



TP2. Tuorehakkeen teknistaloudellinen käytettävyys itäsuomalaisilla lämpö- ja voimalaitoksilla

Kirjoittajat: Timo Leino, Jyrki Raitila, Kirsi Korpjärvi

Luottamuksellisuus: Julkinen

Pvm: 15.3.2024

Raportin nimi	
Tuorehakkeen teknistaloudellinen käytettävyyttä itäsuomalaisilla lämpö- ja voimalaitoksilla	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot	Asiakkaan viite
Luonnonvarakeskus Juha Laitila Yliopistokatu 6 B 80100 Joensuu	Sopimusnumero VSK1-00804
Projektin nimi	Projektin numero/lyhytnimi
Itä-Suomen kattilaselvitys	138077 - Tuorehake
Tiivistelmä	
<p>Tehtävän tavoitteena oli kartoittaa Pohjois-Karjalan sekä Pohjois- ja Etelän-Savon metsähaketta käyttävät lämpö- ja CHP-laitokset eri kokoluokissa, selvittää niiden nykyinen kattilakanta ja polttoainekäyttö sekä arvioida laitosten soveltuvuus niin sanotun tuorehakkeen käyttöön eri arviointikriteereillä. Taustalla oli Luonnonvarakeskuksen hanke, jossa selvitetään, voidaanko metsähakkeen käytön ilmastotehokkuutta ja taloudellisuutta parantaa polttamalla tuoretta haketta metsähaketta käyttävissä laitoksissa.</p> <p>Laitosten kartoituksessa tunnistettiin tarkastelualueella olevan 75 kappaletta yli 1 MW:n kattiloita, joissa poltetaan metsähaketta. Kattiloiden yhteenlaskettu teho on noin 1755 MW. Näistä 19 kattilaa oli kooltaan yli 10 MW, 17 kpl kokoluokassa 5–10 MW, 14 kpl kokoluokassa 3–5 MW ja 25 kpl kokoluokassa 1–3 MW. Savukaasupesuri lämmön talteenotolla oli asennettuna tai sitä oltiin asentamassa 22 kattilaa. Kokoluokassa 1–3 MW vain yhteen kattilaan oli asennettuna pesuri, 3–5 MW neljään, 5–10 MW kymmeneen ja yli 10 MW seitsemään. Ranka- tai kokopuuhaketta käytettiin yhteensä noin 1660 GWh:a, mikä vastaa noin 898 000 m³:ä. Metsätähdehaketta käytettiin yhteensä hieman vajaa 1000 GWh:a, mikä vastaa noin 596 000 m³:ä. Ranka/kokopuuhakkeesta 70 % ja metsätähdehakkeesta noin 95 % käytettiin yli 10 MW:n kattiloissa.</p> <p>Mitä enemmän tuorehaketta käytetään, sen suuremmaksi hakkeen kokonaiskulutus kasvaa tonneissa mitattuna. Tulos on looginen, koska polttoaineen lämpöarvo (MJ/kg) laskee kosteuden lisääntyessä. Samaan energiamäärään pitää olla enemmän kosteaa puuta kuin kuivempaa. Tuoreen ja nykyisen hieman kuivatetun hakkeen hintaerosta riippuu, kumpaa on laitoksen näkökulmasta edullisempaa käyttää.</p> <p>Jos polttoaineen määrää mitataan tilavuuksina (m³) ja huomioidaan puupolttoaineen arvioidut tiheyden alenemisesta johtuvat kuiva-ainehäviöt varastoitaessa (kg/m³), laitoksiin asennettavat lämmön talteenotolla varustetut savukaasupesurit yhdessä tuoreen metsähakkeen käytön kanssa alentavat tarvittavaa puun määrää. Maksimiskenaariossa ranka- ja kokopuuhaketta tarvittaisiin noin 8 % (74 000 m³) ja metsätähdehaketta noin 10 % (60 000 m³) vähemmän vuosittain. On kuitenkin huomattava, että lähes samaan tulokseen päästään jo pelkillä pesuri-investoinneilla muuttamatta polttoainejakaumaa tai nopeuttamatta metsähakkeen toimituslogistiikkaa millään tavalla.</p> <p>Tonneissa laskettuna ainoa ranka- ja kokopuuhakkeen kokonaiskulutusta pienentävä skenaario on tilanne, jossa laitoksiin asennetaan savukaasupesurit lämmön talteenotolla samalla olettaen, että polttoainejakauma pysyy entisellään. Hakkuutähdehakkeen määrässä ei ole kovin merkittäviä eroja. Tarvittavien investointien kertaluonteinen kokonaiskustannus olisi noin 76 miljoonaa euroa.</p>	
Jyväskylä 15.3.2024	
Laatija	Tarkastaja
Timo Leino, Erikoistutkija	Markus Hurskainen, Tutkija
Luottamuksellisuus	Julkinen
VTT:n yhteystiedot	
Koivurannantie 1, 40400 Jyväskylä	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
Tilaaaja	
<p><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY

Päivämäärä:

Allekirjoitus:

Nimi:

Janne Kärki

Asema:

Tutkimustiimin päällikkö

Sisällysluettelo

1.	Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet.....	4
2.	Taustaa	6
2.1	Lämpöarvot	6
2.2	Lämpöarvot laitoksen kannalta	7
2.3	Adiabaattinen palamislämpötila	11
2.4	Metsähakkeen haasteet	12
2.5	Yhteenveto	13
3.	Kattilakartoitus	14
4.	Laitosten teknistaloudellinen analyysi	21
4.1	Teknologia.....	21
4.2	Tuoreen hakkeen käyttöpotentiaali ja kustannus-hyötyanalyysi	23
4.2.1	Rankahake.....	23
4.2.2	Metsätähdehake.....	27
5.	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	29
6.	Lähdeviitteet	33

1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet

Metsähakkeen käyttö energiantuotannossa on lisääntynyt Ukrainan sodan ja turpeen käytön vähentämisen seurauksena. Lisäksi puun tuonti Venäjältä on tyrehtynyt kokonaan, mikä lisää kotimaisen metsähakkeen kysyntää etenkin Itä-Suomen alueella. Tämä toimeksianto oli osa Luonnonvarakeskuksen hallinnoimaa maakunnallista kehittämisprojektia Tuorehake - vähästä enemmän (401624). Tehtävän lähtökohtana oli tarkastella, voidaanko metsähakkeen käytön tehokkuutta ja taloudellisuutta parantaa polttamalla tuoretta haketta laitoksissa, jotka voidaan varustaa savukaasupesureilla. Tavoitteena oli kartoittaa Itä-Suomessa olevat metsähaketta käyttävät energialaitokset ja arvioida eri kriteerein, kuinka paljon niissä olisi mahdollista käyttää tuoretta metsähaketta.

Työssä käytiin läpi Pohjois-Karjalan sekä Pohjois- ja Etelän-Savon metsähaketta käyttävät lämpö- ja CHP-laitokset eri kokoluokissa, selvitettiin niiden nykyinen kattilakanta ja polttoainekäyttö sekä arviotiin em. laitosten soveltuvuus ns. tuorehakkeen käyttöön seuraavilla arviointikriteereillä porrastettuna:

- 1) Käytössä olevalla teknologialla ja laituskannalla
- 2) Vanhan laituskannan uusiutuminen tiedossa & suunnitteilla olevien hankkeiden osalta
- 3) Kohtuulliset muutostyöt (savukaasupesurit + lämmön talteenotto yms. tarvittavat muutostyöt) nykyiseen laituskantaan pl. tiedossa tai suunnitteilla olevat uudet laitokset. Esitetään kustannusarvio tarvittavista muutostöistä, eli mikä on kohtuulliseksi katsottava muutostyö eri kokoluokissa.
- 4) Koko laituskannan modernisointi soveltuvaksi tuorehakkeen käyttöön uusinvestoinnein tms.

Edellä mainitut tarkastelut tehtiin metsähaketta käyttäville lämpö- ja voimalaitoksille, joiden kokoluokat ovat:

- 1) Yli 10 MW
- 2) 5–10 MW
- 3) 3–5 MW
- 4) 1–3 MW

Tuorehakeeksi määriteltiin heti puunkorjuun jälkeen tehty hake, jonka kosteus on vähintään 53 painoprosenttia. Ensisijaisesti arvioitiin tuoreen ranka- ja kokopuuhakkeen käyttömahdollisuuksia ja toissijaisesti metsätähdehakkeen (latvusmassa) soveltuvuutta. Tarkastelussa huomioitiin eri puulajien polttotekniset ominaisuudet kuten lämpöarvo (MJ/kg) ja kuivatuoretiheys (kg/m³). Tuorehakeella puuaineen kuivatuoretiheys on suurempi, koska puun varastointi aiheuttaa kuiva-ainetappioita. Puun lahoamisesta aiheutuva hävikin suuruus riippuu varastointiajasta ja varastoitavasta materiaalista. Tämä huomioitiin tilavuuslaskelmissa niin, että kuiva-ainehävikin oletettiin nykytilanteessa olevan ranka- ja kokopuulla 6,75 % (vastaa 9 kk varastointia) ja metsätähdeellä 20 % (11 kk varastointi), perustuen Luonnonvarakeskuksen tutkimuksiin^{12,13}.

Tuloksena saatiin neljän eri skenaarion mukaiset arviot metsähakkeen laitoskohtaisista käyttömääristä vuositasolla nykyisiin käyttömääriin verrattuna. Lisäksi esitetään arvio, kuinka paljon tuorehaketta (m³ ja MWh) olisi mahdollista käyttää eri skenaarioissa ja teknologiavaihtoehdoissa. Vaikka toimeksiannossa oli ensisijaisesti tavoitteena tarkastella ranka- ja kokopuuhakkeen käyttöä, esitetään myös latvusmassahakkeen käyttöpotentiaalnin suuruusluokka-arvio niiden laitosten osalta, joissa se olisi mahdollista. Oletuksena oli, että laitosten mahdollisesti käyttämät muut polttoaineet pysyisivät ennallaan niin laadun kuin määrän suhteen.



Kuva 1. Karsittua rankapuuta metsävarastossa. (Kuva: Jyrki Raitila)



Kuva 2. Energiapuun korjuuta lehtipuumetsikössä. (Kuva: Jyrki Raitila)

2. Taustaa

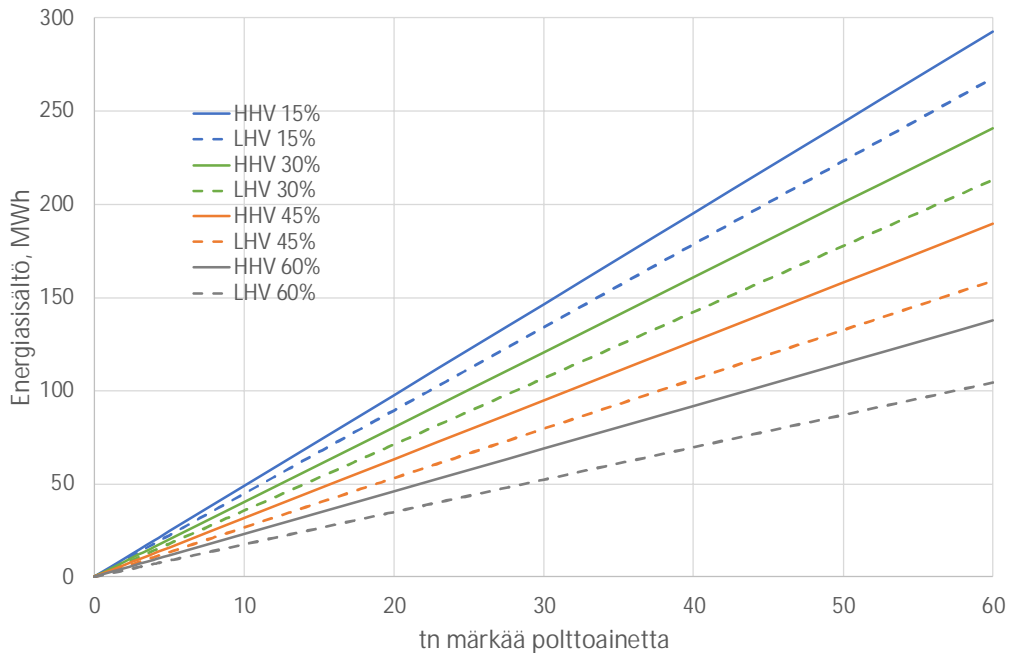
2.1 Lämpöarvot

Olenainen asia sekä polttoainetoimittajalle että laitoksen omistajalle on energialaitokselle tulevan polttoaineen energiasisältö, joka määrittelee polttoaineesta maksettavan hinnan. Kuormista mitataan paino sekä analysoidaan kosteuspitoisuus ja lämpöarvo, joka voidaan määrittää usealla tavalla. Tässä vaiheessa on hyvä kerrata, mitä eri lämpöarvot tarkoittavat.

- Kalorimetrinen eli ns. ylempi lämpöarvo HHV on se lämpöenergian määrä poltettavan aineen (25 °C lämpötilassa) massayksikköä kohti (MJ/kg), joka vapautuu, kun absoluuttisen kuiva näyte palaa täydellisesti ja palamistuotteet jäähtyvät takaisin 25 °C:een lämpötilaan. Kalorimetrisessä lämpöarvossa aineen sisältämän vedyn palamistuotteena syntyvä vesi oletetaan lauhtuvan palamisen jälkeen nesteeeksi.
- Suomessa lämpöarvo on ilmoitettu yleensä kuitenkin tehollisena lämpöarvona (ns. alempi lämpöarvo, LHV), joka saadaan muunnoskaavan avulla kalorimetrisestä lämpöarvosta. Tehollisessa lämpöarvossa ajatellaan vedyn palamistuotteiden pysyvän vesihöyrynä. Veden höyrystymisenergia vähennetään ylemmästä lämpöarvosta. $LHV = HHV - 212,2Y_H - 0,8[Y_O + Y_N]$, missä Y_H on vety, Y_O happi ja Y_N typpipitoisuus (p-%) kuivassa polttoaineessa. (Huomaa, että $[Y_O + Y_N] = 100 - Y_{\text{tuhka}} - Y_C - Y_H - Y_S$ ja että LHV laskenta muuntaa vakiotilavuuden vakio paineeseen.)
- Kolmantena lämpöarvona ilmoitetaan lämpöarvo toimituskosteudessa (M) eli saapumistilassa.
 - Ylempi lämpöarvo saapumistilassa on $HHV_{ar} = HHV \left(1 - \frac{M}{100}\right)$ Kosteuden voi ajatella pelkästään "laimentavan" massasuhteessa polttoainetta. Polttoaineen vesi höyrystyy ja lauhtuu takaisin nesteeeksi.
 - Alemmassa lämpöarvossa vesi on vesihöyrynä. Eli vesipitoisuus "laimentaa" polttoaineen lämpö määrää MJ/kg, mutta sen lisäksi veden höyrystymisen energia pitää vähentää arvosta. $LHV_{ar} = LHV \left(1 - \frac{M}{100}\right) - 0,02443M$

Mitä HHV ja LHV sitten tarkoittavat polttoaineen lämpöarvon ja kuorman lämpösisällön kannalta? Tehollista lämpöarvoa (eli LHV) on käytetty Suomessa perinteisesti, koska savukaasun lämpötila piipussa on ollut 130–150 °C ja samalla vesihöyryn energia on mennyt ns. hukkalämpönä lämpö- tai voimalaitoksen piipusta ulos. Näin ollen polttoainekuormalle on laskettu energiasisältö, joka siitä on saatu hyödynnettyä = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa.

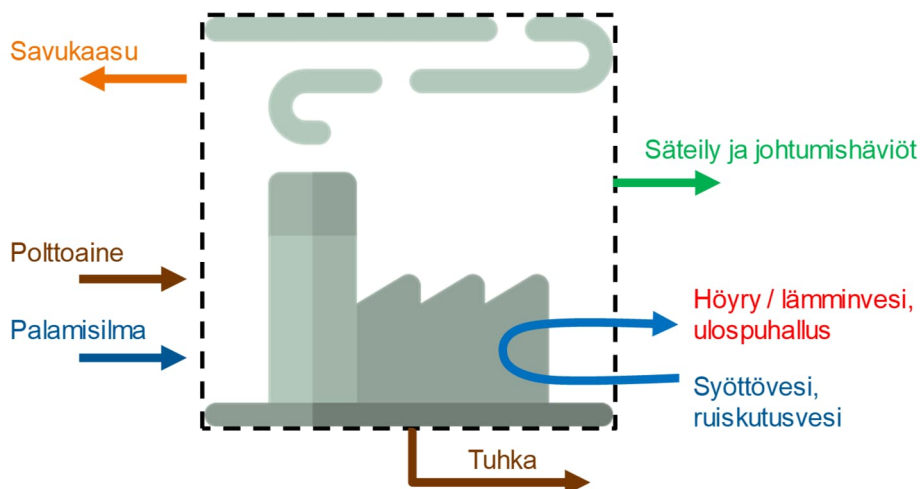
Koska yhä useammalla laitoksella on nykyään savukaasupesuri ja siihen yhdistetty lämmöntalteenotto, niin vesihöyryn latenttilämpöä saadaan talteen. Tällöin hyödynnettävissä oleva energiasisältö tulee laskea ylemmällä lämpöarvolla saapumistilassa (Kuva 3), mikä lisää kuormakohtaista energiasisältöä aiempaan laskentatapaan verrattuna,



Kuva 3. Polttoainekuorman energiasisältö riippuu kosteudesta (15–60 %) sekä siitä lasketaanko se ylemmän (HHV) vaiko tehollisen (LHV) lämpöarvon mukaan. Metsähakkeella autokuljetuksen hyötykuorma on tyypillisesti 35–42 tonnia.

2.2 Lämpöarvot laitoksen kannalta

Selitetään vielä ylemmän (HHV) ja tehollisen lämpöarvon (LHV) merkitys laitoksen energiataseen kautta (Kuva 4). Kun polttoaineen sisältämä vesi poistuu taserajan yli savukaasussa vesihöyrynä, latenttilämpö pitää ottaa huomioon savukaasuhäviössä. LHV:tä käytettäessä ei tarvitse, koska se on poistettu jo taseen sisään menevässä lämpöarvossa. Sen sijaan, kun vesihöyry lauhdutetaan nesteeksi savukaasupesurilla ennen taserajaa, niin tulee käyttää ylempää lämpöarvoa (HHV) taselaskentaan, jolloin kattilaan syötettävän polttoaineen sisältämä energiamäärä on oikea.

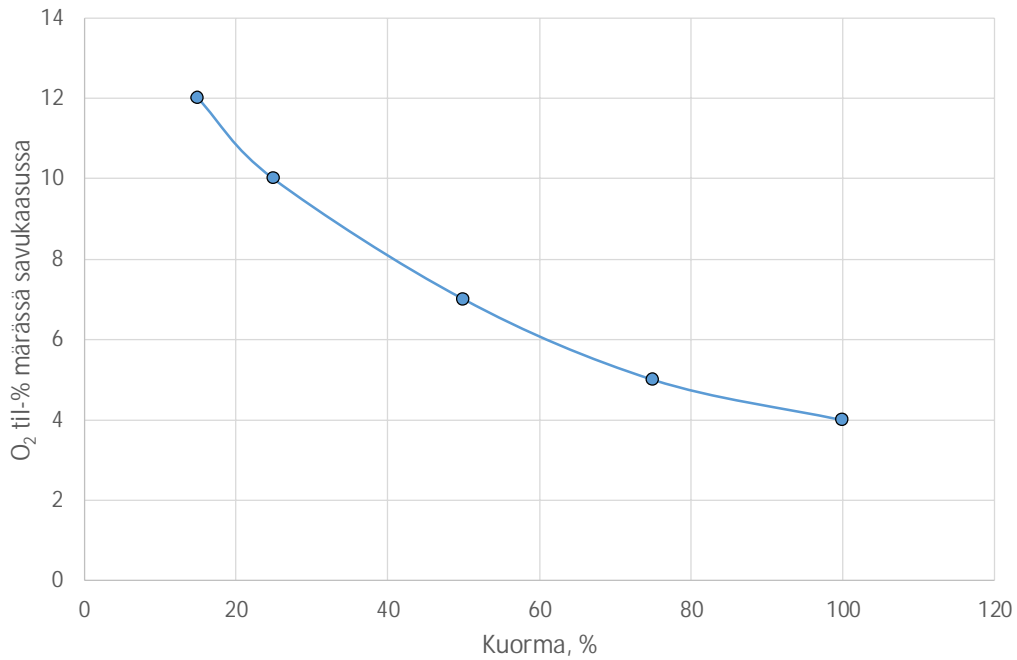


Kuva 4. Energiatase eräällä voimalaitoksella.

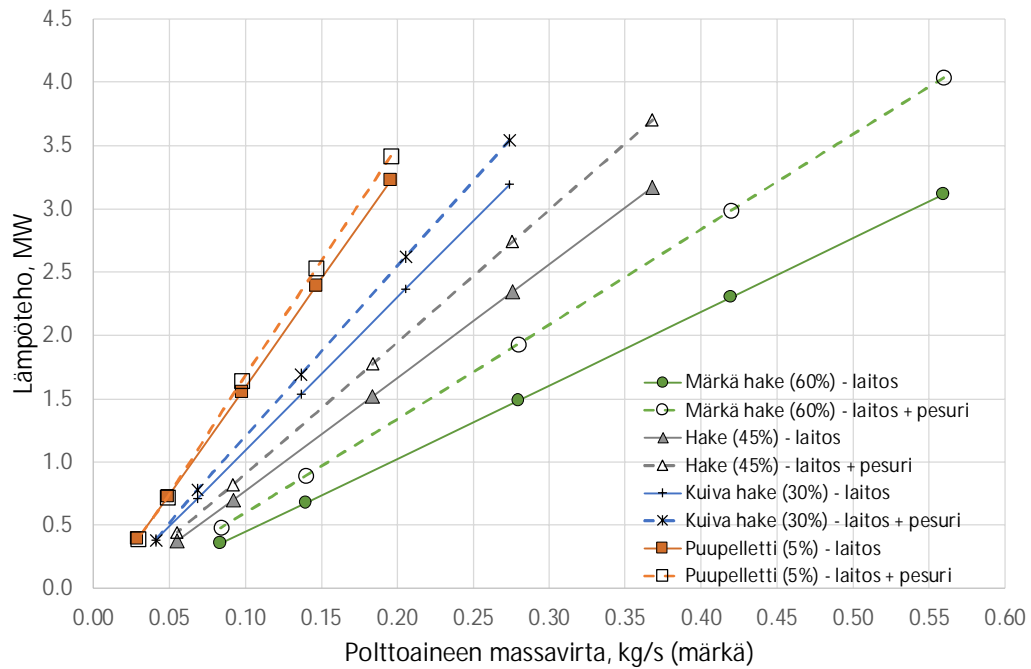
Lasketaan esimerkinomaisesti polttoaineteholtaan 3,5 MW (LHV) lämpölaitokselle hyötysuhteet mäntyhakkeella (3 eri kosteutta) ja puupelletillä (Taulukko 1). Jäännöshapen oletetaan muuttuvan kuvan 5 mukaisesti lämpökuorman muuttuessa. Kostean polttoaineen, palamisilman sekä savukaasun massavirrat eri kosteuksilla ja kuormatasoilla saadaan määritettyä taselaskennalla (Kuva 6). Oletetaan, että kattilaan tulevan polttoilman lämpötila on 10 °C ja kattilasta poistuvan savukaasun 125 °C. Palamattomia ainesosia ei yleensä biomassan poltossa jää, joten ne voidaan olettaa nollassi. Epäsuoralla menetelmällä (DIN1942) voidaan laskea laitoksen hyötyteho (=polttoainetehto-savukaasuhäviö-palamattomat-säteilyhäviö) ja hyötysuhde käyttämällä tehollista (LVL) lämpöarvoa (Kuva 7). Tässä standardissa vesihöyryn oletetaan poistuvan savukaasussa eli latenttilämpöä ei hyödynnetä. Kuvasta 7 nähdään, että mitä pienempi kosteus polttoaineessa on, sen suurempi on hyötysuhde. Savukaasun massavirta ja hukattu veden latenttilämpö kasvavat mitä suurempi on kosteus.

Taulukko 1. Hyötysuhdetarkastelussa käytetyt polttoaineet ja niiden ominaisuudet.

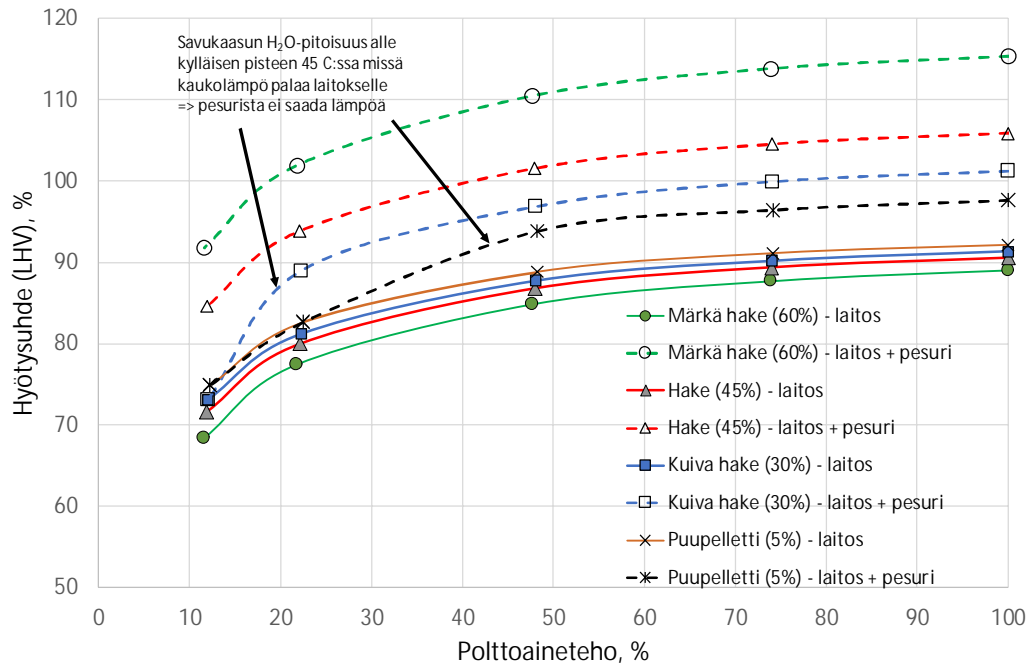
		Mänty runko			Puupelletti
C	p-%	52.3			49.8
H	p-%	6.1			6.1
N	p-%	0.08			0.16
S	p-%	0.005			0.005
O	p-%	41.2			43.6
Tuhka, kuiva	p-%	0.3			0.3
		100			100
Kosteus	p-%	60	45	30	5.2
HHV, kuiva	MJ/kg	20.7	20.7	20.7	20.3
HHV, kostea	MJ/kg	8.3	11.4	14.5	19.3
LHV, kuiva	MJ/kg	19.3	19.3	19.3	19.0
LHV, kostea	MJ/kg	6.27	9.53	12.80	17.88



Kuva 5. Savukaasun happipitoisuus eri kuormatasolla kuvitteellisessa polttoaineteholtaan 3,5 MW (LHV) lämpölaitoksessa.

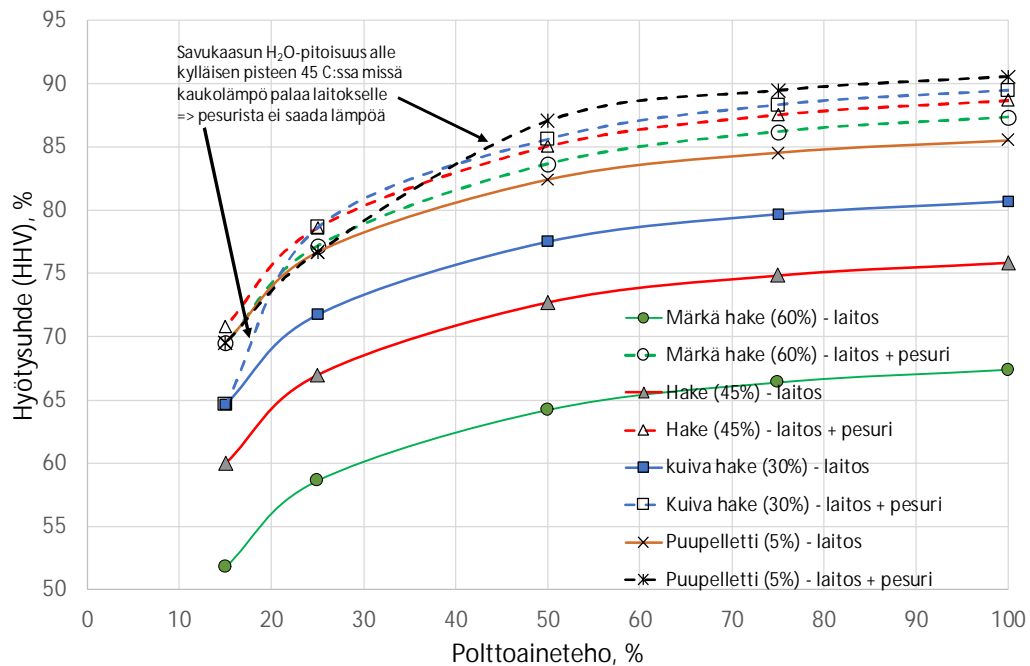


Kuva 6. Kostean polttoaineen massavirta ja tuotettu lämpö kattilaan ilman pesuria ja pesurin kanssa.

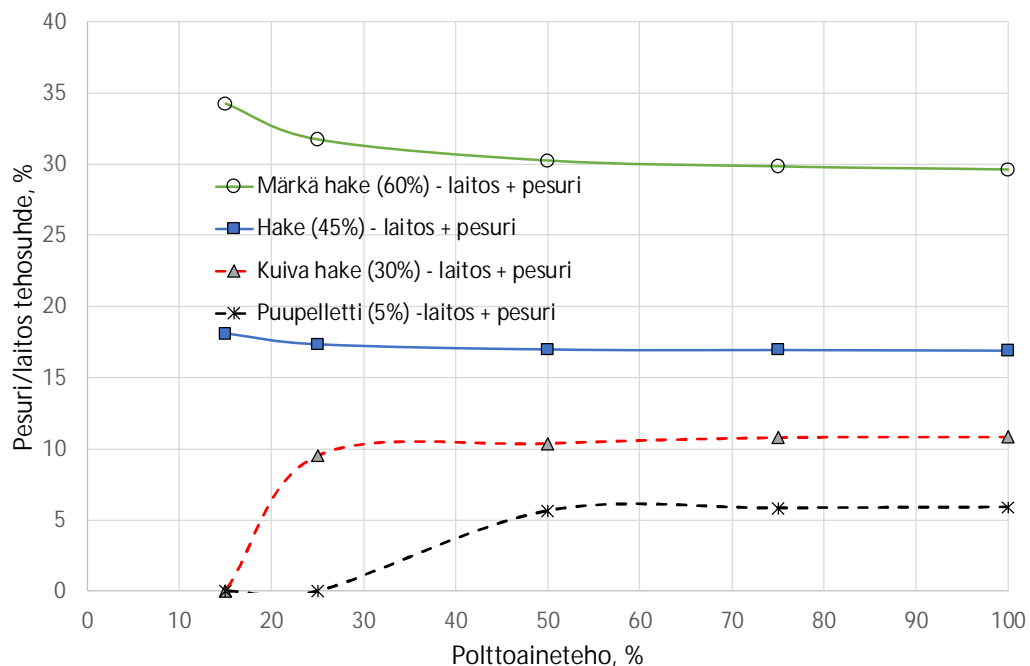


Kuva 7. Hyötysuhde, kun polttoaineen sisään tuoma energia lasketaan tehollisen lämpöarvon (LHV) avulla.

Oletetaan, että pesurissa pystytään lauhduttamaan vesi 45 °C:een. Jos savukaasupesurin talteen ottama teho lisätään kattilan tuottamaan tehoon ja lasketaan uudet hyötysuhteet, saadaan 100 % ylittäviä lukemia (katkoviivat Kuva 7). Tämä johtuu väärästä lämpöarvosta laskennassa. Tehollisen lämpöarvon sijaan pitäisi käyttää ylempää lämpöarvoa, koska savukaasun vesihöyryä kondensoidaan ja lämpöä saadaan talteen. Kuvassa 8 on käytetty ylempää lämpöarvoa, eli HHV:tä hyötysuhteen laskennassa sekä ilman pesuria että pesurin kanssa, jolloin saadaan paras vertailu näiden kahden tapauksen välille. Selkeää on, että savukaasupesurilla saadaan polttoaineesta enemmän energiaa talteen kuin ilman sitä (Kuva 8). Toinen selkeä huomio on, että mitä pienempi kosteus polttoaineella on, sitä vähemmän tulee savukaasuhäviöitä, oli sitten pesuria tai ei. Mitä suurempi kosteus sitä suurempi teho saadaan ulos savukaasupesurilta suhteessa kattilaan (Kuva 9). Kannattaa kuitenkin huomioida, että tämä osuus energiasta on matalassa lämpötilassa ja sen parempi hyödyntäminen voi vaatia esimerkiksi lauhduttimen toimintaan yhdistetyn lämpöpumpun.



Kuva 8. Hyötysuhde, kun polttoaineen sisään tuoma energia lasketaan ylemmän lämpöarvon (HHV) avulla.



Kuva 9. Savukaasupesurin ottama teho kattilaan verrattuna. Kannattaa huomioida, että märkää polttoainetta kuluu enemmän saman tehon aikaansaamiseksi (Kuva 6). Pesuri ei luo polttoaineeseen energiaa vaan hyödyntää polttoaineen energiasisällön tarkemmin.

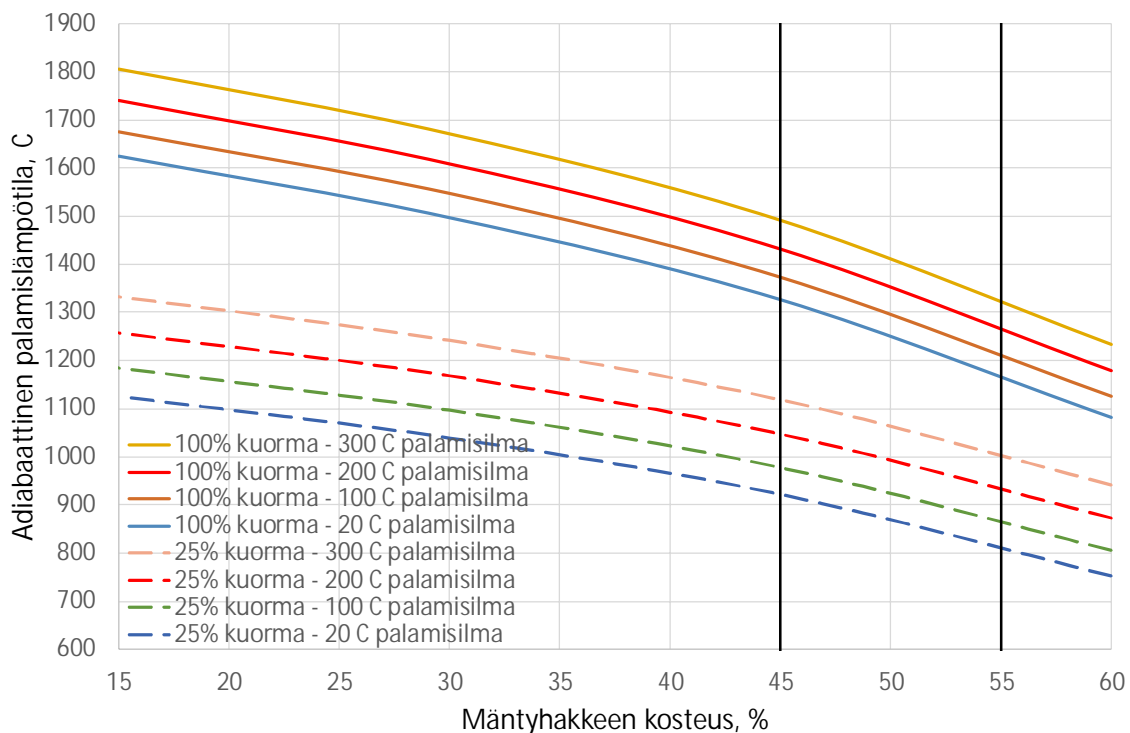
2.3 Adiabaattinen palamislämpötila

Adiabaattisella palamislämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jonka savukaasu voi maksimissaan saavuttaa polttoaineen palaessa. Käytännössä tämä tarkoittaisi tilannetta, jossa lämpö ei siirtyisi

beyond the obvious

ympäristöön. Lämpötilaan vaikuttaa polttoaineen lämpöarvo, kosteus, palamisilman lämpötila ja ilmakerroin (= savukaasun O_2 -pitoisuus). Mitä korkeampi on lämpöarvo / pienempi ilmakerroin / lämpimämpi polttoilma, sen suurempi on myös palamislämpötila. Kuvassa 10 on esimerkkinä lämpötilat raportin kuvitteellisella 3,5 MW lämpölaitoksella Taulukon 1 mukaisella mäntyhakkeella ja kuvan 5 jäännöshapella 100 ja 25 % kuormalla. Kun kosteuspitoisuus polttoaineessa kasvaa 45 → 55 %iin niin palamislämpötila laskee 100–150 °C, mikä voi johtaa päästöjen lisääntymiseen etenkin alemmalla kuormatasolla (suurempi ilmakerroin). Nostamalla palamisilman lämpötilaa voidaan tasoittaa kosteuden kasvun vaikutusta palamislämpötilaan kattilassa.

Jokaisella kattilalla on oma mitoitus polttoaineen kosteudelle. Liian kuiva polttoaine voi nostaa lämpötilat liian korkeaksi. Toisaalta liian märkä polttoaine voi laskea lämpötilan liian alhaiseksi, jolloin palaminen heikkenee ja päästöt lisääntyvät. Jos on tarvetta käyttää kosteampaa polttoainetta kuin sallittu, niin ilman esilämmittimen lisääminen / kapasiteetin lisäys on paljon kustannustehokkaampi ratkaisu kuin kattilan tulipesän/arinan muuttaminen. Kuumaluvon eli palamisilman esilämmityksen lisääminen olemassa olevaan laitokseen pitää aina kuitenkin selvittää tapauskohtaisesti. Jälkiasennuksen hintaan vaikuttaa sijoituspaikka, suunnittelu sekä asennuksen kustannukset. Muita varteenotettavia vaihtoehtoja on lisätä muurauksia tulipesän lämpöpinnoille tai esimerkiksi kuivata märkää polttoainetta esimerkiksi savukaasupesurista saatavalla lämmöllä.



Kuva 10. Mäntyhakkeen adiabaattinen palamislämpötila kosteuden funktiona kuvitteellisella laitoksella 100 % ja 25 % kuormilla. Polttoilman lämpötilaa nostamalla voidaan vähentää korkeamman kosteuden aiheuttamaa palamislämpötilan laskua.

2.4 Metsähakkeen haasteet

Käyttökokemukset ovat osoittaneet, että puubiomassan poltto yksinään kasvattaa tulistimien likaantumista ja korroosiota voimalaitoksissa. Haasteet aiheutuvat alkaliklorideista, pääosin kaliumkloridista (KCl), koska suomalaisissa puulajeissa natriumia ei ole niin paljon kuin kaliumia¹.

Kaliumkloridi höyrystyypä tulipesän lämmössä ja ottaa lentotuhkaan kiinni, jolloin tuhka muuttuu tahmeaksi ja jää kiinni lämmönsiirtimien pintaan, joiden likaantuminen lisääntyy.²

KCl voi myös suoraan kondensoitua tulistinputkien pintaan.³⁻⁵ Kerrostunut KCl voi reagoida savukaasun SO₂ tai SO₃ kanssa, jolloin pintaan jää K₂SO₄. Kloori vapautuu niin sanotuksi vapaaksi klooriksi, joka aiheuttaa korroosiota metalleille.⁶ Puu sisältää vähän rikkiä, mikä voi muuttaa osan kaliumklorideista jo kaasufaasissa sulfaateiksi ja suolahapoksi ($SO_3 + 2KCl + H_2O \rightarrow K_2SO_4 + 2HCl$). Suomalaisessa metsähakkeessa on <0,01 p-% klooria ja 0,01–0,02 p-% rikkiä kuiva-aineessa. Suurin osa alkaliklorideista ei reagoi ennen tulistinaluetta, koska rikkiä ei ole tarpeeksi. Turvetta poltetaan tukipolttoaineena, jotta saadaan rikkiä poistamaan korroosiohaasteet. Toisena vaihtoehtona on käytetty kiinteän rikin syöttämistä lisäaineena tuottamaan SO₃:sta.

On hyvä huomata, että kloorin tulistinhaasteet hakkeen poltossa koskevat voimallaitoksia ja ennen kaikkea tuoreita neulasia sisältävää haketta. Lämpölaitoksilla ei ole tulistimia, eikä siihen liittyviä ongelmia. Sen sijaan sekä voima- että lämpölaitoksilla pitää huolehtia, ettei savukaasun kastepistettä saavuteta ennen savukaasupesuria / piippua. Savukaasuista savukaasupesurin veteen tarttuu paitsi lentotuhkaa, myös vetykloridia (HCl), josta muodostuu veteen liuetessaan korroosiota aiheuttavaa suolahappoa.

2.5 Yhteenveto

Lopputuloksena voidaan sanoa, että

- Savukaasupesurin (+lämmön talteenoton) lisääminen vähentää laitoksen polttoaineen kulutusta, jos kaukolämpökuorma pidetään samana. Ehtona kuitenkin on, että kaukolämmön paluuveden lämpötilan pitää olla tarpeeksi alhainen, jotta pesurista saatava matalalämpöenergia voidaan hyödyntää. Lämpöpumpulla voidaan tarvittaessa laskea paluuveden lämpötilatasoa, jolloin hyödynnettävyys paranee. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomioitava investointikustannuksen ohella lämpöpumpun sähkökustannukset ja talteen saatavan lisäenergian määrä.
- Märemmän polttoaineen käyttö olemassa olevissa laitoksissa laskee niiden hyötysuhdetta. Märemmästä polttoaineesta saadaan vähemmän hyötytehoa, jolloin polttoainetta joudutaan käyttämään saman hyötylämpömäärän tuottamiseksi enemmän. Savukaasupesurillisissa laitoksissa ero on suhteessa paljon pienempi kuin ilman pesuria olevissa laitoksissa (1 vs. 10 %-yksikköjen luokkaa). Pitää ottaa huomioon myös, että märemmällä polttoaineella pesurista tulee suhteessa enemmän 40–50 °C lämpötilassa olevaa energiavirtaa, jonka hyödyntäminen kaukolämpöverkossa kannattaa miettiä etukäteen (Kuva 9). Lisäksi pohdittavaksi tulee, tarvitaanko esimerkiksi lämpöpumppu nostamaan hukkalämmön talteenoton hyötysuhdetta.
→ Märkää polttoainetta kannattaa polttaa laitoksissa, joissa on savukaasupesuri. Näissä tehonvähennys on hukkalämmön talteenottojärjestelmien ansiosta pienempi.
- Jokaisella kattilalla on oma mitoitus polttoaineen kosteudelle. Liian kuiva polttoaine voi nostaa lämpötilat liian korkeaksi. Toisaalta liian märkä polttoaine voi laskea lämpötilan liian alhaiseksi, jolloin palaminen heikkenee ja päästöt lisääntyvät. Jos on tarvetta käyttää kostempaa polttoainetta kuin on suunniteltu, niin ilman esilämmittimen lisääminen / kapasiteetin lisäys on paljon kustannustehokkaampi ratkaisu kuin kattilan tulipesän/arinan muuttaminen.
- Voimallaitoksissa puun klooripitoisuuden nousu voi johtaa tulistimien suurempaan likaantumiseen- ja korroosionopeuteen. Tätä voidaan hallita riittävällä turpeen tai lisäainerikin syötöllä kattilaan.

3. Kattilakartoitus

Kattilakartoitus aloitettiin tunnistamalla Pohjois-Karjalan, Pohjois- ja Etelä-Savon alueella olevat lämpö- ja voimalaitokset. Laitostietojen lähteinä käytettiin Energiategollisuus ry:n kaukolämpötilastoja, Kuntaliiton raportoimia tietoja pienistä lämpölaitoksista, TTS Työtehosteuran avointa lämpöyrittäjärekisteriä, VTT:n omaa aiemmin kerättyä kattilätietoa sekä tietohakuja. Seuraavassa vaiheessa lähestyttiin laitoksia ja toimijoita sähköpostilla tai puhelinhaastattelulla. Heiltä tiedusteltiin seuraavia asioita:

- kattilan/kattiloiden kokoa, tyyppiä, ikää, tehoa
- savukaasupesurin olemassaoloa
- lämmön- ja sähköntuotannon määrää
- käytettäviä polttoaineita ja niiden määriä
- tuorehakkeen käyttöä ja mahdollisuutta tuorehakkeen käyttöön (polttoaineen maksimikosteus)
- suunniteltuja investointeja.

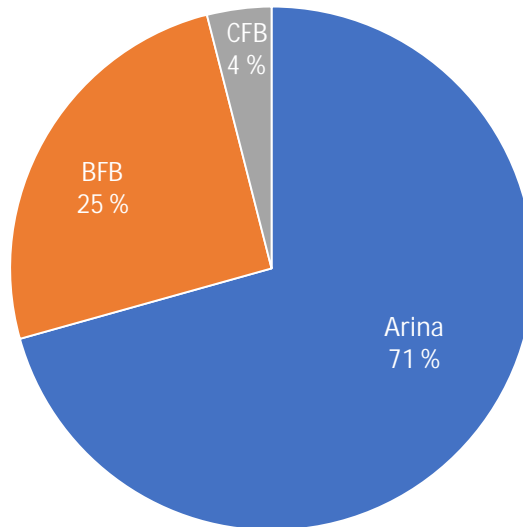
Toimitettujen tietojen ja keskustelujen pohjalta listalta poistettiin toimeksiannon ulkopuolelle rajatut, pienet alle 1 MW:n laitokset sekä laitokset, joissa ei polteta metsähaketta, eikä suunnitella sen käyttöä tulevaisuudessa.

Laitosten kartoituksessa tunnistettiin tarkastelualueella olevan 75 kappaletta yli 1 MW:n kattiloita, joissa poltetaan metsähaketta. Kattiloiden yhteenlaskettu teho on noin 1755 MW. Näistä 19 kattilaa oli kooltaan yli 10 MW, 17 kpl kokoluokassa 5–10 MW, 14 kpl kokoluokassa 3–5 MW ja 25 kpl kokoluokassa 1–3 MW. Yhteenveto laitoksista maakunnittain ja kokoluokittain on esitetty Taulukossa 2. Savukaasupesuri lämmön talteenotolla oli asennettuna tai sitä oltiin asentamassa 22 kattilaan. Pesurien jakautuminen maakunnittain on nähtävissä Taulukosta 2. Kokoluokassa 1–3 MW vain yhteen kattilaan oli asennettuna pesuri, 3–5 MW neljään, 5–10 MW kymmeneen ja yli 10 MW seitsemään.

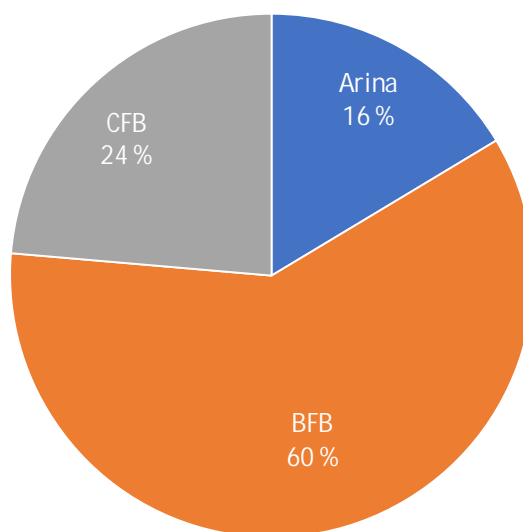
Taulukko 2. Metsähaketta polttavien lämpö- ja voimalaitosten määrät sekä yhteenlasketut tehot kokoluokittain tarkastelun kohteena olleissa maakunnissa. Tarkastelun kohteena oli yhteensä 75 kattilaa, joista 22:ssa oli asennettuna savukaasupesuri lämmön talteenotolla.

Maakunta	Kattiloiden lukumäärä kokoluokittain				
	1–3 MW	3–5 MW	5–10 MW	Yli 10 MW	Savukaasupesuri + LTO
Pohjois-Karjala	10	4	6	5	8
Pohjois-Savo	10	5	8	7	12
Etelä-Savo	5	5	3	7	2
Yhteensä, kpl	23	14	17	19	22
Yhteenlaskettu teho, MW	53	50	120	1530	

Tarkastelun kohteena olleista 75 kattilasta 53 oli arinakattiloita ja 22 laitoksella käytettiin metsähakkeen poltossa leijupetiteknikkaa. Kerrosleijukattiloita (BFB) oli 19 ja kiertoleijukattiloita (CFB) 3 kappaletta (Kuva 11). Vaikka arinakattiloita on lukumäärällisesti eniten, niin yhteenlasketusta kattilatehosta 84 % koostuu leijupetikattiloista, josta kerrosleijukattiloiden osuus on 60 % (Kuva 12). Kattiloiden käyttöönottovuosista ei saatu luotettavaa tietoa kaikkien laitosten osalta. Tarkastelujoukkoon mahtui aivan uusia laitoksia, vanhoja laitoksia sekä laitoksia, joita oli uudistettu vuosien varrella.



Kuva 11. Eri kattilatyypin osuudet tarkasteluun kuuluneissa 75:ssä, teholtaan yli 1 MW kattiloissa, joissa poltetaan metsähaketta Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Etelä-Savon alueilla.

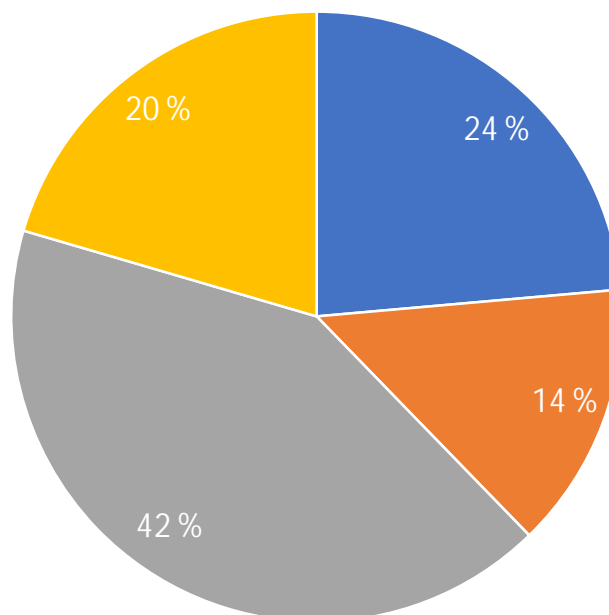


Kuva 12. Yhteenlasketun kattilatehon (1755 MW) jakautuminen kattilatyypeittäin tarkasteluun kuuluneissa 75:ssä, teholtaan yli 1 MW kattiloissa, joissa poltetaan metsähaketta Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Etelä-Savon alueilla.

Tilastotietojen ja laitoksilta saatujen tietojen pohjalta muodostettiin arvio tarkastelun kohteena olleiden 75 metsähaketta käyttävän laitoksen polttoainekäytöstä (Taulukko 3). Ranka- tai kokopuuhaketta käytettiin yhteensä noin 1660 GWh:a, mikä vastaa noin 898 000 m³:ä. Metsätähdehaketta käytettiin yhteensä hieman vajaa 1000 GWh:a, mikä vastaa noin 600 000 m³:ä. Yhteenlasketut polttoaineiden osuudet tarkastelussa mukana olleissa kattiloissa on esitetty Kuvassa 13. Muita puupolttoaineita ovat muun muassa metsäteollisuuden sivutuotteet, kuten kuori, sahapuru ja puutähdehake.

Taulukko 3. Polttoaineiden käyttö tarkasteluun sisältyneillä 75 metsähaketta polttavilla laitoksilla maakunnittain.

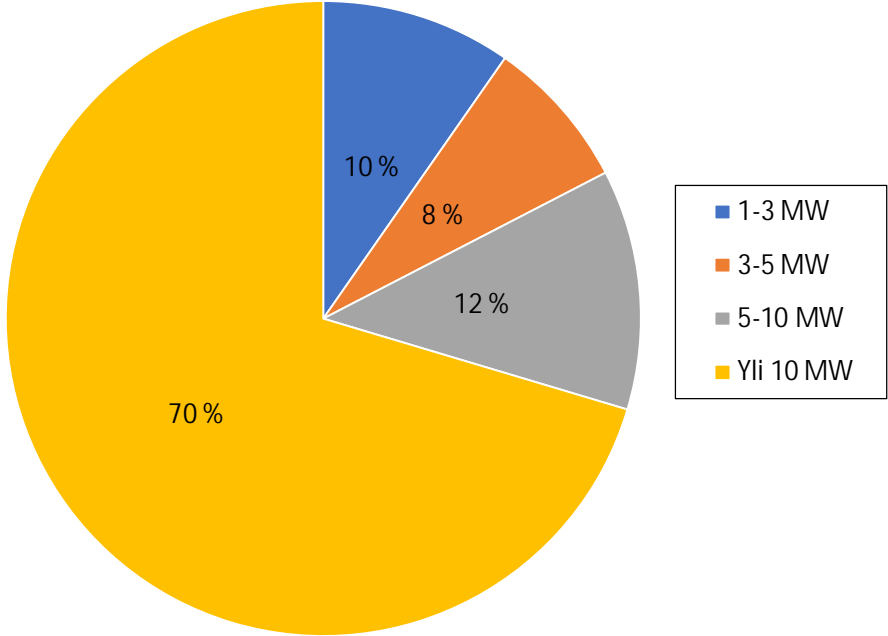
Maakunta	Polttoainekäyttö tarkastelun laitoksilla						
	Ranka/ kokopuuhake		Metsä- tähdehake		Muut puu- poltto- aineet	Turve	Yhteensä
	GWh	m ³	GWh	m ³	GWh	GWh	GWh
Pohjois-Karjala	495	274 400	165	102 000	975	290	1925
Pohjois-Savo	725	393 000	425	250 500	1325	890	3365
Etelä-Savo	440	230 100	407	243 000	640	260	1747
Yhteensä	1660	897 500	997	595 500	2940	1440	7037



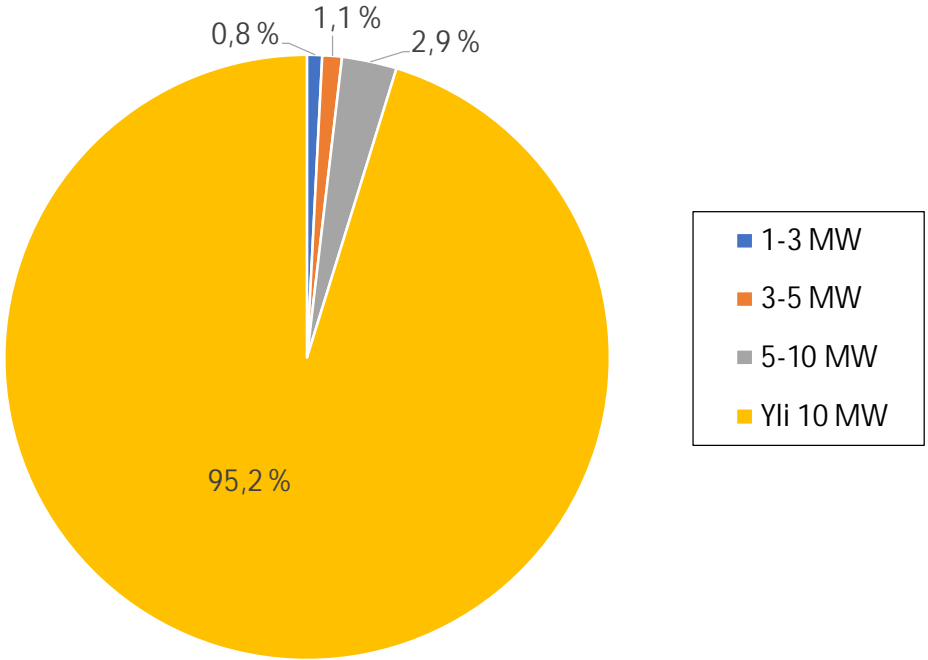
■ Ranka/kokopuuhake ■ Metsätähdehake ■ Muut puupolttoaineet ■ Turve

Kuva 13. Yhteenlaskettu polttoainejakauma tarkastelun piirissä olleilla 75 laitoksella.

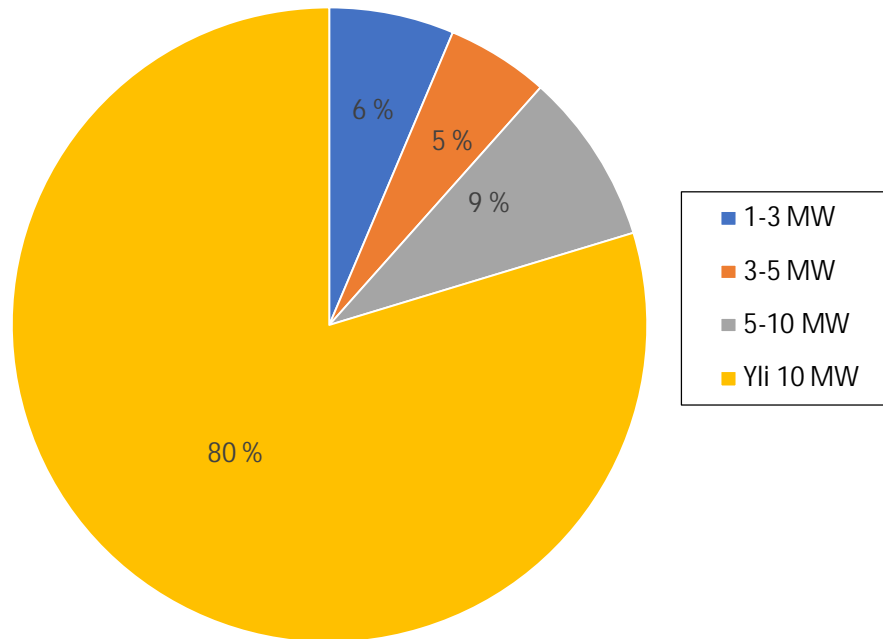
Ranka/kokopuuhakkeesta käytettiin 70 % ja metsätähdehakkeesta noin 95 % yli 10 MW:n kattiloissa, kuten on nähtävissä kuvista 14 ja 15. Yhteenlaskettuna 80 % metsähakkeista poltettiin yli 10 MW kokoluokan kattiloissa (Kuva 16).



Kuva 14. Eri kokoluokan laitosten osuus rankahakkeen käytöstä tarkastelun kohteena olleilla 75 laitoksella Pohjois-Karjalassa, Pohjois-Savossa ja Etelä-Savossa.



Kuva 15. Eri kokoluokan laitosten osuus metsätähdehakkeen käytöstä tarkastelun kohteena olleilla 75 laitoksella Pohjois-Karjalassa, Pohjois-Savossa ja Etelä-Savossa.



Kuva 16. Eri kokoluokan laitosten osuus metsähakkeen käytöstä tarkastelun kohteena olleilla 75 laitoksella Pohjois-Karjalassa, Pohjois-Savossa ja Etelä-Savossa.

Metsähakkeen käyttö kattilakokoluokittain koko tarkastelualueella ja eri maakunnissa sekä energiayksikköinä, että kuutiometreinä on esitetty taulukoissa 4–7.

Taulukko 4. Ranka/kokopuuhakkeen sekä metsätähdehakeen käyttö eri kokoluokan kattiloissa Pohjois-Karjalassa, Pohjois-Savossa ja Etelä-Savossa. Tarkastelussa oli mukana yhteensä 75 metsähaketta polttavaa kattilaa.

Kaikki kolme tarkasteltua maakuntaa yhteensä						
Kattilan kokoluokka	Ranka/kokopuuhake		Metsätähdehake		Yhteensä	
	GWh	m ³	GWh	m ³	GWh	m ³
1–3 MW	161	91 700	8	4 500	169	96 200
3–5 MW	128	69 100	11	7 100	139	76 200
5–10 MW	203	109 400	29	16 200	232	125 600
Yli 10 MW	1168	627 300	949	597 700	2117	1 195 000
Yhteensä	1660	897 500	997	595 500	2657	1 493 000

Taulukko 5. Ranka/kokopuuhakkeen sekä metsätähdehakkeen käyttö eri kokoluokan kattiloissa Pohjois-Karjalan maakunnassa. Pohjois-Karjalasta oli mukana tarkastelussa yhteensä 25 metsähaketta polttavaa kattilaa.

Pohjois-Karjala						
Kattilan kokoluokka	Ranka/kokopuuhake		Metsätähdehake		Yhteensä	
	GWh	m ³	GWh	m ³	GWh	m ³
1–3 MW	83	45 000	1	700	84	45 700
3–5 MW	50	26 500	2	1 100	52	27 600
5–10 MW	85	45 400	4	1 700	89	47 100
Yli 10 MW	277	157 500	158	98 500	435	256 000
Yhteensä	495	274 400	165	102 000	660	376 400

Taulukko 6. Ranka/kokopuuhakkeen sekä metsätähdehakkeen käyttö eri kokoluokan kattiloissa Pohjois-Savon maakunnassa. Pohjois-Savosta oli mukana tarkastelussa yhteensä 30 metsähaketta polttavaa kattilaa.

Pohjois-Savo						
Kattilan kokoluokka	Ranka/kokopuuhake		Metsätähdehake		Yhteensä	
	GWh	m ³	GWh	m ³	GWh	m ³
1–3 MW	55	30 900	4	2 100	59	33 000
3–5 MW	50	27 600	1	500	51	28 100
5–10 MW	85	46 500	15	8 900	100	55 400
Yli 10 MW	535	288 000	405	239 000	940	527 000
Yhteensä	725	393 000	425	250 500	1150	643 500

Taulukko 7. Ranka/kokopuuhakkeen sekä metsätähdehakkeen käyttö eri kokoluokan kattiloissa Etelä-Savon maakunnassa. Etelä-Savosta oli mukana tarkastelussa yhteensä 20 metsähaketta polttavaa kattilaa.

Etelä-Savo						
Kattilan kokoluokka	Ranka/kokopuuhake		Metsätähdehake		Yhteensä	
	GWh	m ³	GWh	m ³	GWh	m ³
1–3 MW	23	15 800	3	1 700	26	17 500
3–5 MW	28	15 000	8	5 500	36	20 500
5–10 MW	33	17 500	10	5 600	43	23 100
Yli 10 MW	356	181 800	386	230 200	742	412 000
Yhteensä	440	230 100	407	243 000	847	473 100

Tuorehaketta ilmoitettiin jo nykyisellään poltettavan ainakin jonkin verran 23:ssa tarkastelun kohteena olleista 75 kattilasta. Laitosten oman ilmoituksen mukaan tuorehakkeen käytön arvioitiin olevan mahdollista nykyisellään 39 kattilassa, joista kahdeksan kohdalla mainittiin ”yhdessä kuivemman polttoaineen kanssa” tai ”osittain”. Tuorehakkeen käyttömäärää tiedusteltiin laitoksilta, mutta vain muutamalta laitokselta saatiin suuntaa antava arvio määrästä. Laitokset eivät yleensä erikseen kirjaa ’tuorehake-eriä’, vaan pitävät kirjaa kosteudesta ja polttoainelajista polttoainetoimittajittain. Pienten laitosten polttoainekirjanpito voi olla vieläkin suppeampaa. Lisäksi kyselyssä todettiin puulajikohtainen ongelma tuorehakkeen määrittämisessä.

Tehtävänannossa tuorehakkeen (rankahakkeen) kosteudeksi asetettiin vähintään 53 p-%, mutta käytännössä lehtipuiden, etenkin koivun, kosteus jää usein miten alle kyseisen kosteuden. Jotkut pienet arinalaitokset kertoivat voivansa käyttää myös pelkkää koivun rankahaketta tuoreena, mutta eivät havupuiden, koska niiden kosteus on korkeampi. Kokonaisuuden kannalta näiden osuus oli kuitenkin marginaalinen ja toisaalta energiapuuta ei ole tapana lajitella puulajin mukaan vaan puut ajetaan lajittelematta samaan varastopinoon.

Kymmenen kattilan osalta oli suunnitelmassa investointeja seuraavan kymmenen vuoden aikana. Investointeja ei yksilöity tarkemmin. Investointiaikeiden kohdalla mainintoja saivat savukaasupesuri ja sähkökattila sekä yleisemmällä tasolla kattilan uusinta.

4. Laitosten teknistaloudellinen analyysi

4.1 Teknologia

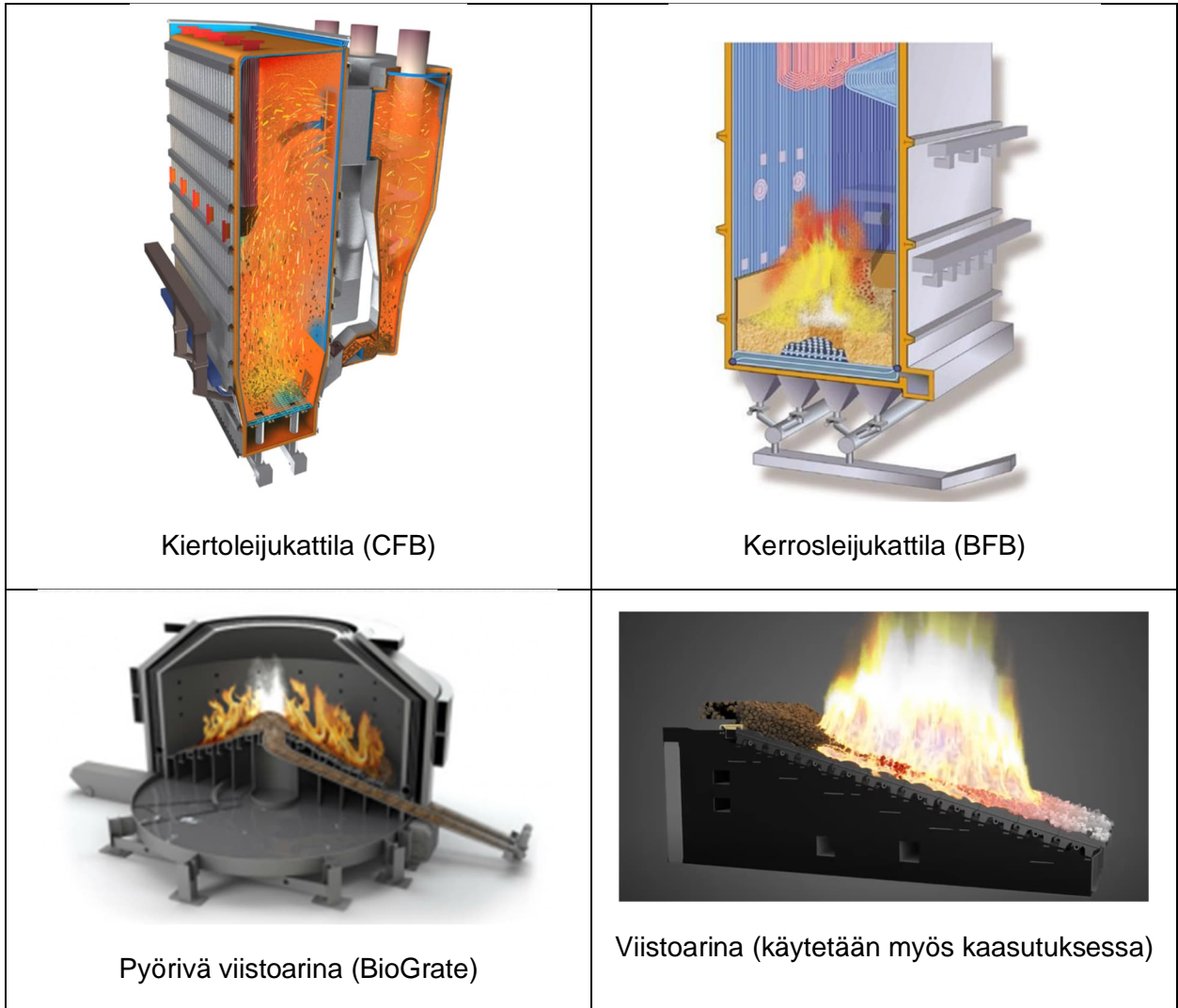
Mäykkää biomassaa voi polttaa periaatteessa millä kattilatyypillä (Kuva 17) tahansa kuivemman polttoaineen kanssa. Kokonaiskosteus ei kuitenkaan saa ylittää kattilan suunnitteluarvoja. Tämä johtaa palamislämpötilan laskuun, huonoon palamiseen ja suurempiin päästöihin. Vesihöyryn määrän kasvaessa myös savukaasun virtaus kasvaa, jolloin savukaasupuhaltimen kapasiteetti voi osoittautua rajoittavaksi tekijäksi.

Pelkkää 100 % tuorehaketta voi polttaa laitoksilla, jotka on suunniteltu myös kosteille polttoaineille. Käytännössä näissä mm. arina on pidempi (enemmän kuivamiseen tilaa/aikaa), käytössä on leijutekniikka, tulipesän seinissä on enemmän muurauksia (vähemmän lämmönsiirtoa savukaasusta) sekä palamisilmaa esilämmitetään kuumemmaksi. Tällä saadaan palamislämpötila polttoainepatjassa (arina) tai pedissä (leijupedit) pidettyä tarpeeksi korkeana.

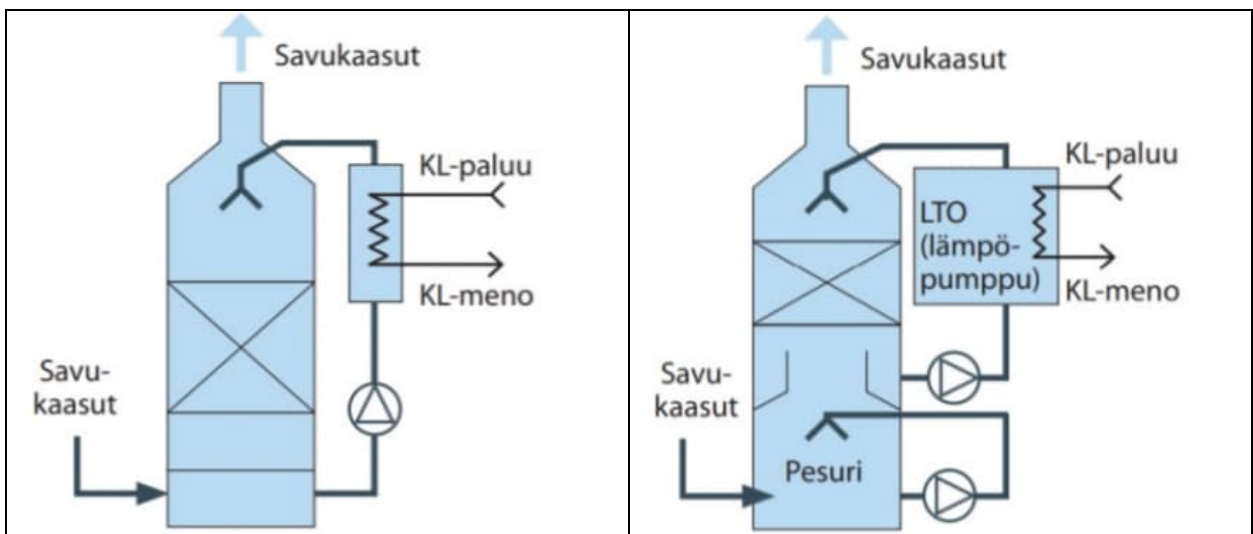
Kattilan muuttaminen jälkikäteen toimimaan kosteammalla polttoaineella on kallista. Tämä vaatii suunnittelutyötä varsinaisten muutostöiden lisäksi, minkä vuoksi takaisinmaksuaika kosteammalla polttoaineella voi olla pitkä.

Savukaasupesurissa savukaasut pestään, jolloin siinä olevat veteen liukenevat aineet (mm. HCl, SO₂) sekä sähkösuotimen poistamatta jääneet lentotuhkahiukkaset saadaan poistettua. Samalla savukaasun lämpötila laskee syötettävän veden märkälämpötilaan (100 % kosteus), joka on normaalisti noin 60–70 celsiusastetta. Pesuriveden lämpötila riippuu kaukolämpöverkon paluuveden lämpötilasta. Mitä alempi on veden lämpötila, sen alemmaksi saadaan piipusta ulos virtaavan savukaasun lämpötila laskettua ja enemmän energiaa hyötykäyttöön. Ylimäärä savukaasun vesihöyrystä lauhtuu nesteeksi. Lämpö voidaan ottaa vedestä suoraan talteen kaukolämpöverkkoon (Kuva 18). Kondenssiveden lämpötilaa voidaan myös muuttaa lämpöpumpun avulla, jolloin talteenoton hyötysuhde paranee. Perinteinen lämpöpumppu käyttää tähän sähköä, mikä kannattaa huomioida laitoksen kokonaishyötysuhteessa. Vähemmän sähköä kuluttavia, mutta monimutkaisempia absorptiolämpöpumppuja on myös käytetty tähän tarkoitukseen.

Savukaasupesurin asentamisella ei voida muuttaa polttoaineen maksimikosteutta laitoksella. Tämä riippuu yksinomaan siitä millaiselle, polttoaineelle kattila on suunniteltu ja mitoitettu. Pesuri + lämmöntalteenotto ottaa talteen savukaasun latenttilämmön, jolloin syötetystä polttoaineen energiasta saadaan enemmän talteen (katso kohdat 2.1 ja 2.2). Kosteuden alentava vaikutus hyötysuhteeseen on pienempi, joten pesurillinen laitos voi käyttää energiatehokkaammin markkinoilla tarjolla olevaa mäyempää polttoainetta.



Kuva 17. Yleisimmät kattilatyytit



Kuva 18. Yleisimpien savukaasupesuri + LTO tyytit. Vasemmalla perusmalli ja oikealla versio, jossa lämpöpumpulla nostetaan lämpötilaa kaukolämpöverkkoa varten. (Lähde: Caligo Industries)

4.2 Tuoreen hakkeen käyttöpotentiaali ja kustannus-hyötyanalyysi

Toimeksiannon mukaisesti tuoreen ranka- ja kokopuuhakkeen teoreettinen käyttöpotentiaali laskettiin neljän annetun skenaarion mukaisesti (määrittelyt sivulla 4). Lähtökohtana kaikissa näissä oli se, ettei käytettävää polttoainevalikoimaa lähdetä merkittävästi muuttamaan. Käytännössä polttoainelajikkeiden kosteuksia muutettiin energiamäärän pysyessä vakiona. Laitosteknologia asettaa perusrajoitteet ja mahdollisuudet eri polttoaineiden käytölle kuten on aiemmissa luvuissa kerrottu. Polttoaineseoksen kosteuden pitää asettua kattilan suunnitteluarvojen sisälle. Jos laitoksella ei ole savukaasupesuria ja lämmön talteenottoa, seoksen kosteutta ei kannata nostaa liikaa, koska hyötysuhde laskee nopeasti.

4.2.1 Rankahake

Ensimmäisenä laskettiin rankahakkeen potentiaali nykyisellä laituskannalla ilman mitään muutoksia laitoksen teknologiaan seuraavin ehdoin (Skenario 1A):

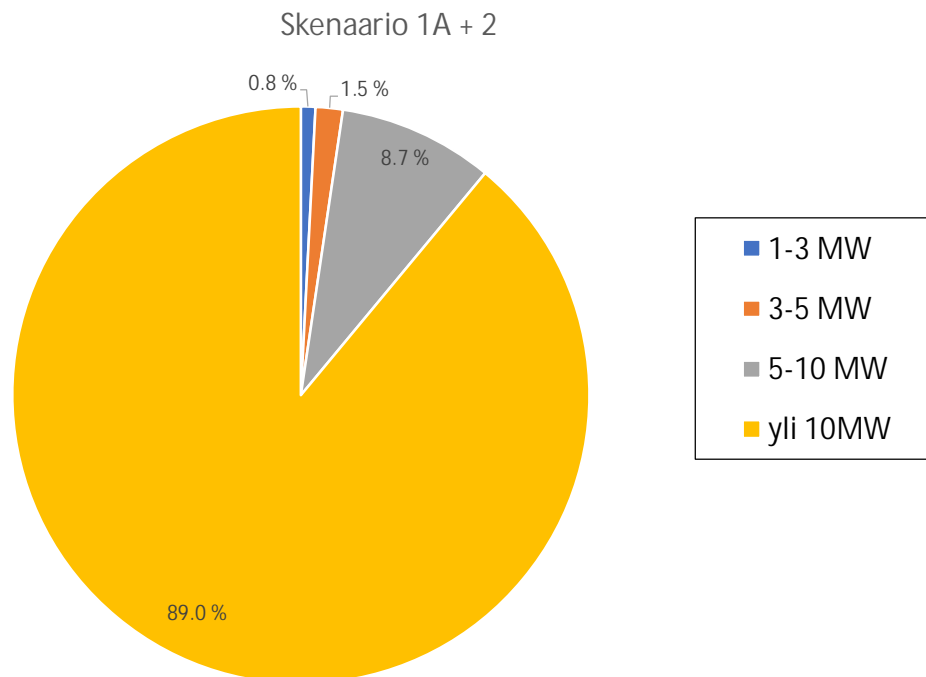
1. Laitokset, jotka ilmoittivat, etteivät halua käyttää tuorehaketta, jatkavat samalla polttoainejakaumalla kuin ennenkin. Ei tuorehakkeen käyttöpotentiaalia.
2. Teollisuuden voima- ja lämpölaitokset käyttävät pääosin metsäteollisuuden sivuvirtoja, jolloin näissä ei ole tarvetta / kapasiteettia käyttää tuorehaketta. Nämä myös jatkavat entisellä polttoainevalikoimalla. Ei tuorehakkeen käyttöpotentiaalia.
3. 1–3 MW laitoksilla polttoaineen kulutus on pienempää ja varastotilat rajoitettuja, jolloin märkähakekuormien tasainen sekoittaminen kuivempaan polttoaineseen voi olla hankalaa. Tämä voi johtaa haasteisiin kattilan toiminnassa. Kosteudeltaan epätasainen polttoaine aiheuttaa isoakin heilahtelua palamisessa ja siten lämpötiloissa, mikä säädöllisesti voi olla vaikeata ratkaista etenkin arinakattiloilla. Tämä voi johtaa jopa kattilan alasajoihin. Siksi kaikkein pienimmät kattilat jätettiin tämän laskennan ulkopuolelle. Ei tuorehakkeen käyttöpotentiaalia.
4. Laitokset, jotka ilmoittivat tuorehakkeen maksimimäärän, minkä voisivat käyttää. Näillä polttoaineseos muutettiin sen mukaiseksi korvaamalla nykyhaketta tuorehakeella (kosteuspitoisuus 53 %) säilyttäen lajikkeella tuotettu lämpömäärä (GWh) samana.
5. Laitoksella ei savukaasupesuria, mutta ilmoittivat yleisesti, että voivat käyttää tuorehaketta. Nostetaan laskennallisesti polttoaineseoksen kosteutta maksimissaan 3 %-yksikköä korvaamalla nykyrankahaketta tuorehakeella (kosteuspitoisuus 53 %), säilytetään sama energiasäilytys GWh.
6. Laitoksella savukaasupesuri ja voi käyttää tuorehaketta. Lisätään tuorehakkeen määrää (kosteuspitoisuus 53 %) korvaamalla nykyhaketta, kunnes ollaan laitoksen ilmoittamassa maksimikosteudessa. Jos maksimia ei ole ilmoitettu, niin nostetaan kosteutta 3 %-yksikköä kuten aiemmassa kohdassa.

Toisena tapauksena (Skenario 2) kartoitettiin laitokset, jotka suunnittelevat tulevan kymmenen vuoden kuluessa laitokseen muutoksia, jotka mahdollistavat tuoreen hakkeen käytön. Skenariossa 2 lisättiin 1A:han laitosten jo päätettyjen investointien vaikutukset tuorehakkeen käyttöpotentiaaliin.

Taulukko 8. Rankahakkeen käyttö nykytilanteessa, skenaariossa 1A sekä skenaariossa 2, jossa määrää lisää jo päätetyt investoinnit laitoksilla.

	Rankahake							
	Nykytilanne		Skenaario 1A			Skenaario 2 (+1A)		
	Nykymallin hake		Tuorehake	Nykymallin hake	yhteensä	Tuorehake	Nykymallin hake	yhteensä
	GWh	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1-3 MW	161	91 700	4 100	86 800	90 900	9 800	81 900	91 700
3-5 MW	128	69 100	7 600	61 100	68 700	12 500	56 600	69 100
5-10 MW	203	109 400	43 800	65 600	109 400	49 400	54 500	103 900
yli 10MW	1 168	627 300	448 800	169 000	617 800	448 800	169 000	617 800
yht.	1 660	897 500	504 300	382 500	886 800	520 500	362 000	882 500

Pohjois-Karjalan sekä Pohjois- ja Etelän-Savon nykylaitoksilla voitaisiin käyttää noin 500 000 m³ tuoretta rankahaketta ilman muutoksia kattilateknologiaan (Taulukko 8, Skenaario 1A). Suunnitellut lisäinvestoinnit (Skenaario 2) nostavat määrää vielä 15 000 m³. Lähes 90 % tuorehakkeesta menisi laskennan perusteella isoille yli 10 MW laitoksille (Kuva 19).



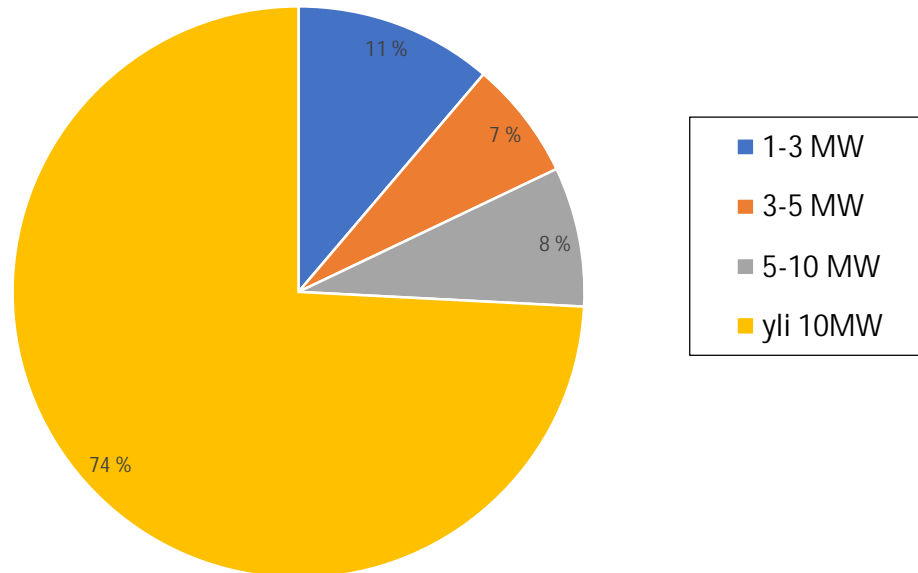
Kuva 19. Tuorehakkeen potentiaali eri kokoluokissa skenaariossa 1A + 2.

Seuraavaksi arvioitiin, millä kohtuullisilla teknologisilla ratkaisuilla ja investoinneilla tuorehakkeen määrää voidaan kasvattaa sekä laskettiin vastaavat polttoainemäärät (Skenaario 3). Lisäksi laskettiin myös näiden investointien kokonaiskustannus laitospotentialittain. Käytännössä järkevänä investointina pidettiin savukaasupesurin asentamista kyseisiin laitoksiin. Polttoilman lisälämmittämistä eli niin sanottua kuumaluvua harkittiin myös vaihtoehtona. Koska jokainen laitos on oma yksilönsä, suunnittelu- ja asennuskustannus voi vaihdella paljonkin, eikä tämän toimeksiannon puitteissa ollut mahdollista tehdä laitoskohtaista arviointia.

Potentiaalilaskentaan lisättiin savukaasupesuri ja lämmöntalteenotto laitoksille, joissa niitä ei vielä ole ja joissa se on teoriassa mahdollista. Kokonaisinvestoinnin arvoksi tulisi yli 76 M€, josta lähes

57 M€ (74 %) olisi yli 10 MW laitoksille (Kuva 20). Pesuri-investoinnin ansiosta nykyisen rankahakkeen kulutusta voitaisiin vähentää arviolta 60 000 m³ eli noin 6 % nykyisestä (Taulukko 9). Suurin säästö m³/M€ saadaan asentamalla yli 10 MW laitoksiin savukaasupesurit.

SK-pesurien arvioitu investointi 76,2 M€



Kuva 20. Savukaasupesurien ja lämmöntalteenoton arvioitu kustannus laitoksille, joilla sitä ei vielä ole.

Tuoreen rankahakkeen potentiaalia pesuri-investoinnin jälkeen arvioitiin Skenaariossa 3A. Tähän käytettiin Skenaarion 1A arvoja polttoainejakaumalle, koska kattila määrittää polttoaineen keskimääräisen enimmäiskosteuden. Lisäksi käytettiin arviota, että asennettu pesuri alentaa polttoaineen kulutusta 15 % (jokaisessa polttoainejakeessa). Laitoksilla, joilla pesuri + LTO on jo asennettu, jakauma on 1A:n mukainen. Tuorehakkeen potentiaali tässä skenaariossa on yhteensä 490 000 m³ (Taulukko 9). Jo tehdyt investointipäätökset (skenaario 3A + 2) kasvattavat määrää lähes 15 000 m³.

Taulukko 9. Rankahakkeen käyttö nykytilanteessa, pesuri-investoinnin jälkeen, skenaariossa 3A sekä skenaariossa 2, jossa määrää lisää jo päätetyt investoinnit laitoksilla.

	Rankahake										
	Nykytilanne		sk-pesurin arvioitu investointi	Nykyseos pesurilla		Skenaario 3A			Skenaario 3A + 2		
	Nykytilanne			Nykytilanne		Tuorehake	Nykymallin hake	yhteensä	Tuorehake	Nykymallin hake	yhteensä
	GWh	m ³	GWh	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1-3 MW	161	91 700	8.5	140	78 300	3 500	74 200	77 700	8 300	70 000	78 300
3-5 MW	128	69 100	5.1	110	62 000	6 900	55 000	61 900	11 000	51 100	62 100
5-10 MW	203	109 400	6.0	190	103 900	42 500	61 400	103 900	48 200	50 300	98 500
yli 10MW	1 168	627 300	56.6	1 100	594 100	438 300	146 700	585 000	438 300	146 700	585 000
yht.	1 660	897 500	76.2	1 540	838 300	491 200	337 300	828 500	505 800	318 100	823 900

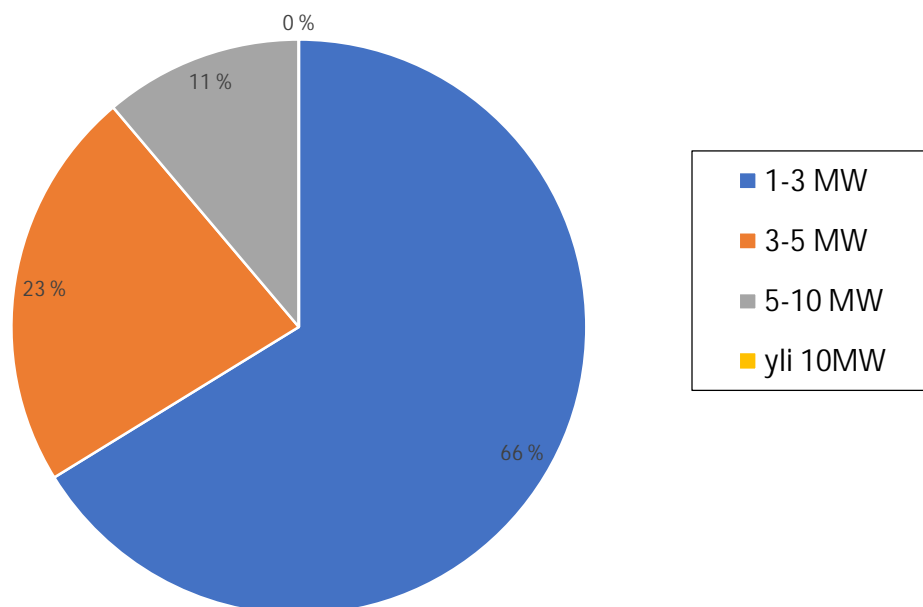
Lopuksi arvioitiin, mitkä laitokset tulisi kokonaan korvata uusilla, jotta tuoreen hakkeen käyttö niissä olisi mahdollista (Skenaario 4). Tarkasteluun otettiin laitokset, jotka eivät nykyisellään voi käyttää ollenkaan tuoretta rankahaketta. Käytännössä nämä käsittävät pienimmät arinakattilat, jotka on suunniteltu kuivemmalle polttoaineelle. Mukaan otettiin myös muutama vanha kattila, jotka ovat lähellä käyttöikänsä loppua. Teollisuuden laitokset jätettiin kuitenkin tästä pois, koska niillä on hyvät syyt jatkaa nykyistä toimintamalliaan, eikä siksi ole realistista olettaa heidän rakentavan aivan uudenlaisia energialaitoksia, elleivät itse ole niin indikoineet. Lisäksi laskennassa jätettiin ulkopuolelle ne kaukolämpö- ja CHP-laitokset, jotka ilmoittivat, etteivät halua missään tapauksessa siirtä tuoreen hakkeen polttoainekäyttöön.

Skenaariossa 4 uusittiin arinakattiloita 69 M€lla 1–3, 3–5 ja 5–10 MW kokoluokissa (Kuva 21). Investoinnit nostavat tuoreen rankahakkeen määrää edelleen 120 000 m³ skenaariosta 3A + 2 (625 000 m³:iin). Rankahakkeen kokonaismäärä vähenee noin 40 000 m³ nykytilaan verrattuna, mutta lisääntyy yli 20 000 m³ pelkän pesuri-investoinnin kulutuksesta (Taulukko 10).

Taulukko 10. Rankahakkeen käyttö nykytilanteessa, pesuri-investoinnin jälkeen sekä, skenaariossa 4, jossa osa laitoksista korvataan uudemmilla.

	Rankahake								
	Nykytilanne		sk-pesurin arvioitu investointi	Nykyseos pesurilla		Uuden laitoksen arvioitu investointi	Skenaario 4 + 3A + 2		
	Nyky Mallin hake			Nyky Mallin hake			Tuorehake	Nyky Mallin hake	yhteensä
	GWh	m ³	GWh	m ³	m ³	m ³			
1-3 MW	161	91 700	8.5	140	78 300	45.7	78 800	17 800	96 600
3-5 MW	128	69 100	5.1	110	62 000	15.6	41 900	27 400	69 300
5-10 MW	203	109 400	6.0	190	103 900	7.7	67 900	37 000	104 900
yli 10MW	1 168	627 300	56.6	1 100	594 100	0.0	437 900	146 700	584 600
yht.	1 660	897 500	76.2	1 540	838 300	69.0	626 500	228 900	855 400

Uusien kattiloiden arvioitu investointi 69 M€



Kuva 21. Arvioitu investointikustannus uusittaville laitoksille.

4.2.2 Metsätähdehake

Tuoreen metsätähdehakeen potentiaali nykyisellä laituskannalla ilman mitään muutoksia (Skenaario 1B) laskettiin tuoreen rankahakeskenaarion 1A päälle käyttämällä ehtoja:

1. Laitokset, jotka ilmoittivat, etteivät halua käyttää tuorehakea, jatkavat samalla polttoainejakaumalla kuin ennenkin. Ei käyttöpotentiaalia.
2. Tuore ns. vihreä metsätähdehake sisältää enemmän klooria kuin kuivanut ns. ruskea hake. CHP-laitoksilla suurempi klooripitoisuus johtaa tulistinhaasteisiin ilman suurempaa turpeen tai lisäainerikin käyttöä, mikä lisää kustannuksia. Laskennassa päätettiin olla lisäämättä tuoretta metsätähdehakea näihin laitoksiin. Ei käyttöpotentiaalia.
3. 1–3 MW laitoksilla polttoaineen kulutus on pienempää ja varastotilat rajoitettuja, jolloin viherhakekuormien tasainen sekoittaminen kuivempaan voi olla hankalaa. Tämä voi johtaa haasteisiin kattilan toiminnassa. Kosteudeltaan epätasainen polttoaine aiheuttaa isoakin heilahtelua palamisessa ja siten lämpötiloissa, mikä säädollisesti voi olla vaikeata ratkaista etenkin arinakattiloilla. Tämä voi johtaa jopa kattilan alasajoihin. Siksi kaikkein pienimmät kattilat jätettiin tämän laskennan ulkopuolelle. Ei tuorehakeen käyttöpotentiaalia.
4. Tuoretta metsätähdehakea ei lisätä laitoksille, jotka ilmoittivat arviomäärän tuorehakeen lisäämisestä. Tämän katsottiin olevan maksimimäärä, minkä tuoretta hakea voi käyttää.
5. Jos laitos ei käytä metsätähdehakea, niin tuoretta metsätähdehakea ei lisätä.
6. Jos tuoreen rankahakeen käytöllä mennään jo kattilan maksimikosteuksiin, niin metsätähdehakea ei lisätä.
7. Nostetaan polttoaineseoksen kosteutta maksimissaan 3 %-yksikköä korvaamalla nykymetsätähdehakea viherhakeella, mutta säilytetään sama energiasisältö GWh.

Tuoreen viherhakeen käyttöpotentiaali ei ollut kovin merkittävä käytetyillä laskentaehdoilla (Taulukko 11), vain vajaa 41 000 m³. Savukaasupesurin investoinnin jälkeistä potentiaalia arvioitiin Skenaarion 1B:n pohjalta vastaavalla tavalla kuin 3A:ssa eli asennettu pesuri alentaa polttoaineen kulutusta 15 % (jokaisessa polttoainejakeessa). Nykypolttoaineseoksella pesurilla saadaan metsähakeen kokonaiskulutusta laskettua 50 000 m³. Tuoreen metsätähdehakeen lisäämispotentiaali pysyy samansuuruisena investoinnista huolimatta.

Taulukko 11. Metsätähdehakeen käyttö nykytilanteessa sekä skenaariossa 1B.

	Metsätähdehake				
	Nykytilanne		Skenaario 1B		
	Nykymallin hake		Tuorehake	Nykymallin hake	yhteensä
	GWh	m ³	m ³	m ³	m ³
1-3 MW	8	4 500	0	4 500	4 500
3-5 MW	11	7 100	300	6 300	6 600
5-10 MW	29	16 200	5 100	10 100	15 200
yli 10MW	949	567 700	35 300	525 300	560 600
yht.	997	595 500	40 700	546 200	586 900

Taulukko 12. Metsätähdehakeen käyttö nykytilanteessa, pesuri-investoinnin jälkeen sekä skenaariossa 3B.

	Metsätähdehake							
	Nykytilanne		sk-pesurin arvioitu investointi	Nykyseos pesurilla		Skenaario 3B		
	Nykymallin hake			Nykymallin hake		Tuorehake	Nykymallin hake	yhteensä
	GWh	m3	M€	GWh	m3	m3	m3	m3
1-3 MW	8	4 500	8.5	6	3 800	0	3 800	3 800
3-5 MW	11	7 100	5.1	9	5 700	300	5 400	5 700
5-10 MW	29	16 200	6.0	25	15 500	4 800	9 800	14 600
yli 10MW	949	567 700	56.6	870	519 500	34 200	478 400	512 600
yht.	997	595 500	76.2	910	544 500	39 300	497 400	536 700

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

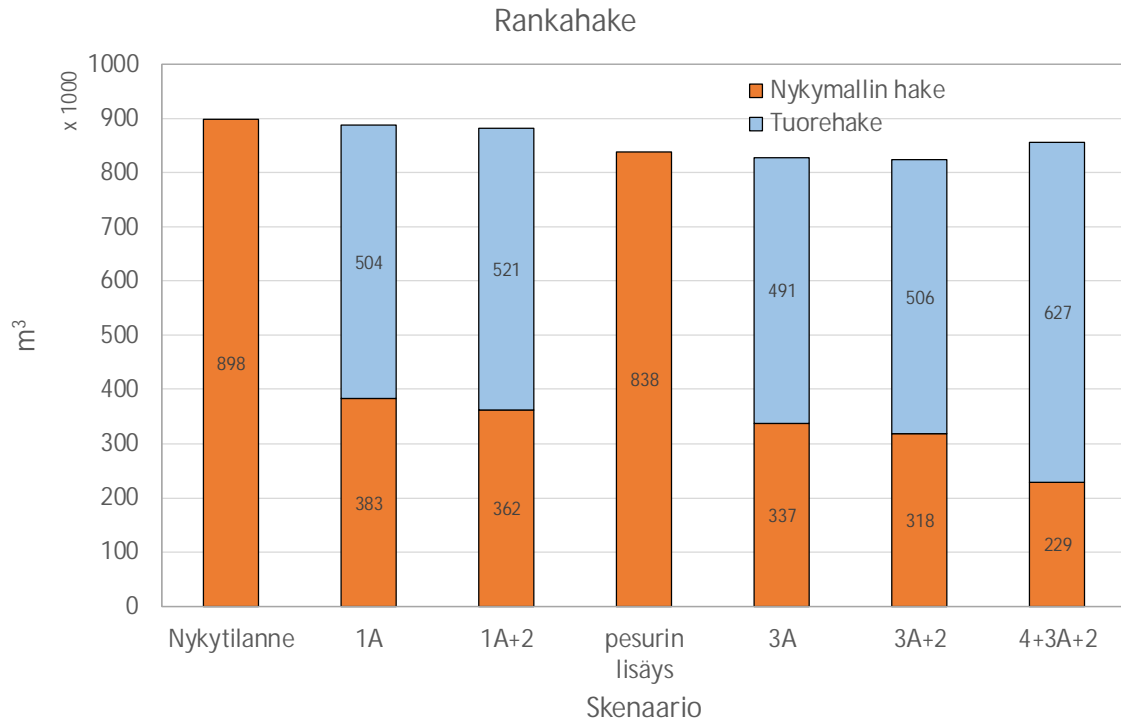
Projektin tavoitteena oli kartoittaa Pohjois-Karjalan sekä Pohjois- ja Etelän-Savon metsähaketta käyttävät lämpö- ja CHP-laitokset eri kokoluokissa, selvittää niiden nykyinen kattilakanta ja polttoainekäyttö sekä arvioida laitosten soveltuvuus niin sanotun tuorehakkeen käyttöön eri arviointikriteereillä. Taustalla oli Luonnonvarakeskuksen hanke Tuorehake - vähästä enemmän (401624), jossa selvitetään, voidaanko metsähakkeen käytön ilmastotehokkuutta ja taloudellisuutta parantaa polttamalla tuoretta metsähaketta käyttävissä laitoksissa. Tuorehakkeeksi määriteltiin heti puunkorjuun jälkeen tehty hake, jonka kosteus on vähintään 53 painoprosenttia. Ensisijaisesti arvioitiin tuoreen ranka- ja kokopuuhakkeen käyttömahdollisuuksia ja toissijaisesti metsätähdehakkeen (latvusmassa) soveltuvuutta.

Laitosten kartoituksessa tunnistettiin tarkastelualueella olevan 75 kappaletta yli 1 MW:n kattiloita, joissa poltetaan metsähaketta. Kattiloiden yhteenlaskettu teho on noin 1755 MW. Näistä 19 kattilaa oli kooltaan yli 10 MW, 17 kpl kokoluokassa 5–10 MW, 14 kpl kokoluokassa 3–5 MW ja 25 kpl kokoluokassa 1–3 MW. Savukaasupesuri lämmön talteenotolla oli asennettuna tai sitä oltiin asentamassa 22 kattilaan. Kokoluokassa 1–3 MW vain yhteen kattilaan oli asennettuna pesuri, 3–5 MW neljään, 5–10 MW kymmeneen ja yli 10 MW seitsemään. Ranka- tai kokopuuhaketta käytettiin yhteensä noin 1660 GWh:a, mikä vastaa noin 898 000 m³:ä. Metsätähdehaketta käytettiin yhteensä hieman vajaa 1000 GWh:a, mikä vastaa noin 596 000 m³:ä. Ranka/kokopuuhakkeesta käytettiin 70 % ja metsätähdehakkeesta noin 95 % yli 10 MW:n kattiloissa. Tuorehaketta ilmoitettiin jo nykyisellään poltettavan ainakin jonkin verran 23:ssa tarkastelun kohteena olleista 75 kattilasta. Laitosten oman ilmoituksen mukaan tuorehakkeen käytön arvioitiin olevan mahdollista nykyisellään 39 kattilassa, joista kahdeksan kohdalla mainittiin ”yhdessä kuivemman polttoaineen kanssa” tai ”osittain”.

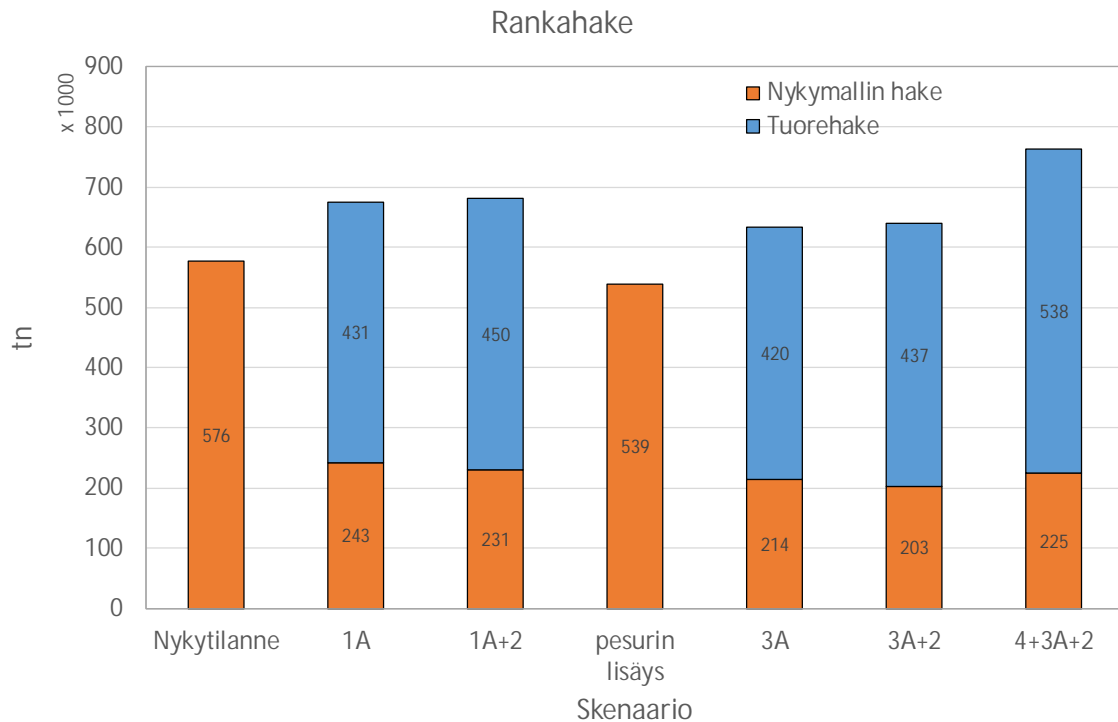
Mitä enemmän tuorehaketta käytetään, sen suuremmaksi hakkeen kokonaiskulutus tonneina kasvaa. Tulos on looginen, koska polttoaineen lämpöarvo laskee kosteuden lisääntyessä. Samaan energiamäärään pitää olla enemmän kosteaa puuta kuin kuivempaa. Toisaalta raaka-aineen varastoinnissa aiheutuvat kuiva-ainehäviöt muuttavat tilannetta, jos polttoainemääriä mitataan tilavuuksina. Tällöin tarvittava polttoainemäärä vähenee verrattuna nykytilanteeseen (Kuvat 22 ja 23).

Tuoreen ja nykyisen hieman kuivatetun metsähakkeen hintaerosta riippuu, kumpaa on laitoksen näkökulmasta edullisempaa käyttää. Samoin polttoaineen tuottajan kannalta on olennaista, kuinka polttoaine on hinnoiteltu. Määräytyykö hinta lämpöarvon mukaan, kuten perinteisesti, vai kenties tilavuus- tai painovolyymien mukaan, jolloin raaka-aineen kuivatuksesta ei ole myyjälle hyötyä. Luonnollisesti kustannuksissa on huomioitava myös, että tuoreen hakkeen kuljetuskustannukset ovat korkeammat johtuen sen suuremmasta vesipitoisuudesta.

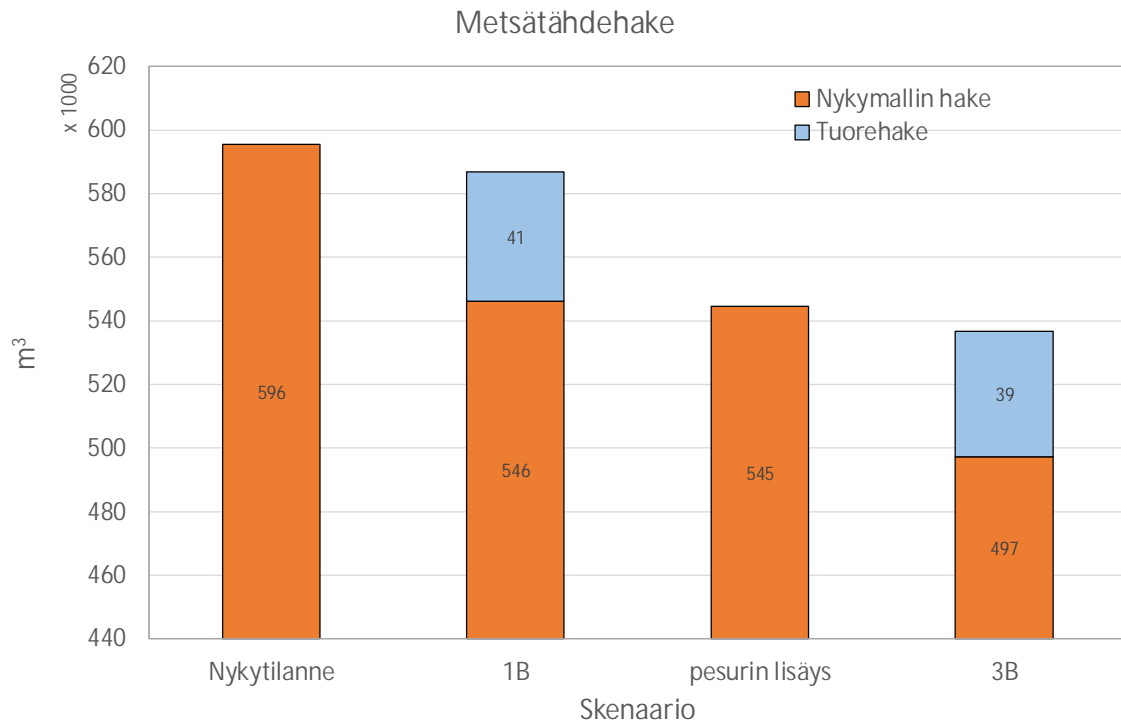
Jos polttoaineen määrää mitataan tilavuuksina ja huomioidaan puupolttoaineen arvioidut kuiva-ainehäviöt varastoitaessa, laitoksiin asennettavat lämmön talteenotolla varustetut savukaasupesurit yhdessä tuoreen metsähakkeen käytön kanssa alentavat tarvittavaa puun määrää. Maksimiskenaariossa (skenaario 3A+2) ranka- ja kokopuuhaketta tarvittaisiin noin 8 % (74 000 m³) ja metsätähdehaketta (skenaario 3B) noin 10 % (60 000 m³) vähemmän vuosittain (Kuva 22 ja 24). On kuitenkin huomattava, että lähes samaan tulokseen päästään jo pelkillä pesuri-investoinneilla muuttamatta polttoainejakaumaa millään tavalla. Tonneissa laskettuna ainoa ranka- ja kokopuuhakkeen kokonaiskulutusta pienentävä skenaario on tilanne, jossa laitoksiin asennetaan savukaasupesurit lämmön talteenotolla samalla olettaen, että polttoainejakauma pysyy entisellään. Hakkuutähdehakkeen määrissä ei ole kovin merkittäviä eroja (Kuvat 23 ja 25). Tarvittavien investointien kertaluonteinen kokonaiskustannus olisi noin 76 miljoonaa euroa.



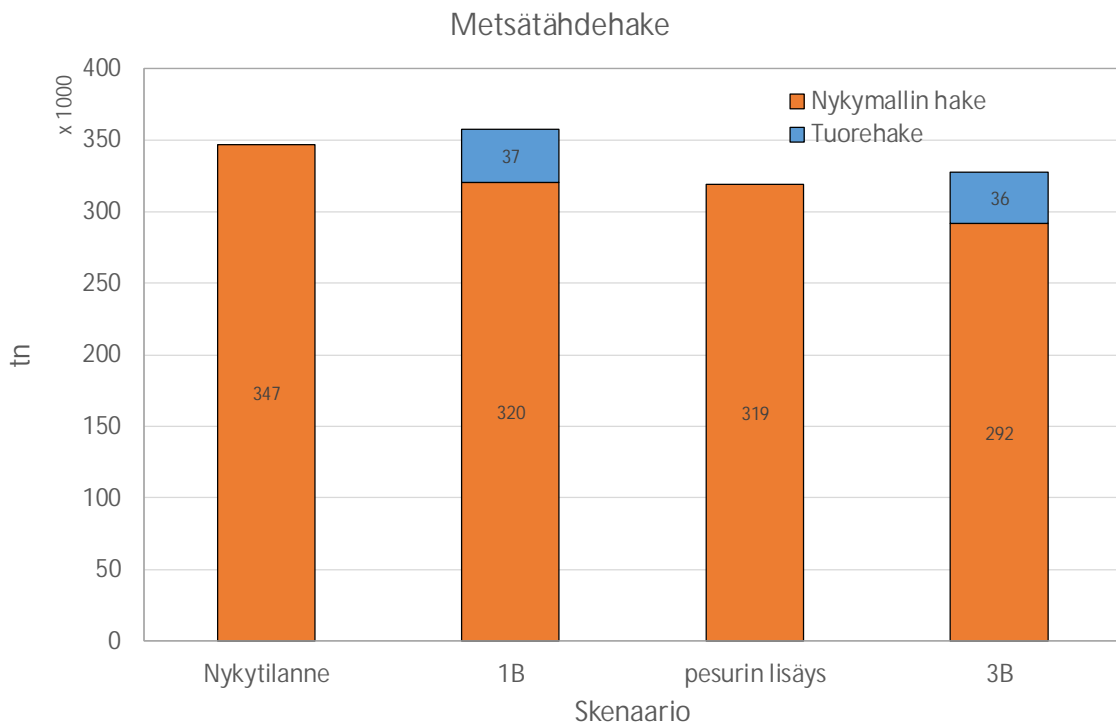
Kuva 22. Nykyisen ketjun tuottaman ja tuoreen rankahakkeen määrät tarkastelluissa skenaarioissa kuutiometreinä laskettuna (ks. luku 4.2.1).



Kuva 23. Nykyisen ketjun tuottaman ja tuoreen rankahakkeen määrät tarkastelluissa skenaarioissa tonneina laskettuna (ks. luku 4.2.1).



Kuva 24. Nykyisen ketjun tuottaman ja tuoreen metsätähdehakkeen määrät tarkastelluissa skenaarioissa kuutiometreinä laskettuna (ks. luku 4.2.2).



Kuva 25. Nykyisen ketjun tuottaman ja tuoreen metsätähdehakkeen määrät tarkastelluissa skenaarioissa tonneina laskettuna (ks. luku 4.2.2).

Suomessa on pitkät perinteet puuenergian käytössä. Vuosien kuluessa toimintamallit ja teknologiat ovat hioutuneet toimiviksi ja kustannustehokkaiksi soveltuen hyvin maakunnallisiin tarpeisiin ja tarjolla oleviin raaka-aineisiin. Energiategellisyydessä investoinnit ovat pitkäikäisiä ja siksi ne suunnitellaan huolella varautuen samalla mahdollisiin muutoksiin tulevaisuudessa edellä mainitut seikat huomioiden. Ei ole kuitenkaan realistista ajatella, että kattiloita, joilla on vielä runsaasti käyttöaikaa jäljellä, alettaisiin radikaalisti modernisoida, jollei investointien takaisinmaksuaika ole kohtuullinen. Toisaalta selvityksessä kävi ilmi, että jo nyt kaikilla suurilla laitoksilla on verrattain hyvät valmiudet käyttää kosteita polttoaineita, myös tuorehaketta. Sen merkittävä lisääminen voisi vääjäämättä myös johtaa siihen, että tuorehaketta kosteampien polttoainejakeiden osuutta lämpö- ja voimalaitosten polttoainepaletista pitäisi vähentää tai niiden kosteutta vastaavasti alentaa, mikä aiheuttaisi merkittäviä alueellisia ongelmia mm. kuoren hyödyntämisessä energiantuotannossa. Vastaavasti kuivempia jakeita pitäisi olla tarjolla enemmän, jottei polttoaineen keskikosteus nouse liiaksi.

Energialaitosten kannalta energiantuotanto on ennen kaikkea liiketoimintaa, jonka tulee olla kannattavaa. Operaatio- ja investointipäätöksiin vaikuttaa paljon polttoaineiden hankintakustannukset, teknologian kehitys ja koko energiamarkkinan murros, jossa toimintaympäristöä muokkaavat valtiovalan ja EU:n päätökset. On selvää, että polttamiseen perustuva energiantuotanto tulee ajan kuluessa vähenemään. Jo tämän selvityksen yhteydessä tuli ilmi suurten energialaitosten suunnitelmia hankkia esimerkiksi sähkökattiloita, lämpövarastoja ja lämpöpumppuja osaltaan korvaamaan polttavaa teknologiaa. Siksi suuret toimijat ovat avainasemassa, kun arvioidaan, kuinka metsähakkeen kulutus tulevaisuudessa kehittyy.

Huoltovarmuuden kannalta on joka tapauksessa etu, että lämpö- ja voimalaitokset voivat hyödyntää erityyppisiä polttoainejakeita hyvällä hyötysuhteella. Kaatotuoreen puun ja sen hyödyntämiseen soveltuvan energiateknologian hyöty on, että puu on nopeasti siirrettävissä kannolta kattilaan olemattomin varastotappioiden, jos tilanne niin vaatii. Hyvä on myös muistaa, että puupolttoaineiden varastohävikkiä voidaan tehokkaasti estää kuivaamalla raaka-aine ennen varastointia. Tällöin polttoainetta kuluu kokonaisuudessaan vähemmän. Energiantuotannon toimintamallit, polttoaineiden saatavuus ja kustannukset lopulta ratkaisevat, mikä on kaikkein taloudellisin tapa toimia. Selvää joka tapauksessa on, että kosteita puupolttoaineita kannattaa polttaa ensisijaisesti laitoksissa, joissa on savukaasupesuri. Näissä polton hyötysuhteen aleneminen on hukkalämmön talteenottojärjestelmien ansiosta pienempi.

6. Lähdeviitteet

1. Werkelin, J., Skrifvars, B.-J., Hupa, M., Biomass and Bioenergy 29 (2005) 451-466.
2. Backman, R., Sodium and sulfur chemistry in Combustion gases. Åbo Akademi University, Research Report 89-4. Department of Chemical Engineering.
3. Nielsen, H.P., Baxter, L.L., Scippab, G., Morey, C., Frandsen, F.J., Dam-Johansen, K., Fuel 79 (2000) p. 131-139.
4. Aho, M., Silvennoinen, J., Fuel 83 (2004) 1299–1305.
5. Aho, M., Paakkinen, K., Taipale, R., Fuel 104 (2013) 476–487.
6. Nielsen. H.P., Frandsen, F.J, Dam Johansen, K., Energy& Fuels 13 (1999) p. 1114-1121
7. Lehtovaara, J., Salonen, M., Chemical properties of Fuel peat. 14th International peat congress, Stockholm, Sweden, June 3-8, 2012.
8. Herranen, T., The sulphur concentration of peat in Finland. Report of Peat Investigation 398, Geological Survey of Finland, 2009, 62 p. (In Finnish, with English abstract).
9. Singer, J.G., (editor) Combustion. Fossil Power Systems. Combustion Engineering, inc. Windsor CT 06095, 1981. P. i1 – g15.
10. Glarborg, P., Marshall, P., Combustion and Flame 14 (2005) 22-39.
11. Sarkki, J., Griffin, F., Scully, S., Flynn, T., 21st International Conference on Fluidised bed combustion. Naples, Italy June 3-6, 2012.
12. Routa, J., Kohlström, M. Sikanen, L. Dry matter losses and their economic significance in forest energy procurement. International Journal of Forest Engineering (2018). DOI: 10.1080/14942119.2018.1421332
13. Laitila, J., Ahtikoski, A., Repola, J., Routa, J. Pre-feasibility study of supply systems based on artificial drying of delimbed stem forest chips. Silva Fennica vol. 51. (2017). doi.org/10.14214/sf.5659