halkaistu klapi parveke	0,922	12	36
HK_U	1,648	Halkaistu klapi ulkona	1,006	12	36
vrk	0		149		



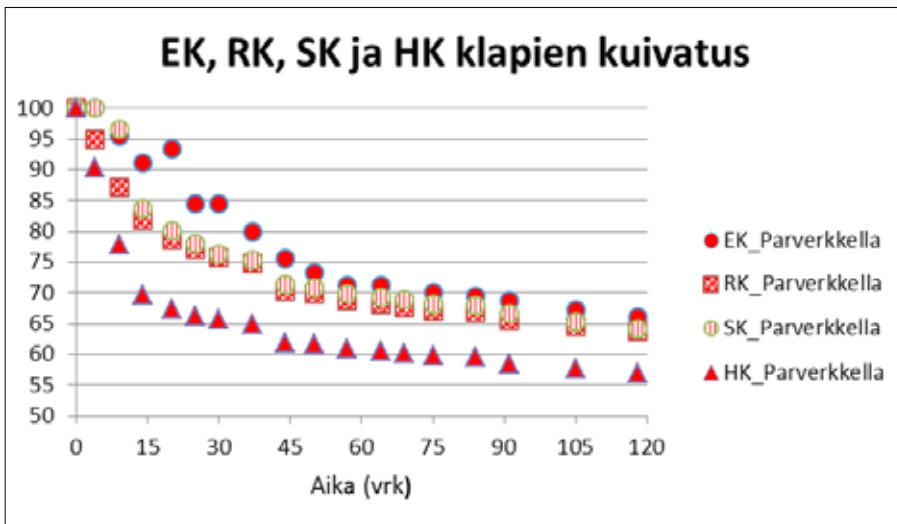
Kuvio 5. Sisällä, parvekkeella ja ulkona kuivattujen klapien aikavakiot

## ERI TAVOILLA KÄSITELTYJEN KLAPIEN VERTAILU

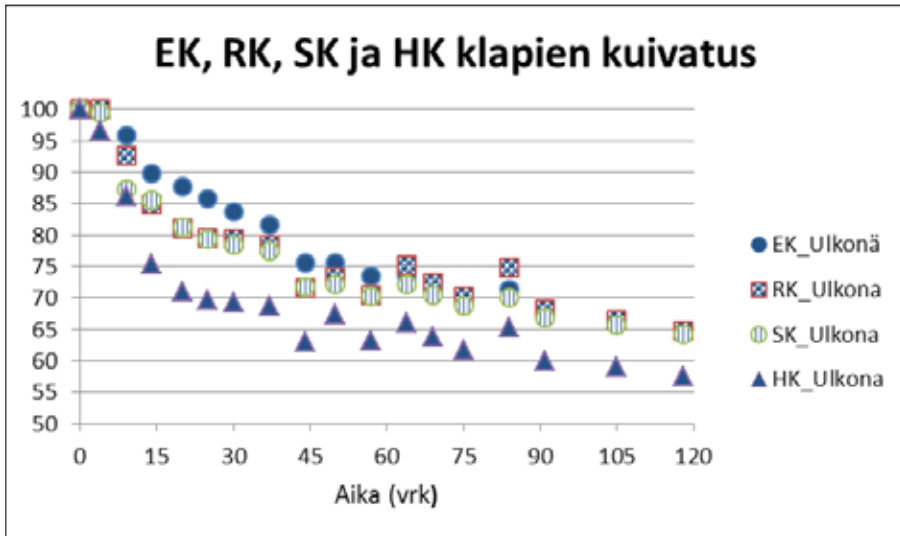
Punnitustulokset on normalisoitu suhteessa niiden alkupainoon jakamalla kukin punnittu paino alkupainolla ja kertomalla tulos sadalla. Normalisoitu vertailu suo mahdollisuuden piirtää ja määrittää aikavakiota halutulla tavalla ristiin. Kuvioissa 6–8 on eri tavoilla käsiteltyjen klapien normalisoidut vertailut sisä-, parveke- ja ulkotilakuivatuksena 4 kuukauden aikajaksolta. Kuviossa 6 on sisätilassa kuivatetuille klapeille myös simulointikäyrät.



Kuvio 6. Eri tavoilla käsitellyjen klapien vertailu sisätilakuivatuksena



Kuvio 7. Eri tavoilla käsitellyjen klapien vertailu parvekekuivatuksena

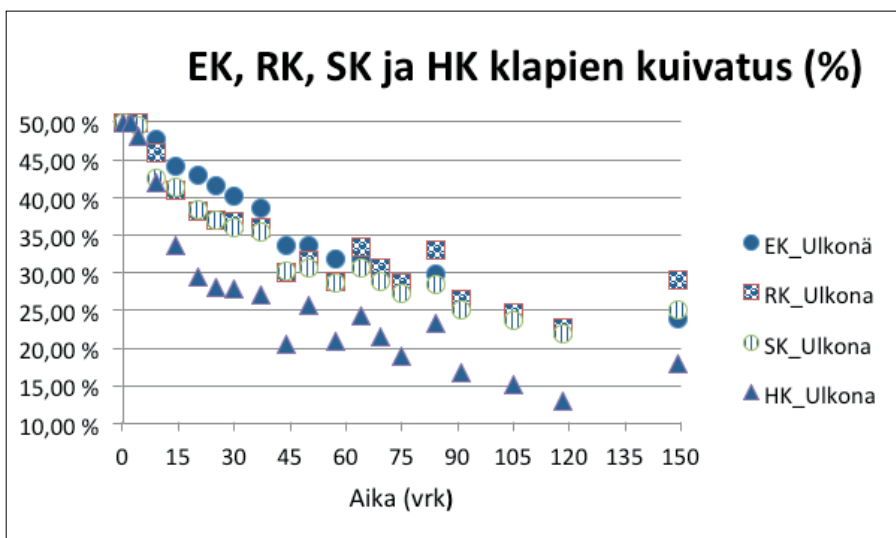


Kuvio 8. Eri tavoilla käsiteltujen klapien vertailu ulkotilakuivatuksena

#### KLAPIEN ULKOTILAKUIVATUSVERTAILU LASKETUN KOSTEUSPROSENTIN MUKAAN

Kuviossa 9 on eri tavoilla käsiteltujen klapien vertailu 5 kuukauden ajalta ulkokuivatuksena lasketun kosteusprosentin mukaan. Alkukosteusprosentiksi on valittu 50 %. Kaavion anti on se, että halkaistun klapiin kuivuminen ulkona on tehokasta ja se kuivuu nopeasti uudelleen myös sadejakson jälkeen. Halkaistun klapiin kosteuspitoisuus on parhaimmillaan 10–15 %. Ehytkuorinen ja sydänviihletty klapi kuivuvat tasaisesti, mutta loppukosteusprosentti jää 25 %:n tuntumaan. Rouhittu klapi kyllä kuivuu, mutta imee myös sadejaksolla tehokkaasti kosteutta itseensä.



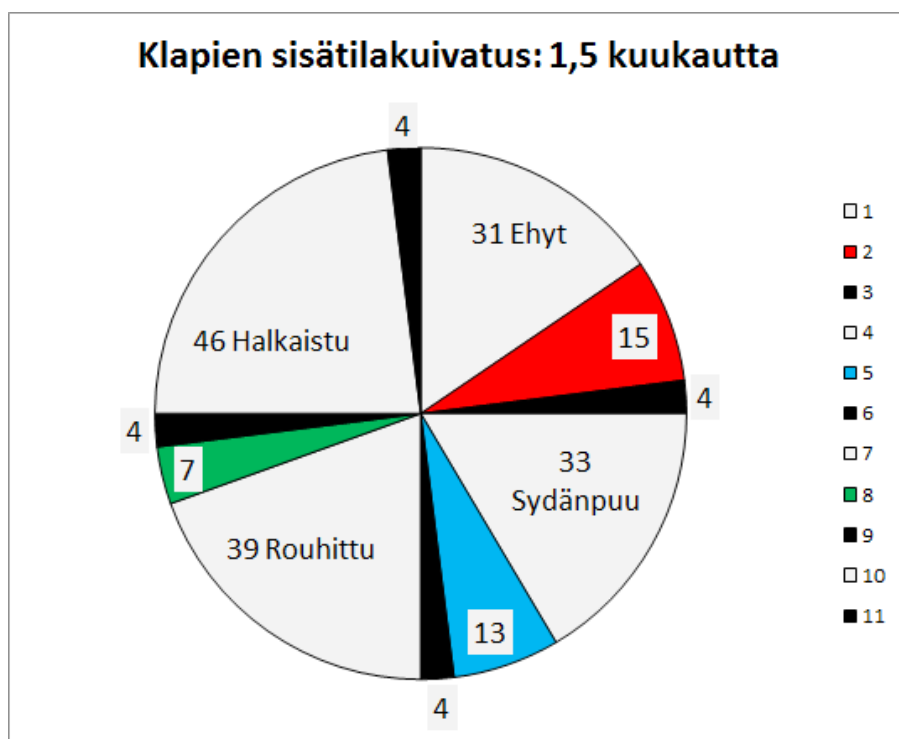


Kuvio 9. Eri tavoilla käsiteltävien klapien vertailu ulkotilakuivatuksena lasketun kosteusprosentin mukaan

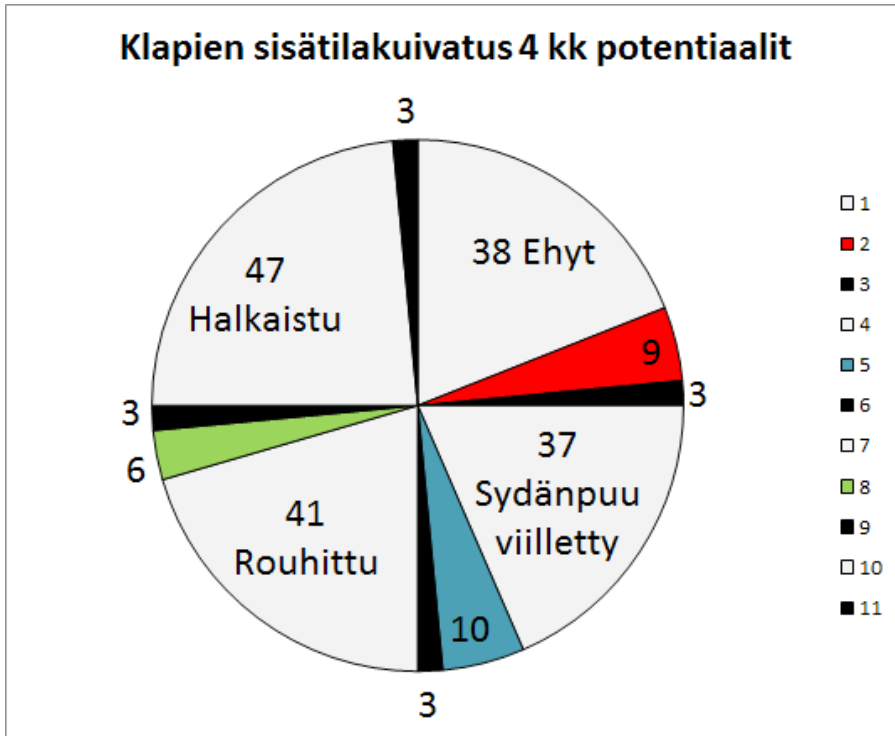
## AIKAAN SIDOTTU KUIVUMISPOTENTIAALIEN VERTAILU

Pelkkä tasapainokosteuden saavuttamiseen kulunut aika ei kerro, kuinka pitkälle kuivuminen on todellisuudessa edennyt. Alkutilanteessa klapiissa on esim. 50 osaa vettä ja 50 osaa kuivaa puuta suhteessa alkupainoon. Potentiaali tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että tietyssä kuivumisajassa halkaistusta klapiasta haihtuu enemmän vettä kuin ehytkuorisesta klapiasta. Kuvioissa 10 ja 11 on vertailtu sisätilakuivatuksen jäljellä olevien vesimäärien osuuksia 1,5 kuukauden ja 4 kuukauden kuivumisjaksoilla. Lähtötilanteessa on oletettu olevan 50 % kosteutta 10.4.2014 kaadetuissa ja 12.4.2014 käsitellyissä koivuissa. Klapien painot on saatu yhteismitallisiksi jakamalla punnitussarja alkupainolla. Ohessa sisätilassa kuivatetusta erästä kaavio, jossa on esitetty haihtuneen veden osuus ja kuivumispotentiaali suhteessa halkaistuun klapiin osuuksina alkupainosta. Halkaistuun klapiin on jäänyt 3 osaa vettä. Tämä veden osuus on suhteutettu veden osuuteen alkupainosta, siis 3/50. Lämmitetyllä lattialla 25 °C:ssa on osa solujen sisäisestä vedestä haihtunut pysyvästi eli osa elävästä solukosta on jo kuollut.

Kokeeseen käytetty ensimmäisen vaiheen aika oli 1,5 kuukautta. Ehytkuorisen klapiin kuivumispotentiaali suhteessa halkaistuun klapiin on 15 osaa vettä, sydänpuuhun viillettyyn 13 osaa ja rouhittuun 7 osaa vettä. Ehytkuorinen, sydänviilletty ja rouhittu klapi jatkoivat kuivumistaan vielä seuraavien 2,5 kuukauden aikana tehdyissä punnituksissa. Ehytkuorisen klapiin kuivumispotentiaali suhteessa halkaistuun klapiin on 9 osaa vettä, sydänpuuhun viillettyyn 10 osaa ja rouhittuun 6 osaa vettä. Syksyllä suhteellisen kosteuden noustessa myös sisätiloissa oli pientä vaihtelua punnituisissa painoissa.



Kuvio 10. 1,5 kuukauden kuivumispotentiaalit alkupaino-osuuksina lämmitetyllä lattialla kuivumisen jälkeen

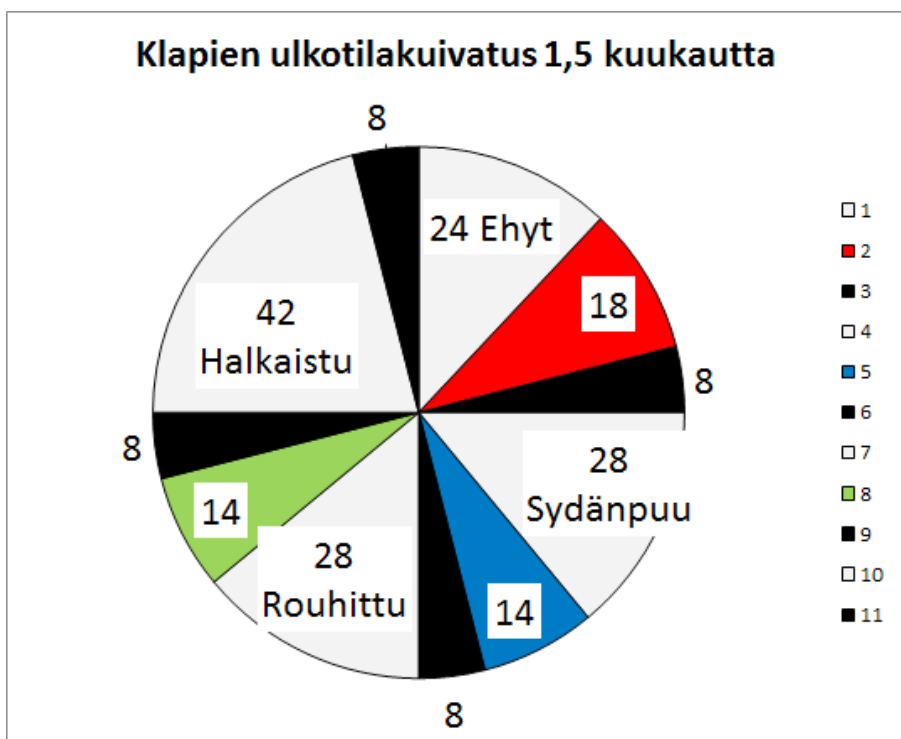


Kuvio 11. Neljän kuukauden kuivumispotentiaalit lämmitetyllä lattialla kuivumisen jälkeen

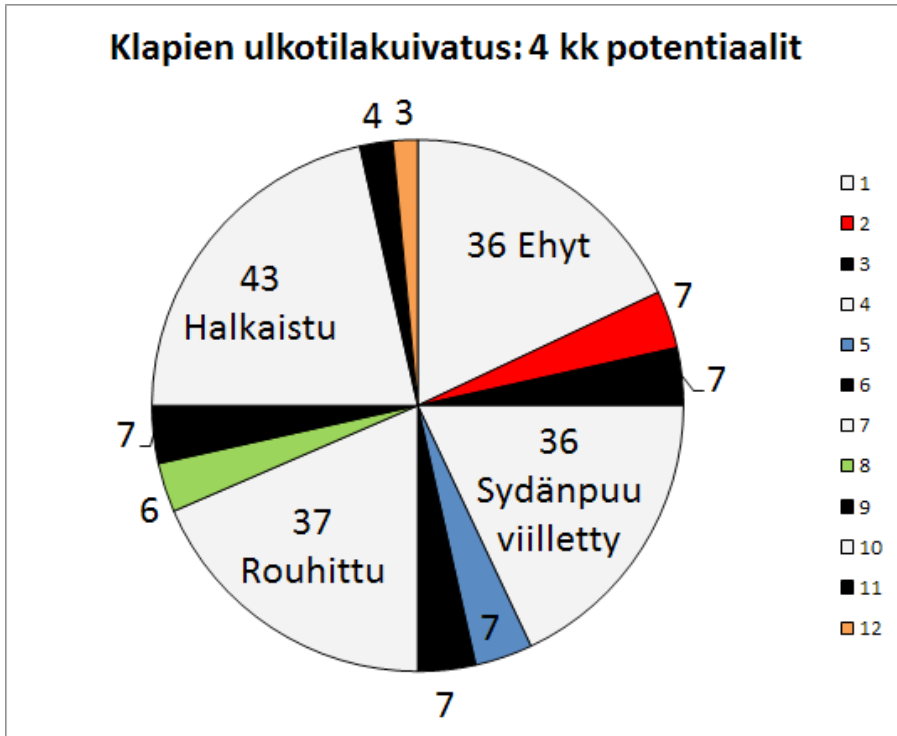
### KLAPIEN ULKOTILAKUIVATUKSEN KUIVUMISPOTENTIAALIT KÄSITTELYTAVAN MUKAAN

Kokeeseen käytetty ensimmäisen vaiheen aika oli siis 1,5 kuukautta. Kuviossa 12 on esitetty ehytkuorisen klapiin 18 osaa vettä, sydänpuuhun viillettyyn 14 osaa ja rouhittuun 14 osaa vettä kuivumispotentiaalit suhteessa halkaistuun klapiin. Ehytkuorinen, sydänviilletty ja rouhittu jatkoivat kuivumistaan vielä seuraavien 2,5 kuukauden aikana tehdyissä punnituksissa.

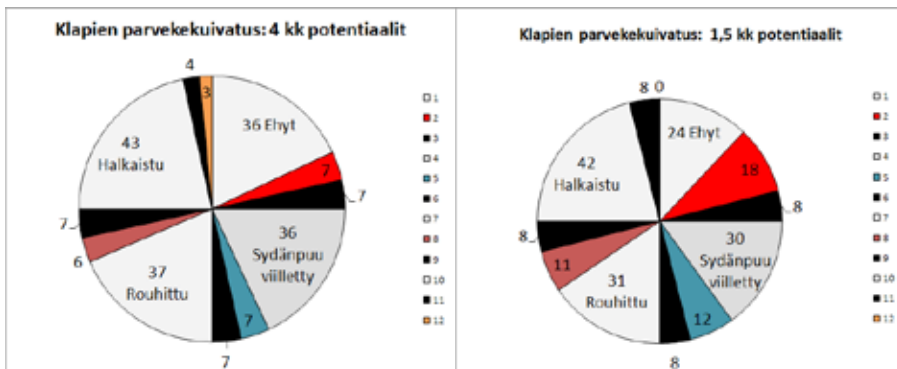
Kuvioon 13 on merkitty 4 kk:n kuivumiskäyrät, aikavakiot sekä kuivumispotentiaalit suhteessa halottuun klapiin. Myös halotun klapiin kuivumispotentiaali 7 osaa on jaettu 3 osan potentiaaliin sisätilakuivatukseseen nähden. Ehytkuorisen klapiin kuivumispotentiaali suhteessa halkaistuun klapiin on 7 osaa vettä, sydänpuuhun viillettyyn 7 osaa ja rouhittuun 6 osaa vettä. Halkaistu klapi on kuivunut hyvin, mutta muissa klapeissa on vielä runsaasti vettä suhteessa alkupainoon.



Kuvio 12. Klapien ulkotilakuivatus ja kuivumispotentialit 1,5 kk:n jälkeen



Kuvio 13. Klapien ulkotilakuivatus ja kuivumispotentiaalit 4 kk:n jälkeen



Kuvio 14. Klapien parvekekuivatus ja kuivumispotentiaalit 1,5 kk:n ja 4 kk:n jälkeen

## 5 MÄNTYKLAPIEN SISÄTILA- JA ULKOTILAKUIVATUS

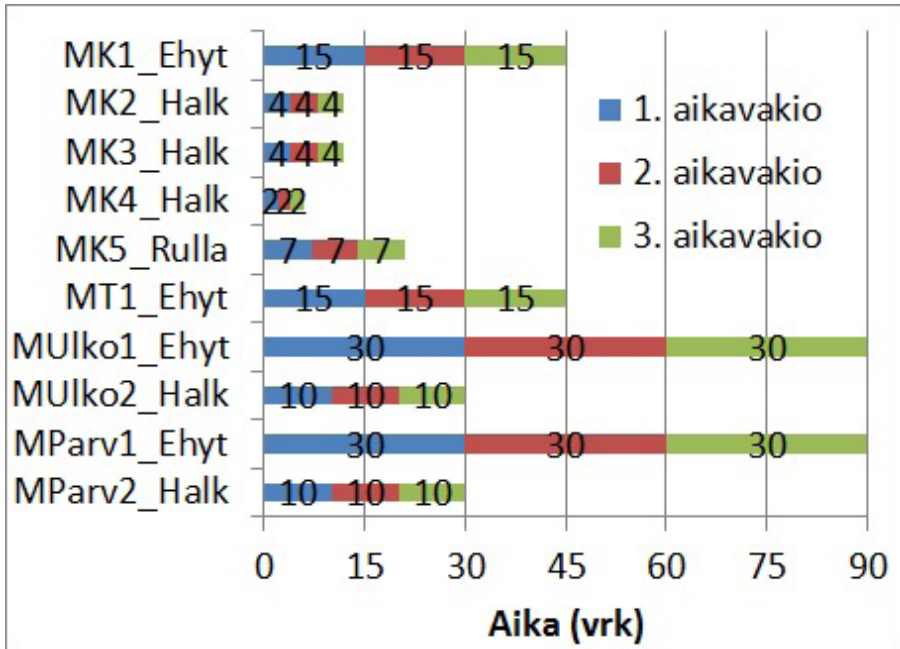
Keväällä 15.3.2014 on tehty ison, kaadetun männyn yläöksistä klapeja, joista osa on kuivattu kylpyhuoneen lämmitetyllä lattialla, osa ulkona alttiina sateelle sekä osa kuivalla ulkoparvekkeella. Kuvassa 1 klapit on esitelty vasemmalta oikealle. Ylärivissä ovat sisällä kuivatut klapit. Alarivissä vasemmalla ovat ulkona ja oikealla parvekkeella kuivatut klapit. Taulukossa 1 on mäntyklapien tiedot ja niiden arvioitut aikavakiot sekä alkupaino ja alin loppupaino 2014. Aikavakiota on jouduttu arvioimaan kuivumisviiveiden vuoksi. Keväällä ilmojen lämmitessä painokäyrä muodostaa alussa laskevan suoran.

TAULUKKO 1. Mäntyklapit ja niiden kuivumiselle määritellyt aikavakiot sekä alin loppupaino 2014						
Nimike	Kuivatuspaikka ja paikka kuvassa		Aika- vakio (h)	Aika- vakio (vrk)	Alku- paino	Loppu- paino
			Arvioitu	Arvioitu	15.3.	11.4./
MK1_Ehyt	Ehytkuorinen mäntyklapi kylpyhuoneessa (ylärivi vasen)	Y1		15	1,757	1,101/ 0,954
MK2_Halk	Halkaistu mäntyklapi kylpyhuoneessa	Y2	100	4	1,285	0,729 0,723
MK3_Halk	Kuori lohjennut pois, mäntyklapi kylpyhuoneessa	Y3	100	4	1,272	0,750 0,746
MK4_Ehyt	Halkaistu, pieni mäntyklapi kylpyhuoneessa	Y4	48	2	0,278	0,143 0,142
MK5_Rulla	Mäntyrulla kylpyhuoneessa	Y5		7	1,962	1,165 1,155
MT1_Ehyt	Ehytkuorinen mäntyklapi olohuoneessa (ylärivi oikea)	Y6		15	1,797	1,159 0,908
MUlko1_Ehyt	Ehytkuorinen mäntyklapi ulkona sateessa (alarivi vasen)	A1		30	1,398	1,293 0,732
MUlko2_Halk	Halkaistu mäntyklapi ulkona sateessa	A2		10	1,331	1,093 0,769
MParv1_Ehyt	Ehytkuorinen mäntyklapi parvekkeella	A3		30	1,290	1,141 0,686
MParv2_Halk	Halkaistu mäntyklapi parvekkeella (alarivi oikea)	A4		10	1,141	0,890 0,698

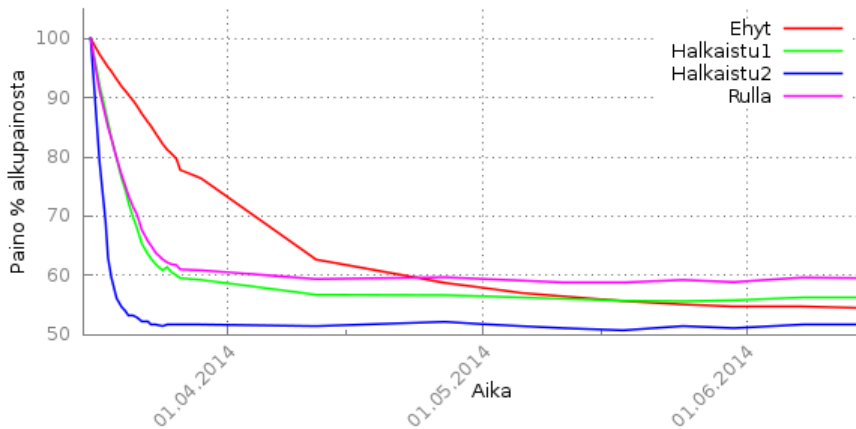
Eri tavoin käsiteltyjen mäntyklapien kuivumista on vertailtu sisätilassa ja ulkotilassa. Klapien aikavakiot ja kuivumisajat on esitetty kuviossa 1. Koska sisätilassa ja ulkotilassa kuivattujen klapien aikavakiot ja kuivumisajat poikkeavat suuresti toisistaan, on sisätilassa kuivatuille halkaistuille klapeille käytetty tuntiakselia. Käsittelyjen jälkeen klapien kuivuminen on käynnistynyt tehokkaasti vasta sulamisen ja lämpenemisen jälkeen. Kuviossa 2 on esitetty sisätilassa kuivattujen klapien päivämäärään sidotut painokäyrät suhteessa alkupainoon ja kuviossa 3 todelliset painokäyrät.



Kuva 1. Sisätilassa (ylärivi), ulkona (vasen alarivi) ja parvekkeella (oikea alarivi) kuivatut klapit

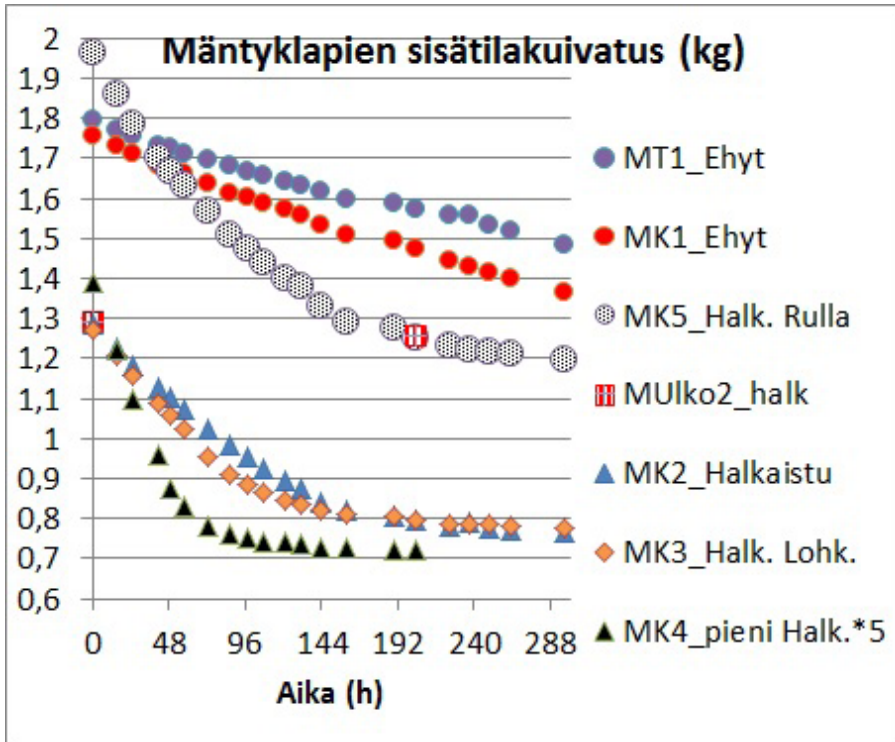


Kuvio 1. Sisällä, parvekkeella ja ulkona kuivattujen mäntyklapien aikavakioarviot



Kuvio 2. Mäntyklapien vertailu sisätalokuivatuksena ja päivämäärään sidottuna 2,5 kk

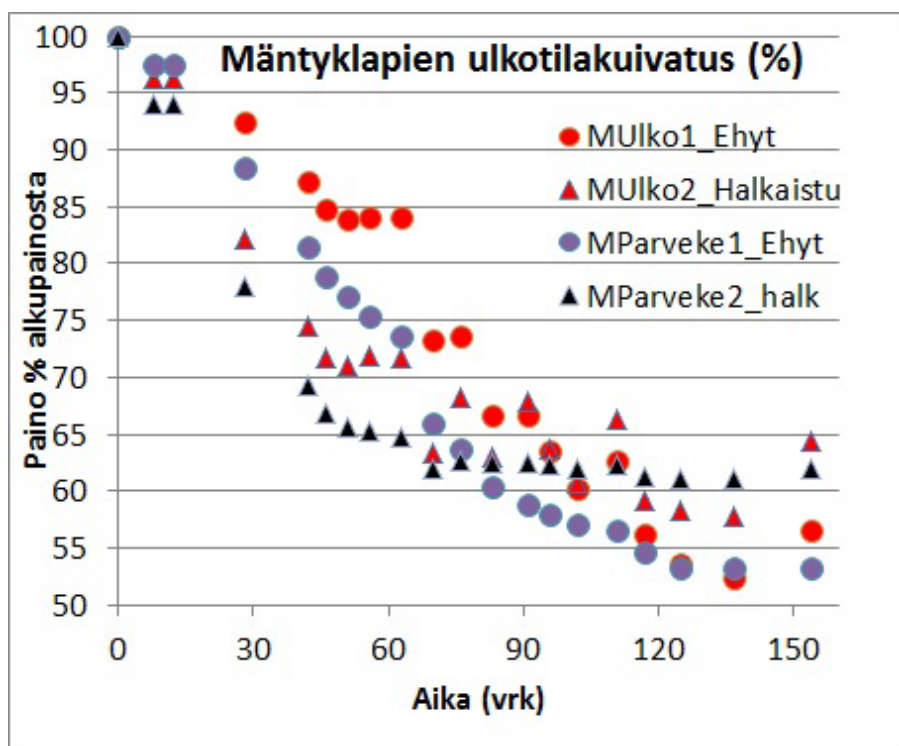




Kuvio 3. Mäntyklapien kuivatus sisätilassa

Kuviossa 4 kuorellisille ja ulkotilassa kuivatuille klapeille on käytetty vuoro-kausi- ja kuukausiakselia. Ulkotiloissa kuivumisen käynnistymiselle on selvästi havaittavissa viivettä ja kuollutta aikaa. Alkukeväästä punnittu painokäyrä on ollut suora ja sään vaihtelut ovat vaikuttaneet kuivumiseen. Kuivuminen on ollut tehokasta vasta toukokuussa. Tästä syystä aikavakiot on arvioitu ulkona kuivumisen osalta. Kuivumisaika on normaalisti kolmen aikavakion mittainen, mutta ulkona kuivattujen klapien kuivumisajat ovat todellisuudessa pitempiä keväällä tapahtuneen ilmojen vaiheittaisen lämpenemisen aiheuttaman viiveen vuoksi.

Mäntyklapien ulkokuivatuksessa ehytkuoristen ja halkaistujen klapien kuivumisajoissa ja haihtuneen veden määrissä on merkittäviä eroja. Tasapainokosteudessa parvekkeella kuivatuissa halkaistujen ja ehytkuoristen klapien loppupaino on lähes sama, vaikka lähtöpaino oli 150 grammaa ehytkuorista korkeampi. Ehytkuorinen mäntyklapi on jatkanut kuivumistaan yllättävän hyvin syksyyn kosteudesta huolimatta. Syksyn kasvava kosteus on imeytynyt halkaistuihin klapeihin. Sateelle alttiissa paikassa kuivatetut halkaistut klapiet kastuvat ja kuivuvat nopeasti. Koska kuoriossa sisältää suhteessa enemmän kosteutta kuin puun sisäosat, kuorellisten lähtökosteus on ollut halkaistuja korkeampi.



Kuvio 4. Mäntyklapien kuivatus parvekkeella ja ulkona vertailu paino-osuuden mukaan

## 6 KLAPINIPPUJEN SISÄ- JA ULKOKUIVATUS

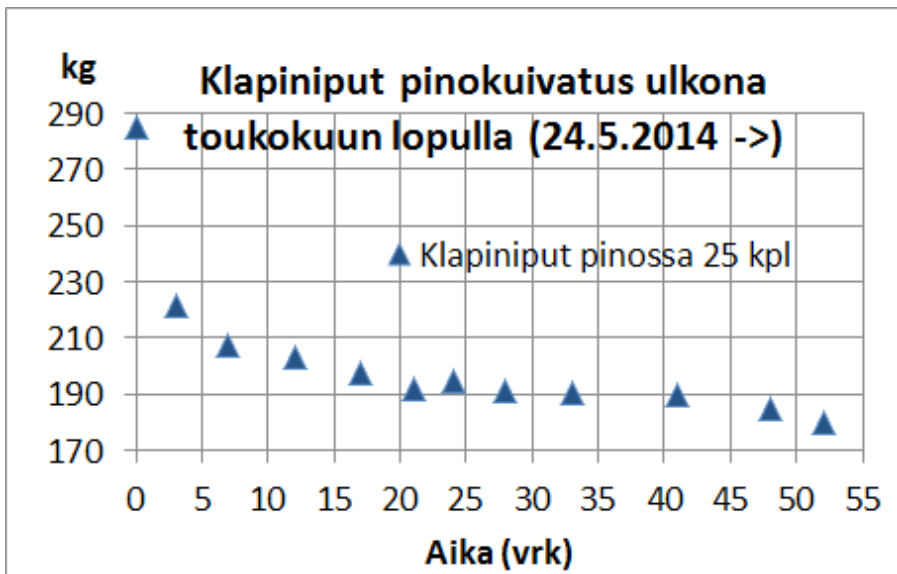
Koivusta ja leppäpuusta tehdyistä klapinipuista tehtiin vertailu eri kuivatusolosuhteissa. Toukokuun lopulla on tehty isosta pihakoivusta 25 klapinipun koe-erä (ks. kuva 1 ja kansilehti). Koivun kaato, käsittely ja ensimmäinen punnitus on suoritettu 21.5.2014 hellejakson alkaessa. Niput on punnittu 100 g:n tarkkuuden antavalla henkilöväa'alla ja klapiniput on pinottu kuivumaan isojen kuusien alle tuuliseen ja aurinkoiseen paikkaan.



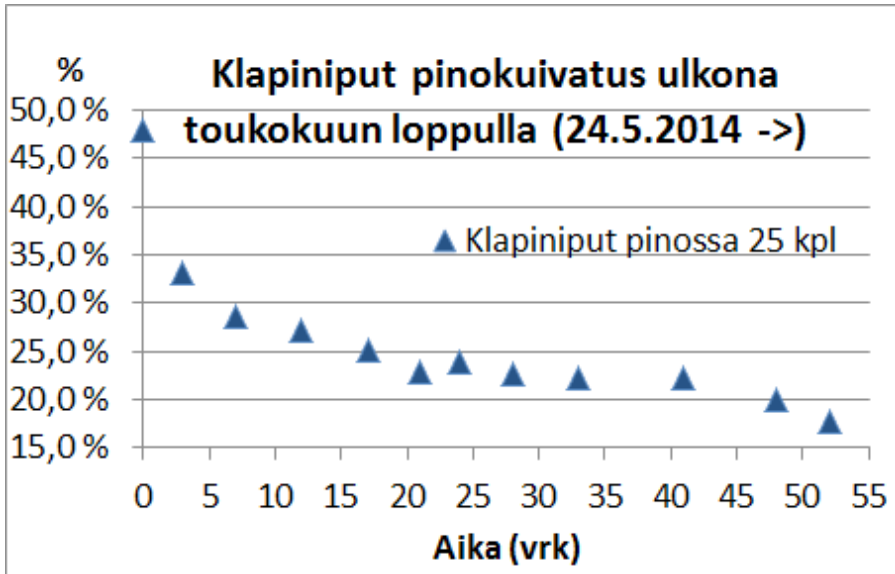
Kuva 1. 25 kpl:een klapinippupino kuivumispaikassaan

Nippujen alkupaino vaihteli 9,5 kilosta 13,9 kiloon. Klapinippujen (25 kpl) yhteispaino oli 284,7 kg ja keskipaino 11,4 kg. Punnituksessa ja ladottaessa kuivumispiinon nippujen paikat ovat vaihdelleet (pohjalla, keskellä ja päällä). Kuten kuvasta 1 näkee, klapinippupino on asetettu kahden kuusen väliin, johon sadevettä ei ole tullut suuria määriä. Toukokuun hellejakso sekä aurinko

ja tuuli ovat edesauttaneet nopeaa kuivumista. Tuloksista huomataan, että kolmen ensimmäisen päivän haihtuma on ollut rajua: 63,2 kg. Isojen puiden kuiva sydänpuuosuus laskee lähtökosteutta. Kosteuspitoisuus on pudonnut arvioidusta 48 %:sta 33 %:iin. Heinäkuun loppuun mennessä vettä on haihtunut vajaa 105 kg. Kuviossa 1 näkyy klapinippujen punnituskäyrä ja kuviossa 2 laskettu kosteuskäyrä aikajaksolta 24.5.–7.8. Toukokuun lopun nopea kuivuminen näkyy selvästi kuivumiskäyrästä, josta karkeaksi aikavakioksi tulee noin 70 tuntia eli 3–4 päivää. Kuvioista näkyvät myös kesäkuun kylmä jakso sekä heinäkuun kuiva ja lämmin jakso. Parhaimmillaan kyseiset klapit olisi voitu siirtää hiukan tuulettuvaan varastoon 10 päivän jälkeen niiden pilkkomisesta ja niputtamisesta. Viimeisessä punnituksessa klapinippujen (25 kpl) yhteispaino oli 180,6 kg ja keskipaino 7,2 kg. Tuolloin laskettiin haihtuneen veden määräksi 104,1 kg. Viimeisen punnituksen ajankohtana 7.8.2014 klapinippuerän loppukosteudeksi on laskettu noin 17 %. Kyseinen klapierän poltto on käynnistynyt jo elokuun lopulla. Kuviossa 1 on klapinippupinon mitattu painokäyrä ja kuviossa 2 vastaava kosteuskäyrä.



Kuvio 1. Klapinippupino koe-eränä, painokäyrä



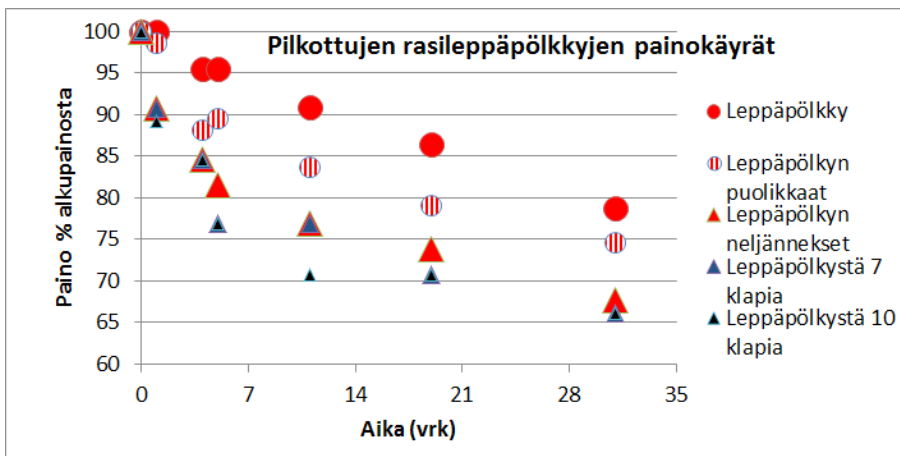
Kuvio 2. Klavinippupinon koe-erän kosteuskäyrä

## LEPPÄPÖLKYT JA -NIPUT

7.6.2014 rasiin kaadetun lepän pölkyt ja pölkyistä tehdyt klaviniput on tehty 7.7.2014 (ks. kuva 2). Kuivumista on seurattu yhden helteisen kuukauden ajan. 14.7. on ollut sateista ja ukkosta, mikä näkyy hetkellisenä muutoksena. Pölkystä pilkotut neljännekset kuivuvat itsenäisinä yhtä nopeasti kuin vastaavasta pölkystä tehty klavinippu. Niiden aikavakio on noin 7 päivää eli viikko. Halkaisutun pölkyn aikavakio on yhden kuukauden luokkaa ja ehjän pölkyn hiukan yli kuukauden. Kaikkien pölkkyjen lähtöpaino on ollut 6,5 kg tai 6,6 kg. Kuviossa 3 on piirrettynä painokäyrät suhteessa kunkin näyte-erän alkupainoon.



Kuva 2. Eri tavoilla halotut klapipölkkyt



Kuvio 3. Kokonaisen pölkyn, puolikkaiden, neljänneksien sekä klapinippujen normalisoidut painokäyrät



## HAUSKALA JYVÄSKYLÄ

Lähtökohtana on ollut huhtikuun lopulla tehty koivuerä omakotitalossa Jyväskylän Hauskalantiellä. Koivut on kaadettu huhtikuussa 10.4.2014, minkä jälkeen ne on pilkottu, niputettu ja punnittu. Muut, mm. rouhitut ja sydänviilletyt, niput on käsitelty 12.4.2014. Klapinippujen kuivauspaikkana on ollut omakotitalon piha, talon ulkoparveke ja kylpyhuoneen lämmitetty lattia. Yksi klapinippuerä on esitelty kuvassa 3. Klapinippujen nimien lyhenteet, selitteet, alku- ja loppupainot sekä aikavakiot on kirjattu taulukoissa 1 ja 2.

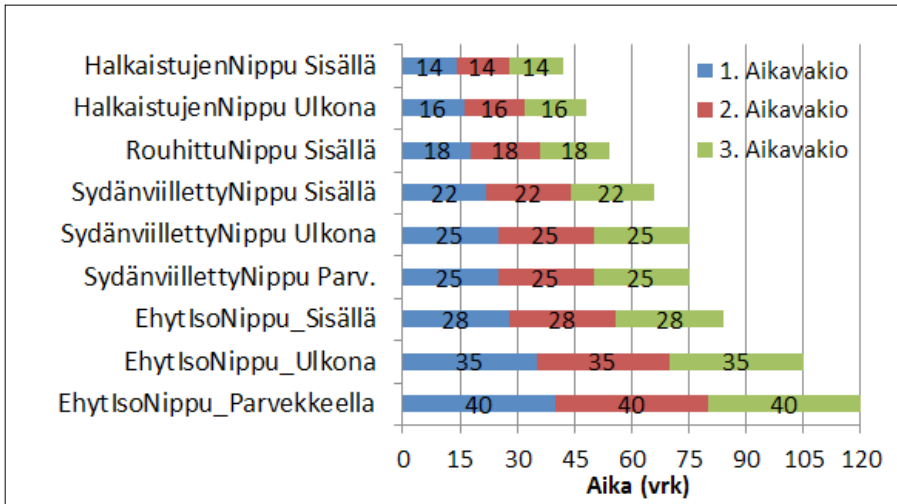


Kuva 3. Parvekkeella kuivatut klapiniput (ehyt, sydänviilletty, rouhittu ja halottu)

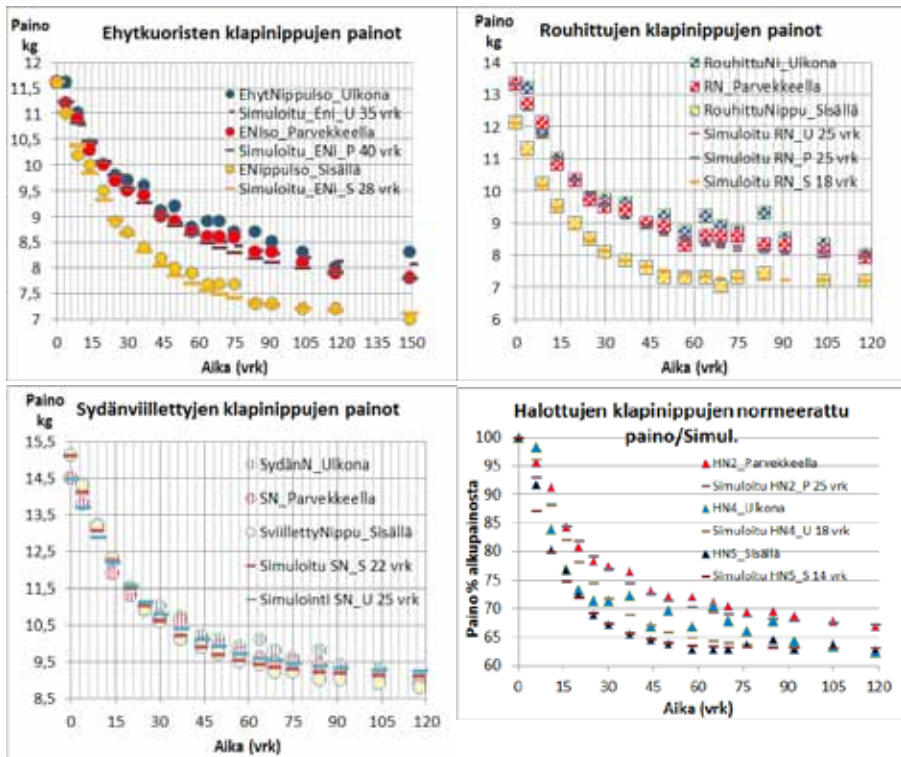
TAULUKKO 1. Hauskala; halkaistut klapinippuerät ja aikavakiot (Tau)						
Tunnus	Paino				Tau	Kuivumisaika
pvm	10.4.14		7.8.14	1.11.14		3 x Tau
	kg		kg	kg	vrk	vrk
HN5	11,45	Halkaistut klapit sisällä	7,2	7,0	14	42
HN7	10,40	Halkaistut klapit sisällä Siirto parvekkeelle 14.6	6,5	7,0		
				7.9.		
HN1	9,60	Halkaistut klapit parveke	6,4	6,4		
HN2	11,50	Halkaistut klapit parveke	7,7	7,8	25	75
HN8	10,50	Halkaistut klapit parveke	7,1	7,2		
				7.9.		
HN3	14,70	Halkaistut klapit ulkona	9,0	9,9		
HN4	11,20	Halkaistut klapit ulkona	7,0	7,8	14–18	42–54
HN6	12,60	Halkaistut klapit ulkona	7,6	8,3		

TAULUKKO 2. Hauskala klapinippuerät ja aikavakiot (Tau)					
Tunnus	Paino	Tunnus	Paino	Tau	3xTau
pvm	12.4.14		7.8.14	1.	3.
	kg		kg	vrk	vrk
ENpien_S	11,2	Ehytkuoriset pienet klapit nippu sis.	7,2	25	75
ENpien_P	11,4	Ehytkuoriset pienet klapit nippu parv.	7,9	37	111
ENpien_U	12,1	Ehytkuoriset pienet klapit nippu ulk.	8,5	35	105
ENiso_S	11,6	Ehytkuoriset isot klapit nippu sisällä	7,2	28	84
ENiso_P	11,6	Ehytkuoriset isot klapit nippu parveke	7,9	40	120
ENiso_U	11,6	Ehytkuoriset isot klapit nippu ulkona	8	35	105
RN_S	12,1	Rouhitut klapit nippu sisällä Siirto parvekkeelle 14.6	7,2	18	54
RN_P	13,3	Rouhitut klapit nippu parveke	7,9	25	75
RN_U	13,3	Rouhitut klapit nippu ulkona	8	25	75
SN_S	15,1	Sydänviilletyt klapit nippu sisällä	8,8	22	66
SN_P	14,5	Sydänviilletyt klapit nippu parveke	8,9	25	75
SN_U	14,5	Sydänviilletyt klapit nippu ulkona	9	25	75
vrk	0	Aika (vrk)	118		





Kuvio 4. Sisällä, parvekkeella ja ulkona kuivattujen klapinippujen aikavakiot

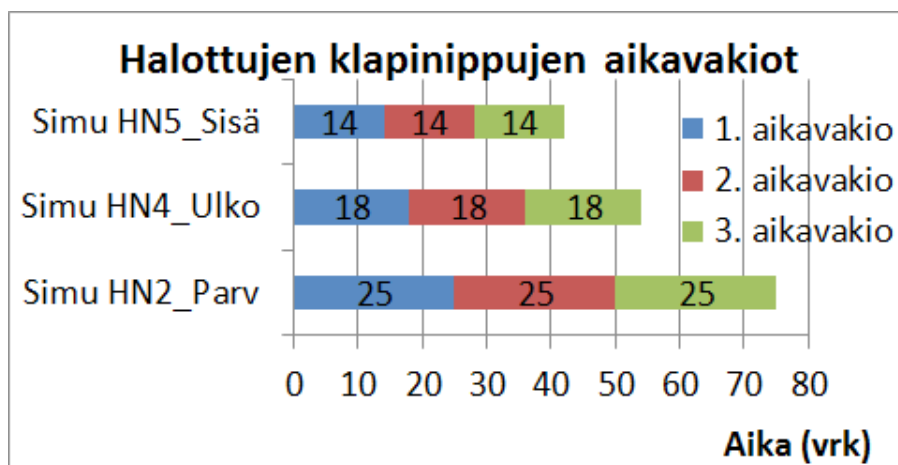


Kuvio 5. Ehytkuoristen, rouhittujen, sydänviillettyjen ja halottujen klavinippujen aikavakiovertailu kuivumispaikan mukaan

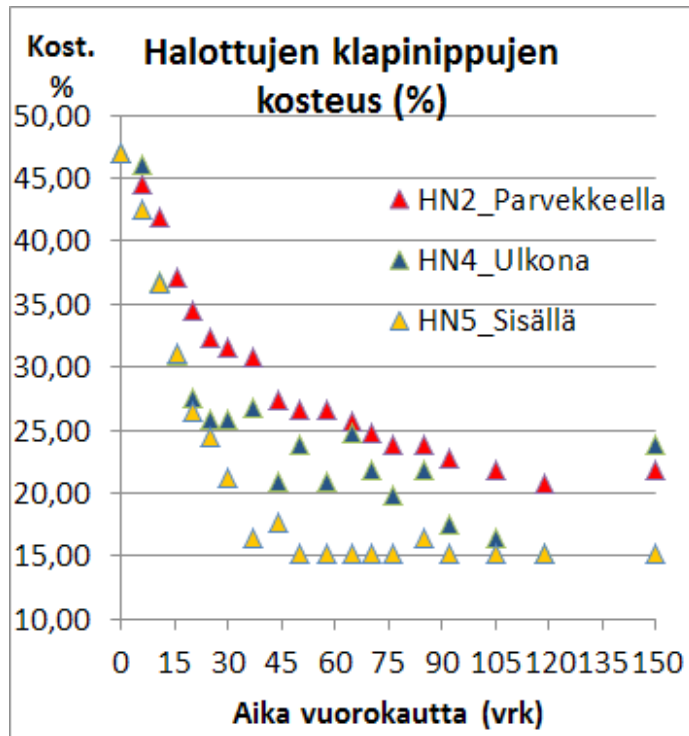
## EHYTKUORISTEN KLAPINIPPUJEN VERTAILU KUIVUMISPAIKAN MUKAAN

Kuvion 2 mukaan ehytkuoristen klapinippujen kuivatuksen aikavakioksi saatiin sisätiloissa 28 päivää (4 viikkoa), parvekkeella 40 päivää ja ulkona 35 päivää. Täten kuivumisajat ovat 3–4 kuukauden luokkaa ehytkuorisille klapinipuille, jotka on tuotettu 12.4 2014. Kolmen lähtöpainoltaan saman painoisten klapinippujen (11,6 kg) kokeessa havaittiin loppupainossa kilon pysyvä poikkeama sisätiloissa kuivatetun eduksi. Tämä selittynee sillä, että sisätiloissa klapien solukossa oleva vesi kuivuu ja osa solukosta kuolee. Taivasalla loppukesän ja syksyn sateissa ollut erä on kastunut ja kuivunut, mutta siihen on jäänyt pysyvästi eroa vajaat 0,5 kiloa.

Ulkona kuivuneen klapinipun aikavakio on vaihdellut 14–18 vuorokautta. Ulkona klapiniput ovat kuivuneet toukokuussa erittäin nopeasti. Sateet ovat tehneet suurta vaihtelua kuivumiseen. Ulkona ja sisällä kuivuneet klapiniput ovat lähes yhtä kuivia neljän kuukauden kuivumisen jälkeen. Kyseisiin parvekkeen halottuihin nippuihin eivät tuuli ja auringon lämpö päässeet riittävästi vaikuttamaan. Halottujen klapinippujen kuivatus ulkotiloissa kesällä toukokuussa on hyvä valinta.



Kuvio 6. Halottujen klapinippujen aikavakiot ja kuivumisajat kuivumispaikan mukaan



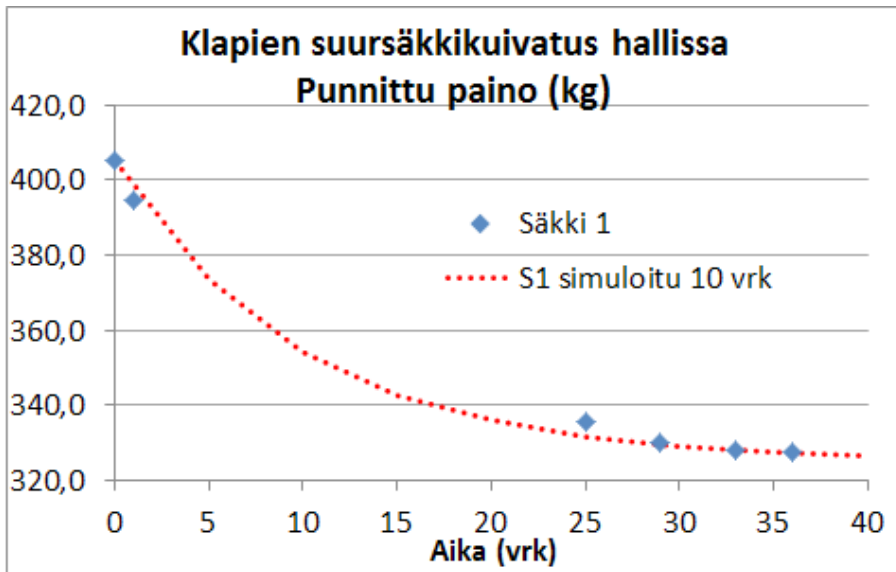
Kuvio 7. Halottujen klavinippujen kosteusprosenttiversailu kuivumispaikan mukaan

Halottujen klavinippujen normeerattu paino antoi simuloinnissa seuraavia aikavakioita: klavinipun kuivattaminen sisällä lämmitetyn kylpyhuoneen lattialla antoi aikavakioiksi noin 10 päivää ja kuivumisajaksi noin yhden kuukauden. Klavinippu 7 siirrettiin 14.6.2014 parvekkeelle, jossa sen paino nousi 4 kk:ssa 6,5 kg:sta 7 kg:aan. Vastaava klavinippu ulkona antoi alkuvaiheessa aikavakioiksi hiukan alle kaksi viikkoa, mutta kuivatustulos sisälsi lisäksi muutaman päivän kuollutta aikaa, ennen kuin tehokas kuivuminen käynnistyi. Tämän jälkeen kesäkuun sadekaus hidasti ulkona taivasalla kuivattavien klavinippujen kuivumista. Heinäkuun lopun ja elokuun hellekaudet saivat ulkona kuivumisen jatkumaan. Simulointi antoi kokonaisaikavakioiksi 20 päivää ja kuivumisajaksi noin 105 päivää ulkona taivasalla. Kuivuminen toukokuussa ulkona oli jopa nopeampaa kuin sisällä. Hyvin tuulettuvalla parvekkeella klavinippujen kuivuminen oli selvästi hitaampaa ja tasaisempaa kuin taivasalla. Aikavakioiksi parvekenipulle saatiin 30 päivää ja kuivumisajaksi yli 90 päivää. Parvekkeella kuivatetut niput jäivät kuivatuksessa 20 %:n kosteuteen, mutta sisällä ja taivasalla kuivatetut kuivuivat kuvion 2 mukaan noin 15 %:n loppukosteuteen. Taivasalla olevat niput kostuivat rajusti syksyn kosteudesta.

## 7 SUURSÄKITETTYJEN KLAPIEN HALLI- JA ULKOKUIVATUS

### YHDEN SUURSÄKITETYN KLAPIERÄN KUIVATUS LÄMMITETYSSÄ HALLISSA

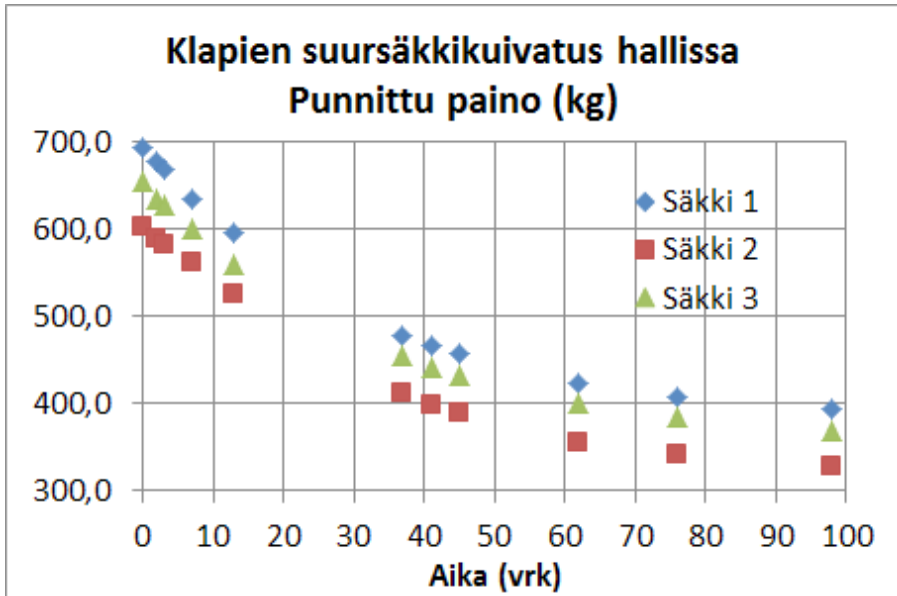
Maaliskuussa 2013 kaadettiin puut, jotka tehtiin pilkkeiksi (klapeiksi) toukokuun alussa. Kesän 2013 aikana pilkkeet esikuvattiin ulkona pressun alla säkissä, joka oli kuormalavan päällä. Sateinen syksy aiheutti veden imeytymistä kuiviin puihin. Tammikuun lopulla 27.1.2014 pilkesäkki siirrettiin halliin hyvin ilmastoituun paikkaan, jossa lämpötila oli 18–20 °C. Tällöin alkukosteuden arvioitiin olleen 25–30 %. Toisella kokeella testattiin, kuinka nopeasti tuollainen ulkona kuivatettu puu kuivaa syksyn kosteudesta. Suursäkin päälle oli laitettu pressu ilman tuulettuvaa ilmarakoa. Kuviossa 1 olevasta painokäyrästä nähdään, että suursäkeissä olevien klapien uudelleen kuivuminen on nopeaa. Loppukosteutta arvioitiin kuukauden jälkeen tasapainotilan lähestyessä. Aikavakioksi saatiin 10 päivää hallikuivatuksena ja uudelleen kuivumisen ajaksi yksi kuukausi. On huomattava, että sisätiloissa puu kuivaa lyhytaikaisessakin kuivatuksessa pidemmälle kuin ulkokuivatuksessa ja osa puun elävistä solukosta kuolee ja menettää vetensä pysyvästi. Loppukosteudeksi arvioitiin 8–14 %.



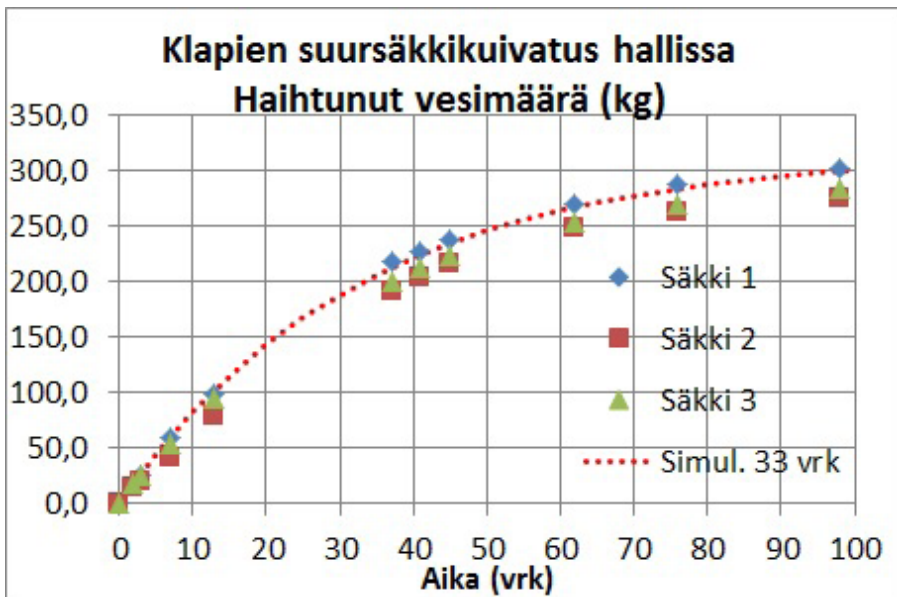
Kuvio 1. Klapien loppukuivatus suursäkkissä hallissa

### KOLMEN SUURSÄKITETYN KLAPIERÄN KUIVATUS LÄMMITETYSSÄ HALLISSA

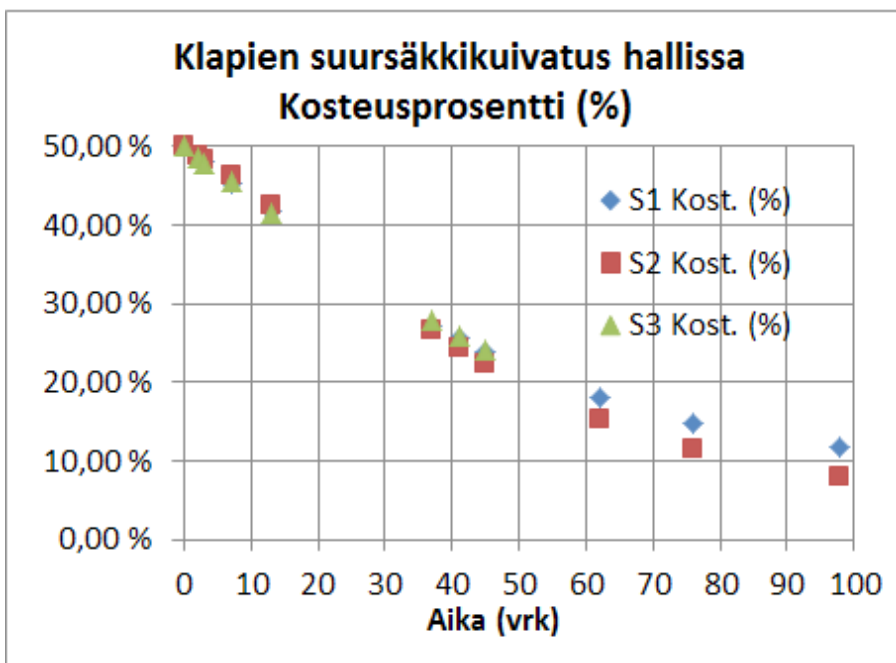
Polttopuut tehtiin suoraan säkkiin Naarva S23 sykeharvesterilla 8.11.2013, ja sen jälkeen säkit olivat suojaamattomina välivarastolla kuormalavojen päällä. Klapisäkit siirrettiin maastosta sisätiloihin 14.1.2014, jolloin tehtiin ensimmäinen punnitus. Säkit olivat hyvin ilmastoidussa teollisuushallissa, jossa lämpötila oli +20 °C. Säkit 1 ja 2 ovat kuormalavalla ja nro 3 säkin alla on kaksi kuormalavaa. Säkit punnittiin kuormalavoineen. Kuormalavan paino oli noin 17 kg. Kuviossa 2 esitetään kolmen klapisuursäkin punnitut painokäyrät ja vastaavat veden haihtumakäyrät ovat kuviossa 3. Klapisuursäkkien kosteuskäyrät on laskettu kuvioon 4 olettaen, että lähtökosteus on ollut 50 %.



Kuvio 2. Kolmen klapisuursäkin painokäyrät hallikuivatuksessa



Kuvio 3. Kolmen klapisuursäkin haihtumakäyrät hallikuivatuksessa



Kuvio 4. Kolmen klapisuursäkin laskettu kosteusprosentti hallikuivatuksessa

Hallikuivatuksen aikavakioksi voidaan arvioida noin 1 kuukausi ja kuivumisajaksi 3 kuukautta. Simulointi antoi suursäkille 1 haihtumaksi 315 kg ja aikavakioksi 32 vuorokautta. Suursäkit olivat suhteellisen lähellä toisiaan, eikä tehostettua tuuletusta haluttu kokeilla. Teoriassa kuivuminen olisi jatkunut hallissa vielä hiukan, mutta klapit olivat riittävän kuivia siirrettäväksi sisä- tai ulkovarastoon.

## KEVÄÄLLÄ 2014 KOLMEN SUURSÄKITETYN KLAPIERÄN KUIVATUS ULKONA

Polttopuut tehtiin suoraan suursäkkiin Naarva S23 sykeharvesterilla 8.11.2013, ja sen jälkeen säkit ovat olleet suojaamattomina välivarastolla kuormalavojen päällä. Oletettiin, että kuivumista ei ole tapahtunut hakkuun jälkeen keskitalvella. Klapit ovat hiukan kostuneet suursäkkien sisälle lentäneestä irtonaisesta lumesta. Myös kuormalavat olivat hieman imeneet itseensä kosteutta.

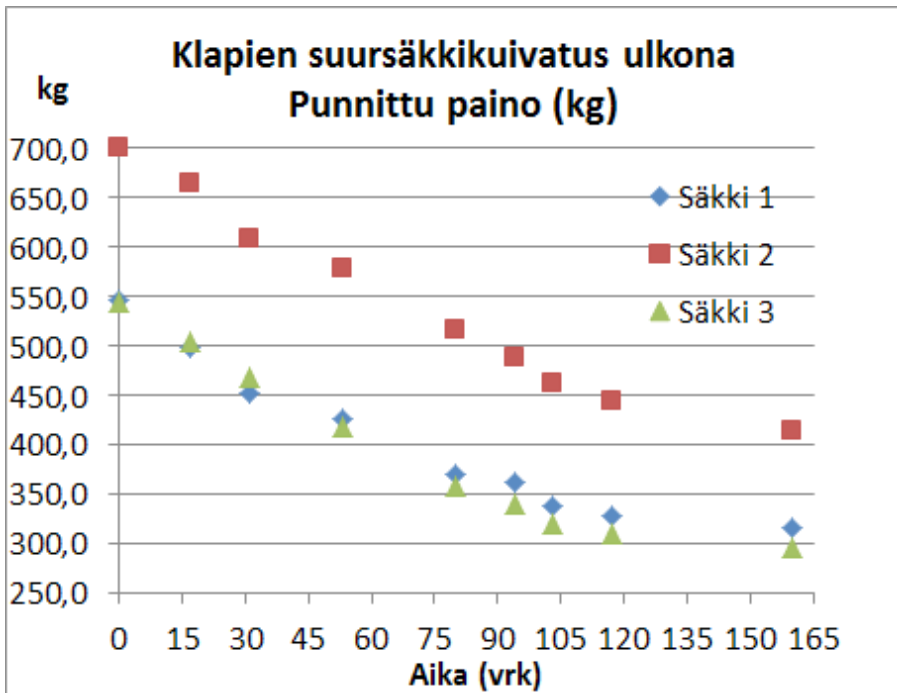
Kuvassa 1 ovat suursäkit kuivumispaikassaan. Klapisäkkien numero 2 ja 3 päälle laitettiin suojamuovilla katetut kuormalavat 28.2.2014. Klapisäkki numero 1 oli peitetty tummansinisellä kaksinkertaisella pressulla, ja pressun reunat menevät lavan yli ja peittävät osin sivuiltakin klapisäkin. Tuuli kuitenkin työnsi pressun syrjään, ja siitä luovuttiin.





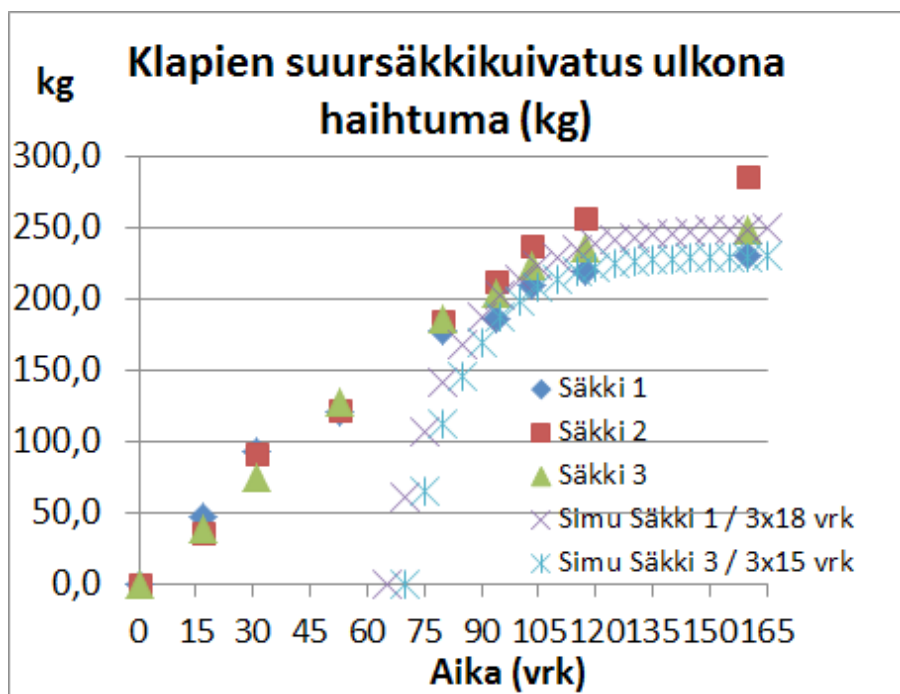
Kuva 1. Klapisuursäkit ulkona kuivumispaikassaan

Kohoavan lämpötilan vaikutus näkyy suursäkkien kuivatuksessa keväällä 2014. Kevät oli poikkeuksellisen lämmin ja vähäluminen. Kuivuminen on käynnistynyt jo maaliskuun alussa ilman lämmettyä plussalle. Kuivumista on tosin tapahtunut kohtuudella aina, kun lämpötila on noussut plussalle. Tuulella ja ilman suhteellisella kosteudella on ratkaiseva vaikutus keväällä. Kuivumiskäyrät muodostavat poikkeuksellisesti alkuvaiheessa suoran, koska klapeissa on noin 50 % kosteutta ja kuivumispotentiaali on suuri. Suursäkeissä kuivuminen on tehokkainta pintakerroksissa ja tuulen puolella. Voitaneen olettaa kuivausilman kosteuden kasvavan ilmapirtauksen suunnan mukaan ja kuivatuskyvyn heikkenevän siirtyvän kosteamman ilmassa mukana. Touko- ja kesäkuun kuivumisvaiheen aikavakioksi arvioidaan 2,5 viikkoa eli suursäkkien klapien kuivumisaika olisi seitsemän viikkoa, jos olosuhteet olisivat olleet toukokuun kaltaiset koko suursäkkikuivatuksen ajan. Kuvion 5 painokäyristä nähdään, että säkin numero 2 paino on noin 150 kg muita säkkejä painavampi ja kuivuminen on siksi hiukan hitaampaa.

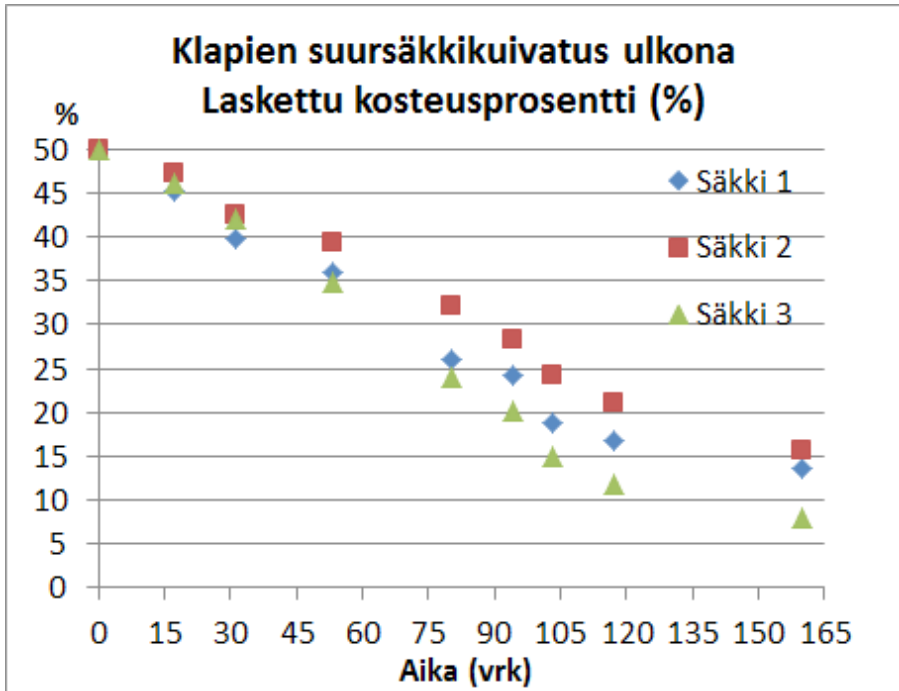


Kuvio 5. Kuivumiskäyrät keväällä ilman lämmetessä 28.2.2014 lähtien

Kuviossa 6 ovat vastaavat haihtuneen veden painokäyrät ja aikavakion simulointi. Klapien kuivatusta simuloitiin ulkona tilanteessa, jossa olosuhteet olisivat olleet toukokuun ja alkukesän luokkaa. Aikavakioksi saatiin 15 päivää säkille nro 1 ja 18 päivää säkille 3. Simuloinnin mukaiset kokonaiskuivumisajat ovat vastaavasti 1,5 kk säkille nro 1 ja 2 kk säkille nro 3. Klapiet kuivuivat suursäkeissä ulkona viiden kuukauden ajan kevättalvella 2014 ja niiden arvioitu loppukosteus oli 10–15 % (ks. kuvio 6). Lähes sama tulos olisi saavutettu parhaimmilla 1,5 kuukaudessa, jos klapiet olisivat kuivuneet koko ajan toukokuun kaltaisissa olosuhteissa suursäkeissä ulkona.



Kuvio 6. Haihtumakäyrät keväällä ilman lämmitessä 28.2.2014 lähtien



Kuvio 7. Laskettu kosteusprosenttikäyrät keväällä ilman lämmitessä 28.2.2014 lähtien

## 8 RASIIN KAADETUN KOIVUN KUIVUMISKOKEET KESÄLLÄ 2013

### ENERGIAPUUN TUOTANTO JA RASIINKAATO

Polttopuun raaka-ainetta on tehty myös kaatamalla puut rasiin. Rasikuivatuksella tarkoitetaan korjuutapaa, jossa puut jätetään kaadon jälkeen karsimattomina paikalleen, jolloin ne haihduttavat kosteutta elävän latvuksensa kautta. Rasikuivatuksella puun kosteus laskee parhaimmillaan solujen kyllästymispistettä vastaavaan kosteuteen, jolloin lehdet ja neulaset kuihtuvat ja varisevat. Suomalaisilla puulajeilla solujen kyllästymispiste vastaa 27–30 %:n kosteutta. Mikäli on mahdollista kaataa rangat jo kevättalvella ja tehdä heti pilkkeiksi, ei ole kannattavaa odottaa rasiinkaadon ajankohtaa ja kuivumista rasissa, koska puut kuivuvat nopeammin pilkkeinä. Rasiinkaatoa voi käyttää, kun on tarkoitus saada kuivia polttopuita vasta vuoden kuluttua. (Alakangas, Erkkilä & Oravainen, 2008, 27) Kaatoaika on parhaimmillaan kesäkuusta elokuulle. Elokuun alun jälkeen kaadettujen lehtipuiden kyky vesoittaa heikkenee. Koivun lisäksi haapaa ja leppää kaadetaan lehdellisenä aikana rasiin, ja näin saadaan nopeasti kuivaa polttopuuta.

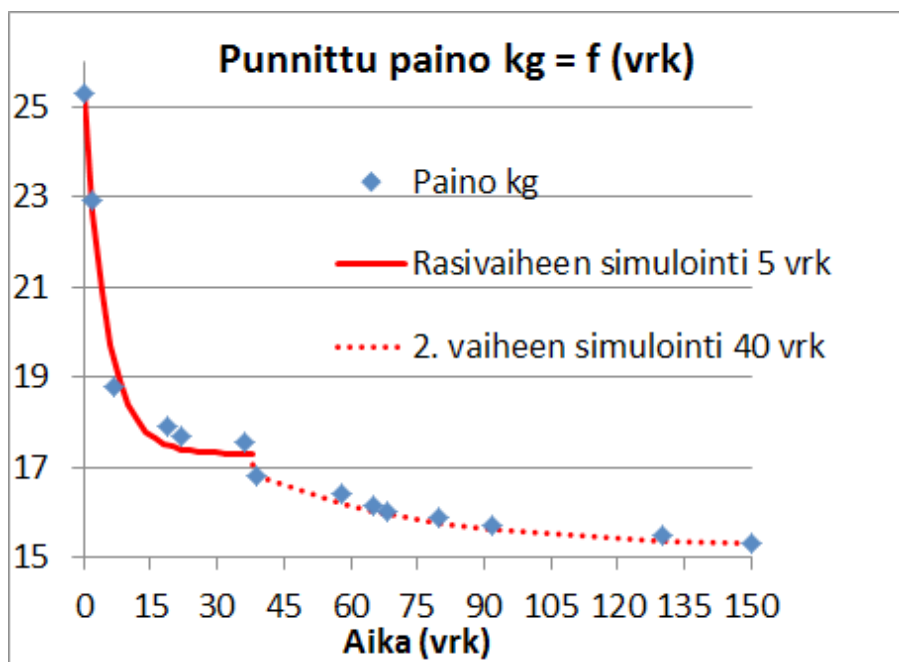
Energiapuun erilaisilla käsittelytavoilla etsitään ratkaisuja pienpuun kuivumiseen liittyviin laatu- ja kannattavuusongelmiin. Riittävän kuivan energiapuun siirtäminen metsästä polttolaitoksiin tuo kannattavuutta. Koivun vettä läpäisemätön kuori on elävällä puulla hyvä suoja rungon kuivumista vastaan kuivina kesäkausina. Samalla vettä huonosti läpäisevä kuoriossa estää kaadetun puun ja klapien nopean kuivumisen. Tuore puu on painavaa; puussa olevan veden kuljettaminen on kallista. Puiden kaataminen lehdellisenä aikana kuivumaan siten, että lehtien kautta voidaan haihduttaa rungossa olevaa vettä nopeasti, on järkevää. Kaataminen tosin aiheuttaa vähintään kaksi työvaihetta (kaataminen ja kuljettaminen), jotka tulee tehdä kuukauden välein.

### RASIIN KAADETTU PIHAKOIVU

Tutkimuksen kohteena on pihakoivu, joka on kaadettu 19.6.2013. Puun tyviläpimitta on 8,5 cm ja puun pituus on 8,7 m ja lähtöpaino 25,4 kg. Tulokset on esitetty erillisessä raportissa. Tähän kirjaan on otettu vain keskeinen tulos, joka on esitelty kaaviossa 1.

Kuvioissa 1 vaaka-akseli osoittaa kuivumisajan vuorokausina ja pystyakseli punnitus painon kilogrammoina. Rasivaiheen haihtuma yhdessä kuukaudessa oli noin 8 kg ja kakkosvaiheen neljässä kuukaudessa noin 2 kg. Simuloinnilla saatiin rasivaiheen aikavakioksi 5 vrk ja sen jälkeisen kuivumisvaiheen aikavakioksi 40 vuorokautta. Pienet alle läpimitaltaan alle 10 cm rasiin kaadetut puut kuivuvat nopeasti, mutta reilusti yli 15 cm läpimitaltaan olevat puiden rasiin kaatovaiheen kuivuminen ei ole riittävän tehokasta ja nopeaa. Isojen rasipuiden lehdet ja runko kuivuvat vaiheittain tyvestä latvaan päin.

Alkukosteudeksi on valittu 48 %. Rasivaiheen kesto on noin kuukausi, jonka jälkeen kosteus on asettunut noin 25 %:iin. Rasivaiheen jälkeen kuivuminen hidastuu. Kosteudeksi on laskettu kolmen kuukauden kohdalla hiukan alle 20 % ja 5 kuukauden kohdalla hiukan alle 15 %. Pitemmällä aikajaksolla kostumista ja kuivumista tapahtui vuorotellen. Kesällä 2013 lehdet pysyivät kiinni oksissa, mutta kuivuessaan ne rutistuivat. Talven ja kevään 2014 aikana lehdet hiljalleen irtolivat. Lehtien suuren kosteuden kadotessa arvio loppukosteudesta vääristyy hieman.



Kuvio 1. Mitattu paino ja aikavakioiden simulointi

## PÄÄTELMÄT

Isot rasikoivut eivät kuivu yhtä tehokkaasti kuin pienemmät kaadon jälkeisinä viikkoina. Lehtien haihdutuskyky heikkenee jo kahden viikon jälkeen.

Jatkokehitysehdotuksena on rasiin kaadettujen puiden käyttö biopolttoaineena sellaisissa tapauksissa, joissa puuaineksen tulee säilyä tuoreena, mutta kuljetusta varten halutaan puun painosta kolmannes pois. Rasiin kaato hyödyttää myös energiakokopuun kuivumista. Suopohjaisilla metsätiloilla kaato ja kasaaminen tulisi tehdä metsurityönä keski- tai loppukesästä, mutta lähikuljetukset suoalueelta voidaan suorittaa vain talvella maan olleessa jäässä. Rasiin kaadettu koivu käyttää rungossa jäljellä olevia ravinteita, mikä pienentää homeriskiä.



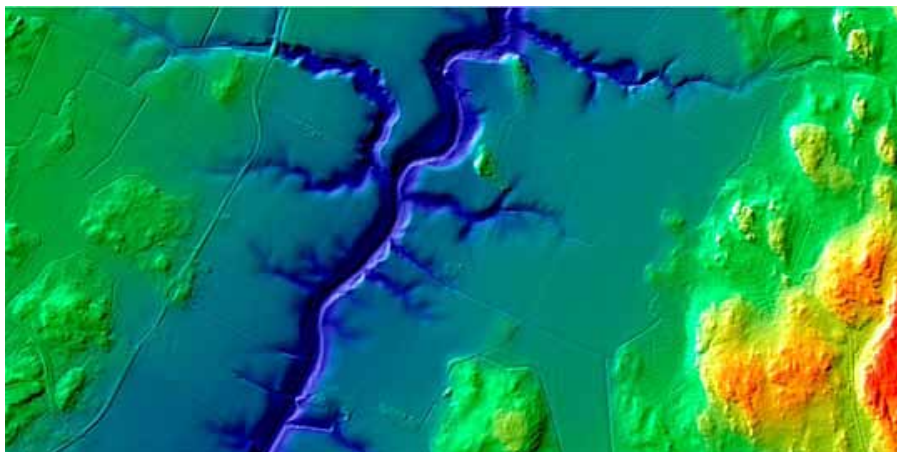
Ympäristön hoito ja työllisyys



# 1 LASERKEILAAMALLA TARKKAA KOLMIULOTTEISTA TIETOA

Laserkeilaustekniikka perustuu laserkeilaimen lähettämiin laserpulsseihin ja tarkkaan paikannukseen. Maanmittauslaitos tuottaa yhteiskunnan eri tarpeisiin laserkeilausaineistoja, joiden perusteella saadaan kolmiulotteista tietoa maanpinnalla sijaitsevista kohteista sekä tarkkaa tietoa maanpinnan muodoista ja korkeuseroista. Maanmittauslaitos tuottaa laserkeilausaineistosta uutta valtakunnallista korkeusmallia. (Laserkeilaamalla tarkkaa kolmiulotteista tietoa n.d.)

Kevään 2013 keilauslentojen jälkeen laserkeilausaineistoja on saatavilla yhteensä jo noin 235 000 neliökilometrin alueelta. Kevään ja kesän 2014 aikana laserkeilauksia on suunniteltu tehtäväksi yli 70 000 neliökilometrin alueelta. Laserkeilausalueiden sijainti näkyy indeksikartalla. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoja voi ladata käyttöönsä Avoimien aineistojen tiedostopalvelusta. Kuvassa 1 on laserkeilausaineiston perusteella tuotetun korkeusmallin vinovalovarjostekuva. Maaston pienetkin yksityiskohdat saadaan näkyviin tarkan korkeusaineiston avulla. (Laserkeilausaineistojen hankinta n.d.)



Kuva 1. Laserkeilausaineiston perusteella tuotetun korkeusmallin vinovalovarjostekuva

## LASERKEILAUSAINEISTOISTA JA KORKEUSMALLISTA ON HYÖTYÄ MONILLE

Tarkkaa korkeustietoa tarvitaan monien eri yhteiskunnan toimintojen suunnittelussa sekä poikkeaviin olosuhteisiin varautumisessa, kuten tulvakartoituksessa. Laserkeilausaineistoja hyödynnetään Suomessa laajasti myös metsäsektorilla. Esimerkiksi Suomen metsäkeskuksen yksityismetsien inventointi perustuu laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistojen tulkintaan. Kolmiulotteista laserkeilausaineistoa ja uutta korkeusmallia hyödynnetään monissa kartoitus- ja kaavoitus- sekä rakennetun ympäristön suunnittelutöissä. Entistä pienempien maanpinnan yksityiskohtien havaitseminen laserkeilausaineistoista hyödyttää monissa geologian sovelluksissa ja kiinnostaa myös esimerkiksi arkeologeja. Maanmittauslaitos tuottaa laserkeilausaineistoista korkeusmallin, josta tulee osa Maanmittauslaitoksen Maastotietokantaa. Tarkemman korkeusmallin avulla voidaan myös laskea yhä tarkempia ortoilmakuvia. Erilaisia esimerkkejä ja esityksiä laserkeilausaineistojen ja korkeusmallin sovelluksista löytyy Maanmittauslaitoksen sivustolta. (Laserkeilausaineistojen hankinta n.d.)

## TULEVIEN LASERKEILAUSALUEIDEN SUUNNITTELU

Maanmittauslaitos on suunnannut laserkeilauksia alueille, joissa tarkempaa korkeustietoa on tarvittu kiireellisimmin. Laserkeilausalueiden sijoittamisen suunnittelussa Maanmittauslaitos tekee laajaa yhteistyötä yhteiskunnan eri toimijoiden kanssa. Maanmittauslaitos hankkii laserkeilausaineistoja yhteistyössä Suomen metsäkeskuksen kanssa. Yhteistyön tuloksena on tehty niin kutsuttu ”Suomi loppuun” keilaussuunnitelma, joka kattaa keilaussuunnitelman vuosille 2014–2019. (Pitkän aikavälin laserkeilaussuunnitelma kattaa vuodet 2014–2019 2013)

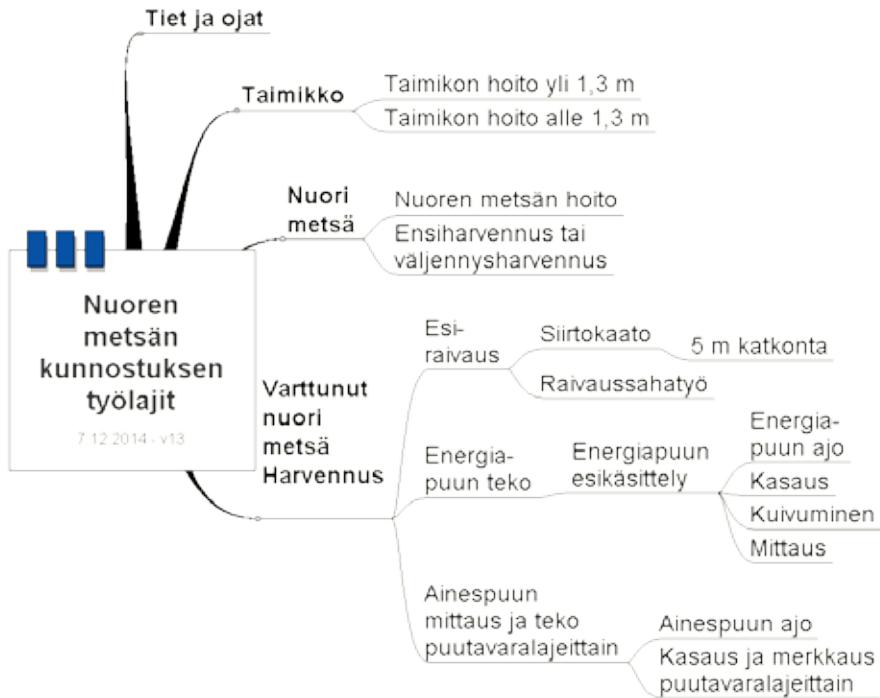
## TIEDOSTOJEN KÄSITTELY

Laserkeilausaineistot ovat saatavilla pakkaamattomassa LAS- tai pakatussa LAZ-muodossa. Molempia muotoja voidaan käsitellä LAsTools-työkaluilla (LAsTools: award-winning software for rapid LiDAR processing 2014). Ortoilmakuvat on pakattu JP2-muotoon. Vektoriaineistot on zip-paketoitu; niiden purkamiseen on useita purkuohjelmia verkossa ladattavana.

## 2 NUOREN METSÄN HOITO- JA KORJUUTYÖN MÄÄRÄN ARVIOINTI ENSIHARVENNUKSESSA

Metsään-lehden artikkelissa kerrotaan kuinka harvennuksilla saadaan terve ja tuottava metsä. (Salminen & Selander 2014).

Metsä on hiilinielu, jolla on kyky sitoa hiilidioksidipäästöjä. Jos taimikoita ja nuoria metsiä ei hoideta ajallaan, metsät riukuuntuvat. Taimikon hoidossa käytetään kahta kehitysluokkaa: T1 eli taimikot alle 1,3 metriä ja T2 eli taimikot 1,3–6 metriä. Taimikon hoito vaatii jo alkuvaiheessaan (T1) työtä. Kasvavan metsän hoitotyön kiireellisyysluokat ovat heti, seuraavan viiden vuoden aikana ja jälleen seuraavana viiden vuoden aikana. Siis hoitotyötä tulisi tehdä alussa 5–10 vuoden välein. Nuoren metsän hoito tuottaa polttokelpoista biomassaa, jonka hiili kiertää takaisin hiilinieluun. Hoitamattoman metsän biomassa on hetkellisesti suurempi kuin hoidetun, mutta puiden nopea järeytyminen estyy ja metsään syntyy lahoavaa puuta. Hoitamattomuus lisää myös seuraavien työvaiheiden vaikeutta. Kuviossa 1 on esitetty mm. taimikon ja nuoren metsän kunnostustyön työlajit. Hoitotavoissa on puulajikohtaisia eroja.



Kuvio 1. Taimikon ja nuoren metsän kunnostustyön työlajit

Esimerkkinä hoitokohteesta on Tervolassa sijaitseva Piekäälän 29,2 hehtaarin ensiharvennuskohteesta, kuvio numero 584, jossa on tehty nuoren metsän kunnostushakkuu kesällä 2012, jolloin alueella suoritettiin myös Lidar-keilaus. Hakkuukuviolle on jätetty 400 m<sup>2</sup> hakkaamaton koealue. Hakkuuaika oli noin 4 kk yhden miehen urakkana. Hänelle kertyi hakkuupäiviä keskimäärin viikossa kolme ja ajopäiviä kaksi. Kyseinen hakkuukuvio on kangasmaata, johon on istutettu mäntyä vuonna 1980. Kuviolla tehtiin perusteellinen risusavotta seuraavan 10 vuoden aikana ja esiraivaus vuonna 2002.

## KARKEAT ENSIHARVENNUKSEN SAANNOT, TYÖMÄÄRÄT JA KULUTETTU AIKA KUUKAUSINA

Seuraavaan on laskettu tai koneurakoitsijalta saatu karkeita tunnuslukuja kyseisen kohteen osalta. Harvesterilla tehtävässä harvennustyössä saanto on 400–500 runkoa päivässä eli 40–50 kiintokuutiota päivässä aines- ja energiapuuta, mikä pinta-alana vastaa noin 0,8 ha/päivä ja 2 ha/viikko. Ajokoneella (Timber Jack) tehtävän siirron päivätuotos on 60–70 m<sup>3</sup>/päivä eli ajon saanto on 1 ha/päivä ja 2 ha/viikko. Puutavaraa kuljetettiin keskimäärin noin 300 metrin matka. Tunnusluvut ovat sekä keskimääräisiä että karkeita, ja ne on sidottu vain kyseiseen hakkuukohteeseen.

Hakkuukuviolla käsiteltyjä mäntykuiturunkoja oli noin 11 500 kpl eli noin 400 kpl/ha, joista on saatu ainespuuosa ja latva energiapuuosana. Lisäksi on käsitelty runkoja, jotka eivät täyttäneet ainespuun mittoja sekä koivurunkoja n. 900–1000 kpl/ha. Aliläpimittaisia runkoja hakattiin Ponssen harvesterilla alueelta 26 000–29 000 kappaletta. Kokonaisuudessaan käsiteltyjä runkoja ensiharvennusalueelta hakattiin 37 700–40 000 runkoa eli noin 1300–1400 kpl/ha. Ainespuun saanto koko alueelta oli 903,93 kiintokuutiota ja energiapuun saanto 3313,25 i-m<sup>3</sup>, 1232,60 t eli 1325,30 kiintokuutiota. Kaikkiaan hakattua puustoa oli kuviolla 903,93 + 1325,30 = 2229,13 m<sup>3</sup> eli 76,5 m<sup>3</sup>/ha. Tämä kertoo, että puolet rungoista on ollut läpimitaltaan alle 80 mm ja valitseva puusto on ollut läpimitaltaan keskimäärin noin 140 mm.

Hakkuut tehtiin viiden kuukauden ajanjaksolla, josta yksi kuukausi oli kesäloma-aikaa. Hakkuuaika koostuu 8–10 tunnin työpäivistä. Arvion mukaan hakkuukoneen kuljettaja joutuu tekemään automaatioasteesta huolimatta jopa miljoona käden ja jalan liikettä vuodessa, eli hakkuutyö ensiharvennuksessa on osittain käsityötä ja yksinpuin käsittelyä. Arvioitu puusto ennen hakkuuta oli noin 2600 runkoa hehtaarilla, josta 2000 runkoa oli vuonna 1980 istutettua mäntyä ja 600 kpl pienempiläpimittaista vesakosta syntynyttä jälkikasvua. Energiakokopuun pystyhinta metsänomistajalle on 4–6 euroa kiintokuutiometriltä ja valmiiksi läjityspaikalle tehtynä myyntihinta on 20–25 euroa kiintokuutiometriltä. Energiapuun hinta kasvaa merkittävästi, kun rangat tehdään klapeiksi ja kuivataan.

Kyseiseltä metsätilalta on mitattu Masser Sonar Caliper mittasaksilla kaksi 300 m<sup>2</sup> koealaa. Seuraavassa on muutamia arvioon perustuvia tunnuslukuja. Puusto ennen hakkuuta oli 1230 + 1400 eli noin 2600 runkoa hehtaarille. Dominoivaksi puustoksi arvioidaan 700 + 1300 runkoa eli 2000 runkoa/ha.

Kuvassa 1 on Piekäälän metsää ennen (vasemmalla) ja jälkeen hakkuun (oikealla). Hakkuun jälkeinen puusto tulisi mitata useana koealana uudelleen.

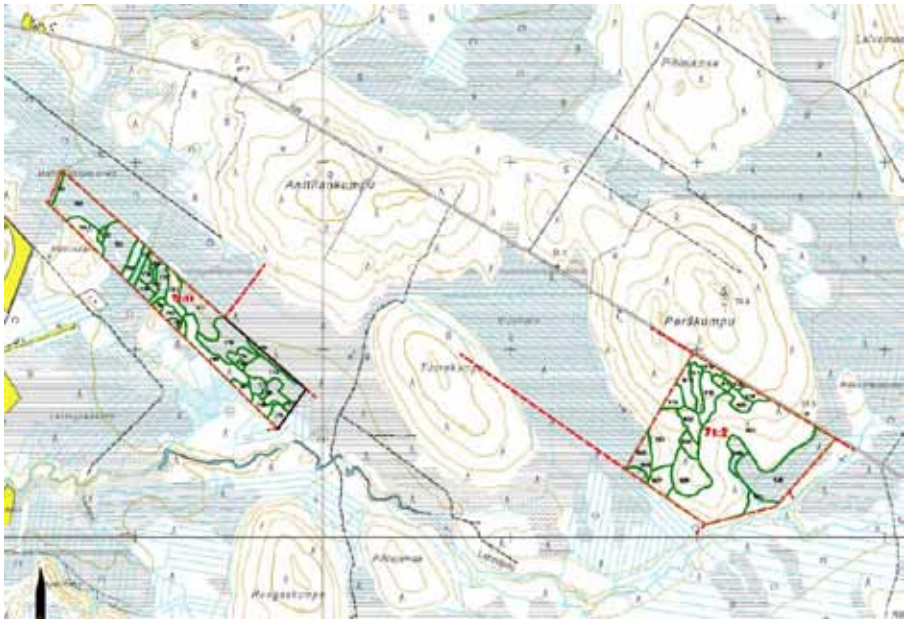
Tarvitaan myös lisää laaja-alaisia koealuekohteita, joista on myös päivitetty Lidar-aineisto ennen ja jälkeen kunnostustyön. Kyseinen kohde on keilattu 15.6.2012, jolloin osa Piekääjän metsätilasta oli jo ensiharvennettu, ja kohdeesta on nyt Lidar-keilausaineisto saatavana vierekkäin sekä harventamattomasta että harvennetusta alueesta.



Kuva 1. Piekääjän metsätilan ensiharvennuskohteita ennen ja jälkeen hakkuun

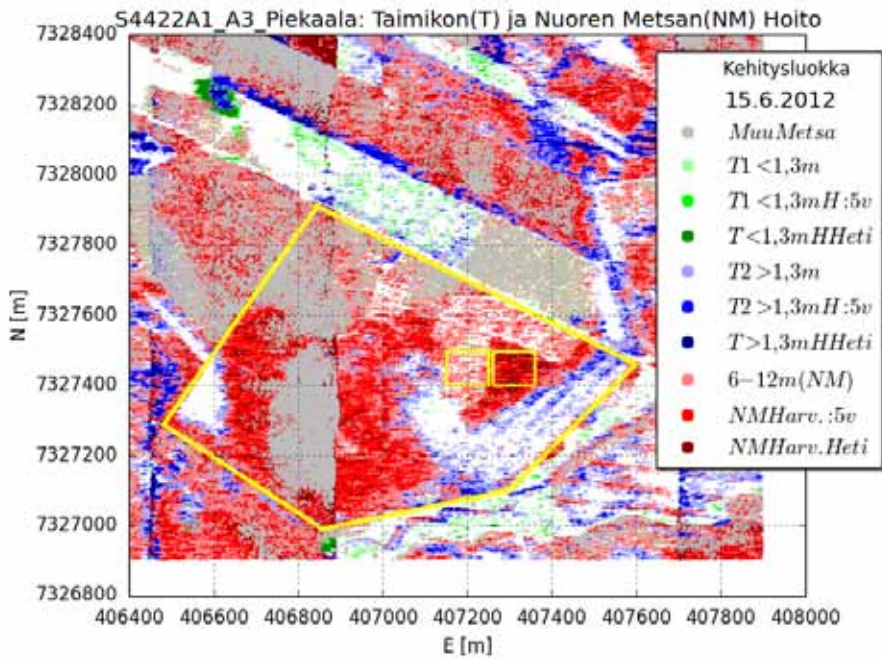
Kuviossa 2 näkyvät Tervolassa sijaitsevat Jokela- ja Piekääjä-nimiset metsätilat kuviorajoinen. Kyseisille tiloille on suunniteltu nuoren metsän hoitotöiden, ojituksen ja penkkateiden teko vuosille 2012–2015. Metsänhoitotarvetta, työmäärää ja saantoa on arvioitu käyttäen 3600 hehtaarin (4x900 ha) karttalehtinä haettavaa valtakunnallista Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa (Laserkeilausaineistojen hankinta 2014). Kuviossa 3 on piirrettynä nuoren metsän hoitotöiden tunnistus hakkuun aikana 15.6.2012 keilatusta aineistosta. Kohdekuviolla 921 on käynnistynyt nuoren kasvatusmetsän hoito toukokuussa 2012. Keilaushetkellä osa kohdekuviosta on jo ensiharvennettu, mikä näkyy vaaleanpunaisena (6–12 m nuori metsä). Harventamaton metsä näkyy voimakkaan punaisena (nuori metsä, harvennus 5 vuoden sisällä; nuori metsä,

harvennus heti). Kehitysluokkien T1 (taimikko alle 1,3 m) ja T2 (taimikko yli 1,3 m) sekä O2 (nuori metsä) hoitotöiden tunnistus ja kiireellisuuden määrittäminen on tehty tätä varten kehitetyillä algoritmeilla. Keilausaineiston pohjalta tehty kehitysluokkajako perustuu kasvuston korkeuteen, vaikka metsäalan ammattilaisten käyttämä jako perustuu rinnankorkeuden läpimittaan. Kuviossa 4 näkyvät hakkuukohteesta tehdyt kasvuston korkeustasot kolmen metrin välein. Myös metsäkoneen tekemät hakkuu- ja ajourat sekä energiapuupinot näkyvät kuviossa 3. Kehitetty algoritmi soveltuu energiapuukohteiden ja ympäristön hoitokohteiden tunnistamiseen sekä metsän hoitotöiden potentiaalilin kartoittamiseen koko Suomen alueelta.



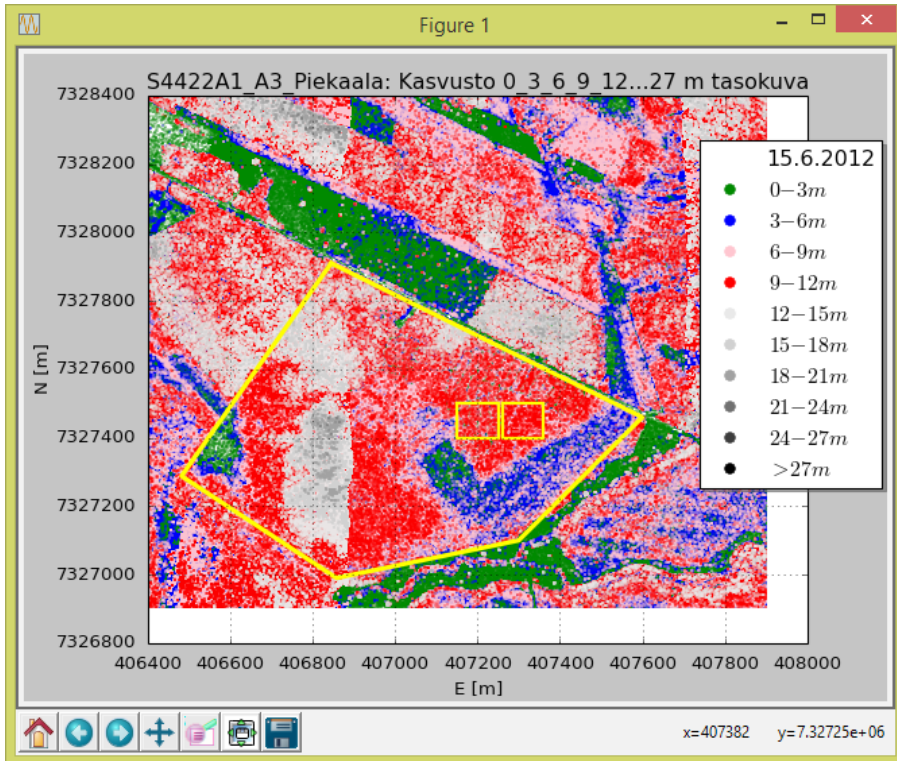
Kuvio 2. Nuoren metsän hoitokohteet Jokela ja Piekäälä kuviorajoineen



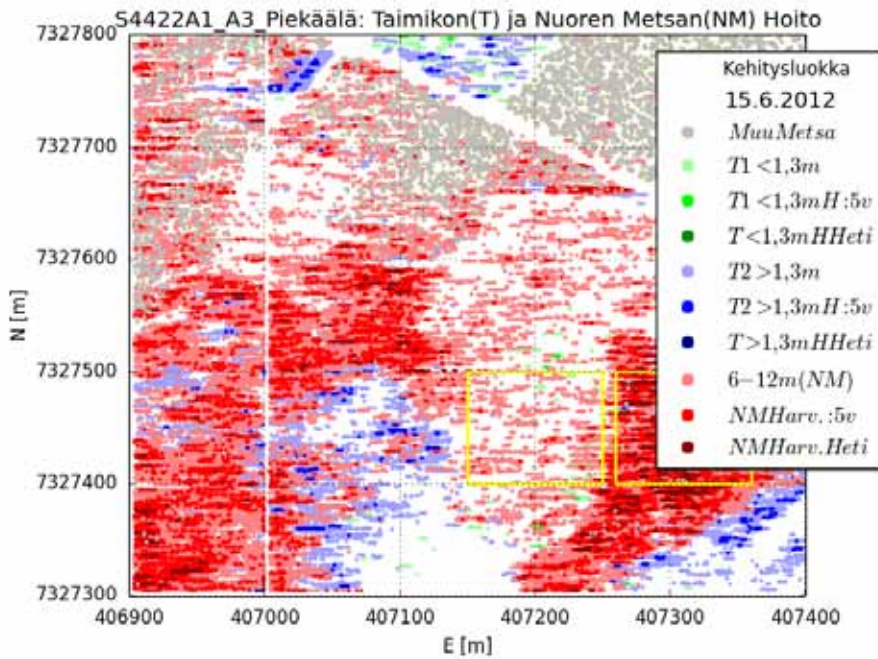


Kuvio 3. 29 ha:n ensiharvennuskohte laserkeilausaineistosta tulkittuna hakkuun ollessa käynnissä

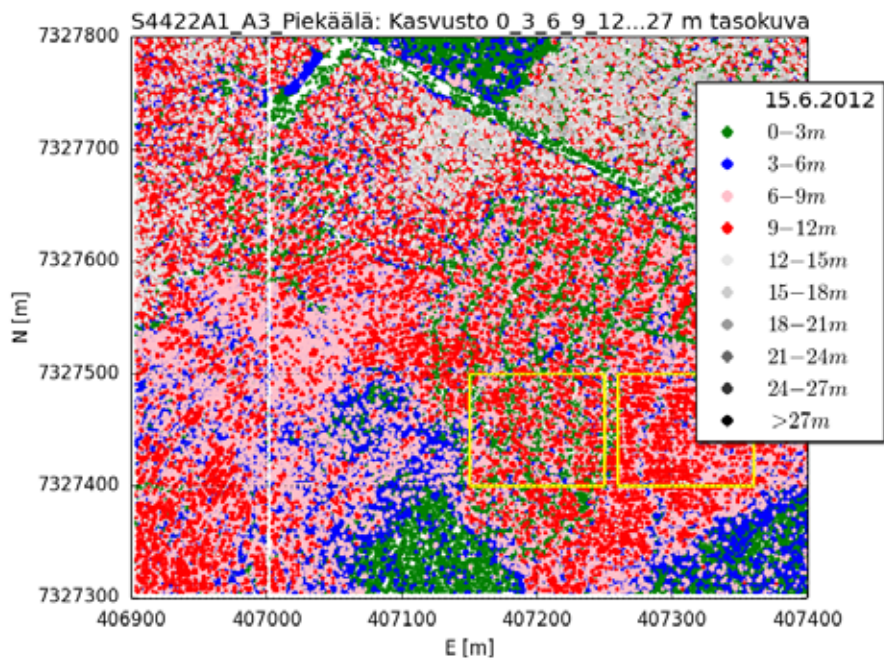




Kuvio 4. Puuston korkeusjakauma laserkeilausaineistosta tulkittuna hakkuun ollessa käynnissä



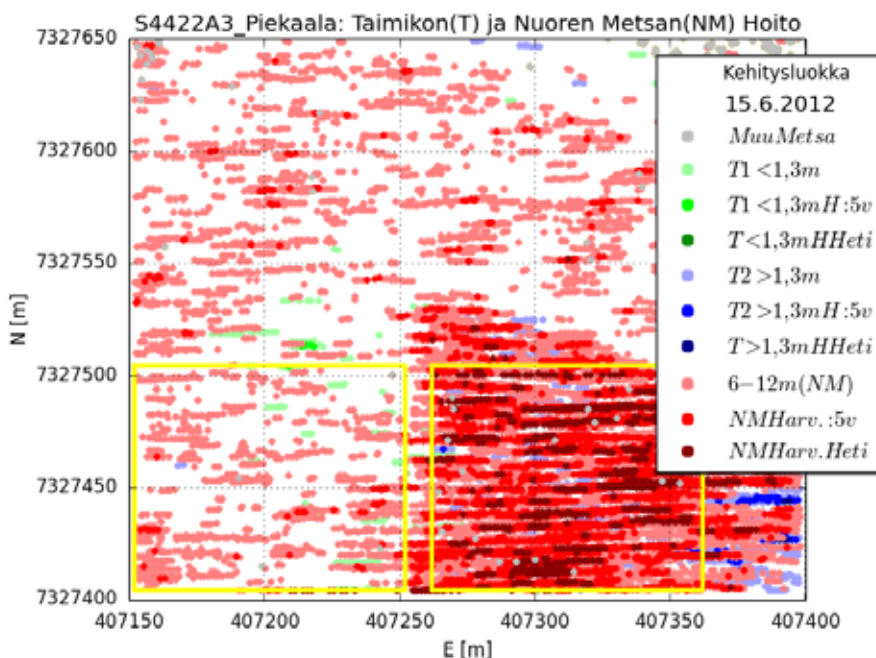
Kuvio 5. 25 ha:n näkymä ensiharvennuskohteesta laserkeilausaineistosta tulkittuna hakkuun ollessa käynnissä



Kuvio 6. 25 ha:n ensiharvennuskohteen tasokuvaus laserkeilausaineistosta tulkittuna hakkuun ollessa käynnissä

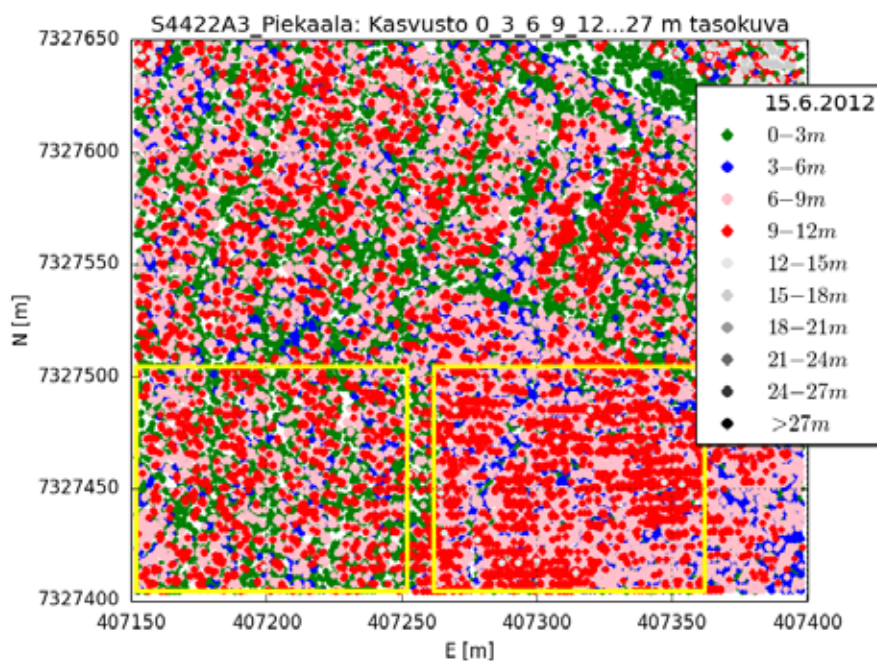
Kuviossa 7 näkyy kuuden hehtaarin alueen nuoren metsän hoitotöiden kiireellisytydet kehitysluokkien mukaan. On huomattava, että laserkeilaus perustuu kasvuston korkeuden eli puiden pituuden mittaamiseen. Perinteisesti kehitysluokat määritetään runkojen läpimitan mukaan 1,3 m:n korkeudesta.

Kuviossa 7 näkyy kuuden hehtaarin alueen nuoren metsän kehitysluokitus ja hoitotyön kiireellisyysarvio. Hoidettu alue on vaaleanpunainen ja hoitamaton alue tummanpunainen.



Kuvio 7. 6 ha:n ensiharvennuskohde laserkeilausaineistosta tulkittuna hakkuun ollessa käynnissä

Kuviossa 8 näkyy kuuden hehtaarin alueen kasvuston korkeus kolmen metrin jaotuksella. Hakatulla alueella näkyvät hakkuu- ja ajourat vihreinä juonteina.



Kuvio 8. 6 ha:n alueen tasokuva laserkeilausaineistosta tulkittuna hakkuun ollessa käynnissä

Kuviossa 9 on esitetty Piekälän tilan kasvuston korkeusjakauma kahdelta hehtaarin alueelta. Kasvuston korkeuden laskemiseksi laserosumat on ensin lajiteltu nousevaan järjestykseen ja sen jälkeen vähennetty luokiteltu maataso. Tilan metsä on noin 32–35 vuoden ikäistä. Vuonna 1980 on istutettu noin 2000 männyntaimea hehtaarille. Vuonna 1985 metsä on risusavotoitu, 2001 on suoritettu esiraivaus. Toinen alueista on ollut keilaushetkellä ensiharvennettu ja toinen harventamaton. Hoitamattoman alueen jakauma näkyy punaisena ja hoidetun vaaleanpunaisena.

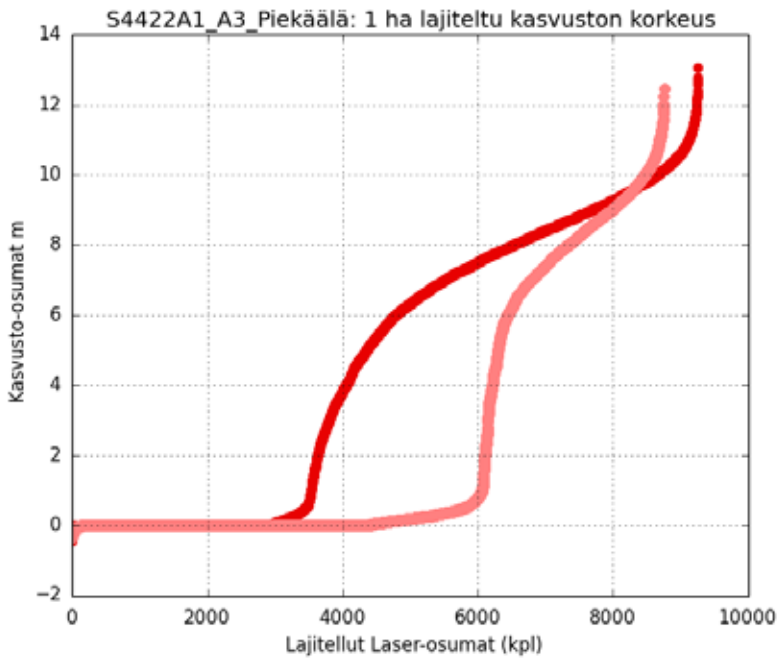
Laserkeilain lähettää keilauspulsseja, joka osuessaan kasvuston yläosaan antaa siitä ensimmäisen kaiun ja osuessaan puuston alaosiin toisen kaiun. Kolmas kaiku voi tulla vielä maaosumasta. Laservalopulssista voi tulla myös vain yksi kaiku pelkästä latva- tai maaosumasta. Maaosumien ja kasvustoosumien suhteesta voidaan arvioida hoitotarpeen kiireellisyyttä. Saantoa ja



työmäärää ensiharvennuskohteissa voidaan arvioida 6–12 m kasvuston osu-  
mien suhteellisesta lukumäärästä. Laskennallisesti yhden hehtaarin hakkuu  
vei noin 12 tuntia ja puiden ajo 8 tuntia. Hakkuun jälkeinen kasvustojakauma  
kertoo, kuinka puusto on harventunut ja jäljelle jäänyt puusto järehtynyt. Maa-  
osumien suhde on kasvanut noin kahteen kolmasosaan. Hehtaarisäntä oli  
noin 30 kiintokuutiometriä ainespuuta ja 40 kiintokuutiometriä energiapuuta  
5 m pitkinä kokopuurunkoina. Yhdestä ainesmäntyrungosta on saatu 1–2  
kuitupuuta tai 1–2 energiapuuta. Harventamattomaan 1 ha:n alueeseen on  
tullut 9237 keilausosumaa 1., 2. ja 3. kairun vuoksi. Harventamattomassa maa-  
pisteeksi luokiteltuja kaikuja on tullut 3066 kpl ja maatason osumia (alle 1,3  
m) on tullut 3880 kappaletta ja kasvusto-osumia (yli 1,3 m) 5357 kappaletta.  
Harvennetusta 1 ha:n alueesta tulee hiukan vähemmän 2. ja 3. kairua 8758  
kpl ja maapisteeksi luokiteltuja osumia 4221 kpl. Harvennetussa maatason  
osumia (alle 1,3 m) on tullut 6084 kappaletta ja kasvusto-osumia (yli 1,3 m)  
2674 kappaletta. Harvennus lisää reilusti alikasvusto- ja maaosumien määrää  
eli puolitoistakertaiseksi. Samalla yli 1,3 m:n kasvusto-osumien määrä tippuu  
puoleen. Osumien tarkat määrät on laskettu ohjelmallisesti. Keskimääräinen  
pistetiheys on täten noin 0,9 osumaa neliometriä kohti. Osumien jakaumia  
voi arvioida kuviosta 9. Eri tasojen osumien määristä voidaan laskea arviot  
aines- ja energiapuumäärien saannoille. Kyseisellä harvennuskohteella karkea  
ainespuun saanto oli noin 30 m<sup>3</sup> ja energiapuun saanto 40 m<sup>3</sup> sekä vastaava  
karkeat arviot hakkuutyöstä 12 h ja ajosta 8 h hehtaaria kohden.

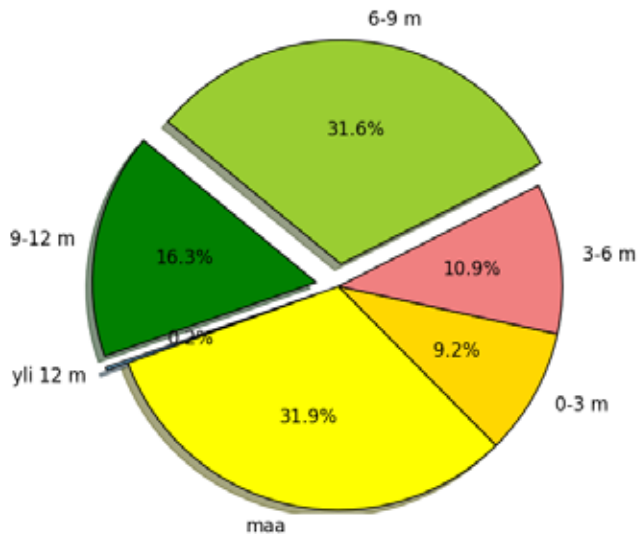
Taulukossa 1 on muutamia tunnuslukuja harventamattomalle hehtaarille ja  
viereiselle harvennetulle hehtaarille tulleista laserkeilausosumista. Jakaumista  
voidaan laskea myös kulmakertoimia esim. 1–6 m ja 7–9 m.

TAULUKKO 1. Tunnuslukuja harventamattomalle hehtaarille ja viereiselle harvennetulle hehtaarille								
Korkeustaso	Kaikki osumat	Kasvusto-osumat	Maa-osumat	ali 1.3 m	yli 1.3 m	ali 6 m	yli 6 m	6 m - 12 m
Harventamaton	9262	6375	2887	3561	5701	4788	4781	4455
Harvennettu	8758	4537	4221	6084	2674	6445	2313	2314

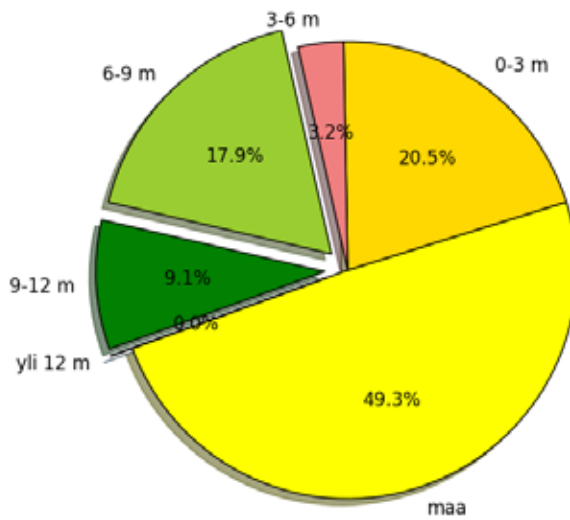


Kuvio 9. Keilausosumat kahdelta 1 ha:n alueelta harventamaton (punainen) ja harvennettu (vaaleanpunainen)

Vierekkäisiltä yhden hehtaarin harvennetulta ja harventamattomalta osuudelta on laskettu korkeusjakaumien prosenttiosuudet (kuviot 10 ja 11). Prosenttiosuuksissa on maaosumat ja yli 12 metrin osumat mukana. Prosenttiosuudet voidaan laskea myös kehitysluokkien (T1, T2 ja O2) mukaan. Myös kyseisistä lajitelluista kasvuston korkeusjakaumista ja prosenttiosuusjakaumista voidaan arvioida hoitotöiden määrää ja laskea energiapuusaantoja metsätilan kuviolle tai kullekin 3600 hehtaarin karttalehdelle.



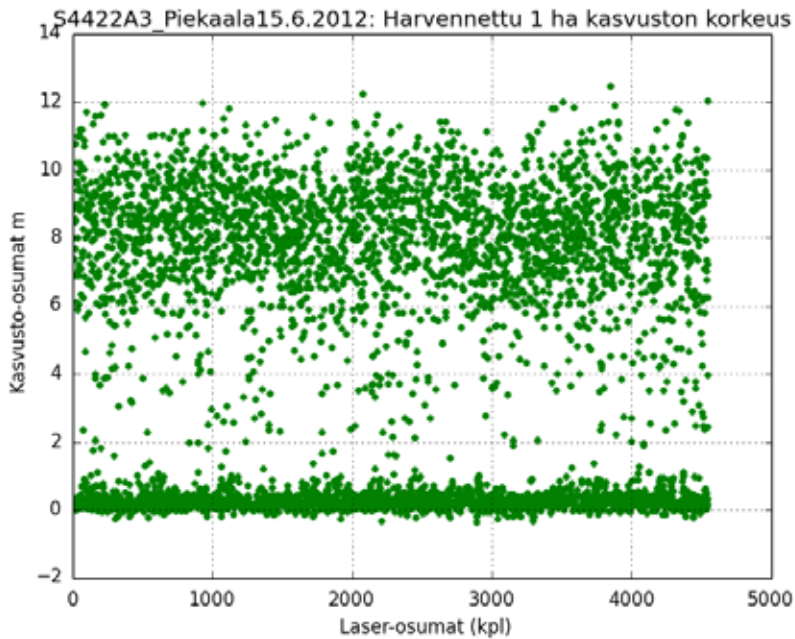
Kuvio 10. Osumien 3 m:n korkeustasoista lasketut prosenttiosuudet harventamattomalle hehtaarille



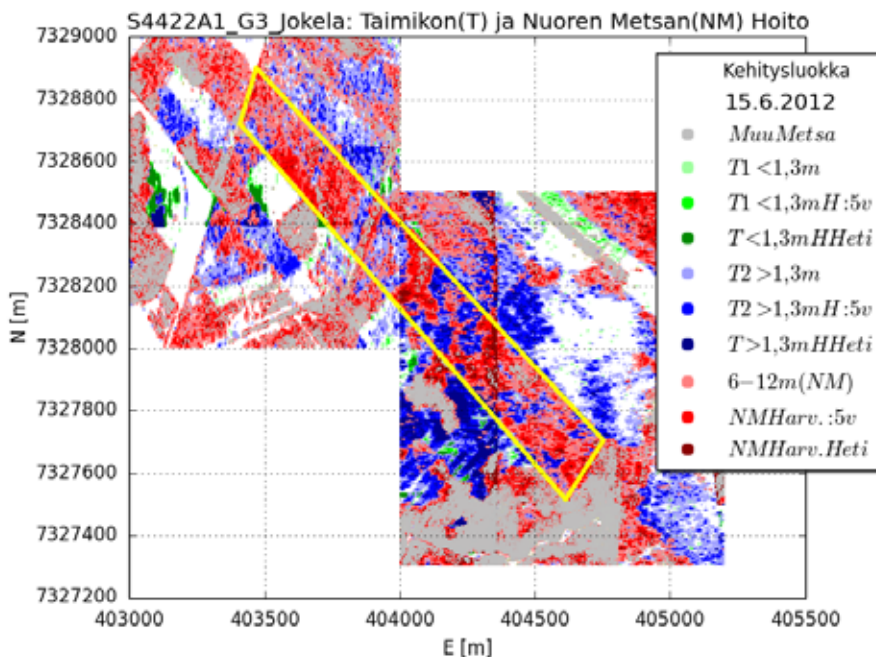
Kuvio 11. Osumien lasketut osuudet korkeustasoille harvennetulle hehtaarille



Kuviossa 12 esitetään harvennetun yhden hehtaarin alueen kasvuston korkeusjakauman ilman luokiteltuja maaosumia (noin 4500 kpl). Laserkeilausosumat mittaavat puuston todellista korkeutta vähintään puoli metriä liian lyhyeksi. Harvassa keilauksessa (0,8 osumaa neliölle) todellisia latvaosumia syntyy harvoin.



Kuvio 12. Keilausosumat yhden hehtaarin harvennetulta alueelta



Kuvio 13. Jokelan metsätalalle talvella 2015 tehtävän hakkuun ensiharvennuskohteen tulkinta

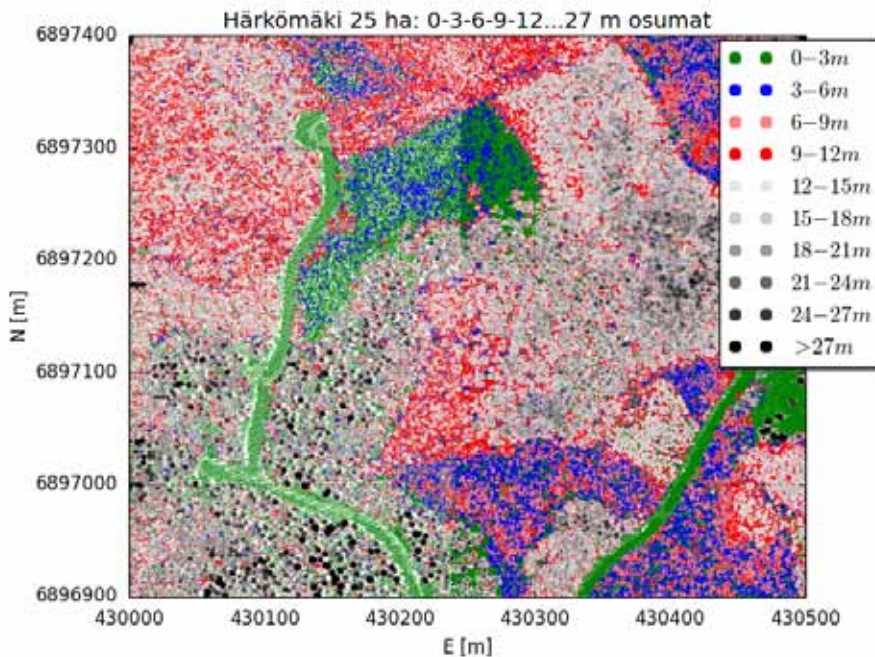
Polttopuubarantojen tunnistaminen lentokonekeilausaineistosta ja ilmakuvista on mielekästä myös koko Suomen alueella. Maanmittauslaitos teettää lentokoneella tehtävän keilausten noin 2 kilometrin korkeudesta koko Suomen alueella. Vuosittain keilataan kymmenesosa Suomen metsistä. Näin energiapuubarantojen esiintyminen voidaan kohdistaa paikkakuntaan, metsätilaan tai metsäkuvioon.

#### ESIMERKKI TYÖLLISYYDESTÄ JA YMPÄRISTÖNHOIDOSTA

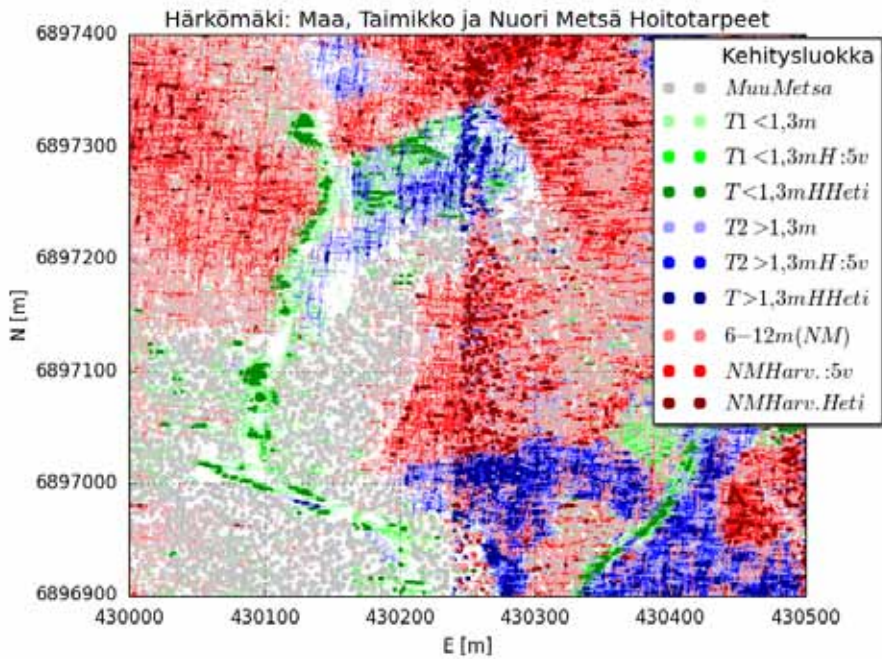
Ympäristön ja metsän kunnostuskohteiden esiraivaus on yksi metsureita työllistävästä työvaiheista. Siikalatvan kunnan Lehtomäessä, joka on kunnan virkistysaluetta lenkipolkuineen, on tehty esiraivaus siirtokaatona kunnostushakkuukohteelle 2,4 ha:n alueella. Ajan menekki oli noin kaksi päivää. Siirtokaadossa pieniläpimittaista puuta kaadetaan ja katkotaan 5 m:n pituiseksi lisälaitteella varustetulla moottorisahalla. Latvaosa nostetaan samaan energiapuuläjään. Näin tehty esiraivaus nopeuttaa harvennushakkuuta ja lisää energiapuun saantoa. Esiraivaus voidaan tehdä myös raivaussahatyönä, mutta silloin kaikkia latvoja ei voida ottaa mukaan energiakokopuupinoon. Lehtomä-

essä tehtiin myös yhdelle metsäkuviolle väljennyshakkuu. Raivaussahatyönä toteutettiin istutetulle mäntytaimikolle vesakon perkaus noin 4 ha:n alueelle. Noin 10 ha:n suuruiselle alueelle tehty metsän ja taimikon hoito, ojitus sekä metsätien teko tuottivat Siikalatvan kunnan alueelle työtä, joka lähes kokonaan voitiin toteuttaa hakkuutuloilla. Energiakokopuuta hakkuualueelta saatiin 60 k-m<sup>3</sup> kuitu- ja tukkipuun lisäksi. Lehtomäki on Siikalatvan (Pulkkilan) kunnan virkistysaluetta, jossa on myös lenkkipolku. Kyseisen siirtokaadon tapaan tulee myös hoitaa kaupunkiympäristöjen nuoria metsiä. Energiakokopuut ja oksat tulee läjittää siirtoa ja ympäristön siistimistä varten.

Lentokoneesta tehtävää kaukokartoitusta voidaan soveltaa osin myös kaupunkiympäristön metsien ja puistojen hoitotarpeiden, työlajien ja -määrien arviointiin. Yhtenä kohteena on kartoitettu Muuramen kunnan alueella Härkömäessä olevan metsätilan ja virkistäytymisalueen taimikoiden ja nuoren metsän hoitotarpeita. Härkömäen alue on erittäin mäkistä aluetta ja korkeuserot ovat suuret. Alueella on myös iso suojeltava puu sekä vastarakennettu laavu. Kuvioissa 14 ja 15 on otos kyseisen vuonna 2011 keilatun alueen hoitotarpeista. Kyseinen alue on osaltaan hyvin hoidettua varttunutta metsää, mutta taimikon ja nuoren metsän kohteille pientä hoitotarvetta syntyy jatkuvasti.



Kuvio 14. Härkömäen virkistysalueen kasvuston korkeustasomalli 3 m:n välein



Kuvio 15. Härkömäen virkistysalueen taimikon ja nuoren metsän kehitysluokat

## METSÄTIEURIEN JA PENKKATEIDEN RAKENTAMINEN

Hyvin kantavalle kangasmaalle halutaan rakentaa tieuria, jotta myös tukkirekat ja hakeautot pääsevät liikkumaan kaikkina vuodenaikoina. Suoalueille rakennettuja penkkateitä voidaan käyttää pelkästään keskitalvella roudan aikaan. Teiden päihin on kaivurityönä rakennettu myös kääntöpaikat rekoille. Näistä työkohteista on kuvat 2–3.





Kuva 2. Penkkatiet



Kuva 3. Metsäteiden tekoa ja kääntöpaikkoja

### 3 BIOHIILEN TULEVAISUUDENNÄKYMÄT

Yhtenä tutkimuksen mielenkiinnon kohteena on ollut biohiili ja sen tuotantotavat. Biohiilen tuotannon etuna on metsästä saatavan polttopuun energiatiheyden kasvattaminen. Biohiilen varastointi ja kuljetus tuovat suuria säästöpotentiaaleja. Kun biohiiltä tuotetaan poltossa, ensin kuluu palamisprosessista saatavaa energiaa irtokosteuden haihduttamiseen. Seuraavana palavat pyrolyysikaasut ja tervat tuottaen energiaa. Palamisen viimeisessä vaiheessa palaa hiiltojäännösosa, jota tarvitaan mm. palamisen jatkumiseen ja korkean lämpötilan ylläpitämiseen. Palamisprosessista erotettu biohiili tai hiiltojäännös sisältää runsaasti energiaa suhteessa sen painoon.

Tässä tutkimuksessa biohiiltä on haluttu tuottaa pieni määrä saunan uunissa. Hiiltojäännöksen palamisvaiheessa biohiiltä tiputettiin pieni erä vesisankoon ja nostettiin sammumisen jälkeen välittömästi sangosta pois. Kuvassa 1 olevat hiillettyt erät kuivuivat omalla lämmöllään, ja ne punnittiin. Pintahiillettyn klavin mitattu paino on 252 / 207 g ja biohiilikasan noin 160 /107 g. Jälkimmäinen arvo on paino kuivauksen jälkeen. Biohiilen tuotantoprosessissa hiiltä voidaan tuottaa ja kuivata haluttuun kosteuteen biopolttoaineesta saatavalla omalla energialla. Saman kokeilun yhteydessä kokeiltiin pelkän klavin pintaosien hiiltämistä, jotta klapi olisi turvassa lahottajilta. Aidanseipäiden maahan upotettavan pään hiiltäminen nuotiossa on vanha menetelmä. Tässä ajatuksena oli tuottaa koeluontoisesti klapeja, jotka ovat hiiltyneet vain pintakerroksestaan. Kuvasta 1 huomataan, että klavin näkyvä pääty on vain osittain hiiltynyt.

Biohiilen etuna on se, että sen energiasisältö on korkea ja sitä voidaan taloudellisesti kuljettaa pitkiä matkoja. Biohiili ei ole herkkä kosteus- ja lahoaurioille, mutta kosteutta ne voivat sisältää. Uudelleen kuivuminen on nopeaa. Voisi olettaa, että biohiilelle olisi tulevaisuudessa laajalle alueelle hajautettu tuotantoketju. Koska biohiili ei sisällä haihtuvia aineosia, syttymisvaiheessa tulee käyttää muita polttoaineita apuna. Biohiilen tuotantoprosessin kuvausta on esitelty muun muassa Wikipedian artikkelissa (Biohiili 2014) ja tulevaisuudennäkymiä Ylen uutisessa Mikkeliin rakennettavasta Suomen ensimmäisestä biohiilen koetehtaasta (Suomen ensimmäinen biohiilen koetehdas nousee Mikkeliin 2014) sekä Torrecin yritysasettelystä (Biohiili – kasvavat markkinat) ja Pöyryn tutkimuksessa biohiilen markkinoiden mahdollisuuksista Euroopassa (Kokko 2012).



Kuva 1. Pintakerroksista hilleTTY klapi ja saunan uunissa tuotettua biohiiltä.



## 4 YMPÄRISTÖN HOITO JA TYÖLLISYYS

Esimerkkinä hyvästä ympäristön hoidosta Jyväskylän kaupunki on kevättalvella 2014 karsinut puistojaan ja lähimetsiään asuntomessujen takia. Toimenpiteellä on haluttu antaa asuntomessuvieraille siisti kuva kaupunkiympäristöstä. Jyväskylän kaupunki omistaa yli 3000 ha metsää, joista osa on puistoja ja ulkoilualueita sekä tienvarsia. Toimenpiteellä oli myös työllistävä merkitys. Myllyjärven asuinalueen hoitotyön työvaiheista on otettu muutamia kuvasarjoja. Työvaiheita ovat mm. hoitotöiden suunnittelu ja niistä ilmoittaminen alueen asukkaille. On kyselty myös tonteilta samanaikaisesti kaadettavista ja poistettavista puista. Metsurit ja yrittäjät ovat suorittaneet esiraivauksen. Hakkuut on suoritettu isoilla hakkuukoneilla ja ajokoneilla sekä metsurityönä. Jälkirai-vausta ja energiapuun kasausta on riittänyt paljon. Seuraavana vaiheena on tulossa vesakon raivaus ja uuden tulevan puuston valinta. Vesakon kasvu on ollut voimakasta lämpimän kesän ansiosta. Tukkipuista tulee luonnollisesti puunmyyntituloja. Valtaisat energiapuupinot käytetään Rauhalahden ja Keljonlahden voimalaitoksissa energian tuotantoon. Jyväskylän alueen monivaiheista ympäristön hoitoa keväällä ja kesällä 2014 esitellään työvaiheiden mukaisilla kuvasarjoilla. Kuvissa 2 ja 3 on vaiheita kaupunkimaiseman muuttumisesta hoitotöiden aikana. Kuvassa 4 esitellään kuvasarjan avulla eri työvaiheita. Kuvassa 5 on Myllyjärven maisemakuva.



Kuva 2. Kaupunkimaiseman muuttuminen hoitotöiden aikana



Kuva 3. Kuvasarja maiseman muutoksista hoitohakkuun kestäessä



Kuva 4. Kuvasarja eri työvaiheista



Kuva 5. Myllyjärven maisemakuva

## YHTEENVETO

Tutkimuksen tuloksien perusteella voidaan päätellä ja suosittaa seuraavaa:

- Keskisuuri niputettu klapienä voidaan parhaimmillaan kuivattaa ulkona kahden viikon aikana toukokuun lopulla ja kesäkuun alussa 15–20 %:n kosteuspitoisuuteen, jolloin klapienä voidaan siirtää hiukan tuulettuvaan varastoon.
- Klapeja ei koskaan kannata pistää läjään maata vasten, mutta ne voidaan läjätä tuulettuvaan traktorin peräkärreyn.
- Käsittelemätön lehtipuu, erityisesti koivu, kuivuu hyvissäkin olosuhteissa hitaasti. Kuivumisaika on 3–5 kk, ja loppukosteus voi olla vielä 30 %.
- Pölkystä leikatulla ohuella kiekolla voidaan testata isomman erän kuivumispotentiaalia ja odotettavissa olevaa kuivumisaikaa 1–2 päivän kuivatusajalla.
- Suursäkkeihin koneellisesti tuotettujen klapien kuivatus on edullisinta ulkona kevättalvella. Tällöin kuivatusajalla ei ole yhtä suurta merkitystä kuin sillä, että suuria määriä klapeja voidaan tuottaa vähäisellä työmäärällä. Kevättalvella tehdyillä klapeilla on reilusti kuivatusaikaa seuraavaan lämmityskauteen.
- Puut kannattaa pilkkoa ja niputtaa tai laittaa suursäkkeihin välittömästi jo metsässä.
- Käsittelemättömät klapiet altistuvat ulkona välittömästi lahottajille, mikä huonontaa laatua.
- Suomessa parasta kuivatusaikaa on toukokuu ja kuivatusteho heikkenee merkittävästi kesän edetessä.
- Klapeja ei suositella tehtäväksi toukokuussa kaadetusta tuoreesta puusta, koska kasvukauden käynnistyessä elävät puut sisältävät runsaasti lahottajille ja homeille altistavia ravinteita.

- Biohiilen tuotanto mahdollistaa energiatiheiden kasvattamisen ja pitkät siirtomatkat.
- Lentokonekeilauksella voidaan tehokkaasti etsiä ja tunnistaa energiapuukohteita.
- Energiapuun tuotannolle, kuivatukselle, kuljetukselle, varastoinnille ja käytölle tulisi suunnitella vuosikalenteri ja ympärivuotiset työllisyystavoitteet.
- Energiapuun kuivatus on Suomen ilmastossa vuodenajasta riippuvaa. Loppukevät on parasta aikaa klapien kuivumiselle, mutta myös loppusyksyllä tehtyjen klapien kuivuminen käynnistyy jo syksyllä.

Osa energiakokopuusta halutaan käsitellä siten, että kuori ei rikkoutuisi. Tällöin puu säilyy pitkään tuoreena ja sitä voidaan käyttää biojalostamoiden ja muiden vastaavien raaka-aineena. Rasiin kaatamalla puuta voidaan esikuijata kuljetusta varten. Biojalostamoiden raaka-aine on esimerkiksi Kajaanin tulevassa biojalostamossa sahanpuru. Biojalostamoiden tarvitsemaa tuotetta puutavaraan kannattanee tuottaa elokuussa ja syksyllä.





## LÄHTEET

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Energia. T2045. ISBN 951-38-5740-9. Viitattu 15.10.2014. [Http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf).

Alakangas, E., Erkkilä, A. & Oravainen, H. 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisi-jalämmitys – Polttopuun tuotanto ja käyttö. VTT. VTT-R-10553-08. Viitattu 7.11.2014. [Http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf).

Alakangas, E., Impola, R., Eskelinen, M., Fredriksson, T., Hurskainen, J., Lehtovaara, J., Järvenpää, J., Lahti, J., Kurki-Suonio, K., Nylén, J., Pulkkinen, J., Rannila, K., Ruuska, P., Sulasalmi, J., Albrecht, N., Tenhovirta, M., Valtanen, J., Vartiamäki, T. & Voutilainen, M. 2013. Puupolttoaineiden laatuohje. VTT. Bioenergia ry, Energiateollisuus ry, Metsäteollisuus ry. VTT-M-07608-13. ISBN 978-952-93-3223-6. Viitattu 20.9.2014. [Http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-M-07608-13.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-M-07608-13.pdf).

Biohiili. 2013. Viitattu 19.10.2014. [Https://fi.wikipedia.org/wiki/Biohiili](https://fi.wikipedia.org/wiki/Biohiili).

Biohiili – kasvavat markkinat. N.d. Viitattu 27.10.2014. [Http://www.torrec.fi/index.php/fi/biohiili](http://www.torrec.fi/index.php/fi/biohiili).

Erkkilä, A., Strömberg, T. & Hillebrand, K. 2012. Energiapilke-konsepti polttopuun tuotanto- ja toimitusketjussa. VTT. VTT-R-00152-12. Viitattu 7.11.2014. [Http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-00152-12.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2012/VTT-R-00152-12.pdf).

Espgard – Klapisäkit, verkkosäkit polttopuiden pakkaamiseen. 2014. Viitattu 23.10.2014. [Http://www.espegard.fi/fi/tuotteet/pakkaustarvikkeet-polttopuille/](http://www.espegard.fi/fi/tuotteet/pakkaustarvikkeet-polttopuille/)

Hakerangan halkaiseva terä hakkuukouraan. 2014. Julkaistu 24.04. 08:46. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.pohjankyro-lehti.fi/etusivu/hakerangan\\_halkaiseva\\_ter%C3%A4\\_hakkuukouraan\\_391659.html](http://www.pohjankyro-lehti.fi/etusivu/hakerangan_halkaiseva_ter%C3%A4_hakkuukouraan_391659.html).

Halkoliiteri. 2011. Halkoliiteri.com-verkkopalvelun polttopuun mitta- ja laatuvaatimukset. Metsäkeskus. Viitattu 6.10.2014. [Http://www.halkoliiteri.com/?id=577](http://www.halkoliiteri.com/?id=577).

Halkomotti. 2013. Metsälehti: Lukijoiden kuvat. Lähettäjä: Metsänsä ostanut. Viitattu 27.10.2014. [Http://www.metsalehti.fi/Metsalehti/Lukijoiden-kuvat/Kuva/?imageld=1040&index=0](http://www.metsalehti.fi/Metsalehti/Lukijoiden-kuvat/Kuva/?imageld=1040&index=0).

Ikitaito Oy - Kivikorit sekä muut metallityöt – Kivikorit. 2014. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.ikitaito.fi/kivikorit/](http://www.ikitaito.fi/kivikorit/)

Kasurinen, R. 2013. Suomen ensimmäinen biohiilen koetehdas nousee Mikkeliin. Julkaistu 23.10.2013. Päivitetty 24.10.2013. Viitattu 27.10.2014. [Http://yle.fi/uutiset/suomen\\_ensimmainen\\_biohiilen\\_koetehdas\\_nousee\\_mikkeliin/6896496](http://yle.fi/uutiset/suomen_ensimmainen_biohiilen_koetehdas_nousee_mikkeliin/6896496)

Kokko, A. 2012. Bio Coal Market Perspectives in Europe. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.vtt.fi/files/projects/biohiili/antti\\_kokko.pdf](http://www.vtt.fi/files/projects/biohiili/antti_kokko.pdf).

Laserkeilaamalla tarkkaa kolmiulotteista tietoa. N.d. Viitattu 26.10.2014. [Http://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus](http://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus).

Laserkeilausaineistojen hankinta. N.d. Viitattu 26.8.2014. [Http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilausaineistojen-hankinta](http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilausaineistojen-hankinta).

LASTools: award-winning software for rapid LIDAR processing. 2014. Viitattu 26.10.2014. [Http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools](http://www.cs.unc.edu/~isenburg/lastools).

Leinonen, M. 2014. Lämpöarvojen ja kokonaiskosteuden määrittäminen laboratoriossamme. Sähköpostiviesti 23.10.2014. Vastaanottaja K. Pietikäinen.

Naarva. N.d. Pentin Paja Oy:n etusivu. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.pentinpaja.fi/fi/etusivu/](http://www.pentinpaja.fi/fi/etusivu/).

Naarva-tuotteet tuoteryhmittäin. N.d. Pentin Paja Oy. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.pentinpaja.fi/app/product/list](http://www.pentinpaja.fi/app/product/list).

Naarva S23: sykeharvesteri traktoriin ja 5–8 tonnin kaivinkoneeseen. N.d. Pentin Paja Oy. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.pentinpaja.fi/](http://www.pentinpaja.fi/), Naarva-tuotteet, Sykeharvesterit, S23.

Naarva Videot. N.d. Pentin Paja Oy. Viitattu 19.10.2014. [Http://www.pentinpaja.fi/naarva-tuotteet/video/](http://www.pentinpaja.fi/naarva-tuotteet/video/).

Paikallissää Jyväskylä. 2014. Viitattu 28.10.2014. [Http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/jyv%C3%A4skyl%C3%A4](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/jyv%C3%A4skyl%C3%A4).

Pitkän aikavälin laserkeilaussuunnitelma kattaa vuodet 2014–2019. 2013. Viitattu 26.10.2014. [Http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilausindeksit/laserkeilaussuunnitelma-2014-2019](http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilausindeksit/laserkeilaussuunnitelma-2014-2019).

Rantanen, A. 2014. Metsäenergiastako öljyn korvaaja? Julkaistu 27.2.2014 klo 13:03, päivitetty 27.2.2014 klo 13:03. Viitattu 30.10.2014. [Http://yle.fi/uutiset/metsaenergiastako\\_oljyn\\_korvaaja/7110576](http://yle.fi/uutiset/metsaenergiastako_oljyn_korvaaja/7110576).

Rinne, H. 2013a. Perinnemestarin klapikirja. Helsinki: WSOY.

Rinne, H. 2013b. Perinnemestari. Viitattu 26.8.2014. [Http://www.perinnemestari.fi/](http://www.perinnemestari.fi/)

Salminen, A. & Selander, A. 2014. Harvennuksilla terve ja tuottava metsä. Metsään-lehti 1/2014, 22–23. Viitattu 26.8.2014. [Http://www.metsaan-lehti.fi/fi/artikkeli/harvennuksilla-terve-ja-tuottava-metsa](http://www.metsaan-lehti.fi/fi/artikkeli/harvennuksilla-terve-ja-tuottava-metsa).

Teollisuus- ja voimalaitosanalytiikan palvelut. N.d. Esite. Ahma ympäristö Oy.

Toikkanen, I. 2014. Unohduksista miljoonalasku. Keskisuomalainen 8.7.2014, 9.

Torrec: Vahvaa biohiiliosaamista. 2014. Viitattu 24.10.2014. [Http://www.torrec.fi/index.php/fi/yhtio](http://www.torrec.fi/index.php/fi/yhtio).

Tuunanen, L., Melkas, T., Hämäläinen, J & Palander, T. 2014. Menetelmä energiapuun kosteuden mittaamiseen metsäkuljetuksenyhteydessä, Metsäteho 28.5.2014. Tulosalvosarja\_2014\_04\_Menetelma\_energiapuun\_kosteuden\_mittaamiseen\_tm\_ym.pdf.

Vertainen, L. 2010. Härkömäen metsätila 1951–2010. Saarijärvi: Keski-Suomen Metsänhoitajat r.y.

# TUTKIMUKSEN ESITELMÄT JA MUUT JULKAISUT

Pietikäinen, K. 2014. Klapien käsittely ja kuivuminen. Järj. Pentin Paja Oy. KoneAgria-messut, Paviljonki, Wivi-auditorio, Jyväskylä.

Pietikäinen, K. 2014. Klapien käsittely ja kuivuminen. Pdf-dokumentti. ProArgia-sarja. Viitattu 7.11.2014. [Http://www.koneagra.fi/](http://www.koneagra.fi/), Näyttelykävijöille, Ohjelma 2014, Seminaarit ja tietoiskut, Pe 10.10.2014, Tietoisku: Klapien käsittely ja kuivuminen, Katso esitys.



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULUN  
Julkaisuja



**MYYNТИ JA JAKELU**  
Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjasto  
PL 207, 40101 Jyväskylä  
Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä  
Puh. 040 865 0801  
Sähköposti: [julkaisut@jamk.fi](mailto:julkaisut@jamk.fi)  
[www.jamk.fi/julkaisut](http://www.jamk.fi/julkaisut)

**VERKKOKAUPPA**  
[www.tahtijulkaisut.net](http://www.tahtijulkaisut.net)

**jamk.fi**

# jamk.fi

JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
PL 207, 40101 Jyväskylä  
Rajakatu 35, 40200 Jyväskylä  
Puh. 020 743 8100  
Faksi (014) 449 9700  
[www.jamk.fi](http://www.jamk.fi)

AMMATILLINEN OPETTAJAKORKEAKOULU

HYVINVOINTIYKSIKKÖ

LIIKETOIMINTAYKSIKKÖ

TEKNOLOGIAYKSIKKÖ

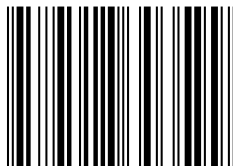


Klapien ja energiapuun tuotannossa ollaan siirtymässä uusiin suoraan metsästä hakkuun yhteydessä tuotettaviin kuivumista edistäviin tuotantotapoihin. Tähän raporttiin on koottu eri tavoin käsiteltyjen ja varastoitujen klapien kuivumistuloksia. Joensuussa toimiva Pentin Paja Oy on kehittänyt Naarva S23 sykeharvesteriin klapien halkaisukiilan ja toteuttanut suursäkkien kuivumiskokeet.

Suomen metsiä tutkitaan lentokoneesta tapahtuvalla kaukokartoituspohjaisella laserkeilauksella. Kaukokartoituspohjaisilla menetelmillä voidaan kartoittaa Suomen energiapuuvarantoja ja samalla edistää metsänhoitoa sekä siihen liittyvää työllisyyttä. Tärkeitä metsän inventointikohteita ovat mm. tiheät ja kunnostamattomat nuoret metsät ja ympäristön hoitokohteet. Merkittävästi kasvavaa työllisyyspotentiaalia on odotettavissa nuorien metsien kunnostustyöhön sekä klapien ja energiapuun tuotantoketjuun.

Tätä hanketta on tukenut Marjatta ja Eino Kollinsäätiö.

ISBN 978-951-830-359-9



9 789518 303599 >