

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Tuoreen hakkeen käyttö energiantuotannossa
Use of fresh forest chips in energy production

Työn tarkastaja: Tapio Ranta

Työn ohjaaja: Tapio Ranta

Lappeenranta 20.12.2019

Jakke Kukkonen

TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Jakke Kukkonen

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Tapio Ranta

Kandidaatintyö 2019: Tuoreen hakkeen käyttö energiantuotannossa

30 sivua ja 10 kuvaa

Hakusanat: biopolttoaineet, puu, hake, tuore polttoaine, kostea polttoaine, lämpölaite, savukaasupesuri, lämpöpumppu

Tämän tutkielman tarkoituksena on tutkia tuoreen, täysin kuivaamattoman puuhakkeen käyttöä energiantuotannossa. Puun sisältämän veden ajatellaan vähentävän poltosta saatavan energian määrää, joten jo vuosikausien ajan puun kosteutta on haluttu alentaa ennen polttoprosessia. Lähtökohtana tutkielmalle on Kauhavan Kaukolämmön tapaus, jossa huomattiin, että tuoreesta puupolttoaineesta saadaan enemmän energiaa irti, kuin ylivuotuisesta, kuivatetusta puusta. Tämä perustuu lähinnä savukaasupesurin lämmöntalteenottoon, jossa hyödynnetään savukaasun sisältämän vesihöyryn suurta energiamäärää kaukolämmöntuotannossa.

Työssä tutkitaan hyötynäkökulmia polttoainelogistiikan osalta, joka muun muassa nopeutuu tuoretta haketta käytettäessä, kun luovutaan turhilta varastointiajoilta, jotka syntyvät esimerkiksi polttoainetta kuivatettaessa. Tutkielmassa pohditaan myös edellytyksiä laitospäässä, jotta tuoreen hakkeen käyttöä olisi mahdollista hyödyntää. Tuoreen hakkeen poltolla saavutetaan suuria hyötyjä ja optimoidulla savukaasupesurikytkennällä parannetaan laitoksen hyötysuhdetta, minkä johdosta energiaa voidaan tuottaa tehokkaammin. Tuoreen hakkeen poltto vaatii kattilalta paljon, eikä kaikenlaiset ja kokoiset laitokset pysty hyödyntämään erittäin kostean polttoaineen käyttöä energiantuotannossa. Tästä huolimatta, kun puupolttoaineiden käyttö lisääntyy myös tulevaisuudessa, tuoreen hakkeen poltolla on potentiaalia nousta osaksi Suomen arkipäiväistä energiantuotantoa.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä

Sisällysluettelo

Lyhenneluettelo

1 Johdanto	4
2 Puu polttoaineena	5
2.1 Hake.....	6
2.2 Koostumus.....	7
2.3 Kosteus	8
2.4 Kuiva-ainetappiot	10
3 Hakkeen hankinta	11
3.1 Perinteinen hankintatapa	11
3.2 Tuoreen hakkeen hankinta.....	13
4 Tuoreen hakkeen poltto	15
4.1 Edellytykset laitokselta.....	15
4.2 Lämmöntalteenotto savukaasupesurilla	18
5 Soveltuvuus	23
6 Yhteenveto	26
Lähdeluettelo	27

LYHENNELUETTELO

CHP Combined Heat and Power
 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

KL Kaukolämpö

LTO Lämmöntalteenotto

1 JOHDANTO

Nykypäivän tiukkoja päästönormeja noudattaen kysyntä puhtaammalle ja energiatehokkaammalle lämmön- ja sähköntuotannolle kasvaa jatkuvasti. Suomessa varsinkin lämmöntuotannon osalta katse on kohdistunut vahvasti puun hyödyntämiseen ja sen käyttö energiantuotannon polttoaineena on kasvanut vuosi vuodelta. Puu itsessään on varsin kostea polttoaine ja veden on katsottu vähentävän polttamisesta saatua energiamäärää, joten tyypillisesti puu luonnonkuivataan ennen polttoprosessia.

Tämä tapa on aina ajateltu olevan energiatehokkuudeltaan parempi ratkaisu, kunnes Kauhavan Kaukolämpö löysi asiaan uuden näkökulman. He totesivat, että täysin kuivaamatonta ja tuoretta puuta poltettaessa saadaan enemmän energiaa irti, kuin ylivuotuisesta, kuivatetusta puusta. Tämä perustuu lähinnä savukaasujen lämmöntalteenottoon, jossa kosteista savukaasuista otetaan talteen vesihöyryn sisältämä suuri energiamäärä. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä kosteammat ovat savukaasut ja sitä enemmän saadaan lauhdutettua energiaa. Ylimääräinen talteenotettu energia voidaan johtaa kaukolämpöverkoston, jolloin tuotetaan lämpöä entistä tehokkaammin.

Tuoreen hakkeen hyödyntäminen ei ole kuitenkaan niin yksinkertaista, sillä kosteamman polttoaineen polttaminen vaatii laitokselta ja sen komponenteilta paljon. Vain tietyt tyypiset ja kokoiset kattilat pystyvät polttamaan täysin tuoretta polttoainetta, jossa vesi voi kattaa yli puolet polttoaineen kokonaismassasta.

Tässä työssä tarkastellaan tuoreen hakkeen ominaisuuksia polttoaineena ja sen käytön hyötynäkökohtia polttoainelogistiikan osalta sekä edellytyksiä laitospäässä. Tutkimuksen tueksi olen haastatellut Kauhavan Kaukolämmön toimitusjohtajaa Ari-Matti Mattilaa, kattilatoimittaja KPA Uniconin Teknologiajohtajaa Tarmo Hatusta sekä savukaasupesuritoimittaja Ehox:n toimitusjohtajaa Mika Sairasta, joilla kaikilla on käytännön kokemusta polttoaineen kosteuden vaikutuksesta energiantuotantoon.

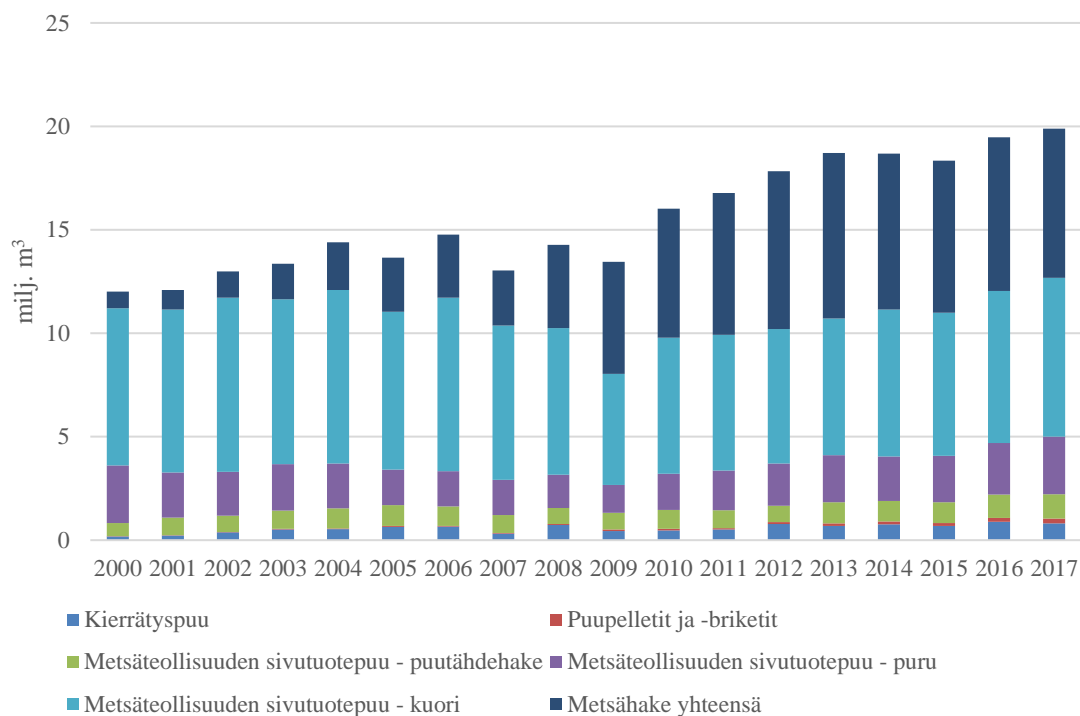
2 PUU POLTTOAINEENA

Puu on kotimainen ja täysin omavarainen, uusiutuva polttoaine. Puu on biomassaa, jota poltettaessa saadaan puhdasta ja ympäristöystävällisesti tuotettua uusiutuvaa energiaa. Biomassan poltosta vapautuvan hiilen katsotaan sitoutuvan takaisin kasvaviin puustoihin ja muihin biomassoihin, joten se lasketaan hiilidioksidineutraaliksi energiantuotantomuodoksi. Ilmastonmuutoksen hidastamiseksi kasvihuonekaasuja voidaan vähentää korvaamalla fossiilisia polttoaineita biomassoilla. (Motiva 2018)

Teollisuusmaiden välisessä vertailussa Suomen osuus biomassan käytöstä energiantuotannossa on korkein. Puuenergian osuus kotimaan energiantuotannosta vuonna 2016 oli yhteensä 26 prosenttia. (Motiva 2018) Vuonna 2017 Suomessa uusiutuvien polttoaineiden käyttö kaukolämmöntuotannossa kasvoi noin 8 prosenttia vuodesta 2016. Vuonna 2017 Suomessa tuotettiin noin 38 TWh kaukolämpöä, josta puupolttoaineiden osuus oli noin 12,5 TWh. Tämä tarkoittaa sitä, että puupolttoaineilla tuotetaan noin kolmasosa Suomen kaukolämmöstä. (Tilastokeskus 2018)

Suurin osa Suomessa käytetystä puupolttoaineista on metsäteollisuuden sivutuotepuuta, joka koostuu kuoresta, puutähdehakkeesta ja sahojen sivutuotteena syntyvästä sahanpurusta. Yhteensä sivutuotepuuta käytettiin vuonna 2017 noin 7,7 miljoonaa kuutiometriä, kun taas metsähakkeen osuus samaisena vuonna oli noin 7,2 miljoonaa kuutiota. Lämpö- ja voimalaitoksien käyttämän kiinteiden puupolttoaineiden kokonaismäärä vuonna 2017 oli yhteensä noin 19,9 miljoonaa kuutiota. (MMM 2018)

Kuvassa (Kuva 1) esitetään kiinteiden puupolttoaineiden käytön kehittymistä lämpö- ja voimalaitoksissa vuosien 2000 ja 2017 välillä. Yleisesti ottaen huomataan, että puupolttoaineiden käyttö on lisääntynyt useilla miljoonilla kuutioilla. Metsäteollisuuden sivutuotteena syntyvän kuoren käyttö on ollut joka vuosi suosituinta. Hakkeen käyttö on lisääntynyt huomattavasti ja vuonna 2017 sitä käytettiin miltei yhtä paljon kuin kuorta.

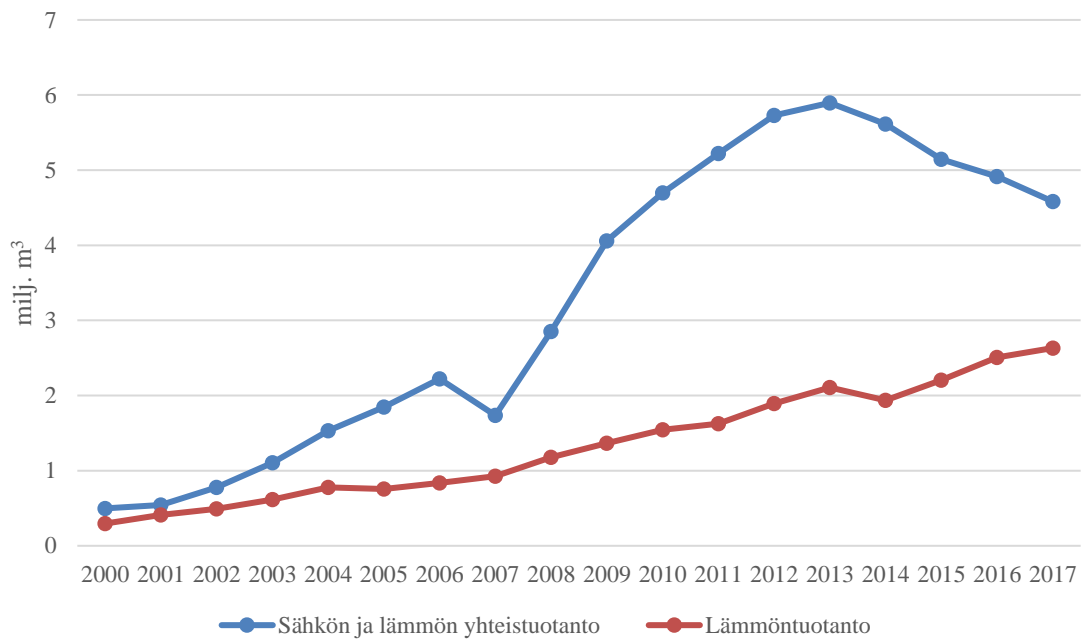


Kuva 1. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa (Luonnonvarakeskus 2018)

2.1 Hake

Hake on eri puuaineksista hakkurilla koneellisesti tuotettua polttoainetta. Haketta voidaan valmistaa karsitusta tai karsimattomasta kokopuusta, hakkuutähteistä, kannoista tai muista puujätteistä. Valmiin hakkeen käyttöä voimalaitoksissa edeltää monia eri työvaiheita. Tämän takia sillä on suuri työllistämisaikutus Suomessa. (Bioenergieneuvoja, 2019)

Kuvassa (Kuva 2) esitetään metsähakkeen käytön kehitystä lämpö- ja voimalaitoksissa vuosien 2000 ja 2017 välillä. Kuvasta huomataan, että vuoteen 2013 asti sekä CHP-laitoksien ja kaukolämpölaitoksien metsähakkeen käyttö on lisääntynyt. Tämän jälkeen CHP-laitokset ovat vähentäneet metsähakkeen käyttöä, kun taas kaukolämmön-tuotannossa hakkeen käytön lisääntyminen on jatkunut.



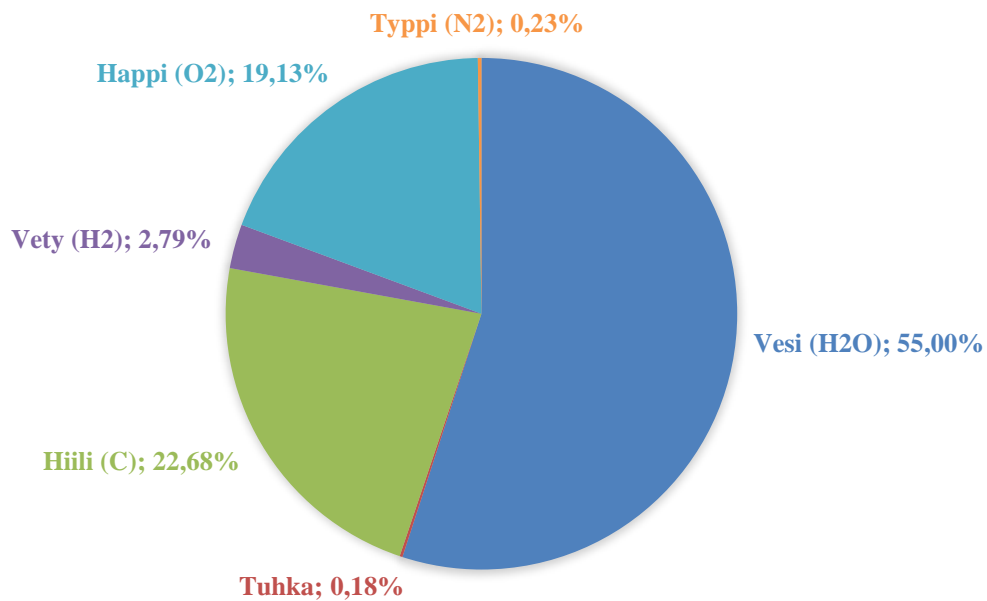
Kuva 2. Metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa (Luonnonvarakeskus 2018)

2.2 Koostumus

Pääasiassa puun koostumus muodostuu hiilestä, vedystä ja hapesta, jotka kattavat puun kuiva-aineen massasta noin 99 prosenttia. Typpipitoisuus on tyypillisesti noin 0,5 prosenttia. Rikin pitoisuus on juuri mitätön, 0,05 prosenttia, kun taas verrataan esimerkiksi fossiiliseen polttoaineeseen öljyyn, jonka rikkipitoisuus on yleensä noin yhden prosenttiyksikön verran. Rikki on varsin epätoivottu alkuaine, sillä palaessa se muodostaa ympäristölle haitallista rikkidioksidia. Ympäristölle haitallinen on myös typpi, joka hapen kanssa reagoiessaan muodostaa typen oksideja. Polttoaineiden koostumus vaikuttaa niiden käsittelyyn, polttoon ja savukaasujen käsittelyyn. (Huhtinen et al. 1997, 32-33.)

Puun alkuainekoostumus vaihtelee vain hieman eri puulajien välillä. Esimerkiksi typpipitoisuuksia vertaillessa suurin pitoisuus on lepällä, noin 0,2 prosenttia. Männyn ja kuusen typpipitoisuus on noin 0,05 prosenttia ja koivun noin 0,1 prosenttia. (Alakangas, E et al. 2016, 56.)

Kuvassa (Kuva 3) esitetään yleisesti tuoreen, vastakaadetun puun koostumus. Kuvassa esitetään eri aineiden massapitoisuuksia, kun lähtökohtana tutkitaan puukappaletta, joka painaa yhden kilogramman. Suurimman osa kappaleen massasta kattaa vesi, jota on jopa 550 grammaa kilogrammaa kohden. Kuiva-aineista hiili kattaa suurimman osan puun painosta, kun taas typen ja tuhkan pitoisuudet ovat hyvin pieniä.



Kuva 3. Puupolttolaineen koostumus (Huhtinen et al. 1997, 33)

2.3 Kosteus

Tuoreen puun kosteus vaihtelee tyypillisesti 40-60 % välillä ja kosteuteen vaikuttavat kasvupaikka, puulaji ja puun ikä. Tämän lisäksi kosteus vaihtelee puun eri osissa. Eri puulajien välillä kosteuden vaihtelua havaitaan eri vuodenaikojen välillä. Havupuiden kosteuden vaihtelu on vähäisempää, toisin kuin lehtipuilla. Esimerkiksi kasvavan koivun kosteus on korkeimmillaan keväällä, noin 48 prosenttia. Tällöin puu on lehdetön, mutta juuret siirtävät aktiivisesti vettä runkoon. Kesällä koivu on kuivimmillaan, noin 38 prosentissa, kun lehtien veden haihdunta on suurimmillaan. Syksyllä kosteus nousee jälleen ja talvella sen kosteus on noin 45 prosenttia, kun puu on lepotilassa sekä lehdetön. (Alakangas et al. 2016, 60.)

Puun kosteuden ajatellaan olevan sen merkittävin palamiseen vaikuttava ominaisuus. Tämä johtuu siitä, että tehollinen lämpöarvo, joka kertoo polttoaineesta saatavan energian määrää massayksikköä kohden, on kosteuden funktio. Puun kosteuden kasvaessa tehollinen lämpöarvo laskee, sillä kosteuden poistaminen ennen palamistapahtumaa vaatii lämpöä. Lämpöhäviöitä syntyy, kun kattilassa haihtunut vesihöyry poistuu savukaasujen mukana ympäristöön. Puun kosteuden ollessa tarpeeksi korkea, saattaa tulipesän lämpötila laskea niin paljon, että haihtuvien aineiden palaminen kärsii, eikä ne välttämättä pala kokonaan. (Laine & Sahrman. 1985, 19.) Tuoretta puuta voidaan polttaa kuitenkin, jos laitos on tyypiltään soveltuva kosteamman polttoaineen polttoon sekä se sisältää savukaasulauhduttimen, jolla savukaasujen sisältämä kosteus saadaan lauhdutettua ja lämpöenergia otettua talteen. (Alakangas et al. 2016, 61.)

Tyypillisesti laitoksissa pyritään polttamaan jo valmiiksi kuivatettua puuta paremman tehollisen lämpöarvon vuoksi. Puita voidaan luonnonkuivata karsimattomana, karsittuna tai valmiina polttoaineena. Kuivatuskausi ulottuu huhtikuulta syyskuuhun, koska kyseisellä aikavälillä päästään käyttämään ilman korkeaa lämpötilaa ja alhaista kosteutta. Ilmasto-olojen lisäksi kosteus, mihin kuivaamalla päästään, riippuu myös varastopaikasta sekä varastointitavasta. Mahdollisimman aukea, kuiva ja korkealla sijaitseva varastopaikka takaa ihanteellisimmat kuivausolosuhteet. (Laine & Sahrman. 1985, 20.)

Kasakuivatus (Kuva 4) on hyvin tyypillinen tapa kuivata puuta. Puut kuljetetaan metsäpalstalta esimerkiksi tienvarteen, johon ne pinotaan kuivumaan. Puukasan peittäminen ja välipuiden käyttö edesauttaa kuivausprosessia. Hyvän varastokasan ominaisuuksia ovat muun muassa järeät alus- ja välipuut, peitepaperi suojana ja korkeus 5-7 metriä. Kesän yli kuivattamalla, saadaan tuoreen puun noin 55 prosentin kosteutta laskettua noin 35 prosenttiin. Jos kuivatusta jatketaan myös toisen kesän verran, saadaan puun kosteutta laskettua vielä noin 5 prosenttiyksikköä lisää. (Raitila et al. 2014, 13)



Kuva 4. Kasakuivaus (Lepistö 2011)

2.4 Kuiva-ainetappiot

Puupolttoaineen varastointiin liittyy häviöitä, sillä varastointi lisää kuiva-ainetappioita. Hakkuutähteiden ja rankojen kuiva-ainetappioita on tutkittu muun muassa INFRES-projektin kokeissa. Niissä havaittiin, että 9-12 kuukauden varastoinnin aikana hakkuutähteiden kuiva-ainetappiot olivat 9-18 prosenttia. Ruotsalaiset tutkimukset ovat tätä ennen todenneet hakkuutähteiden kuiva-ainetappiot olevan 1-3 % kuukaudessa. 14 kuukauden varastointiajalla mäntyranan kuiva-ainetappiot olivat 5 %. (Alakangas et al. 2016, 61.)

TUOHI-hankkeessa on tutkittu tuoreen hakkeen polton hyötyjä Kauhavan 10 MW:n lämpölaitoksessa logistiikan, polttoprosessin ja savukaasujen lämmöntalteenoton kannalta. Tutkimuksessa todettiin INFRES-projektin tapaan, että korjatusta puusta haihtuu energiapitoisia yhdisteitä kuivatuksen aikana. Yhdisteiden haihtuminen hakkeesta on nopeampaa, kuin rankapuusta. Tienvarsikuivatetun puun toimitusajat pitkiä. Tyypillisesti toimitusaika on 8-12 kuukautta. INFRES-projektin tuloksiin viitaten voidaan todeta, että tuona aikana puunrangasta ehtii haihtua huomattava määrä energiapitoisia yhdisteitä. (Lauhanen 2019)

3 HAKKEEN HANKINTA

Hakkeen hankintaprosessilla on suuri merkitys tuoreen hakkeen polttamisesta saatuihin hyötyihin. Suurin eroavaisuus kuivatetun ja tuoreen hakkeen hankinnassa liittyy kuivatukseen. Polttoaineen kuivatusprosessiin liittyy pitkiä seisonta-aikoja, jotka voivat parhaimmillaan kestää yli vuoden, kun taas tuoreen hakkeen tapauksessa niiltä vältytään kokonaan. Hakkeen valmistuksessa voidaan käyttää monia eri variaatioita ja laitoksien polttoaineen hankintatavoista löytyy eroavaisuuksia.

3.1 Perinteinen hankintatapa

Metsähakkeen hankintajärjestelmä määräytyy lähinnä sen mukaan, missä ketjun vaiheessa puu haketetaan ja että kuljetetaanko polttoaine energialaitokselle kokopuuna vai hakkeena. Metsähakkeen korjuumenetelmät jaetaan tyypillisesti haketuspaikkansa mukaan keskitettyyn tai hajautettuun haketukseen. (Laitila et al. 2010, 34.)

Keskitetyssä haketusmenetelmässä puu toimitetaan käyttöpaikalle tai terminaaliin hakettavaksi. Keskitetyllä hakettamisella mahdollistetaan suuret vuosituotokset ja korkeat koneiden käyttöasteet. Haketuskustannukset jäävät myös hajautettua mallia pienemmiksi. Kyseisellä menetelmällä päästään eroon ns. kuumasta ketjusta, joka liittyy vahvasti hajautettuun haketusmenetelmään. Tällä päästään eroon turhista odotusajoista, jolloin tuotantoketjun jokainen työvaihe voidaan suorittaa niin tehokkaasti kuin kalustolla on vain mahdollista. Tämä vaatii kuitenkin sen, että puukuormaa ei pureta suoraan murskaimen syöttökuljettimelle, jolloin odotusaikoja voi muodostua. (Laitila et al. 2010, 34.)

Keskitetyn haketusmenetelmän huonona puolena on se, että kokopuun kuormakoot jäävät pieneksi verrattaessa hakkeen kuljetukseen. Tämä käytännössä lisää kuljetuksien määrää, mikä taas lisää kustannuksia. (Laitila et al. 2010, 34.) Keskitetyn haketusmenetelmien kalliit laitteet vaativat suuria investointeja, jolloin menetelmä sopii vain suurille voimalaitoksille. (Laitila et al. 2010, 37.)

Hajautetussa mallissa haketus tapahtuu metsäpalstalla tai väliavarastolla. Haketus toteutetaan hakkurilla, joka syöttää valmiin polttoaineen suoraan vieressä odottavan hakeauton kuormatilaan. Koska hakkurin ja hakeauton toiminnot vaativat aina toistensa läsnäoloa, hakettamista ja valmiin polttoaineen kuljetusta ei voida suorittaa samanaikaisesti. Tässä tapauksessa puhutaan juuri kuumasta ketjusta, kun odotusaikoja syntyy niin hakkurille kuin hakeautollekin. Hakkurin odotusaikoja voidaan vähentää lisäämällä hakeautojen määrää, mutta tämä saattaa lisätä taas hakeautojen odotusaikoja. Hajautettua haketusmallia voidaan pitää hakkeen tuotannon perusratkaisuna, joka sopii sekä pienille, että suurille laitoksille. (Laitila et al. 2010, 37-38). Alla olevassa kuvassa (Kuva 5) esitetään usein hajautetussa haketusmenetelmässä käytössä oleva nostolaitehakkuri.



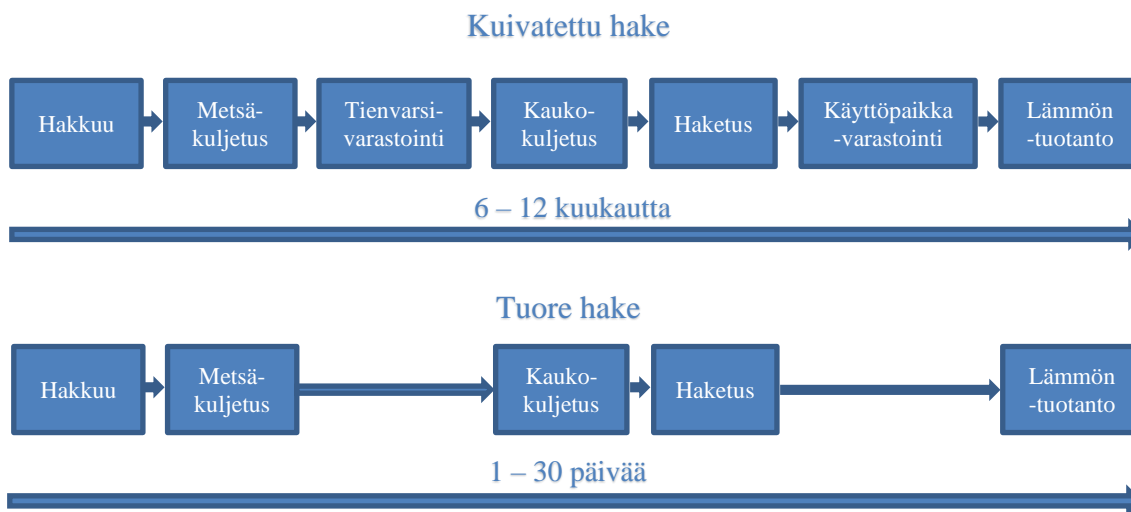
Kuva 5. Nostolaitehakkuri hajautetussa haketusmenetelmässä. Kuva: Jukkari Oy

Metsäntutkimuslaitoksen raportissa Nummelin et al. analysoi suomalaisten energialaitosten metsähakkeen käyttöä ja hankintaa, toimintatapoja ja niiden ongelmia. Tutkimukseen saatiin analysoitavaksi 97 metsähaketta käyttävää laitosta. Laitoksista neljä viidesosaa oli pelkästään lämpöä tuottavia laitoksia. Muut laitokset olivat yhdistetyn sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksia. Tutkimuksen laitosten kokoluokat vaihtelivat paljon. Mukana oli niin pieniä maatilalla käytettäviä, kunnallisia sekä yrityksiensä omistamia isompia laitoksia. (Nummelin et al. 2014, 12-14)

Tutkimuksessa analysoitiin laitoksien polttoaineen hankintajärjestelmiä. Tutkimuksesta käy ilmi, että suurin osa laitoksista hankki polttoaineensa valmiiksi hakettuna. Useimmiten metsähake toimitettiin suoraan laitoksen yhteydessä olevaan siiloon tai varastoon poltettavaksi. Vain 13 % laitoksista hankki metsähakkeen välivarastoon tai terminaaliin toimitettuna. Tutkimuksen laitoksista vain 13 % hankki polttoaineen kokopuuna ja haketti itse. Tämä perustuu siihen, että vain viidesosalla laitoksista oli omistuksessaan oma hakkuri. Vaikka vain pienellä osalla tutkimuksen laitoksista oli omaa kalustoa, raportissa todetaan, että laitostyyppillä ei ollut tähän vaikutusta. Sekä lämpö-, että CHP-laitoksilla oli käytössään omaa kalustoa. (Nummelin et al. 2014, 15-18)

3.2 Tuoreen hakkeen hankinta

Kauhavan Kaukolämmöllä on jo parin vuoden kokemus tuoreen puun hyödyntämisestä energiantuotannossaan. Tänä päivänä, Kauhavan Kaukolämmön laitoksilla poltetaan täysin tuoreita puuperäisiä polttoainetta, koska se on todettu kustannus- ja energiatehokkaammaksi ratkaisuksi. Tuoreen hakkeen hankintaprosessissa vältytään pitkiltä kuivatusprosesseilta ja välivarastoinnilta. Tällöin polttoaineen toimituslogistiikka nopeutuu huomattavasti. Alla olevassa kuvassa (Kuva 6) vertaillaan kuivatetun sekä tuoreen hakkeen toimitusketjun kestoa ajallisesti puun hakkuusta lämmöntuotantoon. Kuvasta huomataan, että varastoinnista luopumalla voidaan hakkeesta saada energiaa jopa muutaman päivän jälkeen. Kuivatetulla hakkeella samainen prosessi voi kestää parhaimmillaan jopa vuoden. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)



Kuva 6. Polttoaineen toimituslogistiikan vertailu kuivatetulla ja tuoreella hakkeella (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)

Kuivatetun polttoaineen hinta perustuu tyypillisesti sen energiasisältöön (€/MWh), johon vaikuttavat polttoaineen massa, kosteus ja lämpöarvo. Kukaan Kauhavan seudun polttoainetoimittajista ei ole suostunut myymään tuoretta polttoainetta energiasisällön mukaan. Tuoreen puun energiahinta (€/MWh) on noin 10 % halvempi verrattuna kuivatetun puun vastaavasti laskettuun energiahintaan. Kauhavalla tuore puuranka ostetaan puun massan mukaan muunnettuna kiintokuutiometreinä. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)

Kauhavan tapauksessa polttoaine toimitetaan laitokselle vastakaadettuina rankoina, jotka haketetaan urakoitsijan toimesta suoraan polttoainevarastoon. Kyseisen tapa on logistiikaltaan nopein, jolloin ylimääräisille polttoainevarastoille ei ole tarvetta eikä seisovissa puukasoissa ole turhaa rahaa kiinni. Kauhavan tapaus todistaa myös sen, että laitoksella ei tarvitse olla omaa hakkuu- tai haketuskalustoa hyödyntääkseen tuoreen käytöstä mukana tulevat edut. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)

4 TUOREEN HAKKEEN POLTTO

Tuoreen hakkeen polttaminen tuo omat haasteensa polttoprosessille ja kattilalle. Vähäisten päästöjen edellytys on puhdas palaminen ja sen saavuttaminen on aina hankalampaa, mitä kosteampaa polttoaine on. Savukaasupesuri liittyy myös hyvin oleellisesti tuoreen hakkeen polttoon, missä suuret hyödyt saadaan nimenomaan savukaasupesurin avulla. Pesuri lauhduttaa energiaa savukaasujen sisältämästä vesihöyrystä, jonka pitoisuus kasvaa polttoaineen kosteuden ollessa korkeampi.

4.1 Edellytykset laitokselta

Häkäkaasun palamisesta syntyy suuri osa hakkeen polttamisessa tuotettavasta energiasta ja se vaatii 850 asteen lämpötilan. Polttoaineen sisältämän veden haihduttaminen laskee palamislämpötilaa. Tällöin tuoreen hakkeen poltto vaatii kuivaa polttoainetta korkeamman palamislämpötilan. Lämpötilan tulee olla noin 1000 astetta, jotta täydellinen palaminen saavutetaan. Tämän lämpötilan saavuttaminen on haastavampaa pienemmän kokoluokan kattiloilla, mutta yli 2,5-3 MW:n kattiloilla kyseisen lämpötilan saavuttaminen on mahdollista. (Lepistö 2017)

Hakkeen polttaminen voi aiheuttaa ongelmia kattilalle, jos sitä ei ole suunniteltu pelkästään puuainesten polttoon tai jos puuaineiden osuus on erityisen suuri. Puun sisältämä kloori ja alkalit (käytännössä kalium) voivat aiheuttaa kattilan lämpöpintojen likaantumisia ja kuumakorroosiota. Kuumakorroosiota syntyy varsinkin silloin, kun palamislämpötilat ovat erityisen korkeat. Puupolttoaineiden kloori- ja kaliumpitoisuudet perustuvat lähinnä polttoaineen sisältämiin viheraineisiin, joita ovat esimerkiksi havupuiden neulaset. Neulasten kloori- ja kaliumpitoisuudet ovat niin suuria, että niistä pyritään pääsemään eroon ennen polttoprosessia. Neulaset irtoavat tyypillisesti itsestään puun kuivumisen yhteydessä. Tuoreen puun kohdalla neulasista päästään eroon karsimalla puuainees ennen hakettamista. (Alakangas, E et al. 2016, 200.)

KPA Uniconilla on pitkät perinteet kotimaisen puubiomassan poltosta. Heidän BioGrate-polttotekniikkaansa on jo pitkään sovellettu lämpö- ja voimalaitoksissa 30-58 %:n kosteusalueella. BioGrate-tekniikkaa käytettäessä puupolttoaineen kosteus voi olla jopa 65 %, milloin riittävä teho ja palamistulos on vielä saavutettavissa. KPA Unicon toimittaa BioGrate-kattiloita kokoluokissa 4-25 MW. (Hatunen, haastattelu 17.4.2019)

Hakkeen poltossa palamisprosessin ensimmäinen vaihe on kuivaus, jossa vesi haihdutetaan polttoaineesta. BioGrate-kattilassa kuivaus onnistuu sen täysin muuratun etupesärakenteen avulla (Kuva 7). Pyöreeän ja yläosastaan kartionmalliseen rakenteeseen kumuloitua lämpöenergiaa säteilee polttoainepatjaan ja kuivaa hakkeen. Tämän jälkeen polttoaine siirretään arinan varsinaiselle polttovyöhykkeelle. (Hatunen, haastattelu 17.4.2019)



Kuva 7. BioGrate-arinakattila (Lähde: KPA Unicon Oy)

Kuplapetikattila ei lähtökohtaisesti sovellu täysin tuoreen puupolttoaineen polttoon. Jos polttoaineen kosteus on liian suuri, joudutaan käyttämään hyväksi tukipolttoa ja palamisilman esilämmitintä, jotta saavutettaisiin riittävän suuri palamislämpötila. Viistoarinalla voidaan polttaa tuoretta polttoainetta myös muurauksia hyödyntämällä, mutta kattilan hyötysuhde ei ole niin hyvä, kuin esimerkiksi BioGrate-kattilalla. (Hatunen, haastattelu 17.4.2019)

Polttoaineen kosteuden noustessa savukaasuvirrat kasvavat ja kattilan hyötysuhde laskee (Alakangas et al. 2016, 196.). Kasvavat savukaasuvirrat lisäävät savukaasupuolen painehäviöitä, jotka kuormittavat enemmän laitoksen savukaasupuhallinta, jolloin omakäyttöteho kasvaa heikentäen laitoksen hyötysuhdetta. Tuoreita polttoaineita käytettäessä myös savukaasujen kosteus nousee. Polttoprosessissa polttoaineen sisältämä vesi höyrystyy muodostaen hyvin kosteat savukaasut. Savukaasut tuottavat lähtökohtaisesti suurimman osan laitoksen lämpöhäviöistä, jotka kasvavat vielä entisestään vesihöyryn suuren energiasisällön takia. Tuoreen hakkeen polttaminen ei ole siis kannattavaa, ellei savukaasujen lämpöenergiaa oteta talteen savukaasulauhduttimen avulla. Kasvava savukaasuvirta lyhentää myös palamisen viipymää, joka voi nostaa typpioksidipäästöjä (NO_x). Häkäpäästöt (CO) ovat voimakkaasti palamislämpötilasta riippuvaisia. Tuoreen hakkeen polttaminen laskee palamislämpötilaa, mikä voi lisätä CO-päästöjä. (Hatunen, haastattelu 17.4.2019)

Kotimaiset olosuhteet tuovat haasteita tuoreen hakkeen käytölle, sillä talvella kovilla pakkasilla märkä polttoaine jäätyy helpommin, jolloin polttoaineen kuljetuslaitteille voi aiheutua ongelmia (Alakangas et al. 2016, 196.). KPA Uniconin BioGrate-kattilassa voidaan käyttää polttoaineensyötössä tuplaruuvia, joka mahdollistaa suuremmat partikkelikoot, jos esimerkiksi talvella polttoaineen seassa on jäätyneitä paakkuja. (Hatunen, haastattelu 17.4.2019)

Vaikka tuoreen hakkeen polttoon liittyy paljon kysymysmerkkejä ja epävarmuutta kattilan toiminnan suhteen, Tarmo Hatunen ja KPA Unicon ei näe kattilatoimittajana

tuoreen hakkeen polttamisessa mitään huonoja puolia. (Hatunen, haastattelu 17.4.2019)
Tästä todisteena on Kauhavan Kaukolämmön tapaus, jossa Kauhavan kaupungille kaukolämpöä tuottava 10 MW:n laitos käyttää hyväksi KPA Uniconin BioGrate-tekniikkaa. Ari-Matti Mattilan mukaan kattila on toiminut moitteettomasti käytettäessä täysin tuoreita, puuperäisiä polttoaineita. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)

Ari-Matti Mattilan mukaan tuoreen polttoaineen käytön hyvä puoli on se, että kosteus on tasaista. Kuivatetussa puupolttoaineessa kosteudet saattavat heitellä 40-65 % välillä kuorman sisällä, jolloin aiheutuu ongelmia kattilalle. Kauhavalla polttoaineen jäätyminen estämiseksi käytetään hyväksi lämmöntalteenottotekniikkaa. Osa talteenotetusta energiasta johdetaan polttoainevaraston alla olevaan lämmitysjärjestelmään. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)

Koivun polttaminen tuo suuria etuja varsinkin talvella kovilla pakkasilla. Ari-Matti Mattilan mukaan talvella tuoreen koivun kosteus on noin 38 %, kun taas muina vuodenaikoina kosteus saattaa olla jopa 55 %. Havupuiden kosteusprosentti ei muutu näin selvästi vuodenajan mukaan. Havupuiden kosteus on talvisin 56 % ja muina vuodenaikoina kosteusprosentti liikkuu 50-60 % välillä. Koivun alhaisen kosteuden hyödyntäminen kovilla pakkasilla luo etuja polttoaineen varastojen ja kuljetuslaitteiden toiminnan varmistamiseksi, vaikka käytetäänkin täysin tuoretta polttoainetta. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)

4.2 Lämmöntalteenotto savukaasupesurilla

Savukaasujen mukana savupiipuista katoaa taivaalle paljon lämpöenergiaa, joka on täysin hyödynnettävissä. Tämä hukkalämpö on mahdollista ottaa talteen savukaasupesurin avulla. Savukaasupesuri myös nimensä mukaisesti puhdistaa savukaasun haitallisilta yhdisteiltä, jotta saataisiin johdettua mahdollisimman puhdasta savukaasua ympäristöön. Savukaasupesuri täyttää oikein mitoitettuna nykypäivän tiukimmatkin hiukkaspäästöjen normit ja asetukset. Savukaasupesuri tuo myös käyttäjälleen merkittävän liiketaloudellisen hyödyn. (Caligo Industria n.d.)

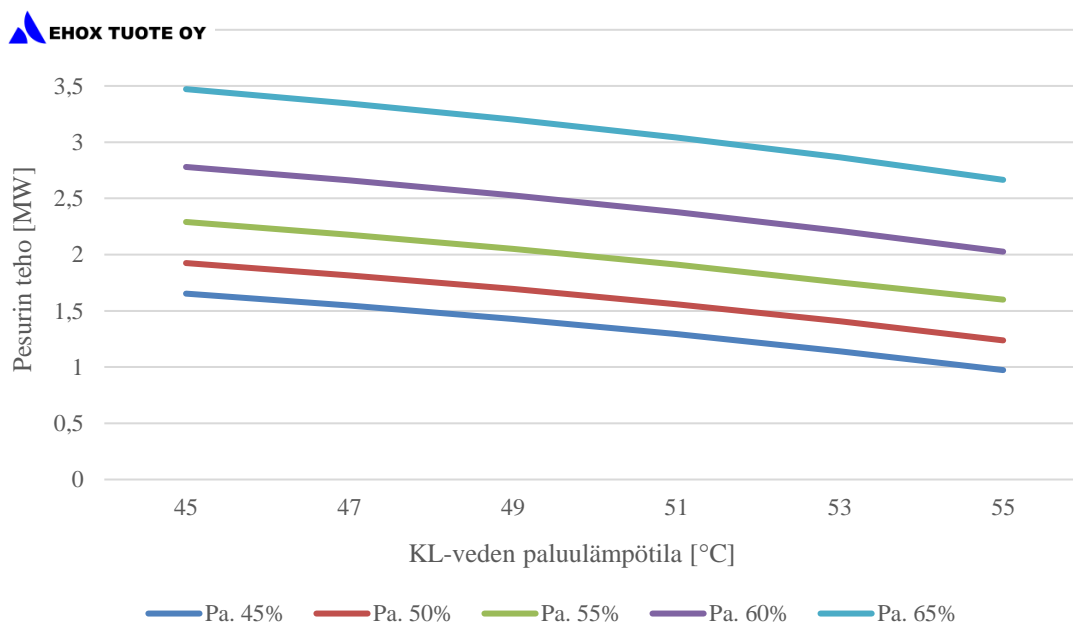
Savukaasupesuri on käytännössä märkäpesuri, jonka toiminta perustuu kahteen prosessointivaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa savukaasu pestään ja poistetaan suurin osa pienhiukkasista. Pesuvaiheessa savukaasu jäähtyy märkälämpötilaansa, 60-70 asteeseen saakka. Toisessa vaiheessa savukaasut johdetaan lauhduttimeen. Lauhduttimessa savukaasun lämpöenergia siirtyy vastavirtaan kulkevaan kiertoveteen. Lauhduttimelta lämmin kiertovesi johdetaan kaukolämpövaihtimelle, joka siirtää lämmön kunnalliseen kaukolämpöverkoston. (Caligo Industria n.d.)

Savukaasupesurin toiminnassa on oleellista, että savukaasu saavuttaa lauhduttimessa kastepistelämpötilaa alhaisemman lämpötilan. Kastepistelämpötilassa savukaasun sisältämän vesihöyryn kosteus on 100 prosenttia ja lämpötilan edelleen laskiessa vesihöyry alkaa tiivistyä eli muuttuu vedeksi. Veden faasimuutoksien yhteydessä entalpiamuutokset ovat huomattavasti suurempia, kuin yhden faasin sisällä tapahtuneet muutokset, joten veden tiivistymisen johdosta lämpöenergian siirtyminen tehokkaampaa. (Caligo Industria n.d.)

Savukaasupesurin lämmöntalteenottokyky on hyvin riippuvainen polttoaineen kosteudesta. Mitä kosteampaa polttoaine on, sitä kosteampaa on myös savukaasut, jolloin lauhdutettavan vesihöyryn ja siitä saadun energian määrä kasvaa. Kaukolämpöveden paluuvesi toimii savukaasujen jäähdyttäjänä. Paluuveden lämpötila on hyvä olla selkeästi savukaasujen kastepistelämpötilaa alhaisempi, jotta kastepiste saavutetaan ja varmistetaan savukaasujen lauhtuminen. Lauhduttaminen on myös sitä tehokkaampaa, mitä matalampi kaukolämmön paluuveden lämpötila on. (Caligo Industria n.d.)

Alla olevassa savukaasupesuritoimittaja Ehox:n kuvaajassa (Kuva 8) esitetään savukaasupesurin tuottama tehomäärä kaukolämpöveden paluulämpötilan funktiona. Kuvaajassa on viisi käyrää, jotka kaikki edustavat eri polttoaineen kosteuksia. Kuvaajan tehomäärät on laskettu 8 MW:n haketta polttavalle kattilalle. Laskuissa on oletettu, että savukaasun lämpötila pesurille tullessa on 150 astetta. Tämän lisäksi on oletettu, että kaukolämpöveden määrä ei rajoita lämmöntalteenottoa sekä savukaasun happipitoisuus

on 4 %. Kuvaajasta voidaan todeta, että erittäin kostealla polttoaineella ja tarpeeksi viileällä kaukolämmön paluvedellä voidaan savukaasupesurilla talteenottaa lämpöä jopa kolmasosa kattilan nimellistehosta. (Sairanen, haastattelu 20.3.2019)

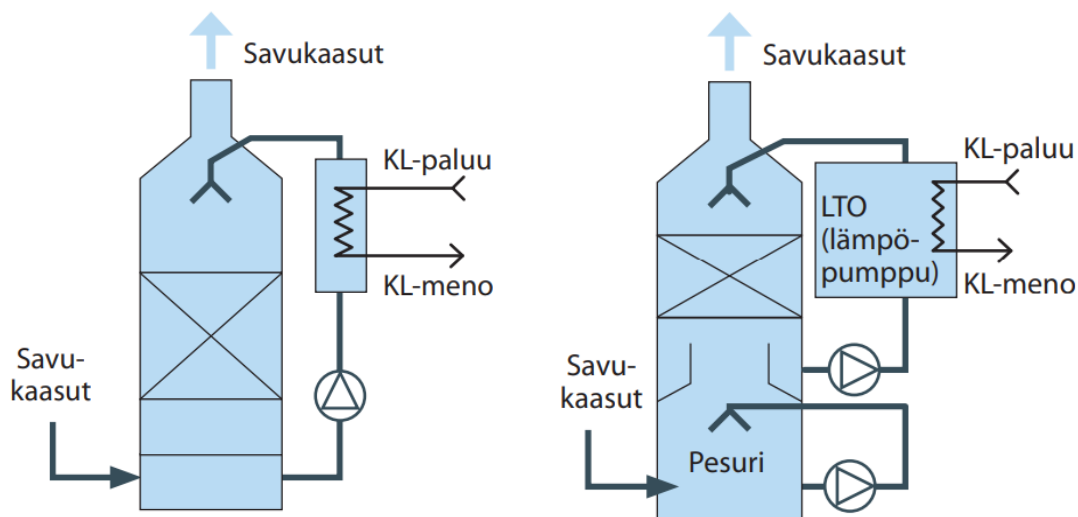


Kuva 8. Savukaasupesurin teho KL-veden paluulämpötilan funktiona eri polttoaineen kosteusarvoilla (8 MW kattila). (Sairanen, haastattelu 20.3.2019)

Savukaasujen kastepistelämpötila on suoraan verrannollinen polttoaineen kosteuteen. Kosteimmilla polttoaineilla savukaasujen kastepistelämpötila kasvaa ja kuivempia polttoaineita käytettäessä kastepistelämpötila on taas alhaisempi. Riittävän alhainen kastepistelämpötila voi aiheuttaa ongelmia, koska savukaasut vaativat silloin viileämmän KL-paluueden lauhtuakseen. Tässä tapauksessa kosteamman polttoaineen käyttämisestä on hyötyä. (Caligo Industria n.d.)

Lämmöntalteenottoa voidaan tehostaa kytkemällä lämpöpumppu savukaasupesurin rinnalle. Kuten aikaisemmin Ehox:n kuvasta (Kuva 8) huomattiin, lämmöntalteenotto on tehokkaampaa, kun kaukolämpöveden paluulämpötila on alhaisempi. Lämpöpumpulla voidaan jäähdyttää KL-vettä jopa 20 astetta, jolloin varmistetaan myös savukaasujen

lauhtuminen. Kaukolämpövedestä otettu lämpöenergia ei suinkaan mene hukkaan vaan se johdetaan takaisin pesurille ja sitä kautta kaukolämpöverkostoon. Lämpöpumppukytkennällä voidaan tehostaa lämmöntalteenottoa perinteiseen savukaasupesuriin verrattuna jopa 4-8 kertaiseksi. Alla olevassa kuvassa (Kuva 9) esitetään yksinkertainen periaatekuvaus savukaasupesurin kytkennästä. Vasemmalla on esitetty perinteinen savukaasupesuri ja oikealla savukaasupesuri lämpöpumppukytkennällä.



Kuva 9. Savukaasupesurin yksinkertaistettu periaatekuvaus. Vasemmalla perinteinen savukaasupesuri, oikealla pesuri lämpöpumppukytkennällä (Caligo Industria n.d.).

Kauhavan kaukolämmön 10 MW:n kattilalla (Kuva 10) LTO-teho on keskimääräisesti kolmasosa kattilan nimellistehosta. Parhaimmillaan savukaasupesurilla on saatu lämpöä talteenotettua 4,2 MW:n edestä. Kauhavan laitoksessa hyödynnetään lämpöpumppua, jolla saadaan talteenottoa tehostettua. Kauhavan tapaukseen nojaten voidaan siis todeta, että lämpöpumpulla varustetulla savukaasupesurikytkennällä saavutetaan suuret hyödyt. (Mattila, Haastattelu 7.10.2019)



Kuva 10. Kauhavan Kaukolämmön 10 MW kiinteän polttoaineen laitos

Rovaniemellä Suosiolan lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksella käyttöönotettu savukaasupesuri on kasvattanut laitoksen kaukolämmöntuotantoa 22 MW. Ilman pesuria, kaukolämmön tuotantoteho CHP-laitoksella oli 62 MW ja lämmöntalteenotolla se on saatu nostettua 84 MW:iin. Polttoaineena laitos käyttää pääasiassa puuhaketta ja turvetta. Raskasta polttoöljyä laitos käyttää huippukuormakattiloissaan. Kovilla pakkasilla, korkean energiakulutuksen aikana, CHP-laitoksen tuottama kaukolämpöteho ei välttämättä riitä tarvittavan lämmön tuottamiseen vaan silloin joudutaan turvautumaan yleensä pienemmän kokoluokan huippukuormakattiloihin, jotka käyttävät hyvin tyypillisesti fossiilisia polttoaineita. Rovaniemen tapauksessa savukaasupesurin käyttöönotolla saatiin tehovajetta korvattua hukkalämmön talteenotolla, jolloin myös fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähentynyt. (Valmet n.d.)

5 SOVELTUVUUS

Vuosikausien ajan puunpolton peruseriaatteena on ollut polttoaineen kuivatus ennen varsinaista polttoprosessia paremman energiasisällön toivossa. Tyypillisesti tapana on polttaa talvisin kovilla pakkasilla ”parempaa” eli kuivempaa polttoainetta. Loppukeväästä, kesäisin sekä alkusyksystä voidaan polttaa ”huonompaa” eli kosteampaa polttoainetta. Kauhavan tapaus jo osoittaa, että tämä perinteinen tapa toimia ei ole ainoa ja oikea vaihtoehto. Tuoreen hakkeen poltolla saavutetaan suuria hyötyjä jokaisella energiatuotannon osa-alueella. Tätä tukee myös monet julkaisut ja tutkimukset, jotka ovat todenneet, että tuoreen polttoaineen poltto on energiatehokkaampi ratkaisu. (Mattila, haastattelu 7.10.2019)

Kauhavan Kaukolämpö hyödyntää tuoreen hakkeen polttoa kolmella heidän laitoksellaan, jossa kaikissa on käytössä savukaasupesuri. Kauhavan laitos on nimellisteholtaan 10 MW. Ylihärman ja Alahärman laitokset ovat 3 MW:n kattiloita. Kaikissa kolmessa laitoksessa käytetään polttoaineena vain ja ainoastaan täysin tuoretta puuta. Kauhavan Kaukolämpö on investoinut laitoksissaan uusimpaan ja laadukkaaseen kattilatekniikkaan. Tämän takia tuoreen hakkeen poltto ei koidu heille ongelmaksi. (Mattila, haastattelu 7.10.2019)

Tuoreen hakkeen polttamista ei välttämättä ole mahdollista toteuttaa kaiken kokoisissa ja tyypisissä kattiloissa. Jos kattila on liian pieni, ongelmaksi koituu riittävän korkean palamislämpötilan saavuttaminen. Tuoreen hakkeen polttamiseen vaaditaan nimellisteholtaan vähintään 2,5-3 MW:n laitos (Lepistö 2017). Suuremman kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannon laitokset ovat hyvin tyypillisesti kuplapeti- tai kiertoleijukattiloita. Leijukattilat eivät lähtökohtaisesti sovellu tuoreen hakkeen polttamiseen (Hatunen, haastattelu 17.4.2019). Tuoretta haketta hyödyntävän laitoksen ominaisuudet täytyvät siis olla sopivat erittäin kostealle polttoaineelle.

Tuoreen hakkeen polton potentiaali kohdistuukin ehkä parhaiten juuri riittävän suurikokoisille kaukolämpöä tuottaville lämpölaitoksille. Kauhavan Kaukolämmön 10 MW:n lämpölaitos onkin hyvä esimerkkitapaus, jossa laitoksen tekniikka ja käyttötarkoitus mahdollistaa erinomaisesti tuoreen hakkeen polton. Kuten kuvasta (Kuva 2) näimme, metsähakkeen käyttö lämpölaitoksilla on lisääntynyt paljon. Voimme siis todeta, että laitoksia on ja tulee olemaan, jotka voivat hyödyntää tuoretta haketta lämmöntuotannossaan.

Tuoreen eli erittäin kostean polttoaineen käyttö on haastavinta talven kovilla pakkasilla. Kosteampi polttoaine saattaa jäättyä helpommin, joka tuottaa ongelmia varsinkin polttoaineen kuljetuslaitteistolle. Erittäin kostea polttoainetta ei ole myöskään tästä syystä kannattavaa varastoida. Kauhavan tapauksessa ongelmaa on lievitetty polttoainevaraston ja kuljetuslaitteiden lämmityksellä. He välttyvät myös turhilta varastointiajoilta, mikä on heille helpompaa, kun polttoaine tuodaan suhteellisen läheltä. He myös käyttävät talvisin tuoretta koivua, jonka kosteusprosentti on talvikaudella vain 38 prosenttia. (Mattila, haastattelu 7.10.2019)

Polttoaineen saatavuus on yksi suuri tekijä tuoreen hakkeen käytön mahdollistajana, mutta kaikilla laitoksilla ei välttämättä ole samanlaista saatavuutta polttoaineen suhteen kuin Kauhavalla. Polttoaineen hinta perustuu tyypillisesti sen energiasisältöön, jota polttoaineen sisältämä kosteus laskee. Polttoainetoimittajat haluavat täten myydä mahdollisimman kuivaa polttoainetta. Kauhavan tapauksessa tuore polttoaine ostetaan kokopuina irtokuutioissa, mutta tämä toimitustapa ei välttämättä ole mahdollista riippuen polttoainetoimittajasta. Tuoreen puun toimittaminen on kuitenkin helpompaa siinä mielessä, että resursseja tai aikaa ei tarvitse tuhjata puun kuivatukseen, joka on lähtökohtaisesti hyvin pitkä prosessi.

Savukaasupesuri on investointina suhteellisen kallis toimitus. Esimerkiksi Rovaniemen Suosiolan CHP-laitoksen kokonaisinvestointi savukaasupesurille ja siihen kuuluvalla lämmöntalteenottolaitteistolle oli noin 5,9 miljoonaa euroa. He ovat kuitenkin laskeneet

säästävänä pesurin ansiosta noin 1,5 miljoonaa euroa vuodessa polttoainekustannuksissa riippuen säätilasta ja kattilakuormasta. Näiden lukemien perusteella takaisinmaksuaika kyseiselle investoinnille on kohtuullinen. (Valmet n.d.) Caligo Industrian toimituksissa he ovat tähän mennessä saavuttaneet 2,5-3 vuoden takaisinmaksuaikoja tapauksissa, joissa raskas polttoöljy on korvattu lämpöpumppukytkentäisellä savukaasupesurilla. (Caligo Industria n.d.). Yleisesti ottaen savukaasupesurin hankkiminen on siis varsin kannattavaa, joka on erittäin hyvä asia ottaen huomioon, että tuoreen hakkeen poltosta saadut hyödyt perustuvat lähinnä savukaasupesurin toimintaan.

Päätös tuoreen hakkeen hyödyntämisestä on jokaisen yksittäisen laitoksen kohdalla päätettävä erikseen. Energiayhtiöllä on kaikilla omat tavoitteensa, mihin he haluavat energiantuotannollaan pyrkiä. Nykypäivän trendinä on tuottaa energia mahdollisimman puhtaasti ja tehokkaasti, jota tuoreen hakkeen käyttö tukee vahvasti. Polttoaineen kaupankäynti täytyy olla kannattavaa niin laitokselle, kuin polttoaineentoimittajallekin. Tässä tapauksessa molemmilta osapuolilta vaaditaan tiettyä joustavuutta varsinkin, kun tuoreen polttoaineen hankintaprosessi eroaa perinteisestä mallista huomattavasti. Tuoreen hakkeen polttaminen vaatii investointeja laitospäässä ja yhtiön täytyykin miettiä, ovatko ne juuri heidän tapauksessaan kannattavia.

6 YHTEENVETO

Tuoreen hakkeen polttamisella saavutetaan suuret hyödyt monella energiantuotannon osa-alueella. Ensimmäiset hyödyt saavutetaan jo polttoainelogistiikassa, kun tuoreen hakkeen käytössä luovutaan turhilta varastointiajoilta. Logistiikka nopeutuu huomattavasti, eikä seisovassa puutavarassa ole rahaa kiinni. Kaadetun puun varastoiminen aiheuttaa myös huomattavat kuiva-ainetappiot, jotka vaikuttavat suoraan polttamisesta saatuun energiamäärään.

Savukaasupesurilla saadaan talteen muuten hukkalämmöksi menevien savukaasujen sisältämä lämpöenergia. Pesurin ansiosta laitoksen hyötysuhde nousee ja täten saadaan tuotettua muutenkin jo puhdasta energiaa vieläkin tehokkaammin. Pesuri tuottaa käyttäjälleen suuren taloudellisen hyödyn, kun ”ylimääräisellä” tuotetulla energialla voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä varsinkin kovilla pakkasilla suurimman kysynnän aikana.

Tuoreen hakkeen hyödyntäminen energiantuotannossa vaatii kuitenkin laitokselta ja kaikilta sen toiminnan osa-alueilta paljon. Laitoksen polttoaineen hankinta voi olla haastavaa tuoreen hakkeen kohdalla, kun päätavoitteena on kaupankäynnin kannattavuus niin laitokselle, kun polttoaineentoimittajallekin. Laitoksen täytyy soveltua täysin tuoreen hakkeen polttoon, mikä ei ole itsestäänselvyys ja vaatiikin laadukasta kattilatekniikkaa. Puupolttoaineiden käytön lisääntyessä entisestään lämmöntuotannossa, tuoreen hakkeen käytöllä on potentiaalia kasvaa osaksi Suomen arkipäiväistä energiantuotantoa.

LÄHDELUETTELO

Alakangas, E. Hurskainen, M. Laatikainen-Luntama, J. Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT.

Bioenergianeuvoja. 2019. Hake [verkkoaineisto]. [viitattu 20.1.2019]. Saatavissa: <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/>

Caligo Industria Oy. n.d. Nykyaikainen savukaasupesuri – merkittävä biolämpölaitosten kannattavuuden parantaja [verkkoaineisto]. [viitattu 25.9.2019]. Saatavissa: http://www.caligoindustria.com/lehdisto/Caligo_Savukaasupesuri.pdf

Hatunen, Tarmo, Teknologijaohtaja. KPA Unicon Oy, Kuopio. Haastattelu 17.4.2019, haastattelijana Jakke Kukkonen. Tallenne kirjoittajan hallussa.

Huhtinen, M. Kettunen, A. Nurminen, P. Pakkanen, H. 1997. Höyrykattilatekniikka. [viitattu 20.1.2019]

Laine, R. Sahrman, K. 1985. Puupolttoaineiden ominaisuudet ja hinnoitteluperusteet. Tiedotteita 513. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT. [viitattu 4.2.2019]

Laitila, J. Leinonen, A. Flyktman, M. Virkkunen, M. Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet [verkkoaineisto]. [viitattu 1.10.2019]. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf>

Lauhanen, Risto, MMT, dosentti, Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. 2019. Kokemuksia tuorehakkeen poltosta [verkkoaineisto]. [viitattu 23.9.2019]. Saatavissa: <http://biobisnesta.fi/wp-content/uploads/2019/04/TUOHI-hanke-esittely-Tampere-290319.pdf>

Lepistö, Tarja. 2011. Energianpuun korjuusuositukset. Metsäkeskus Pohjois-Pohjanmaa. [verkkajulkaisu]. [viitattu 6.12.2019]. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/energiapuun_korjuu_suositukset.pdf

Lepistö, Tarja. 2017. Tuoreen hakkeen polttamisessa on ongelmansa [verkkoaineisto]. [viitattu 19.9.2019]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/en/node/2844?language=en>

Luonnonvarainkeskus. 2018. Puun energiakäyttö 2017 [verkkoaineisto]. [viitattu 20.1.2019]. Saatavissa: https://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2017_fi

Maa- ja metsätalousministeriö. 2018. Puupolttoaineet energian tuotannossa [verkkajulkaisu]. [viitattu 20.1.2019]. Saatavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puun-energiakaytto>

Mattila, Ari-Matti, Toimitusjohtaja, Kauhavan Kaukolämpö Oy, Kauhava. Haastattelu 7.10.2019, haastattelijana Jakke Kukkonen. Tallenne kirjoittajan hallussa.

Motiva. 2018. Bioenergia [verkkajulkaisu]. [viitattu 17.1.2019]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia

Nummelin, T. Petäjästä, L. Rummukainen, A. 2014. Metsähakkeen käyttö ja hankinta energiantuotantolaitoksissa – toimintatavat ja toiminnan ongelmat. METLA. [verkkoaineisto]. [viitattu 29.9.2019]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp292.pdf>

Sairanen, Mika, Toimitusjohtaja. EHOX, Vahto. Haastattelu 20.3.2019, haastattelijana Jakke Kukkonen. Tallenne kirjoittajan hallussa.

Raitila, J. Virkkunen, M. Heiskanen, V. 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja hakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus.

VTT. [verkkoaineisto]. [viitattu 3.10.2019]. Saatavissa:
<https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04524-14.pdf>

Tilastokeskus. 2018. Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkajulkaisu]. [viitattu: 17.1.2019].
Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/salatuo/index.html>

Valmet. n.d. Energiaa talteen ottava savukaasupesuri leikkaa lämmityskustannuksia Rovaniemellä. [verkkoaineisto]. [viitattu 7.12.2019]. Saatavissa:
<https://www.valmet.com/fi/media/artikkelit/all-articles/savukaasupesurilla-lammityskulut-kuriin/>