

# **Polttoaineiden käytön optimointi UPM Pelloksen vaneritehtailla**

Teemu Puttonen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2019  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Puttonen, Teemu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2019
	Sivumäärä 88	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Polttoaineiden käytön optimointi UPM Pelloksen vaneritehtailla</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Hannariina Honkanen		
Toimeksiantaja(t) UPM Pelloksen vaneritehtaat		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantaja oli UPM Pelloksen vaneritehtaat. Vanerituotannossa syntyy suuria määriä sivutuotteita, joiden käyttöä polttoaineena haluttiin tutkia ja optimoida. Työssä kartoitettiin polttoaineiden käytön nykytilannetta ja kehityskohteita. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia nykyisen polttoaineseoksen laatua ja mahdollisuuksia parantaa voimalaitoksen polttoaineseoksen hallittavuutta. Samalla tutkittiin lisäpolttoainekentän käyttömääriä ja pyrittiin optimoimaan sen logistiikkaa. Työssä pohdittiin myös voimalaitoksen polttoaineseoksen laadun valvonnan kehittämistä.</p> <p>Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena. Tutkimusaineisto kerättiin havainnoimalla polttoaineiden käyttöä UPM Pelloksen tehtailla ja haastatteleamalla voimalaitoksen ja puunvastaa- taanoton työntekijöitä. Lisäksi aineistoa saatiin voimalaitoksen automaatiojärjestelmästä ja prosessilaitteiden käyttöoppaista. Näin saatiin kartoitettua nykytilanne. Mittauksia suoritettiin polttoaineen laadusta ja pölyjärjestelmän purkunopeudesta.</p> <p>Lopputuloksena muodostettiin yhteenveto tärkeimmistä kehitysideoista. Näiden avulla voitaisiin parantaa polttoaineseoksen hallittavuutta, kuoren käsittelyä, polttoaineiden varastointia ja pölyjärjestelmän toimivuutta. Konkreettisenä tuloksena havaittiin, että lisäpolttoaineen käytön ja ulkolämpötilan välillä on yhteys, jota havainnollistettiin kuvaajalla. Lisäksi luotiin havainnekuvia kehitysideoista ja pohdittiin niiden kannattavuutta.</p> <p>Tuloksien avulla toimeksiantaja voi toteuttaa lisää tutkimuksia ja tulokset antavat mahdollisuuden kehitysideoiden käytännön toteuttamiseen.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Biopolttoaineet, näytteenotto, optimointi, havuvaneri, sivutuotteet, UPM		
Muut tiedot		

Author(s) Puttonen, Teemu	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 88	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Optimizing the fuel usage at UPM Pellos Mills</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Hytönen Kari, Honkanen Hannariina		
Assigned by UPM Pellos Plywood Mills		
Abstract  <p>The assignor of the bachelor's thesis was UPM Pellos Plywood Mill. The plywood process creates a lot of by-products. Therefore, the target was to study and optimize their use as fuel. The present situation at the power plant as well as development points of fuel usage were described in the thesis. The objective of the thesis was to examine the quality of the present fuel mix and the possibilities to improve controlling the fuel mix. Simultaneously, the usage volumes of the spare fuel storage were studied, the aim being to improve its logistics. In addition, the thesis considered improving the quality control of the fuel mix for power plant.</p> <p>The thesis was conducted as a development study. The information was collected by observing the fuel usage at UPM Pellos Mills and by interviewing the employees at the power plant and wood reception. Also, information was collected from the automation system of the power plant and from user manuals for the devices. This was done to map the current situation. Some measurements regarding the quality of the fuel and the unloading speed of the dust silo were conducted, too.</p> <p>As a conclusion of the thesis, the most relevant development ideas were summarized. There is a possibility to improve the fuel mix control, bark processing, storing fuels and the reliability of the dust system with the development ideas. Graphics describing the relationship between the fuel usage and the outside temperatures were a result of the thesis. In addition, illustrations of the development ideas were drafted, and their profitability was considered.</p> <p>Based on the results of the thesis the assignor can lead further studies and consider putting the development ideas into practice.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  Biofuels, sampling, optimization, plywood, by-products, UPM		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet.....	5
1.2	Tutkimusmenetelmät .....	6
<b>2</b>	<b>UPM ja Pelloksen vaneritehtaat.....</b>	<b>6</b>
2.1	Pelloksen vaneritehtaat.....	6
2.2	Pelloksen kattilalaitokset.....	9
<b>3</b>	<b>Kattilatyyppit .....</b>	<b>12</b>
3.1	Leijukerrosoltto .....	12
3.1.1	Kuplaleijutekniikka.....	12
3.1.2	Kiertoleijutekniikka .....	13
3.2	Arinapoltto .....	15
3.3	Arinatyyppit .....	16
<b>4</b>	<b>Polttoaineet .....</b>	<b>18</b>
4.1	Yleistä .....	18
4.2	Tuhka .....	20
4.3	Hake ja murske .....	21
4.4	Puupöly.....	24
4.5	Pelletti.....	26
4.6	Kuori .....	27
4.7	Raskas polttoöljy .....	28
4.8	Seospoltto.....	30
<b>5</b>	<b>Siirto ja varastointi .....</b>	<b>31</b>
5.1	Hihnakuljetin .....	31
5.2	Kolakuljetin.....	31
5.3	Ruuvikuljetin.....	32
5.4	Pneumaattinen kuljetin .....	32
5.5	Varastointi .....	32

<b>6</b>	<b>Näytteenotto ja analysointi .....</b>	<b>33</b>
6.1	Näytteenotto .....	33
6.2	Kosteuden mittaaminen .....	36
6.3	Lämpöarvon mittaaminen .....	38
6.4	Online-mittaukset.....	40
<b>7</b>	<b>Polttoaineet UPM Pelloksen tehtailla.....</b>	<b>41</b>
7.1	Voimalaitoksen polttoaineen mitoitusseos .....	41
7.2	Pienet, keskisuuret ja huippukuormat .....	42
7.3	Tehtaalta suoraan saatava polttoaine.....	43
7.4	Voimalaitoksen omalta hakekentältä saatava polttoaine.....	45
7.5	Ylimääräisen polttoaineen myynti ja varastointi .....	47
7.6	Voimalaitoksen oman hakekentän täyttäminen.....	50
7.6.1	Seos.....	50
7.6.2	Täyttötiheys .....	51
7.7	Kattilalaitos 1.....	52
7.8	Hautomon liete.....	53
<b>8</b>	<b>Kehityskohteet .....</b>	<b>54</b>
8.1	Polttoainetasku .....	54
8.2	Syklonit .....	55
8.3	Kosteuden mittaus .....	56
8.3.1	Manuaalinen näytteenotto .....	56
8.3.2	Online-mittaukset ja automatisoitu näytteenotto.....	57
8.4	Kuori .....	59
8.5	Pöly.....	62
8.5.1	Siirto ja varastointi.....	62
8.5.2	Poltto .....	66
<b>9</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>67</b>

9.1	Lopullinen seos .....	67
9.2	Pöly .....	69
9.3	Seoksen ja varastoinnin hallittavuus .....	71
9.4	Kuoren kuivaus .....	73
9.5	Polttoaineen laadun seuranta .....	74
<b>10</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>75</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>78</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>81</b>
	Liite 1. Puun eri osien teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa MJ/kg .....	81
	Liite 2. Puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia .....	82
	Liite 3. Kattilalaitos 2:n mitoituspolttoaineet .....	83
	Liite 4. Tehtaalta tulleet polttoaineet 2018 .....	84
	Liite 5. Palakokojakauma viilu- ja vanerimurske 21.2.....	85
	Liite 6. Kosteuden määrittäminen viilu- ja vanerimurskeesta 20.2 .....	86
	Liite 7. Polttoaineen kosteuden määrittäminen ohje .....	87
	Liite 8. Pölyn siirron ja varastoinnin havainnekuva .....	88

## **Kuviot**

Kuvio 1.	UPM Pelloksen tehdasalue.....	7
Kuvio 2.	Kiertoleijupetikattila .....	15
Kuvio 3.	Kablitz, mekaaninen viistoarina .....	17
Kuvio 4.	Varastotilan tarve per 10 MWh.....	18
Kuvio 5.	Tuhkan vaikutukset .....	21
Kuvio 6.	Biopolttoaineen koostumus .....	22
Kuvio 7.	Hake ja murske .....	23
Kuvio 8.	Sykloni .....	25
Kuvio 9.	Polttoainenäytteen neliöinti .....	36
Kuvio 10.	Hakenäyte tehtaalta tulevalta kuljettimelta .....	45

Kuvio 11. KL2:n teho ja ulkolämpötila 2018.....	49
Kuvio 12. Ulkolämpötilan ja kentälle tuodun energian yhteys.....	50
Kuvio 13. Pyörivän pinnanmittauksen asennus .....	53
Kuvio 14. Havainnekuva taskujen purkamisesta polttoainetaskun kuljettimelle.....	56
Kuvio 15. Näytteenottolapio .....	57
Kuvio 16. Havainnekuva pölysiilon ohittamisesta.....	64
Kuvio 17. Havainnekuva voimalaitoksen siilon ohituksesta .....	65
Kuvio 18. Pölyn purkunopeus eri asetusarvoilla .....	66
Kuvio 19. Polttoaineen kosteusarvio kattilan prosessisuureista .....	69

## **Taulukot**

Taulukko 1. Leijupetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja .....	13
Taulukko 2. Kiertopetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja.....	14
Taulukko 3. KL2:n mitoituspolttoaineseos.....	41
Taulukko 4. Biopolttoaineen kosteuden vaikutus sen energiatiheyteen .....	72

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Vanerintuotantoprosesseissa syntyy suuria määriä erilaisia sivutuotteita. Yhtä tuotettua havuvaneri kuutiota kohden tarvitaan 2,22 m<sup>3</sup> raakatukkeja (Puulevyteollisuus 2017, 47). Kaikki ylijäämä pyritään hyödyntämään sivutuotteena sellaisenaan tai jalostettuna. Käyttökohteita sivutuotteille ovat energiantuotanto, massateollisuus, lastulevyteollisuus. (Mts. 106.)

Opinnäytetyö kohdistui UPM Pelloksen vaneritehtaille, jossa sivutuotteita käytetään omaan energiantuotantoon sekä myydään eteenpäin. Oma käyttö on pääasiassa energiantuotantoa ja eteenpäin myydään selluhaketta, polttoainetta ja purilaita. Eri-laiset polttoainelaadut ja käyttötarpeen vaihtelut antavat mahdollisuuden käytön optimointiin. Aihetta ei ollut Pelloksella aiemmin vielä laajasti tarkasteltu. Pelloksen puupölyn keruu- ja käsittelyjärjestelmän tehokkuutta on tutkinut kandityössä Särkkä (2015). Polttoaineiden käyttöä optimoimalla voidaan parantaa koko tuotantoprosessin tehokkuutta sekä kannattavuutta. Työssä toimittiin toimeksiantajan eri osastojen kanssa. Vaneritehtaan sivutuotteiden käytössä ja käsittelyssä yhdistyy tuotannon, voimalaitoksen, kunnossapidon ja puunvastaanoton yhteistyö.

Tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuva Pelloksen vaneritehtaiden sivutuotteiden käytöstä polttoaineina ja tarjota toimintamalleja sekä kehitysideoita. Opinnäytetyössä tutkittiin polttoaineiden käyttöä, nykyistä voimalaitoksen polttoaineseosta ja keinoja seoksen hallintaan. Lisäksi etsittiin mahdollisia kehityskohteita esimerkiksi kuorenkäsittelyyn ja pölyjärjestelmään. Kehitysideoita oli tarkoitus löytää useita eikä niissä ei keskitytty tarkkoihin käytännön toteutussuunnitelmiin. Koko tehtaiden sivutuotteista työ keskittyy energiantuotannossa käytettäviin jakeisiin. Työ rajattiin koskemaan kattilalaitoksien osalta kahta biopolttoaineita käyttävää kattilaa. Varalaitokseksi toimivaa öljykattilaa ja sen polttoainetta ei käsitelty työssä. Varsinaista polttoaineiden paloprosessia ei myöskään tutkittu tarkemmin.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö tehtiin kehittämistutkimuksena. Sen tavoitteena on parantaa tai kehittää jotain prosessia, toimintoa tai tuotetta. (Tutkimus ja kehittäminen n.d.) Tutkimusta varten muodostettiin tutkimuskysymykset, joihin haettiin vastausta. Työn tuloksena piti saada kysymyksiin vastukset ja parantaa haluttua kohdetta.

Työssä käytettiin pääasiassa kvalitatiivista eli laadullista tutkimusmenetelmää. Laadullisessa tutkimuksessa aineistoa kerätään haastatteluilla, havainnoinnilla, kirjallisilla kertomuksilla ja muilla dokumenteilla. Parhaimmillaan kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä on tutkittaessa luonnollisia tilanteita. (Tutkimus ja kehittämien n.d.) Tässä opinnäytetyössä hyödynnettiin työn tekijälle usealta vuodelta kertynyttä työkokemusta ja tietoa Pelloksen vaneritehtailta. Lisäksi tietoja täydennettiin havainnoimalla tehdasaluetta sekä haastatteleamalla Pelloksen työntekijöitä. Aineistoa saatiin myös erilaisista laiteoppaista.

Opinnäytetyössä haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin: Millaiset ovat nykyiset ja optimaalisimmat polttoaineseokset molemmille kattilalaitoksille? Kuinka voitaisiin parantaa operaattoreiden hallittavuutta käytettävään seokseen? Miten voimalaitoksen lisäpolttoaineen käyttöä voitaisiin ennustaa? Lisäksi tutkittiin muita kehitysmahdollisuuksia.

## 2 UPM ja Pelloksen vaneritehtaat

### 2.1 Pelloksen vaneritehtaat

UPM Kymmene Oyj on suuri, suomalainen, metsäteollisuuden ympärille keskittynyt yritys. Vuonna 2013 yritys päivitti liiketoimintarakenteensa, jossa toiminta jaettiin kuuteen liiketoiminta-alueeseen. Nämä ovat UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Specialty Papers, UPM Paper ENA (Europe & North America)

sekä UPM Plywood. UPM Pelloksen tehtaat kuuluvat UPM Plywood liiketoiminta-alueeseen alle. (Olemme Biofore-yhtiö 2018.)

Toiminta Pelloksen tehtaiden alueella on alkanut vuonna 1963 lastulevytehtaana. Tuolloin rakennettiin ensimmäinen Pelloksen voimalaitos, joka on yhä käytössä varalaitoksena. Viisi vuotta myöhemmin perustettiin samalle alueelle vaneritehdas. Myöhemmin lastulevyn valmistus on lopetettu ja toiminta muuttunut pelkäksi vanerin tuotannoksi. Tällä hetkellä toiminnassa ovat vaneritehtaat Pellos 1, Pellos 2 ja Pellos 3. Kun näistä uusin, Pellos 3, käynnistettiin vuonna 2002, käynnistyi samalla nykyisin käytössä oleva voimalaitos. Se tarvittiin tuottamaan tuotannon laajennuksen tarvitsema höyry. (UPM Pellos Plywood Mill 2019.) Voimalaitos sijaitsee tehtaiden ja hautomoaltaiden välissä, kuvion 1 keskellä.



Kuvio 1. UPM Pelloksen tehdasalue

Tehtaiden lopputuotteen pääraaka-aine on kuusitukki. Sitä tuodaan ympärivuoden rekka-autoilla sekä kesäisin uittamalla ja laivoilla. Kaikki tehtaat käyvät kolmessa vuo-

rossa viikon ympäri, ainoastaan Pellos 1 on pois käytöstä sunnuntaisin. Saman kuusitukin hukkavirrat toimivat myös voimalaitosten pääasiallisena polttoaineena. Polttoaineita syntyy vanerinvalmistusprosessin hukkavirroista niin paljon, että tehdas on biopolttoaineiden suhteen omavarainen. (Järeä ja tuore kuusitukki... 2019.)

### **Vanerin valmistusprosessi**

Vanerin valmistusprosessin aluksi Pelloksen tehtaalle tuotava raaka-aine eli kuusitukki puretaan rekoista ja lajitellaan. Yleensä kaikki tukit pyritään lajittelemaan niiden pituuden, halkaisijan ja laadun mukaan. Tämän jälkeen tukit kuljetetaan kuorintaan ja siitä haudontaan. Haudonnassa puuainesta pehmennetään sorvausta varten. Havutukkeja pidetään 40–55 °C:ssa vedessä noin vuorokauden ajan. (Puulevyteollisuus 2017, 48–50.)

Pelloksella käytettävät tukit kuoritaan vasta haudonnan jälkeen, ennen sorvausta. Sorvauksessa hyvin tuettua puuta pyöritetään samalla, kun sorvin terä sekä vastaterä painuvat puun keskustaa kohti. Näin syntyy viilumattoa, joka johdetaan pitkänä tai katkottuna kuivaukseen. (Mts. 52–59.)

Haudonnan takia sorvattu viilu sisältää paljon kosteutta ja se täytyy kuivata ennen liimausta. Kuivauksessa viilut ajetaan kuivureiden läpi. Siellä viilut lämpenevät kuumalla ilmalla ja niistä haihtuu kosteutta. Kuuma ilma tuotetaan voimalaitokselta saatavalla höyryllä. Kuivaajien lämpötilat ovat 175–200 °C. Lopullisena tavoitteena on noin 6–8 %:n kosteus. (Mts. 63–65.)

Ennen puristamista viiluihin syötetään liimaa ja ne ladotaan levyiksi. Näin muodostuu vanerin kestävä rakenne. Rakennetta vahvistetaan latomalla viilut vuorotellen ristikkäin syysuunnassa. (Mts. 80–81.)

Puristus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisenä liimatut levyniput ajetaan esipuristimeen. Siinä hydraulinen puristin puristaa monta levyä kerralla ilman lämpöä. Tämä vaihe estää liiman kuivumisen liian aikaisin ja parantaa sen tarttuvuutta. Lopullinen levyksi puristaminen tapahtuu kuumapuristimessa. Siinä levyt ajetaan yksitellen

lämmitettyjen metallilevyjen väleihin. Nämä levyt lämmitetään kuivureiden lauh-teella. Levyjä puristetaan 125–170 °C:ssa paksuuden mukaan muutaman minuutin ajan. (Mts. 86–87.) Puristetut levyt sahataan lopulliseen kokoonsa, suorakulmaisiksi ja suorareunaisiksi. Lopuksi levyjen pinnat hiotaan ja haluttaessa pinnoitetaan. (Mts. 90–95.

## 2.2 Pelloksen kattilalaitokset

Pelloksella käytössä olevilla kattilalaitoksilla tuotetaan itse kaikki tehtaiden toiminnan tarvitsema lämpöenergia. Voimalaitokset tuottavat tehtaiden käyttöön lämpöenergiaa, jolla kuivataan puuviiluja, kuuma puristetaan vaneria ja lämmitetään tehdashalleja. Lisäksi tuorehöyryä ja hönkähöyryä käytetään tukkien haudonta-altaan lämmittämiseen. Tehtaiden tapaan kattilalaitos on käytössä ympärivuorokauden, viikon jokaisena päivänä. Tehtaita huolletaan suunnitellusti huoltopäivinä, joita voidaan pitää useita vuodessa. Lähes aina kuitenkin joku kolmesta tehtaasta on tuotannossa ja näin ollen voimalaitokselta vaaditaan erittäin hyvää toimintavarmuutta. Tällöin tärkeässä roolissa on polttoaineen saannin jatkuvuus. (Leinonen 2019.)

Tehtaiden tarvitsema höyry ja lämpöenergia tuotetaan käytännössä kolmella kattilalla. Opinnäytetyössä keskityttiin näistä kahteen biopolttoaineella toimivaan laitokseen. Kattilalaitos 1:n tukena toimii raskasta polttoöljyä käyttävä tulitorvikattila, jota tässä työssä ei käsitelty.

Kattiloiden pääpolttoaineina toimivat vaneriprosessin sivutuotteet:

- murskattu kuusivaneri
- murskattu kuusiviilu
- kuusen kuori
- hiontapöly
- sahanpuru
- murskatut raakatukit. (Leinonen 2019.)

## **Kattilalaitos 1 – A. Ahlström Oy arinakattila**

Kun toiminta Pelloksella alkoi lastulevytehtaana, rakennettiin ensimmäinen kattilalaitos (KL1). Tämä kattila on yhä käytössä varalaitoksena. Laitoksen ikä ja tekniikka erottavat sen uudemmasta kattilalaitos 2:sta (KL2), jonka vuoksi laitoksilla on erilaiset vaatimukset polttoaineiden käytölle. KL1 on tyypiltään alun perin kiinteäarinakattila varustettuna pakkokierto-lieriöllä. Se tuottaa tulistettua höyryä. Myöhemmin on lisätty liikkuvat arinat parantamaan ja helpottamaan laitoksen käyttöä. Lämmönsiirtopintoja nuohotaan ääni- ja höyrynuohoimilla. Lopuksi savukaasut puhdistetaan sähkösuodattimella

Laitoksella voidaan käyttää polttoaineena puuhaketta, vanerihaketta, sahanpurua ja puupölyä. Kuusen kuoren polttaminen on osoittautunut haastavaksi laitoksen polttoainejärjestelmän vuoksi. Yleisesti polttoaineen on oltava kuivempaa ja parempaa kuin KL2:n käytössä.

KL1 perustuu pakkokierto-tekniikkaan. Siinä lieriöstä lähtevät laskuputket tuovat veden pakkokiertopumpulle, joka pumpkaa veden kattilaputkistoon. Kattilan mataluuden takia luonnonkiertoa ei synny ja veden kierrättäminen pumpulla kattilaputkistossa on välttämätöntä. Tämän takia sähköpumppu on varmistettu höyryturbiinipumpulla sähkökatkojen varalle. Vesi höyrystetään lieriössä ja sen jälkeen tulistetaan tulistimissa. Käytössä ei ole kuitenkaan sähköntuotantoon tarkoitettua turbiinia, joten tulistettu höyry ajetaan reduktioventtiilin kautta höyryverkkoon. Tehtaiden laajennuksien takia arinakattila ei pysty edes yhdessä tulitorvikattilan kanssa tuottamaan kaikkien tehtaiden tarvitsemää höyryä. Käytännössä siis laitoksen ajaminen jatkuvasti lähellä mitoitustehoa lisää polttoaineen laatuvaatimuksia. Tuotettaessa kattilalaitoksen suurimmat tehot on polttoaineen oltava laadukasta.

KL1:n tekniset tiedot ovat seuraavat:

- valmistaja – A. Ahlström Oy
- valmistusvuosi – 1964
- päähöyryn suurin virtaus – 8,3 kg/s
- höyryn paine toimitusrajalla – 64 bar
- höyryn lämpötila toimitusrajalla – 500 °C.

## Kattilalaitos 2 – Kvaerner kuplaleijupetikattila

Suurimmanosan vuodesta Pelloksella on käytössä kattilalaitos 2. Se otettiin käyttöön vuonna 2002 kattamaan Pellos 3 -tehtaan mukana kasvaneen höyrynkulutuksen. KL2 on lieriöllä varustettu luonnonkiertoinen kuplaleijupetikattila. Normaalissa käyttötilanteessa tulistettu höyry ajetaan sähkötuottavaan turbiiniin. Päätuotteena on kuitenkin yhä prosessihöyry ja sähkön osuus on hyvin pieni. Turbiinista prosessihöyry johdetaan samaan verkkoon kuin KL1:n höyry.

Koska KL2 on kuplaleijupetikattila, sillä voidaan polttaa melko laajasti erilaisia polttoaineita. Kattila on suunniteltu toimimaan kuorella, vanerin tähteillä, puupölyllä, turpeella, hakkuutähteellä ja öljyllä. Pelloksella pääpolttoaineena käytetään uusiutuvia polttoaineita. Kattilassa palavat kaikki Pelloksen tehtaiden sivutuotteet; kuori, puuhake, sahanpuru, vanerihake ja pöly. Käynnistys- ja varapolttoaineena KL2 käyttää raskasta polttoöljyä. Sen käyttö on kuitenkin hyvin vähäistä.

KL2:n petilämpötilat ovat yleisesti arinapolttua alemmat, noin 700–950 °C. Näin saadaan esimerkiksi estettyä tuhkan sulaminen petiin. (Jalovaara, Aho, Hietämäki & Hyttiä 2003, 33.) Pelloksella saatavilla oleva polttoaine pakottaa pitämään lämpötilan riittävän korkealla, jotta vanerihakkeen sisällä oleva liima saadaan poltettua. Sen vuoksi on oltava erityisen tarkkana, ettei petissä olevan tuhka pääse sulamaan. Lisäksi petimateriaalina käytetään diapaasia, joka kestää normaalia hiekkaa kuumempia lämpötiloja sulamatta.

KL2:n tekniset tiedot ovat seuraavat:

- valmistaja – Kvaerner Pulping Oy
- valmistusvuosi – 2002
- lämpöteho – 74MW
- päähöyryn virtaus – 30 kg/s
- höyryn paine toimitusrajalla – 84 bar
- höyryn lämpötila toimitusrajalla – 482 ±5 °C.

## 3 Kattilatyytit

### 3.1 Leijukerros poltto

Leijukerros poltto alettiin 1970-luvulla käyttämään laajasti biopolttoaineiden ja kivihiilen polttamiseen. Nykyään sitä käytetään lähes kaikilla polttoaineilla, mutta erityisen hyvin se soveltuu kosteille ja huonon lämpöarvon omaaville polttoaineille. Näitä polttoaineita ovat esimerkiksi puu ja puunkuori. (Vakkilainen 2017, 212.) Palamisen ensimmäisessä vaiheessa polttoaine alkaa kuivua. Kuivuessa polttoaineessa oleva kosteus höyrystyy savukaasuihin. Polttoaineen kosteuden höyrystyessä sen tilavuus kasvaa huomattavasti ja kosteudella onkin suuri merkitys savukaasuvirtaan. (Vakkilainen 2017, 32–33.) Siksi myös leijukerros poltossa voi olla vaikea saavuttaa kattilan täyttä tehoa poltettaessa liian kosteita polttoaineita, jotka kasvattavat savukaasujen tilavuusvirran suunniteltua suuremmaksi.

Leijukerros polton kaksi päätyyppiä ovat kuplaleijupeti (BFB) ja kiertoleijupeti (CFB). Kuplaleijupetikattilaa kutsutaan yleisesti leijupetikattilaksi ja petiä leijupetiksi. Molemmat kattilatyytit sisältävät palamatonta ja kiinteää petimateriaalia. Yleensä tämä materiaali on hiekkaa. Käytetty hiekka sisältää suuren lämpökapasiteetin, joka on omiaan tasaamaan polttoaineen laadun vaihteluita ja kuivattamaan kosteita polttoaineita. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 155–157.) Leijukerros poltossa yleisesti saavutetaan pienet typen oksidipäästöt tasaisen ja alhaisen palamislämpötilan avulla. Myös rikkipäästöjen hallinta on helppoa ja taloudellista, koska kattilaan voidaan suoraan syöttää kalkkia. (Jalovaara ym. 2003, 33.)

#### 3.1.1 Kuplaleijutekniikka

Kuplaleijutekniikassa eli leijupetikattilassa petimateriaalina käytetty hiekka on petin pohjalla kiinteänä kerroksena. Ajossa kerroksen läpi puhalletaan primääri-ilmaa 0,7–2 m/s nopeudella (ks. taulukko 1). Tällöin hiekkamassa alkaa hiljalleen kuplia kuin kiehuva neste. Samalla peti laajenee ja sen tiheys pienenee. Palaminen tapahtuu petin

pinnalla ja osittain hiekan seassa. Polttoaine pyritään syöttämään tasaisesti koko petin alueelle, jossa se kuivuu ja palaa nopeasti hiekan ympäröimänä. Polttoaineena voidaan käyttää laajasti lähes kaikkea, esimerkiksi haketta, kuorta, lietettä ja jätteitä. Polttoaineen kontaktiaika petimateriaaliin on lyhyt, mikä aiheuttaa ongelmia hiilen poltossa. (Huhtinen ym. 2000, 157–159.)

Kiinteän polttoaineen syötön aloittamista varten tarvitaan yleensä vähintään 500–600 °C:n lämpötila. Tämä saavutetaan usein käyttämällä öljyllä tai kaasulla toimivia käynnistyspolttimia. Normaalissa ajossa petilämpötilat ovat 700–900 °C. Palamisessa tarvittava ilma tuodaan kattilaan leijuttavana primääri-ilmana, sekundääri-ilmana ja tarvittaessa tertiääri-ilmana. Poltossa syntyvä tuhka poistetaan kierrättämällä petimateriaalia seulontaan. Seulonnan läpäissyt hiekka palautetaan petiin ja seulottu tuhka sekä kulutut hiekka kerätään konttiin. (Huhtinen ym. 2000, 157–159.)

Taulukko 1. Leijupetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja (Huhtinen ym. 2000, 159)

Tilavuusrasitus	0,1–0,5 MW/m <sup>3</sup>
Poikkipintarasitus	0,7–3 MW/m <sup>2</sup>
Petin painehäviö	6,0–12 kPa
Leijutusnopeus	0,7–2 m/s
Petin korkeus	0,4–0,8 m
Primääri-ilman lämpötila	20–400 °C
Sekundääri-ilman lämpötila	20–400 °C
Petin lämpötila	700–1000 °C
Kaasutilan lämpötila	700–1000 °C
Sekundääri-ilman osuus	30–70%
Ilmakerroin	1,1–1,4
Petin tiheys	1000–1500 kg/m <sup>3</sup>

### 3.1.2 Kiertoleijutekniikka

Kiertoleijupetikattilan merkittävin ero leijupetikattilaan verrattuna on sen leijutusilman nopeus. Kiertoleijupetikattilassa leijutusnopeus nostetaan 7–10 m/s:iin (ks. taulukko 2). Petimateriaali ei enää muodosta selkeästi havaittavaa pintaa vaan petin tiheys pienenee kattilassa ylöspäin noustaessa. Koska leijutusnopeus saa materiaalin leijumaan ja nousemaan kattilassa savukaasujen mukana, on palamaton materiaali saatava palautettua kattilan pohjalle. Tämä on yleensä toteutettu käyttäen syktonia

(ks. kuvio 2). Syklonilla puhdistettu savukaasu ajetaan leijupetikattilan tapaan tulistimille, veden esilämmittimille ja ilmanesilämmittimille. (Huhtinen ym. 2000, 159–160.)

Polttoaine syötetään yleensä palautettavan hiekan sekaan. Tarvittaessa voidaan polttoainetta syöttää myös kattilan etuseinältä. Kiertoleijupetikattilaa voidaan myös käyttää monilla eri polttoaineilla. Pitkä polttoaineen ja petimateriaalin kontaktiaika sekä palamattomien aineiden palautus syklonissa mahdollistavat hiilen tehokkaan polttamisen. Leijutus on mahdollista vain riittävän hienolla petimateriaalin raekoolla. Tämän vuoksi suuret kappaleet poistetaan kierrosta arinalta ja seulotaan. (Huhtinen ym. 2000, 160–161.)

Taulukko 2. Kiertopetikattilan tyypillisiä toiminta-arvoja (Huhtinen ym. 2000, 161)

Tilavuusrasitus	0,1–0,3 MW/m <sup>3</sup>
Poikkipintarasitus	0,7–5 MW/m <sup>2</sup>
Kokonaispainehäviö	10–15 kPa
Leijutusnopeus	3–10 m/s
Primääri-ilman lämpötila	20–400 °C
Sekundääri-ilman lämpötila	20–400 °C
Petin lämpötila	800–950 °C
Loppulämpötila	850–950 °C
Sekundääri-ilman osuus	26–65 %
Ilmakerroin	1,1–1,3
Petin tiheys	10–100 kg/m <sup>3</sup>



Kuvio 2. Kiertoleijupetikattila (Huhtinen ym. 2000)

### 3.2 Arinapoltto

Ensimmäiset kiinteänpolttoaineen kattilalaitokset ovat olleet arinapolttoa hyödyntäviä. Arinakattiloita on monia erityyppisiä riippuen siitä, millaiselle polttoaineelle ne ovat suunniteltu. (Jalovaara ym. 2003, 28–29.) Arinapoltossa palaminen jakautuu vyöhykkeisiin arinan eri kohdissa. Syötetty polttoaine kuivuu, lämpenee, kaasuuntuu ja lopulta jäljelle jäänyt kiinteä polttoaine palaa. Jäljelle jäänyt palamaton aines, kuten tuhka, poistetaan arinalta usein vesijäähdytetylle tuhkakolalle. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2013, 35.) Arinapoltossa polttoaineen kosteudella on suuri merkitys tarvittavaan arinapinta-alaan. Puuta ja kuorta poltettaessa ja niiden kosteuden ollessa 30 % saavutetaan arinalta tehoa 0,8 MW/m<sup>2</sup>. Jos polttoaineen kosteus nousee 60 %:iin, putoaa saatu teho 0.4 MW:iin/m<sup>2</sup>. (Vakkilainen 2017, 208–209.)

Arinapolton etuja ovat seuraavat:

- polttoaineessa suuret partikkelikoot mahdollisia
- alhainen omakäyttöteho.

Arinapolton haittoja ovat seuraavat:

- korkea ilmakerroin
- hidas ja huono säädettävyys
- herkkyys polttoaineen laadun vaihteluille
- suuri palamattomien määrä
- päästöt
- liikkuvien arinarautojen huollon tarve. (Jalovaara ym. 2003, 29.)

### 3.3 Arinatyyppit

#### **Kiinteä arina**

Arinat jakautuvat kahteen osioon niiden toiminnan mukaan, kiinteät ja mekaaniset arinat. Kiinteitä arinoita ovat taso-, viisto- ja porrasarina. Niitä käytetään lähinnä hyvin pienissä ratkaisuisissa. Kiinteällä tasoarinalla polttoaine palaa paikallaan arinan läpi tulevan paloilman avulla. Kun kiinteä arina käännetään 30°–50°:n kulmaan, saadaan kiinteä viisto- tai porrasarina. Silloin syötetty polttoaine virtaa painovoiman avulla arinan loppupäätä kohden. Myös viisto- ja porrasarinassa palamisilmaa syötetään arinarautojen väleistä. Arinaraudat kuluvat käytössä ja niitä joudutaan vaihtamaan. Kiinteä arina on kuitenkin yleisimpiä puun ja puujätteen polttoon käytettävistä ratkaisuista. (Huhtinen ym. 2000, 147–148.)

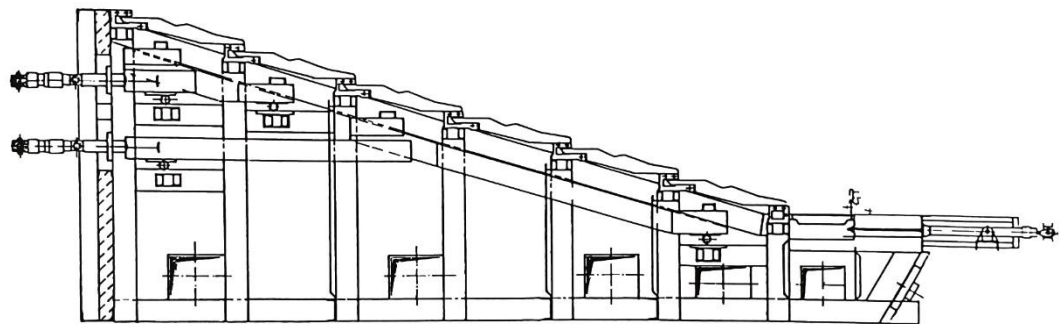
#### **Alasyöttöarina**

Arinapoltoissa polttoaine voidaan syöttää arinalle myös alakautta. Tässä tekniikassa arina on usein pyöreä ja viistomainen. Polttoaine syötetään alakautta arinan korkeimmalle kohdalle, josta se laskeutuu tasaisesti alaspäin muodostaen polttoainekeon. (Huhtinen ym. 2000, 148.)

## Mekaaniset arinat

Mekaaniset arinat ja automatisoidut polttoaineensyötöt ovat käytössä suuremmissa arinakattiloissa. Niissä polttoainemassaa liikutetaan mekaanisesti arinalla sen palaessa. Mekaaninen ketjuarina on tasoarina, jossa arinaraudat liikkuvat ketjuihin kiinnitettyinä arinan poikki. Arinalla pidetään tasaista polttoainemattoa ja suositaan tasaisesti palavia polttoaineita. Polttoaine voidaan syöttää arinan alkupäästä syöttökourun avulla tai arinan loppupäästä heittosyöttimellä. Heittosyöttimellä kevyet polttoainepartikkelit palavat jo ilmassa ja raskaat lentävät arinan alkupäähän. Näin saadaan enemmän kattilatehoa per arinaneliö. (Huhtinen ym. 2000, 149–150.)

Kiinteän viistoarinaan verrattuna mekaaninen viistoarina on huomattavasti loivempi (ks. kuvio 3). Siinä painovoima ei riitä kuljettamaan polttoainetta arinaa pitkin. Sen sijaan polttoainetta liikutetaan tärisevien tai edestakaisin liikkuvien arinarautojen avulla. Arinaraudat voivat olla joko vesi- tai ilmajäähdytteisiä. Usein joka toinen on liikkuva ja joka toinen kiinteä arinarauta. Polttoaineen mukaan voidaan säätää polttoainemassan kulkunopeutta arinalla säätämällä liikkuvien arinarautojen nopeutta. Polttoaineeksi sopivat myös huonompilaatuiset polttoaineet, kuten turve ja puu. (Mts. 149–151.) Käytännössä arinakattilat ovat kuitenkin edellä mainittujen tekniikoiden yhdistelmiä ja esimerkiksi palamisen eri vaiheille on käytössä erilaisia arinaratkaisuja. (Jalovaara ym. 2003.)



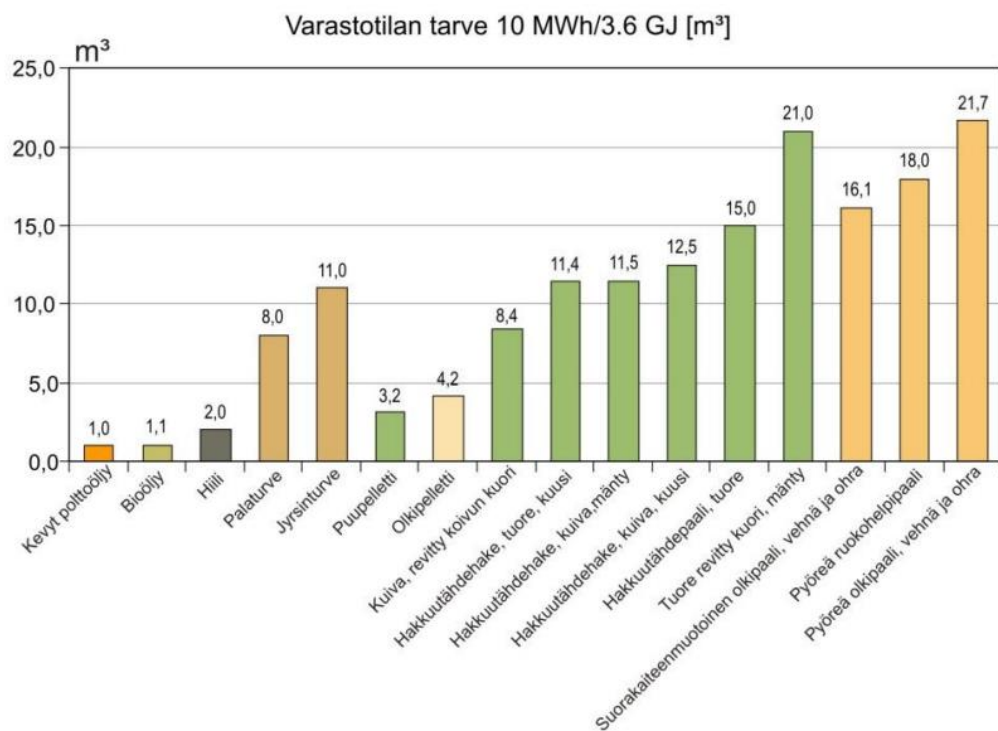
Kuvio 3. Kablitz, mekaaninen viistoarina (Huhtinen ym. 2016, 151)

## 4 Polttoaineet

### 4.1 Yleistä

Höyryn tuottamiseen kattilalaitoksella käytetään yleensä ilman kanssa eksotermisesti reagoivaa polttoainetta (Huhtinen ym. 2000, 27). Polttoaineissa reagoivia aineita ovat esimerkiksi hiili (C), rikki (S) ja vety ( $H_2$ ). Palamisreaktiot vapauttavat lämpöenergiaa, jolla vettä lämmitetään tai höyrystetään. (Mts. 79.) Yleisesti polttoainetta on oltava riittävästi saatavilla sekä sen hinnan on oltava alhainen (Mts. 27).

Polttoaineiden ominaisuudet vaikuttavat esimerkiksi niiden varastointiin, käytettävyyteen ja polttotekniikoihin. Suurin kuljetuksiin, käsittelyyn, varastointiin ja syöttölaitteisiin vaikuttava tekijä on polttoaineen energiatiheys (ks. kuvio 4). Sillä kuvataan polttoaineen energiasisältöä tilavuusyksikköä kohden. (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 196.)



Kuvio 4. Varastotilan tarve per 10 MWh (Alakangas ym. 2016, 196)

## Kiinteät polttoaineet

Kiinteät polttoaineet voidaan luokitella fossiiliseksi tai uusiutuviksi. Kiinteillä polttoaineilla on erilaisia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat niiden käytettävyyteen.

Kiinteän polttoaineen käsittelyyn vaikuttavia ominaisuuksia:

- tuhkapitoisuus
- kosteuspitoisuus
- kalorimetrinen lämpöarvo
- tehollinen lämpöarvo
- rikkipitoisuus
- klooripitoisuus. (Jalovaara ym. 2003, 25.)

Erytisesti kiinteiden polttoaineiden tärkeä ominaisuus on niiden palakoko. Sillä on merkittävä yhteys polttotekniikkaan ja kuljetus- ja käsittelylaitteisiin (Alakangas ym. 2016, 196).

Lisäksi käytettävillä polttoaineilla on seuraavia ominaisuuksia, jotka myös vaikuttavat niiden käsittelyyn ja palamiseen:

- paisuvuus
- leipoituvuus eli tuhkan sulaminen polttoaineen päälle
- tuhkan ominaisuudet
- kemiallinen rakenne (Jalovaara ym. 2003, 25).

## Nestemäiset ja kaasumaiset polttoaineet

Polttoaineena voidaan käyttää myös nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita. Nestemäisenä poltetaan esimerkiksi öljyä. Öljy voidaan jaotella kevyisiin ja raskaisiin polttoöljyihin. Raskas polttoöljy on halvempaa, mutta vaikeammin käytettävää. Siksi se onkin pääasiassa suurempien laitoksien polttoaine. Nykyisillä öljyn hinnoilla raskas polttoöljy on harvoin käytössä ensisijaisena polttoaineena.

Kaasumaisista polttoaineista yleisin ja tärkein on maakaasu. Se on fossiilinen luonnonkaasu. Ennen käyttöä siitä ainoastaan poistetaan rikkiyhdisteitä ja lopputulokseksi on käytännössä rikitön polttoaine. Suomessa käytettävä maakaasu sisältää lähes pelkästään metaania.

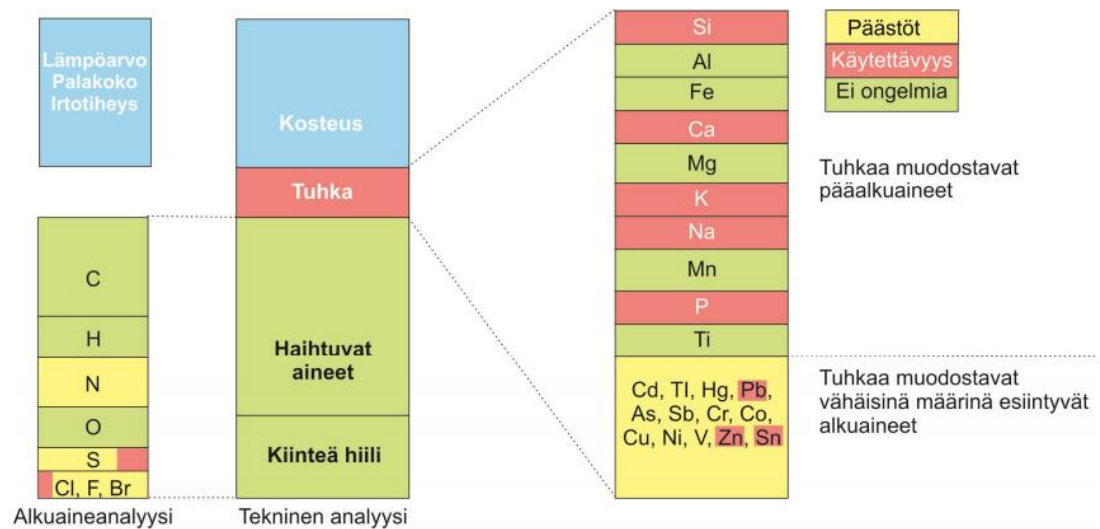
Maakaasulla on muutamia etuja kiinteisiin polttoaineisiin ja nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna:

- hyvä palamishyötysuhde
- helppo palamisen valvonta
- laaja säätöalue
- puhtaus
- vähäiset rikki- ja typpioksidit (Jalovaara ym. 2003, 51.)

## 4.2 Tuhka

Kaikesta palamisesta jää sivutuotteena tuhkaa. Tuhka on epäorgaanista ainesta, joka jää jäljelle polttoaineen palamisesta. Tuhkan määrä ilmoitetaan yleensä painoprosentteina kuivan polttoaineen painosta. Se ei ole sama kuin polttoaineen alkuperäinen epäorgaanisten aineiden pitoisuus, sillä palaessa osa näistä hajoaa. Tuhkaa syntyy erityisesti poltettaessa kiinteitä polttoaineita. (Jalovaara ym. 2003, 26.)

Polttoöljyn tuhkapitoisuus on alhainen, suurimmillaan noin 0,1–0,2 %. Tämä tuhka sisältää pääasiassa öljyssä olleita metallihiukkasia ja mekaanisia epäpuhtauksia. Korroosiota öljynpoltossa aiheuttaa pääasiassa natrium ja vanadiini (ks. kuvio 5). (Mts. 45.)

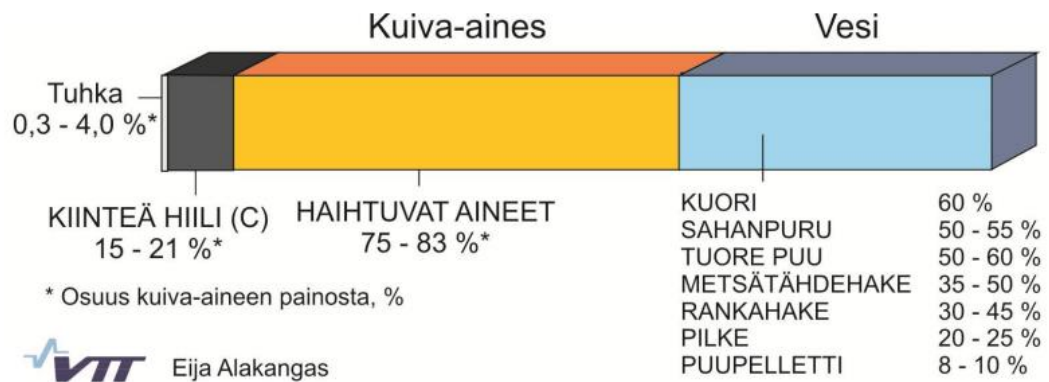


Kuvio 5. Tuhkan vaikutukset (Alakangas ym. 2016, 198)

### 4.3 Hake ja murske

Puuhun ja biomassaan on sitoutunut kemiallista energiaa. Kasvit sieppaavat yhteyttämisessä ilmakehästä hiiltä, joka sitoutuu yhdessä auringon energian kanssa kasveihin. (Alakangas ym. 2016, 54.) Tämän vuoksi puuta pidetään ympäristöystävällisenä polttoaineena. Sen palamisessa vapautuva hiili katsotaan sitoutuvan takaisin uusiin kasvaviin puihin. Puun käyttö polttoaineena on erityisen suosittua puuteollisuudessa. Siellä puusta jää jätteeksi sen kuori sekä sahausjätteet. (Huhtinen ym. 2016, 29.)

Puupolttoaineiden runkojen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg) ei vaihtele suuresti eri puulajien kesken (liite 1). Kuitenkin puun eri osien välillä lämpöarvot vaihtelevat ja yleisesti puulla on muihin kiinteisiin polttoaineisiin nähden pieni lämpöarvo. Puupolttoaineet sisältävät myös vaihtelevan, mutta suuren osuuden vettä (ks. kuvio 6). Näiden ominaisuuksien vuoksi puupolttoaineet vaativat erilaisia polttotekniikoita sekä käsittelylaitteistoja. Yleisesti kostempaa puuta voidaan polttaa suuremmissa polttolaitoksissa ja pienemmät kattilat sekä kotitalouksien puusijat vaativat kuivaa puuta. (Alakangas ym. 2016.)



Kuvio 6. Biopolttoaineen koostumus (Alakangas 2000)

## Käsittely

Puupolttoaineita voidaan kuivata ja niiden palakokoja muokata. Lisäksi voidaan luoda seospolttoaineita eri puupolttoaineista. Puuhaketta ja puumursketta voidaan luoda kokopuusta, rangoista, metsätähteestä tai muusta puuaineksesta. (Alakangas ym. 2016, 66.) Hake (ks. kuvio 7) valmistetaan paloittelemalla puuainesta mekaanisesti teräväkulmaisilla, leikkaavilla terillä. Vastaavasti murske (ks. kuvio 7) valmistetaan murskaamalla puuaines tylppäkulmaisilla terillä. Molempien palakoko ja palajakauma vaihtelevat. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 9–10.)



Kuvio 7. Hake ja murske (Alakangas ym. 2016, 67)

Erilaiset puupolttoaineet ja niiden sisältämä kosteus voi aiheuttaa erityisesti talvella ongelmia kattilalaitoksien kuljettimissa ja polttoaineenkäsittelylaitteissa. Yleensä polttoainetta haluttaisiin käyttää kuivaamattomana hakkeena, murskeena tai purnana. Tämä voi kuitenkin aiheuttaa laitteisiin holvaamista, tukoksia ja muita ongelmia. (Flyktman 2004.) Puuta voidaan kuivata ennen polttoa. Kuivaamalla saadaan puusta poltettaessa vapautuvaa energiamäärää suurennettua (MJ/kg). Lisäksi pienemmissä polttoyksiköissä kuivempi puupolttoaine takaa puhtaamman palamisen ja pienemmät päästöt. Puuta kuivataan luonnonkuivauksella ja keinokuivauksella. Luonnonkuivauksessa energiapuun annetaan kuivua välivarastoissa. Luonnonkuivaus tehostuu rikkomalla puun kuorta tai lisäämällä puun pinta-alaa halkomalla se. Keinokuivauksessa kuivattavaan puuainekseen tuodaan energiaa kuivumisesta nopeuttamaan. Mahdollisuutena on puhalttaa puuainekseen suoraan ulkoilmaa tai lämmittää tätä ilmaa, jolloin kuivuminen tehostuu huomattavasti. Kuivumiseen vaikuttaa myös suuresti puuhun puhallettavan ilman kosteus. Jo valmiiksi kostea ilma sitoo huonosti puusta haihtuvaa kosteutta. (Viirimäki, Hiitelä, Maunula, Koisti, Wikberg, Raitila, Kouki, Vuorio, Lappi & Vilkkilä 2014.)

## 4.4 Puupöly

Polttoaineena käytettävää puupölyä syntyy esimerkiksi puuta hiottaessa. Puupölyn kosteusprosentti on alhainen (5–10 %). Näin pölystä saadaan poltettaessa paljon lämpöenergiaa. (Alakangas ym. 2016.) Sen irtotiheys vaihtelee 100–150 kg/m<sup>3</sup> (Alakangas 2000, 152). Pölypoltossa hienonnettu ja jauhettu kiinteä materiaali syötetään pölypolttimen läpi tulipesään. Pölypolttoaineena voidaan käyttää hiiltä, turvetta, jauhettua biopellettiä ja puupölyä. Palaminen tapahtuu muutamassa sekunnissa ja luovuttaa suuria määriä lämpöenergiaa nopealla säädettävyydellä. Palaminen vaatii yleensä jonkinlaisen tukipolttoaineen varmistamaan syttymisen ja tasaamaan polttoaineen laadunvaihteluita. Poltettava pöly tuodaan polttimeen käyttäen kantoilmaa, joka toimii palamisen primääri-ilmana. Polttimeen tuodaan myös erillinen ilman-syöttö, jolla tuodaan loppupalamisen tarvitsema ilma. (Huhtinen ym. 2000, 141–142.)

### **Käsittely**

Kun pöly on siirretty pneumaattisesti haluttuun varastointipisteeseen, on se eroteltava kantoilman joukosta. Tämä toteutetaan pölynerottimilla. Pölyä voidaan erottaa kaasusta dynaamisilla erottimilla, märkäerottimilla, sähköisillä erottimilla ja suodatusperiaatteella toimivilla erottimilla. Puupölyn kanssa yleisesti käytössä ovat dynaamiset ja suodatusperiaatteella toimivat menetelmät.

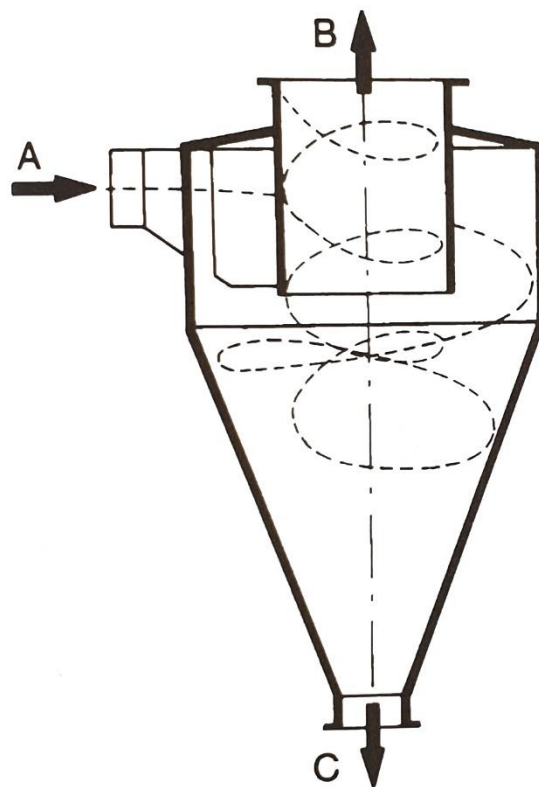
Dynaamisia erottimia ovat laskeutumiskammio ja sykloni. Kammioerottimessa puhdistettava kaasu johdetaan putkilinjaa huomattavasti poikkipinta-alalta suurempaan laajennukseen. Tällöin kaasun virtausnopeus laskee ja hiukkaset putoavat kammion pohjalle (ks. kuvio 8). Erotuskykyä voidaan parantaa kammion sisäisellä väliseinällä. Käytettäessä syklonia pöly erotellaan kaasusta keskipakovoiman avulla. Kaasu johdetaan sykloniin tangentialisesti tai aksiaaliseksi niin, että kaasu alkaa pyöriä spiraalimaisesti syklonin sisällä. Tällöin pölyhiukkaset osuvat syklonin seiniin ja putoavat sen pohjalle. Puhdas kaasu imetään syklonin keskeltä ylhäältä pois. Syklonin erottelukyky on parhaimmillaan erittäin hyvä. Erottelukyky kuvaavasta kaavasta nähdään, että

erottelukyky kasvaa säteen pienentyessä ja kaasuvirtauksen nopeuden kasvaessa.  
(Pihkala 2003, 57–59.) Syklonien erottelukykyä kuvaava voima voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$F = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (1)$$

jossa  $m$  = hiukkasen massa  
 $v$  = hiukkasen nopeus  
 $R$  = syklonin säde

(Pihkala 2003, 58).



- A. Puhdistettava kaasu
- B. Puhdistunut kaasu
- C. Erottunut pöly

Kuvio 8. Sykloni (Pihkala 2003, 59)

Pölyä voidaan suodattaa myös suodatinkankailla eli letkusuodattimilla. Suodattimet valmistetaan yleensä luonnonkuituista, mineraalikuituista tai synteettisistä kuituista. Pölyä sisältävä kaasu johdetaan letkusuodattimien sisä- tai ulkopinnalle. Pöly ei läpäise kangasta vaan kertyy sen pintaan parantaen samalla erotuskykyä. Likaantuvat suodattimet puhdistetaan ravistelulla tai ilmahuuhtelulla. Uusimmissa letkusuodattimissa käytetään ravistamiseen myös ultraääntä. Irronnut pöly putoaa pois ja se voidaan kerätä talteen. Letkusuodattimen haittapuolena on sen lämpötilan kesto, joka rajoittuu noin 250 °C:een. (Pihkala 2003, 62–63.)

#### 4.5 Pelletti

Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista kuten sahanpurusta, hiontapölystä ja kutterilastusta voidaan valmistaa puupellettejä. Pelletit ovat sylinterin muotoisia ja niiden halkaisija voi olla noin 10 mm ja pituus 10–30 mm. Pelletti sisältää hyvin vähän kosteutta eli 6–10 %. Kilogramma saapumistilassa olevaa pellettiä sisältää noin 16–18 MJ energiaa. Irtokuutiotiheyden ollessa 640–690 kg saadaan pellettinä säilöttyä suuria määriä energiaa. (Alakangas ym. 2016, 95–96.)

Puupelletin valmistuksessa ei tarvita ulkoista sideainetta vaan puristaessa puun ligniini sitoo pelletit muotoonsa. Ennen puristamista pelletin raaka-aine on saatettava sopivaan raekokoon, joka on maksimissaan valmiin pelletin halkaisijan verran. Samalla varmistetaan raaka-aineen kuivuus ja tarvittaessa kuivataan sitä. Puristaessa pelletti lämpenee ja puuaineksen sisältämä ligniini sulaa. Jotta pelletti saadaan pysymään muodossaan, on tuote jäähdytettävä heti puristamisen jälkeen. Valmis pelletti voidaan säilyttää varastosiiloissa tai säkeissä. Varastoinnissa on huomioitava, ettei pelletti kestä ulkoista kosteutta. (Mts. 95.)

Pelletit voidaan polttaa pääpolttoaineena syöttämällä ne kiinteän polttoaineen kuljettimelle. Vaihtoehtoisesti pellettiä voidaan käyttää tukemaan pääpolttoaineen laadun vaihteluita. Pellettiä tukipolttoaineena on kokeiltu ja käytetty useissa lämpölaitoksissa. (Lahtinen 2006.) Suuremmissa laitoksissa pelletti usein murskataan ja poltetaan pölynä (Alakangas ym. 2016, 96).

## 4.6 Kuori

Puuta suojaa kahdesta osasta muodostuva kuori. Kuoren osat ovat ulkokuori ja sisäkuori eli nila. Puu kuljettaa yhteyttämistuotteita kuoren nilaa pitkin. Puun kaarna ja tuohi lasketaan ulkokuoreksi. Yhteensä kuorta on runkopuusta 10–20 % ja oksista jopa 60 %. Kuoren lämpöarvo on lähes yhtä suuri kuin puunrungolla, johtuen sen suuresta ligniinipitoisuudesta (ks. liite 1). Kuoren määrä ja energiasisältö tekevätkin siitä varteenotettavan polttoaineen. Yleisesti lehtipuiden kuori sisältää korkeamman lämpöarvon kuin havupuut. (Alakangas ym. 2016, 81.)

### **Kuoren käsittely**

Kuorta poltetaan nykyään pääasiassa sekapolttona puujätteen, turpeen tai kivihiilen kanssa (Impola 2000, 219). Kuoren poltossa on kuitenkin haasteita. Kuori sisältää lähtökohtaisesti paljon kosteutta ja tuhkaa (ks. liite 2). Kuori on myös hyvin epähomogeenista ainesta ja vaatii käsittelyä ennen polttoa. Näin ollen myös kuoren kuljetin- ja syöttölaitteilta vaaditaan enemmän. (Alakangas ym. 2016, 82.)

Kuorta suositellaan käsiteltäväksi ennen polttamista. Käsittelyssä kuorta seulotaan, revitään ja kuivataan mekaanisesti tai termisesti. Impola (2000) tutki kuoren käsittelyä polttoaineeksi. Tavoitteena oli tehostaa nykyisiä ja kehittää uusia käsittelymenetelmiä parantamaan kuoren polttoaineominaisuuksia.

Kuoren käytön ja käsittelyn ongelmia ja erityispiirteitä ovat seuraavat:

- kuoren epähomogeenisuus
- käsittelyteknisesti ja polttoteknisesti vaikea polttoaine
- kuoripitoisen polttoaineseoksen holvaantuminen syöttölaitteissa
- suuri palakoko
- kuoren polttaminen kuivempana lisäisi kattiloiden kapasiteettia
- onko kuoren puristaminen teknisesti optimaalista. (Impola, 2000, 219–220.)

Kuoren partikkelikoko ja -kokojakauma vaikuttavat merkittävästi kuoren loppukäsittelyyn ja käyttöön. Kuorta voidaan seuloa ja repiä erilaisilla teknisillä ratkaisuilla. Kuoren seulomiseen yleisin käytetty menetelmä on kiekoseula. Se kuitenkin päästää

seulottuun seokseen herkästi läpi pitkiä ja levymäisiä kuoria. Repimällä voidaan hallita kuoren partikkelikokoa. Kuoren repijöiden yleisimmät tyypit ovat pystyroottoriset repijät ja vaakaroottoriset repijät. Käytännössä niiden revintätuloksissa ei ole suuria eroja. Kuoren partikkelikoon pienentäminen parantaa yleisesti mekaanisen puristamisen tehokkuutta ja helpottaa sen palamista. (Mts. 223–224.)

Mekaanisessa kuoren puristamisessa lopputulokseen vaikuttavat seuraavat tekijät:

- puulaji
- kuoren lämpötila
- kuoren lähtökuiva-ainepitoisuus
- partikkelikoko
- puristimen kapasiteetin käyttöaste.

Koivupuiden kuori on lähtökohtaisesti kuusikuorta kuivempaa ja sisältää enemmän puuainesta. Kuoren kosteuspitoisuus ennen kuivaamista vaikuttaa siten, että kosteammat kuoret yleisesti kuivuvat enemmän. Myös lämpimästä (20–40 °C) kuoresta kosteus poistuu paremmin kuin kylmästä. Puuaines kuoren seassa parantaa kuoren kuivuvuutta jättämällä vedelle poistumisreittejä ja tasainen kuoren syöttö antaa parhaan kuivumistuloksen. (Mts. 227–229.)

Kuoren terminen kuivaaminen tapahtuu yleensä sitä polttavan kattilan savukaasuilla. Käytössä on lähinnä putkikuivaimia ja rumpukuivaimia. Molemmissa tekniikoissa kattilalaitoksen savukaasut ajetaan kuivattavan kuoren sekaan ja erotellaan kuivauksen jälkeen toisistaan. Kuivaamalla polttoon menevää kuorta voidaan nostaa käytettävän kattilan tehoa. (Huhtinen ym. 2000, 74.)

## 4.7 Raskas polttoöljy

Raskas polttoöljy sopii voimalaitoksen pää-, vara- tai tukipolttoaineeksi. Polttoöljyn korkea lämpöarvo tekee sen varastoimisesta helppoa ja sen käyttö on tehokasta. Raskas polttoöljy on kuitenkin huoneenlämpöisenä jäykkää ja vaatii säilytystä ja käyttöä varten oikeat järjestelmät. (Jalovaara ym. 2003, 42.)

Polttoöljyn luokittelu ja arvostelu tapahtuu seuraavien ominaisuuksien perusteella:

- viskositeetti
- tiheys
- tehollinen lämpöarvo
- jähmepiste
- leimahduspiste
- rikkipitoisuus
- tuhkapitoisuus
- vesipitoisuus
- elementaarianalyysi (Mts. 42–43).

Polttoöljy varastoidaan riittävän lämpimänä ja sen vuoksi säiliö on syytä eristää. Näin minimoidaan lämpimänä pitoon tarvittava energiamäärä. Itse lämmittäminen voidaan hoitaa kahdella tapaa. Jos lämmitetään koko säiliössä olevaa öljyä, toteutetaan se säiliön pohjalle sijoitetulla lämmönvaihtimella. Kuitenkin lämpöhäviöiden kannalta edullisempi tapa on lämmittää vain putkistoon virtaava öljy riittävään lämpötilaan. Polttoöljyn ollessa vettä kevyempää kertyy sen säilytyksessä säiliön pohjalle vettä. Tämä vesi on pyrittävä tyhjentämään säännöllisesti sitä varten rakennetun tyhjensyhteen kautta. (Huhtinen ym. 2000, 47–49.)

### **Käsittely**

Raskaan polttoöljyn polttaminen ei vaadi lämmittämisen lisäksi muuta käsittelyä. Tarvittaessa öljy kuitenkin suodatetaan ja sitten pumpataan sopivaan paineeseen polttimelle, jossa polttoöljy hajotetaan pieniksi pisaroiksi palamista varten. Hajottaminen suoritetaan joko höyryllä, ilmalla, öljynpaineella tai keskipakoisvoiman avulla. (Jalovaara 2003, 45–46.)

## 4.8 Seospolttu

Seospolttu tarkoittaa kahden tai useamman polttoaineen polttamista samanaikaisesti kattilassa. Seospolton mahdollisuudet riippuvat pitkälti kattilatyypistä. Kuplaleijupeti- ja kiertoleijupetikattilat toimivat huomattavasti laajemmin seospolttossa kuin arinakattilat. (Alakangas ym. 2016, 200.)

Erityisesti biopolttuaineiden seospolttu on yleistynyt viime vuosina. Lisäämällä biopolttuaineiden käyttöä luodaan ympäristöystävällinen energiapohja, parannetaan omavaraisuutta ja energiansaannin varmuutta. Teollisuudessa käytettävien puuhukkamateriaalien hintakin on kilpailukykyinen. (Järvinen 2000, 246.) Pelkkien biopolttuaineiden käyttö aiheuttaa kuitenkin ongelmia tietyissä tapauksissa. Poltettaessa klooria ja alkaleita sisältäviä biopolttuaineita altistetaan kattila syöpymiselle ja likaantumiselle. Näitä aineita on erityisesti metsähakkeessa. Tällöin on järkevää käyttää biopolttuaineen rinnalla suojaolttuaineena turvetta tai kivihiltä, joista löytyy kattilaa suojaavia yhdisteitä. (Alakangas ym. 2016, 200.) Toinen ongelma biopolttuaineiden seospolttossa on suuret laatu-, kosteus- ja lämpöarvovaihtelut. Käytettävän biopolttuaineen kosteus voi vaihdella paikallisesti ja sitä kautta sen palamisominaisuudet voivat muuttua nopeasti. Lisäksi eri biopolttuaineilla on suuria eroja, esimerkiksi lietteet voivat sisältää 0,2–0,5 MWh/m<sup>3</sup> kun turve sisältää 0,8–1,3 MWh/m<sup>3</sup>. Fossiilissa polttuaineilla saadaan vielä suurempia lämpöarvoja ja siksi seospolttossa sekoittuvuus on merkittävä tekijä. (Järvinen 2000, 246.)

Seospolttu vaatii joko valmiin seoksen tai mahdollisuuden syöttää useampaa polttuainetta samalle kuljettimelle hallitusti. Käytännössä tämä edellyttää kahta varastoa, joista voidaan purkaa samalle kuljettimelle. Valmistaa polttuaine seosta käytettäessä on varmistuttava sen sekoitusasteesta. Seoksia voidaan valmistaa lastaamalla polttuaineita vuorotellen kuljetusautoon tai sekoittamalla niitä lastauspaikalla kentällä. Kuitenkin kentällä sekoittaminen on todettu olevan haastavaa VTT:n toteuttaman tutkimuksen mukaan (Flyktman 2004). Itse kattilalaitoksen piha ei sovellu seoksen valmistamiseen (Flyktman, Impola & Linna 2012, 15).

## 5 Siirto ja varastointi

### 5.1 HihnakuJETIN

HihnakuJETimet ovat luotettava, kustannustehokas ja monikäyttöinen tapa materiaalin kuljettamiseen. Siksi niitä on ollut käytössä jo pitkään. HihnakuJETtimella on mahdollista siirtää materiaalia pitkiä matkoja nopeasti ja monenlaisessa maastossa. Siirrettävä materiaali voi olla raekooltaan isoa tai pientä, kuivaa tai märkää ja painavaa tai kevyttä. Esimerkkeinä siirrettävistä aineista mainittakoon puuhake, perunalastut ja puunrungot. HihnakuJETtimella saavutetaan edullisin kuljetuskustannus tonnia kohden. (Swinderman, Marti, Goldbeck, Marshall & Strebel 2012, 29.)

HihnakuJETin koostuu seuraavista pääkomponenteista: hihna, hihnapyörät, vetopyörä, runko ja kaavarit. Hihna, jota pitkin kuljetettava materiaali liikkuu, on usein valmistettu kumista ja vahvikkeista. Se voi olla sileä tai sisältää pitoa lisääviä uria ja kohoumia. Kuljetettava materiaali pudotetaan hihnalle yleensä syöttöaukon kautta. HihnakuJETtimessa on pidettävä huolta hihnapyörien pyörivyydestä ja yleisestä kunnosta, kaavareiden kunnosta ja hihnan kulusta oikealla linjalla. (Swinderman ym. 2012.)

### 5.2 KolakuJETIN

KolakuJETin on paljon käytetty siirtotekniikka erityisesti polttoaineille. Sen rakenne mahdollistaa pölytiivyyden ja purkamisen useasta kohtaa kuljetinta. Käytettävä nousukulma voi olla jopa 45° ja siirrettävä materiaali saa olla raskasta, kovaa ja epäpuhdasta. Kuitenkin hihnakuJETtimeen verrattuna se on kalliimpi, vaatii enemmän huoltamista ja kuluttaa enemmän energiaa. (Flyktman ym. 2012, 13.)

### 5.3 Ruuvikuljetin

Ruuvikuljetin soveltuu parhaiten kohteisiin, jossa tarvittava siirtomatka on lyhyt. Lisäksi se ei ole optimaalinen suurien massavirtojen siirtämiseen. Ruuvikuljettimen etuina ovat pölytiivis ja yksikertainen rakenne, pienitilantarve, tasainen kuljetuskapasiteetti ja mahdollisuus kuormata sekä purkaa useasta kohtaa. Ruuvikuljetinta voidaan myös helposti ajaa kahteen suuntaan esimerkiksi haluttaessa purkaa vuorotellen kahdelle eri kuljettimelle. Haittapuolina ruuvikuljettimessa on sen maksimipituus noin 10 m, energiankulutus ja häiriöalttius. (Flyktman ym. 2012, 13–14.)

### 5.4 Pneumaattinen kuljetin

Pölynsiirtoon voidaan käyttää kaasuvirtaa, joka on yleensä ilma. Siirrettävä pöly ohjataan putkeen, jossa esimerkiksi ilma kuljettaa pölyä yhdestä tai useammasta lähtöpisteestä yhteen tai useampaan päätepisteeseen. Ilman virtaus luodaan joko puhaltamalla ilmaa lähtöpäästä tai imemällä sitä loppupäästä suodattimen läpi. Tämä siirtotekniikka on käytännöllinen ja tehokas. Sitä on helppo laajentaa ja korjata. Rajoittavana tekijänä on siirrettävän materiaalin tiheys ja raekoko, jotka saavat olla 16–3200 kg/m<sup>3</sup> ja 5 cm. (Bhatia n.d.)

### 5.5 Varastointi

Biopolttoaineet ovat kevyitä, holvaavia, pölyttäviä, kosteita ja alttiita syttymiselle. Polttoaineen saatavuuden parantamiseksi sitä säilytetään 6–18 tunnin käyttötarve hyvin lähellä voimalaitosta, niin sanotussa päiväsiilossa. Nämä siilot on suunniteltava niin, että polttoaine ei pääse holvaamaan sen reunoihin aiheuttaen katkoksia polttoaineen saatavuudessa. Polttoaineista irtoava pöly kerääntyy pinnoille ja kuivuu aiheuttaen tulipalon vaaran erityisesti kuljettimilla. Siksi siilot ja kuljettimet tulisi varustaa palohälyttimillä ja sammutusjärjestelmillä. Sammuttamiseen voidaan käyttää vettä tai höyryä. (Vakkilainen 2017, 147–149.)

Suuremmat biopolttoaine määrät varastoidaan ulos suurin kasoihin. Esimerkiksi puun haketuksen jälkeen sen irtotiheys on pieni. Näin ollen suurien energiamäärien varastointi vaatii erittäin suuret varastointialueet. Näissä ulko-varastoissa polttoaineet ovat alttiita sään ja ilmaston vaihteluille. Varsinkin talvisin lumi ja jää aiheuttavat ongelmia muodostaessaan suuria kokkareita. Suurissa varastoissa biopolttoainetta piilee myös itsesyttymisen riski. Polttoaineen kosteuden ollessa 20–60 % alkaa se lahota samalla muodostaen lämpöä. Sopivissa olosuhteissa polttoainekasat voivat siis syttyä sisältä. (Vakkilainen 2017, 150–151.)

## 6 Näytteenotto ja analysointi

### 6.1 Näytteenotto

Polttoaineen näytteenotolla tarkoitetaan analysointiin sopivan erän erottamista suuremmasta polttoainemäärästä. Erottamisen täytyy tapahtua niin, että erotettu näyte vastaa ominaisuuksiltaan alkuperäistä massaa. Tavoitteena on minimoida systemaattinen ja satunnainen virhe. Analyysitulosten virheestä 80 % arvioidaan tulevan näytteenotosta, 15 % näytteenkäsittelystä ja loput 5 % näytteen analyysistä.

Hyvä näytteenotto täyttää seuraavat piirteet:

- Näytteenotto on suunniteltu.
- Näyte otetaan tilanteessa, jossa polttoaine saapuu loppukäyttäjälle.
- Näyte otetaan esimerkiksi putoavasta virrasta.
- Näytteen on edustettava koko polttoainevirtaa.
- Näytteen käsittely ei saa muuttaa polttoaineen ominaisuuksia. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 28.)

Näytteenottoa varten olisi hyvä laatia näytteenottosuunnitelma. Suunnitelmassa sovitaan polttoaineen tarjoajan ja ostajan kanssa yhdessä sopiva näytteenottopaikka ja

-menetelmä, näytteenottolaitteet ja välineet, yksittäisnäytteiden lukumäärät ja tilavuudet sekä näytteiden käsittely ja hallinta. (Mts. 28.)

### **Näytteenottoaika**

Näytteenottoa varten valitaan näytteenottoaika. Useimmin paras paikka tähän tarkoitukseen on polttoaineen luovutuspaikka. Näytteet kerätään mieluiten kuormaa purettaessa liikkuvasta polttoainevirrasta. Näytteet voidaan tarvittaessa ottaa myös purun jälkeen lähtevältä kuljettimelta putoavasta virrasta. Näin tehdään varsinkin käytettäessä automaattista näytteenottoa. Paikkaa valittaessa on huomioitava, mistä edustava näyte on mahdollisimman helppo ja halpa ottaa. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 29.)

### **Näytteenottotapa**

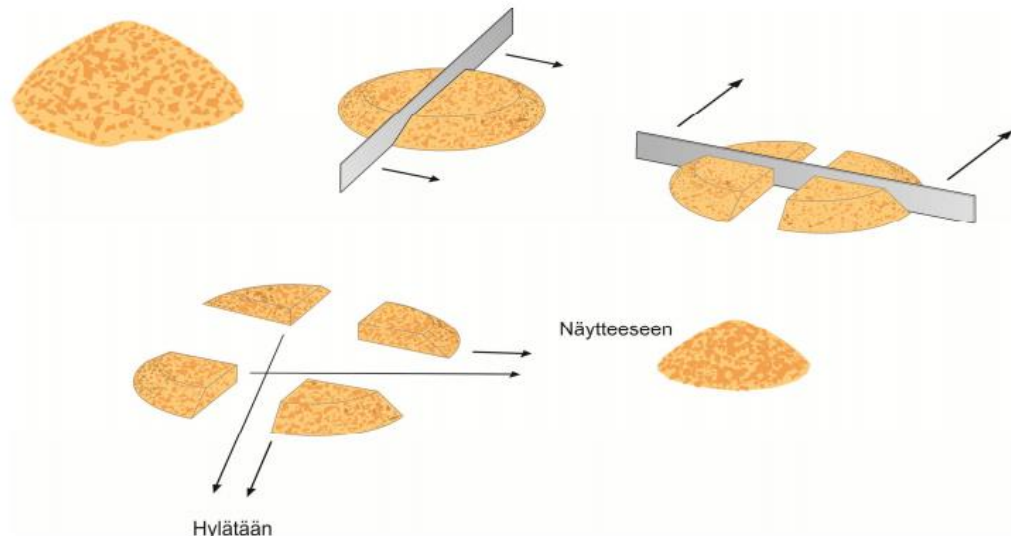
Polttoaineen laadun määrittämisessä suurimman epätarkkuuden aiheuttaa näytteenotto. Tämän vuoksi näytteenotto on suoritettava järjestelmällisesti ja huolellisesti. Polttoainenäyte voidaan ottaa koneellisesti tai manuaalisesti. Koneellisesti näytettä otetaan lähes aina liikkuvasta polttoainevirrasta, suoraan kuljettimelta tai kuljettimen päästä. Kuljettimelta koneellinen näyte otetaan usein pyyhkäisemällä läpi polttoainevirran ja vastaavasti pyyhkäistään otettaessa näytettä putoavasta virrasta. Näytteenottimen suuaukon on oltava vähintään 2,5 kertaa polttoaineen suurimman nimelliskoon verran. Näytteenottimen tilavuus mitoitetaan riittävän suureksi, jotta näyte täyttää siitä noin 2/3. Koneellinen näytteenotto tuottaa usein tilavuudellisesti paljon näytettä. Tämän vuoksi sen perään liitetään usein automaattinen näytteen jatkokäsittely ja lopputuotteena on yksittäisiä pienempiä näytteitä. Koneellinen näyte voidaan ottaa myös kolakuljettimelta. Tällöin näytteeseen on saatava koko yhdessä kolassa kulkeva materiaali. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 30.)

Manuaalisessa näytteenotossa pyritään myös ottamaan näyte liikkuvasta virrasta. Tämä voidaan tehdä kuorman purussa perästä putoavasta virrasta. Näytteitä otetaan riittävästi, jotta ne kuvastavat koko kuormaa. Käytännössä vältetään yksittäisten näytteiden ottoa kuorman aivan alusta ja lopusta. Toinen vaihtoehto on koneellisen

näytteenoton tapaan kuljettimelta, jolloin kuljetin on pysäytettävä. Jos kuitenkin liikkuvasta polttoainevirrasta ei voida näytettä ottaa, otetaan se puretusta kasasta. Silloin käytetään näytteenottokauhaa ja näytteitä otetaan tasaisesti kasan jokaisesta kohdasta. Näytteitä ei oteta kasan alimmasta osasta, koska polttoainekasassa se lajituu niin, että karkein aines valuu kasan alareunoihin ja hienoin aines jää kasan keskelle ja yläosaan. Yksittäisiä näytteitä olisi otettava 2 per 50 irto-m<sup>3</sup> polttoainetta. Näytteen tilavuus määräytyy polttoaineen palakoon mukaan niin, että yleensä Suomessa metsähaketta otetaan 3 litraa ja kuorta 5 litraa. (Mts. 31–34.)

### **Käsittely**

Kentältä otettuja näytteitä käsitellään jatko analysointia varten. Näytteet voidaan pienentää jakamalla ja niitä voidaan murskata. Tärkeintä on, ettei otettu näyte muutu jakaumaltaan ja tutkittavilta ominaisuuksiltaan. Yksittäisistä näytteistä voidaan muodostaa kokoomanäytteitä, joista saadaan laajempi keskiarvollinen kuva polttoaineen laadusta. Kosteutta mitataan yleensä vuorokauden välein ja kuiva-aine ominaisuuksia kuukauden välein. Kokoomanäytteen analysointiin ei yleensä tarvita koko näytettä. Kokoomanäytteen kokoa voidaan pienentää luotettavasti tietyillä menetelmillä. Pienentäminen, eli jakaminen voidaan toteuttaa erilaisilla lokero jakolaitteilla. Niissä näyte jakautuu tasaisesti useaan pienempään lokeroon. Toinen menetelmä on neliöinti (ks. kuvio 9). Siinä näyte ensin sekoitetaan huolellisesti ja sitten kasataan tasaiselle alustalle. Näyte jaetaan sopivalla apuvälineellä neljään osaan, joista hylätään ristikkäiset erät ja säilytetään ristikkäiset osat. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 35–38.)



Kuvio 9. Polttoainenäytteen neliöinti (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 38)

## 6.2 Kosteuden mittaaminen

Useimmat polttoaineet sisältävät kosteutta. Kotimaiset biopolttoaineet sisältävät yleisesti paljon kosteutta, jopa 55–60 %. Fossiilisein polttoaineiden kosteus pienenee niiden iän myötä ja esimerkiksi raskaassa polttoöljyssä sitä on vain 0,3 %. Kosteus on sitoutunut polttoaineisiin ulkoisena ja sisäisenä kosteutena. (Huhtinen ym. 2000, 39.)

Puuhakkeen tai murskeen kosteuden selvittämiseen tarvitaan vähintään 300g näyte. Punnitukseen käytetään vaakaa, jonka tarkkuus on vähintään 0,1g. Näytteen palakoko on pienennettävä, jos se ylittää 30mm suurimman nimellisen palakoon. Palakoon pienentäminen ei saa muuttaa polttoaineen muita ominaisuuksia. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 49.)

### Menetelmät

Kosteuden määrittämiseen voidaan käyttää erilaisia pikamittauksia, mutta yleisin menetelmä on uunikuivaus. Uunikuivauksessa käytetään lämpökaappia, jonka lämpötila on  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Lämpökaapissa on oltava tuuletusventtiili, josta näytteen kosteus

poistuu. Kuivatus aika on maksimissaan 24 tuntia. Näytteet asetellaan kaappiin väljästi ja irti pohjasta sekä reunoista. (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 50).

Ennen kuivauksen aloittamista punnitaan näyteastian paino, näyteastian ja näytteen yhteispaino ennen kuivausta ja näyteastian ja näytteen yhteispaino kuivauksen jälkeen. Näytteen kosteusprosentti voidaan laskea yhtälöllä 2.

$$M_{ar} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad (2)$$

jossa  $m_1$  = näyteastian massa  
 $m_2$  = näyteastian ja kuivaamattoman näytteen massa  
 $m_3$  = näyteastian ja kuivatun näytteen massa  
 $M_{ar}$  = näytteen kosteus prosentti

(Mts. 50.)

Nopeampaan kosteuden määrittämiseen on olemassa monia pikamittausmenetelmiä. Näitä ovat esimerkiksi sähkömagneettiseen spektriin perustuvat menetelmät, radiometriset menetelmät ja sähköiset menetelmät. (Järvinen, Malinen, Tiitta & Teppola 2007.) Näitä menetelmiä käytettäessä on kuitenkin pystyttävä osoittamaan niiden vastaavuus standardimenetelmiin (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 22).

### **Epäsuora kosteuden mittaus**

Voimalaitoksessa polttoaineen kosteuspitoisuuden arvio voidaan laskea epäsuorasti kattilan prosessisuureiden avulla. Tämän mahdollistaa se, että biopolttoaineiden lämpöarvo riippuu pitkälti niiden kosteuspitoisuudesta. Toisin sanoen polttoaineiden kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on melko vakio. Liioin niiden alkuainekoostumus ei vaihtele paljoa. Lähes kaikkien suomalaisten puu polttoaineiden tehollinen lämpöarvo on 18,5–20 MJ/kg, poikkeuksena kuori, jonka lämpöarvo on suurimmillaan 21–23 MJ/kg. (Järvinen ym. 2007, 60.)

Prosessisuureista lasketaan kattilalaitoksen hyötysuhde ja tuotettu energiamäärä. Näistä voidaan laskea tarkastelujaksolla käytetyn polttoaineen määrä. Hyötysuhteen laskenta vaatii jatkuvat tiedot kattilan tehosta, savukaasun loppulämpötilasta sekä happipitoisuudesta ja palamisilman lämpötilasta sekä polttoaineen lämpötilasta. Pohjaoletuksena on polttoaineen alkuaineanalyysi, tuhkapitoisuus ja keskimääräinen kosteus. (Mts. 60.)

### 6.3 Lämpöarvon mittaaminen

Polttoaineen lämpöarvo ilmaisee, kuinka paljon energiaa siitä saadaan poltettaessa. Yleisesti lämpöarvo ilmoitetaan kaasuilla yksikössä MJ/m<sup>3</sup> ja muilla polttoaineilla MJ/kg. Polttoaineen lämpöarvolle on kolme muotoa: kalorimetrinen eli ylempi lämpöarvo, tehollinen eli alempi lämpöarvo kuiva-aineessa ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa. Kalorimetrinen lämpöarvo ilmaisee, kuinka paljon energiaa vapautuu poltettaessa kuivaa polttoainetta, niin että myös palamisessa syntynyt kosteus tiivistyy luovuttaen energiansa. Tämän selvittämiseen käytetään kalorimetriä. Se on laite, jossa kuiva polttoainenäyte poltetaan suljetussa tilassa täydellisesti. Palaminen ja palamisessa syntyvä kosteus luovuttavat energiansa polttokammiota ympäröivään veteen. Veden lämpötilan muutosta mittaamalla voidaan tarkasti selvittää siirtynyt energiamäärä. (Huhtinen ym. 2000, 43.)

Tehollinen eli alempi lämpöarvo saadaan laskennallisesti vähentämällä kalorimetrisestä lämpöarvosta palamisessa syntyvän kosteuden höyrystymisen energia (ks. kaava 3). Tämä kuvaa huomattavasti realistisemmin palamisesta saatavaa energiaa. (Mts. 43.)

$$q_{p,net,d} = q_{p,net,c} - 8,939 * l_{25} * m_{vety} \quad (3)$$

jossa  $q_{p,net,d}$  = tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa  
 $q_{p,net,c}$  = kalorimetrinen lämpöarvo  
 $l_{25}$  = veden höyrystymislämpö (2443 kJ/kg)  
 $m_{vety}$  = vedyn määrä kuivassa polttoaineessa

(Mts. 44).

Kuten mainittua, suomalaiset biopolttoaineet sisältävät paljon kosteutta. Tällaisten polttoaineiden luovuttama energia saadaan käyttämällä tehollista lämpöarvoa saapumistilassa. Tämä lämpöarvo on tehollista lämpöarvoa pienempi, koska kostean polttoaineen palamisessa osa energiasta kuluu polttoaineen kosteuden höyrystämiseen. Tämä energia usein menetetään kosteuden mukana savukaasuissa. Laskentaan tarvitaan kyseisen polttoaineen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa ja kosteusprosentti (ks. kaava 4). (Mts. 43.)

$$q_{p,net,ar} = q_{p,net,d} * \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02443 * M_{ar} \quad (4)$$

jossa  $q_{p,net,ar}$  = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa  
 $q_{p,net,d}$  = tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa  
 $M_{ar}$  = kosteus saapumistilassa %

(Alakangas ym. 2016, 29.)

## 6.4 Online-mittaukset

Puupolttoaineen kosteutta voidaan haluttaessa mitata jatkuvana online-mittauksena. Sen toteutukseen liittyy kuitenkin haasteita erityisesti laitteiston kalibroinnin osalta. Jokainen mitattava puulaji olisi tunnistettava, jotta mittauslaitteisto osaa kalibroida itsensä oikein. Lisäksi haasteita luo puun mahdollisesti sisältämä jää ja muuttuva palakoko. Online-mittaamiseen voidaan käyttää aiemmin mainittuja pikamittausmenetelmiä. Näistä toistaiseksi käyttökelpoisimmiksi ovat osoittautuneet mikroaalto- ja ydinmagneettiseen resonanssiin perustuvat menetelmät. Lupaavia uusia tekniikoita ovat gammamittaus, tilavuuspainomittaus, impedanssispektroskopia, NIR, RGB-analyysi, MMS-kapasitiivianturi ja autokuormien tilavuuspainomittaus. (Korpilahti & Melkas 2010, 4.)

Infrapunamittausta on sovellettu esimerkiksi hakekuormien kosteuden pistemittaukseen. Koska infrapunamittaus tapahtuu optisesti, on sen tunkeutuma materiaaliin vain muutamia millimetrejä. Mittauslaite voidaan työntää hakekuormaan ja mitata kosteus useasta pisteestä. Mikroaaltomittauksessa mitataan aaltojen vaimenemista, taajuuden tai etenemisnopeuden muutosta tai vaihesiirtoa. Käytännössä tämä tapahtuu läpäisymittauksena ja vaatii tiedon materiaalipaksuudesta. (Korpilahti & Melkas 2010, 11–12.) Mittaus soveltuu laajalle kosteusalueelle (25–100 %) eikä se ole riippuvainen puulajista. Sen sijaan mittaukseen virheitä aiheuttavat mitattavan materiaalin tiheyden muutokset, alhaiset lämpötilat ja ilmakuplat. (Järvinen ym. 2007, 21–22.)

Radiometriset eli läpivalaisevat mittausmenetelmät mittaavat kohteen tiheyttä. Kosteuden selvittämiseksi on tiedettävä mitattavan aineen tiheys ja sen vaihtelut. Käytännössä on tunnistettava materiaali sekä mitattava materiaalipatjan paksuus, palakoko ja virtausnopeus. Jos nämä saadaan luotettavasti tietoon, voidaan polttoainevirran kosteus määrittää tarkasti ja samalla saadaan tietoa sen massavirrasta ja mahdollisista ylimääräisistä kappaleista. (Korpilahti & Melkas 2010, 12–13.)

## 7 Polttoaineet UPM Pelloksen tehtailla

### 7.1 Voimalaitoksen polttoaineen mitoitusseos

KL2 on suunniteltu toimimaan homogeenisella polttoaineseoksella. Seos muodostuu kuusen kuoren, kuivan viilun, vanerimurskeen ja hiomapölyn sekoituksesta. Taulukossa 3 on esitetty seoksen polttoaineiden osuudet polttoainetehosta, teholliset lämpöarvot saapumistilassa laskettuna mitoituspolttoaineiden kosteuksilla ja lämpöarvoilla. Polttoaineiden mitoitusominaisuudet ovat liitteessä 3. Petiin syötettävän polttoaineen mitoituskosteus on 47 %. Murskatun hakkeen palakoko saa olla suurimmillaan 50 mm (sivu+sivu+sivu). Yksittäiset tätä suuremmat kappaleet sallitaan. Kuoresta 70 % on oltava alle 80 mm (sivu+sivu+sivu) ja 100 % alle 120 mm (sivu+sivu+sivu). (Kvaerner kerrosleijukattila koulutuskansio 2001.)

Taulukko 3. KL2:n mitoituspolttoaineseos (Kvaerner kerrosleijupetikattila 2001)

<b>Polttoaine</b>	<b>Prosenttia polttoainetehosta (%)</b>	<b>Polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/Kg)</b>
<b>Kuusen kuori</b>	38	5,8
<b>Kuiva viilu</b>	16	15,4
<b>Vanerimurske</b>	29	17,4
<b>Hiomapöly</b>	17	17,9
<b>Seos</b>	100	8,9

Voimalaitoksen käyttöhenkilökunnalla on oltava kattilalaitokset jatkuvasti hallinnassa. Molempien kattiloiden hallittavuuteen vaikuttaa käytettävä polttoaine. Erityisen tärkeää on polttoaineen laatu ja saatavuus KL1:n käytössä ja huippukuormilla KL2:n käytössä.

Käytettävä polttoaine kuljetetaan voimalaitokselle pääasiassa hihnakuuljettimia pitkin. Ensisijaisesti tehtaiden poltettavat hukkakajakeet tuodaan katettuja kuljettimia pitkin

voimalaitoksen siiloon. Eri puuhakkeet tulevat ohjattavien syklonien kautta, josta ylimääräistä polttoainetta voidaan tarvittaessa ajaa ulos taskuihin. Poltettava kuori reivitään ja tarvittaessa puristetaan ennen sen saattamista kuljettimille. Osa kiinteästä polttoaineesta tuodaan kuljettimia pitkin voimalaitoksen omalta hakekentältä. Lisäksi voimalaitoksen pölysiiloon tuodaan puupölyä ja purua tehtailta pneumaattisen kuljetusverkon kautta. Kattilan optimaalisen toiminnan saavuttamiseksi olisi pyrittävä mitoituspolttoaineseokseen. Tarvittavaan huipputehoon vaikuttaa pääasiassa vuodenaika, talvella kuormat kasvavat huomattavasti. Samalla polttoaineiden mukana tuleva lumi ja jää voivat aiheuttaa ongelmia kuljettimilla ja ne huonontavat polttoaineen lämpöarvoa.

## 7.2 Pienet, keskisuuret ja huippukuormat

Pääkattilalaitos on mitoitettu minimikuormalle 10,6 kg/s höyryä. Kuitenkin normaaleissa käyttötilanteissa joudutaan toisinaan toimimaan alle mainitun minimitehon. Tällöin ei kattilan toiminta enää ole optimaalista ja sen hyötysuhde laskee. Parasta olisi, jos näitä tilanteita pystyttäisiin välttämään esimerkiksi varastoimalla energiaa tai ainakin suunnittelemalla tehtaiden käyntiasteet niin, että höyrynkulutusta olisi aina riittävästi. Höyrykuormien laskiessa alle 9 kg/s pölypolto käytännössä estyy. Jos osa tehtaista kuitenkin on tuotannossa, pölyä syntyy yhä ja pidemmän päälle aiheutuu varastointiongelmia. Pienien kuormien on huomattu aiheuttavan myös petin kuumenemista. Tämä johtunee osittain kattilan ajamisesta optimaluuden ulkopuolella ja osittain polttoaineesta. Pienellä kuormalle voimalaitoksen oman hakekentän käyttö voi vähentyä ja toisaalta tehtaiden alasajoissa kuoren ja kuivan polttoaineen suhde vaihtelee. Esimerkiksi kuorinta voidaan olla jo lopetettu, mutta kuivaa polttoainetta yhä syntyy vaneriprosessin myöhemmissä vaiheissa. Tällöin polttoaineen kokonaiskosteus pienenee merkittävästi. Ratkaisuna olisi kuoren syötön tasoittaminen tasaussiilolla tai mahdollisuudella syöttää lisää kuorta operaattorin ohjauksella.

Pääkattilalle toteutettiin vuoden 2018 alussa huippukuormien testiajo. Testauksessa höyryntuotantoa nostettiin keskimääräisestä huippukuormasta (25 kg/s) kattilan mi-

toitustehoon (30 kg/s). Testauksen lopputuloksena todettiin ilman syöttöjen ja savukaasujen virtaamien pysyvän mitoitusarvoissa. Myös savukaasujen lämpötilat pysyivät hallinnassa noin tunnin kestäneen testauksen ajan. Pölyä poltettiin purkuruuvien asetusarvolla 20 %, joka vastaa 6,0–7,4 MW tehoa. Kiinteää polttoainetta syötettiin kattilaan niin suuria määriä, että sitä kuljettava kolakuljetin oli lähes 100 %:n pyörimisnopeudessa. Tätä olisi voitu kuitenkin pienentää lisäämällä purkua polttoainesiilosta. Sen sijaan siilon täyttäminen näin suurilla kuormilla alkoi olla vaikeaa. Tehtaalta tuleva polttoaine ei riitä täyttämään lähes 10 kg/s tyhjenevää siiloa. Vikaantuminen voimalaitoksen oman hakekentän käytössä estää siis suurien kuormien pidempiaikaisen ajamisen. Polttoaineen kosteudeksi arvioitiin testijaksolla 40 %. Kosteus oli siis jopa pienempi kuin mitoituskosteus. Tästä voidaan arvioida polttoaineen lämpöarvon olleen noin 10 MJ/kg eli hieman parempi kuin mitoituslämpöarvo 9 MJ/kg. Kasvattamalla seoksen lämpöarvoa voitaisiin pienemmällä polttoainemäärällä saavuttaa haluttu huipputeho ilman kuljettimien viemistä ylärajoille. Vertailuna esimerkiksi käytävissä olevan viulumurskeen lämpöarvo saapumistilassa on noin 15 MJ/kg.

Huippukuormilla myös pölypolton rooli korostuu. Suurin pölypoltto on mitoitettu 17 %:iin kokonaispolttoainetehosta eli noin 12,6 MW. Käytännössä tässä voisi olla yksi syy, jonka vuoksi kuivaakin polttoainetta syötettiin testiajossa paljon. Tällä hetkellä suurimpana pölypolttokehona on pidetty 10–11 MW, joka saavutetaan purkuruuvien asetusarvolla 40 %. Poltin on kuitenkin mitoitettu 15 MW teholle (Käyttö ja huolto-ohje 2001). Selvittämällä kuinka polttimen suurin mitoitusaste saavutetaan, voitaisiin suurilla kuormilla vähentää poltettavan hakkeen määrää. Pölynpoltossa myös savukaasuvirta pysyy huomattavasti pienempänä sen vähäisen kosteuden takia. Käytännössä jos täysi pölynpoltto halutaan korvata keskimääräisellä hakkeen ja kuoren seoksella, vaaditaan noin 1,7 kg/s lisää polttoainevirtaa.

### 7.3 Tehtaalta suoraan saatava polttoaine

Uudemman kattilalaitoksen käyttämää polttoaineseosta ei ole helppoa tarkasti määrittää. Käytännössä sen arviointi perustuu tehtaiden sivutuotteiden määriin. Lisäksi

tiedetään melko tarkasti voimalaitoksen omalle hakekentälle ajettu tavara, poisluettuna murske, jonka koostumus vaihtelee. Tehtailta suoraan tulevassa polttoaineessa vaikuttaisi olevan mitoituksesta vähemmän kuorta. Vaneri- ja viilumurskeen osuus siis kasvaa. Tämä parantaa seoksen kokonaislämpöarvoa, mutta nostaa mahdollisesti vanerimurskeen osuuden liian suureksi. Vanerimurskeelle on asetettu kattilan suunnittelussa maksimiosuudeksi 35 % jatkuvassa käytössä ja 45 % hetkellisesti (osuus petiin syötettävästä tehosta). Oletuksena on molemmissa, että vanerimurske sekoittuu muun polttoaineen sekaan. Koko kattilan polttoainetehosta vanerin osuus saa siis olla 29 % ja viilun kanssa yhteensä 45 %. Saatujen tietojen perusteella vuonna 2018 tehtaalta tulevien polttoaineiden energiaosuudet olisivat viilu- ja vanerimurskeelle 68 %, kuorelle 16 % ja pölylle 16 % (ks. liite 4). Samoilla jakeilla laskettuna tehtaalta tulevan hakkeen ja kuoren kokonaiskosteus puristetulla kuorella olisi 27,6 % ja puristamattomalla 30,2 %. Lopullista seosta muuttaa kuitenkin voimalaitoksen omalta hakekentältä ajettava polttoaine, jota tutkitaan erikseen. Joka tapauksessa tehtaalta saatava polttoaine on kuivempaa kuin mitoituspolttoaine.

Ennen uuden kattilalaitoksen rakentamista suoritettiin kuorelle ja vanerimurskalle polttokokeita. Niissä todettiin vanerimurskan osuuden kasvattamisen aiheuttavan petimateriaalin raekoon kasvua. Jos nykyinen vanerimurskan osuus on suurempi kuin mitoituksessa oletettu, voi kattilan peti paakkuuntua. Vaikka pahin eli petin suurialainen kovettuminen vältettäisiin, johtaa petin yleinen karkeutuminen huonompaan leijutukseen. Tämän ehkäisemiseksi on petimateriaalia vaihdettava suunniteltu tiuhemmin.

Kiinteän polttoaineen palajakauma vaikuttaa sen palamiseen leijupetikattilassa. Arinapoltossa voidaan polttaa suurempiakin kappaleita, kunhan sen kosteus ei ole liian suuri. Leijupetikattilassa liian suuri palakoko siirtää palamista petissä syvemmälle ja tämä johtaa petilämpöjen nousuun. Murskauksen laatu on voimalaitoksen henkilökunnan mukaan parantunut viimeisien vuosien aikana. Yhdessä kuljettimelta otetussa näytteessä oli kuitenkin selvästi myös isompia vanerimurskepaloja (ks. kuvio 10). Näytteestä tehtiin palakokojakauma-analyysi (ks. liite 5). On kuitenkin vaikea lukea tuloksia luotettavasti, koska kattilan mitoituspalakoko ilmoitetaan polttoaineen sivujen summina. Voidaan kuitenkin arvioida, että 13 mm:n seulaan jääneet palaset

olivat lähes kaikki suurempia kuin mitoituspalakoko. Tähän seulaan jäi 46,4 % koko näytteestä, joten suurien kappaleiden osuus näytteessä oli melko suuri. Samasta näytteestä toteutettiin kosteusmittaus uunikuivauksella. Tulokset on esitelty liitteessä 6. Vaneri- ja viilumurskeelle kosteudeksi saatiin 7,4 %, joka osuu mitoituspolttoaineen arvoihin.



Kuvio 10. Hakenäyte tehtaalta tulevalta kuljettimelta

#### 7.4 Voimalaitoksen omalta hakekentältä saatava polttoaine

Voimalaitokselle voidaan tarvittaessa ajaa lisää polttoainetta erilliseltä avoimelta hakekentältä. Kenttää puretaan käyttäen sen tankopurkaimia. Siirrettävä polttoaine seulotaan käyttäen kiekoseulaa ja siitä erotellaan metalliesineet käyttäen magneettia. Hakekentän purkua säädetään voimalaitoksen valvomosta tankopurkaimien nopeutta muuttamalla.

Pääasiassa voimalaitoksen kentälle ajettava seos koostuu vanerimurskeesta ja reu- nahakkeesta. Lisäksi seokseen voidaan sekoittaa kuorta ja haketettua runkopuuta. Kentällä käytettävä polttoaine koostetaan paikallisen yrittäjän toimesta ja seokseen on mahdollista hieman vaikuttaa. Varinaisella hakekentällä ei ole mahdollisuutta säilyttää useita jakeita seoksen luomiseen. Kuitenkin aina pyritään pitämään murskeka- san lisäksi vanerinsyrjähakekasaa ja joskus myös kuorikasaa. Vanerimurske koostuu käytännössä hukkavanerista, ennen haudontaa pudonneesta kuoresta ja hukkavii- luista. Jakeet murskataan käyttäen mobiilimurskainta. Murskeen laatu vaihtelee esi- merkiksi murskaimen sen hetkisen kunnon mukaan. Seos vaihtelee hieman vuoden aikana, koska kesällä kuorta irtoaa puusta tahattomasti enemmän. Tämä irronnut kuori siirretään murskeen sekaan. Seoksessa olevan kuoren määrää on vaikea mitata, mutta sen arvioidaan olevan noin 10 %. Seokseen lisätään välillä revittyä kuorta, jos voimalaitokselle ei voida jostain syystä vastaanottaa kuorta suoraan kuljettimia pit- kin. Lisäksi jos repijät eivät ole käytössä, murskataan kaikki repimätön kuori mobiili- murskaimella. Kaikki edellä mainitut jakeet säilytetään Pelloksen päähakekentällä. Sieltä polttoaine tuodaan voimalaitoksen kentälle rekka-autoilla tai kauhakuorma- jalla.

Murskeelle voidaan laskea arvoidun kuoriosuuden perusteella kosteusprosentti. Tar- kan arvon määrittäminen on vaikeaa esimerkiksi ulkosäilytyksen ja kuoren määrän vaihtelevuuden vuoksi. Oletetaan murskeen koostuvan 10 % märestä kuoresta, 80 % vanerista ja viilusta sekä 10 % irtotukeista. Kosteudet näille polttoaineille ovat voima- laitoksen mitoituksien mukaan 60 % kuorelle, 15 % vanerille ja viilulle sekä 30 % tu- keille. Näistä laskettuna seoksen kokonaiskosteus ennen ulkoilman vaikutusta olisi 21 %. Talvella ulkosäilytetty biopolttoaine ei juurikaan kuivu eikä kastu (Raitila, Virkku- nen & Heiskanen 2014, 24). Näin ollen murskeen kosteus talvella olisi tätä luokkaa.

VTT on tutkinut puupolttoaineiden kosteuksien käyttäytymistä ulko- ja sisävarastoin- nissa (Mts. 25). Kuivimmat varastokasat olivat alkukosteudeltaan 32 % ja toinen niistä oli kokopuuhaketta ja toinen rankahaketta. Säilytys aloitettiin heinäkuun alussa ja syyskuuhun mennessä niiden kosteudet olivat kasvaneet yli 65 %. Parhaimmillaan ajoittamalla tuoreen puun kuivatus kevääseen päästään loppukosteudessa 30–50 %. Kuitenkin samojen polttoaineiden hallisäilytys alensi niiden kosteuden 20–30 %:iin.

(Mts. 23–26.) Koska Pelloksella poltossa käytettävät polttoaineet ovat valmiiksi erittäin kuivia (10–21 %), niiden ulkosäilytys lähes jokaisena vuodenaikana nostaa niiden kosteusprosenttia. Näin voidaan arvioida voimalaitoksen polttoainekentälle ajettavan murskeen kosteuden vaihtelevan 21 % ja 40 % välillä. Erityisesti pidemmät ulkosäilytysajat syksyllä huonontavat merkittävästi murskeen lämpöarvoa kosteuden kasvaessa.

Lopulliseen seokseen sekoitetaan kuorta ja vanerimursketta erikseen. Kun murskeen sekaan sekoitetaan 20 % märkää kuorta (kosteus 60 %), kasvaa kokonaiskosteus 29–44 %. Pienelläkin määrällä märkää kuorta on siis suuri vaikutus kokonaiskosteuteen.

Vastaavasti koko voimalaitoksen hakekentän seoksen kosteutta voidaan haluttaessa pienentää lisäämällä sen joukkoon vanerimursketta, valmiin vanerin kosteuden ollessa vain 5–10 %. Jos tämä polttoainejake voitaisiin säilyttää katoksessa tai hallissa, saataisiin ympärivuotiseen käyttöön hyvä ja kuiva polttoaine seoksien luomiseen. On kuitenkin muistettava vanerimurskeen laskennallinen 35 %:n maksimiosuus kaikesta polttoaineesta. Saatujen tietojen perusteella vuonna 2018 toteutunut jakauma kaikesta voimalaitoksen kentälle ajettavasta polttoaineesta on ollut 24 % reunahaketta ja muita kuivia hakkeita, 75 % murskaa ja 2 % kuorta. Näiden perusteella oman hakekentän teoreettinen kokonaiskosteus jäisi vain 18,6 %:iin. Käytännön kokemukset kuitenkin osoittavat kenttäpolttoaineen olevan keskimäärin märempää kuin tehtaalta suoraan tuleva polttoaine. Tämä selittyisi murskeseoksen arvioitua suuremmalla kuoripitoisuudella sekä pitkillä ulkovarastointiajoilla. Jos murskeen kosteuden oletetaan nousevan aiemmin arvoituun 40 %:iin, kasvaa kenttätavaran kokonaiskosteus 33 %:iin. Lisäksi myös voimalaitoksen kentälle ajettavat muut hakkeet kostuvat erityisesti loppukesällä ja syksyllä.

## 7.5 Ylimääräisen polttoaineen myynti ja varastointi

Pelloksella syntyy hyödyllisiä sivutuotteita enemmän kuin niitä tarvitaan omaan käyttöön. Näin ollen myydään ulos polttoainetta ja selluhaketta. Ylimääräistä polttoai-

netta syntyy kevään ja syksyn välillä, voimalaitoksen kuormien pienentyessä. Se myydään polttoon toiselle voimalaitokselle ja muodostetaan samoista raaka-aineista kuin Pelloksen voimalaitoksen hakekentälle ajettava seos. Myynti siis keskittyy kesäajalle ja ostajan toive polttoaineen kosteudesta on 40–50 % välillä. Myyntiin menevän murskeen kosteudeksi arvoitiin aiemmin vuodenajasta ja säilytysajasta riippuen 21–40 %. Myyntiin kelpaa siis vielä kosteampi seos ja kesällä siihen voidaan sekoittaa reilusti märkää kuorta. Myynnin aikana kesällä kuoren mekaaninen kuivaaminen onkin hieman kyseenalaista ja siksi kuoren puristaminen on lopetettu kesäksi.

### **Varastointi**

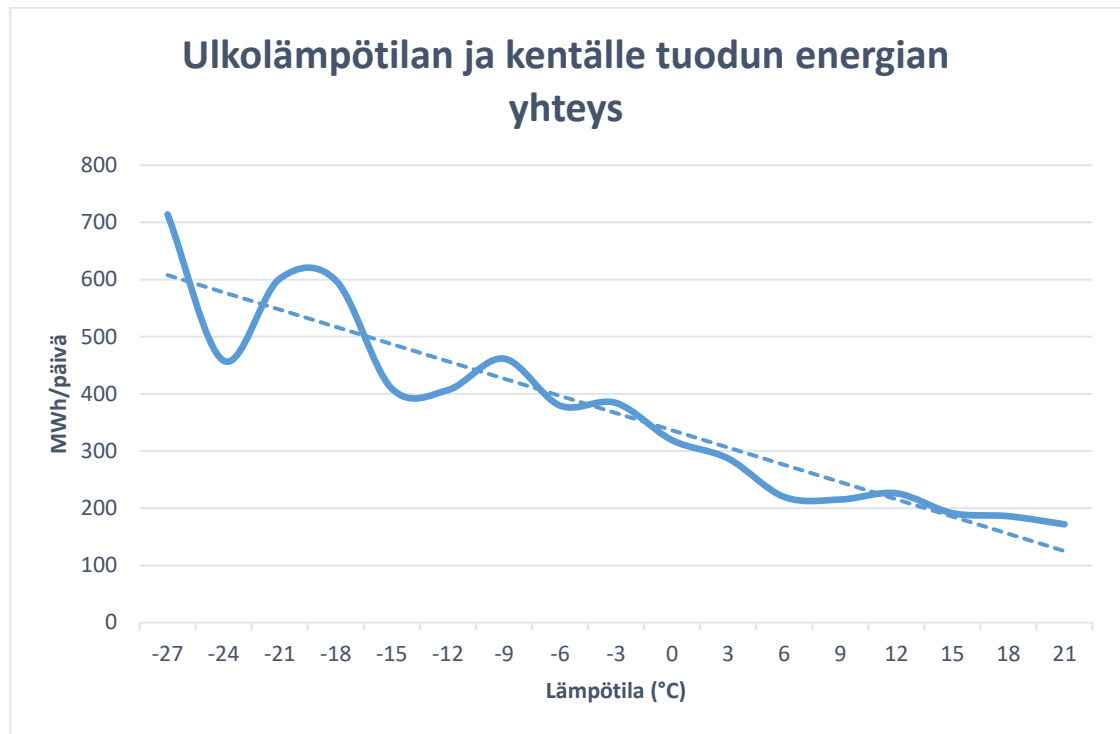
Polttoaineita varastoidaan Pelloksen asfaltoidulla hakekentällä. Tällä hetkellä kaikki polttoaineet ovat taivasalla. Näin ollen erityisesti murskausta odottavat ja murskatut polttoainekasat kostuvat merkittävästi kesän ja syksyn aikana. Kesän aikana kosteille polttoaineille on omaa ja myyntikäyttöä. Sillä saadaan tasattua kuivaa tehtailta tulevaa polttoainetta. Kuitenkin syksyllä polttoaineiden luonnollinen kostuminen kiihtyy ja talvea vasten kuivien polttoaineiden tarve kasvaa. Olisi hyödyllistä, jos jostain saataisiin kustannustehokkaasti jonkinlainen sadesuoja polttoaineille. Kesän lopusta alkaen voitaisiin sijoittaa murskattua polttoainetta suojaan sateelta ja kerryttää hyvää polttoainetta talvea varten.

Kertyvästä polttoaineesta Pelloksen puunvastaanotto myy ylimääräisen osuuden. Tärkeää on kuitenkin pitää jatkuvasti riittävä määrä polttoainetta voimalaitoksen omaan käyttöön. Siksi olisi tiedettävä voimalaitoksen tarvitseman lisäpolttoaineen vaihtelevuuden taso. Yksi mahdollisuus olisi ennustaa tarvittavaa energiamäärää ulkolämpötilan avulla. Voimalaitokselle tulee suoraan jatkuvana virtana tehtaalta polttoainetta hyvin tasainen määrä ympärivuoden. Käytännössä silloin suurin muuttuja polttoaineen käyttöön on kattilan teho. Teho vaihtelee suuremmalla aikavälillä tehtaiden käyntien ja ulkolämpötilan mukaan (ks. kuvio 11). Tehtaat kuitenkin käyvät kesän ja talven huoltoseisakkeja lukuun ottamatta melko tasaisesti, kun keskiarvotetaan esimerkiksi viikoittaista käyttöä. Huollot näkyvät KL2:n tehon trendissä laskuina kesällä ja vuodenvaihteessa. Näin ollen ulkolämpötila voisi olla paras keino ennustaa kulutuksen muutoksia hakekentän kulutuksessa.



Kuvio 11. KL2:n teho ja ulkolämpötila 2018

Saatavilla on hakekentän täyttömäärät irtokuutioina jakeittain viimeiseltä neljältä vuodelta. Lisäksi ilmatieteenlaitokselta voidaan selvittää samalta ajalta Mikkelin seudun ulkolämpötilan vaihtelut. Näiden avulla tutkittiin, löytyykö kentän täytön ja ulkolämpötilan väliltä loogista riippuvuutta. Vuosien 2015–2018 tuntikohtaisesta lämpötiladatasta koostettiin päivittäiset keskilämpötilat. Tuoduille polttoainejakeille laskettiin energiatiheydet käyttäen kyseisten polttoaineiden irtotiheyksiä ja lämpöarvoja. Ulkolämpötilat pyöristettiin asteen tarkkuuteen ja yhdistettiin täytöt asteen välein asteikolle  $-30\text{ °C} - +30\text{ °C}$ . Näin muodostui jokaiselle asteelle keskimääräinen kentälle tuotu energiamäärä. Käytännössä kentälle tuotu energia ei voi seurata suoraan ulkolämpötilaa esimerkiksi häiriötilanteiden, pyhien ja ulkolämpötilan nopeiden vaihteluiden takia. Virheiden minimoimiseksi kulutukset keskiarvotettiin  $3\text{ °C}$ :een välein. Lopputuloksena saatiin kuvio 12, joka kuvaa ulkolämpötilan ja kentän täyttöjen välistä yhteyttä.



Kuvio 12. Ulkolämpötilan ja kentälle tuodun energian yhteys

## 7.6 Voimalaitoksen oman hakekentän täyttäminen

### 7.6.1 Seos

Tehtaalta polttoon suoraan tuleva polttoaine on ympärivuoden kohtuullisen tasalaatua ja sen kosteus ei juurikaan vaihtele kuukausitasolla. Seos on jatkuvasti melko kuivaa ja kesällä välillä jopa liian kuivaa. Polttoon tulevan seoksen kokonaiskosteus vaihtelee siis omalta hakekentältä ajettavan polttoaineen määrän ja seoksen mukaan. Keväällä ja kesällä oman hakekentän käyttö vähenee ja poltettavan seoksen kokonaiskosteus pienenee. Vastaavasti talven tullen, kun oman hakekentän käyttö lisääntyy, myös kokonaisseoksen kosteus kasvaa.

Näin ollen voimalaitoksen hakekentälle ajettavan polttoaineen kosteus saa kasvaa sitä mukaan, kun sen käyttö vähenee, jotta kokonaiskosteus pysyisi vakiona. Mitä enemmän kentälle tavaraa ajetaan, sen kuivempaa saa se olla. Kevään ja kesän aikana seokseen kannattaisi ajaa mahdollisimman tehokkaasti kaikki kostea kuori. Samalla voidaan säästää kuivempia jakeita talvea varten. Varsinkin syksyllä on huomiotava luonnollisen kostumisen vaikutus polttoaineeseen. Mitä pidempään murske ja

reunahake säilytetään ulkona ilman katosta, sen kosteampia niistä tulee. Optimaalisimmassa tilanteessa kuivaa polttoainetta varastoitaisiin katokseen tai pressuilla peitettynä kentälle. Talvisin tarvittava energiamäärä kasvaa suureksi, jolloin kuivempi polttoaine helpottaa sen saavuttamista.

### 7.6.2 Täyttötiheys

Talven ja kesän aikana voimalaitoksen hakekentän käyttö muuttuu suuresti. Laskennallisesti jos seoksen kosteusprosentti olisi 40 %, tulisi sen energiatiheudeksi 0,72 MWh/irto-m<sup>3</sup>. Aiemmin muodostetusta ulkolämpötilan ja kentälle tuodun energian yhteydestä saadaan yli -20 °C pakkasille päivittäiseksi täyttömääräksi n. 550 MWh. Kesä aikana täyttö pienenee alle 200 MWh:iin päivässä. Polttoaineen energiamäärä voidaan muuttaa irtokuutioiksi yhtälöllä 5.

$$V = \frac{Q}{\frac{q_{p,net,ar}}{3600 * x}} \quad (5)$$

jossa  $V$  = irtokuutioiden määrä

$Q$  = polttoaineen energia

$q_{p,net,ar}$  = polttoaineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa

$x$  = polttoaineen irtotiheys

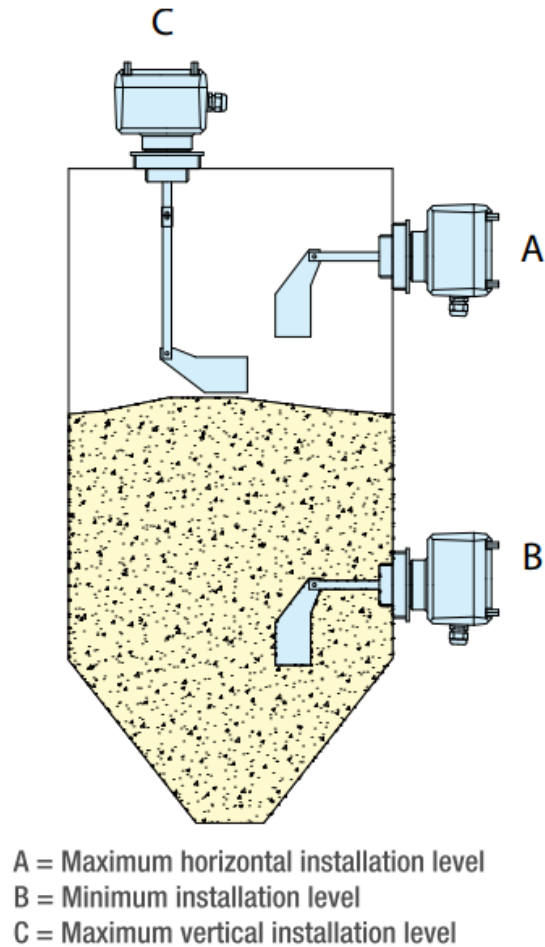
Kaavalla 5 muutetaan saadut energiamäärät irtokuutioiksi. Talvella lämpötilan ollessa -20 °C on polttoainekentälle tuotava päivittäin noin 764 irto-m<sup>3</sup> polttoainetta. Vastaavasti kesällä +15 °C lämpötilassa tarvitaan vuorokautta kohden 278 irto-m<sup>3</sup> polttoainetta. Arviossa on käytetty kuvion 12 tietoja ja 0,72 MWh/irto-m<sup>3</sup> energiatiehyttä polttoaineelle.

Kyseiset polttoainemäärät vastaavat talvella yli seitsemää ja kesällä vajaata kolmea puoliperävaunullista. Käytännössä kenttää kannattaisi siis täyttää talven kovilla pakkasilla vähintään kaksi kertaa vuorokaudessa, mutta kesällä täyttötiheys voidaan pudottaa yhteen kertaan vuorokaudessa.

## 7.7 Kattilalaitos 1

Pelloksen varalaitoksena toimii LaMont-tyyppinen arinakattila. Sen polttoaine vaatimukset ovat tarkemmat kuin päälaitoksella. Polttoaine voidaan tuoda laitoksen käyttöön osittain samoja kuljettimia pitkin kuin päälaitokselle. Polttoainetta saadaan suoraan tehtaalta, voimalaitoksen hakekentältä ja haketaskusta. Näistä lähteistä polttoaine jaetaan vuorotellen täyttäen kahteen varalaitoksen polttoainesiiloon. Siilon valinta tapahtuu manuaalisesti sulkupeltejä kääntäen.

Käytettävän polttoaineen on oltava erityisen kuivaa ja partikkelikooltaan tasalaatuista. Rajoitukset johtuvat arinakattilan huonosta märkien polttoaineiden kestosta sekä kuljettimien ja siilon purkulaitteiden ominaisuuksista. Käytännössä näiden syiden takia kuoren polttaminen lopetetaan, kun tehtaiden energia tuotetaan varalaitoksella. Kuoren polttaminen nykyisessä arinakattilassa olisi mahdollista pieninä määrinä, jos se saadaan riittävän kuivaksi sekä pieneksi. Käytännössä tämä vaatisi kuoren seulomisen ja mahdollisesti termisen kuivaamisen. Lisäksi olisi varmistettava kiinteänpolttoaineen kuljettimien toiminta kuoren kanssa. Varakattilan käyttö on kuitenkin niin vähäistä, ettei kuoren polttamiseen kannata investoida rahaa. Sen sijaan on varakattilalle mahdollistettava kuivan polttoaineen saatavuus. Näin on pyritty tähänkin asti tekemään ja kuivaa polttoainetta saadaan pääasiassa viilu- ja vanerimurskeena suoraan tehtaalta. Varalaitoksen siilojen ollessa vaikeammin hallittavia ja kooltaan pieniä, joudutaan parasta haketta ajamaan ulos taskuun. Siiloissa ei tällä hetkellä ole pinnanmittauksia. Pintoja joudutaan valvomaan visuaalisesti siilojen yläpuolelta. Melko edullinen ratkaisu tilanteeseen voisi olla pyörivä rajakytkin pintaa mittaamaan. Kumpaankin siiloon asennettaisiin esimerkiksi kaksi rajakytkintä. Niillä seurattaisiin siilon täyttöastetta ylä- ja alarajalla. Rajakytkintieto tuotaisiin vanhan voimalaitoksen valvomoon. Kytkimet voitaisiin asentaa siilojen reunoihin tai kattoon (ks. kuvio 13).



Kuvio 13. Pyörivän pinnanmittauksen asennus (Rotating Level Indicators 2016)

## 7.8 Hautomon liete

Kun raakatukit kuoritaan vasta haudonnan jälkeen, irtoaa niistä kuorta haudonnan aikana. Tämä kuori kertyy hautomoaltaiden pohjalle kuoreksi ja lietteeksi. Kuorta poistetaan vuosittain altaiden pohjalta ja tällä hetkellä lietettä ei jatko käytetä. Kuorta irtoaa sen verran suuria määriä, että lietettä voisi olla kannattavaa jopa polttaa. Lietteen polttaminen Pelloksella vaatisi ainakin lietteen kuivattamisen ja mahdollisuuden syöttää sitä muun polttoaineen sekaan pieninä määrinä. Lisäksi seos saattaa sisältää niin suuria määriä hiekkaa, että se olisi seulottava. Käytännössä sille olisi rakennettava syöttölaitteisto ja varastosilo. Lisäksi pitäisi tietää lietteen poltto-ominaisuudet ja mahdollisten päästöjen syntyminen. Altain pohjalle kertyvän kuoren

määrää ei tiettävästi ole mitattu tähän mennessä. Seuraavana kesänä kannattaa siis laskea kuinka monta kuormallista kuorta poistetaan.

## 8 Kehityskohteet

### 8.1 Polttoainetasku

Toinen ohjattavissa oleva mahdollisuus polttoaineen varastoinnille on pieni hake-tasku. Taskua puretaan sen pohjassa olevan ruuvin avulla hihnakuljettimelle, josta polttoaine ajetaan KL1:n tai KL2:n siiloon. Taskua voidaan tyhjentää voimalaitoksen valvomosta ohjaamalla. Tasku täytetään yleensä kuivalla hakkeella käyttäen kauhakuormaajaa. Sen tilavuus on pieni, arviolta vain 12 m<sup>3</sup> ja se sopii siksi lähinnä hetkelliseksi hätävarastoksi.

Polttoainetaskut ovat hyvä keino seospolttoaineiden valmistamiseen ja nopeaan polttoaineen syötön säätelyyn. Jos nykyisen taskun rinnalle voitaisiin rakentaa toinen vastaava tasku ja varustettaisiin molempien purkuruuvit nopeudensäädöllä, saataisiin operaattorille mahdollisuus vaikuttaa käyttämäänsä polttoaineseokseen. Kuitenkin nykyinen taskun manuaalinen täyttö ja pieni koko eivät mahdollista jatkuvaa käyttöä. Nykyisellä paikallaan taskua on vaikea laajentaa eikä sen rinnalle ole helppoa rakentaa toista taskua.

Varustamalla polttoainejärjestelmä esimerkiksi kahdella isommalla 50 m<sup>3</sup>:n kokoisella taskulla, voitaisiin niistä syöttää voimalaitokselle varapolttoainetta. Samalla voitaisiin vaikuttaa polttoaineseokseen. Taskujen sijainti olisi valittava niin, että niiden täyttö on mahdollista helposti kauhakuormaajalla tai kuorma-autolla. Toinen vaihtoehto olisi täyttö kuljettimia pitkin. Lisäksi suurin hyöty saataisiin tilanteessa, jossa taskujen purku voitaisiin ohjata kumman tahansa kattilalaitoksen käyttöön. Nämä ehdot täyttävää hyvää ja kustannustehokasta sijaintia on hyvin vaikea löytää jo ennalta altaalta tehdasalueelta.

## 8.2 Syklonit

Tehtailta syntyvät polttoon käytettävät sivutuotteet ohjataan sykloniasemalle, jossa ne voidaan ohjata kuljettimelle kohti voimalaitosta tai syklonien taskuun. Tämä ohjaus on käytännössä ainut mahdollisuus vähentää voimalaitokselle tulevaa polttoainevirtaa. Pienen pääsiilon takia polttoaine joudutaan toisinaan ohjaamaan sykloneilta taskuihin. Näin tapahtuu, jos kattilan tarvitsema polttoainemäärä on jostain syystä pienempi kuin siiloon tuleva energiamäärä. Toinen syy polttoaineen ulos ohjaamiseen on siilon liikatäyttö omalta hakekentältä. Lopputuloksena syklonien taskuihin ohjattua polttoainetta joudutaan siirtelemään erikseen kauhakuormaajilla. Tältä voitaisiin välttyä, jos ylimääräinen polttoaine voitaisiin ohjata kuljettimia pitkin nykyiselle voimalaitoksen hakekentälle. Sieltä se saataisiin kuljettimia pitkin polttoon. Vaikeampi mutta monikäyttöisempi ratkaisu olisi varustaa nykyiset syklonien purkutasut esimerkiksi tankopurkaimilla ja purkuruuveilla. Yhdenkin osion varustaminen purkumahdollisuudella toisi hyötyjä. Hake voitaisiin siirtää lähellä olevan taskun jo olemassa olevaan siirtoyhteyteen. Siitä polttoaine saadaan kuljettimelle, joka kuljettaa sen voimalaitokselle (ks. kuvio 14). Tämä vaatisi paljon muutoksia, mutta mahdollistaisi ulosajetun polttoaineen palauttamaisen polttoon kuljettimia pitkin sekä samojen taskujen käyttämisen varapolttoaineen varastona. Taskut sijaitsevat lähellä kuljettinta ja lähellä pääpolttoainekenttää. Näin polttoon voitaisiin syöttää suuriakin määriä pääpolttoainekentälle kertyneitä polttoaineita. Kyseisen taskun täyttäminen olisi myös kustannustehokkaampaa kuin nykyisen voimalaitoksen polttoainekentän täyttäminen. Samalla se toisi lisävarmuutta polttoaineen syöttöön. Syklonien purkuaukkojen ollessa korkealla mahtuisi samaan tilaan myös suurempi versio nykyisestä polttoainetaskusta. Taskussa voisi olla aukeava seinä, josta kertynyt kuiva hake saadaan kauhakuormaajalla tyhjennettyä.



Kuvio 14. Havainnekuva taskujen purkamisesta polttoainetaskun kuljettimelle

### 8.3 Kosteuden mittaus

#### 8.3.1 Manuaalinen näytteenotto

Käytettävistä polttoaineista on pyritty ottamaan säännöllisesti kosteusmittaukset voimalaitoksen henkilökunnan toimesta. Mittausväli on ollut yksi kuukausi ja näytteitä on otettu kuoresta ennen ja jälkeen mekaanisen puristuksen. Hieman harvemmin on otettu myös näytteet omalta hakekentältä ja kattilaan ajetusta polttoaineseoksesta. Kosteus on määritetty uunikuivauksella. Näytteenotto ja -kuivaus on suoritettu manuaalisesti. Ossi Tolvasen 2017 toteuttamassa opinnäytetyössä tutkittiin standardin mukaisen näytteenoton vaikutusta metsähakkeen kosteusarvoon. Opinnäytetyössä havaittiin, että tavallisen näytteenoton ja standardin mukaisen näytteenoton keskiarvojen erotus oli 3,36 %. Standardinmukainen näytteenotto tuotti kosteampia mitaustuloksia. (Tolvanen 2017). Näytteenoton ja kuivatuksen ohjeistuksella voidaan siis saavuttaa tarkemmat ja totuudenmukaisemmat tulokset. Tässä opinnäytetyössä luotiin yksinkertainen näytteenotto- ja kuivatussuunnitelma. Perustana käytettiin

VTT:n luomaa aineistoa (Polttoaineiden laatuohje, 2014). Näytteenottovälineistöön tulisi lisätä näytteenottolapio (ks. kuvio 15) ja näytteenottopaikat tulisi vakiinnuttaa. Näytteenottosuunnitelma on liitteessä 7.



Kuvio 15. Näytteenottolapio (Puupolttoaineiden laatuohje 2014, 32)

### 8.3.2 Online-mittaukset ja automatisoitu näytteenotto

Polttoainejakauman ja -laadun suuren vaihtelun vuoksi manuaalinen näytteenotto ei todellisuudessa anna kovin kattavaa kuvaa voimalaitokselle syötettävästä polttoaineesta. Reaaliaikaisella kattilaan syötettävän polttoaineen kosteudenmittauksella voidaan tulevaisuudessa saavuttaa säästöjä polttoaineen kulutuksessa sekä pienentää syntyviä päästöjä. Kun tiedetään syötettävän polttoaineen kosteus juuri ennen sen syöttöä kattilaan, saadaan esimerkiksi happisäätö toimimaan paremmin. Pelkästään tarkan poltetun energiamäärän selvittäminen ei tuo lisäarvoa Pelloksen vaneritehtailla. Kuitenkin online-mittauksen käyttöä hyötysuhteen nostossa ja päästöjen pienennyksessä kannattaa tutkia lisää.

Parhaat vaihtoehdot olisivat mikroaaltotekniikkaan tai radioaktiiviseen säteilyyn perustuvat mittaukset. Niillä voitaisiin määrittää reaaliajassa polttoaineen kosteus. Vastavia sovelluksia on käytössä saman konsernin muilla laitoksilla, joten käyttökokeista ja hintatietoa on saatavilla. Pelloksen tehtaiden ja voimalaitoksen tiiviin yhteistyön takia on online-mittauksen investointia vaikea perustella pelkän polttoaineen kosteustiedon saannin avulla. Käytännössä kaikki tehtaalta tuleva polttoaine pyritään joka tapauksessa polttamaan. Kosteustiedon hyöty korostuu tapauksissa, joissa polttoaineen toimittaa ulkopuolinen toimija.

Polttoaineen kosteutta voidaan kattilalaitoksella mitata epäsuorasti prosessisuureiden avulla. Laskennan perustana voimalaitoksissa on paljon käytetty polttoaineen lämpöarvon arviointia prosessisuureista. Biopolttoaineiden kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo ei vaihtelee suuresti ja siksi sen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on riippuvainen pääasiassa sen kosteudesta. Aluksi on siis määritettävä voimalaitoksen hetkellinen hyötysuhde. Sen laskentaan tarvitaan kattilan teho, savukaasun loppulämpötila ja happipitoisuus, palamisilman lämpötila ja polttoaineen lämpötila. Lisäksi on oletettava polttoaineen alkuaineanalyysi, tuhkapitoisuus ja keskimääräinen kosteus. Silloin voidaan laskea jatkuvasti polttoaineen lämpöarvon arvio. (Järvinen ym. 2007, 60.) Tämä arvio saadaan muutettua kosteusprosentiksi yhtälöllä 6.

$$M_{ar} = 4,663536 * (q_{p,net,d} - q_{p,net,ar}) \quad (6)$$

jossa  $M_{ar}$  = polttoaineen kosteusprosentti

$q_{p,net,d}$  = polttoaineen alempi kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo

$q_{p,net,ar}$  = polttoaineen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa

Tällaisen epäsuoran ja jatkuvan kosteudenmittauksen käyttöönotto vaatisi pääkattilalaitoksella melko varmasti vain ohjelmallisen laskurin rakentamisen. Lopullisen tu-

loksen tarkkuus on riippuvainen kattilan hyötysuhteen laskennasta. Suurehkossa leijupetikattilassa päästään noin 1,0–1,5 % virheeseen eli myös kosteusprosentti on hyvinkin tarkka.

## 8.4 Kuori

Biopolttoaineet sisältävät paljon kosteutta ja kosteusprosentti on niiden suurin yksittäinen lämpöarvoon saapumistilassa vaikuttava tekijä. Kuorta voidaan kuivata luonnollisesti, mekaanisesti ja termisesti. Pelloksella kuoren kosteus ennen puristamista on tehtyjen mittauksien perusteella 61 %. Kuivattaminen tapahtuu mekaanisesti puristamalla ja kuoren kosteus puristuksen jälkeen on ollut keskiarvoltaan 53 %. Puristamisen kannattavuutta kesäisin on pohdittu paljon ja nykyään sitä ei tehdä.

### **Luonnollinen kuivaaminen**

Luonnollista kuivaamista voidaan hyödyntää kuorella, jonka alkukosteus on suuri. Puupolttoaineet kuivuvat luonnossa yleisesti kosteusprosenttiin 30–50 %. (Raitila ym. 2014, 23–26.) Kuoren luonnollista kuivumista on tutkittu VTT:n toimesta vuonna 2001–2002. Tutkimuksessa kuoret koottiin aumoihin huhtikuussa. Mielenkiintoisin kohde oli tuoreen kuusen ja männyn kuoren sekoitusta sisältänyt auma. Toinen puoli aumasta varustettiin ilmastusputkilla. Käytännössä kasan pohjalle metrin korkeuteen sijoitettiin salaojaputkia noin metrin välein. Ensimmäisen kuukauden aikana ilmastoitu osa kuivui 10 % ja ilmastoimaton 6 %. Seuraavien kuukausien aikana kuivuminen hidastui selvästi ja 3 kuukauden jälkeen kuivumat olivat 11 % ja 7,5 %. Kuivuminen ilmastoidussa aumassa oli suurempaa kuin Pelloksen nykyisien puristimien saavuttama kuivuminen. Samalla tutkittiin kuoren muita laadullisia muutoksia ja kuukautta pidempi kuivatusaika huononsi kuoren kuiva-aineen tehollista lämpöarvoa. Voidaan siis päätellä, että paras hyöty luonnollisesti kuivumisesta saadaan ensimmäisen kuukauden aikana. Lisäksi kuivumista voisi olla järkevää tehostaa aumoihin sijoitettavilla salaojaputkilla. Kuukauden kuivumisen jälkeen ilmastoidun kuoriauman tehollinen lämpöarvo saapumistilassa oli 8,8 MJ/kg kun ilmastoimattomalla se oli 7,8 MJ/kg. Alussa molempien kasojen lämpöarvo oli noin 6,5 MJ/kg. Näillä lämpöarvojen muutoksilla 10 000 irto-m<sup>3</sup> kuorta kohden saataisiin 1170–1920 MWh lisää energiaa

(ks. kaava 7). Salaojaputkien käyttäminen toisi siis 750 MWh lisää energiaa. (Kuoppamäki, Impola & Nikala 2002.)

$$Q = \frac{\Delta q_{p,net,ar}}{3600} * x * V \quad (7)$$

jossa  $Q$  = polttoaineen energiamäärän muutos

$\Delta q_{p,net,ar}$  = polttoaineen tehollisen lämpöarvon muutos saapumistilassa

$x$  = polttoaineen irtotiheys

$V$  = polttoaineen määrä

Ilmastoimaton auma:

$$\frac{7,8 \frac{MJ}{kg} - 6,4 \frac{MJ}{kg}}{3600} * 300 \frac{kg}{irto - m^3} * 10\,000 \text{ irto} - m^3 = 1167 \text{ MWh}$$

Ilmastoitu auma:

$$\frac{8,8 \frac{MJ}{kg} - 6,5 \frac{MJ}{kg}}{3600} * 300 \frac{kg}{irto - m^3} * 10\,000 \text{ irto} - m^3 = 1916 \text{ MWh}$$

Keväällä ja kesällä kuivumisen ollessa luonnostaan tehokkainta, voitaisiin harkita kuoren kuivaamista ulkona aumoissa. Luonnonkuivauksella voitaisiin säästää puristimien käyttö- ja huoltokustannuksissa. Lisäksi kuoresta irtoavan veden käsittelyä ei haiduttaen kuivattamisessa tarvitse tehdä. Ensimmäisen kuivauskuukauden aikana kuivuminen on myös tehokkaampaa kuin keskimääräinen toteutunut kuivuminen Pelloksen tehtaiden mekaanisilla puristimilla. Näin kuoren lämpöarvoa saadaan nostettua. Lähtökohtaisesti aina paras ratkaisu suurien polttoainevirtojen liikutteluun on suora kuljetinyhteys. Kuori voitaisiin ajaa repijöiltä kuljettimelle, joka pudottaisi kuoret aumoihin kuivatusta varten. Kuorelle olisi saatava vielä syöttötasku tai muu keino palauttaa kuivunut kuori voimalaitoksen kuljettimille.

## **Mekaaninen kuivaaminen**

Mekaanisen puristamisen tehokkuutta voidaan nostaa muutamalla tavalla. Erittäin tärkeää on kuoren partikkelikoon hallinta ennen puristamista. Kuori on syytä repiä tehokkaasti ennen puristamista ja parhaan kuivumisen saavuttamiseksi kuori kannattaisi myös seuloa. Pelloksella kuori revitään ennen puristusta, muttei seulota. Seulonnalla saataisiin revinnästä liian isoiksi jääneet kuoripartikkelit poistettua ennen puristusta, joka parantaa kuivumista huomattavasti. Toinen vaikuttava tekijä on kuoren lämpötila, parhainta kuivuminen on kuoren ollessa 20–40 °C. Kuoressa olevat puupartikkelit eivät kuivu puristamalla, mutta ne jättävät vedelle poistumisreittejä. Testaamisen arvoista voisi olla erillisen hakkeen syöttäminen puristettavan kuoren sekaan. Koeajo olisi periaatteessa helppo suorittaa, samalla mitattaisiin, paraneeko kuoren kuivuminen. Puristusteho useissa puristimissa on parhaimmillaan, kun kuorta syötetään puristukseen tasaisesti. (Impola 1999.) Pelloksella kuoren syöttö ei ole tasaista ja siinä olisi kehittämispotentiaalia. Kuorivirtaa voitaisiin esimerkiksi tasata käyttäen välisiiloa, josta purkuruuvi syöttäisi puristukseen tasaisesti kuorta. Kuoren vaikea käsittely ja varastointi olisi huomioitava järjestelmäsuunnittelussa.

## **Terminen kuivaaminen**

Pelloksella kuoren terminen kuivaaminen olisi haastavaa. Kuoren terminen kuivaaminen on yleisesti käytetty, tehokas ja edullinen tapa parantaa polttoaineen lämpöarvoa. Kattilan savukaasuja ajetaan esimerkiksi rumpuun, johon syötetään myös märät kuoret. Kosteus höyrystyy kuoresta ja kosteat savukaasut poistetaan. (Huhtinen ym. 2000, 74.) Pelloksella tämä vaatisi kuoren saamista eroteltuna muusta polttoaineesta lähemmäksi itse kattilalaitosta. Tehokkaalla kuivatuksella ja revinnällä kuoresta voitaisiin saada soveltuva polttoaine myös vanhemman kattilan polttoaineeksi. Jos puita aloitettaisiin kuorimaan ennen haudontaa, olisi terminen kuivaaminen logistisesti helpompaa.

## 8.5 Pöly

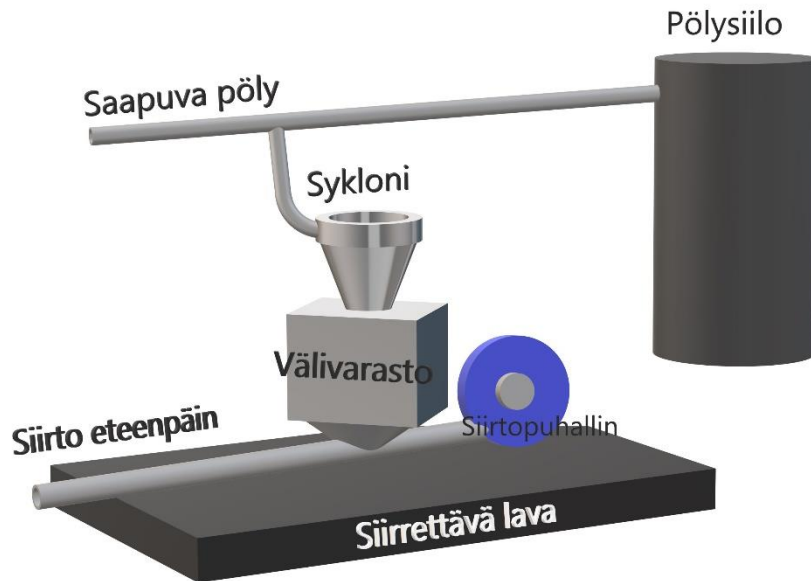
### 8.5.1 Siirto ja varastointi

Vanerintuotannon hionnasta syntyvää puupölyä poltetaan leijupeti- ja arinakattilassa. Pölyä syntyy tehtaiden käydessä jatkuvasti, joten sitä on myös pystyttävä polttamaan jatkuvasti. Pääkattilalaitoksella pölypoltto edellyttää käytännössä höyrykuormien pysymistä yli 9 kg/s. Sitä pienemmillä kuormilla pölyä ei pystytä polttamaan. Toinen syy pölypolton keskeytymiseen on Pellosen häiriöaltis pölyjärjestelmä. Osa polttoon tulevasta pölystä kulkee käytännössä yhtä reittiä (ks. liite 8). Pölyn purkulaitteiden häiriötilanteessa, siirron häiriötilanteessa tai pienien kuormien aikana pölypoltto keskeytyy ja hyvin nopeasti varastokapasiteetti loppuu. Tällöin pölyä joudutaan purkamaan esimerkiksi Pellos 2 siilon ohituksesta kuorma-auton lavalle. Tilanne ei ole missään nimessä optimaalinen. Pöly leviää herkästi ympäristöön sekä purettu pöly menetetään polttoaineena. Pölynvarastointia parantaisi siirtolinja Pellos 2 siilon ja hopeasiilon välillä. Jos voimalaitoksen siiloon jostain syystä ei voida vastaanottaa tavaraa, voisi Pellos 2 pölyä säilöä hopeasiiloon. Samalla voitaisiin tutkia mahdollisuutta ohittaa yksittäisiä siiloja siirrettävällä laitteistolla (ks. kuvio 16), jotta häiriötilanteessa pölyä voitaisiin yhä siirtää kohti voimalaitoksen siiloa. Myös takasiiloilta (Pellos 1 ja 3) yhteyttä Pellos 2 siiloon kannattaa pohtia. Putkisto olisi valmiina jo ladonnasta asti.

Selkeästi kriittisin kohta pölypoltoissa on voimalaitoksen siilo ja sen purkulaitteisto. Niiden vikaantuessa lamautuu koko pölypolttoketju. Viimeiseltä vuodelta keskimääräinen pölyn polttonopeus on ollut 0,31 kg/s. Tunnissa pölyä poltetaan siis noin 11 irto-m<sup>3</sup>. Käytännössä kaikki pöly poltetaan, joten 11 irto-m<sup>3</sup> on myös määrä, joka tehtailta keskimäärin tulee tunnissa. Siilon käytettävissä oleva koko on noin 160 m<sup>3</sup> ja ilman pölypoltoa se täyttyy melko nopeasti. Häiriötilanteiden varalle pölyä olisi voitava purkaa tai varastoida muilla keinoilla. Yksi mahdollisuus olisi toisen pölysiilon rakentaminen nykyisen voimalaitoksen siilon viereen. Toista voitaisiin täyttää hopeasiilosta ja toista Pellos 2 siilosta. Molempia siiloja purettaisiin kattilaan kulkevaan pölylinjaan. Siiloja voitaisiin purkaa yhdessä ja erikseen, tilanteen mukaan. Kokonaispur-

kunopeus ei kuitenkaan saa kasvaa nykyisestä. Toisen siilon pölyaseman tai purkulaitteiston vikaantuessa voitaisiin yhä pölyä polttaa toisesta siilosta. Luotettavuuden parantumisen lisäksi voitaisiin pölyn polttamista säännöstellä enemmän ja pölyn hyvää lämpöarvoa käyttää hyödyksi esimerkiksi suurilla kuormilla.

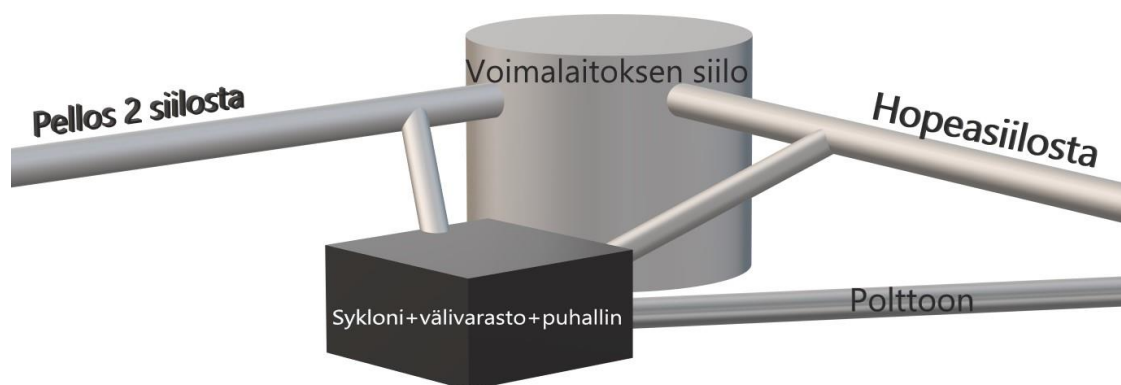
Alkuinvestoinniltaan halvempi ratkaisu olisi voimalaitoksen pölysiilon ohittaminen. Käytännön kokemusta pölyn polttamisesta suoraan siirtolinjasta ei vielä ole. Jos pöly saataisiin puhallettua tasaisena virtana sekä sopivalla ilman ja pölyn suhteella, voisi suora polttaminen olla mahdollista. Käytännössä kuitenkin pölyn siirtomatkat Pellos 2 siilosta ja hopeasiilosta polttoon kasvaisivat pitkiksi, mistä aiheutuisi mahdollisesti pölyn epätasaista kulkua putkessa. Lisäksi jos pölypoltto katkeaa jostain syystä, olisi päätettävä jätetäänkö siirtoputkistoon pölyä vai puhalletaanko kaikki pöly pitkästä siirtolinjasta polttoon. On myös huomioita pölyn räjähdysherkkyys. Ilman voimalaitoksen siiloa kulkisi Pellos 2 siilosta tai hopeasiilosta lähtevä kipinä tai räjähdys kattilaan asti. Turvallisempi ja varmemmin toimiva ratkaisu voisi olla pieni liikutettava laite, jossa olisi pölynerotin (sykloni tai suodatinasema), varasto, sulkusyötin tai ruuvipurkain ja tarvittaessa puhallin (ks. kuvio 16). Näin erotettaisiin esimerkiksi Pellos 2 siilosta tuleva pöly ja siirtoilma pieneen välisäiliöön, jonka pohjasta pölyä purettaisiin nykyiseen kattilaan johtavaan linjaan.



Kuvio 16. Havainnekuva pölysiilon ohittamisesta

Siirto kattilaan tapahtuisi nykyisellä siirtopuhaltimella tai erillisellä säädettävällä puhaltimella. Polttoon kulkisi pölyä tasaisesti sekä ilman ja pölyn suhdetta voitaisiin säätää. Pölypoltto edellyttää pölyn syöttämisen siirtoputkistoon asianmukaisen sulkusyöttimen kautta (Käyttö- ja huolto-ohje 2001). Pellos 2 siilon purkulaitteet eivät sisällä sulkusyötintä. Yleisesti myös siirtolinjassa vaaditaan ilmalle suurempaa tilavuusvirtaa kuin polttoon pölyä siirtävässä linjassa. Välivarastolla saataisiin puhaltimet ja tilavuusvirrat mitoitettua oikeiksi. Pienen pölypatjan pitäminen kattilan ja Pellos 2 siilon välissä voisi myös estää räjähdysten kulun. Räjähdysten varalle olisi välivarasto silti varustettava paineenpurkausluukuilla, joiden koko on oltava neliömetreinä 7,5 x säiliön tilavuus (Käyttö- ja huolto-ohje 2001). Välivaraston ei olisi tarkoitus suoranaisesti varastoida pölyä vaan purkunopeus pidettäisiin yhtä suurena kuin tulovirta. Käytännössä välivarastossa voisi olla kaksi rajakytkintä, joilla purkunopeutta säädettäisiin. Pölypolton katketessa siirtolinja voitaisiin puhaltaa tyhjäksi välivarastoon ja nykyiseen tapaan kattilaan puhallettaisiin vain sinne kulkeva siirtolinja. Samaa laitteistoa voitaisiin mahdollisesti käyttää yksittäisen häiriössä olevan pölysiilon ohittamiseen. Ohitusjärjestelmä tuotaisiin siilon luokse ja kytkettäisiin valmiisiin haaroituksiin

joustavilla haitariputkilla. Sillä aikaa voitaisiin rauhassa huoltaa varsinaista pölysiiloa. Pelkkä suora ohitusputkisto nostaisi pölysiilojen ketjuräjähämisen riskiä. Voimalaitoksen siilon ohitus voitaisiin tehdä esimerkiksi vain hopeasiilosta tulevaan linjaan tai molempiin. Käytännössä jos Pellos 2 siilon ja hopeasiilon välille ei rakenneta linjaa, olisi pöly pystyttävä ohjaamaan ohituslaitteeseen molemmista linjoista (ks. kuvio 17).



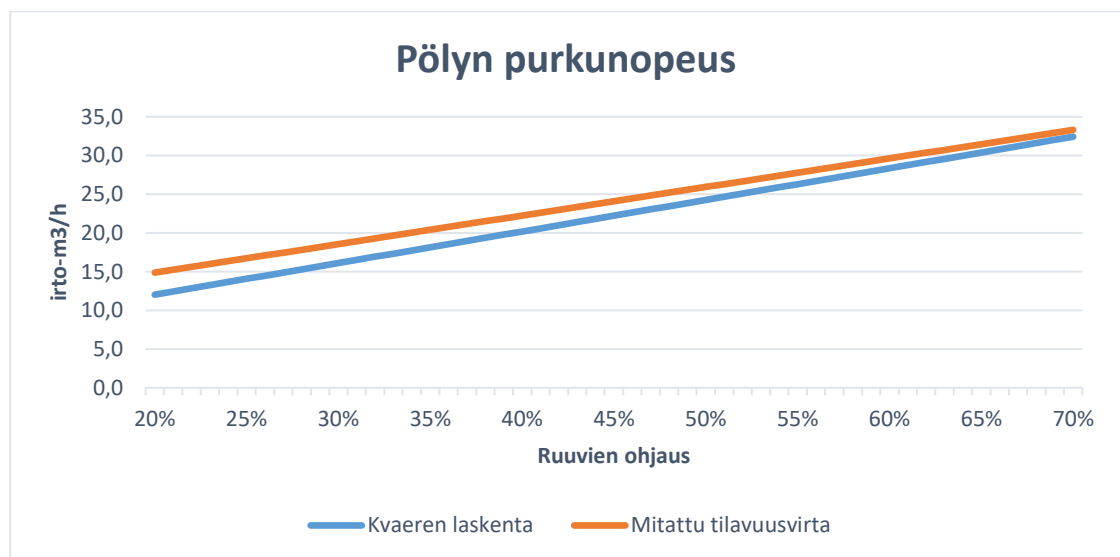
Kuvio 17. Havainnekuva voimalaitoksen siilon ohittamisesta

Toinen vaihtoehto voisi olla pölyn puristaminen pelletiksi siirrettävällä pellettilaitteistolla. Jokainen pölysiilo varustettaisiin Pellos 2 mukaisella purkumahdollisuudella. Siirrettävään pellettilaitteistoon yhdistettäisiin sykloni, jolla siirtoilma erotetaan pölyn joukosta. Käytännössä laitteisto vastaisi kuvion 16 kokonaisuutta ilman pölyn puhaltamista uuteen siirtolinjaan. Pellettilaitteisto voitaisiin häiriötilanteessa yhdistää haluttuun pisteeseen pölyverkostossa ja varastoida ylimääräinen pöly kiinteässä muodossa. Pellettiä voidaan polttaa molempien kattilalaitoksien kiinteän polttoaineen seassa. Keskimääräisen pölypolton ollessa noin 1100 kg ja 11 irto-m<sup>3</sup> tunnissa, pelletiksi puristettuna sama pölymäärä olisi noin 2,5 irto-m<sup>3</sup>. Pellettilaitteisto olisi järkevää varustaa säiliöllä, johon mahtuisi muutaman tunnin pölypellettimäärä. Säiliön täyttyessä se tyhjennettäisiin esimerkiksi kauhakuormaajalla ja ajettaisiin polttoon

voimalaitoksen hakekentälle. Laitteisto voitaisiin rakentaa esimerkiksi kuorma-auton kyytiin nostettavaksi ja tuotantokapasiteetti olisi oltava vähintään 1,5 tonnia tunnissa.

### 8.5.2 Poltto

Voimalaitoksen käyttäjien mukaan tällä hetkellä suurin pölyn polttonopeuden asetusarvo on 40 %, joka vastaa 0,56–0,62 kg/s purkua ja 10–11 MW polttoainetehoa. Tunnissa pölyä kuluu silloin noin 20 irto-m<sup>3</sup>. Tehon rajoittaminen perustuu kokemuksiin pölyjärjestelmän tukkeutumisesta suurilla tehoilla. Uuden kattilalaitoksen pölypolttimen mitoitusteho on 15 MW (Käyttö- ja huolto-ohje 2001). Käytännössä järjestelmän pitäisi siis pystyä 0,83 kg/s purkunopeuteen. Tunnissa poltettaisiin siis noin 30 irto-m<sup>3</sup> edestä pölyä. Ohjauksessa tämä vastaa asetusarvoa 61–64 % (ks. kuvio 18). Pölyjärjestelmässä rajoittava tekijä pitäisi olla purkulaitteisto eikä tukkeutumia saisi syntyä. Pölylinjan siirtopuhaltimen tilavuusvirta olisi tarkistettava sen riittävyyden varmistamiseksi. Sama on tehtävä järjestelmässä olevalle sulkusyöttimelle. Jos puhaltimen ja sulkusyöttimen mitoitus on kunnossa, suurempien pölypolttotehojen saavuttaminen vaatisi siirtoputken halkaisijan kasvattamista.



Kuvio 18. Pölyn purkunopeus eri asetusarvoilla

Myös vanhemmalla kattilalaitoksella ajettaessa pöly on tärkeä polttoaine. Sinne pöly syötetään samasta voimalaitoksen siilosta ja samoilla purkulaitteilla. Kokemuksien mukaan vanhemman kattilalaitoksen pölypolttotehoa on rajoittanut putkiston tukkeutuminen. Syy voi olla siirtopuhaltimen tilavuusvirrassa tai ajansaatossa ahtautuneessa putkistossa.

Suurien pölypolttotehojen rajoitteena molemmilla laitoksilla vaikuttasi olevan laitteet tai putkistot. Pölyjärjestelmässä hitain komponentti olisi aina oltava siilon purkain. Näin välttyttäisiin lähes kaikilta tukkeutumisilta. Uudella kattilalaitoksella pölyn siirto polttoon vaatii siirtoilmalta 15 m/s nopeuden. Puhallin on taajuusmuuttajaohjattu ja sen ilmoitettu tilavuusvirta 1,4 m<sup>3</sup>/s riittää tuottamaan tarvittavan virtauksen. Tällöin järjestelmässä pullonkaulana oletetaan olevan siirtoruuvien jälkeinen sulkusyötin. Sulkusyötin on alun perin mitoitettu pyörimään 26 rpm, joka toteutuu tälläkin hetkellä. Sulkusyöttimen tiedoissa ei ole kuitenkaan ilmoitettu suurinta tilavuusvirtaa. Käyttökokemuksien perusteella pölypolttimen mitoitustehoa 15 MW ei saavuteta. Sulkusyöttimen kapasiteetin riittäminen kannattaisi testata lisäämällä sen pyörimisnopeutta hetkellisesti ja samalla ajaa lähelle pölypolton mitoitustehoa.

## 9 Yhteenveto

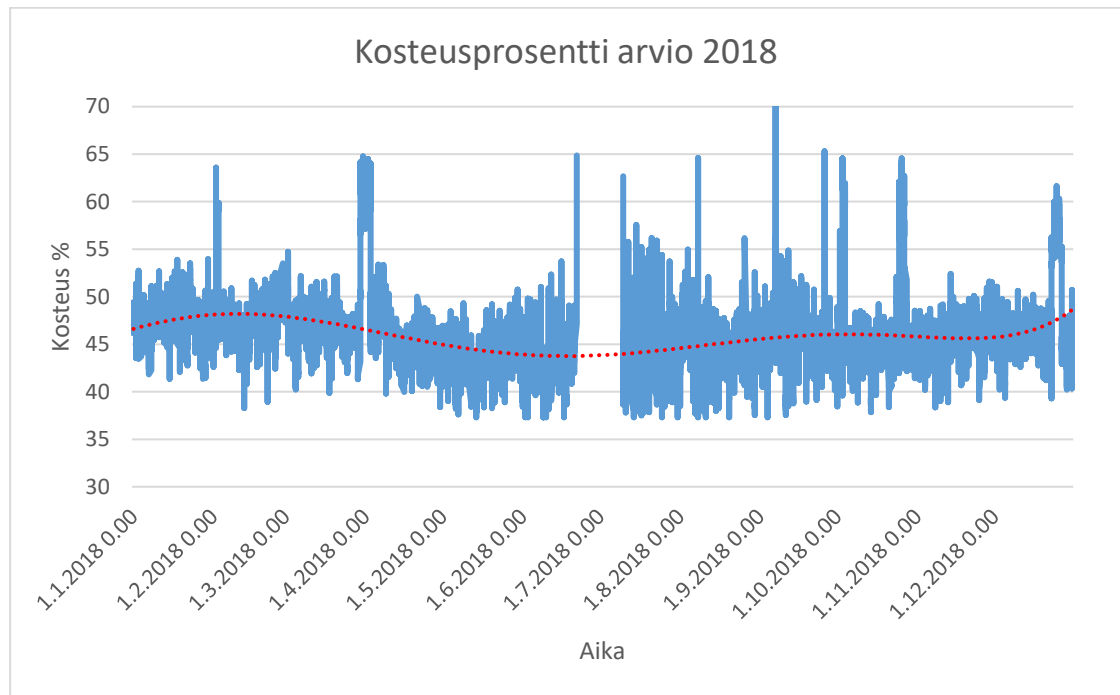
### 9.1 Lopullinen seos

Kokonaisuudessa voimalaitoksen käyttämä kiinteä polttoaine vaikuttaisi olevan hyvälaatuista ja kohtuullisen kuivaa. Arvointia vaikeuttavat kuitenkin kosteuksien harvat manuaaliset mittaustulokset ja se, että kosteutta arvoitiin lähinnä laskennallisesti. Lisäksi vuodenajan vaikutusta voimalaitoksen oman hakekentän kosteuteen olisi syytä tutkia käytännön mittauksilla. Tällä hetkellä voidaan olettaa kenttätavaran olevan talvella keskimääräistä kuivempaa. Silloin seoksen kuoripitoisuus on pienempi ja talvella ulkosäilytys myös kosteuttaa polttoainetta vähemmän. Kuivimmillaan teoriassa kosteusprosentti voisi olla jopa vain 20 %.

Todellisuudessa kosteus varmasti kasvaa suuremmaksi. Kevään ja kesän tullessa alkaa raakapuusta irrota enemmän kuorta ja kuoren osuus murskeessa kasvaa. Samalla luonnollinen polttoaineen kostuminen kasvaa. Oletetaan kokonaiskosteuden kasvavan syksyä kohden jolloin se saavuttaa suurimman kosteuspitoisuuden. Mitä pidempään syksyllä murskaukseen menevää tavaraa säilytetään ulkona suojaamattomana, sitä kostemmaksi se ehtii muuttua. Kosteimmillaan voidaan seoksen kokonaiskosteuden olettaa olevan 40–50 %.

Suoraan tehtailta tulevan polttoaineen kosteus on arvioilta 28–30 %, jos tehtaalta saadut tiedot polttoainejakaumasta pitävät paikkansa. Kahden prosenttiyksikön ero selittyy sillä, puristetaanko kuori vai ei. Vuoden keskiarvolle laskettuna kuoren puristaminen vaikuttaa siis hyvin vähän. On kuitenkin huomioitava, että kuorta ei tule polttoon tasaisesti. Näin seos voi vaihdella lyhyessä ajassa merkittävästi ja aiheuttaa ongelmia. Kuoren hetkellinen puuttuminen seoksesta kuivattaa seosta erittäin paljon, sillä pelkän viilu- ja vanerimurskeen kosteus on jopa alle 10 %. Käytännössä talvellakin kuorta tarvitaan polttoon, mutta sen määrää olisi voitava säännöstellä.

Kesällä kattilan kuormien lasiessa oman hakekentän käyttö vähenee. Keskimäärin oman hakekentän seoksen kosteus vaikuttaa olevan suurempi kuin suoraan tehtaalta tulevan polttoaineen. Tämä tukisi voimalaitoksen käyttäjien arvioita siitä, että kesäisin kokonaisuudessa polttoaine on kuivempaa kuin talvella. Samaa ajatusta tukee kattilan historiadatasta koostettu kosteusarvio (ks kuvio 19). Tämän lämpöarvoarvioinnin perusteella lasketun kosteuden luotettavuus on kuitenkin kyseenalainen. Laskuri tarvitsisi ainankin reaaliaikaisesti päivittyvän hyötysuhdetiedon. Lisäksi käyrän kokonaispystysiirtymään vaikuttaa asetettu kiinteä arvio kosteudesta. Tällä hetkellä se on 40 %, joka saattaa olla liikaa.



Kuvio 19. Polttoaineen kosteusarvio kattilan prosessisuureista

## 9.2 Pöly

Pölypolton, varastoinnin ja siirron parissa on paljon kehitettävää. Tällä hetkellä koko järjestelmä on hyvin haavoittuvainen ja voivat aiheuttaa jopa tuotannon rajoittumista. Päälimmäisenä syynä on koko järjestelmän laaja kahdentamattomuus. Mahdollisessa vikaatilanteessa on huonosti vaihtoehtoja, kuinka toimintaa saataisiin jatkettua. Samalla käytettävät keinot, kuten pölyn purkaminen kuorma-auton lavalle, ovat melko huonoja. Jokaisen pölysiilonpurkulaitteiston ja pölysiilon päällä olevan pölyaseman vikaantumisen varalle olisi oltava toimintamalli.

Ratkaisuna voimalaitoksen siilon purkulaitteiston vikaantumisiin olisi toinen pölysiilo tai siilon ohittamiseen soveltuva laitteisto (ks. kuvio 16). Uuden siilon hyvänä puolena olisi varmuuden mukana kasvava varastointikapasiteetti. Pölyn polttoa voitaisiin säädellä nykyistä paremmin sekä hetkellisissä pölypolton katkoksissa, esimerkiksi pienien kuormien takia, saataisiin kaikki pöly talteen. Mahdollisesti halvempi ja monikäyttöisempi ratkaisu olisi siilon ohittamiseen sopiva laitteisto. Voimalaitoksen siilon vikaantuessa jatkettaisiin pölynpolttota siirtämällä sitä suoraan hopeasiilosta tai Pellos 2 siilosta ohituslaitteistoon ja sitä kautta polttoon.

Samalla laitteistolla voitaisiin ohittaa yksittäisiä pölysiiloja purkulaitteiden tai suodatinasemien vikaantuessa. Pöly ohjattaisiin suoraan tehtaiden pölyasemilta ohitushaarana kautta siirrettävään laitteistoon, jolla pöly puhallettaisiin olemassa olevaan siirtolinjaan. Lähekkäin olevissa pölysiiloissa, Pellos 1 ja 3 siiloissa, voitaisiin käyttää niiden pölyasemia ristiin. Pölyputkistot yhdistettäisiin niin, että vikatilanteessa saadaan molempien tehtaiden pölyt ajettua eteenpäin käyttäen toisen tehtaan siiloa.

Rakentamalla Pellos 2 pölysiilosta uusi siirtolinja hopeasiilolle kasvatettaisiin käyttövarmuutta tehtaalla. Pölyä voitaisiin aina siirtää joko voimalaitoksen siiloon tai hopeasiiloon. Molempiin suuntiin olisi oltava myös mahdollisuus siirtää pölyä käyttäen siirrettävää pölysiilon ohituslaitteistoa Pellos 2 siilon vikaantuessa.

Pölypoltosta voitaisiin aktivoida täysi potentiaali molemmilla kattilalaitoksilla. Uudella kattilalla suurin nimellisteho 15 MW saavutetaan purkulaitteiston tukkeutumisen estämisellä. Todennäköisin syy on, ettei pöly kerkeä pudota siirtopuhaltimen imuun sulkusyöttimen läpi. Purkusuppilo on liian ahdas tai suppilossa oleva sulkusyöttin on liian hidas. Täydellä pölypoltton teholla saataisiin varmennettua kattilan käyttöä suurilla kuormilla sekä sen potentiaalia säätöpolttoaineena voitaisiin hyödyntää. Automaatiojärjestelmään voitaisiin esimerkiksi lisätä mahdollisuus tasata kuormia myös pölyn avulla. Varsinainen kattilan paineensäätö tapahtuisi hakkeella ja suurien kuormien muutoksia tasattaisiin pölypoltolla.

Vanhemmalla kattilalaitoksella on havaittu siirtoputkien tukkeutumista. Joko siirtopuhaltimista loppuu kantoilmavirran määrä tai putkistoon on kertynyt esimerkiksi metallikappaleita tai muita tukoksia. Arinakattilan säätö on luonnostaan hitaampaa kuin leijupetikattilalla, joten säätäminen pölyllä on tärkeää.

### 9.3 Seoksen ja varastoinnin hallittavuus

Seoksen hallittavuuden ja riittävyyden parantaminen edellyttäisi uusien kuljetinyhteyksien rakentamista. Parhaassa tilanteessa seospolttoainetta käyttävällä voimalaitoksella olisi kaksi siiloa, joista käytettävä seos muodostettaisiin. Siilot sisältäisivät eri laatuista polttoainetta ja siilojen purkunopeuksilla säädettäisiin käytettävää seosta. Tällaisen toteuttaminen Pelloksella on käytännössä vaikeaa. Kuori ja hake sekoittuvat jo kuljettimien alkupäässä ja niiden seossuhde vaihtelee jatkuvasti. Kuoren syöttöä olisi siis tasattava jo tehtailla. Kuoren tasaisella syötöllä estettäisiin hetkelliset erittäin kuivat tai märät seokset, jotka aiheuttavat esimerkiksi huonoa säädettävyyttä ja petilämpöjen vaihtelua. Parempi olisi, jos seokseen voitaisiin valvomosta käsin tehdä hetkellisiä muutoksia. Nykyisellään on mahdollista käytännössä vain valita kuoren osalta kaikkia tai ei mitään. Vähimmäisparannus olisi ajaa Pellos 1/3 kuori ulos, jonkinlaiseen tasaustaskuun. Siitä kuorta syötettäisiin oletusarvoisesti vakionopeudella kuljettimille, kuitenkin jättäen operaattorille mahdollisuuden säätää kuoren määrää ongelmatilanteissa. Toinen vaihtoehto olisi sijoittaa tasaustasku kuoren revinnän jälkeen, jolloin saataisiin tasaisesta syötöstä hyöty myös kuoripuristimien parempaan toimintaan. Kesäajalle tasaustaskun jälkeinen puristin olisi voitava ohittaa ja ohjata kuori suoraan tasaisena virtana kuljettimelle. Vastaavasti kesän aikana kuivimpia polttoainejakeita kannattaisi varastoida katokseen talven suuria kuormia varten sekä KL1:n käyttöön.

Seosta voidaan säätää jo nykyisellään voimalaitoksen oman hakekentän käytöllä. Käytännössä sitä käytetään kuitenkin tasaamaan polttoainesiilon pintaa. Seoksen kosteuden säätäminen tämän hakekentän kautta vaatisi järkevän tavan muuttaa tehtaalta suoraan tulevan polttoaineen määrää. Nyt sykloneista ulos ajettaessa polttoaine kertyy taskuihin, jotka tyhjennetään manuaalisesti. Samaan aikaan kuivaa reuna-haketta ajetaan voimalaitoksen omalle hakekentälle manuaalisesti. Kannattaisi selvittää, voidaanko näitä yhdistää. Lisäksi selvitettäisiin, voidaanko rakentaa purkumahdollisuus yhdestä syklonien purkutaskusta, jotta polttoaine saadaan takaisin kuljettimelle (ks. kuvio 15). Samalla olisi järkevää korvata osa voimalaitoksen nykyisen hake-

kentän käytöstä tällä yhteydellä. Voimalaitoksen hakekentän seos luodaan joka tapauksessa syklonitaskujen lähellä, jolloin kuljetusmatka olisi lyhyempi. Keskimäärin viimeisen neljän vuoden aikana voimalaitoksen hakekentälle on ajettu yli 100 000 irto-m<sup>3</sup> vuodessa polttoainetta eli yli 1000 puoliperävaunullista. Samasta syklonitaskujen purkumahdollisuudesta olisi hyötyä myös käytettäessä vanhaa voimalaitosta. Osittain suuri oman hakekentän käyttömäärä johtuu käyttäjien toimintatavoista. Polttoainetta saatetaan ohjata ulos sykloneilta ja samalla täyttää polttoainesiiloa voimalaitoksen hakekentältä. Tähän käytäntöön kannattaisi puuttua ohjeistamalla voimalaitoksen henkilökuntaa optimaalisimpaan polttoainesiilon täyttötapaan. Siiloa ei kannata täyttää liian täyteen käyttäen omaa hakekenttää.

Voimalaitoksen omalle hakekentälle ajettavan polttoaineen määrää voidaan jatkossa arvioida työssä luodulla kuviolla 12. Kentälle ajettava irtokuutiomäärä on riippuvainen polttoaineen laadusta. Opinnäytetyössä luotu kuvio kuvaa päivittäin tarvittavaa MWh-määrää suhteessa ulkolämpötilaan. Jos halutaan arvioida esimerkiksi tulevalle kuukaudelle tarvittavaa polttoainemäärää, voidaan energiamäärä muuttaa irtokuutioksi käyttäen polttoaineen energiatiheyttä. Muutoksessa voidaan käyttää seuraavaa arviota taulukon 4 avulla.

Taulukko 4. Biopolttoaineen kosteuden vaikutus sen energiatiheuteen

<b>Polttoaineen kosteusprosentti</b>	<b>Energiatiheys (MWh/irto-m<sup>3</sup>)</b>
30	1,04
40	0,87
50	0,69
60	0,51

Vanhalla voimalaitoksella polttoaineen varastoinnin hallittavuutta olisi kohtuullisen helppo parantaa jo aiemmin ehdotetulla pinnanmittauksella. Ultraääni- tai säteilymittauksen sijaan siiloihin asennettaisiin pyörivät ylä- ja alarajakytkimet (ks. kuvio 13). Näin välttyttäisiin aiemmin tapahtuneilta siilojen ylitäyteen ajamisilta. Siilot on mahdollista ajaa ylitäyteen samalla aiheuttaen riskin suuren tukoksen luomiseen ja tuotannon keskeytymiseen.

## 9.4 Kuoren kuivaus

Kesällä seoksen kosteusprosentin laskusta aiheutuu kuitenkin lieviä petilämpöongelmia. Välillä on turvauduttu jopa poistamaan tehtaalta suoraan tulevaa erittäin kuivaa polttoainetta ja korvaamaan sitä oman hakekentän kosteammalla seoksella tai korvaamaan petipoltto öljypolttimilla hetkellisesti. Tällä keinolla voidaan laskea petilämpötiloja. Samaan aikaan myös ylimääräistä polttoainetta myydään kosteana (40–50 %) muualle polttoon. Toisaalta jos kuorta kuivattaisiin edullisesti luonnonkuivauksella, saataisiin myytävälle polttoaineelle lisää katetta.

Käytännössä kuoren mekaaniselle kuivaamiselle ei ole järkeviä perusteita kesän aikana, kun kattilan kuormat laskevat ja oman hakekentän käyttö vähenee. Sen sijaan kuoren luonnollista kuivattamista keväästä alkaen kannattaa pohtia. Kuorta kuivattaisiin ilmastoiduissa aumoissa polttoainekentällä ja syötettäisiin polttoon tasaisena säädettävänä virtana. Näin voitaisiin säännöstellä kuoren käyttöä vielä siinä vaiheessa, kun kostealle polttoaineelle ei ole niin suurta tarvetta ja käyttää sitä kesällä myyntiseokseen ja omaan polttoon. Samalla kuorenpuristimien käyttöä voitaisiin vähentää entisestään. Kuivumiseen vaikuttaa kuitenkin suuresti ilmankosteus, valmiiksi kostea ilma sitoo huonosti haihtuvaa kosteutta (Viirimäki ym. 2014).

Kuoren mekaanista puristamista voitaisiin myös optimoida. Kuoren syöttö puristimeen kannattaisi tasata erillisellä tasaustaskulla. Siitä kuorta purettaisiin puristimelle tasaisena massavirtana. Samalla voitaisiin tehdä testiajo, jossa lisätään pieniä määriä haketta puristettavan kuoren sekaan ja mitattaisiin puristustulos. Puristustehokkuuteen vaikuttaa myös kuoren vaihteleva palakoko; revinnän jälkeen sijoitettu seulonta voisi parantaa puristuksen tehokkuutta. Kuoren seulontaan paras vaihtoehto on kiekoseula, jonka ylite voitaisiin ajaa takaisin revintään tai murskata mobiilimurskaimella. Mutta jos polttoaine ei ole nykyäänkään huippukuormia lukuun ottamatta liian märkää, puristamisen tehokkuuteen investoiminen on kyseenalaista. Toisena vaihtoehtona on kuoren mekaanisen puristamisen lopettaminen kokonaan. Jos mahdollisen tasaustaskun kautta voimalaitokselle syötetty kuori takaa riittävän kuivan seoksen myös talvella, kannattaako puristimien huollosta ja jätevesien käsittelystä maksaa.

## 9.5 Polttoaineen laadun seuranta

Näytteenottoon luotiin näytteenottosuunnitelma, joka täydentää nykyistä näytteenoton ohjeistusta. Standardin mukaisella näytteenotolla ja käsittelyllä saavutetaan luotettavampia tuloksia ja näin ollen saatujen tietojen arvo kasvaa. Tärkeää on myös vakiinnuttaa näytteenottopaikat ja ottaa kaikista kohteista näytteet säännöllisesti. Oman hakekentän käyttäytymistä kannattaisi tutkia tarkemmin. Kentältä otettaisiin näytteet esimerkiksi kahden viikon välein kattavasti koko kasan alueelta. Samalta ajalta tutkittaisiin sääolosuhteet ja kuinka paljon ulkosäilytys vaikuttaa polttoaineen kosteuteen. Oletettavasti eniten lopputulokseen vaikuttaa, kuinka kauan murskekasa on odottanut murskausta ulkona. Jos tuoreessa kasassa polttoaineet ovat huomattavasti kuivempia kuin syksyn ja alkutalven ulkona olleet, kannattaa vahvasti harkita katetun säilytystilan rakentamista.

Reaaliaikaista kosteuden seuranta kannattaa harkita lähinnä kahdessa tapauksessa. Jos pääkattilaan on mahdollista rakentaa kosteudelle epäsuoramittaus, kannattaisi se toteuttaa. Käytännössä sen ei pitäisi vaatia muuta kuin ohjelmallisen laskurin rakentamisen. Toinen vaihtoehto olisi fyysinen kosteuden mittaus kattilahalliin polttoaineruuviin. Sillä mitattaisiin polttoaineen kosteutta juuri ennen kattilaan syöttämistä. Investoinnilla voitaisiin saada säästöjä, jos kosteustieto syötettäisiin osaksi kattilan automaatiojärjestelmää. Näin voitaisiin optimoida polttoaineen- ja ilmansyöttöjä reaaliajassa parantaen kattilan hyötysuhdetta.

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyössä tutkittiin UPM Pelloksen vaneritehtaiden sivutuotteiden käyttöä polttoaineina. Tavoitteena oli muodostaa kehitysideoita polttoaineiden käytön optimointiin. Opinnäytetyössä haluttiin selvittää Pelloksen kahden kattilalaitoksen optimaalisimmat polttoaineseokset, keinot polttoaineseoksen hallittavuuden parantamiseen ja lisäpolttoainekentän käyttömäärät. Lisäksi selvitettiin näytteenoton, pölyn käsittelyn ja kuoren käsittelyn kehittämismahdollisuudet.

Tavoitellut tulokset saavutettiin ja kehitysideat koottiin yhteenvetoon. Erityisesti voimalaitoksessa käytettävän polttoaineseoksen hallintaan löydettiin kehittämismahdollisuuksia. Tällä hetkellä kuivaa polttoainetta puretaan kuljettimilta syklonien purkutasuihin ja samaan aikaan kuivaa polttoainetta kuljetetaan koneellisesti voimalaitoksen omalle hakekentälle. Logistisesti tilanne on erittäin huono ja kannattaisi pohtia tässä opinnäytetyössä esiin tuotuja ratkaisuja. Ylipäätään voimalaitoksen nykyinen polttoaineen syöttö- ja kuljetinjärjestelmä eivät vastaa yleisesti voimalaitoksissa käytettäviä järjestelmiä seoksen säädettävyyden osalta. Työn teoriaosuudessa käsiteltiin voimalaitoksen seospolttoaineiden käyttöä, joka käytännössä vaatii kaksi tai useampia hallittavissa olevia polttoainevarastoja. Kuitenkin monet kehitysideoista vaatisivat suuriakin investointeja, joille voi olla vaikea saada suoraa takaisinmaksuaikaa. Seoksen hallittavuuteen ja kuorenkäsittelyn optimointiin liittyen löydettiin yleisesti teollisuudessa olevia ratkaisuja. Kuoren syötön tasaaminen puristukseen sekä polttoon parantaisi kuoren kuivumista sekä vakauttaisi voimalaitoksen polttoaineseosta. Näistä tärkeämpi olisi voimalaitokselle tulevan kuorivirran tasaaminen. Nykyisen polttoaineseoksen kokonaiskosteus pitkällä aikavälillä on jopa suunniteltua kuivempi. Käytännössä seoksen laatu kuitenkin vaihtelee hetkellisesti johtuen tehtaan tuotannosta. Muutokseen tarvittavan tilanpuute asettaa idealle haasteita.

Voimalaitoksen lisäpolttoainekentän käytöstä saatiin kattavat historiatiedot, joiden perusteella työssä muodostettiin kuvaaja kulutuksen ja ulkolämpötilan välille. Tule-

vaisuudessa Pelloksen puunvastaanotto voi kuvaajan avulla ennustaa oman polttoaineen käytön ja myytävän polttoaineen määrää. Tuloksen luotettavuutta on kuitenkin vaikea arvioida ennen käytännön kokemuksia. Voimalaitoksen tuotanto vaihtelee erittäin paljon ja siksi myös tarvittavan polttoaineen määrä on jatkuvassa muutoksessa. Samalla opinnäytetyössä otettiin kantaa polttoaineiden varastointiin ja sen kehittämiseen. Kaikki polttoaine säilytetään Pelloksella ulkona ilman katosta, joten sen kosteus vaihtelee vuodenajan mukaan. Optimoimalla ulkosäilytys ja mahdollinen katettu säilytys voitaisiin saada käyttöön mahdollisimman kuiva ja laadukas polttoaine ympäri vuoden.

Pelloksen pölyjärjestelmän osalta kehitettävää on paljon. Sen toimintavarmuutta ja turvallisuutta olisi syytä kehittää ja tutkia enemmän. Tässä opinnäytetyössä saatiin kehitysideoita pölyjärjestelmän vikaatilanteissa toimimiseen ja voimalaitoksen pölypoltton tehostamiseen. Pölysiilojen vikaantumista pitäisi vähentää paremmalla kunnossapidolla, mutta vikaantumisien varalle työssä kehitettiin siilon ohituslaitteisto. Nykyisellään voimalaitoksen pölypoltossa ei päästä polttimen nimellistehoon asti. Laitteiston optimoinnilla voitaisiin pölypoltton hyviä ominaisuuksia hyödyntää paremmin.

Pelloksella polttoaineiden kanssa työskentelee useita toimijoita. Polttoaineet ja niihin liittyvät laitteet koskettavat tuotantoa, kunnossapitoa, puunvastaanottoa ja voimalaitosta. Tiedot ja taidot ovat siis hajallaan tehtaan sisällä ja kenelläkään ei ole päävastuuta. Osittain tämä voi johtua myös polttoaineen alkuperästä vaneriprosessin sivutuotteena. Tilanne olisi toinen, jos polttoaine ostettaisiin tehdasalueen ulkopuolelta. Käytännössä mainitut asiat toivat työn toteutukseen ajoittain haasteita. Tietoa oli saatavilla monelta taholta ja mielipiteet eri toimintamalleihin olivat kirjavina. Kehitysideoiden muodostuksessa ja arvioinnissa pystyin hyödyntämään omaa pitkää kokemustani Pelloksen vaneritehtailta. Tuloksien ja kehitysideoiden hyödyllisyyden arvioiminen voi siis riippua siitä, kenen toimijan näkökulmasta asiaa katsotaan. Esimerkiksi voimalaitos haluaisi lähtökohtaisesti aina puristettua kuorta poltettavaksi, kun taas kunnossapidon näkökulmasta syntyisi huoltokustannuksien säästöjä puristimien sam-

muttamisesta. Toinen ongelma investointien ja kehitysideoiden kannattavuuden tulokinnassa on se, että polttoaine on vaneriprosessin sivutuote. Näin ollen polttoaineen säästäminen ei ole yhtä suuressa roolissa.

Opinnäytetyön pohjalta kannattaa tulevaisuudessa tarkastella ehdotettujen kehitysideoiden käytännön toteutusta. Polttoaineen kosteuden online-mittauksen hyödyntäminen voimalaitoksen optimoinnissa on tutkimisen arvoinen kehitysidea. Reaaliaikaisella kosteustiedolla voitaisiin parantaa hyötysuhdetta ja vähentää päästöjä. Vaihtoehtoisesti toteuttamalla epäsuora kosteudenmittaus automaatiojärjestelmään antaisi kohtuullisen hyvän arvion polttoaineen laadusta reaaliajassa. Kuoren kuivaamisen osalta kannattaisi suorittaa käytännön kokeita. Opinnäytetyössä viitattiin tutkimuksiin, joissa kuorta kuivattiin ulkona ilmastoiduissa aumoissa sekä tehostettiin mekaanista kuivattamista. Lisäksi pölyjärjestelmää on syytä tutkia enemmän ja panostaa sen toimintavarmuuteen.

## Lähteet

Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Jyväskylä: VTT. Viitattu 12.2.2019. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Bhatia, A. N.d. Pneumatic Conveying Systems. CED Engineering. Viitattu 29.1.2019. [http://pds24.egloos.com/pds/201203/29/98/Pneumatic\\_Conveying\\_Systems.pdf](http://pds24.egloos.com/pds/201203/29/98/Pneumatic_Conveying_Systems.pdf)

Flyktman, M. 2004. Lämpölaitosten polttoaineenkäsittelylaitteiden käytettävyyden parantaminen. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Jyväskylä: VTT.

Flyktman, M. Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. Jyväskylä: VTT.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita.

Huhtinen, M. Korhonen, R. Pimiä, T. & Urpilainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.

Impola, R. 1999. Kuoren käsittely polttoaineeksi. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. Jyväskylä: VTT.

Jalovaara, J. Aho, J. Hietämäki, E. & Hyytiä, H. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW polttolaitoksissa Suomessa. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Järeä ja tuore kuusitukki lähimetsistä on Pelloksen vaneritehtaan ihanneraaka-ainetta, 2019. UPM-Metsä, uutinen. Viitattu 21.1.2019.

<https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/artikkelit/pellos-tuottaa-havuvaneria/>

Järvinen, T. 2000. Seospolttoaineiden toimitus, käsittely, sekoittaminen ja syöttö MF2. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. Jyväskylä: VTT. Viitattu 10.2.2019. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2000/S205.pdf>

Järvinen, T. Malinen, J. Tiitta, M. & Teppola, P. 2007. State of art – selvitys puun kosteusmittauksesta. VTT-raportti. Viitattu 16.2.2019. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2008/01/State\\_of\\_art\\_selvitys\\_puun\\_kosteusmittauksesta\\_2007\\_VTT.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2008/01/State_of_art_selvitys_puun_kosteusmittauksesta_2007_VTT.pdf)

Korpilahti, A & Melkas, T. 2010. Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta. Metsätehon raportti 213. Helsinki: Metsäteho. Viitattu 16.2.2019.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2010/01/Metsatehon raportti 213 Kosteuden online-mittaus metsatahdehakkeesta ak-tm.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2010/01/Metsatehon_raportti_213_Kosteuden_online-mittaus_metsatahdehakkeesta_ak-tm.pdf)

Kuoppamäki, R. Impola, R. & Nikala, L. 2002. Mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteiden polttoteknisten ominaisuuksien parantaminen. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2002. Jyväskylä: VTT. Viitattu 10.2.2019.

<https://www.vtt.fi/inf/pdf/symposiums/2002/S221.pdf>

Kvaerner kerrosleijupetikattila. 2001. Koulutuskansio. Kvaerner Pulping Oy.

Käyttö- ja huolto-ohje. 2001. Helsinki: Teollisuuslämpö Oy.

Lahtinen, P. 2006. Turvepelletin käyttö pääpolttoaineen laadunvaihtelun tasaajana Tikkakosken lämpölaitoksen leijupetikattilassa. Opinnäytetyö, AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Viitattu 25.1.2019.

<https://www.theseus.fi/handle/10024/20531>

Leinonen, L. 2019. Voimalaitoksen operaattori. UPM Pelloksen vaneritehtaat. Haastattelu 4.2.2019.

Olemme Biofore-yhtiö. 2018. Esittely UPM:n www-sivuilla. Viitattu 21.1.2019. <http://www.upm.fi/UPM/Pages/default.aspx>.

Pihkala, J. 2003. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 3. p. Helsinki: Opetushallitus

Puulevyteollisuus. 2017. Toim. R. Varis. Jyväskylä: Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys

Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-132014. 2014. Bioenergia ry, Energiateollisuus ry & Metsäteollisuus ry. Viitattu 2.2.2019.

[http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13\\_2014\\_%20update.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf)

Raitila, J. Virkkunen, M. & Heiskanen, V. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. VTT tutkimus. Viitattu 28.2.2019. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04524-14.pdf>

Rotating Level Indicators. 2016. WAMGROUP brochures. Viitattu 1.3.2019.

Swinderman, T. Marti, A. Goldbeck, L. Marshall, D. & Strebler, M. 2012. The Practical Resource for Cleaner, Safer, More Productive Dust & Material Control. Martin Engineering Company. Viitattu 26.2.2019. [https://www.martin-eng.com/sites/default/files/Foundations/Book%20Downloads/F4\\_B12\\_S1.pdf](https://www.martin-eng.com/sites/default/files/Foundations/Book%20Downloads/F4_B12_S1.pdf)

Särkkä, A. 2015. Pölyn käsittelyjärjestelmän käynnin tehostaminen. Kandidaatintyö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto.

Tutkimus ja kehittäminen. N.d. Jyväskylän ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Optima. Viitattu 10.3.2019

UPM Pellos Plywood Mill, 2019. Esittely UPM Plywood´in www-sivulla. Viitattu 21.1.2019. <https://www.wisaplywood.com>

Vakkilainen, E. 2017. Steam generation from biomass. United Kingdom: Butterworth-Heinemann.

Viirimäki, J. Hiitelmä, J. Maunula, L. Koisti, O. Wikberg, A. Raitila, J. Kouki, J. Vuorio, K. Lappi, M & Vilkkilä, H. 2014. Puupolttoaineen kuivuriopas. Suomen metsäkeskus. Viitattu 20.2.2019. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/julkaisu-polttopuuaineen-kuivuriopas.pdf>

## Liitteet

Liite 1. Puun eri osien teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa MJ/kg (Alakangas ym. 2016, 63)

Puulaji	Rungon puuaine	Kuori	Koko runko	Latvus	Lehdet/ neulaset	Kokopuu	Kannot
Mänty ( <i>Pinus sylvestris</i> ) pienpuu varttunut puu	19,31	19,53	19,33 19,55	20,23 20,09	21,00 21,04	19,53 19,63	22,36
Kuusi ( <i>Picea abies</i> ) pienpuu varttunut puu	19,05	18,80	19,02 19,16	19,77 19,41	19,22 19,19	19,29 19,24	19,18
Hieskoivu ( <i>Betula Pubescens</i> ) pienpuu varttunut puu	18,62	22,75	19,19 19,06	19,94 19,33	19,77 19,36	19,30 19,09	18,61
Rauduskoivu ( <i>Betula pendula</i> ) pienpuu varttunut puu	18,61	22,53	19,15 18,96	19,53 19,61	19,72 19,76	19,21 19,05	18,50
Harmaaleppä ( <i>Alnus incana</i> ) pienpuu varttunut puu	18,67	21,57	19,00 19,14	20,03 19,74	20,57 20,54	19,18 19,22	19,27
Tervaleppä ( <i>Alnus glutinosa</i> ) pienpuu varttunut puu	18,89	21,44	19,31 18,90	19,37 19,47	20,08 19,78	19,31 19,00	18,91
Haapa ( <i>Populus tremula</i> ) pienpuu varttunut puu	18,67	18,57	18,65 18,62	18,61 18,96	19,18 19,02	18,65 18,66	18,32

## Liite 2. Puupolttoainelajien kosteuspitoisuuksia (Alakangas ym. 2016, 62)

Puupolttoainelaji	Kosteus, p-%
Halot ja pilkkeet, juuri hakatut	45
Halot ja pilkkeet, yhden kesän yli varastoidut	25
Halot ja pilkkeet, kahden kesän yli varastoidut	20
Rankahake, tuore	50
Rankahake, rasikuiva	40
Rankahake, ilmakeiva, ylivuotinen	25–30
Metsätähdehake, mänty, tuore	60
Metsätähdehake, kuusi, tuore	50–57
Metsätähde, oksahake, tuore	50
Kantohake	35
Pajuhake	35–40
Hakkeen seulontajäte	50–55
Sahaustähde	5–10
Sahanpuru ja hake, kuivaamaton	50–55
Sahanpuru, kuivatusta sahatavarasta	5–15
Tasauspätkien hake	15
Hiomapöly	5–10
Hiomapöly, puusepän kuiva	15–20
Kutterinpuru, puusepän kuiva	5–10
Kutterinpuru, ilmakeiva	15–20
Puusepänteollisuuden jäte	5–10
Puusepänteollisuuden jäte, ilmakeiva	15–20
Vaneritähde	35–50
Vanerin tasausreunat	5–10
<b>KUITUPUUN KUORI</b>	
Havupuu, kuiva kuljetus	
• kuiva kuorinta	40–50
• märkä kuorinta, puristamaton	60–70
• märkäkuorinta, puristettu	55–62
Havupuun märkäkuljetus tai varastointi vedessä	
• puristamaton	70–85
• puristettu	55–62
Koivupuu	
• märkä kuorinta, puristamaton	65–70
• märkä kuorinta, puristettu	55–62
• kuiva kuorinta	40–50
TUKKIPUUN KUORI, havupuu, kuivakäsittely	40–50
märkäkäsittely	60–80
TUKKIPUUN KUORI, koivu	35–50

## Liite 3. Kattilalaitos 2:n mitoituspolttoaineet (Kvaerner kerrosleijupetikattila 2001)

<b>Polttoaine</b>	<b>Kuusi viilu</b>	<b>Kuusi vaneri</b>	<b>Kuusen kuori</b>	<b>Puupöly</b>
<b>Alempi kuiva- aineen tehollinen lämpö- arvo</b>	19,0 MJ/kg	18,9 MJ/kg	18,7 MJ/kg	19,0 MJ/kg
<b>Mitoituskos- teus</b>	17	7	61	5
<b>Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo saapumisti- lassa</b>	15,3 MJ/kg	17,4 MJ/kg	5,8 MJ/kg	17,9 MJ/kg

## Liite 4. Tehtaalta tulleet polttoaineet 2018

<b>2018</b>	<b>Vaneri ja viilu</b>	<b>Kuori</b>	<b>Pöly</b>
%-energiasta	<b>68,2</b>	<b>16,0</b>	<b>15,9</b>
%-massasta	<b>55,1</b>	<b>34,0</b>	<b>10,9</b>
Kosteusprosentti	27,0		5,0

## Liite 5. Palakokojakauma viilu- ja vanerimurske 21.2

Seula	Seulaan jäänyt prosenttiosuus
Reikäseula 45mm	0,5 %
"Tankoseula" 8mm	4,3 %
Reikäseula 13mm	46,4 %
Reikäseula 7mm	29,0 %
Reikäseula 3mm	18,1 %
Pohja	2,0 %



## Liite 6. Kosteuden määrittäminen viilu- ja vanerimurskeesta 20.2

20.2.2019

Näyte: Kuljettimelta koostettu näyte viilu- ja vanerimursketta

Kuivaus: Uunikuivaus 24h ajan

Märän näytteen ja astian paino = 1688g ( $m_2$ )Astian paino = 1228g ( $m_1$ )Kuivan näytteen ja astian paino = 1654g ( $m_3$ )

$$M_{ar} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

$$M_{ar} = \frac{1688g - 1654g}{1688g - 1228g} * 100 = 7,39$$

## Liite 7. Polttoaineen kosteuden määrittäminen ohje

# Polttoaineen kosteuden määrittäminen

## Näytteenotto

Hyvässä näytteenotossa saadaan koko tutkittavaa polttoaine-erää hyvin edustava näyte. Jokaisella partikkelilla pitäisi olla yhtä suuri todennäköisyys päätyä lopulliseen näytteeseen. Kokoomanäytteet kannattaa muodostaa seuraavista kohteista: oma hakekenttä, Pellos 1/3 ennen ja jälkeen puristuksen, Pellos 2 ennen ja jälkeen puristuksen sekä polttoon kulkeva seos.

1. Näyte otetaan mieluiten liikkuvasta polttoainevirrasta. Jos näyte on otettava polttoainekasasta, käytetään lapiomallista näytteenotinta ja yksittäisiä näytteitä pyritään ottamaan edustavasti jokaisesta kasan kohdasta
2. Yksittäisiä näytteitä pyritään ottamaan 2 kappaletta/50 irtom<sup>3</sup> polttoainetta
3. Yksittäisnäytteiden koko tulee olla 3 litraa haketta ja 5 litraa kuorta

## Näytteiden käsittely

Kerätyistä näytteistä muodostetaan kokoomanäyte. Siinä yksittäisnäytteet yhdistetään, sekoitetaan, tarvittaessa murskataan ja lopulta jaetaan sopivan pieneksi kokoomanäytteeksi.

1. Sekoitetaan yhdestä lähteestä kerätyt yksittäisnäytteet
2. Jaetaan kokoomanäytettä niin, että jäljelle jää kahden litran näyte kosteuden määrittämistä varten
  - a. Jakaminen voidaan suorittaa neliöintimenetelmällä. Siinä jaettava seos levitetään tasaiselle sileälle alustalle ja jaetaan neljään yhtä suureen osaan. Vastakkaiset jakeet hylätään ja toiset vastakkaiset otetaan talteen. Toistetaan sama, kunnes saadaan sopiva näyte kuivaukseen
  - b. Jakaminen voidaan suorittaa siihen tarkoitettulla jakolaitteella.
3. Jos esimerkiksi kuoren palakoko on erityisen suuri, olisi se tässä vaiheessa jauhettava pienemmäksi

## Kuivaus

Näyte on pyrittävä kuivaamaan mahdollisimman nopeasti sen keräämisen ja jakamisen jälkeen.

1. Punnitaan näyte kuivausastia mukaan lukien ( $m_2$ ) sekä tyhjän kuivausastian paino ( $m_1$ )
2. Kuivattavat näytteet sijoitetaan lämpökaappiin, jonka lämpötila on  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
3. Näytteitä kuivataan, kunnes kaikki kosteus on poistunut, mutta maksimissaan 24 tunnin ajan
4. Punnitaan kunkin kuivan näytteen ja kuivausastian yhteispaino ( $m_3$ )

$$M_{ar} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

Liite 8. Pölyn siirron ja varastoinnin havainnekuva

