

TP1. Tuorehakekonseptin toteutus Kauhavalla ja vertailuanalyysi toimintamallin toteutettavuudesta Pohjois-Karjalassa.

Juha Laitila

Luonnonvarakeskus

15.2.2024



**Euroopan unionin
osarahoittama**

Alkusanat

Tämä raportti on tehty EAKR-rahoitteisen ”Tuorehake – vähästä enemmän” hankkeen työpaketissa 1. Hanke jakautuu neljään työpakettiin ja ensimmäisessä työpaketissa perehdytään tuorehakekonseptin toteutusperiaatteisiin Kauhavalla ja tehdään vertailuanalyysi toimintamallin toteutettavuudesta Pohjois-Karjalassa.

Tässä työssä tarkastellaan tuoreen hakkeen käytön hyötynäkökohtia polttoainelogistiikan osalta sekä tuoreiden puupolttoaineiden käytettävyyden edellytyksiä laitospäässä. Raportti sisältää tuorehakkeen käyttöön perustuvan toimintamallin systeemikuvauksen, teknologiakuvauksen sekä koosteen käyttökokemuksista ja vertailuanalyysin toimintamallin toteutettavuudesta Pohjois-Karjalassa Kauhavalta kertyneen käyttökokemuksen perusteella.

Lähtökohta työlle oli Kauhavan lämpölaitoksella saatu havainto, että tuoreesta puupolttoaineesta saadaan irti enemmän energiaa, kuin ylivuotuisesta varastolla kuivatetusta ja lahon hapristamasta hakepuusta. Havainnon lähempi tarkastelu vahvisti ilmiön, joka perustuu hakepuun kuiva-ainetappioiden minimoinnin ohella kosteiden savukaasujen sisältämän hukkalämmön talteenottoon kondensoivalla savukaasujen pesu- ja lämmöntalteenottojärjestelmällä. Kauhavalla käyttöönotettu nopeutettu energiapuun toimitusketju, moderni polttotekniikka ja savukaasujen lämmöntalteenotto mahdollistavat puuperäisen energian hyödyntämisen entistä pienemmillä kokonaispuumäärillä, minkä vuoksi asialla on merkitystä koko maan energiantuotannolle etenkin nyt, kun aines- ja energiapuun tuonti Venäjältä on loppunut.

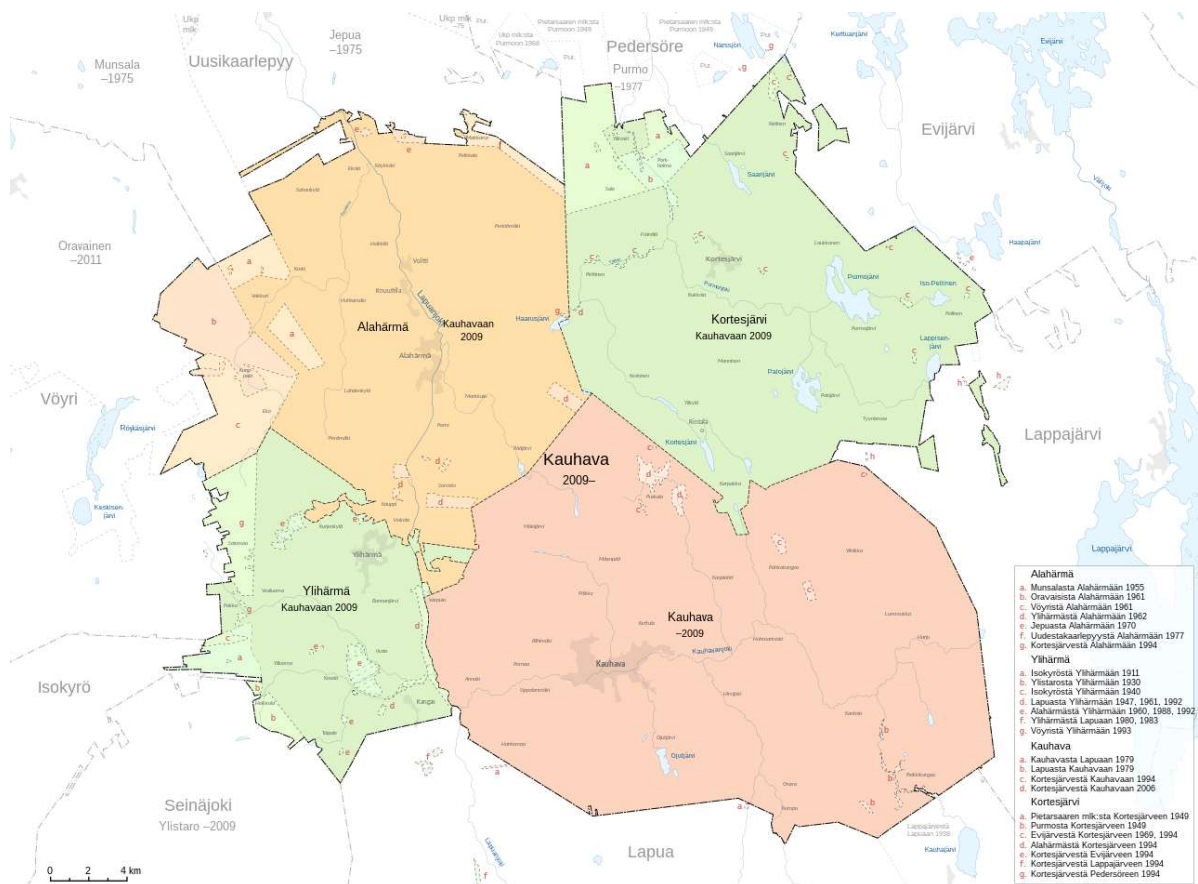
Työtä varten on tutustuttu Kauhavan kaukolämpölaitoksen toimintaan paikan päällä 10.10.2023. Samalla on teemahaastateltu Kauhavan Kaukolämpö Oy:n toimitusjohtajaa Juho Lahtista ja oltu yhteydessä erityisasiantuntija Risto Lauhaseen Seinäjoen Ammattikorkeakoulusta, joilla molemmilla on vankka TKI-kokemus tuoreiden puupolttoaineiden arvoketjusta lämpöenergian tuotannossa. Työssä on myös hyödynnetty aihepiirin tuoreimpia tutkimusjulkaisuja ja opinnäytetöitä sekä muuta infomateriaalia, mitä on tuotettu mm. Etelä-Pohjanmaalla toteutetuissa ”TUOHI – Tuoreen energiarangan hankintalogistiikan ja polton kehittäminen” sekä ”Tuorehakekonsepti maatilamittakaavassa” hankkeissa.

Sisällysluettelo

1. Kauhavan Kaukolämpö Oy	4
1.1. Miksi tuorehake?	5
2. Teknologia.....	7
2.1. Lämmöntalteenotto	7
2.2. Kattilateknologia	10
3. Tuorehakekonseptin toteutus Kauhavalla.....	12
3.1. Toimintamallin edut.....	12
3.2. Toimintamalli ja sen soveltaminen.....	13
3.3. Käyttökokemuksia tuorehakeesta	15
3.4. TUOHI-hankkeen tuloksia.....	17
3.5. Yhteenveto.....	18
4. Pohjois-Karjala vs. Kauhava vertailu	20
4.1. Väestötiheys.....	20
4.2. Puupolttoaineiden käyttö ja hinta	20
4.3. Metsävarat	23
4.4. Tuorehakekonseptin toteutettavuus Pohjois-Karjalassa.....	23
5. Kirjallisuus	25

1. Kauhavan Kaukolämpö Oy

Kauhava on kaupunki, joka sijaitsee Seinäjoen seutukunnassa Etelä-Pohjanmaan maakunnan luoteisosassa. Kauhavalla on 16 926 asukasta. Vanha Kauhavan kaupunki lakkautui, kun se yhdistyi Alahärmän, Korttesjärven ja Ylihärmän kuntien kanssa uudeksi Kauhavaksi vuonna 2009 (Kuva 1). Uusi Kauhava on kuntaliitosten seurauksena väkiluvultaan Etelä-Pohjanmaan maakunnan kolmanneksi suurin kaupunki. Kauhavan kaupungin alueella toimineet aluelämpöyhtiöt fuusioituivat Kauhavan Kaukolämpö Osakeyhtiöön vuonna 2011. Yhtiöllä on kaukolämpölaitokset ja lämpöverkot Kauhavan keskustassa sekä Alahärmän, Korttesjärven ja Ylihärmän taajamissa. Kauhavan Kaukolämpö Oy on Kauhavan kaupungin täysin omistama itsenäinen energiayhtiö.



Kuva 1. Kauhavan kaupunki sijaitsee Etelä-Pohjanmaan luoteisosassa. Kauhava, Alahärmä, Korttesjärvi ja Ylihärmä päätyivät kuntaliitokseen vuonna 2009 (Kuva: Wikipedia).

1.1. Miksi tuorehake?

Kauhava ja Kauhavan Kaukolämpö Oy olivat haasteellisessa tilanteessa vuonna 2012, kun Ilmavoimien lentosotakoulun toiminnot siirtyivät Jyväskylän Tikkakoskelle ja lämpöenergian tuotantoteknologiassa oli selvä tarve uusimiselle. Kauhavan kaukolämpölaitos oli peräisin vuodelta 1984 ja oli väijäämättä teknisen käyttöikänsä päässä. Eri vaihtoehtoja punnittaessa päädyttiin siihen, että uudella lämpölaitoksella polttotekniikan olisi oltava sellainen, että polttoaineen suuretkaan laatuvaihtelut eivät haittaa lämmöntuotantoa, ja puun poltto onnistuu myös ilman kuivatusta. Lisäksi energiatehokkuuden tulee olla huippuluokkaa ja polton päästöt pienet myös kosteilla polttoaineilla. Öljyn käytön minimoimisella haluttiin puolestaan maksimoida paikallisten polttoaineiden käytön aluetaloudelliset hyödyt.



Kuva 2. Kauhavan uusi ja vanha lämpölaitos sijaitsevat samalla tontilla Kauhavan keskustan liepeillä (Kuva: Juha Laitila/Luke).

Modernin polttoteknologian käyttöönotto mahdollistaisi myös aiempaa laajemman polttoainevalikoiman ja sitä kautta pienemmät polttoainekustannukset verrattuna perinteiseen toimintamalliin kaukolämmön tuotannossa. Kuivatuksen jäädessä pois rahan kierto nopeutuisi ja korkomenot sekä varastotappiot pienenisivät, mikä heijastuisi polttoaineen ostohintoihin. Kauhavan seudun sika- ja broileritiloilla sekä lämpöyrittäjäkohteilla käytetään paljon kuivaa hyvälaatuista hakepuuta, minkä takia kuivan kokopuu- ja rankahakkeen hinnat ovat selvästi korkeammat kuin tuoreilla polttoainejakeilla.

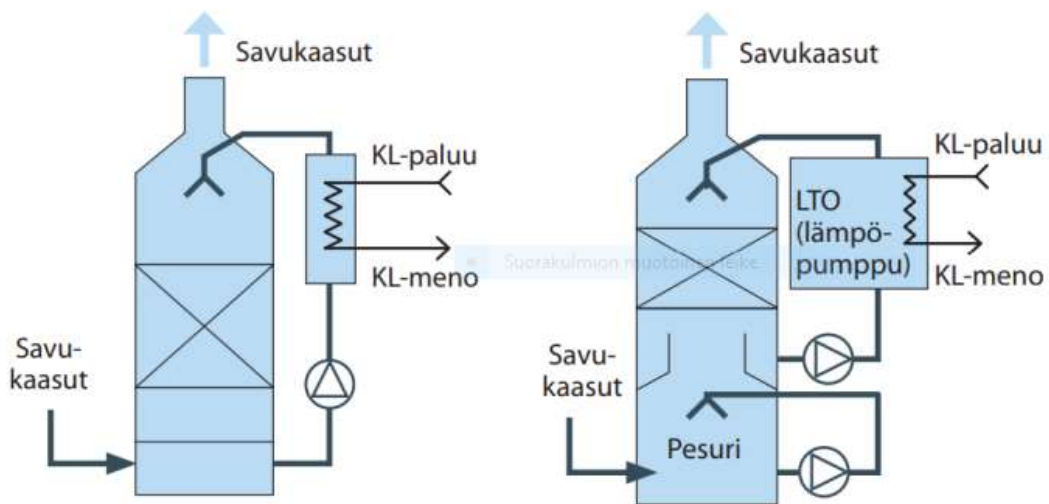
Vanha lämpölaite päätettiin säilyttää varalämpölaitoksena ja sopimus kokonaan uuden lämpölaitoksen toimittamisesta Kauhavalle tehtiin marraskuussa 2014. Uusi lämpölaite päätettiin rakentaa samalle tontille, missä vanha lämpölaite sijaitsee (Kuva 2). Kauhavan uuden 10 MW:n lämpölaitoksen laitostoimittajaksi valikoitui KPA Unicon ja tilatussa laitoksessa oli Caligo Industrian valmistama hukkalämmön talteenottojärjestelmä. Lämpölaite valmistui joulukuussa 2015 ja on siitä lähtien tuottanut kuumaa vettä Kauhavan kaukolämpöverkkoon paikallisilla polttoaineilla. Yli 33 kilometrin mittaisessa kaukolämpöverkossa on tilavuutta noin 500 m³. KPA Uniconin avaimet käteen -toimitus sisälsi prosessilaitteet, rakennukset, asennustyöt ja laitoksen käyttöönoton sekä käyttökoulutuksen, pois lukien perustustyöt. Nykyään KPA Unicon Oy on osa VKK Group Oy:tä. Kauhavan kaukolämpöverkkoon kuului vuonna 2016 yhteensä 282 asiakasta, joiden yhteiskulutus samana vuonna oli n. 38 GWh. Asiakkaista 149 kappaletta oli omakotitaloja, 49 kpl kerrostaloja, 33 kpl liikerakennuksia, 18 kpl rivitaloja, 17 kpl ketjutaloja, 10 kpl teollisuusrakennuksia ja muita rakennuksia 6 kpl.

2. Teknologia

2.1. Lämmöntalteenotto

Kauhavan Kaukolämpö Oy:n lämpölaitos Kauhavalla on varustettu kondensoivalla savukaasujen pesu- ja lämmöntalteenottojärjestelmällä, mikä mahdollistaa kosteiden polttoaineiden aiempaa tehokkaamman hyödyntämisen energiantuotannossa. Kosteiden polttoaineiden mukana tuleva vesi höyrystyy kattilan tulipesässä, jolloin kosteisiin savukaasuihin sitoutuu energiaa. Pesurissa savukaasut pestään ja niistä poistetaan suurin osa pienhiukkasista, minkä lisäksi kosteista savukaasuista otetaan talteen vesihöyryn sisältämä lämpöenergia.

Kondensoiva lämmön talteenottotekniikka perustuu siihen, että savukaasujen sisältämä hukkaenergia muutetaan hyötykäyttöön tiivistämällä savukaasujen sisältämä vesihöyry takaisin vedeksi, jolloin vapautuu huomattava määrä energiaa hyötykäyttöön. Em. prosessia tehostetaan sillä, että savukaasujen lauhdutusvesi jäähdytetään lämpöpumpulla optimilämpötilaan ja savukaasupesuriin menevästä vedestä poispumpattu lämpöenergia hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa.



Kuva 3. Savukaasupesurin yksinkertaistettu periaatekuvaus. Vasemmalla perinteinen savukaasupesuri ja oikealla pesuri lämpöpumppukytkenällä (Kuva: Caligo Industria).

Caligo Industria Oy on patentoinut lämpölaitoksen yhteydessä olevien savukaasupesurin ja lämpöpumpun yhdistävän kytkentätavan (Kuva 3 ja 6). Perinteisten savukaasulauhduttimien haasteena on niiden lämmön talteenottotehon riippuvuus kaukolämpöverkon paluulämpötilan tasosta. Jos paluulämpötila on korkea, lauhduttimessa ei aliteta riittävästi savukaasujen kastepistelämpötilaa ja lauhtuminen jää vaatimattomaksi. Riittävä savukaasujen lauhtuminen on edellytys tehokkaalle lämmön talteenotolle.



Kuva 4. Kauhavan Kaukolämpö Oy:n lämpölaitos Kauhavalla (Kuva: Juha Laitila/Luke).

Kauhavan kaukolämpölaitoksella (Kuva 4) kattilasta tulevan savukaasun lämpötila on aluksi noin 150–180 astetta lämmintä. Savukaasut jäädytetään savukaasupesuriin yhdistettyjen lämmönvaihtimien ja lämpöpumpun yhdistelmällä 30–40 asteen lämpötilaan. Tällöin siitä saadaan otettua talteen vesihöyryn latenttilämpöenergia sen muuttuessa höyrystä nesteeksi. Lämmönvaihtimien ja lämpöpumpun avulla savukaasujen hukkalämpö siirretään kaukolämpölaitokselle menevään paluuveteen, jolloin kaukolämmön tuotannossa käytettävän veden lämmitystarve pienenee. Savukaasupesurin nimellisteho on 3 MW.

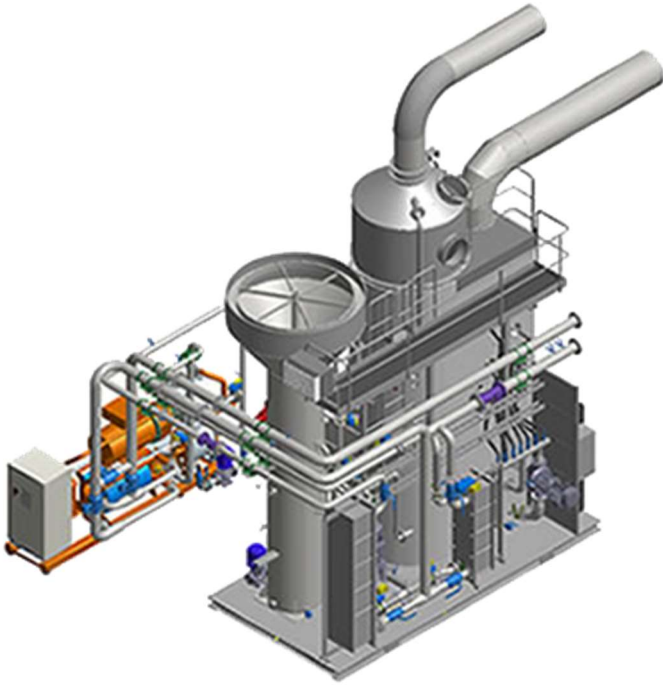
Savukaasupesuritekniikan käytölle on useita perusteluja. Yksi merkittävimmistä on sen tuoma liiketaloudellinen hyöty, sillä lämpölaitosten savupiipuista katoaa taivaalle edelleen suunnaton määrä hyödynnettävissä olevaa lämpöenergiaa. Arvioiden mukaan 10 MW kokoisesta kaukolämpölaitoksesta saadaan savukaasupesurilla tehoa lisää noin 2 MW ja

lämpöpumpun kautta vielä noin 1-2 MW. Kauhavalla lämpöpumpun käyttötunnit vaihtelevat 1000 – 5000 tunnin välillä vuodessa.

Hukkalämmön talteenoton ohella savukaasupesurin (Kuva 5) päätehtävä on kaukolämpölaitoksen savukaasujen puhdistus hiukkaspartikkeleista. Savukaasupesurin ansiosta hiukkas- ja rikkipäästöt vähenevät noin 80 % ja NO_x päästöt noin 15 %. Kaukolämpöyhtiöt hankkivat pesurin usein siksi, että sen avulla olemassa olevilla laitoksilla voidaan saavuttaa 2025 voimaan tulevat, EU:n asettamat uudet pienhiukkasrajoitukset. Rajoitukset koskevat pääasiassa 5–50 megawatin tehoisia polttolaitoksia. Vuonna 2030 astuvat voimaan 1–5 megawatin tehoisia laitoksia koskevat rajat. Kauhavan ohella Kauhavan Kaukolämpö Oy:llä on 3 MW lämpölaitokset Alahärmässä ja Ylihärmässä, jotka hyödyntävät tuorehakekonseptia ja niissä hukkalämmön talteenotto perustuu savukaasupesureiden hyödyntämiseen. Lisäksi em. laitoksilla on tarvittavat kytkentävalmiudet lämpöpumppumoduulille (Kuva 6).



Kuva 5. Caligo Industria Oy:n valmistama savukaasupesuri, joka sisältää savukaasujen pesun lisäksi lämmön talteenoton ja likaisen lauhteen puhdistuksen (Kuva: Caligo Industria).



Kuva 6. Caligo Industria Oy:n valmistama savukaasupesuri sekä siihen kytketty lämpöpumppu ja lauhteenkäsittely-yksikkö (Kuva: Caligo Industria)

2.2. Kattilateknologia

Kauhavan kaukolämpölaitoksella käytössä oleva lämpölaitos hyödyntää Biograte-arinateknologiaa (Kuva 7), joka on kehitetty erityisesti kosteiden biomassojen tehokkaaseen ja häiriöttömään polttoon. Biograte-järjestelmässä, eli pyörivässä kekoarinassa, polttoaine syötetään alhaalta päin pyöreän, kartionmallisen arinan keskusta. Arina jakautuu samankeskisiin kehiin, joista joka toinen pyörii ja joka toinen pysyy paikallaan. Pyöriviä kehiä liikutetaan hydraulisesti, joka toista myötä päivää ja joka toista vastapäivään. Tämän rakenteen ansiosta polttoaine jakautuu tasaisesti koko arinan alueelle, ja palava polttoaine muodostaa vaaditun paksuisen tasaisen kerroksen.

Kostean polttoaineen sisältämä vesi haihtuu arinan keskiosan ympärillä palavan polttoaineen synnyttämän lämmön ja erityismuotoiltujen tiiliseinien heijastaman lämpösäteilyn vaikutuksesta. Kaasuuntuminen sekä kaasujen ja kiinteän hiilen näkyvä palaminen alkavat, kun polttoaine siirtyy pyöreän arinan ulkokehälle. Kehien pyörimisnopeutta voidaan säätää, jotta polttoaine ehtii palaa täydellisesti. Ulkokehällä on tuhka-arina, josta tuhka putoaa etupesän alapuolella olevaan tuhka-altaaseen. Altaassa oleva vesi sammuttaa ja jäähdyttää tuhkan, minkä jälkeen se siirretään tuhkakonttiin.



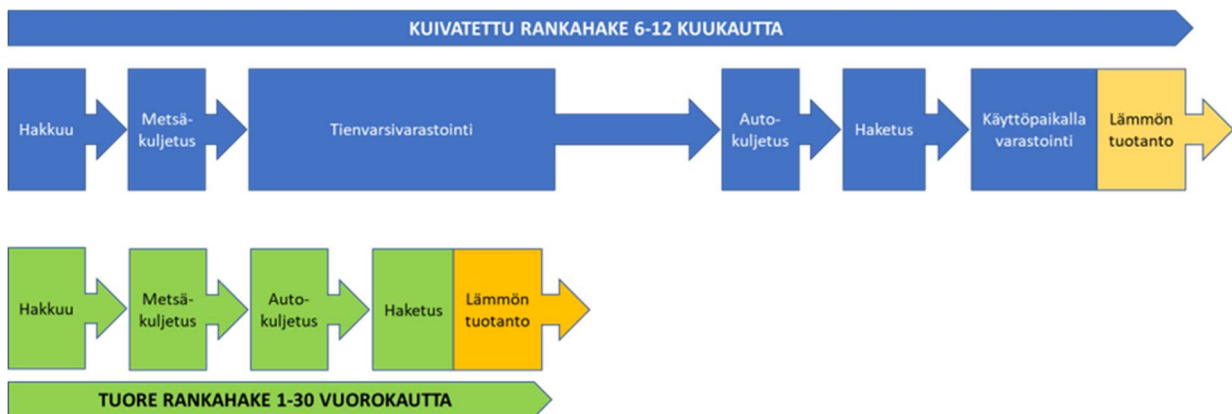
Kuva 7. Biograte-arinan ja tulipesän rakenne sekä toimintaperiaate (Kuva: KPA Unicon).

Palamiseen tarvittava primääri-ilma puhalletaan arinan alta polttoainepatjan läpi. Sekundääri-ilma syötetään tulipesään kolmessa tasossa; ala-, keski- ja yläsekundääri-ilmana. Etupesän ja arinan palamislämpötilaa hallitaan kierrättämällä savukaasuja takaisin kattilaan. Kiertokaasua voidaan syöttää sekä arinan läpi että suoraan etupesään. Ilmamäärien keskinäistä suhdetta muuttamalla voidaan säätää palamisprosessin etenemistä tulipesässä. Kattilateknologia mahdollistaa sen, että palamislämpötilat ovat korkeat ja savukaasujen häikäpitoisuus pieni. BioGrate-arinateknologiaa käytettäessä puupolttoaineen kosteus voi olla jopa 65 %, milloin energiantuotannon kannalta riittävä teho ja vähäpäästöinen palamistulos on vielä saavutettavissa.

3. Tuorehakekonseptin toteutus Kauhavalla

3.1. Toimintamallin edut

Lämpölaitoksissa käytettävän metsähakkeen poltto-ominaisuuksien on katsottu olevan sitä parempia, mitä kuivempaa hake on. Puun kosteudella on ollut suuri merkitys käytettäessä puuta energian tuotantoon lämpölaitoksissa, joissa ei ole poltossa höyrystyvän veden sisältämän energian talteenottojärjestelmää, koska puussa olevan veden lämmittäminen ja höyrystäminen vaativat energiaa, joka on poissa energiapuusta saatavasta lämmöstä. Vallitsevaan tapaan hyödyntää metsäenergiaa kuivatuksineen ja varastointineen liittyy kuitenkin tehottomuutta hankinta- ja toimituslogistiikan osalta (Kuva 8).



Kuva 8. Rangan toimituslogistiikan periaate kuivalla ja tuoreella hakkeella.

Rangalla hakkuun ja puun energiakäytön välinen aika voi olla pahimmillaan lähellä kahta vuotta varastoinnin, kuivattamisen ja mahdollisten menekkivaikeuksien takia. Välivarastossa pitkään varastoidusta puusta aiheutuu yrittäjälle sitoutuneen pääoman osalta korkomenoja. Toisaalta säiden armoilla pitkään varastossa olevan puun lämpöarvo alkaa alentua lahoamisen takia. Tämän vuoksi olisi kustannustehokkainta saada energiapuu mahdollisimman pian käyttöön nopealla kierrolla, mikäli lämpölaitoksen energiateknologia sen sallii. Tuore puu ei myöskään pölyä hakettaessa (Kuva 9) ja on siten varastolla kuivatettuun puuhun verrattuna parempaa haketusmateriaalia työterveyden kannalta. Tuoreen polttoaineen käytön hyvä puoli on myös se, että kosteudesta aiheutuva laatuvihtelu on pientä. Sen sijaan varastolla kuivatetussa puupolttoaineessa kosteudet saattavat heitellä 40-65 % välillä jopa autokuorman sisällä, mistä aiheutuu ongelmia hallitulle lämmöntuotannolle.



Kuva 9. Tuore puu ei pölyä hakettaessa (Kuva: Juha Laitila/Luke).

3.2. Toimintamalli ja sen soveltaminen

Alun perin Kauhavalla tuoreen rankahakkeen osuus polttoainepaletista oli 90% ja sahoilta saatavan kuoren 10%. Rankahakkeen hinnan nousun myötä, sen käytöstä on luovuttu ja vuodesta 2018 eteenpäin pääasiallinen puupolttoaine on ollut sahoilta saatava kuori (40%). Kuoren ohella (Kuva 10) laitos käyttää sahanpurua ja kierrätyspuusta tehtyä haketta, joiden osuus on 10-20%. Hinnasta ja hyvästä saatavuudesta johtuen Kauhavan lämpölaitoksen pääasiallinen polttoaine (noin 50%) on viimeisten vuosien osalta ollut jyrsinturve, vaikka laitosta ei ole alun perin suunniteltu jyrsinturpeen polttoa varten. Turve hankitaan paikallisilta turvetuottajilta ja sahaus sivutuotteet lähiseudun sahoilta (Kohiwood Soinista, Viitala Forest Peräseinäjoelta ja Keitele Timber Alajärveltä).



Kuva 10. Rankapuun korkean hinnan takia Kauhavan lämpölaitoksen pääasiallinen puupolttoaine on ollut viime vuosina sahoilta saatava männyn ja kuusen kuori (Kuva: Juha Laitila/Luke).

Metsähakkeen toimituksesta on vastannut EPM Metsä, joka vastaa puunhankinnasta ensisijaisesti Lapuan Sahalle sekä Vaasan ja Seinäjoen voimalaitoksille. Kauhava lämpölaitokselle ranka on ostettu hakkuukonemittaukseen perustuen ja muilla polttoaineilla maksuperusteena on ollut niiden energiasisältö. Hakkuutähde- tai kokopuuhaketta Kauhavan laitoksella ei ole juuri käytetty, vaan metsähakkeen osalta toimituslogistiikka on perustunut rangan haketukseen lämpölaitoksen pihalla autoalustaisella hakkurilla, jonne ranka on kuljetettu normaalilla puutavara-autolla (Kuva 11).

Kauhavan Kaukolämpö Oy:ssä rankahakkeen käyttö on viime vuosina keskitetty Alahärmän, Ylihärmän ja Korttesjärven lämpölaitoksille. Ylihärmän ja Alahärmän uudehkot kaukolämpölaitokset ovat teholtaan 3 MW ja molemmat ovat varustettu savukaasupesureilla, mikä mahdollistaa tuorehakkeen energiatehokkaan käytön kaukolämmöntuotannossa. Korttesjärven lämpölaitos on vanhempi ja uusinnan tarpeessa lähivuosina, joten siellä lämpölaitoksen polttoainehuolto perustuu perinteiseen rankahakkeen toimitusketjuun.



Kuva 11. Kauhavalla rankapuu on mahdollista hakettaa lämpölaitoksen pihalla, mikä alentaa logistiikkakustannuksia merkittäväällä tavalla, kun koneet voivat toimia tehokkaasti ilman keskeytyksiä (Kuva: Maanmittauslaitos).

Rankamenetelmällä metsähakkeen toimitusketjua on voitu nopeuttaa, mikä on osaltaan tukenut turvemaiden puunkorjuuta, kun kaikki puutavaralajit voidaan kuljettaa pois tuoreeltaan tukkien ja kuitupuun toimitusaikatauluilla ilman ylimääräisiä auras kertoja. Tuoreeseen rankahakkeeseen perustuva toimitusketju ei myöskään edellytä energiapuukasojen peittämistä eikä erikoiskuljetuskalustoa, kun puutavara-autolla kuljetetut rangat haketetaan lämpölaitoksen pihalla varastosiilon välittömässä läheisyydessä. Lisäksi havupuutavaran nopea varastokierto vähentää kaarnakuoriaistuhojen riskiä metsissä.

3.3. Käyttökokemuksia tuorehakkeesta

Tuorehakkeen kanssa ei ole havaittu jäätymisongelmaa, vaan lähinnä tavanomaista holvaantumista, jonka yleisyys vaihtelee talvien välillä sängen paljon. Tarvittaessa jäätymisongelmaa on mahdollista lievittää polttoainevaraston ja kuljetuslaitteiden lämmityksellä esim. kaukolämpöverkon paluueden lämmön avulla. Polttoaineen kosteuden

takia siiloissa tulee olla kunnolliset tuuletusrilät (Kuva 12), ettei vesihöyry aiheuta jäätyessään siilon kuurettumista tms. kosteusongelmia siilon rakenteisiin. Tuorehakkeen ja muiden kosteiden polttoaineiden käytön ei ole havaittu lisänsäen häiriöiden lukumäärää tai kunnossapidon tarvetta, koska Kauhavan lämpölaitos on heti alkuaankin mitoitettu ja suunniteltu käyttämään kosteita puupolttoaineita.

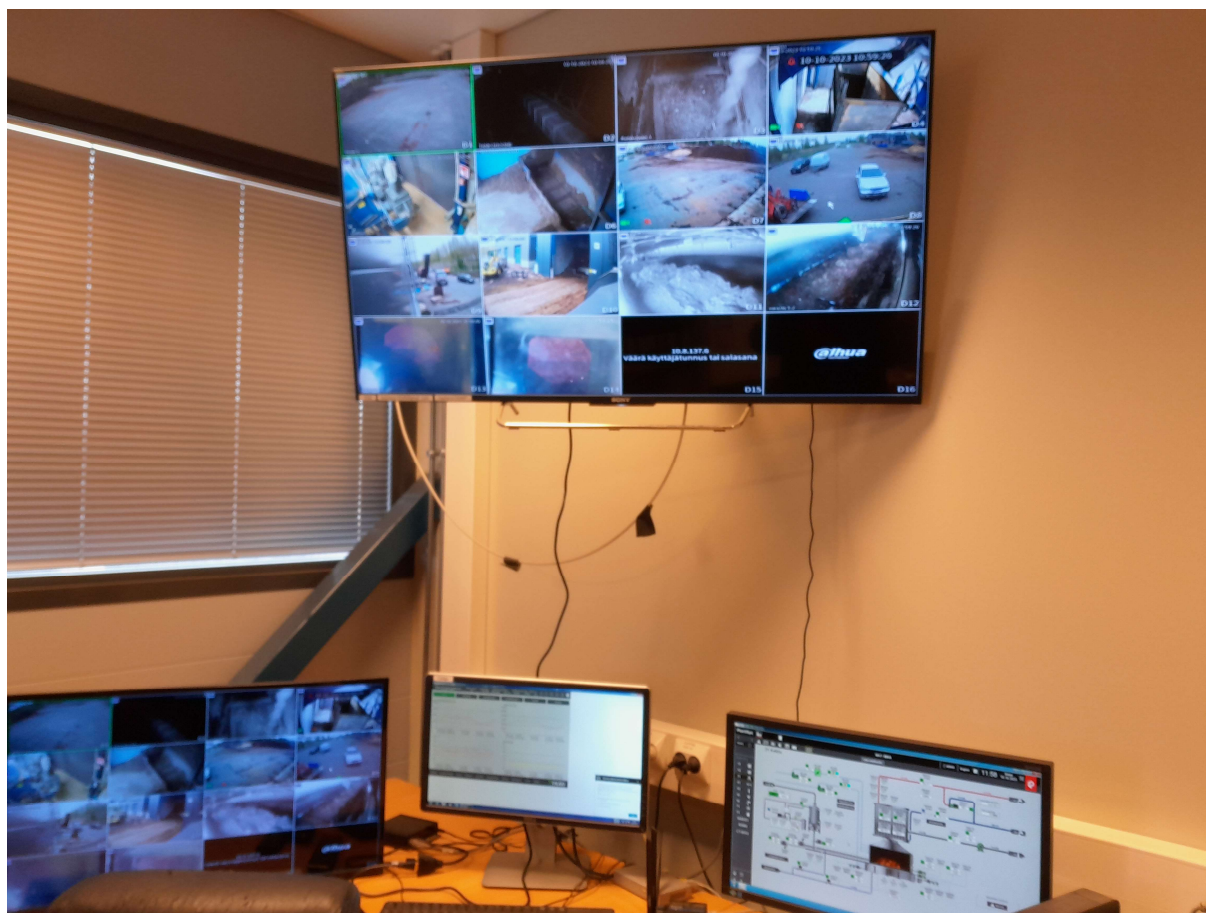


Kuva 12. Kosteilla polttoaineilla varastosiilojen tuuletuksen tulee olla riittävä itselämpenemisestä johtuvan höyrystymisen takia (Kuva: Juha Laitila/Luke).

Nopean varastokierron vuoksi tuorehakkeen hankintavarmuus ei ole kuivatetun energiapuun luokkaa mutta kelirikko tms. haittaa energiapuun kaukokuljetusta riippumatta siitä, onko puu kuivaa tai tuoretta. Kun energiarankaa ei tarvitse kuivattaa varastopinoissa, varastoista ei haihdu ilmaan hiilidioksidia, metaania tai dityppioksidia, eikä ravinteita huuhtoudu luontoon. Lämpölaitokset eivät mielellään käytä hakkuutähteistä tai kokopuusta tehtyä haketta, koska neulasten sisältämä kloori aiheuttaa korroosiota kattilan teräsosissa, mikä puoltaa rangasta tehtyyn hakkeeseen perustuvaa toimintamallia. Lisäksi oksissa ja neulasissa on merkittävä osuus puiden sitomista ravinteista ja rangaksi karsinta on tehokkain tapa jättää ravinteet metsään. Lämpölaitoksen pihalla tehtävä rangan haketus mahdollistaa myös sen, että raskaiden autohakkureiden ei tarvitse liikennöidä kapeilla ja talvisaikaan liukkailla metsä- ja paikallisteillä.

3.4. TUOHI-hankkeen tuloksia

Kauhavan Kaukolämpö Oy:n lämpölaitoksella vertailtiin tuorehake konseptia perinteiseen rankahakkeen toimitusketjuun lämpöenergian tuotannossa. TUOHI-hankkeessa tehty vertailututkimus perustui mänty- ja koivuvaltaisista metsistä hankittuun karsittuun rankaan ja siitä tuotettuun hakkeeseen. TUOHI-hankkeen tutkimuksessa näyte-eristä puolet poltettiin tuoreeltaan helmi-maaliskuussa ja toinen puoli jätettiin kuivamaan peitettynä kesäkauden yli. Tuoreen poltetut hake-erät poltettiin haketuspäivänä ja ne oli tehty jäisestä mänty- ja koivurangasta. Hakkeen palamistapahtumaa seurattiin laitoksen omin anturein ja mittarein (Kuva 13). Lämmöntuotannon mittaamista varten käytössä oli tiedot verkkoon tuotetusta energiasta sekä kattilan ja lämmöntalteenoton tuotosta erikseen. Kattilan ja lämmöntalteenoton omasähkökulutus mitattiin myös, samoin kuin laitoksen oma energiankäyttö.



Kuva 13. Kauhavan kaukolämpölaitoksen valvomo (Kuva: Juha Laitila/Luke).

Näyte-erissä, joissa polttaminen on tehty sekä tuoreista että kuivatuista eristä, verkkoon tuotettu energia on kaikissa tapauksissa tuoreella puulla korkeampi. Lämmön talteenoton (LTO) osuus kokonaistuotosta on tuoreella männyllä noin 26% ja koivulla 17 – 21%. Vastaavasti kuivaa puuta poltettaessa LTO:n osuus on männyllä 16 – 20% ja koivulla 14 – 15%. LTO-laitteiston COP-arvot (Coefficient Of Performance) eli tehokerroin oli tuoreella puulla 15 – 18

ja kuivalla 9 – 13. Kuivatettua polttoainetta poltettaessa kattilan energiantuotto oli jokseenkin sama kuin tuoreella puulla, mutta lämmöntalteenoton tuotto vastaavasti niin paljon heikompi, että kokonaistulos oli tuoreen puun poltossa parempi.

Saavutetulle tehonlisäykselle on löydettävissä tuoreen puun suuremman kuiva-ainetiheyden ohella ainakin kaksi lisäselitystä. Tuoreesta ja jäätyneestä puusta ei ole lyhyen varastoinnin aikana ehtinyt haihtua korkean energiapotentiaalin omaavia haihtuvia uuteaineita, ja toisaalta kosteata puuta poltettaessa savukaasuihin siirtyvä kosteus toimii tehokkaana lämmönsiirtäjänä savukaasuja pestäessä. Uuteaineiden polttamisessa vapautuva energia riittää korvaamaan tuoreen puun kosteuden haihduttamisen, mikäli nämä uuteaineet eivät haihdu puusta ennen polttoa ja lämmöntalteenottojärjestelmä ottaa vesihöyryn varastoiman energian talteen lämpövoimana hyödynnettäväksi.

Tutkimustulosten perusteella haihtuminen hakkeesta voi olla niin nopeaa, eikä kaikkien puusta haihtuvien aineiden laatua ja määrää ole kyetty kunnolla selvittämään. Haihtumisnopeus on riippuvaista mm. lämpötilasta ja talvikaatoisessa jäisessä puussa 4 – 5 viikon kuluessa kaadosta ne oletettavasti suurelta osin ovat vielä tallessa. Selvää kuitenkin on, että haketus ja sitä seuraava lyhyt varastointi voivat aiheuttaa näiden aineiden merkittävää haihtumista. Kauhavan lämpölaitoksella puuta ei tosin varastoida hakkeena pitkään, vaan hake siirtyy välittömästi lämpölaitoksen katettuun varastosiiloon, josta se siirtyy kaukolämmöntarpeesta riippuen kattilaan 1 – 3 vuorokauden kuluessa haketushetkestä.

3.5. Yhteenveto

Tuoreen puubiomassan polttamisella voidaan saavuttaa oikeanlaisella teknologialla suuri hyöty energiantuotannossa ja lisähyötyä on mahdollista saada arvoketjun monesta eri vaiheesta. Taloudellista hyötyä aletaan saavuttaa jo ennen polttoaineen saapumista käyttöpaikalle, kun energiapuun pitkistä kuivatusajanjaksosta luovutaan ja samalla vältetään taloudellisista tehokkuutta nakertavilta pääomakuluilta ja kuiva-ainetappioilta. Tutkimuksien mukaan puun kuiva-ainetappiot ovat raaka-aineesta riippuen 1-3 prosenttiyksikköä kuukaudessa ja kuivatusajan ollessa 9 kuukautta saattavat puun kuiva-ainetappiot nousta jopa 20 prosenttiin.

Kuivatetun puuaineksen toimitusaika vaihtelee puolesta vuodesta reilusti yli vuoteen, mutta sen nopeampaa toimitusta kuivatetulle puulle harvemmin nähdään. Tuorehakkeen toimitusaika vaihtelee nopeimmillaan yhdestä päivästä muutamaan viikkoon. Kuivatun hakkeen toimitusaikaa säätelee hakkeen kuivatus, kun taas tuorehakkeen toimitusajan määrää ennen kaikkea puunkorjuun olosuhteet ja alemman tieverkon kuljetuskelpoisuus varastopaikan ja käyttöpaikan välillä. Hyödyksi voidaan lukea myös se, että energiantuotannossa voidaan hyödyntää laadultaan heikompia ja hinnaltaan halvempia polttoainejakeita, kuten kuorta. Olosuhteiden vaihtelu voi kuitenkin aiheuttaa jäätymisvaaran

talvikaudella ja homehtumisvaaran muina vuodenaikoina, jos puuperäisiä polttoainejakeita joudutaan varastoimaan pitkiä aikoja polttoainekentällä ennen polttoa.

Aiempaa edullisempien polttoainejakeiden ohella savukaasupesureilla saatava talteen otettu hukkaenergia mahdollistaa laitoksen hyötysuhteen kasvun ja polttoaineen kulutuksen pienenemisen. Savukaasupesurin tuomien taloudellisten hyötyjen lisäksi se tuo myös ympäristöllistä hyötyä leikkaamalla polton aiheuttamia hiukkaspäästöjä. Korkean kosteuspitoisuuden omaavan polttoaineen polttaminen aiheuttaa toisaalta myös tiukkoja vaatimuksia laitokselta, eikä tuoreen ja etenkin märän puubiomassan polttaminen sovellu kaikille lämpölaitoksille. Savukaasupesurin ohella investointeja on tehtävä myös prosessin muihin osiin, jos tarkoituksena olisi ottaa käyttöön märkä puubiomassa perinteisen kuivatus sijasta. Kuvassa 14 on TUOHI-hankkeessa tehty SWOT-analyysi tuoreen hakkeen käytön vahvuuksista heikkouksista, mahdollisuuksista sekä uhista yleisellä tasolla kauhavalaisesta toimintaympäristössä kertyneen tiedon perusteella.

Vahvuudet	Heikkoudet
Pääomien nopeampi kierto Työympäristön mikrobihaittojen vähentyminen Pienemmät päästöhaitat puhtaan poltto- prosessin ja savukaasujen puhdistamisen johdosta Pienemmät varastointiaikaiset kasvihuone- päästöt ja ravinnehuuhtoumat	Tuoreen puun täyttä kalorimetristä lämpöar- voa ei huomioida energiapuun hinnanmuo- dostuksessa Kuljetuskustannusten nousu Kuljetuksen hiilidioksidipäästöjen kohoami- nen Käyttöpaikkahaketuksen yleistyessä ympäris- tölupia voidaan joutua tarkistamaan Alustavien polttokokeiden tulokset eivät vielä yleistettävissä
Mahdollisuudet	Uhkat
Lämpölaitosten nykyistä suurempi hyötysuhde Lämpölaitosten paremman kannattavuuden synnyttämä investointien kasvu Uusiutuvan energian käytön tehostuminen Metsätähteiden käytön lopettaminen hyödyt- täisi metsien ravinnetasetta	Metsien ravinnetasapainon häiriintyminen, jos metsätähdettä tai kokopuuta käytetään tuoreena Energiapuumarkkinoiden pirstoutuminen

Kuva 14. Tuoreen hakkeen käytön vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat (Kuva julkaisusta: Lahti, Lauhanen & Kitinoja 2016).

4. Pohjois-Karjala vs. Kauhava vertailu

4.1. Väestötiheys

Kauhavan kaupunki ja Pohjois-Karjalan maakunta sijaitsevat vastakkaisilla puolella Suomea sen leveimmällä kohdalla (Kuva 15). Linnuntietä pitkin Kauhavalta Kolille on kohtisuoraan itä-länsisuunnassa mitattuna 340 kilometriä. Pohjois-Karjalassa väkiluku on 162 000, mikä tarkoittaa väestötiheytenä 8,6 ihmistä per km². Etelä-Pohjanmaan maakunnassa väkiluku on 190 000 ja väestötiheys 13,8 ihmistä per km². Kauhavaan rajoittuvassa Pohjanmaan maakunnassa väkiluku on puolestaan 177 000 ja väestötiheys 24 ihmistä per km², eli likimain kolminkertainen Pohjois-Karjalaan verrattuna ja lähes kaksinkertainen Etelä-Pohjanmaan verrattuna.

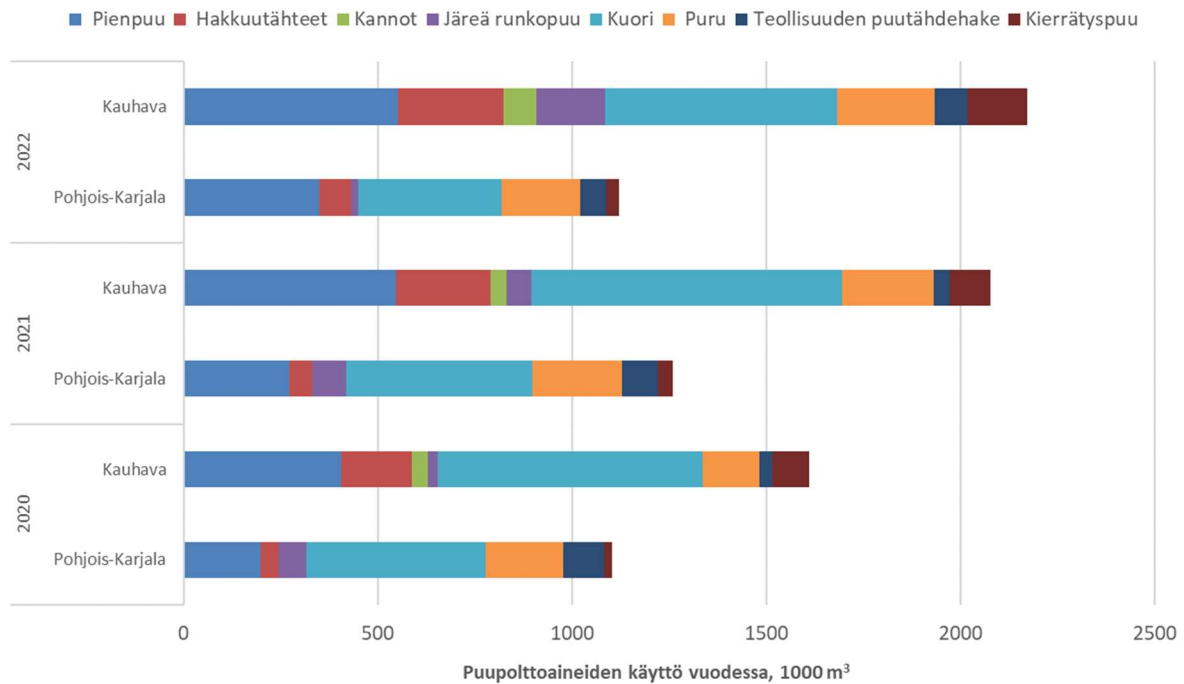


Kuva 15. Etelä-Pohjanmaan kuuluva Kauhava rajautuu Pohjanmaan maakuntaan ja sijaitsee linnuntietä noin 50 km pohjoisempana ja 340 km lännempänä kuin Joensuu (Kuva: Wikipedia).

4.2. Puupolttoaineiden käyttö ja hinta

Kauhavan seudun selvästi suurempi väkiluku ja väestötiheys heijastuu siinä, että puupolttoaineiden yhteenlaskettu käyttö Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan maakunnan lämpö- ja voimalaitoksissa on vuositasolla selvästi suurempi kuin Pohjois-Karjalassa (Kuva 16). Puupolttoaineiden hyvä kysyntä Kauhavalla näkyy siinä, että energiantuotannossa käytetään huomattavia määriä kantoja, järeää runkokuuta sekä kierrätyspuuta, toisin kuin Pohjois-Karjalassa (Kuva 16). Hakkuutähteiden käyttö on myös selvästi suurempaa kuin Pohjois-Karjalassa. Osasy puupolttoaineiden hyvään ja monipuoliseen kysyntään Kauhavan seudulla on

UPM:n Pietarsaaren tehdasintegraatissa sijaitseva Alholmens Kraftin voimalaitos, joka on Suomen suurin ja yksi maailman suurimmista puupolttoaineita käyttävistä voimalaitoksista.

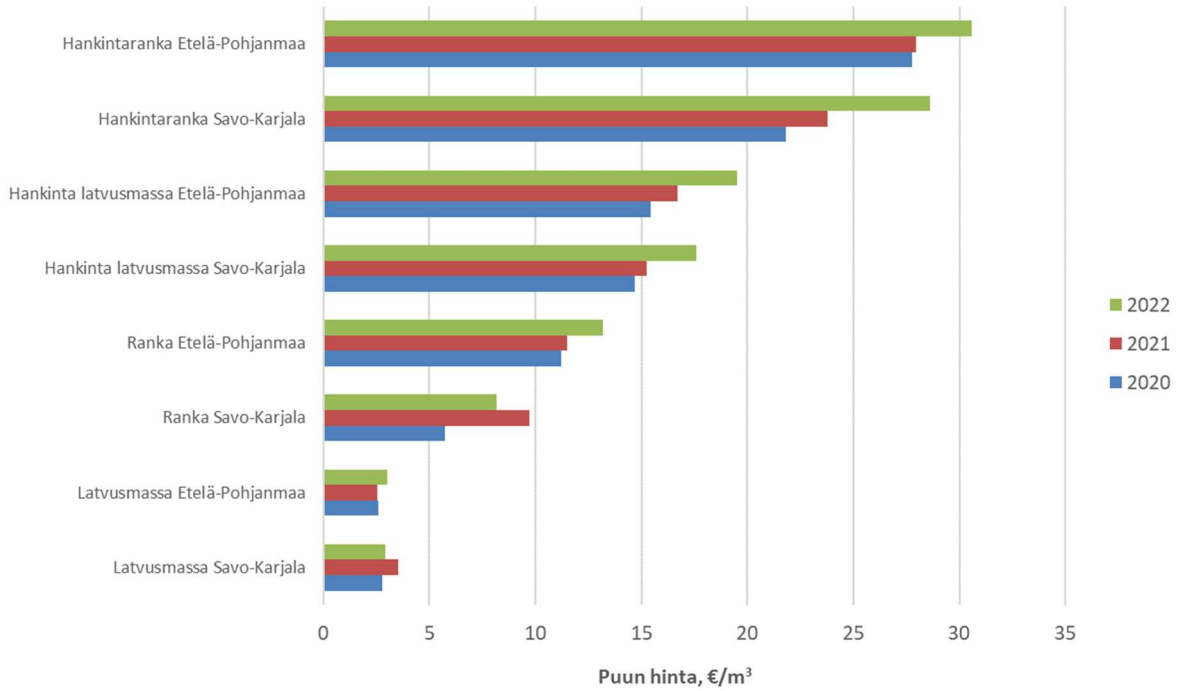


Kuva 16. Puupolttoaineiden vuotuinen käyttö Pohjois-Karjalassa sekä Etelä-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla, joiden maakuntien vaikutuspiirissä Kauhava on (Luken metsätilastot).

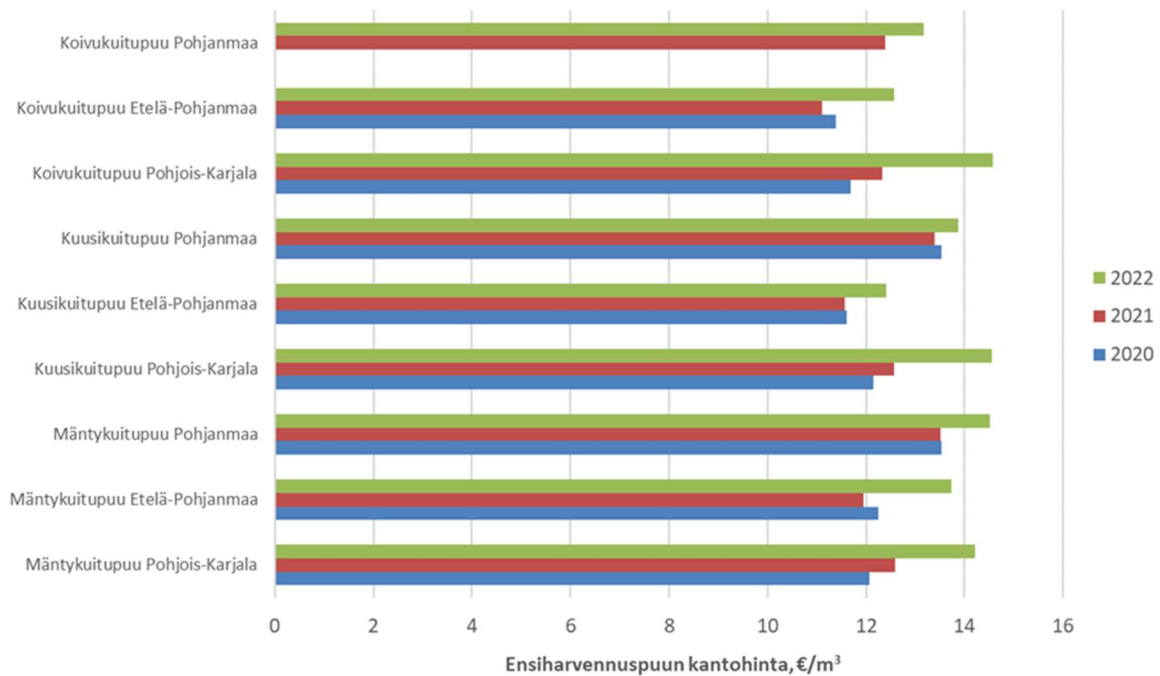
Pohjois-Karjalaan verrattuna maatalous- ja elintarviketeollisuuden rooli Etelä-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla on merkittävä, mikä näkyy etenkin sika- ja siipikarjatilojen eläin- ja tilamäärissä (Taulukko 1). Sika- ja siipikarjan tuotantorakennusten lämmittämiseen käytetään paljon hyvälaatuaista hakepuuta ja kysyntä on puolestaan näkynyt rangan parempana hintana Pohjanmaan sekä Etelä- ja Keski-Pohjanmaa maakunnissa verrattuna Savo-Karjalan alueella maksettaviin hankinta- ja pystykauppa hintoihin (Kuva 17). Energian hinnan nousu ja venäläisen puun tuonnin päättyminen kasvattivat energiapuun kysyntää vuonna 2022, mikä näkyy tilastoissa hintaerojen selvänä tasoittumisena Itä- ja Länsi-Suomen välillä. Kuitupuun hintaan rangan kysyntä ei ole heijastunut, vaan ensiharvennuksilla puun kantohinta on ollut samalla tasolla niin Itä- kuin Länsi-Suomessa viime vuosina.

Taulukko 1. Sika- ja siipikarjatilojen eläin- ja tilamäärät Pohjois-Karjalan, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan maakunnissa vuonna 2023 (Luken maataloustilastot).

		SIAT YHTEENSÄ	SIIPIKARJA YHTEENSÄ
Pohjois-Karjala	Eläimiä	3724	23517
	Tiloja	10	6
Etelä-Pohjanmaa	Eläimiä	213414	3321722
	Tiloja	150	85
Pohjanmaa	Eläimiä	142009	371223
	Tiloja	93	25



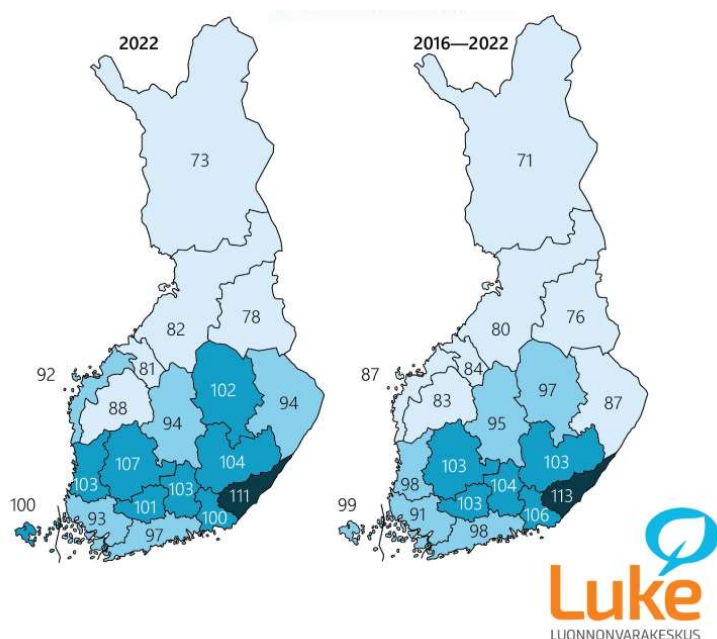
Kuva 17. Energiapuusta maksettavat hankinta- ja pystykauppa hinnat Savo-Karjalan ja Pohjanmaan maakuntien alueella (Luken metsätilastot).



Kuva 18. Ensiharvennuksilta korjattavan kuitupuun kantohinnat Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjois-Karjalan maakunnissa vuosina 2020-2022 (Luken metsätilastot).

4.3. Metsävarat

Metsien käyttöasteen osalta Pohjois-Karjalan ja Pohjanmaan maakunnat ovat samaa ovat samaa suuruusluokkaa (Kuva 19), eli em. maakuntien alueella aines- ja energiapuun hakkuut ovat jääneet hakkuumahdollisuuksia pienemmiksi.



Kuva 19. Toteutuneen hakkuukertymän osuus (%) suurimmasta ylläpidettävissä olevasta hakkuukertymäarviosta maakunnittain vuonna 2022 ja vuosina 2016–2025 (Luken tiedote 15.5.2023).

4.4. Tuorehakekonseptin toteutettavuus Pohjois-Karjalassa

Käytettävissä olevien puupolttoaineiden osalta tuorehakekonseptiin on hyvät mahdollisuudet Pohjois-Karjalassa, ilman että nykyisiin totuttuihin toimintamalleihin pitäisi tehdä suuria muutoksia. Valtaosa maakunnan puuenergiasta tuotetaan metsäteollisuuden sivutuotteilla, kuten kuorella ja purulla, mitkä ovat jo lähtökohtaisesti tuoreita polttoaineita. Tuodun ja edullisen energiapuun ajat ovat ohi, joten kallistuneesta polttoaineesta on entistä mielekkäämpää saada tehot paremmin talteen toimintamalleja ja teknologiaa tehostamalla aina kun se on mahdollista. Hukkalämpöä hyödyntävä teknologia on kalliimpaa mutta kohonneet polttoaineen hinnat ja jopa ajoittainen niukkuus parantavat investoinnin kannattavuutta ilmeisten ympäristöhyötyjen ohella. Savukaasupesureihin perustuva toimintamalli on käytössä mm. Nevelin lämpölaitoksilla Iissä, Jokelassa, Karkkilassa, Mynämäellä, Petäjävedellä, Ruovedellä, Sysmässä ja Tohmajärvellä Pohjois-Karjalassa.

Pienpuun toimituslogistiikassa varastokiertoa on mahdollista nopeuttaa kuiva-ainetappioiden minimoimiseksi. Tuorehakkeeseen perustuvalla toimintamallilla on jopa paremmat toteutusmahdollisuudet kuin Kauhavalla, missä soiden ja hienojakoisten maiden suurempi osuus voi tietyltä osin rajoittaa tuoreen puun korjuun ja kuljetuksen pelkästään talvikauteen. Pohjois-Karjalassa maaston parempi kulkukelpoisuus ja parempi liikennöityvyys ympäri vuoden mahdollistaa hoitorästikohteiden pieniläpimittaisen koivu kokopuun hyödyntämisen tuoreeltaan energian tuotannossa rankahakkeen ohella koivuvaltaisilla kohteilla, etenkin silloin kun haketustyötä ei ole tarpeen keskittää terminaaleihin haketustyön tuottavuuden maksimoimiseksi. Havupuilla runkomuodon ohella ravinnetaloudelliset ja logistiset hyödyt sen sijaan puoltavat puun korjuuta karsittuna aina kuin mahdollista, vaikka kokopuuna korjuussa kertymä onkin suurempi. Kaatotuoreen koivun kosteus on selvästi alempi kuin männyn ja kuusen, minkä vuoksi etenkin koivulla kuiva-ainetappiot minimoiva nopeutettu kierto on mielekäs vaihtoehto, jos kattilassa on mahdollista ongelmitta polttaa kosteudeltaan 45-50% haketta.

Itä-Suomessa toimivat lämpö- ja voimalaitokset käydään läpi tarkemmin työpaketissa 2 mutta Pohjois-Karjalasta löytyy useita Kauhavan suuruusluokkaa olevia keskustaajamia (5 500 asukasta), kuten mm. Lieksa, Nurmes, Kitee tai Outokumpu, joissa kaukolämmön tuotantotarpeen osalta olisi edellytykset vastaavan tyyppiselle lämpölaitokselle mitä Kauhavalla on. Lisäksi Pohjois-Karjalasta on löydettävissä Alahärmässä ja Ylihärmässä kaltaisia 3 MW arinakattila kaukolämpölaitoksia tai suurempia, jotka ovat valjastettavissa käyttämään tuoretta haketta, jos kattilateknologia tai muut laitoksella käytettävät polttoainejakeet sen mahdollistavat ja hyödyntämään hukkalämmön talteenottoa energiantuotannossa. Joensuussa liksenvaaran CHP-laitoksella savukaasujen puhdistus- ja lauhdutusjärjestelmä on ollut käytössä syksystä 2015 ja UPM:n vaneritehtaan uudella lämpölaitoksella heti uutena tammikuusta 2020 lähtien.

5. Kirjallisuus

Antturi J. & Piekkala J. 2023. Tarkastelussa lämpöyrittäjyys vuonna 2022. TTS Työtehoseuran julkaisu 466. 10 s.

Direktiivit 2015. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2015/2193. Annettu 25 päivänä marraskuuta 2015, tiettyjen keskisuurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauspäästöjen rajoittamisesta. 19 s. Saatavana: <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj>

Hakkarainen, N. 2020. Outokummun Energia Oy:n kaukolämmön energiatehokkuuden parantaminen. Opinnäytetyö energia- ja ympäristötekniikan koulutus. Karelia ammattikorkeakoulu. 58 s. Saatavana: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343799/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Hakkila, P., Repola, J., Lindblad, J., Kalaja, H. & Verkasalo, E. 2020. Mänty- ja kuusikuitupuun ominaisuudet Etelä-Suomessa – laadun vaihtelu ja hallinta. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 25/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 94 s. Saatavana: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-949-1>

Javarus, S. 2016. Savukaasupesurin lämpövirrat ja hukkalämmön talteenotto. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö, Insinööri (AMK), energiatekniikan koulutusohjelma. 48 s. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060812353>

Kaartinen, K. 2019. Savukaasupesurin hankinnan kannattavuuden selvittäminen Alavuden lämpölaitoksen K3-kattilalle. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. 48 s. Opinnäytetyö, Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201903183337>

Katila, T. 2018. Kauhavan kaukolämpölaitoksen menoveden lämpötiläkäyrän optimointi. Vaasan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. 55 s. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804275715>

Keskinen, J. 2021. Märän biomassan polttaminen ja lauhduttava pesuri. 27 s. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Energiatekniikan koulutusohjelma. Kandidaatintyö. Saatavana: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/163172>

Korhonen, K.T. 2020. Keski-Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan metsävarat ja hakkuumahdollisuudet: Kokkola 17.2.2020. Luonnonvarakeskus, Metsävarojen inventointi ja metsäsuunnittelu. Saatavana: <https://pt.slideshare.net/Metsakeskus/metsavarat-keski-jaetelapohjanmaa2020>

Kukkonen, J. 2019. Tuoreen hakkeen käyttö energiantuotannossa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan kandidaatintyö. 29 s. Saatavana: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/160510>

Laasasenaho J., Timonen R., Poso H. 2017. Tuoreen puun lämpöarvosta. Metsätieteen aikakauskirja 2017-6992. Tiedonanto. 14 s. Saatavana: <https://doi.org/10.14214/ma.6992>

Lahti, J., Lauhanen, R. & Kitinoja, A. 2016. Tuoreen puun polttaminen – uusi avaus. Teoksessa P. Junell, A. Heikkilä, S. Päällysaho & S. Saarikoski (toim.) Hyvinvointia ja innovaatioita monialaisesti ja raja-aitoja madaltaen: Katsaus Seinäjoen ammattikorkeakoulun toimintaan 2016. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 25: 451–465. Saatavana: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7109-51-9>

Lahti, J., Lauhanen, R., Timonen, R., Laasasenaho, J. & Kitinoja, A. 2018. Onko tuoreen puun poltosta hyötyä maatilametsänomistajille? Tuoreen energiarangan ja hankintalogistiikan polton kehittäminen. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote 35. 7 s. Saatavana: <https://doi.org/10.33354/smst.73235>

Laitila J., Ahtikoski A., Repola J., Routa J. 2017. Pre-feasibility study of supply systems based on artificial drying of delimbed stem forest chips. Silva Fennica vol. 51 no. 4 article id 5659. 18 s. Saatavana: <https://doi.org/10.14214/sf.5659>

Lamberg, K. 2015. Biomassakattilan simulointi. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Energiatekniikan diplomityö. 88 s. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015111217150>

Lauhanen, R., Ahokas, J. & Esala, J. 2014. Energian mittayksiköt eri polttoaineilla. Teoksessa: R. Lauhanen, J. Ahokas, J. Esala, T. Hakonen, H. Sippola, J. Viirimäki, E. Koskiniemi, J. Laurila & I. Makkonen (toim.) Metsätoimihenkilön energialaskuoppi. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja C. Oppimateriaaleja 6: 23–28. Saatavana: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-5863-76-5>

Lauhanen, R., Lahti J., Laasasenaho, K., Kitinoja, A., Timonen, R. & Laasasenaho, J. 2018. Tuoreen puun energiakäytön aluevaikuttavuudesta. Teoksessa: Päällysaho, S., Latvanen, J., Saarikoski, S. & Uusimäki, S. (toim.) Seinäjoen ammattikorkeakoulu monipuolisena vaikuttajana. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 30: 308-315. Saatavana: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-7109-93-9>

Lauhanen, R., Lahti, J. & Tasanen, T. 2018. Fresh chips for heating plants. Kaunas Forestry and Environmental Engineering University of Applied Sciences (KMAIK) Miškininkysté ir kraštotvarka = Forestry and landscape management 14 (1): 33 – 37.

Lauhanen, R., Tiainen, J., Laasasenaho, K., Timonen, R., Haapanen, A. & Viirimäki, J. 2020. EIP-ryhmät osana maaseudun kehittämistä - esimerkkinä Tuorehakekonsepti maatilamittakaavassa -hanke. Teoksessa: S. Päällysaho, P. Junell, J. Latvanen, S. Saarikoski & S. Uusimäki (toim.) Osaamista strategian vahvuusaloilla. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 33: 277 - 284. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101111536>

Lauhanen, R., Laasasenaho, K., Tiainen, J., Ala-Talkkari, A., Ala-Talkkari, H., Finni, M., Timonen, R., Kannonlahti, J., Haapanen, A., Viirimäki, J., Puolamäki, K., Jämsén, M. 2023. EIP-lämpökeskus toimii tuorehakeella Lapualla. Teoksessa: Päällysaho, S., Junkkari, T., Salminen-Tuomaala, S., Uusimäki, S., Karvonen, M. & Saarikoski, S. (toim.) Seinäjoen ammattikorkeakoulu asiantuntijana, yhteistyökumppanina, kouluttajana ja TKIO-toimijana. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 40: 407-417. Saatavana: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/815009/SeAMK_A40.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liikonen, L. 2022. Metsähakkeen riittävyys Pohjois-Karjalassa. Opinnäytetyö metsätalouden koulutus. Karelia ammattikorkeakoulu. 82 s. Saatavana: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/787139/Liikonen_Lauri_2022_12_14.pdf?sequence=2

Mattila, A-M. 2017. Tuoreen puun poltto - kokemukset ja mitä se laajentuessaan muuttaa? Kauhavan Kaukolämpö Oy. Esitys: Koneyrittäjien Energiapäivät 2017 24.3.2017. Saatavana: <https://www.koneyrittajat.fi/media/Julkinen/Liitteet/Tapahtumat/Energiapaiva2017/Mattila.pdf>

Nevel. 2020. Energiainfrayhtiö Nevel investoi savukaasupesuritekologiaan useilla paikkakunnilla – Miljoonaluokan investoinnilla parannetaan energiatehokkuutta. Saatavana: <https://nevel.com/fi/story/energiainfrayhtio-nevel-investoi-savukaasupesuritekologiaan-useilla-paikkakunnilla-miljoonaluokan-investoinnilla-parannetaan-energiatehokkuutta/>

Partanen, V. 2018. Savukaasupesurin kannattavuuden tarkastelu Toivalan biolämpökeskuksella. Savonia-ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan tutkinto-ohjelman opinnäytetyö. 44 s. Saatavana: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804255515>

Repola J., Lindblad J., Heikkinen J. (2021). Pulpwood green density prediction models and sampling-based calibration. *Silva Fennica* vol. 55 no. 4 article id 10539. 19 s. Saatavana: <https://doi.org/10.14214/sf.10539>

Routa, J., Kolström, M. & Sikanen, L. 2018. Dry matter losses and their economic significance in forest energy procurement, *International Journal of Forest Engineering* 29(1): 53-62. Saatavana: <https://doi.org/10.1080/14942119.2018.1421332>