



# **NOxOPTI – ENERGIA TUOTANTO- YKSIKÖIDEN PÄÄSTÖJEN MONITOROINTI JA HALLINTA**

Niina Laurila (toim.)



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu



Niina Laurila (toim.)

# NOxOPTI – ENERGIA- TUOTANTOYKSIKÖIDEN PÄÄSTÖJEN MONITOROINTI JA HALLINTA



Elinkeino-, liikenne- ja  
ympäristökeskus

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

XAMK KEHITTÄÄ 178

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU  
MIKKELI 2021



© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN: 978-952-344-401-0 (nid.)

ISBN: 978-952-344-402-7 (PDF)

ISSN: 2489-2467 (nid.)

ISSN: 2489-3102 (verkko)

[julkaisut@xamk.fi](mailto:julkaisut@xamk.fi)



# LUKIJALLE

Energiatuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta – NOxOpti -hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalalla. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Tiina ja Antti Herlinin säätiö sekä Etelä-Savon Energia Oy.

Hanke toteutettiin ajalla 1.1.2019–31.12.2021. Hankkeen projektipäällikkönä toimi ins. (AMK) Niina Laurila. Hankkeessa tutkimusinsinöörinä työskenteli 1.1.–31.3.2019 Salla Pulliainen (ent. Thil) (ins. AMK). Uutena tutkimusinsinöörinä aloitti Juha Vihavainen (ins. AMK) 13.5.2019. NOxOpti-hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja FT Lasse Pulkkinen ja yhteyshenkilönä TkT Hanne Soininen.

Hankkeen etenemistä ohjasi ja valvoi ohjausryhmä, johon kuuluivat ympäristöinsinööri Irene Auvinen Etelä-Savon Energia Oy:stä, operatiivinen johtaja Timo Laurila Savcor Oy:stä, toimitusjohtaja Seppo Paavilainen Tassu ESP Oy:stä, liiketoimintajohtaja Heikki Tirkkonen Suur-Savon Sähkö Oy:stä ja 2.5.2020 alkaen kehitys- ja innovaatiopäällikkö Mika Laine Suur-Savon Sähkö Oy:stä ja tutkimuspäällikkö Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta. Hankkeen ohjausryhmässä rahoittajan edustajina toimivat rahotusasiantuntija Esa Pekonen, rahoitusasiantuntija Jaana Tuhkalainen (1.1.2019–29.2.2020) ja yritysasiantuntija Jarkko Rautio (1.3.2020–31.12.2021) Etelä-Savon ELY-keskuksesta.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajia kehittämistyön rahoittamisesta sekä muita hankkeeseen osallistuneita hanketyöhön osallistumisesta.

Mikkelissä 21.12.2021



# KIRJOITTAJAT

**JUHANI GYNTHNER**, ins. (AMK), projektipäällikkö  
Savcor Oy

**VESA KALLIOKOSKI**, huoltoasentaja  
Arterm Service Oy

**MIKA LAINE**, DI, kehitys- ja innovaatiopäällikkö  
Suur-Savon Sähkö Oy

**NIINA LAURILA**, ins. (AMK), projektipäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**SALLA PULLIAINEN**, ins. (AMK), tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**HANNE SOININEN**, TkT, tutkimuspäällikkö  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

**HEIKKI TIRKKONEN**, DI, konsultti energiaratkaisut  
Casfin Oy

**JUHA VIHAVAINEN**, ins. (AMK), tutkimusinsinööri  
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala



# SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
KIRJOITTAJAT .....	4
UUSIA MENETELMIÄ PÄÄSTÖJEN HALLINTAAN .....	6
Niina Laurila & Hanne Soininen	
LAKIKATSAUS ENERGiantuotantolaitosten päästöraja-arvoihin...	8
Juha Vihavainen & Salla Pulliainen	
SAVUKAASUPÄÄSTÖJEN HALLINTA .....	13
Niina Laurila, Juha Vihavainen & Salla Pulliainen	
ETELÄ-SAVON KESKISUURTEN BIOVOIMAKATTILOIDEN PÄÄSTÖJEN NYKYTILASELVITYS.....	29
Juha Vihavainen & Niina Laurila	
TYPPIOKSIDIPÄÄSTÖJEN HALLINTA – DEMONSTRAATIOKOE .....	36
Niina Laurila, Juha Vihavainen, Juhani Gynther & Mika Laine	
PIENEN MITTAKAAVAN DEMONSTRAATIOPOLTTOKokeet ARITERM SERVICE OY:N KOEKATTILALLA.....	56
Juha Vihavainen, Niina Laurila & Vesa Kalliokoski	
SELVITYS VAIHTOEHTOISEN PÄÄSTÖJENHALLINTAMENETELMÄN KAUPALLISTAMISMAHDOLLISUUDESTA .....	65
Niina Laurila & Heikki Tirkkonen	
BIOMATERIAALIT PÄÄSTÖJEN HALLINNASSA.....	78
Niina Laurila & Juha Vihavainen	



# UUSIA MENETELMIÄ PÄÄSTÖJEN HALLINTAAN

Niina Laurila & Hanne Soininen

NOxOpti – Energiatuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta -hankkeen tavoitteena oli biopolttoaineita käyttävien energiantuotantoyksiköiden päästöjen hallinnan ja monitoroinnin kehittäminen. Tavoitteena oli saavuttaa entistä ympäristöturvallisemmat ja puhtaammat polttoprosessit keskisuurissa energiantuotantolaitoksissa (1–50 MW). Hankkeessa toteutetuilla demonstraatiokokeilla saatiin uutta tietoa biomateriaalien käytettävyydestä kattilalaitosten savukaasupäästöjen hallinnassa. Hanketta toteutti Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta, Tiina ja Antti Herlinin säätiö sekä Etelä-Savon Energia Oy. Hankkeen toteutukseen osallistuivat Suur-Savon Sähkö Oy, Savcor Oy ja Tassu ESP.

## HANKKEEN TOIMENPITEET

NOxOpti-hankkeessa kehitettiin biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten päästöjen hallintaa ja monitorointia. Hanke toteutettiin viidellä toimenpiteellä, jotka on esitetty kuvassa 1.



1. Etelä-Savon kattiloiden päästöjen nykytilaselvitys



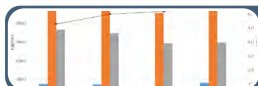
2. Savukaasupäästöjen hallinnan ja vähentämisen menetelmät



3. Päästöjen hallinnan demonstraatiokokeet



4. Kaupallistamismahdollisuuksien selvittäminen



5. Tulosten raportointi ja tiedottaminen

**KUVA 1.** NOxOpti-hankkeen toimenpiteet (kuva Niina Laurila)



Hankkeessa toteutettiin savukaasu- ja hiukkaspäästöjen nykytilan selvitys 1–50 MW:n biokattiloiden osalta. Päästöjen mittaamisen lisäksi selvitettiin kohteissa käytetyn polttoaineen, kattilatekniikan sekä savukaasujen puhdistusratkaisujen vaikutuksia päästöjen laatuun.

Kaasumaisten päästöjen vähentämisen nykykeinoista sekä päästöjen vähentämisen uusista ratkaisuista ja niiden kustannustehokkuudesta tarkasteltiin tarkemmin hankkeen toisessa työpaketissa. Tarkastelun kohteena olivat myös hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöjen online-monitorointimenetelmät sekä niiden kustannustehokkuus.

Demonstraatiokokeissa selvitettiin turpeen päästöjen hallintaa seospolttoaineilla. Ensimmäisessä kokeessa testattiin ammoniakkaa sisältävän biopolttoaineen vaikutusta NO<sub>x</sub>-päästöihin Suur-Savon Sähkön Oy:n Juvan kaukolämpölaitoksella. Saarijärvellä Arterm Service Oy:n koekattilalla toteutetussa kokeessa testattiin puuperäisen lentotuhkan käyttökelpoisuutta rikkipäästöjen hallinnassa. Demonstraatiokokeiden tulosten perusteella testatuille menetelmille tehtiin teknistaloudellinen tarkastelu sekä selvitettiin kustannustehokkuus sekä alustava markkinapotentiaali.

## **TULOKSENA TIETOA BIOMATERIAALIEN KÄYTETTÄVYYDESTÄ SAVUKAASUPÄÄSTÖJEN HALLINNASSA**

Tuloksena saatiin tietoa 1–50 MW:n kokoluokan bioenergialaitosten savukaasu- ja hiukkaspäästöistä sekä käytetyn polttoaineen, kattilatekniikan ja savukaasujen puhdistusratkaisujen vaikutuksista päästöjen laatuun. Hankkeessa tehty selvitys antaa tietoa päästöjen vähentämisen menetelmistä sekä uusista ratkaisuista ja niiden kustannustehokkuudesta sekä hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöjen online-monitorointimenetelmistä kustannustietoineen. Demonstraatiokokeiden tuloksena saatiin käytännön tietoa biomateriaalien käytöstä savukaasupäästöjen hallinnassa. Teknistaloudellinen tarkastelu antoi tietoa testattujen menetelmien kustannustehokkuudesta. Tässä julkaisussa kerrotaan hankkeen toimenpiteiden toteutuksesta sekä tuloksista.



# LAKIKATSAUS ENERGIAN- TUOTANTOLAITOSTEN PÄÄSTÖRAJA-ARVOIHIN

Juha Vihavainen & Salla Pulliainen

Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristön-suojeluvaatimuksista 1065/2017 eli PIPO-asetus vastaa Suomessa EU:n direktiivien mukaisiin päästörajoihin. Asetusta sovelletaan kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta käyttäviin energiantuotantoyksiköihin, joiden polttoaineteho on 1–50 megawattia.

PIPO-asetus uusiutui 1.1.2018 koskemaan täysimääräisesti myös vanhoja energiantuotantoyksiköjä aikaisemmin sen koskiessa vain uusia yksiköitä. Asetuksen ulkopuolella olleet 1–5 megawatin laitokset kuuluvat nyt myös uuden PIPO-asetuksen piiriin. Asetus käsittää vaatimuksia liittyen muun muassa savupiipun korkeuteen, meluntorjuntaan, jätevesien käsittelyyn, toiminnan tarkkailuun ja raportointiin. Tässä artikkelissa käsitellään ainoastaan asetuksen siirtymäkauden sekä uusia päästöraja-arvoja biopolttoaineille.

## SIIRTYMÄKAUDEN PÄÄSTÖRAJA-ARVOT

Ilmaan johdettavien savukaasupäästöjen osalta uusi asetus tiukensi päästöraja-arvoja ku-mottuun asetukseen verrattuna, ja asetuksella säädetään rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ), typen oksidien ( $\text{NO}_x$ ) ja hiukkasten ilmaan johdettavista päästöraja-arvoista. Tämän myötä joillain energiantuotantolaitoksilla on edessään investointeja ja prosessimuutoksia uusien päästö-vähennysten saavuttamiseksi. Ennen uusien päästöraja-arvojen voimaantuloa on käytössä siirtymäajan päästöraja-arvot, jotka on esitetty taulukossa 1 ja ne koskevat 1.6.2010 käytössä olleilta laitoksia. Olemassa olevilla ja uusilla (päivämäärän 20.12.2018 jälkeen käyttöön otetut laitokset) energiantuotantolaitoksilla on eri raja-arvot.



**TAULUKKO 1.** Siirtymäkauden päästöraja-arvot energiantuotantoyksiköille, jotka ovat olleet toiminnassa 1.6.2010 (VNa 1065/2017).

	Hiukkaset (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)
<b>Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>
1–5 MW	300	450	200
5–10 MW	150	450	200
10–50 MW	50	450	200
<b>Turve</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>
1–5 MW	300	600	500
5–10 MW	150	600	500
10–50 MW	50	600	500

Päästörajoissa otetaan huomioon polttoainetehon ja polttotekniikan lisäksi laitoksen ikä, mutta vanhemmilla laitoksilla on hieman löyhemmät päästöraja-arvot kuin uusilla laitoksilla. Taulukossa 2 on esitetty muiden kuin taulukossa 1 tarkoitetut olemassa olevat energiantuotantoyksiköt.

**TAULUKKO 2.** Siirtymäkauden päästöraja-arvot muille kuin taulukossa 1 tarkoitetuille olemassa oleville energiantuotantoyksiköille (VNa 1065/2017).

	Hiukkaset (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)
<b>Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>
1–5 MW	200	375	200
5–10 MW	50	375	200
10–50 MW	40	375	200
<b>Turve</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>	<b>O<sub>2</sub> = 6 %</b>
1–5 MW	200	500	500
5–10 MW	50	500	500
10–50 MW	40	500	500

Uusien päästörajojen käyttöönottoon ovat siirtymäajat laitoksen polttoainetehosta riippuen seuraavat: 1–5 MW:n laitoksilla siirtymäaika on 1.1.2030 asti ja 5–50 MW:n laitoksilla 1.1.2025 saakka. Taulukossa 3 on esitetty uudet päästöraja-arvot olemassa oleville energiantuotantolaitoksille siirtymäajan jälkeen.



**TAULUKKO 3.** Olemassa olevien energiantuotantoyksiköiden päästöraja-arvot siirtymäajan jälkeen (VNa 1065/2017).

Polttoaine	Kattilan polttoainetehto (MW)	Hiukkaset (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)
Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet	1–5	50	450	200
	5–20	50	450	200
	> 20	30	450	200
Turve	1–5	50	600	500
	5–20	50	600	500
	> 20	30	600	400

## UUDET PÄÄSTÖRAJA-ARVOT

Uusiksi energiantuotantoyksiköiksi luetaan kaikki 20.12.2018 jälkeen valmistuneet laitokset. Luonnollisesti näillä uusilla energiantuotantoyksiköillä ei ole päästöraja-arvojen siirtymäaikaa. Uusien energiantuotantoyksiköiden rikkidioksidin (SO<sub>2</sub>), typenoksidien (NO<sub>x</sub>) ja hiukkasten päästöt ilmaan eivät saa 20.12.2018 alkaen ylittää taulukon 4 mukaisia päästöraja-arvoja. (VNa 1065/2017)

**TAULUKKO 4.** Päästöraja-arvot uusille energiantuotantoyksiköille (VNa 1065/2017).

Polttoaine	Kattilan polttoainetehto (MW)	Hiukkaset (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)
Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet	1–5	50	375	200
	5–20	30	300	200
	> 20	20	300	200
Turve	1–5	50	500	400
	5–20	30	300	400
	> 20	20	300	400

Toiminnanharjoittajilla on velvollisuus tehdä määräaikaismittauksia päästörajojen toteutumisen seuraamiseksi. Lisäksi tulee olla suunnitelma, jonka avulla päästörajoja tarkkailaan. Laitoksen polttoainetehto ja vuoruiset käyttötunnit vaikuttavat siihen, kuinka usein määräaikaismittauksia tulee tehdä.



## LANNANPOLTON RAJA-ARVOT

Lannan käyttöä polttoaineena koskeva EU:n sivutuotelainsäädännön muutos (Komission asetus (EU) N:o 1262/2017) tuli voimaan 2.8.2017. Muutoksen myötä tuotantoeläinten lannanpolttoa ei enää katsota jätteenpoltoksi korkeintaan 50 MW:n kattiloissa, joten toiminnassa ei myöskään tarvitse noudattaa jätteenpolttolainsäädäntöä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jatkuvatoimisia savukaasupäästömittauksia ei enää tarvitse tehdä lantaa poltettaessa. (Ympäristöministeriö 2018)

Sivutuoteasetuksessa on yleisiä vaatimuksia liittyen lannan käytön hygieniaan, varastointiin, tuholaiistorjuntaan, kirjanpitoon, kattilan sijaintiin ja lannan syöttöön. Jos kattila kuuluu PIPO-asetuksen piiriin, siihen pätevät muut PIPO-asetuksen määräykset. Palamiselle ja päästöraja-arvoille on myös omat vaatimuksensa. Taulukossa 5 on esitetty päästöraja-arvot lannanpoltolle. Poltossa savukaasun lämpötila on nostettava kahdeksi sekunniksi 850 °C:seen tai 0,2 sekunniksi 1 100 °C:seen. Mittaus on tallennettava automaattisesti ja pystyttävä esittämään viranomaiselle. Kattilassa on myös oltava lisäpoltin, joka mahdollistaa vaaditun lämpötilan säilymisen alasajo- ja käynnistystilanteissa. (Ympäristöministeriö ym. 2018)

**TAULUKKO 5.** Lannanpoltton päästöraja-arvot 6 %:n happipitoisuudessa (Ympäristöministeriö ym. 2018).

Päästösuure	Päästöraja-arvo (mg/m <sup>3</sup> n) (6 % O <sub>2</sub> )
Rikkidioksidi SO <sub>2</sub>	75
Typen oksidit	300
Hiukkaset	15 (yli 5 MW: 75 mg/m <sup>3</sup> n)

Jos lantaa poltetaan muun polttoaineen seassa, tarkemmat päästöraja-arvot määritetään PIPO-asetuksen liitteen 1A laskentakaavalla (VNa 1065/2017). Ilmanpäästöt on lainsäädännön mukaan mitattava vuosittain.

## YHTEENVETO

Merkittävimmät muutokset uudessa MCP-direktiiviin perustuvassa PIPO-asetuksessa ovat uudet päästöraja-arvot ja pienempien (1–5 MW) sekä siirrettävien yksiköiden ottaminen mukaan lainsäädännön piiriin. Merkittävimmät päästöraja-arvojen tiukennukset koskevat pienhiukkaspäästöjä, joilla tiedetään olevan haitallisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia. Päästörajat astuvat voimaan uusille kattiloille heti, olemassa oleville 5–50 MW:n yksiköille vuoden 2025 alusta ja 1–50 MW:n yksiköille vuoden 2030 alusta. Siirtymäkauden päästöraja-arvot vastaavat kumotun PIPO-asetuksen päästöraja-arvoja.



Raja-arvojen tiukentumisen vuoksi joillain toiminnanharjoittajilla on edessään investointeja päästöjen saamisessa sallitulle tasolle, mutta siirtymäaika on myös pitkä. Pienillä, 1–5 MW:n laitoksilla siirtymäaika on lainsäädännön voimaantulosta 12 vuotta.

## LÄHTEET

VNa 1065/2017. Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvuatomuksista. 20.12.2017. Helsinki. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>.

Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö, Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2018. Tuotantoeläinten lannan käyttö polttoaineena polttoaineteholtaan enintään 50 MW:n kattiloissa. Viitattu 13.10.2021. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Ohje+Tuotantoel%C3%A4inten+lannan+polttoainek%C3%A4ytt%C3%B6+enint%C3%A4%C3%A4n+50+MWn+kattiloissa.pdf/9075b801-9067-e8e5-4d4c-a8e0fd9bf1ea/Ohje+Tuotantoel%C3%A4inten+lannan+polttoainek%C3%A4ytt%C3%B6+enint%C3%A4%C3%A4n+50+MWn+kattiloissa.pdf?t=1605689847541>.



# SAVUKAASUPÄÄSTÖJEN HALLINTA

Niina Laurila, Juha Vihavainen & Salla Pulliainen

Polttamalla tuotettuun energiantuotantoon liittyy aina päästöjä, jotka voivat olla peräisin itse polttoaineesta, mutta myös käytetystä polttotekniikasta. Polttoaineen koostumuksella on merkitystä. Esimerkiksi poltossa syntyvät rikkipäästöt ovat peräisin polttoaineesta. Hiilidioksidia taas syntyy kaikista polttoaineista, jotka sisältävät hiiltä. Epätäydellisestä palamisesta syntyy taas häkää. Syynä tähän voi olla kattilan kuormitus, ajotapa tai häiriötilanteet. NO<sub>x</sub>-päästöjä syntyy polttoaineesta, polttoilmasta sekä korkeasta polttolämpötilasta. Hiukkasia vapautuu polton yhteydessä. Poltossa voi vapautua myös haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) sekä kloori- ja PAH-yhdisteitä.

## KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN RATKAISUT

Kaasumaisten päästöjen puhdistusratkaisujen valintaan vaikuttavat käytetty polttoaine, kattilan kokoluokka, puhdistusasteen vaatimukset ja kustannustehokkuus. Savukaasujen päästöjen hallintaan voidaan vaikuttaa primäärisin ja sekundäärisin keinoin. Primäärisillä keinoilla pyritään vaikuttamaan päästöjen muodostumiseen kattilassa tapahtuvan polttoprosessin tekijöitä muokkaamalla, ja sekundääriset hallintakeinot puhdistavat jo muodostuneita savukaasuja kattilan jälkeen. (Salhoja 2017)

## TYPEN OKSIDIEN (NO<sub>x</sub>) VÄHENNYSMENETELMÄT

Typen oksidien muodostumiseen vaikuttavat polttoaine ja palamisolosuhteet. Yleisesti käytetty typen oksidien muodostumisen hallintakeino on palamisparametrien optimointi: mahdollisimman täydellinen palaminen tuottaa mahdollisimman vähän päästöjä (Pessa 2016, Salhoja 2017). Palamisolosuhteista erityisesti prosessin lämpötilalla on merkittävä vaikutus syntyvien typen oksidien määrään; mitä korkeampi palamislämpötila on, sitä enemmän typen oksideja muodostuu. Näin ollen typen oksidien päästöjä voidaan pienentää palamislämpötilaa alentamalla. (Magnusson 2006) Lämpötilan säätelyllä sekä ilmamäärää vähentämällä voidaan vaikuttaa erityisesti termisen NO:n muodostumisen vähentämiseen (Ketonen 2019).

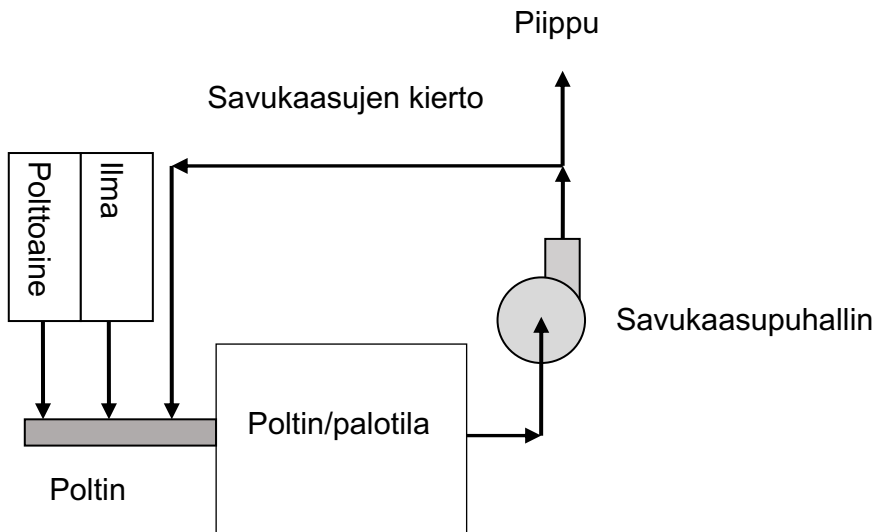


## ILMAN VAIHEISTUS

Typpiyhdisteiden hapettumista typpimonoksidiksi voidaan vähentää pelkistämällä yhdisteet palamisilman syötön vaiheistuksella. Menetelmässä ilma vaiheistetaan kaksi- tai kolmivaiheiseksi (OFA, Overfire Air). Ilman syöttö liekin juureen, primäärivöhykkeelle, aiheuttaa typpeä sisältävien aineiden reagoimisen typpimolekyyleiksi, jolloin sekundäärivöhykkeeltä lisätty ilma ei siten enää pysty reagoimaan typpimonoksidiksi. (Raiko ym. 1995)

## SAVUKAASUKIERRÄTYS

Typpimonoksidin muodostumiseen voidaan vaikuttaa lämpötilaa ja happiolosuhteita muuttamalla. Näitä olosuhteita voidaan vähentää savukaasukierrätyksellä (FGR, Flue Gas Recirculation), jossa osa savukaasuista syötetään palamisilman sekaan ennen poltinta. Menetelmä laskee prosessin lämpötilaa ja happipitoisuutta, jolloin palamisreaktio hidastuu ja typpimonoksidin muodostuminen vähenee. (Salhoja 2017) Kuvassa 1 on esitetty savukaasukierrätyksen toimintaperiaate.

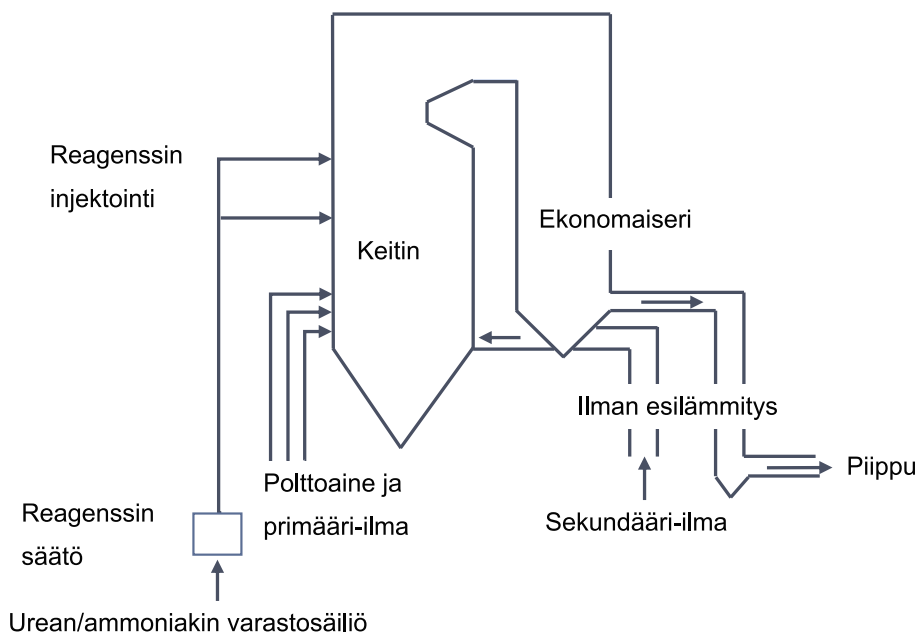


**KUVA 1.** Savukaasukierrätyksen toimintaperiaate (mukaillen Baukal, C.E 2000).



## SNCR-MENETELMÄ

Selektiivinen ei-katalyyttinen NO<sub>x</sub>-pelkistys (SNCR-menetelmä) on yleisimmin käytetty typen oksidien päästöjen vähennysmenetelmä biovoimalaitoksissa, ja sillä voidaan vähentää 40-80 prosenttia typpimonoksidipäästöjä. Menetelmässä tulipesään lisätään ammoniakkia tai ureaa, jossa aine reagoi hapen kanssa muodostaen sivutuotteena vettä. Muodostunut vesi haihtuu, reagenssi hajoaa reagoiviksi aineiksi ja aineet edelleen pelkistävät typpimonoksidin typpimolekyyleiksi. Reaktion muodostumiseksi lämpötilan tulee olla 850–1 000 °C, sillä tätä korkeammassa lämpötilassa ammoniakki alkaa reagoida ja muuttua typpimonoksidiksi, ja matalamassa lämpötilassa ammoniakki alkaa hajota muodostaen NH<sub>3</sub>-päästöjä. Urean (NH<sub>2</sub>CONH<sub>2</sub>) käyttäminen kemiallisesti valmistetun ammoniakin sijaan on turvallisempi vaihtoehto säilytyksen ja käsittelyn kannalta, ja se sopii käytettäväksi myös hiukan matalammissa lämpötiloissa. (Salhoja 2017) Kuvassa 2 on esitetty SNCR-menetelmän toimintaperiaate.



**KUVA 2.** SNCR-menetelmän toimintaperiaate (mukaillen Srivastava 2005).

SNCR-menetelmän haittapuolena hiilimonoksidin (CO) ja dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) sekä mahdollisesti myös ammoniakin päästöt lisääntyvät. Menetelmän haasteena on tarkka lämpötila-alue, jolla palaminen tulee tapahtua pelkistysreaktion aikaansaamiseksi. (Salhoja 2017)



## SCR-MENETELMÄ

SCR-menetelmässä (Selective Catalytic Reduction) savukaasuihin lisätään ammoniakkia savukaasukanavassa ennen ilman esilämmitintä lämpötilan ollessa noin 350–400 °C, joka on paljon alhaisempi kuin SNCR-menetelmässä. Ammoniakin reagoidessa typen oksidien kanssa syntyy vettä ja typpimolekyyliä, eli reaktio saa aikaan typpimonoksidin ja typpidioksidin hajoamisen. Savukaasuissa päästään jopa 90–95 prosentin NO<sub>x</sub>-päästöjen vähennyksiin.

Haittapuolena menetelmässä on mahdollinen korroosion tapahtuminen savukaasukanavassa. Rikkidioksidi hapettuu rikkiatrioksidiksi, ja reaktiosta saattaa muodostua ammoniumsulfaattiyhdisteitä. SCR-menetelmä ei sovellu täysin biovoimalakäyttöön, sillä biomassojen savukaasujen on havaittu aiheuttavan katalyyttien deaktivoitumista (Raiko ym. 1995).

## RIKKIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN (SO<sub>2</sub>) VÄHENNYSMENETELMÄT

Savukaasujen rikkidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa usein eri prosesseilla. Prosessit voidaan jakaa regeneroiviin ja ei-regeneroiviin menetelmiin, jotka voidaan edelleen jakaa kuiva-, puolikuiva- ja märkäprosesseihin. Rikkidioksidipäästöjen ollessa riippuvaisia polttoaineen rikkipitoisuudesta voidaan rikkidioksidipäästöihin vaikuttaa parhaiten primäärisin keinoin eli polttoainevalinnoilla ja käyttämällä etenkin polttoaineseoksia. Esimerkiksi puun ja turpeen seospoltossa puun tuhka sitoo turpeen rikkiä, jolloin myös poltossa muodostuvien pienhiukkasten muodostus vähenee. (Flyktam ym. 2012) Myös polttoaineen valinnalla voidaan vaikuttaa rikkipäästöjen määrään, ja esimerkiksi puu on vähärikkinen polttoaine.

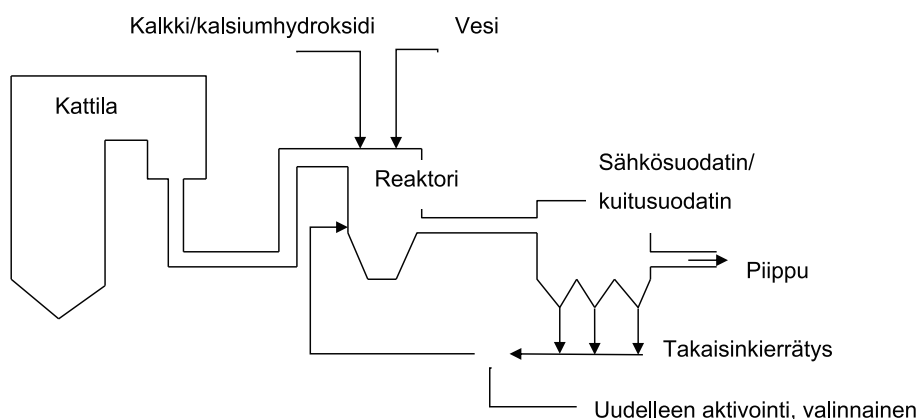
## MÄRKÄPROSESSIT

Märkäprosesseihin lukeutuva kalkkikivipesuri on rikinpoistoon yleisimmin käytetty menetelmä. Pesurissa savukaasu poistetaan hienoksi jauhetulla kalkkikivilietteellä, jonka kalsiumkarbonaattipitoisuus (CaCO<sub>3</sub>) on yli 95 %. Uusimmissa kalkkikivipesuri-järjestelmissä erotustehokkuus on jopa 99 %. Käyttökustannuksiltaan kyseiset pesurit ovat edullisia materiaalin hyvän saatavuuden ja edullisten käsittelykulujen vuoksi. Lisäksi kustannuksia voidaan kompensoida jatkokäyttämällä tai myymällä pesurin käyttämän hapetuksen sivutuotteena syntyvää kipsiä rappauksen, sementin tai kipsilevyn valmistukseen. (Pessa 2016)



## PUOLIKUIVA- JA KUIVAPROSESSIT

Puolikuivaprosessissa käytetään sumukuivaustekniikkaa. Pesurin sorbenttina käytetään yleensä reaktoriin sumutettavaa kalkkia ( $\text{CaO}$ ) tai kalsiumhydroksidia ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Menetelmä sopii suuren teholuokan kattiloille, joissa käytetyn polttoaineen rikkipitoisuus on matala. Märkäprosesseihin verrattuna sumukuivaustekniikka on halvempi, mutta erotuskyvyltään heikompi. (Pessa 2016) Sumukuivauspesurin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.



**KUVA 3.** Sumukuivauspesurin prosessikaavio (mukaillen, Finnish Environmental Institute 2001).

## HIUKKASPÄÄSTÖJEN VÄHENNYSMENETELMÄT

### MÄRKÄPESURIT

Savukaasujen märkäpesuri vähentää savukaasupäästöjen hiukkaspitoisuutta. Uudet märkäpesurit ovat kaksivaiheisia, sillä hiukkassuodatuksen lisäksi pesurit ottavat talteen savukaasujen hukkalämpöä. Pesuvaiheessa savukaasut jäähdytetään märkälämpötilaan ( $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ja niistä poistetaan pääosa pienhiukkasista. Tämän jälkeen kaasut johdetaan lauhduttimeen, josta savukaasu johtaa lämpönsä lauhdeveeteen. Lauhdevedestä lämpöenergia otetaan edelleen talteen kaukolämpöveeteen. (Järvenreuna & Nummila 2021)

### SÄHKÖSUODATTIMET

Käytetyin hiukkaserotinmenetelmä kiinteitä polttoaineita käyttävissä laitoksissa on sähkösuodatin, jossa pölyhiukkasten erotus perustuu kaasumolekyylien ionisointiin. Sähkösuodatuksessa partikkelit varataan ensin koronapurkauksella. Tämän jälkeen partikkelit kerätään positiiviselle keräinelektrodille, josta ne puhdistetaan pois. (Ohlström 1998) Sähkösuodattimet ovat tehokkaita, sillä niillä on korkea erotusaste ja matalat käyttökustannukset. Ne pystyvät



suodattamaan suuriakin tilavuusvirtoja, ja sen erotuskyky riittää myös pienhiukkasille erotustehokkuuden ollessa jopa 99,8 % (Pessa 2016).

## KUITUSUODATTIMET

Kuitusuodattimissa savukaasut johdetaan yhden tai useamman kuitusuodatinpussi- tai letkurivin läpi. Suodattimet tulee puhdistaa ja vaihtaa niiden likaannuttua, ja ne voidaan jakaa tyhjennystapansa mukaan kolmeen eri luokkaan. Suodatustekniikalla on hyvä erotustehokkuus: pienillä hiukkasilla 99 % ja kokonaiserotustehokkuus kaikille hiukkaisille 99,95 %. (Ohlström 1998)

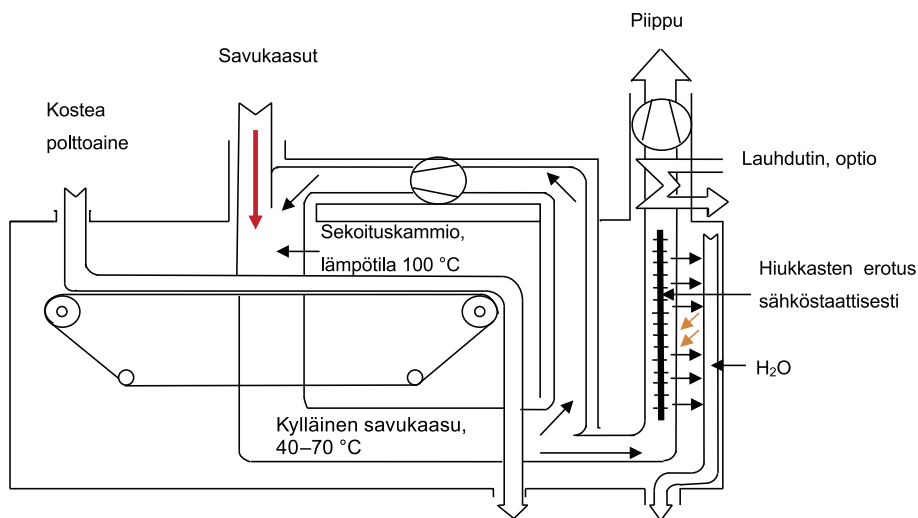
## DYNAAMISET EROTTIMET

Dynaamisiin erottimiin kuuluvat sedimentaatiokammiot, lamellierottimet ja syklonit, joiden hiukkastenerottelukyky perustuu painovoimaan tai pyörimisliikkeen aiheuttamaan keskipakovoimaan. Sedimentaatiokammioissa ja lamellierottimissa painovoima erottelee suurikokoiset hiukkaset kevyemmästä savukaasusta, jolloin kyseisiä menetelmiä voidaan käyttää esierottimena suurimpien partikkeleiden poistoon. Syklonin toiminta sen sijaan perustuu hiukkasten sinkoutumiseen keskipakovoiman avulla syklonin ulkoreunoille, josta ne valuvat säiliöön ja siten pois savukaasusta. Syklonien erottelukyky sopii myös pienhiukkasille, mutta erotuskyky heikkenee syklonin halkaisijan kasvaessa. Asentamalla savukaasuvirtaan useita pienempiä sykloneita rinnakkain voidaan hiukkastenerottelukyky pitää tehokkaana suurillakin savukaasujen tilavuusvirroilla. Tällöin kyse on multisyklonista. (Pessa 2016)

## OEKOSOLVE AG -HIUKKASSUODATIN

OekoSolven ESP (Efficient electrostatic precipitator) -suodattimeen on yhdistetty suodatuksen lisäksi polttoaineen esikuivatus. Kuivauksessa poltossa syntyneet savukaasut johdatetaan hihnalla olevan polttoainekerroksen läpi, jolloin polttoaineen kosteus poistuu (kuva 4). Samalla karkeat hiukkaset poistuvat savukaasusta. Kosteaa savukaasua johdetaan tämän jälkeen sähköstaattiselle hiukkassuodattimelle. Polttoaineen esikuivaus mahdollistaa puhtaamman polton paremmalla hyötysuhteella samalla, kun poltossa syntyvät päästöt ovat vähäisempiä. Kuivauslämpötila säädetään 100 °C:seen sekoittamalla osa jäähtyneistä savukaasuista kattilalta tulevan savukaasun kanssa. Menetelmä sopii puuta polttaville, enintään 10 MW:n laitoksille. (OekoSolve AG s.a.)





**KUVA 4.** OekoSolve AG -järjestelmällä polttoaineen kuivauksen lisäksi poistetaan hiukkaset savukaasusta (mukaillen OekoSolve AG s.a.).

## FILTRABIT

Filtrabit-laitteisto on suunniteltu poistamaan pienhiukkasia samalla, kun laite ottaa talteen lämpöä. Pölynkeräyksessä hyödynnetään virtausdynamiikkaa. Pölyn erotus kaasusta tapahtuu lieriön ulkokehällä olevien imuputkien avulla, joista pöly siirtyy sivukanavia pitkin keruuyksikköön. Menetelmän eduksi voidaan sanoa se, ettei laitteistossa tarvita suodatimia, käsiteltävän kaasun lämpötila voi olla jopa 1 000 °C ja laitteisto voidaan toimittaa konttiratkaisuna. (Mainio 2021)

## KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN ONLINE-MONITOROINTI

Reaaliaikainen ympäristövaikutusten monitorointi tuottaa tietoa prosessien toiminnasta ja erilaisten toimintavaihtoehtojen todellisista vaikutuksista. Reaaliaikainen monitorointi mahdollistaa myös prosessin optimoinnin ohjaamalla savukaasujen puhdistusprosesseja niin, että tunti-, vuorokausi- tai kuukausijaksoille määritetyt päästörajat eivät ylitä (Majanne ym. 2015).

VNa 1065/2017:n mukaan palamisolosuhteiden parametrejä, kuten happipitoisuutta, savukaasun lämpötilaa ja hiilimonoksidipitoisuutta, tulee seurata jatkuvatoimisesti uusissa energiantuotantoyksiköissä sekä yli viiden megawatin yksiköissä, joiden käyntiaika on yli 1 500 tuntia vuodessa viiden vuoden liukuvana keskiarvona.



Voimalaitoksille on tarjolla täysin automatisoituja päästöjenhallintajärjestelmiä, jotka sisältävät mittauksen, seurannan ja raportoinnin. Valvovan viranomaisen on mahdollista saada päästötieto puolen tunnin tarkkuudella. (Pohjolan Voima Oyj 2020). CEMS (Continuous Emission Monitoring System) on päästöjenseurantajärjestelmä, joka mittaa jatkuvatoimisesti tiettyjä päästösuureita kiinteästä lähteestä. Järjestelmästä voidaan käyttää myös AMS (Automated Measuring Systems) -nimeä (Pellikka 2019). CEMS-järjestelmä käsittää yleensä koko prosessin savukaasun esikäsittelystä datan tallennukseen ja tuottamiseen laitoksen käyttäjille. CEMS-järjestelmän analysaattorien data on etäkäytettävissä ja tulosten perusteella on mahdollista arvioida analysaattorin huoltotarve. CEMS:ien tulee olla viranomaisten vaatimusten mukaisia sekä tyyppihyväksyttyjä EN 15267-3:n mukaisesti (Pellikka 2019). Järjestelmien tulee myös täyttää IED-rajoitukset (Industrial Emission Directive 2010/75/EU) (Ala-Hiiri 2021).

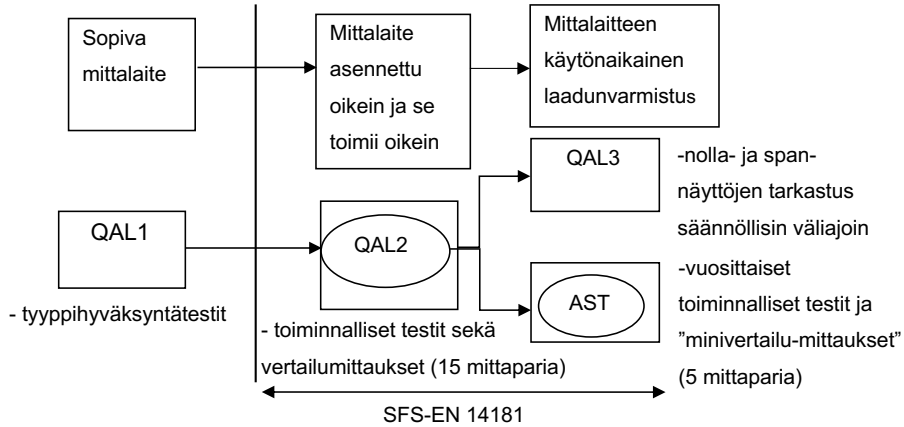
CEMS-järjestelmissä voidaan käyttää useita mittaustekniikoita, ja ne pystyvätkin mittaamaan useita eri kaasuja. Laitteistolla voidaan mitata esimerkiksi NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>-, O<sub>2</sub>-, CO- sekä pölypitoisuutta. Menetelmät voivat perustua esimerkiksi infrapuna- tai ultravioletin adsorptioon sekä kemiluminesenssitekniikkaan riippuen tutkittavasta päästösuureesta.

Pölymittaus voi perustua valon läpäisyyseen tai sirontaan (takaisin- tai eteenpäinsironta). Ensimmäisessä menetelmässä mitataan hiukkasista johtuvaa valonsäteen heikkenemistä. Valon takaisinsironnassa mitataan hiukkasista heijastuvaa valoa. Eteenpäinsironnassa mitataan hajavaloa, joka syntyy eteenpäin suuntautuvan valon katkoksesta tai taipumisesta osuessaan hiukkaseen. Hiukkasten mittauksissa on mahdollista yhdistää useampaa menetelmää, jotta sekä pienet että suuret pitoisuudet saadaan mitattua kohteista, joissa hiukkaspitoisuus vaihtelee suuresti. (SICK AG 2021)

CEMS-järjestelmän mittaukset ovat laatuvarmistettuja ja kalibroituja standardireferenssimenetelmien (SRM) avulla. Kalibroinnissa ja laadunvarmistuksessa käytettävät mittaustekniikat sekä toiminnalliset kriteerit on määritetty tarkasti eurooppalaisissa EN-standardeissa. Kiinteästi asennettujen mittalaitteiden laadunvarmennus tehdään standardin SFS-EN 14181 (Stationary source emissions. Quality assurance of automated measuring systems) mukaisesti. (Pellikka 2019). Laadunvarmistus koostuu neljästä osiosta (kuva 5), jotka ovat mittausten menetelmien soveltuvuus käyttökohteeseen (SFS-EN ISO 14956) (QAL 1), kiinteästi asennetun mittalaitteen (AMS) kalibrointi ja validointi referenssimenetelmän avulla (SRM) (QAL 2), käytönaikainen laadunvarmistus (QAL 3) sekä vuosittainen valvonta (Annual Surveillance Test, AST). (Pellikka ym. 2017)



## Kiinteästi asennettujen mittalaitteiden laadunvarmistus, SFS-EN 14181-pääperiaatteet



**KUVA 5.** Laadunvarmistusstandardin SFS-EN 14181 pääperiaatteet (mukaillen Pellikka 2019).

## MENETELMIEN KUSTANNUSTEHOKKUUS

Kustannustehokkuuden arvioinnissa tulee ottaa huomioon sekä kiinteät että muuttuvat kustannukset. Kiinteitä kustannuksia ovat investoinnit ja niiden käyttökustannukset, palkat ja huollot. Muuttuvia kustannuksia ovat polttoaineen hinta sekä tuotannon työ- ja huoltokustannukset. Kustannustehokkuutta tulee arvioida investointilaskelmilla, joissa arvioidaan eri vaihtoehtojen kannattavuus pitkällä aikavälillä huomioiden takaisinmaksuajat ja tuotot sekä herkkyystarkastelu.

## NO<sub>x</sub>-PÄÄSTÖJEN HALLINNAN KUSTANNUKSET

Kustannukset typen oksidien päästöjen hallinnasta SNCR- ja SCR-tekniikalla muodostuvat urean kulutuksesta, huolloista sekä mahdollisesta hyötysuhteen laskusta (Korppinen 2016). Etelä-Savon Energia Oy:llä vuosittaiset päästöjen hallintakustannukset NO<sub>x</sub>-päästöjen osalta ovat noin 150 000 euroa. Kustannukset koostuvat poistoista ureansyöttöjärjestelmistä sekä mittalaitteista, urealiuoksesta, laitteistojen ylläpitokustannuksista, työvoimasta, päästömittauksista ja hallintotyöstä. (Auvinen 2021)

Helen Oy Salmisaaren A-voimalaitoksen kattila K7 on 180 MW:n kaukolämpöä tuottava huippu- ja varakattila, joka käyttää kivihiiltä. Helen Oy on ympäristölupahakemuksessa tehnyt arvion parhaan tekniikan soveltamisesta kattilaan K7 NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentämi-



sessä. Vuonna 2017 kattilassa käytettävillä päästövähennystekniikoilla päästiin NO<sub>x</sub>-päästöissä tasolle noin 400–500 mg/m<sup>3</sup>n. Hakemuksessa kaavaillon käyttöajan alle 1 500 h/a katsottiin määrittävän kattila K7:n parhaan käytettävissä olevan tekniikan mukaisen päästötason vuosikeskiarvon 85–220 mg/m<sup>3</sup>n. Vähennyksen arvioitiin maksavan 6,9 miljoonaa euroa. Summa koostui low NO<sub>x</sub> -polttimista, yläilmajärjestelmän modifioinnista sekä SNCR-järjestelmästä. Näin osuus kustannuksista on 4,6 miljoonaa euroa. Loput ovat muita kustannuksia, kuten henkilöstökuluja sekä automaatio-, LVI- ja sähköistyskuluja. SNCR-järjestelmän urealiuoksen sekä laitoksen polttotekniikan muutoksesta johtuva hyötysuhteen lasku nostavat arvioituja kustannuksia 7,3 miljoonaa euroa. (Nummelin & Häyrinen/ Helen Oy 2018)

Lisää energiantuotannossa syntyvien NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentämiseen tähtäävien tekniikoiden kustannuksia (taulukko 1) kerättiin U.S. Environmental Protection Agency'n koostamasta kustannustaulukosta, jossa tiedot ovat vuodelta 2006 (U.S. EPA 2013). Muutettaessa kustannukset euromääräisiksi on muunnossa otettu huomioon rahanarvon muutos sekä tonnimääräero (USA:n tonni on 970 kg). Kustannukset on muutettu vastaamaan vuoden 2020 rahanarvoa (Tilastokeskus 2021, Työeläkelakipalvelu 2021).

**TAULUKKO 1.** Esimerkki typenoksidipäästöjen vähennyskustannuksista (U.S. EPA 2013).

Menetelmä	Vähennys %	Kustannus €/t, NO <sub>x</sub> <1 t/d	Kustannus €/t, NO <sub>x</sub> >1 t/d	Kustannus €/t, NO <sub>x</sub> t/d
SNCR	55	2 490	1 810	
SNCR	55	2 710	1 750	
SNCR	50			5 710
SCR	75			5 280
SCR	90			4 630
Low NO <sub>x</sub> -poltin	50	750	810	
Low NO <sub>x</sub> -poltin	45	6 530	1 830	
Low NO <sub>x</sub> -poltin + savu- kaasujen kierrätys	60	2 110	730	
Low NO <sub>x</sub> -poltin + savu- kaasujen kierrätys	48	8 000	3 160	



## SO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN HALLINNAN KUSTANNUKSET

Helen Oy:n Salmisaaren A-voimalaitosten kattila K7:n SO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisestä tasolle 220 mg/m<sup>3</sup>n (kattilan vuosittainen käyttöaika alle 1 500 h/a) tehdyssä laskelmassa kustannukseksi saatiin 10,9 miljoonaa euroa. SO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen toteutettaisiin kalkin injektoinnilla (DSI- eli duct sorbent injection -menetelmä) sekä uudella sähkösuotimella. SO<sub>2</sub>-päästöjä olisi mahdollista vähentää 50–70 %. Laitteistojen hinta kustannuksista on 7,3 miljoonaa euroa ja muiden kustannusten 3,6 miljoonaa euroa. Järjestelmän elinkaaren aikaiset kustannukset nostavat investoinnin hinnan noin 11,8 miljoonaan euroon. Investoinnilla saavutettaisiin BAT-taso sekä SO<sub>2</sub>- että hiukkaspäästöjen osalta. (Nummelin & Häyrynen/ Helen Oy 2018)

Yhdysvalloissa toteutuneiden rikkidioksidipäästöjen hallintamenetelmien kustannuksia on esitetty taulukossa 2. Märkäpesurilla rikkipäästöjen vähennyskustannukset olivat 590–10 680 euroa/tonni päästövähenemän ollessa 90–99,9 prosenttia. Kalkin injektointimenetelmällä (DSI) rikkipäästöt vähenivät 40 prosenttia, kun kustannukset olivat 820–1 990 euroa/tonni. Puolikuivalla rikkipäästöjen hallintamenetelmällä 90 prosentin päästövähenys maksaa 3 990–66 870 euroa/tonni. Kustannustiedot on saatu U.S. EPA:n ”Menu of Control Measures for NAAQS Implementation” -taulukosta (EPA 2013).

**TAULUKKO 2.** Rikkidioksidipäästöjen hallintakustannukset vuoden 2020 rahanarvoon muutettuna (U.S. EPA 2013).

Tekniikka	Vähennys, %	Kustannukset €/t
<b>Märkäpesuri</b>	90–99,9	2 580–8 210
<b>Märkäpesuri</b>	90	3 990–6 690
<b>Märkäpesuri</b>	90	7 980–10 680
<b>Märkäpesuri</b>	95–99,9	590–3 520
<b>DSI (kalkin injektointi)</b>	40	820–1 640
<b>DSI (kalkin injektointi)</b>	40	900–1 990
<b>SDA (puolikuiva menetelmä)</b>	90	3 990–6 690
<b>SDA (puolikuiva menetelmä)</b>	90	26 980–66 870
<b>SDA (puolikuiva menetelmä)</b>	90	26 980–39 890



## HIUKKASET

Hään ja hiukkasten mittauskustannuksista saatiin tietoa Etelä-Savon Energialta. Heillä vuosikustannukset ovat noin 50 000 euroa. Ilmoitettu hinta sisältää mittauslaitteistojen vuosipoistot, ylläpitokustannukset, työvoimakustannukset, päästömittaukset sekä hallintotyöt. (Auvinen 2021)

SICK AG -yhtiön päästömittauslaitteistojen hinnat vaihtelevat 2 000–100 000 euroon, ja hiukkasmittaukset ovat kustannuksiltaan 3 000–50 000 euroa. Päästömittauslaitteiden hintaan vaikuttavat mitattavan päästökomponentin lisäksi mittausolosuhteet. (Seppälä 2021)

Hiukkaspäästöjä vähentävien laitteiden investointi- ja käyttökustannukset (taulukko 1) on saatu VTT:n ”Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa” -julkaisusta (Ohlström ym. 2005). Sähkösuotimen investointikustannukset pienenevät kattilan koon suurentuessa. Alle 5 MW<sub>pa</sub>:n laitoksille (kaikki polttoaineet) investointikustannukset ovat 40 000 euroa/MW<sub>pa</sub>, kun taas yli 150 MW<sub>pa</sub>:n laitoksella ne ovat 15 000 euroa/MW<sub>pa</sub>. Kyseisellä investoinnilla saavutetaan hiukkaspäästötasot, jotka ovat 15–50 mg/m<sup>3</sup>n. Pesurilla sekä pesurin ja lämmöntalteenoton yhdistelmällä saavutetaan 50–500 mg/m<sup>3</sup>n päästötaso. Tämän menetelmän investointikustannukset ovat 35 000–80 000 mg/m<sup>3</sup>n. Investointikustannukset ovat suurimmat laitoksilla, joiden teholuokka on 300–1 000 MW<sub>pa</sub>.

**TAULUKKO 3.** Hiukkaspäästöjen laiteinvestointi- ja käyttökustannukset ovat vuodelta 2005 (Ohlström ym. 2005).

Puhdistus-laitte	Poltto-aine	Teho MW <sub>pa</sub>	Investointi €/MW <sub>pa</sub>	Käyttökust. €/MWh <sub>pa</sub>	Päästö-taso mg/m <sup>3</sup> n	Paine-häviö mbar
Sähkö-suodatin	kaikki	alle 5	40 000	ei tietoa	15–50	2–3
	kaikki	5–50	20 000	0,1		
	kaikki	> 150	15 000	ei tietoa		
	kiinteä ja lipeä	> 150	10 000	ei tietoa		
	neste	5–50	7 000	ei tietoa		
Kuitu-suodatin	kaikki	> 150	18 000	0,3	5–25	10–20
	kiinteä	> 150	13 000	0,2		
	neste	> 150	10 000	ei tietoa		
Pesuri + LTO	kaikki	5–50	35 000	0,3	50–500	10–15
Pesuri	kaikki	5–300	60 000	0,5	50–500	10–15
	kaikki	300–1000	80 000	0,3		
	kaikki	yli 1 000	40 000	ei tietoa		
Sykloni/multi-sykloni	kaikki	alle 5	6 000	ei tietoa	50–500	10–20
	kaikki	5–50	1 600	0,1	20–1 500	



## MCP-DIREKTIIVI JA BAT

Päästöjen hallintajärjestelmien investointikustannusten suuruus määräytyy saavutettavan päästötason mukaan. Olemassa oleville laitoksille päästöjärjestelmän toteuttaminen voi olla haastavampaa kuin uusilla laitoksilla, mikä näkyy investointikustannusten nousuna. Investoinnissa päästöjen hallinta tulee toteuttaa parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla (BAT), mikä on määritelty ympäristösuojelulaissa 527/2014. BAT-vaade perustuu teollisuuden päästöjä koskevaan IE-direktiiviin (Industrial Emission Directive, IED, 2010/75/EU), joka on ympäristösuojelun puitelaki. EU on päivittämässä direktiiviä. Päivityksellä pyritään direktiivin soveltamisalan laajennukseen. IE-direktiiviin halutaan ottaa mukaan MCP-direktiivin soveltamisalaan kuuluvat laitokset (Lettojärvi 2021).



## LÄHTEET

Ala-Hiiri, J. 2021. Mittaamalla pääsee vastuullistavoitteisiin. Teknisten Kaupan Liitto. WWW-dokumentti. Julkaistu 29.4.2021. Saatavissa: <https://www.tekninen.fi/blogit/mittaamalla-paasee-vastuullisuustavoitteisiin/>. Luettu: 14.9.2021.

Auvinen, I. Ympäristöinsinööri. Etelä-Savon Energia Oy. Sähköposti 5.11.2021.

Baukal, C.E. 2000. Gas recirculation systems. Heat Exchanger Design Handbook (HEDH). Heat Exchanger Design Handbook Multimedia Edition (HEDH). ISBN: 978-1-56700-423-6 WWW-sivu. Saatavissa: [https://hedhme.com/content\\_map/?link\\_id=30029&article\\_id=15515](https://hedhme.com/content_map/?link_id=30029&article_id=15515).

Finnish Environmental Institute 2001. Finnish Expert Report on Best Available Techniques in Large Combustion Plants. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40632/FE\\_458.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40632/FE_458.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Flyktman, M., Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. VTT. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826>.

Järvenreuna, J. & Nummila, M. 2021. Nykyaikainen savukaasupesuri – merkittävä biolämpölaitosten kannattavuuden parantaja. Caligo Clean efficiency. WWW-artikkeli. Saatavissa: [Caligo\\_Savukaasupesuri.pdf \(caligoindustria.com\)](#). Luettu 14.3.2019.

Ketonen, E. 2019. 70 MWth Kuplapetikattilan typenoksidi-päästöjen vähentäminen. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159070/Diplomity%C3%B6\\_eetu\\_ketonen\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159070/Diplomity%C3%B6_eetu_ketonen_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Lettojärvi, H. 2020. Teollisuuspäästödirektiivi. Energiateollisuus ry. WWW-sivu. Saatavissa: <https://energia.fi/energiapolitiikka/ymparistolainsaadanto/teollisuuspaaostodirektiivi>. Luettu 2.11.2021

Magnusson, R. 2006. Typenoksidien rajoittaminen päästöverolla. Ympäristöministeriön raportteja 16/2006. Helsinki. Ympäristöministeriö. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/42036/YMr\\_16\\_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/42036/YMr_16_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Mainio, T. 2021. Suomalaiskeksintö poistaa kivihiilipölyn. Tekniikka ja talous 26.11.2021. Luettu 29.11.2021.



Majanne, Y., Korpela, T., Judl, J., Koskela, S., Laukkanen, V., Häyrynen, A. & Salminen, O. 2015. Voimalaitosten reaaliaikainen ympäristövaikutusten monitorointi. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1550/f2066.pdf>.

Nummelin J. & Häyrynen A/Helen Oy 2018. Liite 1.1 Salmisaaren voimalaitoksen kat-tilan K7 BAT-poikkeamihakemus, täydennys. Hakemus poikkeamiseksi BAT-päästö-tasoista. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/bb/bb8ace-95d10891e2580a4046dd2f9d1a1a169da7.pdf>. Luettu 8.11.2021.

Pohjolan voima Oyj, 2020. Rauman Biovoiman voimalaitos – esimerkki pitkälle digitalisoi-dusta CHP-laitoksesta. WWW-sivut. Saatavissa: <https://www.pohjolanvoima.fi/uutishuone/digitaalisaaatio/rauman-biovoiman-voimalaitos-esimerkki-pitkalle-digitalisoidusta-chp-lai-toksesta/>. Luettu 20.10.2021.

OekoSolve AG. s.a., Wood chips dryer with an integrated ESP for heaters up to 10 MW. WWW-sivut. Saatavissa: [https://oekosolve.com/en/products/special-applications/wood\\_chips\\_dryer/](https://oekosolve.com/en/products/special-applications/wood_chips_dryer/). Luettu 21.3.2019.

Ohlström, M. 1998. Energiantuotannon hiukkaspäästöt Suomessa. VTT tiedotteita 1934. ISBN 951–38–5404–3 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>), ISSN 1455–0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>). PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1998/T1934.pdf>.

Ohlström, M., Tsupari, E., Lehtilä, A. & Raunemaa T. 2005. Pienhiukkaspäästöt ja niiden vähentämismahdollisuudet Suomessa. Kasvihuonepäästöjen rajoittamisen vaikutukset. VTT tiedotteita T2300. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2005/T2300.pdf>.

Pellikka, T. 2019. Päästönmittausten haasteet alhaisilla pitoisuustasoilla. Ilman-suojelupäivät 2019. VTT. pdf-dokumentti. Saatavissa: [https://isy.fi/wp-content/uploads/2019/08/2108\\_4B\\_T\\_Pellikka\\_P%C3%A4%C3%A4st%C3%B6mittausten-haasteet.pdf](https://isy.fi/wp-content/uploads/2019/08/2108_4B_T_Pellikka_P%C3%A4%C3%A4st%C3%B6mittausten-haasteet.pdf). Luettu 10.11.2021.

Pellikka, T., Kajonlinna, T. & Antson, O. 2017. Ohjeistuksia päästömittausten laadun-varmistukseen Suomessa. SFS-EN 14181:n tulkinta ja raskasmetallien näytteenotto. VTT Technology 289. ISSN 2245-122X (verkkojulkaisu). <http://URN:ISBN:978-951-38-8515-1>. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2017/T289.pdf>.

Pessa, M. 2016. Suurten polttolaitosten savukaasujen puhdistusmenetelmät. Energiate-kniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/122833/Kandidaatintyo\\_Pessa\\_Matias.pdf?sequence=2](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/122833/Kandidaatintyo_Pessa_Matias.pdf?sequence=2).



Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J., Hupa, M., Anttila M. & Penttilä, H. IFRF, 1995. Poltto ja palaminen. ISBN 951-666-448-2 nidottu.

Salhoja, P. 2017. NO<sub>x</sub>-päästöjen vähennystekniikat Suomen biovoimalaitoksissa. Energiatekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/147804/Salhoja\\_Pinja\\_NOx-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen%20v%C3%A4hennys.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/147804/Salhoja_Pinja_NOx-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6jen%20v%C3%A4hennys.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Seppälä, H. 2021. Aluemyyntipäällikkö. SICK AG Suomi. Sähköposti 4.11.2021.

SICK AG, 2021. Pölymittarit. WWW-sivut. Saatavissa: [https://www.sick.com/fi/fi/poelymittarit/c/g54727?q=:Def\\_Type:ProductFamily](https://www.sick.com/fi/fi/poelymittarit/c/g54727?q=:Def_Type:ProductFamily)

Srivastava, R. 2005. Nitrogen Oxides Emission Control Options for Coal-Fired Electric Utility Boilers. Journal of the Air & Waste Management Association. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/7508442\\_Nitrogen\\_Oxides\\_Emission\\_Control\\_Options\\_for\\_Coal-Fired\\_Electric\\_UTILITY\\_Boilers](https://www.researchgate.net/publication/7508442_Nitrogen_Oxides_Emission_Control_Options_for_Coal-Fired_Electric_UTILITY_Boilers).

Tilastokeskus 2021. Rahanarvonmuunnin. Julkaisuaika: 27.10.2016. Päivitetty 30.11.2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stat.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>.

Työeläkelakipalvelu 2021. Valuuttojen keskikurssit eri vuosina. Julkaisuaika 25.03.2021. www-sivu. Saatavissa: [https://www.tyoelakelakipalvelu.fi/telp-publishing/vepa/document.faces?document\\_id=555&navigation\\_history=200692](https://www.tyoelakelakipalvelu.fi/telp-publishing/vepa/document.faces?document_id=555&navigation_history=200692).

U.S. Environmental Protection Agency, 2013. Menu of Control Measures for NAAQS Implementation. Updated 4.12.2012. Printti 8.6.2013. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.epa.gov/air-quality-implementation-plans/menu-control-measures-naaqs-implementation>.

VNa 1065/2017. Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista. 20.12.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>



# ETELÄ-SAVON KESKISUURTEN BIOVOIMAKATTILOIDEN PÄÄSTÖJEN NYKYTILASELVITYS

Juha Vihavainen & Niina Laurila

NOxOpti-hankkeessa selvitettiin eteläsavolaisten, polttoaineteholtaan 1–50 MW energiantuotantoyksiköiden savukaasupäästöjen nykytilaa. Selvitys tehtiin yksiköissä, joissa polttoaineena käytettiin puuta, turvetta tai niiden seoksia. Mittaukset tehtiin vuosina 2019–2021. Tässä artikkelissa esitetään eri mittausten päästömittaustuloksia kootusti ja verrataan niitä tällä hetkellä voimassa oleviin päästöraja-arvoihin.

## MITTAUSKOHEET

Mittauksia toteutettiin Suur-Savon Sähkö Oy:n ja Etelä-Savon Energia Oy:n laitoksilla (taulukko 1). Joutsan lämpölaitos on Suur-Savon Sähkö Oy:n osaomistuksessa Joutsan kunnan kanssa ja Hartolan laitos Hartolan Kuningaslämpö Oy:n kanssa. Suurin osa laitoksista kuului teholuokaltaan 1–5 MW:n laitoksiin (taulukko 1). Turvetta pääpolttoaineena käytti vain Suur-Savon Sähkö Oy:n Juvan kaukolämpölaitos. Turpeen lisäksi tämä laitos poltti myös puuhaketta. Muut laitokset käyttivät polttoaineena ranka- ja metsätähdehaketta.

**TAULUKKO 1.** Päästöjen nykytilaselvityksen mittauskohteet.

Yhtiö	Sijainti-kunta	Teho (MW)	Pääasiallinen polttoaine	Savukaasun puhdistus
Suur-Savon Sähkö Oy	Juva	8	Jyrsinturve	Sähkösuodatin
	Juva	1,5	Puupelletti	Multisykloni
	Kangasniemi	3	Puuhake	Letkusuodatin
	Kerimäki	4	Puuhake	Multisykloni
	Mäntyharju	8	Puuhake	Sähkösuodatin
	Puumala	2	Puuhake	Multisykloni
	Rantasalmi	5,5	Puuhake	Sähkösuodatin
	Savonlinna, Laitaatsilta	20	Ranka- ja metsätähdehake	Sähkösuodatin
	Joutsa (osakkuus)	Päälaitos: 4 Varavoima: 1,25	Ranka- ja metsätähdehake	Letku- ja pussisuodatin
	Hartola (osakkuus)	7,5	Ranka- ja metsätähdehake	Sähkösuodatin
Etelä-Savon Energia Oy	Mikkeli, Tikkala	3	Metsätähdehake	Multisykloni



Taulukossa 2 on esitetty laitosten mittausajankohdat sekä mittauksen aikana toteutunut teho. Mittaukset suoritettiin ajankohtana, jolloin kattilan teho oli vähintään puolet maksimitehosta.

**TAULUKKO 2.** Laitoksilla toteutunut teho mittausajankohtina.

Laitos	Mittaus- ajan-kohta	Toteutunut teho (maks. teho) (MW)	Kattilatyyppe
Mikkeli, Tikkala (ESE Oy)	27.11.2019	1,6 (3)	Hakekattila
Juva (SSS Oy)	10.12.2019	4,9 (8)	Leijukerrospeti
Mäntyharju (SSS Oy)	21.1.2020	3,4 (8)	Viistoarina
Rantasalmi (SSS Oy)	5.2.2020	3,1 (5,5)	Kekoarina
Kerimäki (SSS Oy)	10.3.2020	2,6 (4)	Kekoarina
Savonlinna, Laitaatsilta (SSS Oy)	4.8.2020	9,4 (20)	Kupliva leijupeti
Joutsa (SSS Oy)	29.10.2020	2 (4)	Viistoarina
Kangasniemi (SSS Oy)	5.11.2020	2 (3)	Viistoarina
Hartola (SSS Oy)	20.1.2021	3,6 (7,5)	Viistoarina
Puumala (SSS Oy)	28.4.2021	1,1 (2)	Viistoarina
Joutsa (SSS Oy)	17.6.2021	0,7 (1,25)	Viistoarina
Juva (SSS Oy)	6.7.2021	1 (1,5)	Pellettiarina

## MITTAUSMENETELMÄT

Pölyä mitattiin Dr Födisch GMD 12 -hiukkasmittausanalyysointilaitteella, joka mittaa savukaasun kosteuden ja nopeuden lisäksi myös sen lämpötilan ja paineen. Nämä mitatut suureet analyysointilaitteella rekisteröi standardiolosuhteiksi hiukkasmittauksia varten. Itse mittauksessa savukaasunäyte imetään kvartsiikutuisille suodattimille, joista hiukkaspitoisuus määritetään punnituksella standardin SFS 13284-1 mukaisesti.

Hiukkasmittausta varten määritettiin mittauspisteiden määrä ja sijainti kanavassa standardin SFS 13284-1 mukaisesti. Mittaus aloitettiin savukaasun kosteuden ja nopeuden ja sondissa käytettävän suuttimen koon määrittämisellä. Savukaasun nopeus määritetään Pitot-putkella, joka mittaa virtauksen staattista ja dynaamista painetta. Näiden arvojen avulla analyysointilaitteella laskee kaasun nopeuden kanavassa. Sondin suuttimen oikea koko määritetään kanavassa tehtävällä imunopeuden testimittauksella, jonka tuloksen perusteella laite ehdottaa virtaukseen sopivaa suutinta. Suuttimen koon tulee olla mitatulle savukaasunopeudelle sopiva, jotta mittaus olisi mahdollisimman isokineettistä.



Savukaasujen typpi- ja rikki päästöt mitattiin jatkuvatoimisella Testo 350 -analysaattorilla, jossa päästöjen mittaus perustuu ioniselektiiviseen potentiometriaan. Analysaattori mittaa  $O_2$ -,  $CO$ -,  $CO_2$ -,  $NO_x$ - ja  $SO_2$ -pitoisuuksia sekä lämpötilaa. Mittauspaikan ilman kosteuden ja lämpötilan mittaukseen käytettiin Vaisala HM-40 -kosteusmittaria.

Kokonaismittausepävarmuuden arvioitiin olevan mittauksissa savukaasupäästöjen osalta  $\pm 20$  % mitatuista pitoisuuksista ja vastaavasti hiukkaspitoisuuden epävarmuuden  $\pm 30$  %. Mittausepävarmuuteen kuuluvat näytteenoton ja punnituksen virheet, analysaattorien epätarkkuus, savukaasujen kosteuden ja tilavuusvirran määrittelyn epävarmuus ja näistä johtuva laskentaan kohdistuva virhe.

## MITTAUSTULOKSET

Ilmansuojeluun liittyvä lainsäädäntö velvoittaa toiminnanharjoittajaa tekemään päästömittauksia laitokselta. Mittauksia tehdään myös esimerkiksi prosessin optimoinnin tai puhdistuslaitteinvestointien suunnittelun tueksi. (Ympäristönsuojeluyhdistys ry ym., 2007). Mittauksien tarkoituksena oli saada suuntaa antavaa tietoa siitä, millaisia investointeja tai muutoksia toiminnanharjoittajilla olisi tulevaisuudessa edessään päästöraja-arvojen tiukentuessa.

Laitosten päästömittaustulokset on esitetty taulukossa 3.  $NO_x$ -päästöt puuta polttoaineena käyttävillä laitoksilla olivat 117–355  $mg/m^3n$  ja turvetta käyttävillä laitoksilla 518–529  $mg/m^3n$ . Laitosten  $NO_x$ -päästöt eivät ylittäneet siirtymäraja-arvoa, joka puuta polttavilla laitoksilla on 375  $mg/m^3n$  ja turvelaitoksilla 600  $mg/m^3n$ . Päästöraja-arvoihin vaikuttaa laitoksen koon lisäksi käytetty polttoaine.

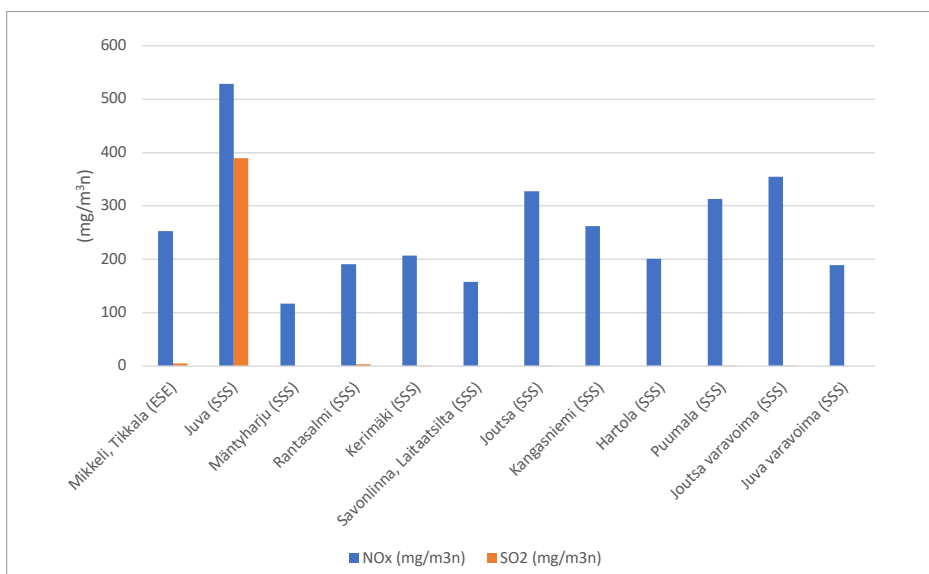


**TAULUKKO 3.** Mitatut NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>- ja hiukkaspitoisuudet (redusoitu 6 % O<sub>2</sub>-pitoisuuteen) sekä uudet päästöraja-arvot. Suluissa olevat päästöraja-arvot ovat siirtymäajan päästöraja-arvoja. (Vna 1065/2017)

Laitos	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> , uusi päästöraja-arvo (siirtymäaika) (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> , uusi päästöraja-arvo (siirtymäaika) (mg/m <sup>3</sup> n)	Hiukkaset (mg/m <sup>3</sup> n)	Hiukkaset, uusi päästö-raja-arvo (siirtymäaika) (mg/m <sup>3</sup> n)
Juva (SSS Oy)	529	600 (600)	389	500 (500)	41,3	50 (150)
Mäntyharju (SSS Oy)	117	450 (450)	0,0	200 (200)	4,1	50 (150)
Rantasalmi (SSS Oy)	191	450 (375)	3,4	200 (200)	-	50 (50)
Kerimäki (SSS Oy)	207	450 (450)	0,7	200 (200)	-	50 (300)
Savonlinna, Laitaatsilta (SSS Oy)	157	450 (375)	0,0	200 (200)	3,2	50 (40)
Joutsa (SSS Oy)	323	450 (450)	0,7	200 (200)	1,4	50 (200)
Kangasniemi (SSS Oy)	262	450 (450)	0,0	200 (200)	-	50 (300)
Hartola (SSS Oy)	201	450 (450)	0,0	200 (200)	0,0	50 (150)
Puumala (SSS Oy)	313	450 (450)	0,1	200 (200)	211	50 (300)
Joutsa varavoima (SSS Oy)	355	450 (450)	0,7	200 (200)	-	50 (300)
Juva varavoima (SSS Oy)	189	450 (450)	0,0	200 (200)	-	50 (300)
Mikkeli, Tikkala (ESE Oy)	253	450 (450)	4,8	200 (200)	149	50 (300)

Laitoksilla käytetään enimmäkseen puuta polttoaineena, joten mitatut rikkidioksidipäästöt näissä puuta käyttävissä laitoksissa olivat pieniä, 0–9,5 mg/m<sup>3</sup>n. Suur-Savon Sähkö Oy:n turvetta käyttävällä Juvan kaukolämpölaitoksella SO<sub>2</sub>-pitoisuudeksi mitattiin 389 mg/m<sup>3</sup> (kuva 1).

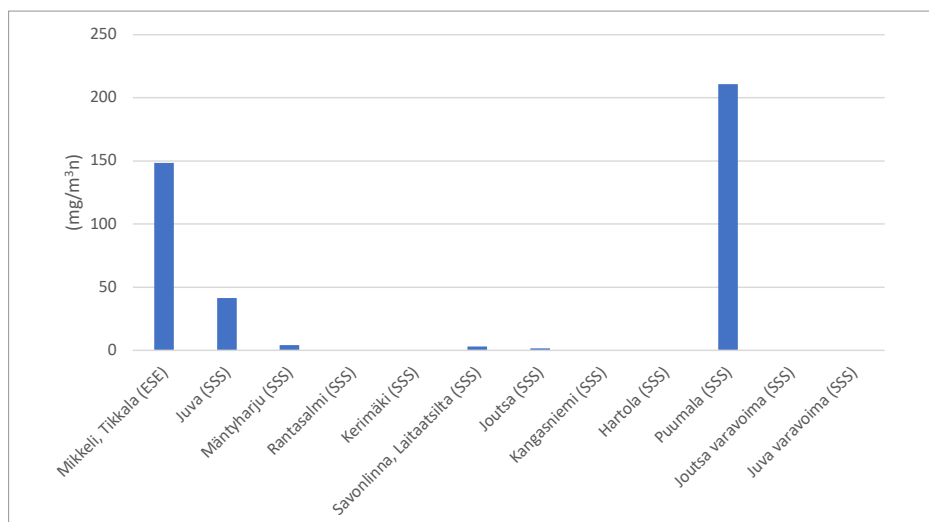




**KUVA 1.** NO<sub>x</sub>- ja SO<sub>2</sub>-päästöt 6 %:n happipitoisuudessa.

Kaikista mittauskohteista ei hiukkaspitoisuutta voitu määrittää teknisistä syistä, kuten tila-  
nahtaudesta tai mittayhteen pienuudesta johtuen. Hiukkaspitoisuutta ei voitu määrittää seu-  
raavissa kohteissa: Rantasalmi, Kerimäki, Kangasniemi, varavoimalaitokset Joutsa ja Juva.

Etelä-Savon Energia Oy:n Tikkanen laitoksen hiukkaspitoisuus 149 mg/m<sup>3</sup>n (kuva 2) ylittää  
uuden vuonna 2025 voimaan astuvan raja-arvon 50 mg/m<sup>3</sup>n. Myös Suur-Savon Sähkö Oy:n  
Puumalan laitoksen hiukkaspitoisuus ylitti raja-arvon hiukkaspitoisuuden ollessa 211 mg/  
m<sup>3</sup>n. Merkittävimmät päästöraja-arvojen tiukennukset uudessa PIPO-asetuksessa koskevat  
pienhiukkaspäästöjä.



**KUVA 2.** Hiukkaspäästöt 6 %:n happipitoisuudessa.



## JOHTOPÄÄTÖKSET

Typen oksidipäästöjen määrään vaikuttavat polttoaineen kosteus, typpipitoisuus sekä palamiskaasujen lämpötilan ja happipitoisuuden jakauma tulipesässä. Alle 30 MW:n teholuokassa typen oksidien päästöön voidaan vaikuttaa palamisilman vaiheistuksella ja savukaasujen takaisinkierätyksellä. Puunpoltosta syntyy vähemmän NO<sub>x</sub>-päästöjä kuin turpeesta sen alhaisemman typpipitoisuuden ansiosta. (Flyktam ym. 2012)

Rikkidioksidipäästöt määräytyvät ensisijaisesti polttoaineen rikkipitoisuuden mukaan, mutta tuhkan mineraaliaineksen kalium, natrium ja kalsium sitovat osan rikistä tuhkaan. Puun rikkipitoisuus on pieni, ja tuhka sisältää paljon kaliumia ja kalsiumia, minkä vuoksi valtaosa rikistä jää tuhkaan.

PIPO-asetuksen tuomat suurimmat muutokset näkyvät konkreettisesti hiukkaspäästöraja-arvojen tiukentumisena. Hiukkaspäästöt riippuvat polttoaineiden tuhkapitoisuudesta, käytetystä polttotekniikasta ja erotinlaitteista. (Leinonen 2010) Merkittävin osa hiukkaspartikkeleista on peräisin polttoaineen sisältämästä tuhkasta, ja lisäksi partikkelit voivat sisältää palamatonta polttoainetta. Ympäristöön savukaasujen mukana vapautuvan hiukkaspäästön suuruus riippuu ensisijaisesti käytetyistä erotinlaitteista. Polttoprosessin hallinnalla ja polttoaineen laadulla on vaikutusta hiukkaspäästöihin etenkin mahdollisissa häiriötilanteissa. (Leinonen 2010)

Vuonna 2018 voimaan tulleen PIPO-asetuksen myötä päästöraja-arvoihin tulee tiukennuksia seuraavan vuosikymmenen kuluessa. Hankkeen aikana mitattujen laitosten SO<sub>2</sub>- ja NO<sub>x</sub>-päästöt alittavat suurilta osin sekä siirtymäkauden että uudet päästöraja-arvot. Hiukkaspitoisuutta ei voitu mitata jokaiselta laitokselta, mutta niissä laitoksilla, joissa mittaus saatiin tehtyä, ei siirtymäkauden raja-arvot ylittyneet. Muutamassa laitoksessa vaaditaan todennäköisesti toimenpiteitä, jotta uudet päästöraja-arvot tulevat hiukkas- tai SO<sub>2</sub>-päästöjen osalta saavutettua. NO<sub>x</sub>-päästöt olivat PIPO-asetuksen mukaisesti sekä siirtymäkauden että uusien päästöraja-arvojen sisällä kaikissa laitoksissa.



## LÄHTEET

Flyktman, M., Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. VTT. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826>.

Ilmatieteen laitos. Säähavaintojen latauspalvelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.

Ilmansuojeluyhdistys ry & VTT Prosessit, 2007. Päästömittausten käsikirja, osa 1: Päästömittaustekniikan perusteet. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://ilmansuojeluyhdistys.files.wordpress.com/2015/05/osa1.pdf>.

Leinonen, A. Turpeen tuotanto ja käyttö: yhteenveto selvityksistä. VTT. Tiedotteita 2250. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/05/Turpeen-tuotanto-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6-yhteenveto-selvityksist%C3%A4-VTT-tiedotteita-2550-.pdf>.

VNa 1065/2017. Valtioneuvoston asetus keskisuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristönsuojeluvaatimuksista. 20.12.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>.



# TYPPIOKSIDIPÄÄSTÖJEN HALLINTA – DEMONSTRAATIOKOE

Niina Laurila, Juha Vihavainen, Juhani Gynther & Mika Laine

Demonstraatiokokeissa testattiin ammoniakkia sisältävän biomateriaalin toimivuutta turpeenpoltossa syntyvien typpipäästöjen vähentämisessä. Kokeissa käytettiin biomateriaalina kutteripohjaista hevosenlanta. Biomateriaalin vaikutusta polttotapahtumaan, materiaalikestävyyteen ja savukaasupäästöihin monitoroitiin kokeiden aikana. NO<sub>x</sub>-päästöjen hallintaa testattiin kolmella lantakokeella, joissa hevosenlannan osuus tilavuusprosentteina oli 10, 20 ja 30 prosenttia kokonaispolttainemäärästä, sekä vertailukokeella, jossa poltettiin pelkkää turvetta. Demonstraatiokokeet toteutettiin Suur-Savon Sähkö Oy:n Juvan Puutarhatie 8 MW:n kaukolämpökeskuksella 7.–10.12.2020. Laitoksella energia tuotetaan leijukerrosprotektiteknikalla. Poltossa syntyneitä päästöjä vähennetään laitoksella sähkösuodattimella. Pääasiallisena polttoaineena laitoksella käytetään jyrshinturvetta ja ajoittain myös puuhaketta.

## POLTTOAINE

Biomateriaalina kokeissa käytetty kutteripohjainen hevosenlanta hankittiin Ravitalli Suuronen Oy:ltä. Lannan sekoitus turpeeseen tapahtui Juvan Pakinsuon turvekentällä. Lanta sekoitettiin turpeen joukkoon tilavuuden mukaan. Lannan kuljetuksesta laitoksen polttoainevarastoon sekä seospolttoaineen valmistamisesta vastasi tmi Konsta Kauppinen.

Demonstraatiokoesarja aloitettiin turpeenpolttokokeella 8.12.2020. Seuraavina päivinä vuorossa olivat lantaturvekoeajot (10 % 9.12.2020, 20 % 10.12.2020 ja 30 % 11.12.2020). 9.12.2020 laitoksella poltettiin myös lantaturveseoksen ohessa arviolta 30 m<sup>3</sup> sahanpurua, joka on kokeen kokonaispolttainemäärästä 13 prosenttia. Määrä ei ole suuri, mutta on mahdollista, että lisäsaahanpuru on osaltaan voinut pienentää typpi- ja rikkioksidipäästöjä. Polttoainemäärät (kg) on esitetty taulukossa 1.



**TAULUKKO 1.** Juvan lämpölaitokselle tuodut polttoaineet demonstraatiokokeiden aikana.

Polttoaine	7.12.2020 massa (kg)	8.12.2020 massa (kg)	9.12.2020 massa (kg)	10.12.2020 massa (kg)
Jyrsinturve	58 660	51 110	43 240	31 480
Sahanpuru		3 700		
Lanta*		7 810	15 620	22 940
<b>Yhteensä (kg)</b>	58 660	62 620	58 860	54 420

\*) Lantaturveseokset tehtiin tilavuuden perusteella. Tämän vuoksi lannalle ei ole omia tarkkoja punnitusmääriä, vaan nyt esitetty laskennallinen arvio (taulukko 1) perustuu kuljettajalta saatuihin tietoihin sekä tehtyyn lannan irtotiheyden määrittämiseen.

## LABORATORIOANALYYSIT

Kokeissa käytetyistä lähtöaineista (lanta ja jyrsinturve), lantaturveseoksista sekä poltossa syntyneestä tuhkasta otettiin standardin SFS-EN 18135 mukaisesti näytteitä laboratorioanalyysia varten. Lantanäyte otettiin Juvan Pakinsuolla 4.12.2020. Näytteet analysoitiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen ympäristölaboratoriossa. Taulukkoon 2 on koottu tiedot analyysissä käytetyistä standardeista.

**TAULUKKO 2.** Analyysissa ja mittauksissa käytetyt standardit.

Analyyysi	Standardi
Näytteenotto	SFS-EN 18135
Irtotiheys	SFS-EN 17828
Kokonaiskosteus	SFS-EN 18134-2
Palakokojakauma	SFS-EN 17827-2
Kuiva-aine	SFS-EN 18134-3
pH ja sähkönjohtokyky	SFS-ISO 10390 mukaillen
Tuhkapitoisuus	SFS-EN 18122
Palamishäviö (LOI)	ASTM-D7348
Kalorimetrinen lämpöarvo	SFS-EN 18125 mukaillen, laitevalmistajan ohjeet
Savukaasupäästöt	Laitevalmistajan ohjeet
Hiukkaspäästöt	SFS-EN 13284-1

Näytteitä lähetettiin myös ulkopuolisen laboratorion analysoitavaksi (Metropolilab Oy). Taulukkoon 3 on koottu tiedot ulkopuolisten laboratorioiden analyysistä ja käytetyistä standardeista.



**TAULUKKO 3.** Analyysitulokset polttoaine- ja tuhkanäytteistä (Metropolilab Oy).

Analyysi	Standardit ja menetelmät
Alkuaine- ja ravinnemääritykset	SFS-EN ISO 11885:2009, SFS-EN ISO 17294-2:2005 SFS-EN 13652 ICP-OES
Palakokojakauma	SFS-EN ISO 17287-1
Kokonaiskosteuspitoisuus	SFS-EN 13040:2008
Tuhkapitoisuus	SFS-EN 13039:2011
Kalium	SFS-EN ISO 11885:2009
2-vaiheinen ravistelutesti	SFS-EN 12457-3:2002
Raskasmetallit (kuiva-aine)	SFS-EN ISO 11885:2009, SFS-EN ISO 17294-2:2005
Kalorimetrinen lämpöarvo + CHNOS + kloori	SFS-EN ISO 18125, SFS-EN 15400, ISO 1928
Kloridi, vesiliukoinen	sis. menetelmä AQ
Fosfori, vesiliukoinen	SFS-EN 13562

## POLTTOAINEIDEN IRTOTIHEYS JA KOKONAISKOSTEUS

Irtotiheyden määrittäminen (SFS-EN 17828) toteutettiin näytteenoton yhteydessä näytteen saapumistilassa. Määrittäminen tehtiin kokoomanäytteestä (65 litran saavi). Lannan irtotiheys oli  $488 \text{ kg/m}^3$  ja turpeen  $313 \text{ kg/m}^3$  (taulukko 4). Polttoaineseoksissa irtotiheys laski lannan määrän kasvun myötä. Polttoaineseos, jossa lannan määrä oli 30 prosenttia, oli irtotiheys pienentynyt  $297 \text{ kg/m}^3$ , kun se vastaavasti 10 prosentin lantaturveseoksessa irtotiheys oli  $312 \text{ kg/m}^3$ .

**TAULUKKO 4.** Näytteiden irtotiheys ja kokonaiskosteuspitoisuus saapumistilassa.

Näytteen-ottopäivä	Näyte	Irtotiheys ( $\text{kg/m}^3$ )	Kokonaiskosteus (p-%)
4.12.	Lanta	488	70,7
7.12.	Turve	313	42,0
8.12.	Lantaturveseos 10 %	312	43,8
9.12.	Lantaturveseos 20 %	299	45,9
10.12.	Lantaturveseos 30 %	297	46,3



Kokeissa käytetyn lannan kosteuspitoisuus oli korkea, 70 prosenttia (taulukko 4), minkä vuoksi seospolttoaineiden kosteuspitoisuudet olivat korkeammat (44–46 %) kuin pelkän turpeen, jonka kosteus oli 42 prosenttia. Polttoaineen kosteus huonontaa polttoaineen energiatiheyttä, mikä näkyy heikentyneenä polttoainetehona. Lisäksi kostea polttoaine lisää NO<sub>x</sub>- ja SO<sub>2</sub>- ja hiukkaspäästöjä (Flyktman ym. 2012). Näytteiden kosteuspitoisuus määritettiin standardin SFS-EN 18134-2 mukaisesti.

## KUIVA-AINE- JA TUHKAPITOISUUS

Taulukossa 5 on nähtävissä kuiva-ainepitoisuuden (SFS-EN 18134-2) lisäksi näytteiden tuhkapitoisuus (SFS-EN 18122) suhteessa kuiva-aineeseen. Korkea tuhkapitoisuus kertoo polttoaineen epäpuhtauksista ja vaikuttaa suoraan polttoaineen lämpöarvoon. Epäorgaaniset kivennäisaineet, tulvakerrostumat ja kemiallisten saostumien yhteismäärät vaikuttavat siihen, miten turpeen tuhkapitoisuus muodostuu. Mitä maatumempi turve, sitä isompi on tuhkapitoisuus. Suomalaisen turpeen tuhkapitoisuus on yleensä noin 3–10 prosenttia (ka.). (Alakangas ym. 2016)

**TAULUKKO 5.** Polttoainenäytteiden tuhkapitoisuudet sekä palamishäviöt.

Näytteen- ottopäivä	Näyte	Kuiva-aine- pitoisuus (p-%)	Tuhkapitoisuus kuiva- aineessa (p-%)	LOI (p-%)
4.12.	Lanta	29,3	3,4	
7.12.	Turve	51,0	2,8	2,9
8.12.	Lantaturveseos 10 %	56,1	2,5	3,9
9.12.	Lantaturveseos 20 %	54,3	2,7	3,8
10.12.	Lantaturveseos 30 %	52,6	2,6	3,8

Tuhkanäytteistä määritettiin myös palamishäviö (LOI, Loss Of Ignition ASTM-D7348). Palamishäviön määrittämisessä tuhkanäytteet lämmitetään 950 asteeseen hehkutusuunissa, ja tuloksena on palamattoman polttoaineen ja vaikeasti haihtuvien yhdisteiden osuus tuhkasta. Palamishäviön määrä turpeen tuhkassa oli 2,9 p-% ja polttoaineseoksissa 3,9–3,8 p-%. Tulosten perusteella lantaturveseosten tuhkissa on enemmän palamatonta ainesta verrattuna pelkkään turpeenpolttoon (Mohebbi ym., 2015).



## pH JA SÄHKÖNJOHTOKYKY

Kuivasta polttoainenäytteestä määritettiin pH ja sähkönjohtokyky standardia SFS-ISO 10390 mukaillen. Määrittämissä näytteen ja tislattun veden suhde oli 1:5 (paino). Turve on hapan aine (pH 3,9) (taulukko 6) ja aiheuttaa korroosioriskiä laitoksella. Lanta puolestaan oli lievästi alkalinen pH:n ollessa 7,8. Lannan vähäisestä käyttömäärästä johtuen lisätyllä lantamäärällä ei ollut vaikutusta seosten happamuuteen, joka oli 3,8–3,9. Hevosennannan sisältämien suolojen vaikutus näkyy seosten sähkönjohtavuuden nousuna verrattuna turpeen sähkönjohtavuuteen (taulukko 6).

**TAULUKKO 6.** Polttoaine- ja tuhkanäytteiden pH ja sähkönjohtokyky.

Näytteen- ottopäivä	Näyte	Polttoaine		Lentotuhka	
		pH	Johtokyky (mS/m)	pH	Johtokyky (mS/m)
4.12.	Lanta	7,8	76		
7.12.	Turve	3,9	13	10,7	143
8.12.	Lantaturveseos 10 %	3,9	20	9,6	170
9.12.	Lantaturveseos 20 %	3,8	22	9,9	143
10.12.	Lantaturveseos 30 %	3,9	28	10,1	152

Turpeen lentotuhkan pH oli 10,7 (taulukko 6). Tuhka on hyvin emäksistä, ja tästä syystä tuhkaa voidaan käyttää vähentämään maan luontaista happamuutta.

## PALAKOKOJAKAUMA

Polttoainenäytteiden palakokojakauma määritettiin kuivatuista näytteistä seulonnan avulla standardia SFS-EN 17827-2 mukaillen. Seulapakka koostui yhdeksästä seulasta ja yhdestä pohjalevystä. Näytteet seulottiin vaakasuorasti täryttävien seulojen läpi, jolloin palat lajittuivat aleneviin kokoluokkiin. Taulukossa 7 on esitetty analyysissä käytetyt seulakoot.

**TAULUKKO 7.** Palakokoanalyysissä käytetyt seulakoot.

Seulakoko (mm)	Seulan raekoko (mm)
50,0	yli 50,0
40,0	40,0–49,9
31,5	31,5–39,9
16,0	16,0–31,4
8,0	8,0–15,9
4,0	4,0–7,9
2,0	2,0–3,9
1,0	1,0–1,9
0,25	0,25–0,9
Pohja	alle 0,25



Kuvassa 1 on nähtävillä seulotun lantaturveseoksen jakeet foliovuoissa. Näytteen palakoko pienenee kuvassa oikealta vasemmalle.



**KUVA 1.** Lantaturveseoksen eri seulajakeita (kuva Juha Vihavainen).

Taulukossa 8 on esitetty näytteiden palakokojakauma (m-%). Taulukossa on kuvattu, kuinka suuri osa polttoaineen massasta jakautuu eri seulajakeille. Lannan massasta 77,9 m-% kuului 1,0–7,9 mm:n kokoluokkaan. Turpeessa oli hienojakoisempaa raetta verrattuna lannan kutteriin, joten suurin osa turpeen ja lantaturveseosten massasta on palakooltaan 0,25–0,9 mm:n luokassa (23–26 m-%).

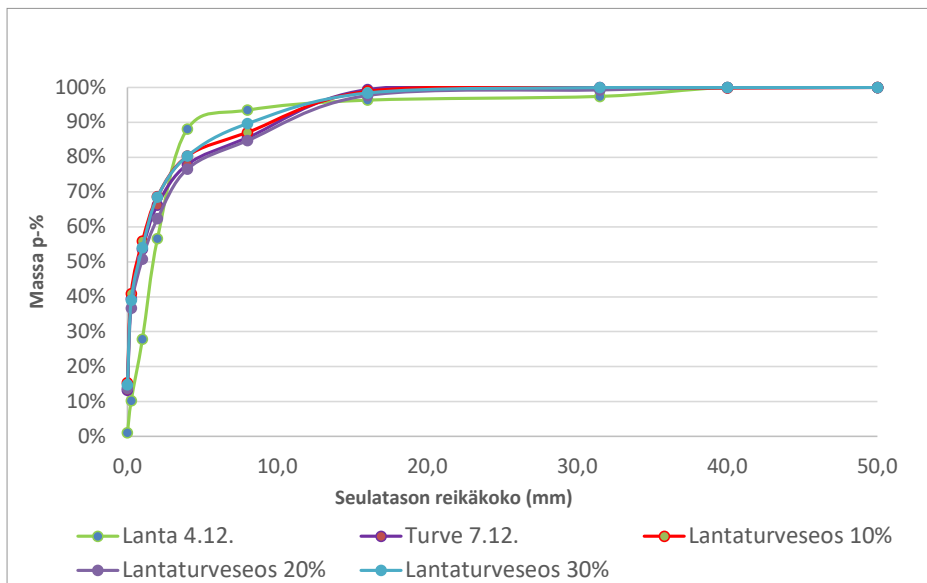
**TAULUKKO 8.** Polttoainenäytteiden palakokojakauman massaprosenttiosuudet.

Seulakoko (mm)	Lanta (m-%)	Turve (m-%)	Lantaturveseos 10 % (m-%)	Lantaturveseos 20 % (m-%)	Lantaturveseos 30 % (m-%)
50	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
40	2,6	0,0	0,0	0,7	0,0
31,5	1,1	0,6	0,9	1,6	1,5
16	2,9	13,8	11,8	13,0	8,8
8,0	5,4	7,7	6,8	8,1	9,3
4,0	31,5	11,6	11,6	14,3	11,8
2,0	28,8	12,7	12,8	11,5	14,5
1,0	17,6	14,1	15,0	14,2	15,1
0,25	9,2	26,2	25,6	22,8	24,2
alle 0,25	1,0	13,3	15,4	13,8 %	14,7



Polttoaineen palakoko vaikuttaa palamiseen, sillä palamisaika on lyhyempi pienemmän palakoon polttoaineilla. Palakoon pienuus voi aiheuttaa polttoainekappaleiden karkaamista palamisilman mukana. Tämän seurauksena kattilan hyötysuhde alenee ja päästöjen hallittavuus huononee. (Kuittinen 2012)

Kuvassa 2 on esitetty palakokojakaumien kumulatiiviset prosenttiosuudet. Turpeella ja lantaturveseoksilla palakoko-osuudet olivat samankaltaiset. Turvepohjaisilla polttoaineilla oli taas hienoaainesta ( $< 0,25$  mm) enemmän kuin lannalla.



**KUVA 2.** Palakokojakaumien kumulatiiviset prosenttiosuudet.

## LÄMPÖARVO

Lämpöarvo kuvaa lämpöenergian määrää poltettavan aineen massayksikköä kohti aineen palaessa täydellisesti. Tämä onkin tärkeä suure polttoaineiden laadun määrittämisessä. Kalorimetrisessä lämpöarvossa aineen sisältämän veden ja vedyn palamistuotteena sisältämän veden oletetaan palamisen jälkeen muuttuvan nesteeksi. Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan kuitenkin yleensä tehollisena lämpöarvona (ns. alempi lämpöarvo), joka ottaa huomioon palamisen yhteydessä höyrystyvän veden energian. Kolmantena lämpöarvona käytetään tehollista lämpöarvoa saapumistilassa, joka ottaa huomioon myös polttoaineiden kosteuspitoisuuden ilman kuivausta. (Alakangas ym. 2016)

Kalorimetrinen lämpöarvo määritettiin Xamkin ympäristölaboratorion Parr 6200 -pommikalorimetrillä. Analyysiä varten valmistettiin kuivatusta polttoaineesta viiden baarin paineessa näytetabletteja. Määrittäminen tehtiin viidellä rinnakkaisella osanäytteellä. Riippuen



polttoaineesta tablettien massat olivat 1–1,3 grammaa. Polttoaineiden lämpöarvot on esitetty taulukossa 9. Lämpöarvojen lisäksi taulukossa on ilmoitettu laskennallisia arvoja. Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa yksikössä kWh/kg on muunnettu käyttäen muuntokerrointa  $1 \text{ MJ} = 0,2778 \text{ kWh}$  (Alakangas ym. 2016). Energiatiheys MWh/i-m<sup>3</sup> on tehollinen lämpöarvo saapumistilassa huomioituna yhtä irtokuutiota kohti.

Lannan kalorimetrinen lämpöarvo 18 MJ/kg (taulukko 9) on alhaisempi turpeeseen (22 MJ/kg) tai lantaturveseoksiin verrattuna (21 MJ/kg). Saapumistilassa lannan tehollinen lämpöarvo on vain 3,1 MJ/kg, kun se turpeella on 11,1 MJ/kg ja seoksissa 10 MJ/kg. Tuloksista on nähtävissä polttoaineen kosteuden vaikutus lämpöarvoon. Lannan kosteusprosentti oli saapumistilassa 71, joten lämpöarvo saapumistilassa eroaa merkittävästi kalorimetrisen lämpöarvoon, joka on määritetty kuivatusta näytteestä.

**TAULUKKO 9.** Polttoainenäytteiden lämpöarvot.

Näytteenottopäivä	4.12.	7.12.	8.12.	9.12.	10.12.
Näyte	Lanta	Turpe	Lanta-turveseos 10 %	Lanta-turveseos 20 %	Lanta-turveseos 30 %
Kalorimetrinen lämpöarvo (MJ/kg)	17,8	22,1	21,7	21,6	21,3
Kalorimetrinen alempi lämpöarvo (MJ/kg)	16,6	21,9	20,4	20,4	20,1
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)*	3,1	11,1	10,4	9,9	9,6
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (kWh/kg)*	0,9	3,1	2,9	2,8	2,7
Energiatiheys (MWh/i-m <sup>3</sup> )*	0,43	0,96	0,90	0,82	0,79
Kosteus (%)	70,7	49,0	43,9	45,7	47,4

\*Laskennallinen arvo

Taulukon laskennallisissa arvoissa on hyödynnetty turpeelle kirjallisuuserrointa 5,6 vedyn osalta sekä lantaturveseoksille ja lannalle kerrointa 5,8. Muita käytettyjä laskennallisia arvoja ovat polttoaineen kokonais- ja näytekosteus sekä polttoaineen irtotiheys. Kosteaa polttoainetta pienentää lämpöarvoa, mikä taas vaikuttaa tarvittavaan polttoainemäärään.



## ULKOPUOLISTEN LABORATORIOIDEN ANALYYSITULOKSET

Polttoaine- ja tuhkanäytteitä lähetettiin analysoitavaksi Metropolilab Oy:n laboratorioon. Xamkin ympäristölaboratoriossa tehtyjen lämpöarvoanalyysien tuloksissa ei ole ristiriitaisuutta ulkopuolisen laboratorion tulosten kanssa. Turpeella on polttoaineista korkein tehollinen lämpöarvo 21 MJ/kg (taulukko 10).

**TAULUKKO 10.** Analyysitulokset polttoaineista (Metropolilab Oy).

Analyysi	Lanta	Turve	Lanta- turve- seos 10 %	Lanta- turve- seos 20 %	Lanta- turve- seos 30 %
Kalorimetrinen lämpöarvo (MJ/kg)	17,71	21,99	21,67	21,52	20,77
Tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)	16,56	20,75	20,45	20,28	19,60
Tilavuuspaino (g/l)	312	271	271	273	273
Kosteus (%)	71,2	41,3	42,4	46,5	45,9
Tuhka (%) ka	12,0	4,4	4,3	5,1	4,9
Rikki (%) (d)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Hiili (%) (d)	43,8	55,2	53,9	54,1	51,8
Vety (%) (d)	5,3	5,7	5,6	5,7	5,4
Typpi (%) (d)	0,83	1,32	1,30	1,33	1,26
Happi (%) (laskennallinen) (d)	34,7	33,1	34,7	33,6	33,5
Kloori (%)	0,290	0,023	0,036	0,037	0,057
Kalium (mg/kg ka)	11 000	510	930	750	1 200
Magnesium (mg/kg ka)	1 600	690	610	540	610
Kalsium (mg/kg ka)	4 100	3 300	2 700	2 800	2 600
Beryllium (mg/kg ka)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Strontium (mg/kg ka)	19	19	16	16	14
Barium (mg/kg ka)	25	28	22	25	23
Natrium (mg/kg ka)	1 400	210	250	350	440
Pii (mg/kg ka)	1 600	1 200	1 000	1 200	1 700
Kloridi vesiliukoinen (mg/kg ka)	4 700	120	240	250	430
Fosfori vesiliukoinen (mg/kg ka)	1 100	8,5	59	58	92



Leijupetipoltossa tuhkan muodostuminen alkaa melko alhaisissa lämpötiloissa, sillä biopolttoaineiden tuhkaan muodostuvat aineet voivat olla joko vesiliukoisia tai sitoutuneena orgaanisiin yhdisteisiin. Näitä aineita ovat alkalimetallit, kuten kalium, sekä maa-alkalimetallit, kuten natrium, kalsium ja magnesium. (Laine-Ylijoki ym., 2002) Kokeissa käytetty lanta sisälsi kloridia 4 700 mg/kg ka, kaliumia 11 000 mg/kg ka, kalsiumia 4 100 mg/kg ka ja magnesiumia 1 600 mg/kg ka. Turpeessa kalsiumia oli 3 300 mg/kg ka ja magnesiumia 690 mg/kg ka. Kloori polttoaineessa muodostaa suolahappoa.

Lentotuhkalle tehtiin kaksivaiheinen ravistelutesti (SFS-EN 12457-3) kaatopaikkakelpoisuuden määrittämiseksi. Tulokset on esitetty taulukossa 11 yhdessä valtioneuvoston asetuksen 331/2013 tavanomaisen jätteen ja vaarallisen jätteen kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvojen kanssa. Demonstraatiokokeiden aikana syntyneet tuhkat voimalaitoksella luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi korkean seleenipitoisuuden vuoksi, sillä tavanomaisen kaatopaikkajätteen seleenipitoisuuden raja-arvo on 1 mg/kg ka. Demonstraatiokokeen tuhkillä seleenipitoisuudet olivat 1,2–1,5 mg/kg ka.

20 prosentin lantaturveseoksella sulfaattipitoisuus oli 30 440 mg/kg ka, joka ylittää tavanomaisen jätteen kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvon 20 000 mg/kg ka. Turpeen tuhkan kloridipitoisuus oli 222 mg/kg ka, ja polttoaineseoksissa kloridipitoisuus nousee lantamäärän kasvaessa. 10 prosentin lantaturveseoksen tuhkassa on kloridia 480 mg/kg ka, kun sitä 30 prosentin lantaturveseoksen tuhkassa on jo 712 mg/kg ka. 20 prosentin lantaturveseoksessa pitoisuus on 464 mg/kg ka.



**TAULUKKO 11.** Analyysitulokset tuhkanäytteistä (Metropolilab Oy) sekä kaatopaikkakelpoisuuden raja-arvot (Vna 331/2013).

Kaksivaiheinen ravistelutesti (mg/kg ka L/S=10 l/kg)	Turve	Lantaturveseos 10 %	Lantaturveseos 20 %	Lantaturveseos 30 %	Tavanomaisen jätteen kaatopaikka (VNa 331/2013)	Vaarallisen jätteen kaatopaikka (VNa 331/2013)
Arseeni (As)	0,04	0,04	0,03	0,03	2	25
Barium (Ba)	3,6	5,0	5,2	4,1	100	300
Kadmium (Cd)	0,01	0,13	0,01	0,02	1	5
Elohopea (Hg)	0,003	0,01	0,01	0,01	0,2	2
Kromi (Cr)	0,19	0,13	0,16	0,30	10	70
Kupari (Cu)	1,0	< 0,10	< 0,01	0,60	50	100
Molybdeeni (Mo)	5,1	6,1	7,0	7,5	10	30
Nikkeli (Ni)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	10	40
Lyijy (Pb)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	10	50
Antimoni (Sb)	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	1	5
Seleen (Se)	1,2	1,5	1,5	1,4	1	7
Sinkki (Zn)	0,23	< 0,13	0,22	0,28	50	200
Vanadiini (V)	0,13	0,14	0,16	0,14	-	-
Kloridi (Cl)	222	480	464	712	15 000	25 000
Fluoridi (F)	< 10	36	< 10	< 10	150	500
Sulfaatti	4 855	6 025	30 440	9 077	20 000	50 000
Fenoli-indeksi	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05		
Liennut orgaaninen hiili DOC	22,5	22,2	22,4	23,9	800	1 000
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä TDS	8 273	10 421	11 630	16 553	60 000	100 000

Jotta tuhkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi lannoitteena, sen on täytettävä lannoitevalmistelle asetetut yleiset ja tyyppinimikohtaiset vaatimukset. Taulukossa 12 on esitetty polttoaineseosten lentotuhkan analyysitulokset verrattuna tuhkalannoitteiden haitallisten aineiden enimmäispitoisuuksiin. Muulla tuhkan hyötykäytöllä tarkoitetaan tuhkan käyttöä maisemoinnissa, viherrakentamisessa tai maa- ja puutarhataloudessa. (Evira 2016)



**TAULUKKO 12.** Tuhkan analyysitulokset (Metropolilab Oy) yhdessä tuhkan hyötykäytön raja-arvojen kanssa (Evira 2016).

Alkuaine (mg/kg)	Turve	Lanta	Lantaturveseos 10 %	Lantaturveseos 20 %	Lantaturveseos 30 %	Raja-arvo muussa kuin metsäkäytössä (mg/kg ka)	Raja-arvo metsäkäytölle (mg/kg ka)
Arseeni (As)	3	< 1	3	4	6	25	40
Kadmium (Cd)	< 0,3	< 0,1	0,29	0,27	0,27	2,5	25
Elohopea (Hg)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1	1
Kromi (Cr)	4	< 2	5	4	< 2	300	300
Kupari (Cu)	8	13	6	7	10	600	700
Lyijy (Pb)	2	< 1	2	2	2	100	150
Sinkki Zn	28	46	12	8	9	1 500	4 500
Nikkeli (Ni)	4	< 4	< 4	< 4	< 4	100	150

Tulosten perusteella polttokokeissa syntynyttä tuhkaa on mahdollista käyttää metsälannoitteena tai muussa hyötykäytössä. Energiantuotannossa syntyvät pohja- tai lentotuhkat on luokiteltu jätteeksi jätelain (Jätelaki 646/2011) nojalla. Lain mukaan jäte on ensisijaisesti kierrätettävä tai hyötykäytettävä, jos se ei aiheuta vaaraa ympäristölle tai terveydelle. Energiantuotannossa syntynyttä tuhkaa voidaan hyödyntää myös maarakentamisessa MARA-asetuksen (VNa 843/2017) mukaisesti. Tässä tutkimuksessa ei analysoitu kaikkia asetuksen vaatimia haitta-ainepitoisuuksia, mutta tutkituista haitta-aineista seleeni- ja sulfaattipitoisuudet ylittivät MARA-asetuksen tiukimman raja-arvon maarakennuskelpoisuudelle (MARA-asetus 2017).

## PÄÄSTÖMITTAUKSET

Demonstraatiokoesarjan aikana kattilan teho kasvoi säässä tapahtuneen kylmenemisen vuoksi. Tehorasoissa kokeiden välillä on noin 5–10 prosentin ero. Laitoksen keskiteho eri mittauspäivinä on esitetty taulukossa 13 yhdessä ilman keskilämpötilan kanssa.

**TAULUKKO 13.** Laitoksen keskiteho (MW) demonstraatiokokeiden aikana.

d	Polttoaine	Keskiteho (MW)	Ilman keskilämpötila (°C)
7.12.	Turve	5,3	0,0
8.12.	Lantaturveseos 10 %	5,7	-3,7
9.12.	Lantaturveseos 20 %	6,2	-5,6
10.12.	Lantaturveseos 30 %	6,2	-6,4



Hiukkas- ja savukaasumittauksia suoritettiin 7.–10.12.2020 klo 9–15. Laitoksen tuottama hiukkaspäästö määritettiin päivittäin kolmella rinnakkaisella näytteellä ja yhdellä nollanäytteellä Dr Födisch GMD 12 -laitteistolla. Yksittäisen näytteen mittausaika oli 30 minuuttia. Savukaasumittauksia suoritettiin Testo 350 -laitteistolla hiukkasmittausten yhteydessä. Mittaukset suoritettiin savukaasupuhaltimen jälkeisestä kanavasta ennen savupiippua.

Hiukkasmittausta varten määritettiin mittauspisteiden määrä ja sijainti kanavassa standardin SFS 13284-1 mukaisesti. Mittaus aloitettiin savukaasun kosteuden ja nopeuden ja sondissa käytettävän suuttimen koon määrittämisellä. Savukaasun nopeus määritetään Pitot-putkella, joka mittaa virtauksen staattista ja dynaamista painetta. Näiden arvojen avulla analysaattori laskee kaasun nopeuden kanavassa. Sondin suuttimen oikea koko määritetään kanavassa tehtävällä imunopeuden testimittauksella, jonka tuloksen perusteella laite ehdottaa virtaukseen sopivaa suutinta. Suuttimen koon tulee olla mitatulle savukaasunopeudelle sopiva, jotta mittaus olisi mahdollisimman isokineettistä.

## KORROOSIOMITTAUKSET

Demonstraatiokokeiden aikana selvitettiin myös, lisääkö hevosenlannan poltto mahdollista kattilan korroosioriskiä. Tämä tapahtui epäsuoralla mittausmenetelmällä, joka tutkii materiaalin passiivikerroksen ominaisuuksia. Mittausmenetelmänä käytetään LPR-menetelmää (Linear Polarisation Resistance) ja johtokykymittausta. LPR-menetelmässä kattilan materiaalia edustavan koekappaleen sähkökemiallista pintapotentialia poikkeutetaan eli polarisoidaan tasapainotilastaan ulkoisen virtalähteen avulla tyypillisesti muutamia millivolteja. Potentialipoikkeaman aikaansaamiseen kulunut virta mitataan ja siitä lasketaan koekappaleen pintakerroksen resistanssi. Johtokykymittauksella mitataan koekappaleiden päälle muodostuvan saostuman resistiivisyyttä. LPR-resistanssiarvo on käänteisesti verrannollinen koekappaleen pinnalla tapahtuviin hapetusreaktioihin, joista osa on korroosioireaktioita. Siten suurempi LPR-arvo indikoi pienempää korroosionopeutta. Resistiivisyys on sitä suurempi, mitä vähemmän sulafaasia pintakerrostumassa on. Siten suurempi resistiivisyysarvo indikoi pienempää korroosioalttiutta. Järjestelmä monitoroi korroosiomittausten lisäksi lämpötilaa. Mittaukset tehtiin tulistinpesän yläosassa. Korroosiomittaussondissa käytettiin samoja materiaaleja kuin kohteen tulistimissa. Korroosiomittauksista vastasi Savcor Oy.

## MITTAUSTULOKSET

Keskiarvotulokset savukaasumittauksista on esitetty taulukossa 14 yhdessä kattilan tehon kanssa. Tuloksista voidaan nähdä rikki- ja typpipäästöjen lievää pientenymistä lannan osuuden kasvaessa polttoaineessa. Mittausviikon aikana ilma kylmeni, minkä vuoksi kattilan teho nousi mittausten aikana. Hiukkaspäästöissä ei näy merkittävää eroa eri polttoaineiden välillä mittausjakson aikana.

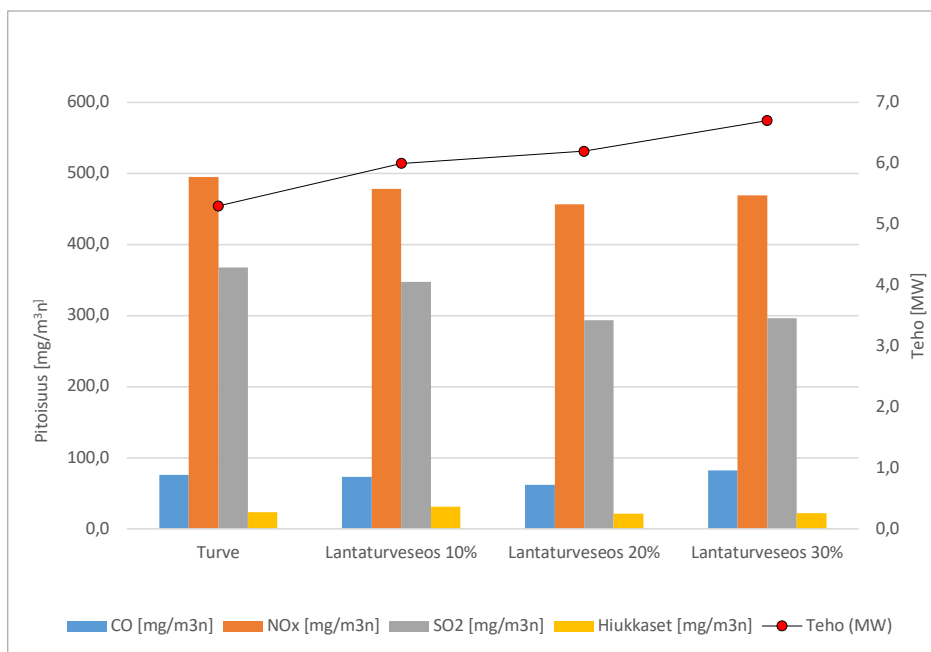


**TAULUKKO 14.** Mittaustulokset ja kattilan teho. Päästösuureet on redusoitu 6 %:n O<sub>2</sub>-pitoisuuteen. Säätiöt Ilmatieteenlaitos 2020.

Polttoaine	Kat-tilan teho (MW)*	CO (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	Hiuk- kaset (mg/m <sup>3</sup> n)	Ilman keski- lämpö- tila (°C)
Turve	5,3	76	495	368	24	0,0
Lantaturveseos 10 %	6,0	76	479	346	31	-3,7
Lantaturveseos 20 %	6,2	62	457	293	22	-5,6
Lantaturveseos 30 %	6,7	82	469	297	22	-6,4

\*Teho klo 9–15 välillä

Demonstraatiokokeen savukaasu- ja hiukkasmittausten tuloksia on esitetty pylväskaavion avulla kuvassa 3. Lantaturvekoeajoissa saavutettiin pienemmät typpipäästöt verrattuna turveajoon. Lannan urean lisäksi alentuneeseen typpipäästöön on vaikuttanut lannan kuivikekutteri. Koeajossa, jossa käytettiin 10 prosentin lantaturveseosta, poltettiin kattilassa myös noin 30 m<sup>3</sup> eli noin 13 prosenttia koko kokonaispolttoainemäärästä sahanpurua. Tällä lisäpuun määrällä ei kuitenkaan näyttäisi olevan vaikutusta mittaustuloksiin, sillä muutokset päästöissä ovat suuremmat koeajoissa, joissa käytettiin turpeen seassa enemmän lantaa.



**KUVA 3.** Savukaasupäästöjen mittaustulokset redusoitu 6 %:n happipitoisuuteen.



Turpeen korvaaminen vähempi rikkisellä ainesosalla (lantakuivikekutteri) aiheutti pienemmät rikkioksidipäästöt. Polton tuottamissa häkäpäästöissä ei näy merkittävää eroa eri polttoaineiden välillä (kuva 3). Hiilimonoksidia eli häkää syntyy muun muassa epätasaisesta polttoaineen jakautumisesta tulipesässä, jolloin tulipesän happipitoisuudessa on eroja. Hiilimonoksidia muodostuu, kun happipitoisuus tulipesässä on alhainen. (Gullman 2019) Myös polttoaineen laadulla, kuten kosteudella on vaikutusta syntyviin päästöihin, kuten hiilimonoksidiin.

Tarkasteltaessa hiukkaspitoisuuksia huomataan, että koeajossa, jossa käytettiin 10 prosenttia lantaa, saavutettiin korkein hiukkaspitoisuus  $31 \text{ mg/m}^3\text{n}$  verrattuna muihin ajoihin, joissa hiukkaspitoisuus oli  $24\text{--}22 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Hiukkaspäästöt riippuvat polttoaineiden tuhkapitoisuudesta ja käytetystä polttotekniikasta mutta ensisijaisesti erotinlaitteista. (Leinonen 2010)

Jäännöshappi kertoo polton energiatehokkuudesta. Demonstraatiokokeiden aikana jäännöshapessa ei havaittu vaihtelua. Taulukossa 15 on esitetty jäännöshappi mittauspäivinä yhdessä hiukkaspäästön laskennassa käytettyjen suureiden kanssa.

**TAULUKKO 15.** Jäännöshappipitoisuus ja hiukkasmittaustulokset.

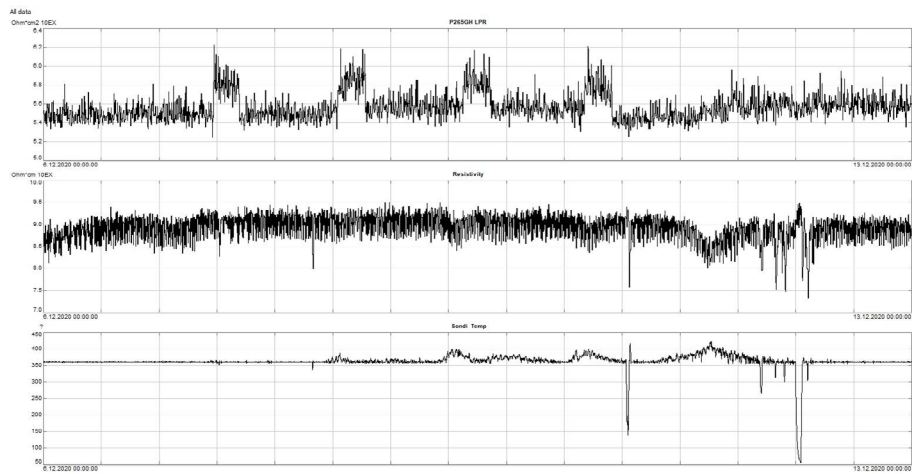
Polttoaine	Jäännöshappi (%)	Savukaasuvirtaus ( $\text{m}^3\text{n/s}$ ), kostea	Mittausaika (min)	Näytekaasumäärä ( $\text{m}^3$ ), kuiva
Turve	6,6	2,99	90	2,7
Lantaturveseos 10 %	6,5	3,34	90	2,9
Lantaturveseos 20 %	6,5	5,34	90	2,2
Lantaturveseos 30 %	6,5	3,32	90	2,9

Savukaasuvirtauksen nopeus ja imetty näytekaasumäärä vaihtelevat mittausten aikana. Hiukkasmittausanalysaattori ottaa nämä vaihtelevat parametrit huomioon laskennassa, joten hiukkasmittausten tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Mittauksien kokonaisepävarmuuden arvioidaan olevan savukaasupäästöissä  $\pm 20$  prosenttia ilmoitetuista tuloksista ja hiukkaspäästöissä  $\pm 30$  prosenttia ilmoitetuista tuloksista. Mittausepävarmuuteen luetaan mukaan näytteenoton virheet, analysaattorien epätarkkuus, savukaasujen kosteuden määrittelyn epävarmuus ja näistä johtuva laskentaan kohdistuva virhe.



## KORROOSIOMITTAUKSET

Demonstraatiokokeiden aikana mitattiin kattilan korroosio-olosuhteita jatkuvatoimisella korroosiomonitorointilaitteistolla. Monitorointijaksolla kattilassa ei havaittu korroosiota (kuva 4). LPR-tasot jopa kohosivat hieman koepäivien aamuina, myös pelkällä turpeella ajettaessa. Resistiivisyydessä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kuvassa 4 resistiivisyyden ja LPR-arvon lisäksi on esitetty lämpötila.



**KUVA 4.** Materiaalin korroosiokestävyyttä mitattiin lineaarisella polarisaatiovastusmittauksella ja ympäristön korroosioagressiivisuutta resistiivisyydsmittauksella. Lisäksi seurattiin mittausalueen lämpötilaa.

## YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksia vertaillen tulee ottaa huomioon, että polttotekniset ominaisuudet muuttuivat mittausjakson aikana kylmenevän ilman ja siitä johtuvan tehon nousun takia. Tehon lisäyksen ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa kattilan palamislämpötilaan, vaan se pyritään ohjauksella pitämään tasaisella, hyötysuhteeltaan hyvällä tasolla. Kattilan kuorma nousi tasaisesti mittausjakson aikana. Kun laitoksella poltettiin 30 prosentin lantaturveseosta, kattilan kuorma oli noussut 26 prosenttia verrattuna pelkän turpeenpolttoon. Tehon nousu mittausjakson aikana on esitetty taulukossa 16.

**TAULUKKO 16.** Tehon nousu mittausjakson aikana.

Polttoaine	Tehon nousu (%)
Turve	0
Lantaturveseos 10 %	13
Lantaturveseos 20 %	17
Lantaturveseos 30 %	26



Seospolttoaineella on ollut lievä vähentävä vaikutus poltossa syntyneisiin NO<sub>x</sub>-päästöihin. Vähennykseen on vaikuttanut lannan urean lisäksi lannan kuivikekutteri. Kuorman muutoksilla ei tutkimustiedon mukaan ole merkittävästi vaikutusta tuotettuihin NO<sub>x</sub>-päästöihin. (Mermoud ym. 2015).

Rikkipäästöissä on myös huomattavissa pientä laskua lannan osuuden kasvaessa polttoaineessa. Tämä saattaa selittyä turpeen korvautumisella lannan kutterinpurulla sekä hevosenlannalla, joka sisältää luontaisesti vähemmän rikkiä kuin vertailupolttoaineena käytetty jyrshinturpe. Mittausjakson aikana käytetyillä polttoaineseoksilla ei näyttäisi tulosten mukaan olevan vaikutusta tuotettuihin hiukkaspäästöihin.

Jäännöshappipitoisuudet pysyivät samoissa lukemissa koko mittausjakson ajan. Myöskään CO-pitoisuuksissa ei ole havaittavissa eroja eri polttoaineseoksien välillä eikä myöskään suurta vaihtelua CO-pitoisuuden keskihajonnan välillä. Mittausdatan CO-pitoisuuksien perusteella hevosenlanta ei vaikuttanut polttotapahtumaan.

Mittausjakson aikana käytetyn hevosenlantaerän kosteusprosentti oli liian korkea, jotta se soveltuisi käytettäväksi pääpolttoaineena polttolaitoksella. Korkea kosteusprosentti vaikuttaa voimakkaasti polttoaineesta saatavaan energiamäärään, kuten taulukosta 8 ja 9 nähdään. Polttoaineen korkealla kosteusprosentilla on myös vaikutus kattilan hyötysuhteeseen, kun polttoaineen veden täytyy haihtua ennen polttoaineen palamista. Polttoaineen kosteusprosentilla voi olla myös lisäävä vaikutus savukaasupäästöihin. (Suomen Metsäkeskus 2015)

Hevosenlanta soveltuu poltettavaksi parhaiten seospolttona alhaisena osuutena pääpolttoaineen, kuten turpeen, seassa. Hevosenlannan poltto turpeen kanssa ei kokeissa lisännyt korroosiota laitoksella, vaikka hevosenlanta nostikin polttoaineen sähkönjohtokykyä, mikä johtui lannan sisältämistä kloorista sekä alkaleista. Turpe toimisi lannanpoltossa ns. suoja-aineena, joka rikkipitoisena pystyisi sitomaan alkaleita sekä muuttamaan alkalikloridit vaarattomaan muotoon. Esimerkiksi puunpoltossa käytetään suoja-aineena turvetta turvaamaan tulistinpintojen puhtaana pysymistä sekä suojaamaan korroosiota (Alakangas 2016).

Ulkopuolisen laboratorion tekemän kaksivaiheisen ravistelutestin mukaan koepoltoissa syntynyt lentotuhka eri lantaturveseoksilla luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi korkean seleenipitoisuuden ja lisäksi 20 prosentin lantaturveseoksella korkean sulfaattipitoisuuden takia. Tuhkaa on mahdollista käyttää metsälannoitteena, eikä seleenipitoisuudelle ole olemassa raja-arvoa tuhkan lannoituskäyttöä varten. (Evira 2016)

Mittaustuloksia verrattaessa lannan käyttöä polttoaineena koskevaan ohjeeseen (Ympäristöministeriö ym. 2018) huomataan, että lannanpolton raja-arvot ovat SO<sub>2</sub>-päästöjen osalta 75 mg/m<sup>3</sup>n ja NO<sub>x</sub>-päästöjen osalta 300 mg/m<sup>3</sup>n sekä hiukkaspitoisuus on 75 mg/m<sup>3</sup>n (6 % O<sub>2</sub>). Jos hevosenlanta poltetaan esimerkiksi turpeen kanssa seospolttona, laitos määritellään monipolttoaineyksiköksi. Tällöin laitoksen päästöille tulee laskea päästöraja-arvot PIPO-asetuksen liitteen 1 A mukaisesti.



## LÄHTEET

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira, 2016. Tuhkalannoitteen tuoteselosteohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/op-paat-ja-lomakkeet/yritykset/lannoitevalmisteet/ohjeet/tuhkalannoitteen-tuoteselosteohje.pdf>.

Flyktman, M., Impola, R. & Linna, V. 2012. Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta. VTT. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BC1EA01A4-C78E-4152-A601-3AE51323EDEB%7D/119826>.

Gullman, R. Kehittynyt palamisprosessin hallinta tuo energiatehokkuutta ja vähentää päästöjä. Voimalaitosten uutiset 24.10.2019. Saatavissa: <https://www.pohjolanvoima.fi/kehittynyt-palamisprosessin-hallinta-tuo-energiatehokkuutta-ja-vahentaa-paastoja/>

Ilmatieteen laitos. 2020. Säähavaintojen latauspalvelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.

Jätelaki 646/2011. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110646>.

Kuittinen, T. 2012. Biopolttoaineiden ominaisuudet. Energiatekniikan kandidaattityö ja seminaari. Tekninen tiedekunta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/88854/Biopolttoaineiden%20ominaisuudet.pdf?sequence=1>.

Laine-Ylijoki, J., Wahlström, M., Peltola, K., Pihlajaniemi, M. & Mäkelä, E. 2002. Seospolttoaineiden tuhkien koostumus ja ympäristölaadunvarmistusjärjestelmä. VTT Prosessit. VTT tiedotteita 2141. ISBN 951-38-5892-8 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>). ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>). Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2002/T2141.pdf>.

Leinonen, A. VTT, 2010. Turpeen tuotanto ja käyttö: yhteenvedo selvityksistä. PDF-tiedosto. Saatavissa: <https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/05/Turpeen-tuotanto-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6-yhteenvedo-selvityksist%C3%A4-VTT-tiedotteita-2550-.pdf>.



Mermoud, F., Haroutunian, A., Faessler, J. & Lachal, B. 2015. Impact of load variations on wood boiler efficiency and emissions: in-situ monitoring of two boilers (2 MW and 0.65 MW) supplying a district heating system. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://www.unige.ch/sphn/Publications/ArchivesSciences/AdS%202004-2015/AdS%202015%20Vol%2068%20Fasc%201/027\\_038\\_Mermoud\\_68-1.pdf](https://www.unige.ch/sphn/Publications/ArchivesSciences/AdS%202004-2015/AdS%202015%20Vol%2068%20Fasc%201/027_038_Mermoud_68-1.pdf).

Mohebbi, M., Rajabipour, F. & Scheetz, B.E. 2015. Reliability of loss on ignition (LOI) test for determining the unburned carbon content in fly ash. Saatavissa: <http://www.flyash.info/2015/141-mohebbi-2015.pdf>.

Metropolilab Oy 2021. Analyysitodistus NOxOpti-hanke.

SFS-EN 14780. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteen esikäsittely.

SFS-EN 17827-2. Kiinteät biopolttoaineet. Palakokojakauman määrittäminen.

SFS-EN 17828. Kiinteät biopolttoaineet. Irtotiheyden määrittäminen.

SFS-EN 18122. Kiinteät biopolttoaineet. Tuhkapitoisuuden määrittäminen.

SFS-EN 18125. Kiinteät biopolttoaineet. Lämpöarvon määrittäminen.

SFS-EN 18134-2. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä.

SFS-EN 18135. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto.

Suomen Metsäkeskus, 2015. Biolämpöliiketoiminnan laatu- ja kannattavuushanke, nro 15397. PDF-tiedosto. Saatavissa: [https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/2012-14\\_lop-puraportti\\_biohanke\\_2\\_.pdf](https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/2012-14_lop-puraportti_biohanke_2_.pdf).

VNa 843/2017. Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maaraken-  
tamisessa 843/2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170843>.

VNa 331/2013. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 331/2013. WWW-dokumentti.  
Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>



Ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2018. Tuotantoeläinten lannan käyttö polttoaineena polttoaineteholtaan enintään 50 MW:n kattiloissa. Ohje 14.11.2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Ohje+Tuotantoel%C3%A4inten+lannan+polttoainek%C3%A4ytt%C3%B6+enint%C3%A4%C3%A4n+50+MWn+kattiloissa.pdf/9075b801-9067-e8e5-4d4c-a8e0fd9bf1ea/Ohje+Tuotantoel%C3%A4inten+lannan+polttoainek%C3%A4ytt%C3%B6+enint%C3%A4%C3%A4n+50+MWn+kattiloissa.pdf?t=1605689847541>

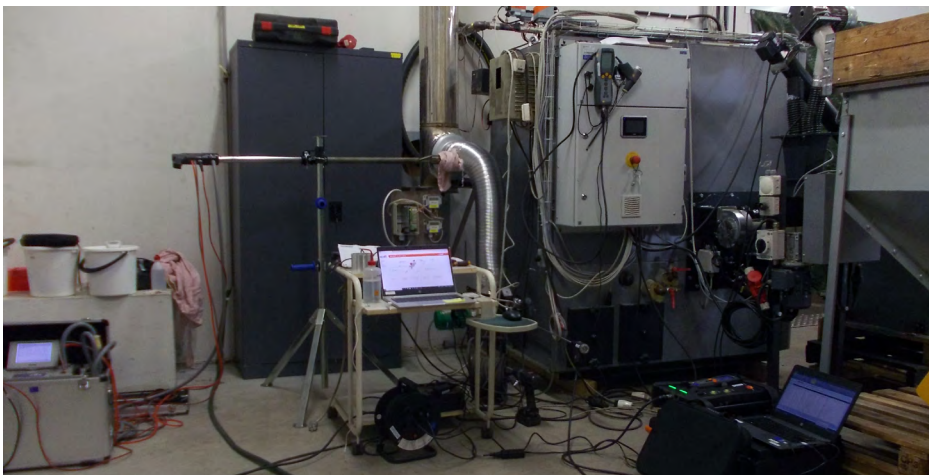


# PIENEN MITTAKAAVAN DEMONSTRAATIOPOLTTOKOKEET ARITERM SERVICE OY:N KOEKATTILALLA

Juha Vihavainen, Niina Laurila & Vesa Kalliokoski

Demonstraatiokokeissa testattiin kalkkipitoisen aineen (puutuhkan) toimivuutta turpeenpoltossa syntyvien rikkipäästöjen vähentämisessä. Koe toteutettiin polttamalla turvepelletti- ja tuhkaraseosta koekattilassa. Demonstraatiokokeissa monitoroitiin tuhkan vaikutusta polttotapahtumaan, energiatehokkuuteen ja savukaasupäästöihin. Tuhkan toimivuutta SO<sub>2</sub>-päästöjen hallinnassa selvitettiin kahdella kokeella, joita olivat vertailukoe pelkällä turvepelletin poltolla sekä tuhkarae-turvepellettipoltot, joissa tuhkan massaprosentit olivat 5 ja 10 prosenttia kokonaispolttoainemäärästä. Polttoaineen ja erityisesti muodostuvan tuhkan ominaisuuksia seurattiin myös kokeiden aikana.

Polttokokeet toteutettiin Saarijärvellä Arterm Service Oy:n tiloissa. Tämä yritys on suomalainen keskuslämmityskattiloiden ja biopolttolaitteiden valmistaja. Kokeet tehtiin tuotantotilojen yhteydessä sijaitsevassa testauslaboratoriossa 120 kW:n BioComp-koekattilalla, joka on tekniikaltaan arinakattila. Polttoaineen syöttö pellettisiilosta arinalle toteutettiin ruuvin avulla. Kattilassa ei ole erillistä savukaasun puhdistusta tai hiukkassuodatuslaitteistoa. Kuvassa 1 on esitetty kattila ja päästömittauslaitteistoa.



**KUVA 1.** Arterm Service Oy:n 120 kW:n BioComp-kattila ja päästömittauslaitteistoa (kuva Juha Vihavainen).



## POLTTOAINE

Kokeissa käytetty puutuhka hankittiin Suur-Savon Sähkö Oy:n Mäntyharjun kaukolämpökeskukselta. Polttoaineena laitoksella käytetään sekapuu-metsähaketta. Tuhka rakeistettiin tislattun veden avulla rakeiksi, joiden halkaisija on maksimissaan 1 cm. Rakeistus tehtiin Xamkin ympäristölaboratorion laitteistolla, joka on esitetty kuvassa 2. Seossuhde määritettiin koelaboratoriossa punnitsemalla ja sekoittamalla tuhkamateriaali ja turvepelletit keskenään. Sekoituksen jälkeen polttoaineseos siirrettiin polttoainesiiloon.

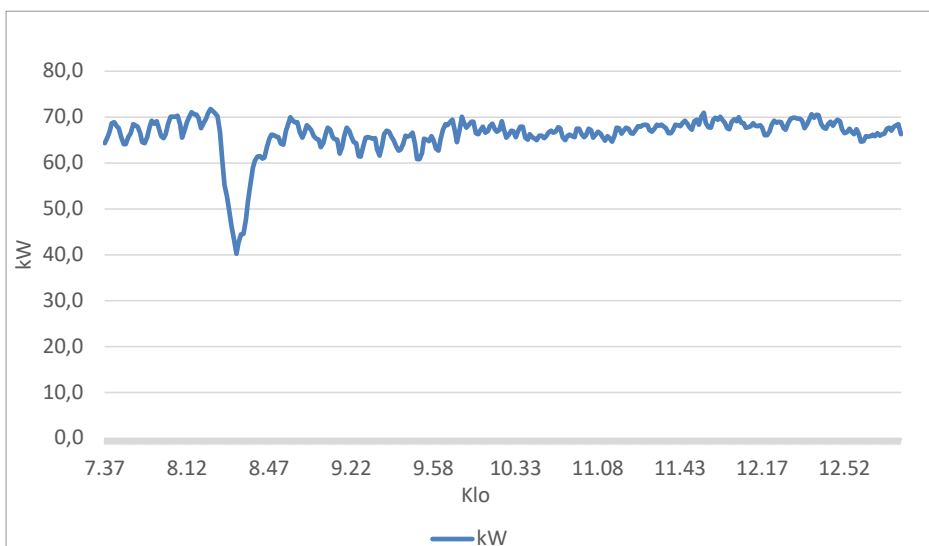


**KUVA 2.** Tuhkan rakeistukseen käytetty laitteisto sekä turvepelletti-tuhkaraeseos (kuva Juha Vihavainen).

## KOEOLOSUHTEET

Kattilan teho oli polttokokeiden ajan keskimäärin 66 kW eli 55 prosenttia maksimitehosta. Kuvassa 3 on esitetty kattilan teho koeajalta. Kattilan tuhka-astia tyhjennettiin ennen seospolttojen aloitusta noin klo 8.30, mikä näkyy tuloksissa hetkellisenä tehon laskuna ja päästöpitoisuuksien nousuna. Kattilan poltto-olosuhteet pyrittiin pitämään samanlaisena kokeiden ajan, jolloin kokeet eri polttoaineilla ovat vertailukelpoisia keskenään. Mittauspaikalla päästömittauslaitteiston läheisyydessä kosteuspitoisuus oli keskimäärin 40,1 % ja lämpötila 18,8 °C. Ilmankosteus ja lämpötila mitattiin Vaisala HM-40 -mittarilla. Ulkolämpötila oli lähimmässä mittauspisteessä (Möksy) keskimäärin 9 °C ja kosteus 80 %. (Ilmatieteen laitos)





**KUVA 3.** Koekattilan teho polttokokeiden ajan.

Vertailukoe ajettiin pelkällä turvepellettiseoksella. Rikkipäästöjen hallintaa testattiin neljällä kokeella. Kahdessa ensimmäisessä kokeessa käytettiin rakeistettua tuhkaa. Tämän jälkeen kokeet toistettiin rakeistamattomalla tuhalla. Tuhka, jonka määrä kokeissa oli 5 ja 10 m-%, sekoitettiin turvepellettien sekaan. Jokaista erää pyrittiin polttamaan noin tunti luotettavan päästömittausdatan saamiseksi. Taulukossa 1 on esitetty polttoainemassat.

**TAULUKKO 1.** Polttokokeiden aikana kulunut polttoaine.

Polttoaine	Massa (kg)
Tuhka	5,0
Turvepelletti	92,2
<b>Yhteensä (kg)</b>	<b>97,2</b>

Mittaukset aloitettiin, kun edellisen kokeen polttoaine-tuhkaseos oli siilossa ehtinyt vaihtua uuteen koeseokseen. Turvepellettiseoksen jälkeen tuhkaraketta sekä rakeistamatonta tuhkaa sekoitettiin pääpolttoaineen, turvepelletin, sekaan 5 % ja 10 % massaprosentteina.



## ULKOPUOLISEN LABORATORION ANALYYSIT

Polttoaine- ja tuhkanäytteitä lähetettiin analysoitavaksi ALS Finland Oy:n laboratorioon, jossa näytteistä analysoitiin muun muassa rikki- ja metallipitoisuudet. Taulukossa 2 on esitetty turvepelletin sekä tuhkanäytteiden analyysituloksia.

**TAULUKKO 2.** Analyysitulokset (ALS Finland Oy).

Analyyysi	Puutuhka	Turvepelletti	Turvepelletti, lentotuhka
Kuiva-aine 105 °C (%)	98,5	85,4	98,4
Kloridi (Cl-) (mg/kg ka)	15 600		938
Vedetön kokonaishiili (%) ka)	2,31	49,9	10,2.
Vedetön kokonaisrikki (%) ka)	5,69	0,16	0,76
Vedetön kokonaistyyppi (%) ka)	0,27	0,91	< 0,10
Vedetön vety (%) ka)	0,74	6,22 %	0,94
Arseeni (As)	< 2,5	< 0,5	12,7
Hopea (Ag)	< 2,5	< 0,5	< 2,5
Barium (Ba)	109	24,1	412
Beryllium (Be)	0,237	0,020	0,559
Kadmium (Cd)	17,9	< 0,40	3,38
Koboltti (Co)	8,81	0,26	12,0
Elohopea (Hg)	< 1	< 0,20	< 1,0
Mangaani (Mn)	8 430	34,4	16 900
Litium (Li)	27,4	< 1,0	28,6
Rauta (Fe)	5 930	997	27 000
Kromi (Cr)	74,6	2,02	263
Kupari (Cu)	209	1,7	141
Molybdeeni (Mo)	7,41	< 0,4	2,83
Nikkeli (Ni)	27,0	< 1,0	34,3
Lyijy (Pb)	101	4,8	47,2
Antimoni (Sb)	< 2,5	< 0,50	< 2,5
Kalium (K)	154 000	154	51 500
Magnesium (Mg)	24 600	454	34 600
Natrium (Na)	4 570	109	4 920
Vanadiini (V)	6,92	1,23	30,2
Titaani (Ti)	< 2,5	8,44	< 2,5
Strontium (Sr)	948	8,00	1 100
Tina (Sn)	< 5	< 1,0	< 5,0
Fosfori (P)	18 200	239	11 300
Sinkki (Zn)	7 800	14,6	346
Kalsium (Ca)	180 000	1 050	218 000



Xamkin ympäristölaboratoriossa kokeissa käytetystä tuhkanäytteestä sekä turveajon tuhasta määritettiin myös palohäviötesti (LOI) sekä pH ja sähkönjohtokyky. Palohäviötesti kuvaa palamattoman aineen sekä muun muassa vaikeasti haihtuvien yhdisteiden määrää tuhkassa. Koe tehtiin standardin ASTM D7348-21 mukaisesti kuumentamalla näyte 950 °C:n lämpötilaan. Näytteiden pH ja sähkönjohtokyky määritettiin standardia SFS-ISO 10390 mukaillen. Taulukossa 3 on esitetty tulokset määrittämisistä.

**TAULUKKO 3.** Puutuhkanäytteen analyysitulokset.

Näyte	pH	Johtokyky (mS/m)	LOI (%)
Tuhkarae	12,7	64	12,87
Turvepelletti lentotuhka	12,7	29	16,01

## PÄÄSTÖMITTAUKSET

Savukaasumittauksia tehtiin klo 7.30–13.00 välillä Testo 350 -laitteistolla, joka mittaa O<sub>2</sub>-, CO-, CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- ja SO<sub>2</sub>-pitoisuuksia sähkökemiallisten sensorien avulla. Mittaukset tehtiin kattilan jälkeisestä savukanavasta. Hiukkasmittauksia ei ollut järkevää tehdä kokeiden lyhytkestoisuuden vuoksi. Gravimetrinen hiukkasmittaus vaatii rinnakkaisten näytteiden takia pidemmän mittausajan kuin mitä oli mahdollista kokeissa toteuttaa. Savukaasujen häikäipitoisuutta monitoroitiin kattilan polttotapahtuman tasaisuuden varmistamiseksi.

## MITTAUSTULOKSET

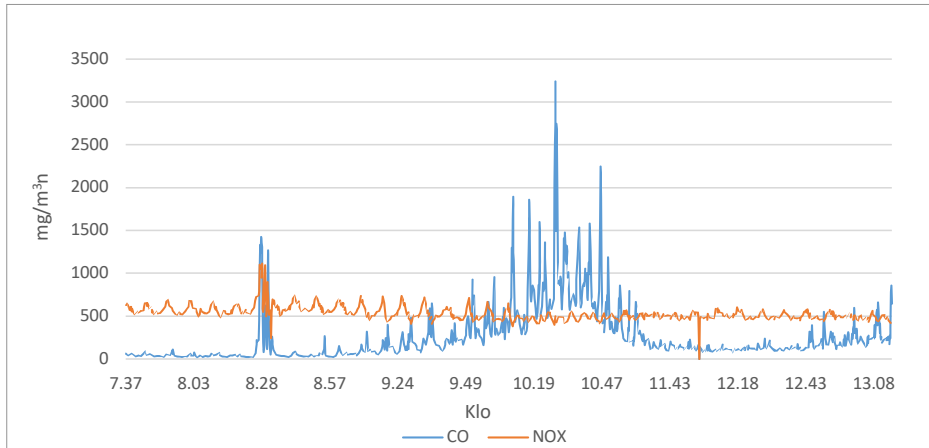
Keskiarvotulokset savukaasumittauksista on esitetty taulukossa 4. Kattilan parametrit oli säädetty turvepelletille optimaaliseksi ja ne pyrittiin pitämään tasaisena läpi koeajojen vertailukelpoisuuden vuoksi.

**TAULUKKO 4.** Mittaustulokset. Päästösuureet on redusoitu 6 % O<sub>2</sub>-pitoisuuteen.

Polttoaine	CO (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)
Turvepelletti	239	502	463
Tuhkarae 5 %	145	556	401
Tuhkarae 10 %	715	491	448
Rakeistamaton tuhka 5 %	118	508	473
Rakeistamaton tuhka 10 %	205	495	466



Kuvassa 4 on esitetty NO<sub>x</sub>- ja CO-pitoisuudet kokeiden aikana. Tuloksista huomataan, että CO-pitoisuus alkaa nousta tuhkarakokeiden käynnistyttyä. Suurin CO-pitoisuus saavutetaan 10 m-% tuhkarakoeajossa. Nousu saattaa johtua palamattomista tuhkarakeista sekä tuhkan sintraantumisen kattilassa. Koe keskeytettiin, minkä jälkeen kattilassa ajettiin pelkkää turpepellettiä. Hiilimonoksidipitoisuus lähti laskuun turpeenpolton aikana.

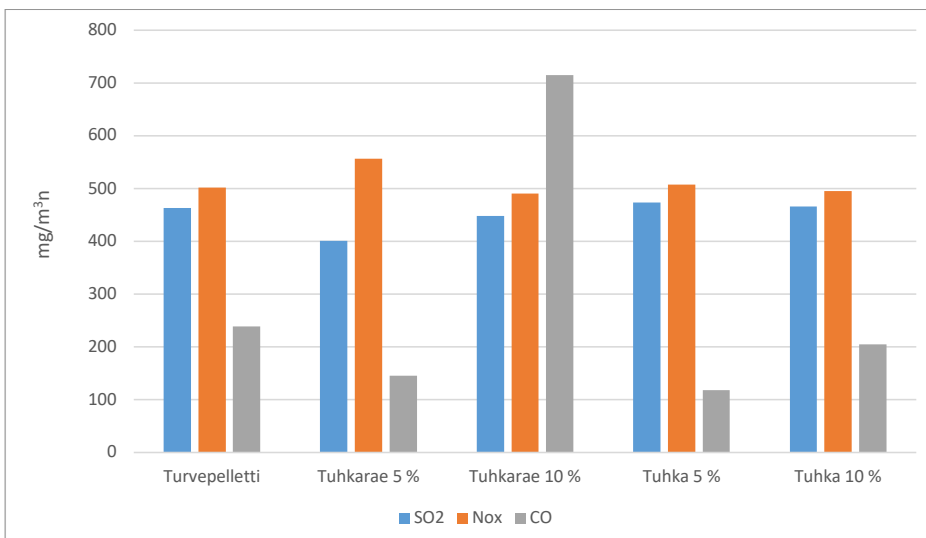


**KUVA 4.** NO<sub>x</sub>- ja CO-pitoisuuksien muutos koepoltoissa (tulokset redusoitu 6 %:n happipitoisuuteen).

Hiilimonoksidin tasaantumisen jälkeen demonstraatiokoetta jatkettiin toistamalla koe käsittelemättömällä tuhalla (rakeistamaton). Näissäkin kokeissa on nähtävissä CO-pitoisuuden nousua (kuva 4).

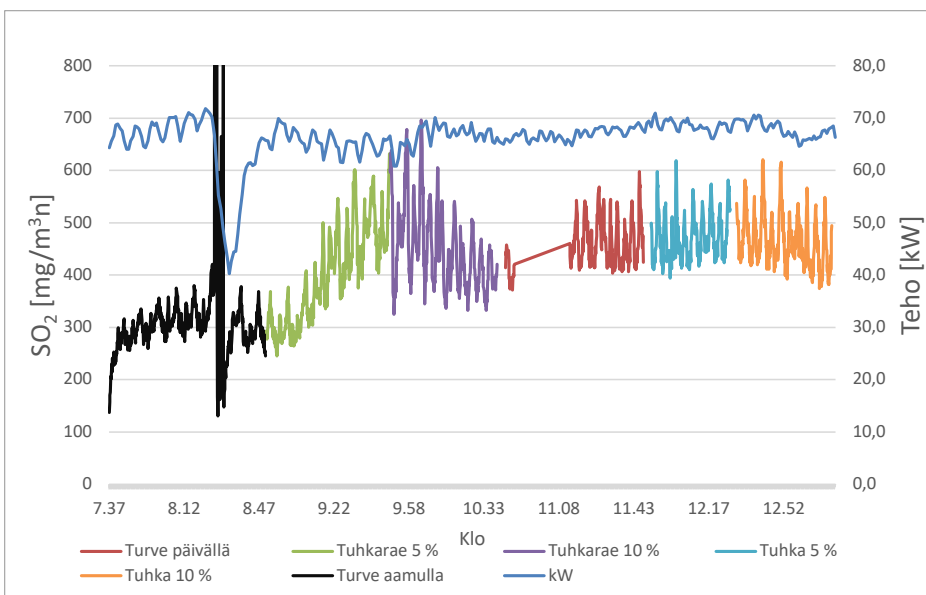
Kuvassa 5 on esitetty koottuna polttokokeiden päästömittaustuloksien keskiarvot. Pelkän turpepelletin poltolla CO-pitoisuudet ovat matalammat NO<sub>x</sub>- ja SO<sub>2</sub>-pitoisuuksien pysyessä samalla tasolla muiden polttoaine-tuhkaseosten kanssa.





**KUVA 5.** Päästömittaustuloksien keskiarvot eri polttoainetuhkaseoksilla (tulokset redusoitu 6 %:n happipitoisuuteen).

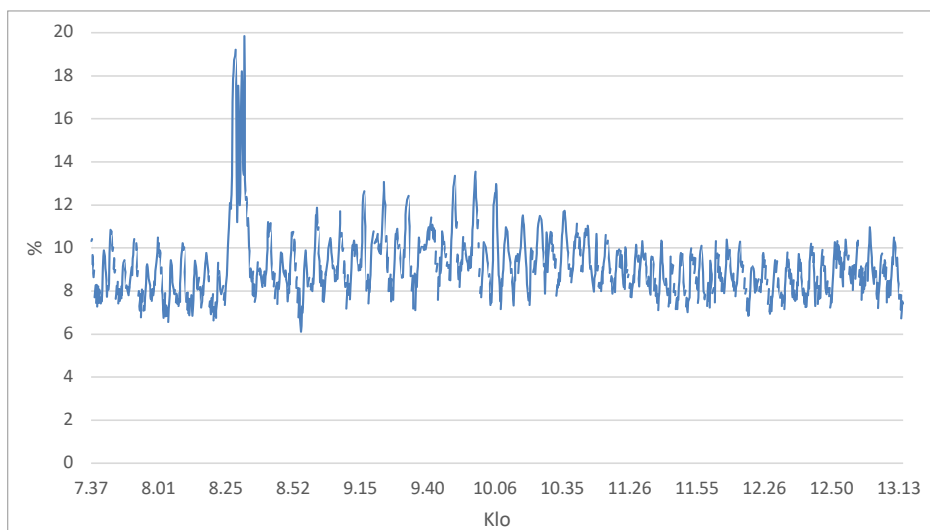
Kuvaan 6 on koottu SO<sub>2</sub>-pitoisuudet eri polttoaine-tuhkaseoksilla. Pelkkää turvepellettiä poltettiin kahdella eri aikavälillä, kokeiden alussa ja puolivälissä koetta. Päivällä poltetussa turvepelletissä SO<sub>2</sub>-pitoisuudet ovat korkeampia kuin aamun poltossa. Tuhkaräe 5 m-%:n polton aikana rikkidioksidipitoisuus nousee, mikä saattaa johtua tuhkan sintraantumista kattilassa.



**KUVA 6.** Koeajojen SO<sub>2</sub>-päästöjen vertailua. Tulokset redusoitu 6 %:n happipitoisuuteen.



Jäännöshapen osalta ei ollut havaittavissa merkittävää vaihtelua (kuva 7). Piikki happipitoisuudessa noin klo 8.30 johtuu tuhka-astian tyhjennyksestä. Happipitoisuus oli kokeiden aikana keskimäärin 9,2 prosenttia.



**KUVA 7.** Jäännöshappipitoisuus mittauksien ajan.

Mittauksien kokonaisepävarmuuden arvioidaan olevan savukaasupäästöissä  $\pm 20$  prosenttia ilmoitetuista tuloksista. Mittausepävarmuuteen luetaan mukaan analysaattorien epätarkkuus ja tästä laskentaan kohdistuva virhe.

## YHTEENVETO

Kokeiden aikana teho ja kattilan parametrit pysyivät samoina. Keskimäärin teho oli 66 kW eli 55 prosenttia maksimitehosta. Kattilan polttolämpötilaa ei ollut mahdollista tallentaa anturivian vuoksi. Tuhkarakeiden polton aikana CO-päästöt nousivat ja NOx-päästöt laskivat hieman, mikä viittaisi tuhkan sintraantumiseen johtuvaan epätäydelliseen palamiseen. Suurin CO-päästön nousu tapahtui tuhkarakokeiden aikana. Koeajoissa, joissa käytettiin rakeistamatonta tuhkaa, hiilimonoksidin nousu tapahtui hitaammin. Nousua oli kuitenkin havaittavissa, vaikka CO-päästömäärässä ei päästy samoihin lukemiin kuin kokeessa, jossa raetuhkan määrä oli 10 m-%. Jäännöshappipitoisuudet pysyivät samoissa lukemissa koko mittausjakson ajan.

Tuhkan lisäyksillä ei ollut vaikutusta SO<sub>2</sub>-päästöihin. Koeajon aikana tuhkarake sintraantui, joten jatkotoimenpiteitä ajatellen olisi hyvä selvittää esimerkiksi vaihtoehtoisia tapoja syöt-



tää tuhkaa tulipesään ja sitä, missä tuhkan muodossa (rakeistettu, käsittelemätön) haluttu vaikutus olisi mahdollista saavuttaa. Perinteisesti savukaasun puhdistus tapahtuu vasta kattilan jälkeen, joten kalkkipitoisen aineen syöttöä myöhäisemmässä vaiheessa prosessia olisi hyvä testata.

## LÄHTEET

ALS Finland Oy, 2021. Analyysiraportti NOxOpti-hanke.

ASTM-D7348. Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues.

Ilmatieteen laitos. Säähavaintojen latauspalvelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

SFS-EN 10390. Soil quality – Determination of pH.



# SELVITYS VAIHTOEHTOISEN PÄÄSTÖJENHALLINTA- MENETELMÄN KAUPALLISTAMIS- MAHDOLLISUUDESTA

Niina Laurila & Heikki Tirkkonen

Vaihtoehtoiselle turpeenpolton typen oksidipäästöjen hallintamenetelmälle tehtiin demonstraatiokokeiden tulosten perusteella teknistaloudellinen tarkastelu. Menetelmän käyttöönottoon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa puhdistustehokkuus, lannan laatu, saatavuus-, sekä kuljetus- ja käsittelykustannukset. Tarkastelu tehtiin yhteistyössä Casfin Oy:n kanssa.

## YLEISIMMÄT NO<sub>x</sub>-PÄÄSTÖJEN HALLINTAMENETELMÄT

Biomassaa, jätettä ja hiiltä polttavissa voimalaitoksissa käytetään usein selektiivistä ei-katalyyttistä pelkistystekniikkaa (SNCR). Siinä ruiskutetaan joko ammoniakkia tai ureaa kattilan tulipesään, jossa savukaasun lämpötila on 760–1 090 °C. Lisätty ammoniakki tai urea reagoi typen oksidien kanssa muodostaen redox-reaktion kautta typpeä, hiilidioksidia ja vettä. Urean käyttö katalyyttinä on yleisempää, sillä sitä on helpompi käsitellä ja varastoida kuin vaarallisempaa ammoniakkia. Ratkaisevaa menetelmän toimivuudelle on riittävä reaktioaika reaktion vaatimalla lämpötila-alueella. SNCR-menetelmällä on mahdollista saavuttaa noin 90 prosentin puhdistustehokkuus, mutta käytännössä lämpötilan, ajan ja sekoittumisen rajoitukset johtavat usein huonompaan tulokseen, ja puhdistustehokkuus voi olla 40–80 prosenttia. (Valmet Oy s.a., Yara Oy s.a.)

Toinen käytetty tekniikka on selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen (SCR), jossa typen oksidien (NO<sub>x</sub>) päästöjä vähennetään katalysaattorilla. Ennen katalyyttikammioita ruiskutetaan ammoniakkia tai muuta pelkistysainetta (kuten ureaa) savukaasujen sekaan. NO-pelkistysreaktio tapahtuu, kun kaasut kulkevat katalyyttikammion läpi. Ihanteellisen reaktion optimaalinen lämpötila-alue on 357–447 °C, mutta se voi toimia myös 227–447 °C:ssa, jos viipymisaika on pidempi. Alin tehokas lämpötila riippuu eri polttoaineista, kaasun ainesosista ja katalyytin geometriasta. SCR-menetelmän katalyyttien valmistuksessa käytetään huokoista tukimateriaalia, kuten titaanioksidia. Katalyytin aktiiviset komponentit ovat yleensä oksideja, joiden perusmetallit ovat vanadiini, molybdeeni, volframi, zeoliitti tai eri



jalometalleja. Epäjaloilla katalyyttimetalleilla, kuten vanadiinilla ja volframilla, ei ole korkeaa termistä kestävyyttä, mutta ne ovat edullisempia ja toimivat erittäin hyvin yleisimmin käytetyillä teollisuuden ja lämmityskattiloiden lämpötila-alueilla. Savukaasujen lentotuhka aiheuttaa katalyyttipintojen likaantumista ja tukkeutumista. Tätä pyritään torjumaan erilaisilla nuohoimilla sekä kanaviston ja katalyysaattorimateriaalien huolellisella suunnittelulla. SCR-katalyyttien tyypillinen käyttöikä hiilikattiloissa on noin 16 000–40 000 tuntia (1,8–4,5 vuotta) savukaasuvirrasta riippuen ja maakaasuvoimalaitoksissa jopa 80 000 tuntia (9 vuotta). Myrkyllisiä rikkiyhdisteitä ja lentotuhkaa voidaan poistaa asentamalla pesuri SCR-järjestelmän eteen katalyytin käyttöikänsä pidentämiseksi. SCR-menetelmä voi vähentää palamisprosessissa syntyviä NO<sub>x</sub>-päästöjä jopa 95 prosenttia, mikä täyttää lainsäädännön tiukat vaatimukset myös tulevaisuudessa. SCR-prosessi on tehokkain tekniikka, koska sen muuntosuhde on paras. SCR-menetelmää käytetään tyypillisesti suurissa höyrykattiloissa sekä teollisuus- ja jätteenpolttokattiloissa. (Valmet Oy s.a., Yara Oy s.a.)

Käyttö- ja pääomakustannukset ovat sekä selektiivisessä ei-katalyyttisessä (SNCR)- että selektiivisessä katalyyttisessä (SCR) -menetelmässä suhteellisen korkeat verrattuna yksinkertaisempiin NO<sub>x</sub>-vähentämismenetelmiin, kuten low-NO<sub>x</sub>-polttimiin (LNB). SCR-menetelmä on alkuinvestoinniltaan kalliimpi, mutta menetelmä on kustannustehokkaampi pidemmällä aikavälillä, koska savukaasusta voidaan vähentää NO<sub>x</sub>-päästöjä 90 prosenttia. SNCR-menetelmä on ihanteellinen pienempiin NO<sub>x</sub>-vähennyssovelluksiin. (Valmet Oy s.a., Yara Oy s.a.)

## SNCR- JA SCR-VÄHENNYSMENETELMIEN KUSTANNUKSET

Hanke sai käyttöönsä Turun seudun energiatuotanto Oy:ltä tietoa Naantalín laitoksilla toteutetuista NO<sub>x</sub>-päästöjen vähennysmenetelmistä. Naantalín laitosten tarkemmat päästö-tiedot eivät olleet tutkimuksessa käytettävissä. Naantalín voimalaitoksessa tuotetaan sähköä, kaukolämpöä ja prosessihöyryä kahdella voimalaitosyksiköllä NA4 ja NA3. Näistä yksiköistä NA4 käyttää pääpolttoaineenaan biopolttoaineita ja NA3 kivihiihtä. NA4:llä NO<sub>x</sub>-päästöjen hallinta on toteutettu kahden miljoonan euron (investointikustannus) SNCR-järjestelmällä. Vuonna 2020 polttoainetta käytettiin laitoksella 408 GWh. Ammoniakkikustannukset olivat 60 000 euroa ja ylläpitokustannukset 5 000 euroa. Laskennalliset investointikustannukset olivat 20 vuoden käyttöajalla 245 euroa/GWh ja vuosittaiset käyttökustannukset 160 euroa/GWh. (Turun seudun Energiatuotanto 2021)

Naantali 3:n (NA3) energia tuotetaan hiilen pölypoltolla. NO<sub>x</sub>-päästöjen hallinta on toteutettu SCR-laitteistolla, jonka investointikustannukset olivat yli 20 miljoonaa euroa. Vuonna 2020 polttoainetta kului 306 GWh. Päästöjen hallinnassa ammoniakkikustannukset olivat vastaavasti 19 000 euroa. SCR-laitteistolle on 20 vuoden investointikustannukseksi lasket-



tu 3 270 euroa/GWh. Vuosittainen käyttökustannus on 62 euroa/GWh. (Turun seudun Energiatuotanto 2021)

Kuten jo aiemmin todettiin, SCR-menetelmä on investointina kalliimpi, mutta käyttökustannuksiltaan ja NO<sub>x</sub>-vähennysteholtaan parempi. SNCR-menetelmän investointi on edullisempi, mutta sen käyttö on kalliimpaa ja samoin NO<sub>x</sub>-päästöjen vähennysteho on heikompi.

## VAIHTOEHTOISEN MENETELMÄN TESTAUS

NO<sub>x</sub>Opti-hankkeessa toteutetussa demonstraatiokokeessa haluttiin selvittää, voisiko hevoselannan sisältämä urea vähentää turpeenpoltossa syntyviä NO<sub>x</sub>-päästöjä. Virtsan sisältämä urea voisi muuntua ammoniakiksi ja siten pelkistää NO<sub>x</sub>-molekyylejä. Demonstraatiokoe tehtiin Suur-Savon Sähkö Oy:n Juvan Puutarhatien lämpökeskuksella, jonka pääkattila on 10,6 MW:n BFB-kattila. Demonstraatiopolttokokeet tehtiin 10 prosentin, 20 prosentin ja 30 prosentin lantaturveseoksilla sekä 100 prosentin turveajolla (vertailukoe). Lantaturveseokset sekoitettiin valmiiksi Pakinsuon turvetuotantoalueella. Polttoaineseokset toimitettiin lämpökeskukselle normaaliin tapaan traktori-perävaunu-yhdistelmällä. Hevoselantaa on aikaisempina vuosina poltettu lämpölaitoksella useampien viikkojen jaksoja, joten toiminta sinällään oli toimijoille tuttua. Polttokokeet ja seospolttoaineet eivät vaatineet polttoainekuljetukselta, -vastaanotolta tai -kuljettimilta mitään lisäinvestointeja tai normaalista poikkeavia toimenpiteitä.

## DEMONSTRAATIOTULOSTEN ANALYSOINTI

Polttokokeissa käytetyn hevoselannan kosteus oli yli 70 prosenttia, ja sen tehollinen lämpöarvo oli 16,56 MJ/kg. Tiheys saapumistilassa oli välivarastolla 488 kg/im<sup>3</sup>. Lannan suuresta kosteudesta johtuen jää energiatiheys sangen matalaksi noin 0,41 MWh/im<sup>3</sup>. Lannan typpi-, vety- tai happipitoisuudet eivät ole merkittävästi suurempia (osin pienempiä) verrattuna turpeen pitoisuuksiin. Tästä voitaneen päätellä, että kokeessa käytetyn lannan ureapitoisuus oli melko matala. Kloori- ja fosforipitoisuudet ovat lannassa merkittävästi suurempia turpeeseen verrattuna. Tämä voi suurilla lannanpolttomäärillä lisätä kattilan korroosiota ja likaantumista.

Päästömittaustuloksista laskettiin suhteellinen NO<sub>x</sub>-päästövähenemä (taulukko 1). Tulokista nähdään, ettei testattu hevoselannan lisääminen polttoaineseokseen NO<sub>x</sub>-päästöjen vähennysmenetelmänä ole tehokas. Päästövähenemä jää melko vaatimattomaksi, noin viiden prosentin tasoon. Kaupallisilla SCR- ja SNCR-menetelmillä NO<sub>x</sub>-päästöjä pystytään vähentämään 40–95 prosenttia. Jos kuitenkin lannan käyttö on muuten logistisesti ja



laitoksen tekniikan kannalta mahdollista, kannattaa pienikin NO<sub>x</sub>-päästöjen mahdollisuus hyödyntää.

**TAULUKKO 1.** Mittaustulokset ja laskennallinen päästövähennys. Päästösuureet on redusoitu 6 %:n O<sub>2</sub>-pitoisuuteen.

Polttoaine	Kattilan teho (MW)*	CO (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> n)	NO <sub>x</sub> päästövähenys (%)	SO <sub>2</sub> päästövähenys (%)
Turve	5,3	75,7	495	368	0	0
Lantaturve-seos 10 %	6	72,9	479	348	3,3	5,5
Lantaturve-seos 20 %	6,2	62,2	457	293	7,7	20,2
Lantaturve-seos 30 %	6,7	82	469	297	5,2	19,3

## KUSTANNUSTEN TARKASTELU

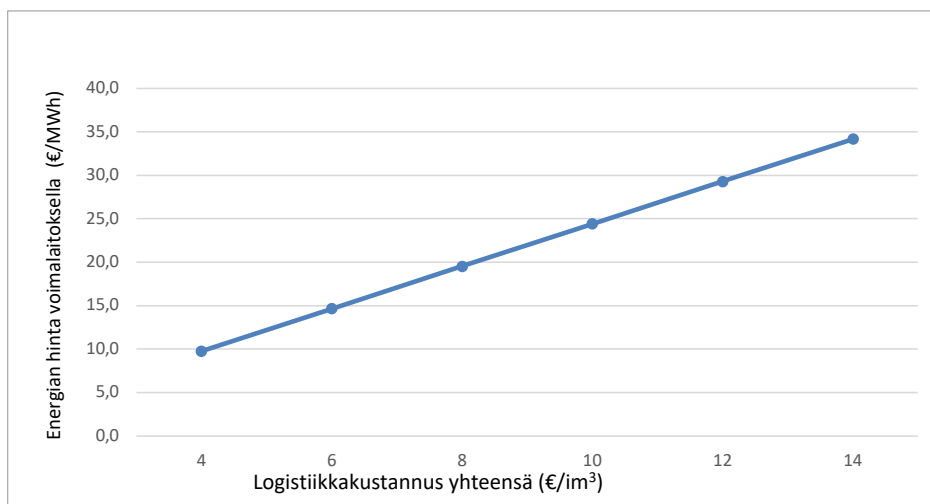
Hevosenselän polton tarkastelu tehtiin noin 10 MW:n kattilalaitoksella, joka vastaa demonstraatiopolttokokeissa käytetyn Juvan laitoksen kokoluokkaa. Tulokset ovat kuitenkin hyvin skaalattavissa laitoskokoluokkaan 1–50 MW, joskin 50 MW suuremmassa kokoluokassa kiristynyt lainsäädäntö lisää merkittävästi kustannuksia tai saattaa jopa estää lannan käyttämisen polttoaineena. Toisena lähtökohtana tarkastelussa on seospolttoaineen valmistus, jonka sekoitussuhdealue on 5–30 prosenttia. Tätä suuremmilla seossuoksilla polttoaineseoksen kosteus kasvaa liian suureksi. Polttoaineseos voidaan tehdä joko polttoaineen välivarastolla tai kattilalaitoksen polttoaineen vastaanotossa. Kannattavuuslaskelmissa on tarkasteltu näiden kahden polttoaineen käsittelyvaihtoehdon lisäksi myös lannan porttihinna vaikutusta kustannuksiin.

## POLTTOAINE TEHDÄÄN POLTTOAINEEN VÄLIVARASTOLLA

Tässä tarkasteluvaihtoehdossa hevosenseläntä kuljetetaan polttoaineen välivarastolle esimerkiksi turvesuon aumojen läheisyyteen, jossa lanta sekoitetaan muun polttoaineen joukkoon. Logistiikkakustannuksia tulee siis lannan kuormauksesta lähtöpaikassa, kuljetuksesta polttoainevarastolle, lannan sekoituksesta muuhun polttoaineseen, seospolttoaineen kuormauksesta ja kuljettamisesta kattilalaitokselle. Tässä vaihtoehdossa ei kattilalaitoksella tarvita mitään merkittäviä investointeja. Kustannuslaskelman perusteella energian hinta



laitokselle on 2,5-kertainen polttoainehintaan verrattuna (kuva 1). Esimerkiksi 8 euron/ $\text{im}^3$  logistiikkakustannuksilla tulee lannan hinnaksi kattilalaitokselle lähes 20 euroa/MWh.



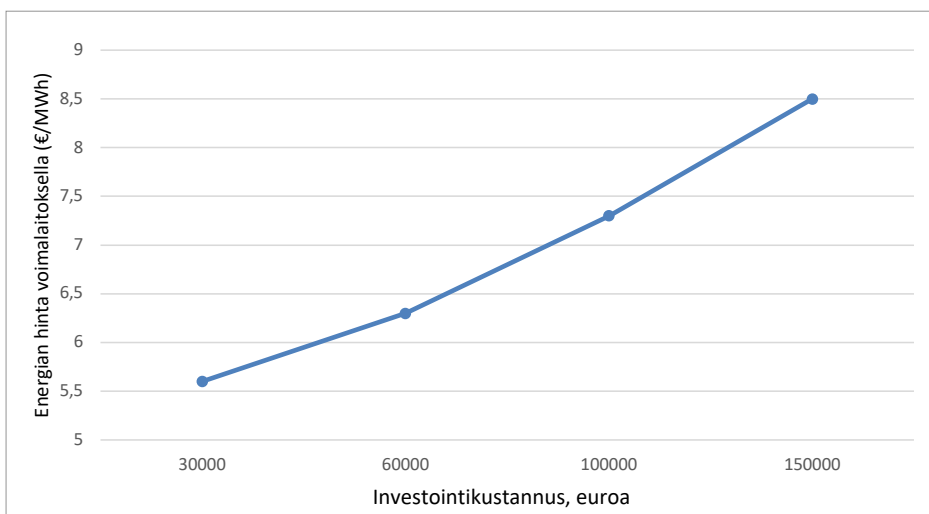
**KUVA 1.** Logistiikkakustannusten (€/im³) vaikutus energian hintaan laitoksella (€/MWh)

## POLTTOAINESEOS TEHDÄÄN KATTILALAITOKSEN POLTTOAINEEN VASTAANOTOSSA

Tässä laskelmavaihtoehdossa hevosenlanta toimitetaan suoraan kattilalaitokselle. Tämä vaatii käytännössä polttoaineiden vastaanotossa ja syöttölaitteistossa oman erillisen linjansa ja erillisen, ainakin puskurivarastokokoluokan varaston. Laitoksella joudutaan tekemään investointeja polttoaineen vastaanottoon, purkaimiin, mahdollisesti seula- tai magneettierottimiin ja polttoaineen vastaanoton automaatiojärjestelmään. Lisäksi käyttöönotossa tarvitaan säätö- ja viritystyötä, jotta lanta-polttoaineseos saadaan haluttuun seossuhteeseen.

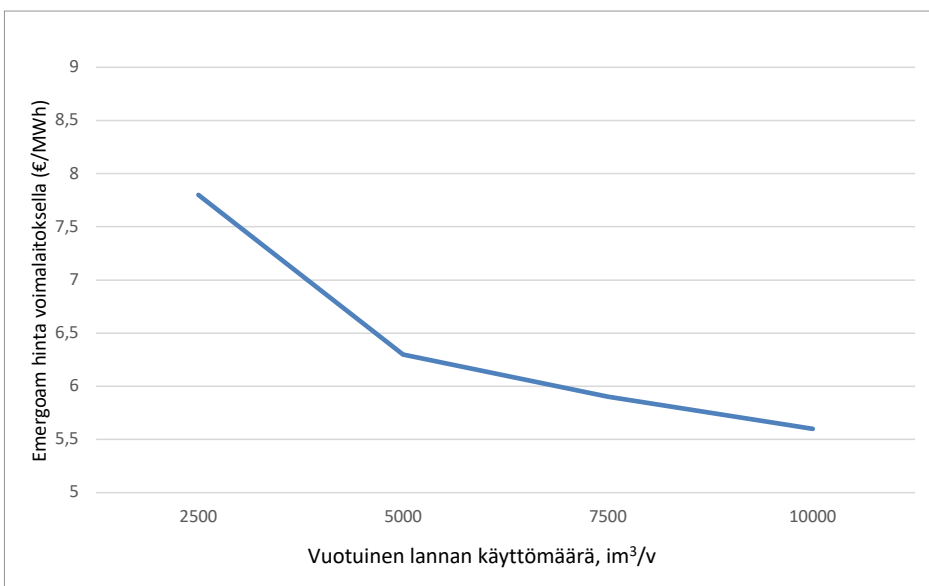
Laitoksella tapahtuva hevosenlannan vastaanotto ja polttoaineseoksen valmistaminen on soveltuvampi vaihtoehto suurempien ja ajallisesti pitkien lannan polttojaksojen kokonaistaloudelliseen ratkaisemiseen. Kannattavuuden ratkaisevat laitoksella tarvittavat investoinnit, vuotuinen hevosenlannan polttomäärä ja investoinnin pitoaika. Ainoa logistiikkakustannus on lannan toimittaminen tallilta laitoksen vastaanottoon. Tehdyssä laskelmassa on simuloitu eri investointikustannusten ja lannan polttomäärien vaikutusta energiakustannukseen laitteen 20 vuoden pitoajalla. Logistiikkakustannuksena on käytetty 2 €/im³, ja vuotuinen poltettu lantamääränä 5 000 im³ (kuva 2). 30 000 euron laiteinvestointi nostaa laitoksen energiahinnan 5,6 euroon/MWh. Jos laiteinvestointi on 150 000 euroa, on energian hinta laitoksella tuolloin 8,5 €/MWh.





**KUVA 2.** Investointikustannusten vaikutus energian hintaan laitoksella (€/MWh)

Laskelmassa tarkastellaan myös vuotuisen lannan polttomäärän vaikutusta polttoaine-energian hintaan. Laskelmassa käytetty investoinnin pitoaika on 20 vuotta ja investointikustannus on ollut 60 000 euroa. Poltettavan lantamäärän kasvun myötä energian hinta laskee. Lantamäärän vuotuisen käyttömäärän nosto 2 500  $\text{m}^3$ :sta 5 000  $\text{m}^3$ :oon laskee energian hintaa 7,8 eurosta/MWh 6,3 euroon/MWh. Lantamäärän käytön ollessa 10 000  $\text{m}^3$ /a laskee energian hintaa 5,6 euroon/MWh.



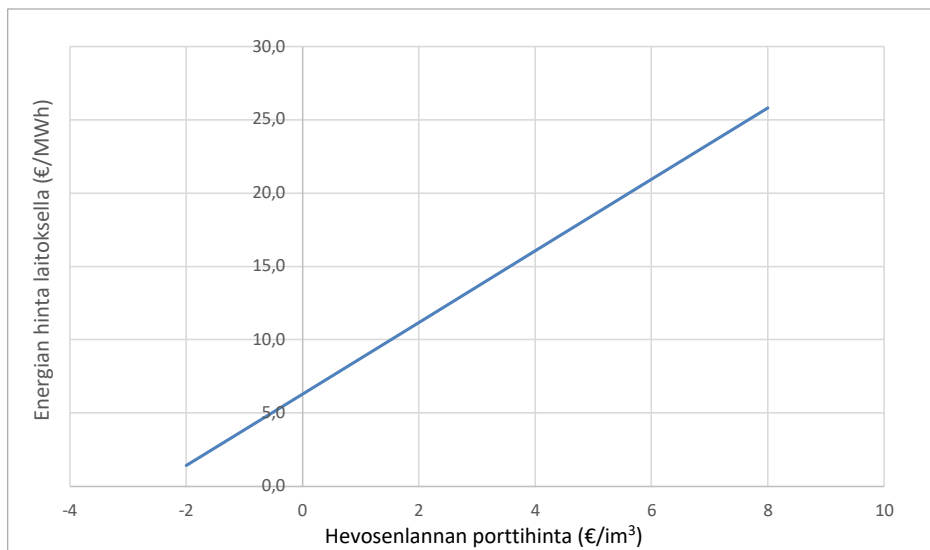
**KUVA 3.** Lannan käyttömäärän vaikutus energian hintaan laitoksella (€/MWh)



Tehdyissä simuloinneista voidaan nähdä, että hevosenlannan logistiikkakustannukset ovat merkittävässä osassa. Tämä johtuu suurelta osin lannan suuresta kosteudesta ja siten heikosta energiatiheystä. Mikäli on tarkoitus käyttää merkittäviä lantamääriä vuosittain, kannattaa investoida kattilalaitokselle oma vastaanotto ja säädettävä syöttölinja lantapolttoaineseoksen sekoittamista varten.

## LANNAN PORTTIHINNAN VAIKUTUS POLTTOAINESEOKSEN HINTAAN

Seuraavassa tarkastellaan hevosenlantakuivikeseoksen hintaa toimitettuna laitoksen vastaanottoasemalle eli ns. porttihinnaa. Simuloidaan tapausta, jossa laitokselle on investoitu 60 000 euroa lannan vastaanottoon. Tämän kuoletusaika on 20 vuotta, ja vuotuinen lannan käyttö määrä on 5 000 im<sup>3</sup>. Tällä kustannuspohjalla hevosenlannan käytöstä polttoaineena muodostuu 6,3 euron/MWh kustannus (kuva 4).



**KUVA 4.** Hevosenlannan porttihinnan (€/im<sup>3</sup>) vaikutus laitoksen energian hintaan (€/MWh).

Negatiivisella vastaanottohinnalla -2 €/im<sup>3</sup> laitokselle ei juuri muodostu kustannusta hevosenlannan poltosta. Toisaalta esimerkiksi 6 euron/im<sup>3</sup> vastaanottohinna nostaisi polttoaineseoksen hinnan yli 20 euroon/MWh.



## HEVOSENLANTA POLTTOAINEENA

Tarkasteltaessa hevosenlannan polttoainekäyttöä tulee ottaa huomioon energiatuotantoyksiköiden PIPO-asetuksen päästöraajat, jotka ovat osittain riippuvaisia laitoksen vuotuisesta käyttöajasta (Valtioneuvoston asetus 1065/2017). PIPO-asetuksen lisäksi komission asetus N:o 1262/2017 ”Tuotantoeläinten lannan polttoainekäyttöä koskeva sivutuotelainsäädännön muunnos” säätelee tuotantoeläinten lannanpolttoa kattiloissa, joiden polttoaineteho on enintään 50 MW. Myös kansallinen sivutuotelaki ja ympäristönsuojelulainsäädäntö säätelevät lannan polttoainekäyttöä.

EU:n sivutuotelainsäädännön muutoksen myötä tuotantoeläinten lannanpolttoa polttoaineteholtaan korkeintaan 50 MW:n kattilassa ei enää katsota jätteen poltoksi, jolloin toiminnassa ei tarvitse myöskään noudattaa jätteenpolttolainsäädäntöä. Mikäli kattilassa kuitenkin poltetaan tuotantoeläinten lannan lisäksi joitain muita eläinperäisiä sivutuotteita tai niistä johdettuja tuotteita tai jos kattilan polttoaineteho on yli 50 MW, katsotaan toiminta edelleen jätteenpoltoksi. Poltettaessa lantaa tulee poltossa syntyvän savukaasun lämpötila nostaa kahdeksi sekunniksi 850 °C:seen tai 0,2 sekunniksi 1 100 °C:seen. Lämpötila tulee mitata sen kammion sisäseinän läheisyydestä, jossa palaminen tapahtuu, tai muusta toimivaltaisen viranomaisen hyväksymästä edustavasta kammion kohdasta.

EU:n sivutuotelainsäädännön muutos määrittelee lannanpoltolle myös päästöraja-arvot (ilmaistuna 6 %:n happipitoisuudessa), joka rikkidioksidille on 75 mg/m<sup>3</sup>n, typen oksideille (ilmaistuna typpidioksidina NO<sub>2</sub>) 300 mg/m<sup>3</sup>n ja hiukkasille 15 mg/m<sup>3</sup>n. Poikkeuksena on polttoaineteholtaan 5 MW:n kattila, jonka päästöraja-arvo hiukkasille on 75 mg/m<sup>3</sup>n. Hevosenlannan käyttö polttoaineseoksessa laskee siis 1–50 MW energiantuotantolaitoksen NO<sub>x</sub>-päästörajan 420–600 mg:n/m<sup>3</sup>n tasosta 300 mg:n/m<sup>3</sup>n tasoon. Tämä päästörajan lasku saattaaakin siten rajoittaa hevosenlannan käyttöä. Näin tapahtuisi esimerkiksi tässä raportissa tarkastelluissa Juvan laitoksen polttokokeissa.

## LÄMPÖLAITOSTEN POLTTOAINEEN KÄYTTÖMÄÄRÄT

Kaukolämmön hankinta oli vuonna 2019 yhteensä 36 600 GWh, josta 32 700 GWh tuotettiin polttoaineilla. Loput 3 800 GWh tuotettiin lämmön talteenotolla ja lämpöpumpuilla. Lämmön talteenotto sekä lämpöpumppujen tuotanto on kasvanut 170 prosenttia viiden vuoden aikana. Lämmönhankinnasta 66,6 prosenttia oli höyryvoimalaitosten vastapainelämpöä tai vastaavaa kaasuturbiineista, kaasumoottoreista tai dieselmoottoreista saatavaa yhteistuotantolämpöä. Tuotetun yhteistuotantosähkön määrä oli 11 000 GWh. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähköntuotantoon käytettiin yhteensä 51 900 GWh polttoaineita, josta erillistuotantoon käytettiin 9 900 GWh. Käytettyjen polttoaineiden prosentuaalinen jakauma vuosina 2018 ja 2019 on esitetty taulukossa 2. (Energiateollisuus ry 2020)



**TAULUKKO 2.** Kaukolämmön tuottamiseen käytettyjen polttoaineiden prosentuaalinen jakauma vuosina 2018 ja 2019 (Energiateollisuus ry 2020).

Polttoaine	2018, toimitettu lämpö 37,1 TWh	2019, toimitettu lämpö 36,6 TWh
Kivihiili (%)	19,30	17,40
Öljy (%)	2,20	1,90
Muut (%)	5,10	5,60
Metsäpolttoaine (%)	18,80	19,10
Teollisuuden puutähte (%)	10,20	11,40
Muu biomassassa (%)	7,40	8,50
Hukkalämmöt (%)	9,10	10,40

## HEVOSEN LANNAN KAUPALLISTAMISMAHDOLLISUUDET

Suomessa on Hippos ry:n tietojen mukaan noin 74 200 hevosta, jotka tuottavat arviolta 770 000 im<sup>3</sup> lantaa vuosittain (Hippos ry 2017). LUKE:n johtavan tutkija Markku Saastamoisen arvion mukaan tästä määrästä voisi parhaassa tapauksessa ohjautua noin 1/3 polttoon, eli hieman yli 200 000 im<sup>3</sup> (Saastamoinen 2016). Tehdyssä tarkastelussa on käytetty polttoon ohjautuvana lantamääränä 25 prosenttia, joka voisi olla realistinen taso. Suuremmankin lantakuivikeseos määrän polttaminen on kuitenkin helposti mahdollista, kuten myöhemmistä laskelmista käy ilmi. Lanta-kuivikeseoksen ohjautumista polttoon tukee hevosenlannan toimiminen mahdollisena rikkakasvilähteenä (hukkakaurariski), mikä on rajoittanut lannan peltolannoitekäyttöä.

70 prosentin kosteuspitoisuuden omaavan lannan energiasisältö on noin 0,4 MWh/im<sup>3</sup>. Lantamäärän ollessa 200 000 im<sup>3</sup> saataisiin poltossa tuotettua energiaa tällä määrällä noin 80 GWh. Ensimmäisessä laskuesimerkissä tämä 200 000 im<sup>3</sup>:n lantamäärä voitaisiin polttaa kahdellakymmenellä 10 MW:n laitoksella, jotka käyvät 200 vuorokautta vuodessa. Energiana lannan osuus olisi kahdeksan prosenttia ja tilavuusosuutena polttoaineseoksessa 16 prosenttia. Kustannustehokas hevosenlannan poltto vaatii laitoksella joitain investointeja lähinnä polttoaineen vastaanottoon liittyen. Tästä syystä lannan käyttömäärä olisi tarkoituksen mukaista pitää melko suurena. Jokaisen laitoksen vuotuinen lantamäärä olisi 10 000 im<sup>3</sup>. Toisessa laskentaesimerkissä sama lantamäärä poltettaisiin viidelläkymmenellä 4 MW:n laitoksella, jotka käyvät 200 vuorokautta vuodessa. Energiana lannan osuus olisi sama kahdeksan prosenttia ja tilavuusosuutena polttoaineseoksessa 16 prosenttia.

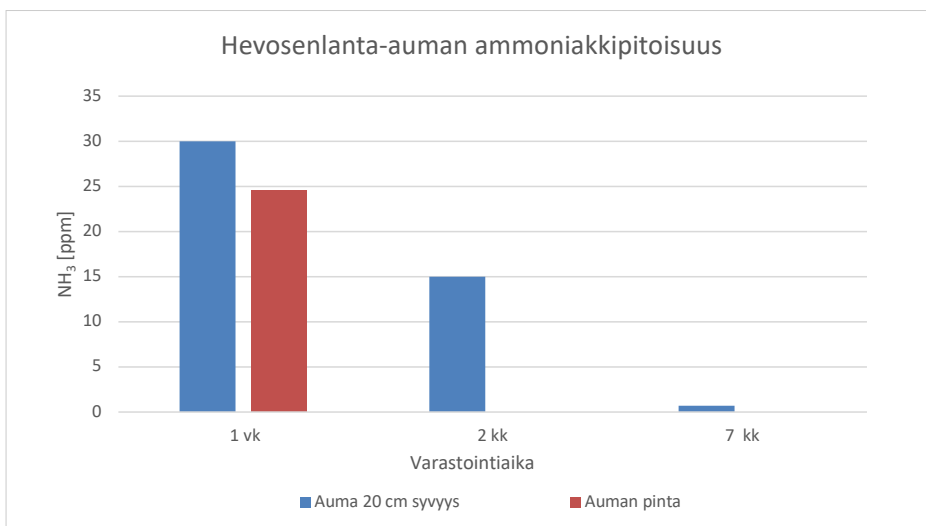
Turvetta polttoaineena käyttäviä erillistuotantolaitoksia on Energiateollisuus ry:n tilaston mukaan reilut 90 kpl ja puuperäisiä polttoaineita käyttäviä laitoksia lähes 180 kpl. Soveltuvia



polttolaitoksia ja laitospaikkoja eri puolilla Suomea on siis runsaasti, vaikka rajoituttaisiin vain alle 50 MW:n erillistuotantolaitoksiin. Hevoselannalle on siis runsaasti soveltuvia laitoksia. Tämä ei ole esteenä lannanpoltolle.

## AMMONIAKKI HEVOSENLANASSA

Hevoselannan ammoniakkipitoisuutta tutkittiin kaksi vuotta kestäneillä aumavarastointikokeilla. Tutkimuksessa huomattiin, että hevoselanta-aumoista ammoniakki vapautui sangen nopeasti (kuva 6). Alkutilanteessa  $\text{NH}_3$ -pitoisuus 20 cm:n syvyydessä aumassa oli 30 ppm. Kahden kuukauden kuluttua  $\text{NH}_3$ -pitoisuus oli vähentynyt 15 ppm:iin ja seitsemän kuukautta aumaamisesta ammoniakkipitoisuus oli pudonnut jo lähelle nollaa. Auman pinnalta ammoniakkin mittaaminen ei enää onnistunut kaksi kuukautta aumaamisen jälkeen. Tämä johtui lannan pinnalle muodostuneesta kuoresta. (Puumala & Sarin 2000)



**KUVA 6.** Hevoselannan aumavarastoinnin aikana lannan ammoniakkipitoisuus väheni kokeen aikana (mukaillen Puumala & Sarin 2000).

Lannan aumavarastointikokeiden perusteella voidaan todeta, että mikäli hevoselannan ammoniakkin haluttaisiin pelkistävän  $\text{NO}_x$ -päästöjä, pitäisi polttoon tulevan lannan olla mahdollisimman tuoretta.



## ALUSTAVA MARKKINAPOTENTIAALI

Lainsäädäntö rajoittaa hevosensillan käyttöä yli 50 MW:n laitoksissa. Toisaalta yhteistuotantolaitosten (yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto, CHP) korkeat tulistimien ja höyryn lämpötilat voivat rajoittaa hevosensillan käyttöä johtuen sillan suurehkoista klooripitoisuudesta. Kloori aiheuttaa tulistimissa kuumakorroosion riskin, joka voi tuhota höyrykattilan tulistimet hyvinkin nopeasti. Kuumakorroosiolta voi suojautua pitämällä tulistustemperatuurit melko matalina alle 450 °C:ssa tai käyttämällä korroosiota paremmin kestäviä putkimateriaaleja. Höyryn lämpötilan laskeminen vähentää kuitenkin CHP-laitoksen sähköntuotanto-osuutta ja paremmin korroosiota kestävät putkimateriaalit ovat selkeästi kalliimpia käyttää. Näistä syistä hevosensillan polttoon soveltuvat parhaiten turvetta tai puuperäisiä polttoaineita käyttävät lämmön erillistuotantolaitokset, joiden kokoluokka on lähes poikkeuksetta 1–50 MW ja joissa ei ole kuumakorroosiolle arkoja lämpöpintoja. Suurin markkinapotentiaali ja kaupallistamismahdollisuudet kohdistuvat siis näihin lämmön erillistuotantolaitoksiin. Vuoden 2019 tilastossa mukana olevat kaukolämpöyhteydet jakelivat lämpöä yhteensä 174:ssä Suomen kunnassa. Pääosin lämmöntuotantolaitokset sijaitsevat Etelä- ja Länsi-Suomessa, jossa myös suurin osa maan hevostiloista sijaitsee. Kuljetusmatkan pituuden talleilta lämpökeskukselle ei siis pitäisi useinkaan olla käyttöä rajoittava tekijä.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Hevosenslanta soveltuu hyvin seospolttoaineeksi. Matalan energiatihedyyden ja suurehkon kosteuden vuoksi hevosenslanta ei sellaisenaan ole hyvää polttoainetta, vaan se vaatii sekoituksen esimerkiksi puuperäiseen biomassaan tai turpeeseen. Seospolttoon soveltuvat myös kaikki lannan mukana tulevat kuivikemateriaalit: turve, kutterinpuru, sahanpuru, olki, erilaiset pelletit ym. Polton myötä myös rikkakasvien leviämrisriskiä ei ole.

Luvitusmielessä hevosenlannan poltto on mahdollista polttoteholtaan alle 50 MW:n laitoksissa. Lisävaatimuksena tulevat tiukemmat päästörajat ja tarkkailuvelvoite. Tätä suuremmissa laitoksissa, jotka ovat usein höyrykattilalaitoksia, vaaditaan erillinen ympäristölupa. Myöskin lannan sisältämä kloori aiheuttaa höyrykattiloissa kuumakorroosioriskin.

NOx-päästöjen vähenemä jää polttokokeiden perusteella vaatimattomaksi. Ilmeisesti hevosenlanta-kuivikeseoksen urea- ja ammoniakkipitoisuus on riittämätön. Palotapahtumassa tulipesän lämpötilaikkuna NOx-pelkistysreaktiolle on sinällään sopiva. Lantaa pidempiaikaisesti varastoitessa ammoniakki lisäksi mitä ilmeisimmin haihtuu. Hevosenlantaa poltettaessa myös NOx-päästöraja laskee noin puoleen puu- tai turvepolttoon verrattuna. Tämä saattaa joissain polttolaitoksissa jopa estää lannan käytön polttoaineena. Ainakin laitoksen polttotekniikkaan on kiinnitettävä lisähuomiota ja palotapahtuma säädettävä optimaaliseksi. Vaikka lannan käytöllä seospolttoaineessa saavutetaan vain vähäinen NOx-päästövähen-



mä, on sekin hyvä huomioida harkittaessa hevosenlannan polton aloittamista. Varsinaista kustannusta NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentämiselle on hyvin vaikea laskea.

Hevosenlannan matalan energiatihedyn vuoksi logistiikkakustannukset ovat kaupallisen käytön suurin haaste. Lanta-kuivikeseos pitäisi saada suoraan tallivarastosta polttolaitokselle. Erillinen sekoittaminen ja välivarastointi siirtokuormauksineen aiheuttavat merkittäviä lisäkuluja ja vievät siten kannattavuuden polttoainemielessä. Polttolaitoksien onkin tarkoituksen mukaista investoida erilliseen lannan vastaanottoon tai syöttötaskuun, josta hevosenlanta voidaan sekoittaa muuhun polttoainevirtaan. Polttolaitoksia ja lämpökeskuksia, jotka soveltuvat hevosenlannan polttoon, on maantieteellisesti riittävästi, eikä lannan kuljetusmatka ole useinkaan polttoa rajoittava asia. Kuitenkin laitoksella tarvittavien investointien takia olisi kustannustehokasta keskittää lannanpoltto maakunnissa muutamille laitoksille.



## LÄHTEET

Energiateollisuus ry 2020. Kaukolämpötilastot 2019. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto\\_2019.pdf](https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf)

Puumala, M. & Sarin H. 2000. Lannan aumavarastointi. Vakolan tiedote 80/2000. Maa-talouden tutkimuskeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/440015/vtiedote80\\_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/440015/vtiedote80_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Saastamoinen, M. 2016. Lannan poltto ei ratkaise kaikkien tallien jätehuoltoa. Luonnon-varakeskus. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.luke.fi/lannanpoltto-ei-ratkaise-kaikkien-tallien-jatehuoltoa/>.

Suomen Hippos ry. 2017. Hevostalous lukuina 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.hippos.fi/uploads/sites/1/2021/03/0f7c7020-hevostalous\\_lukuina\\_2017\\_lopullinen.pdf](https://www.hippos.fi/uploads/sites/1/2021/03/0f7c7020-hevostalous_lukuina_2017_lopullinen.pdf)

Tuotantoeläinten lannan polttoainekäyttöä koskeva EU:n sivutuotelainsäädännön muutos (Komission asetus (EU) N:o 1262/2017). WWW-dokumentti. Saatavissa <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1262>

Ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. 2018. Tuotantoeläinten lannan käyttö polttoaineena polttoaineteholtaan enintään 50 MW:n kattiloissa. Ohje 14.11.2018. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/38678498/Ohje+Tuotantoel%C3%A4inten+lannan+polttoainek%C3%A4ytt%C3%B6+enint%C3%A4%C3%A4n+50+MWn+kattiloissa.pdf/f9075b801-9067-e8e5-4d4c-a8e0fd9bf1ea/Ohje+Tuotantoel%C3%A4inten+lannan+polttoainek%C3%A4ytt%C3%B6+enint%C3%A4%C3%A4n+50+MWn+kattiloissa.pdf?t=1605689847541>

Turun Seudun Energiantuotanto Oy. 2021. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.tset.fi/>. Lisäksi myös haastattelut 12.8.2021.

Valmet Oyj. s.a. NOx reduction. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.valmet.com/energy-production/air-emission-control/nox-reduction/>

Valtioneuvoston asetus keskiuurten energiantuotantoyksiköiden ja -laitosten ympäristön-suojeluvaatimuksista asetus 1065/2017. 2017. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171065>

Yara Oyj. s.a. DeNOx for Industrial Plants. WWW-sivu. Saatavissa: <https://www.yara.com/chemical-and-environmental-solutions/exhaust-gas-treatment-for-industrial-plants/>



# BIOMATERIAALIT PÄÄSTÖJEN HALLINNASSA

Niina Laurila & Juha Vihavainen

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun toteuttamassa NOxOpti – Energiantuotantoyksiköiden päästöjen monitorointi ja hallinta -hankkeessa tavoitteena oli biopolttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten päästöjenhallinnan ja monitoroinnin kehittäminen biomateriaalien avulla. Hankkeessa toteutetuilla demonstraatiokokeilla selvitettiin, voisiko turpeenpoltossa muodostuvia NOx-päästöjä vähentää hevosenlannan urean avulla ja voisiko puutuhkalla puolestaan vähentää rikkidioksidipäästöjä. Hankkeessa selvitettiin Etelä-Savon alueella toimivien 1–50 MW:n biovoimalaitosten savukaasupäästöjen määriä sekä sitä, miten PIPO-asetus tulee vaikuttamaan mitattuihin päästömääriin. Lisäksi tarkasteltiin päästöjen hallintamenetelmiä ja niiden kustannustehokkuutta. Tehty selvitys sisälsi myös tarkastelun hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöjen online-menetelmien toimivuudesta ja kustannustehokkuudesta.

Päästöjen nykytilaselvitys tuotti energiantuotannon toimijoille lisää tietoa biopolttoainetta käyttävien laitoksien savukaasujen päästöjen tilasta sekä siitä, millä tavalla PIPO-asetus vaikuttaa päästöraja-arvoihin. Energiatuotannon toimijat saivat tietoa päästöjenhallintamenetelmistä sekä niiden kustannuksista. Toimijat saivat tietoa myös hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöjen monitorointijärjestelmistä sekä kustannuksista.

Hankkeen tavoitteena oli edistää turpeenpoltosta syntyvien päästöjen hallintaa. Ensimmäisessä demonstraatiokokeessa selvitettiin hevosenlannan vaikutus typpioksidipäästöihin. Ajetulla koesarjalla typpioksidipäästöissä tapahtui vähenemää, mutta kaupallisen tarkastelun myötä selvisi, ettei hevosenlannan sisältämä ammoniakkipitoisuus ole riittävä antamaan merkittävää päästön vähenemää.

Hevosenlannan polton demonstraatiokokeista saatiin tuloksena myös lisää tietoa hevosenlannan soveltuvuudesta seospolttoon turpeen kanssa. Hevosenlanta sopii hyvin seospolttoaineeksi keskikokoisessa lämpölaitoksessa 10–30 prosentin seossuhteella olettaen, että hevosenlannan kosteus ei ole yli 70 prosenttia. Hevosenlannan poltossa tulee ottaa huomioon lannanpolton asettamat päästöraja-arvot.

Tehdyillä hevosenlantademonstraatiokokeilla saatiin tietoa, miten hevosenlannan poltto vaikuttaa kattilamateriaalin kestävyYTEEN. Kokeiden perusteella voidaan todeta, ettei hevosenlanta lisännyt korroosioriskiä kattilassa, vaikka hevosenlanta nostaakin polttoaineen



sähkönjohtokykyä, mikä johtuu lannan sisältämistä kloorista sekä alkaleista. Turve todennäköisesti toimii lannanpoltossa ns. suoja-aineena, joka rikkipitoisena pystyy sitomaan lannan alkaleita sekä muuttamaan lannan alkalikloridit vaarattomaan muotoon.

Tuhkan lisäyksellä ei  $\text{SO}_2$ -päästöjä saatu tehdyssä demonstraatiokokeessa vähennettyä, vaan koekattilassa huomattiin tuhkan aiheuttavan sintraantumista. Saadut tulokset ovat alustavia, joten lisätutkimusta tarvittaisiin menetelmän toimivuudesta esimerkiksi testaamalla, voisiko tuhkan syöttää vasta myöhemmässä vaiheessa prosessia.

Vaikkei hankkeessa toteutetuilla päästöjenhallintademonstraatioilla pystytty saavuttamaan  $\text{NO}_x$ - ja  $\text{SO}_2$ -päästöjen merkittävää vähennystä, saatiin hankkeen toimenpiteillä tuotettua mittausdataa bioenergialaitosten savukaasupäästöistä sekä siitä, kuinka PIPO-asetus vaikuttaa mitattuihin päästöarvoihin. Demonstraatiokokeilla saatiin myös lisätietoa hevoselannan seospoltosta.







