

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

LUT School of Energy Systems  
Bioenergian laboratorio

## LUT Scientific and Expertise Publications

Tutkimusraportit – Research Reports

128

Jarno Föhr, Raghu KC, Antti Karhunen, Mika Laihanen,  
Samuli Konttinen, Perttu Palkia & Tapio Ranta

**PUHALLUS – KIIINTEÄN BIOPOLTTO-  
AINEEN UUSI TOIMITUSRATKAISU JA  
SIIRRETTÄVÄT LÄMPÖKONTIT KOR-  
VAAMAAN ÖLJYLÄMMITYSTÄ**

 LUT  
University

*Jarno Föhr, Raghu KC, Antti Karhunen, Mika Laihanen, Samuli Konttinen, Perttu Palkia & Tapio Ranta*

## **Puhallus – Kiinteän biopolttoaineen uusi toimitusratkaisu ja siirrettävät lämpökontit korvaamaan öljylämmitystä**



ISBN 978-952-335-696-2  
ISBN 978-952-335-697-9 (PDF)  
ISSN-L 2243-3376  
ISSN 2243-3376  
Vasen kuva: Jarno Föhr 2020  
Oikea kuva: Biofire Oy 2020

Lappeenranta 2021

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020



## ALKUSANAT

Tämä julkaisu on Lappeenrannan-Lahden teknillisen yliopiston LUT tuottama loppuraportti tutkimushankkeelle: “Puhallus – Kiinteän biopolttoaineen uusi toimitusratkaisu ja siirrettävät lämpökontit korvaamaan öljylämmitystä”. Puhallushankkeessa tutkittiin kiinteän biopolttoaineen uutta toimitusratkaisua ja siirrettävää hakelämpökeskusta (lämpökontti), joka soveltuu muutostarpeita vaativille suurkiinteistökokoluokan lämpökeskuksille ja uutena lämmitysratkaisuna omakotitaloa suuremmissa kokoluokassa oleville kiinteistöille. Uusi toimitusratkaisu mahdollistaa hakekuorman tyhjentämisen letkulla ahtaisiin kohteisiin tai korkealle siiloon, jolloin kuorman saa purettua öljyauton tavoin.

Puhallushanke oli täysin LUT-yliopiston Bioenergian laboratorion tutkimusryhmän toteuttama tutkimushanke. Hankeen vastuullisena johtajana toimi prof. Tapio Ranta ja projektipäällikkönä DI Jarno Föhr. Hankkeen toteutukseen osallistuivat tutkimusryhmästä projektitutkijat DI Antti Karhunen ja DI Mika Laihanen sekä tutkijatohtori Raghu KC. Lisäksi toteutukseen osallistuivat diplomi-insinöörin lopputyön panoksellaan LUT-yliopiston opiskelijat Samuli Konttinen ja Perttu Palkia.

Hankkeen toteutusaika oli 1.11.2018–30.4.2021. Hanketta rahoittivat Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta ja Suur-Savon Energiasäätiö. Hankkeen yhteistyökumppaneina toimi SKAL Itä-Suomi ry, Kome Oy, Metsäenergia Meter Oy, Lämpösi Oy, Biofire Oy, Kiinteistökehitys Naistinki Oy ja Tervon Puutarha. Tutkimustyön toteuttajat kiittävät hankkeen rahoittajia työn mahdollistamisesta sekä organisaatioista mukana olleita ohjausryhmän jäseniä arvokkaasta työpanoksestaan ja aktiivisesta yhteistyöstään Puhallushankkeessa suoritettuja tutkimustoimenpiteitä kohtaan.

Mikkelissä, kesäkuu 2021

Tekijät

## TIIVISTELMÄ

**Tekijät:** Jarno Föhr, Raghu KC, Antti Karhunen, Mika Laihanen, Samuli Konttinen, Perttu Palkia & Tapio Ranta

**Otsikko:** Puhallus – Kiinteän biopolttoaineen uusi toimitusratkaisu ja siirrettävät lämpökontit korvaamaan öljylämmitystä

**Vuosi:** 2021

**Paikka:** Lappeenranta

LUT Scientific and Expertise Publications  
Tutkimusraportit – *Research Reports*, 128

96 sivua, 35 kuvaa, 10 taulukkoa

**Hakusanat:** *pneumaattinen, biomassa, logistiikka, kontti, lämmitys, öljy*

Biomassan uudella toimitusratkaisulla yhdessä siirrettävän lämpökontin avulla pystytään korvaamaan etenkin vanhoja öljylämmityskohteita ja samalla pystytään saavuttamaan kustannus- ja päästöhyötyjä Etelä-Savon maakunnan omilla biomassavarannoilla. Uudessa toimitusratkaisussa autokuormassa oleva hake puhalletaan siirrettävän lämpökontin integroituun hakevarastoon. Uusi toimituslogistiikka mahdollistaa hakekuorman tyhjentämisen letkulla ahtaisiin kohteisiin tai korkealle siiloon, jolloin kuorman saa purettua öljyauton tavoin. Toimituslogistiikan tyhjennystekniikka soveltuu myös pelleteille ja kiinteille materiaaleille kuten oljelle, kuorelle ja muille vastaaville materiaaleille.

Puhallus-hanke sisälsi toimituslogistiikan käytettävyyden analysoinnin hakkeen jakelussa lämpökeskuksille sekä toimitusratkaisun ja siirrettävien lämpökonttien markkinapotentiaalin arvioinnin. Hankkeessa selvitettiin suurimpia öljyä käyttäviä kiinteistöjä maakunnasta ja niiden muutostarpeita. Lisäksi kartoitettiin toimialan yrityksiä, jotka olisivat halukkaita yhteistyöhön ja selvitettiin potentiaalista maakunnan yhteistä haketerminaalia. Terminaalin ideana oli koota alan pk-yrityksiä tuottamaan lisäpalveluja polttoaineen jalostuksen ja toimituksen ympärille.

Hankkeessa suoritettiin myös pilottikokeita, jolloin testattiin käytännössä hakkeen puhallusta kontista eri sovelluksissa. Lisäksi hankkeessa suoritettiin energiatehokkuuden ja hiilitaseen vertailulaskelmia uuden hakkeen ja perinteisen öljyn toimitus- ja käyttöratkaisujen välillä. Lisäksi selvitettiin uuden ratkaisumenetelmän kustannuksia ja tarkasteltiin sen kilpailukykyä verrattuna nykyisiin ratkaisumeneelmiin.

## ABSTRACT

**Authors:** Jarno Föhr, Raghu KC, Antti Karhunen, Mika Laihanen, Samuli Kontinen, Perttu Palkia & Tapio Ranta

**Title:** Puhallus – An Innovative Solution for Solid Biomass Delivery and Mobile Heat Containers to Replace Oil-fired Heating

**Year:** 2021

**Place:** Lappeenranta

LUT Scientific and Expertise Publications  
Tutkimusraportit – *Research Reports*, 128

96 pages, 35 figures, 10 tables

**Keywords:** *pneumatic, biomass, logistics, container, heating, oil*

A new innovative biomass delivery solution with mobile heat containers will be able to replace traditional oil-fired heat centers and at the same time cut down costs and greenhouse gas emissions, all while using the own biomass resource of the region of South-Savo. In this new delivery solution, woodchips are blown into a heat container with integrated fuel storage. Woodchip trucks are unloaded using a large-diameter hose in the desired locations, or in tall silos like an oil tank. The unloading technique of the new delivery solution is also suitable for wood pellets and other solid biomass such as straw, bark, sawdust, and other similar materials.

The Puhallus project included the usability analysis of the new delivery logistics for the supply of wood chips and the market potential evaluation for the new delivery solution and mobile heat containers. Furthermore, the largest oil-using properties in the region were identified and their needs for change were also identified. In addition, the industry companies that were prepared for cooperation were identified and the potential common wood chip terminal of the region was investigated. The purpose of the wood chip terminal was to assemble the small and medium sized companies to generate the additional services for the refining and supply of biomass fuel.

The pilot tests were also carried out in the project that practically tested the pneumatic blowing of wood chips from the container in different applications. In addition, the energy intensity and the carbon emissions were compared between the traditional oil supply chain and the new innovative wood chip chain. Furthermore, the costs and the competitiveness of the new solution method were compared with the current solution method.

# SISÄLLYSLUETTELO

1	PUHALLUS-HANKE.....	1
1.1	Hankkeen tausta.....	1
1.2	Hankkeen tavoitteet ja kohderyhmä .....	2
1.3	Hankkeen toteutus .....	2
1.4	Tutkimusraportin rakenne.....	4
2	PUHALLUSKONSEPTIN TOIMITUSLOGISTIIKKA .....	5
2.1	Johdanto .....	5
2.2	Puhallusjärjestelmä .....	6
2.2.1	Puhallin.....	6
2.2.2	Puhalluskontti .....	8
2.2.3	Puhaltimen asennussoveltuvuus kuljetuskalustoon.....	9
2.3	Siirrettävä lämpökontti .....	10
2.4	Puhallustoimitusketju hakkeen jakelussa .....	13
2.5	Puhallustoimitusketjun SWOT-analyysi .....	14
2.5.1	Konsepti terminaalihaketusketjussa .....	14
2.5.2	Konsepti tienvarsihaketusketjussa.....	16
3	PUHALLUSKONSEPTIN MARKKINASELVITYS .....	17
3.1	Lämpöasiakkaat .....	17
3.1.1	Kohdekartoitus Etelä-Savossa .....	17
3.1.2	Vaatimukset öljylämmityksestä siirtymiselle.....	18
3.2	Muut toimijat ja sidosryhmät konseptin arvoketjussa .....	20
3.2.1	Vaatimukset hakkeen puhaltamiselle .....	20
3.2.2	Yrittäjät.....	22
3.3	Kilpailutilanne .....	24
3.3.1	Muutoksen vauhdittaminen .....	24
3.3.2	Muutoskohteen vertailu .....	25
3.3.3	Kotitalousvähennys ja avustukset muutokselle.....	27
3.3.4	Lupien tarve.....	28
4	PUHALLUSKONSEPTIN KYSELYTUTKIMUS .....	30
4.1	Kyselyn toteutus .....	30
4.2	Kyselyn tulokset .....	32
4.2.1	Hakealan yritykset.....	33
4.2.2	Kone- ja kuljetusalan yritykset.....	35
4.2.3	Lämpötoimijat .....	37
4.2.4	Öljylämmitteisten kiinteistöjen omistajat.....	39
4.2.5	Ekologisuus- ja kustannuskysymykset.....	42
5	SELVITYS ÖLJYKOHTEISTA MAAKUNNASSA JA NIIDEN MUUTOSTARPEISTA.....	44
5.1	Taustaa ja osatehtävän tavoite .....	44
5.2	Öljyn käyttö ja kohteet Etelä-Savossa .....	47
5.3	Puhalluskonseptin soveltuvuus ja potentiaalisimmat kohteet.....	52

5.4	Öljyn käytön lopettamisen haasteita.....	53
6	YHTEISTYÖSELVITYS YRITYKSISTÄ JA MAAKUNNAN YHTEINEN HAKETERMINAALI.....	55
6.1	Johdanto.....	55
6.2	Tulokset.....	55
6.2.1	Kuljetusyrittäjät.....	55
6.2.2	Lämpö- ja hakeyrittäjät.....	56
6.2.3	Toimintavolyymi ja kustannukset.....	57
6.3	Maakunnan yhteinen haketerminaali.....	58
7	PILOTTIKOKEET VAAHVIKASTAMAAN KONSEPTIN KÄYTTÖÖNOTTOA.....	61
7.1	Puhallustestit.....	61
7.2	Testien toteutus.....	63
7.2.1	Materiaalit.....	63
7.2.2	Menetelmät.....	63
7.3	Testien tulokset.....	65
7.3.1	Hakkeen laatu.....	65
7.3.2	Kierrosnopeus ja tilavuusvirta.....	66
7.3.3	Lastun nopeus.....	67
7.3.4	Melu.....	67
7.4	Tuloksien analysointi ja johtopäätökset.....	68
8	ENERGIATEHOKKUUDEN JA VÄHÄHIILISYYDEN TARKASTELU.....	71
8.1	Johdanto.....	71
8.2	Elinkaariarviointi.....	72
8.3	Materiaalit ja menetelmät.....	73
8.3.1	Tutkimuksen tavoite.....	73
8.3.2	Logistiset skenaariot.....	73
8.3.3	Inventaarioanalyysi.....	74
8.4	Tulokset.....	75
8.4.1	Kasvihuonekaasupäästöjen vertailu.....	75
8.4.2	Kasvihuonekaasupäästöjen suhteelliset osuudet.....	76
8.4.3	Herkkyysanalyysi.....	77
8.5	Johtopäätökset.....	78
9	LÄMPÖKONTIN INVESTOINNIT JA KUSTANNUKSET.....	80
9.1	Johdanto.....	80
9.2	Menetelmät.....	80
9.2.1	Lähtökohta.....	80
9.2.2	Hakkeen toimitusketju siirrettävälle lämpökontille.....	81
9.2.3	Polttoainehinnat.....	82
9.2.4	Kustannuslaskenta.....	82
9.2.5	Herkkyysanalyysit.....	83
9.3	Tulokset.....	83
9.3.1	Puuhakkeen hinta.....	83
9.3.2	Perusskenaariot.....	83
9.3.3	Herkkyysanalyysit.....	84

9.4	Loppukeskustelu .....	87
10	PUHALLUS-HANKKEEN LOPPUPÄÄTELMÄT.....	89
10.1	Hankkeella saavutettiin.....	89
10.2	Hankkeen tuottama lisäarvo .....	90
10.3	Suositukset jatkotoimille .....	91

LÄHTEET92





# 1 PUHALLUS-HANKE

## 1.1 Hankkeen tausta

Suomessa on vielä paljon kiinteistöjä, joissa käytetään fossiilista öljylämmitys-  
muotoa, joka aiheuttaa päästöjä ilmakehään. Euroopan komissio esitti marras-  
kuussa 2018 visionsa ilmastoneutraalista EU:sta, jossa talouden kasvihuonekaasu-  
jen nettopäästöt ovat nolla vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio 2018).  
Lisäksi Sanna Marinin hallitus on asettanut tavoitteeksi, että Suomi on hiilineu-  
traali 2035 ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Nykyisen ilmastolain tavoitteena  
on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 80 prosenttia vuoteen 2050 men-  
nessä verrattuna vuoteen 1990. (Ympäristöministeriö 2020) Öljylämmitteisten  
kiinteistöjen lämmitysmuotojen korvaamisessa kannattaa huomioida uusiutuvan  
energian hajautettu paikallinen tuotanto, jolloin pyritään käyttämään paikallisia  
energiälähteitä. Lisäksi korvattava lämmitysmuoto on saatava vaivattomasti ja  
kustannustehokkaasti muutettua uusiutuvan energian lämmitysratkaisuille.

LUT-yliopiston Bioenergian laboratorion tutkimusryhmän toteuttamassa Puhallus-  
hankkeessa tarkasteltiin lämpöteholtaan 60–900 kW kohteita, joihin kuului  
lukuisia öljyä käyttäviä kiinteistöjä. Hankkeessa tarkasteltiin menetelmää, jolla  
voidaan edistää merkittävästi öljyä korvaavien pienten hakelämmitysjärjestelmien  
toteutumista. Menetelmä on ollut jo käytössä Keski-Euroopassa, mutta Suomessa  
sitä ei ollut vielä testattu. Menetelmä perustui hyvälaatuiseen hakkeeseen, uuteen  
kuljetuslogistiikkaan ja lämpökonttiin. Hakkeen purkulaitteisto, puhallin, oli pa-  
tentoitu Ranskassa ja tässä teknologiaratkaisussa hake puhallettiin muoviletkeä  
pitkin kuljetusajoneuvosta suoraan lämpökontin integroituun hakevarastoon.

Puhallus-hankkeen todellinen tarve oli lähtenyt liikkeelle yrityksiltä, jotka halusivat  
kehittää uutta toimitus- ja käyttöratkaisua biomassalle. Hankkeella oli saatavilla  
hakepuhallin, jonka oli hankkinut ja edelleen kehittänyt Lämpösi Oy. Puhallin  
oli käytettävissä hankkeen pilottikokeisiin. Suomen markkinoilta löytyy myös  
paljon toimivia lämpökontteja, joita on kuljetuksen jälkeen asennettu toimintakun-  
toon vain muutamissa tunneissa.

## **1.2 Hankkeen tavoitteet ja kohderyhmä**

Puhallus-hankkeen tavoitteena oli erityisesti edistää hakelämmitystä suurkiinteistöissä ja pienillä lämpölaitoksilla parantamalla hakkeen toimitus- ja käyttöketjun kokonaiskannattavuutta. Hakepuhaltimella tavoiteltiin investointikustannussäästöjä korvattaessa öljykäyttöiset lämpökeskukset siirrettävillä lämpökonteilla. Menetelmässä lämpökontiin on integroitu hakevarasto, jolloin ei tarvitse investoida erilliseen polttoainevarastoon. Siirrettävän lämpökontin pienempi investointikustannus voi madaltaa monen lämpöasiakkaan kynnyksestä siirtyä öljylämmityksestä hakelämmitykseen.

Hankkeen pyrkimyksenä oli tunnistaa kiinteän biopolttoaineen uuden toimitusratkaisun ja siihen yhteydessä olevan lämpökontin arvoketjuun liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia. Uusi menetelmä tulee toivottavasti edistämään tulevaisuuden kehitystä, joka vähentää energiantuotannon päästöjä ja lisää energiaomavaraisuutta Etelä-Savon maakunnassa. Arvoketjuun perustuva liiketoiminnan on suunniteltu käynnistyvän tulevaisuudessa yhteistyössä paikallisten hake-, kuljetus- ja lämpöyrittäjien kanssa.

Hankkeen kohderyhmänä ovat alueen energian tuottajat sekä energiaa käyttävät kohteet, joilla on päivitystä tai muutosta vaativa energiantuotantoratkaisu ja johon uusi hakkeen toimitus- ja lämpökonttiratkaisu voisi olla sovelias vaihtoehto korvaten fossiilisen energiaratkaisun. Hankkeen välillisinä kohderyhminä ovat kiinteän biopolttoaineen valmistajat ja toimittajat, lämpökeskus- ja kattilavalmistajat, logistiikan parissa toimivat kuljetusyrittäjät ja kuorma-autojen päällirakenteiden valmistajat. Lisäksi välillistä kohderyhmää ovat muut palveluntarjoajat ja -tuottajat kuten viherrakentajat ja marjantuottajat.

## **1.3 Hankkeen toteutus**

Puhallus-hankkeen toteutus oli jaettu kuuteen eri toimenpideoosioon:

## 1. Toimituslogistiikan suunnittelu ja konseptin markkinaselvitys

Toteutettiin logistiikan suunnittelu uudelle puhallustoimitusketjulle hakkeen toimituslogistiikassa. Toimituslogistiikkaa arvioitiin myös SWOT-analyysin avulla. Lisäksi toteutettiin markkinaselvitys, jonka avulla arvioitiin koko konseptin markkinapotentiaalia. Markkinaselvityksen tueksi järjestettiin myös kyselytutkimus.

## 2. Selvitys öljykohteista maakunnassa ja niiden muutostarpeista

Selvitettiin öljyä käyttäviä kiinteistöjä maakunnasta ja niiden muutostarpeita. Tavoitteena oli kartoittaa Etelä-Savon alueen öljyn käyttäjät käyttäjäryhmittäin. Lisäksi kartoitettiin syyt ja hidasteet, mitkä estivät öljyn käytön lopettamista.

## 3. Yhteistyöselvitys yrityksistä ja maakunnan yhteinen haketerminaali

Kartoitettiin sopivia hake-, kuljetus- ja lämpöyrittäjiä hoitamaan hakkeen toimitus- ja lämpöliiketoimintaa maakunnassa. Lisäksi selvitettiin potentiaalista maakunnan yhteistä haketerminaalia, jonka ideana oli koota alan pk-yrityksiä yhteistyöhön sekä tuottaa lisäpalveluja polttoaineen jalostukselle ja toimitukselle.

## 4. Pilottikokeet vahvistamaan konseptin käyttöönottoa

Toteutettiin pilottikokeita, joissa testattiin käytännössä hakkeen puhallusta kontista. Tarkoituksena oli kehittää ja mitata puhallustekniikan toimintavarmuutta. Lisäksi selvitettiin hakepuhaltimen asennussoveltuvuutta paikallisten kuljetusyrittäjien kalustoihin pilottikokeiluiden aikana.

## 5. Energiatehokkuuden ja vähähiilisuuden tarkastelu

Puhallustoimitusketjusta ja muista vaihtoehtoisista polttoaineiden toimitusketjuista suoritettiin selvitykset kasvihuonekaasupäästöistä ja hiilijalanjäljistä koko toimituksen elinkaaren ajalta. Tähän toimenpiteeseen sisällytettiin myös erillisiä laskelmia uuden konseptin investoinneista ja kustannuksista.

## 6. Raportointi

Hankkeesta ja sen tuloksista raportoitiin ja tiedotettiin monimuotoisesti hankesuunnitelman mukaisesti. Tämä tutkimusraportti on yksi hankkeen raportoinnin tuotoksista.

### 1.4 Tutkimusraportin rakenne

Tämä tutkimusraportti on “Puhallus – Kiinteän biopolttoaineen uusi toimitusratkaisu ja siirrettävät lämpökontit korvaamaan öljylämmitystä” –hankkeen loppujulkaisu, jonka on koostanut LUT-yliopiston Bioenergian laboratorion tutkimusryhmä. Tutkimusraportissa käsiteltiin Puhallus-hankkeen toimenpideoitoja omina artikkeleinaan hankesuunnitelman mukaisesti ja ne muodostivat yhdessä kattavan analyysin koko konseptin mahdollisuuksista korvata fossiilista öljylämmitystä. Kuitenkin hankkeen ensimmäinen ja viides toimenpideoito oli jaettu useampaan eri artikkeliosioon johtuen niiden laajoista tutkimusosioista. Koko tutkimusraportin rakenne koostui kahdeksasta erillisestä artikkelista, joiden kirjoittajina olivat Puhallus-hankkeessa työskennelleet tutkijat.

Hankkeessa tuotettiin myös kaksi diplomi-insinöörin lopputyötä LUT-yliopiston opiskelijoille. Opiskelija Perttu Palkian DI-työstä oli koottu keskeisimmät tulokset tämän tutkimusraportin ensimmäiseen artikkeliin *Toimituslogistiikan suunnittelu*, jossa hän arvioi puhallustoimitusketjua SWOT-analyysin kannalta. Palkian DI-työ on nimeltään *Haketerminaalikonsepti Etelä-Savossa ja siihen integroitu uusi puhallustoimitusketju* (Palkia 2020). Puolestaan opiskelija Samuli Konttisen DI-työn keskeisimmät tulokset koottiin tämän tutkimusraportin toiseen ja kolmanteen artikkeliin. Artikkelissa *Puhalluskonseptin markkinaselvitys* hän arvioi koko konseptin markkinapotentiaalia. Lisäksi artikkelissa *Puhalluskonseptin kyselytutkimus* hän toteutti kyselytutkimuksen potentiaalisille toimijoille koko konseptin arvoketjun parista. Konttisen DI-työ on nimeltään *Markkinaselvitys ja kyselytutkimus hakkeen puhallustoimitusketjulle ja siirrettävälle lämpökontille* (Konttinen 2020).

## 2 PUHALLUSKONSEPTIN TOIMITUSLOGISTIIKKA

Toimenpideo시오 1

*Jarno Föhr, Perttu Palkia & Tapio Ranta*

### 2.1 Johdanto

Puuhakkeen käyttö polttoaineena kohtaa monia lisähaasteita hajautetussa energi-  
antuotannossa, kun sitä verrataan muihin vaihtoehtoisiiin polttoaineisiin. Lisähaas-  
teita aiheuttavat mm. suuri varastotilan tarve ja hakkeen käsittely. Lisäksi hakkeen  
kosteuspitoisuus on sään vaihteluille altis ja se vaikuttaa koko lämmitysjärjestel-  
män tehokkuuteen, puhumattakaan varastotilan vaatimuksista kuivalle polttoai-  
neelle. Tyypillisesti suurin osa metsähakkeesta kuljetetaan täysperävaunuyhdis-  
telmillä suurille voima- ja lämpölaitoksille, joten pienempi muotoisempi metsä-  
hakkeen kuljetus esim. pelkällä kuorma-auton nuppiikuljetuksella ei ole niin yleis-  
tä Suomessa johtuen pitkistä kuljetusmatkoista. Tämän takia monet kotitaloudet  
käyttävät muita polttoaineita lämmityksessään. (Rentizelas et al. 2009) Taulukos-  
sa 1 on esitetty perinteisellä täysperävaunuyhdistelmällä ja pelkällä kuorma-  
autolla suoritettujen hakekuljetuksien edut ja haitat.

**Taulukko 1** Hakekuljetuksien edut ja haitat täysperävaunuyhdistelmällä ja  
kuorma-auton nupilla.

	<b>Hyödyt</b>	<b>Haitat</b>
<b>Täysperävaunuyhdistelmä</b>	+ Suuri tilavuuskapasiteetti + Vähäiset kuljetusmäärät + Pienet kuljetuskustannukset + Pitkille kuljetusmatkoille	- Laaja lastaus-/purkutila - Hidas lastaus/purku
<b>Kuorma-auto</b>	+ Pieni lastaus-/purkutila + Nopea lastaus/purku	- Pieni tilavuuskapasiteetti - Suuret kuljetusmäärät - Isot kuljetuskustannukset - Lyhyille kuljetusmatkoille

Uudessa toimituslogistiikkaratkaisussa hake puhalletaan pneumaattisesti polttoai-  
nevarastoon. Hakeauto tyhjennetään käyttämällä hakepuhallinta, joka on asennet-  
tu kiinteästi kiinni hakekonttiin. Hakepuhaltimesta hake siirtyy pneumaattisesti

letkulla vaikeampiin polttoaineen purkukohteisiin kuten ahtaisiin kohteisiin tai korkealle siiloon. Tyhjennys tapahtuu käytännössä öljyauton tavoin ja tätä puhallustekniikkaa hyödyntämällä vältetään polttoaineen maassa käsittelyt sekä laajan tilan tarve. Tyhjennystapa ei myöskään aiheuta likaantumista ja pölyämistä, kun hake virtaa letkua pitkin suljettuun polttoainevarastoon. Näillä parannuksilla pneumaattinen puhallus tarjoaa tarvittavan ratkaisun pienemmän kokoluokan hakekuljetuksille. Uusi tyhjennystekniikka soveltuu myös pelleteille ja kiinteille materiaaleille kuten oljelle, kuorelle ja muille vastaaville materiaaleille.

Toimenpideosiossa tutkittiin uuden puhalluskonseptin toimituslogistiikkaa ja esiteltiin siirrettävien lämpökonttien teknologiaa. Pää tarkoituksena oli suunnitella puhalluskonseptin toimituslogistiikka soveltumaan hakkeen jakelulle ja lisäksi arvioitiin toimituslogistiikan potentiaalia SWOT-analyysin avulla. Analyysissä selvitettiin toimituslogistiikan vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Tällöin saatiin selville toimituslogistiikan kokonaispotentiaali hakkeen jakelussa. Muutoinkin toimenpideosiossa keskityttiin tarkastelemaan hakkeen jakelua pienen kokoluokan kuljetuksissa, kuten toimittaessa kuorma-autolla.

## **2.2 Puhallusjärjestelmä**

### **2.2.1 Puhallin**

Uutta pneumaattista puhallinta voidaan käyttää myös muissa käyttökohteissa kuin pelkästään puuhakkeen toimituslogistiikassa. Soveltuvia kohteita voivat olla vaikkapa maisemointi- tai viherrakentaminen, joissa voidaan puhalltaa katemateriaaleja alustoiksi tai kasvatusalueille rikkaruohon torjuntaan. Lisäksi hevostalleilla tai maatiloilla voidaan puhalltaa kuivikkeita. Sahanpurua ja muita biomassan sivutuotteita voidaan levittää kuntoiluväylille luonnon keskellä ja lumivarastoja voidaan täyttää laskettelukeskuksissa seuraavia sesonkikaudia varten. Puhaltimia voidaan käyttää myös puhallusvillan levittämiseen rakennustyömailla. (Lämpösi Oy 2020)

Ranskalainen yritys Romanet Sarl on patentoinut tämän hakepuhaltimen, joka soveltuu kiinteään biomassan toimitusjärjestelmille. Ensimmäinen hakepuhallin kehitettiin yhtiön kotipajassa vuonna 2007 (Romanet Sarl 2020). Kuitenkin suo-

malainen yritys Lämpösi Oy on pyrkinyt hyödyntämään puhallinratkaisua ja lisensoinut sen valmistuksen Suomeen (Lämpösi Oy 2020). Tällöin hakepuhaltimia on valmistettu myös Suomessa vuoden 2020 alusta lähtien.

Nykyään hakepuhaltimia valmistetaan neljässä eri kokoluokassa riippuen turbiinin siipien halkaisijasta: JYJ400, JYJ500, JYJ600 ja JYJ700. Laitteiston puhalluskapasiteetti vaihtelee puhallinmallista ja materiaalista riippuen (taulukko 2). Puhalluskapasiteetti on noin 0,3–1,2 m<sup>3</sup>/min puuhakkeella ja 5–15 t/h puupelleteillä (Romanet Sarl 2020). Hakkeen puhallusmatka voi olla 15–40 metriä, joten haketta voidaan puhaltaa joustavasti erilaisiin varastoihin ja siiloihin. Puhaltimien ilmavirran suunnan voi myös vaihtoehtoisesti muuttaa toiseen suuntaan, jolloin letkulla pystytään imemään haketta.

**Taulukko 2** Kapasiteettitietoja malleille JYJ400–JYJ700 (Romanet Sarl 2020).

	Puhallus- matka (m)	Kapasiteetti, puuhake (m <sup>3</sup> /min)	Kapasiteetti, pelletti (t/h)
JYJ400	>15	0,3–0,6	5–6
JYJ500	>20	0,5–0,7	8–10
JYJ600	<40	0,6–1,0	8–12
JYJ700	<40	0,8–1,2	10–15

Normaalisti pienemmät puhallinmallit, kuten JYJ400 ja JYJ500, saavat käyttövoimansa sähkömoottorista (kuva 1). Vaihtoehtoisesti pieniä puhaltimia voidaan pyörittää polttomoottorin avulla. Pienet puhaltimet ovat normaalisti käsin liikuteltavia ja ne soveltuvat biomassan levitykseen erityisesti maisemointi- ja maatalatarkoituksissa. Tavallisesti levitettäviä materiaaleja ovat erilaiset kuivikkeet, rehut ja lannoitteet. Vastaavasti suuremmat puhallinmallit, kuten JYJ600 ja JYJ700, saavat käyttövoimansa ajoneuvon hydraulijärjestelmästä. Hakepuhallin voidaan asentaa myös kahden seinämän väliin kuljetuskontin purku-/peräpäässä. Tällöin ulompi seinämä suojaa puhallinta ulkoisilta kolhuilta ja vähentää samalla turpiinin tuottamaa melua. Puhallinmalli JYJ600 oli saatavilla myös Puhallus-hankkeen pneumaattisiin puhallustesteihin vuosien 2019–2020 aikana (kuva 2).





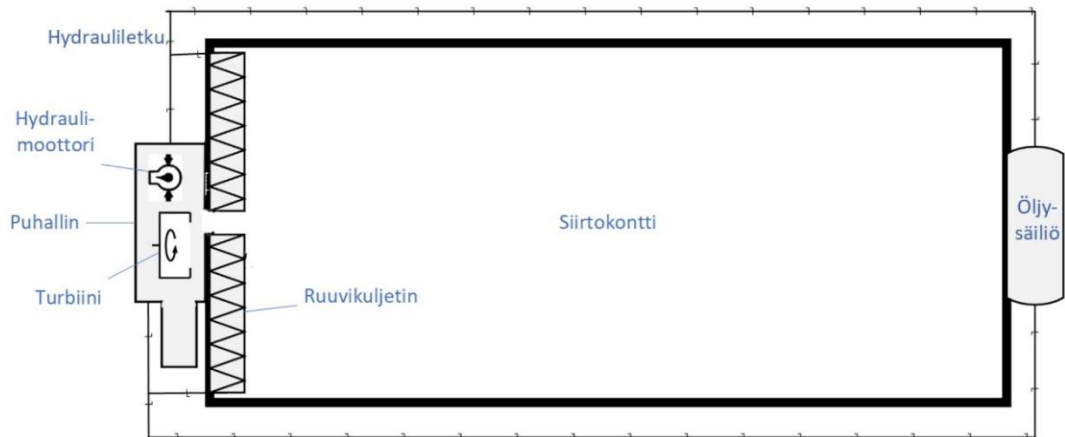
**Kuvat 1 ja 2** Vasemmalla on käsin liikuteltava JYJ500 ja oikealla kuorma-auton hydraulikkajärjestelmään asennettu JYJ600.

Puupellettien puhaltamisessa käytetään hieman toisenlaista puhallinta, joka ei riko pellettien rakennetta puhallettaessa niitä. Tyypillisesti pellettejä kuljetetaan painavissa suursäkeissä (1 m<sup>3</sup>), joita joudutaan nostelemaan. Tällöin puhallinteknologia toisi lisäarvoa pellettien toimitusketjuun, jolloin voitaisiin mahdollisesti poistaa nosturi ajoneuvosta.

### **2.2.2 Puhalluskontti**

Pneumaattisissa puhalluksissa käytettävä hakekontti voi olla normaali kuorma-autoalustainen siirtokontti, johon on asennettu hakepuhallin peräosaan (kuva 2). Hakepuhaltimen läpivienti hakkeen syötölle on tehty kontin peräseinän alaosaan. Itse peräseinä on 30 asteen kulmassa verrattuna teoreettiseen pystysuoraan seinään. Pneumaattisen hakepuhalluksen pääperiaate konttityhjennyksessä perustuu siihen, että kuorma-auto nostaa kipin pystyyn ja hake valuu kontin peräseinälle, mahdollistaen hakkeen kulkemisen puhaltimen ruuvikuljettimille. Ruuvikuljettimet siirtävät hakkeen puhaltimen turbiinille, joka puhaltaa hakkeen voimalla letkua pitkin ulos kontista.

Kuvassa 3 on esitelty yksinkertainen kaaviokuva kuorma-auton hydraulikkajärjestelmästä, johon hakepuhallin ja siirtokontti ovat liitettynä. Kuvasta puuttuu ainoastaan kuorma-auton moottorilta voimansa saava hydraulipumppu, joka aiheuttaa öljyn virtauksen hydraulikkajärjestelmässä.



**Kuva 3** Hakepuhallin ja siirtokontti liitettyinä kuorma-auton hydraulikkajärjestelmään.

Hydraulikkajärjestelmässä pääperiaate on, että puhaltimen turbiini saa pyörivän liike-energiansa hydraulimoottorista, joka on myös asennettuna puhaltimen yhteyteen. Hydraulimoottori on yhdistetty öljynvirtauksen suuntaventtiilien ja hydrauliletkujen välityksellä kuorma-auton öljysäiliöön. Öljysäiliö sijaitsee normaalisti kiinteästi kuorma-autossa, esim. rungon vieressä tai hytin takana.

### 2.2.3 Puhaltimen asennussoveltuvuus kuljetuskalustoon

Hakepuhallin on asennettavissa tyypillisimpiin Suomessa käytettäviin kuorma-autoihin, joissa on itsessään hydraulikkajärjestelmä. Hydraulikkajärjestelmän päällimmäisenä ideana on tuottaa tehonsiirtoa nesteen paineen ja virtauksen avulla. Tämän ansiosta hydraulikalla voidaan tuottaa suuria voimia laitteiston avulla. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty Puhallus-hankkeen pilottitesteihin osallistuneen kuorma-auton hydraulikkajärjestelmän osia ja laitteita. Huomion arvoista on, että myös kuorma-auton kippilaitteisto käyttää samaa hydraulikkajärjestelmää hyödyksi, joten kippilaitteisto vie pystyasennossa ollessaan tehoja järjestelmästä.



**Kuvat 4 ja 5** Vasemmalla hakepuhaltimesta lähteviä hydrauliletkuja ja oikealla hytin takana oleva öljysäiliö.

Hydrauliikkajärjestelmän olemassaolo on tärkein vaatimus kuorma-autolle, jos siihen asennetaan hakepuhallin. Puhallin ei toimi ilman soveliaista hydrauliikkaa kuorma-autossa. Toisena vaatimuksena on hakkeen sujuva kulkeutuminen puhaltimen ruuvikuljettimille. Kippilava-autossa asia hoituu nostamalla hydrauliikalla toimiva kippi pystyyn. Ketjupurkuautossa haketta olisi mahdollista kuljettaa ruuvikuljettimille lattialla liikkuvan ketjun avulla, joka myös toimii hydrauliikalla kuorma-autoissa.

Kuorma-autoa hankittaessa on oltava tietoinen hydrauliikkajärjestelmän paineesta ja hydraulipumpun tehosta. Nämä seikat tulee huomioida valittaessa kuorma-autoa käyttötarkoituksen mukaan. Tärkeää on, että kuorma-auton ominaisuudet ja hakepuhaltimen toimintaperiaatteet sopivat yhteen. Puhallus-hankkeen pilottitestien osallistuneen kuorma-auton hydrauliöljyn virtausnopeus oli 120 l/min ja järjestelmän öljynpaine 160 bar. Nämä seikat vaaditaan hakepuhaltimen toimimiseksi perustasolla. Kuitenkin puhaltimen kehittäjän Romanet Sarlin (2020) mukaan puhallinmallin JYJ600 optimikierrokset saavutetaan kuorma-auton järjestelmän 250 baarin paineella. Tässä tapauksessa pilottitestien kuorma-autolla ei saavuteta aivan kyseisen puhallinmallin optimikierroksia. (Miettinen 2020a)

### 2.3 Siirrettävä lämpökontti

Puhallus-hankkeessa tarkasteltiin siirrettävien lämpökonttien teknologiaa erityisesti suomalaisen Biofire Oy:n kannalta. Yritys valmistaa ja toimittaa bioenergiaa

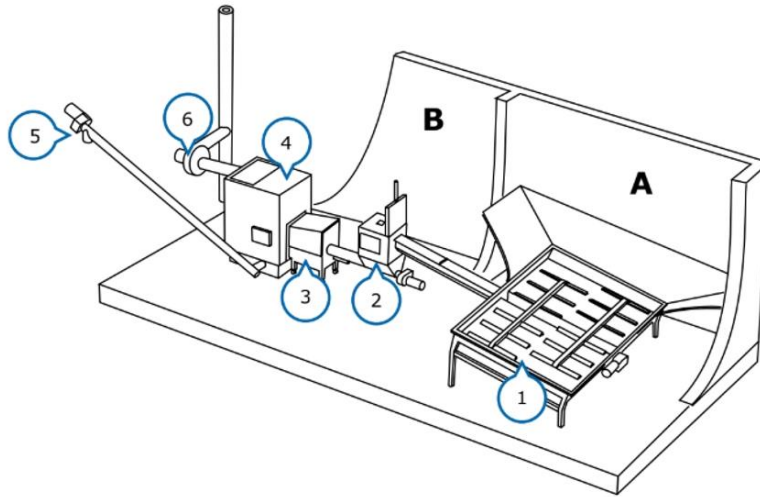
polttoaineena käyttäviä lämpökeskuksia ja tähän kategoriaan kuuluvat myös siirrettävät lämpökontit (kuva 6). Käyttövalmiit lämpökontit sisältävät itsessään polttoainevaraston kattilatehon kokoluokassa 60–150 kW. Tällöin yksittäinen pienemmän kattilatehon kokoluokan siirrettävä lämpökontti pitää sisällään sekä kattilahuoneen että polttoainevaraston (kuva 7). Suuremmassa kattilatehon kokoluokassa, aina 500 kW:iin asti, toimitaan kahdella erillisellä kontilla. Tällöin toisessa kontissa on kattilahuone ja toisessa polttoainevarasto. Biofire Oy toimittaa siirrettäviä lämpökontteja kattilatehon kokoluokassa 60–500 kW, jolloin maksimi teho soveltuu vielä eurooppalaisen standardin CEN - EN 303-5 (2012) testausvaatimukseen. (Biofire Oy 2020)



**Kuvat 6 ja 7** Vasemmalla siirrettävä lämpökontti kattilatehon kokoluokassa 60–150 kW ja oikealla kattilahuone kattilateholla 120 kW (Biofire Oy)

Kuvassa 8 on esitelty siirrettävän lämpökontin kaaviokuva. Kyseessä on pienemmän kattilatehon kokoluokan lämpökontti, joka on jaettu polttoainevarastoon (A) ja kattilahuoneeseen (B). Varasto-osassa on myös hydraulisesti avattava katto mahdollista päältä täyttöä varten. Polttoainevaraston pohjalla oleva teräksinen pohjapurkain (1) on varustettu hydraulitoimisilla tankopurkaimilla. Tankopurkaimet vetävät polttoaineen varaston keskelle kuljetinruuville. Kourukuljetin vie polttoaineen välisäiliöön (2), joka on varustettu hydraulisesti toimivalla sulkulukulla. Välisäiliön pintaa valvotaan ultraäänianturilla. Polttoainetta syötetään välisäiliöstä ruuvikuljettimella polttimen (3) palopäähän. Palaminen tapahtuu palopäässä ja liekki johtuu kattilan (4) sisälle. Automaatio säättää palotapahtumaa portaattomasti. Polttoaineen syöttö ja palamisilmapuhaltimet reagoivat tehotarpeen vaihteluihin. Palamisilmaa hallitaan ilmavirtasäätimien ja LAMBDA-mittauksen avulla. Lämpö siirtyy kattilan konvektiopinnoista kattilaveteen. Loppuun palanut

polttoaine työntyy hydraulisesti liikkuvan arinakoneikon avulla tuhkana kattilan tuhkatilaan. Tuhka kuljetetaan ruuvikuljettimilla (5) kontin ulkopuolelle tuhka-astiaan. Alipaineohjattu savukaasuimuri (6) pitää kattilan alipaineen eli vedon haluttuna, mahdollistaen laajan tehoalueen käytön. (Biofire Oy 2020)



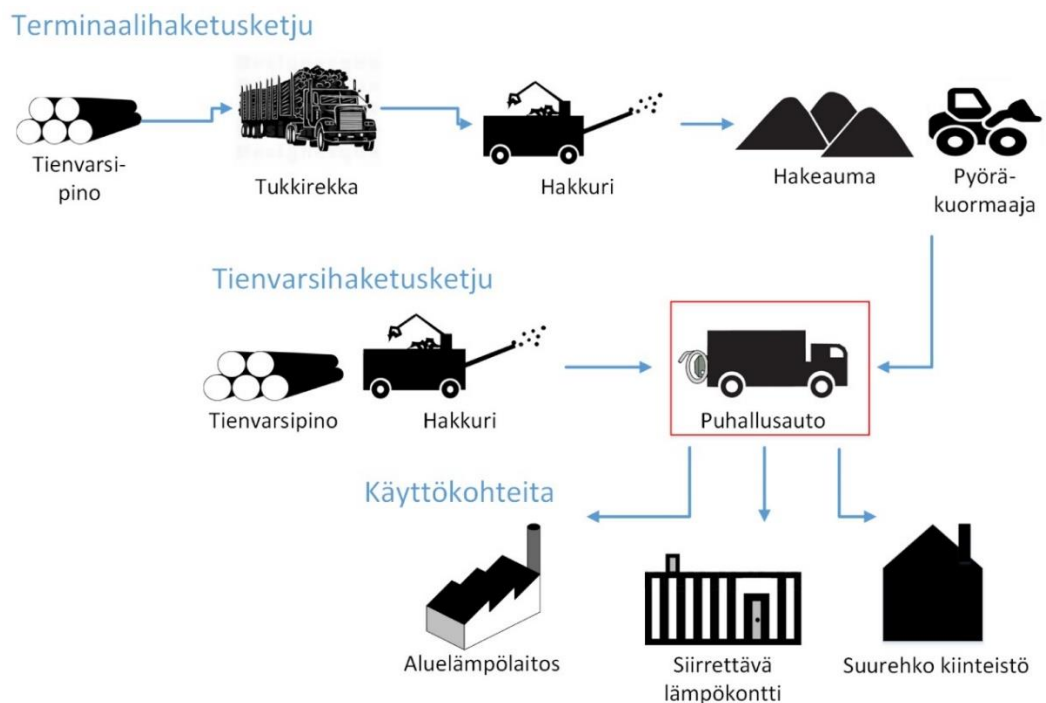
**Kuva 8** Kaaviokuva lämpökontin sisältä: A = polttoainevarasto, B = kattilahuone, 1 = pohjapurkain, 2 = välisäiliö, 3 = poltin, 4 = kattila, 5 = tuhkanpoisto, 6 = savukaasuimuri (Biofire Oy 2020).

Siirrettävät lämpökontit ovat soveltuvia lämmittämään suurempia omakotitaloja ja teollisuusrakennuksia, joissa on aiheellista korvata vanha öljylämmitysjärjestelmä uudella lämmitysratkaisulla. Lämpökontit soveltuvat myös uudiskohteiden lämmitysratkaisuksi. Biofire Oy on toimittanut energiantuotantomarkkinoille jo lukuisia siirrettäviä lämpökontteja.

Siirrettäviä lämpökontteja on kuljetuksen jälkeen asennettu toimintakuntoon vain muutamissa tunneissa. Ennalta kontin perustaksi on valettu tasainen laatta ja paikalle on asennettu lämmönsiirtokanaalit, vesijohto ja sähköt. Tällöin siirrettäviä lämpökontteja voi etukäteen rakentaa toimituskuntoon valmistustehtaalla (Biofire Oy 2020). Toisaalta lämpökontin voi teknisesti perustaa yksinkertaisimmin sora-vedille tai siirrettäville betonipalkeille. Tämä on yksi siirrettävien lämpökonttien kustannuseduista. Toki betonilaatta on aina tukevampi pohjaratkaisu ja paikalliset olosuhteet on otettava huomioon.

## 2.4 Puhallustoimitusketju hakkeen jakelussa

Puhalluskonsepti vaatii todella paljon koko hakkeen toimitusketjulta, jotta se saadaan toimivaksi ratkaisuksi. Toimitusketjussa polttoaineen hankinta alkaa aina metsäpäältä ja sen toimitus päättyy loppuasiakkaille. Puhalluskonseptin lähtökohdiana on, että toimitusketjussa käytetään korkealaatuista puupolttoainetta, jota hankitaan paikallisilta polttoainetoimittajilta. Puhalluskonsepti on yhdistettävissä kahden vaihtoehtoiseen puuhakkeen toimitusketjuun, jotka ovat terminaalihaketusketju tai tienvarsihaketusketju (kuva 9). Puhalluskonseptin ja hakkeen toimitusketjujen integraation ansiosta muodostuu uusi hakkeen toimitusketju, jota voidaan kutsua puhallustoimitusketjuksi.



**Kuva 9** Puhalluskonseptin integroituminen nykypäivän hakkeen toimitusketjuihin.

Puhallustoimitusketju alkaa karsitun rangan hankkimisella tienvarresta. Riippuen haketusketjusta, rankojen haketus tapahtuu joko tienvarressa suoraan puhallusautoon tai terminaalissa varastoamaan kaukokuljetuksen jälkeen. Terminaalihaketus sisältää yhden ylimääräisen työvaiheen, lastauksen pyöräkuormaajalla, kun sitä verrataan suoraan tienvarressa tapahtuvaan haketukseen. Tämän jälkeen hakkeet kuljetetaan puhallusautolla määränpään, jossa ne puhalletaan letkulla asi-

akkaan polttoainevarastoon. Normaalisti toimituskohteena voi olla aluelämpölaitos, suurehko kiinteistö tai tässä tarkastelussa oleva siirrettävä lämpökontti. Näistä kaksi viimeistä toimituskohdetta sijaitsevat tyypillisesti vaikeasti päästävässä tai ahtaissa kohteissa, joissa ei voida järkevästi purkaa normaalia hakerekkää.

## **2.5 Puhallustoimitusketjun SWOT-analyysi**

Puhallustoimitusketjusta arvioitiin vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Yksinkertaistamisen vuoksi nämä asiat esiteltiin lähinnä hyvinä ja huonoina puolina sekä terminaali- että tienvarsihaketusketjun osalta. Tällöin saatiin selkeä kuva siitä, että missä tilanteessa koko puhallustoimitusketju on terminaali- ja tienvarsihaketusketjujen osalta.

Puhallustoimitusketjussa haketta voidaan jakaa hyvin samalla tavalla kuin polttoöljyäkin. Joustava letku mahdollistaa puuhakkeen jakelun ahtaista oviaukoista aina siilojen yläkertaan asti. Lisäksi on mahdollista purkaa hakekuorma vain osittain, joka mahdollistaa jakeluketjun optimaalisemman suunnittelun, vähentää polttoaineen käyttöä ja optimoi paremmin ajankäyttöä. Enää ei ole pakko kipata koko kuormaa kerralla purkupaikalle. Tämä mahdollistaa hakkeen jakamisen useaan eri kohteeseen.

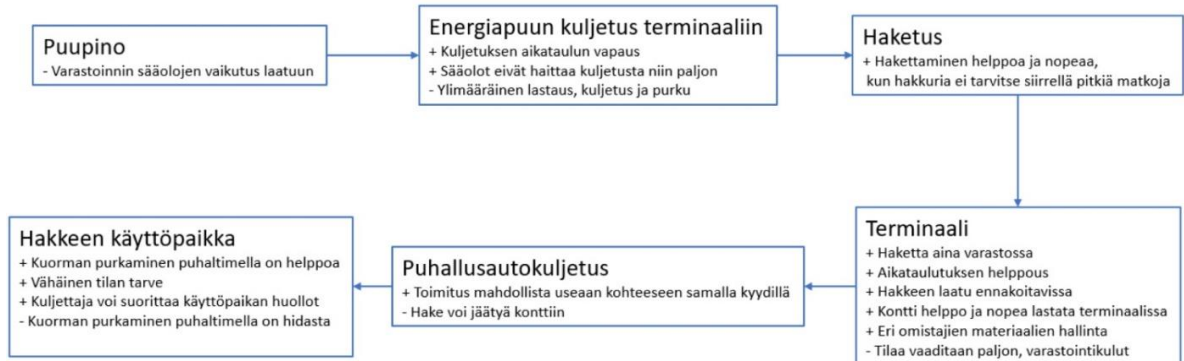
Toimitusketjun alkuun saattamisessa haasteena on ainakin puuhakkeen vähäinen käyttö, joka hankaloittaa jakeluketjun optimointia. Tämä tulee alkuvaiheessa pienentämään mahdollisia ketjussa syntyviä säästöjä, joita puhallustoimitusketju parhaimmillaan pystyy tarjoamaan. Talviset olosuhteet voivat myös aiheuttaa haasteita kuljetuksille, jos metsäautotiet eivät kannata raskaita ajoneuvoja.

### **2.5.1 *Konsepti terminaalihaketusketjussa***

Terminaalihaketusketju alkaa puupinolta. Rankapuun kuljetusvaiheessa hyvä puoli on kuljetuksen aikataulullinen vapaus, joka vähentää olosuhteiden aiheuttamaa epävarmuutta. Voidaan kuljettaa puutavaraa pakkasilla, kun tiepohjat kantavat raskasta kalustoa. Selkeä huono puoli on ylimääräinen lastaus-, kuljetus- ja purkuvaihe, jotka lisäävät polttoainekuluja.

Terminaalissa hakettaminen on vaivatonta, koska kalustoa ei tarvitse siirrellä pitkiä matkoja, ainoastaan terminaalialueella. Koska terminaalilla on mahdollista säilyttää tarvikkeita ja työkaluja, niin myös huoltotoimenpiteet ovat helposti organisoitavissa. Terminaalissa haketta on aina varastossa riippumatta olosuhteista. Lähtevien kuormien aikataulut on joustavaa, hakkeen laatu on paremmin ennakoitavissa ja puhallusauto on helppo ja nopea lastata terminaalissa. Myös eri materiaalien, joilla on useampi omistaja, hallinta on keskitetysti yhdessä paikassa.

Puhallusautokuljetuksen ongelmana voi olla hakkeen jäätyminen erityisesti metalliseen konttiin, jos se lastataan jo edellisenä päivänä. Tätä voidaan toki estää lastaamalla haketta aina juuri ennen toimitusta. Lisäksi haketta voidaan toimittaa usealle tilaajalle ja siten säästää polttoainekuluissa. Hakkeen lopputoimituksessa hake voidaan helposti purkaa puhaltimella ahtaisiin ja hankaliin paikkoihin ja kuorman purkaminen vaatii vähän tilaa. Toisaalta kuorman purkaminen puhaltimella on hidasta verrattuna normaaliin hakepurkamiseen. Kuitenkin kuljettaja voi kuorman purkamisen aikana suorittaa käyttölaitoksen huoltotöitä. Kuvassa 10 on esitetty hyviä ja huonoja puolia konseptin eri työvaiheista terminaalihaketusketjun osalta. Osa näistä on yhteisiä tienvarsihaketuksen kanssa, mutta osa erityisiä terminaalihaketuksen tapauksessa.



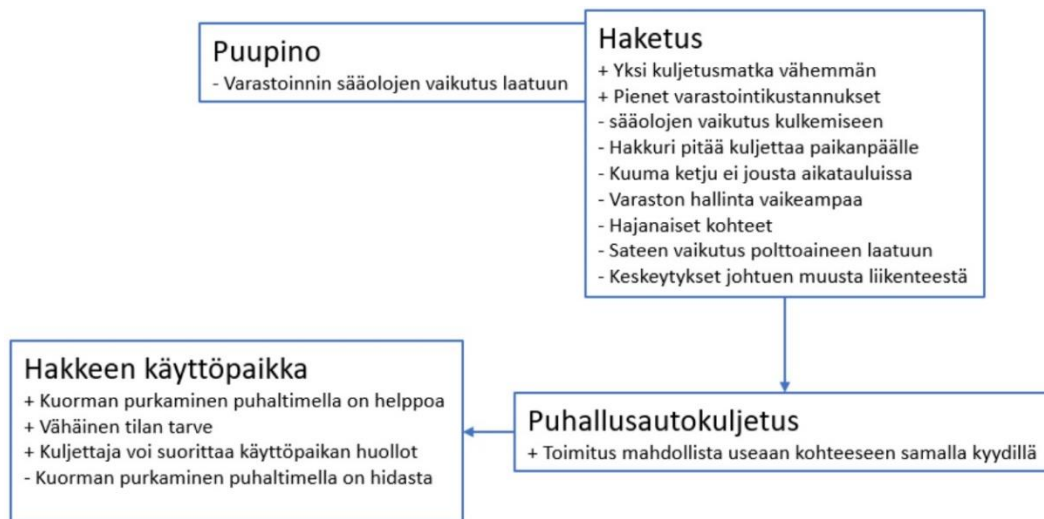
**Kuva 10** Hyviä ja huonoja puolia konseptin terminaalihaketusketjussa.

Haketerminaalin kontolle jää suuri taloudellinen panostus, koska rahaa on kiinni entistä enemmän puumateriaalissa tilojen lisäksi. Toisaalta kysyntä on melko hyvin ennustettavissa, joten hyvällä suunnittelulla ylijäämäpuuta ei pitäisi jäädä terminaalirytykselle merkittäviä määriä.



## 2.5.2 *Konsepti tienvarsihaketusketjussa*

Tienvarsihaketusketjokin alkaa puupinolta, mutta sillä erolla, että haketus tapahtuu heti puupinolla ja se tehdään suoraan puhallusauton kyytiin (kuva 11). Puun ollessa pinossa olosuhteita ei voida hallita, joten puun kuivumista ei voida myöskään ennustaa riittävästi. Lisäksi sääolo-suhteet ovat muutenkin haitaksi suorassa kuumassa ketjussa, etenkin sateen sattuessa, jolloin hakettaessa polttoaine kastuu erityisen paljon vähentäen sen energiamäärää. Suoraan tienvarressa hakettamisen etuina ovat vähentyneet kuljetusmatkat ja lastausvaiheet, jotka säästävät polttoainetta. Vastaavasti hakkuria pitää kuljettaa eri haketuskohteisiin ja mahdolliset huoltotyöt aiheuttavat haasteita. Selkeä miinuspuoli on, että sääolosuhteet voivat vaikuttaa myös hakkurin ja puhallusauton kulkemisiin, jos tiepohjat eivät ole riittävän kestäviä.



**Kuva 11** Hyviä ja huonoja puolia konseptin tienvarsihaketusketjussa.

Tienvarsihaketusketju ei myöskään jousta juurikaan aikatauluissa, koska sekä puhallusauto että hakkuri tarvitaan samaan aikaan samassa paikassa. Varaston hallinta on huomattavasti hankalampaa, koska energiapuupinot voivat olla kaukana toisistaan. Lisäksi ohikulkeva liikenne voi häiritä haketusprosessia joissain tapauksissa. Tienvarsihaketusketjussa loppuvaihe on täysin samanlainen kuin terminaalihaketusketjussa, jossa hake toimitetaan puhallusautolla hakkeen käyttöpaikalle. Näissä työvaiheissa on samat hyvät ja huonot puolet.

### **3 PUHALLUSKONSEPTIN MARKKINASELVITYS**

Toimenpideo시오 1

*Samuli Konttinen, Jarno Föhr & Tapio Ranta*

Hakkeen puhallustoimitusketjun ja siirrettävien lämpökonttien muodostaman kokonaisuuden potentiaalia uutena öljylämmitystä korvaavana ratkaisuna selvitettiin markkinaselvityksen avulla. Markkinaselvityksessä pyrittiin tunnistamaan tämänkaltaisen konseptin arvoketjussa Etelä-Savon maakunnan alueella vaikuttavat erilaiset toimijat ja sidosryhmät. Lisäksi kartoitettiin potentiaalisia kiinteistökohteita, jotka voisivat melko läheisessä tulevaisuudessa siirtyä öljylämmityksestä Puhallustoimitusketjun mukaiseen hakelämmitysratkaisuun. Lopuksi selvitettiin hakelämmityksen ja kilpailevien uusiutuvien lämmitysjärjestelmien yleistä kilpailutilannetta, lähinnä vaatimuksia muutokselle, mahdollisia avustuksia ja lupatarpeita.

#### **3.1 Lämpöasiakkaat**

Puhallustoimitusketjun kannalta on oleellista selvittää mahdollisten kohteiden esiintyminen Etelä-Savossa, jotta saadaan käsitys konseptin tarpeellisuudesta maakunnassa. Lisäksi täytyy tarkastella tekijöitä, jotka houkuttavat tai rajoittavat kiinteistökohteiden siirtymistä konseptin piiriin.

##### **3.1.1 Kohdekartoitus Etelä-Savossa**

Hakelämpökontille soveltuvia kohteita ovat ainakin teollisuushallit, maatalouden kiinteistöt kuten viljankuivurit, koulukeskukset ja muut opetusrakennukset sekä hoitolaitokset, rivitaloalueet ja yksittäiset suurehkot rivitalot. Yhteistä soveltuville kohteille on tarpeeksi suuri koko, jolloin hakekonttien hankinta olisi taloudellisesti järkevää, sekä sijainti alueella, jossa ei ole kaukolämpöverkkoa. Vaikka tässä tutkimuksessa keskitytään pääasiassa kohteisiin, joissa hakkeella korvataan öljylämmitystä, niin mainittakoon, että myös vesikiertoiset sähkölämmityskohteet ovat yhtä lailla muunnettavissa käyttämään siirrettäviä hakelämpökontteja.

Väestörekisterikeskuksen (2018) tietojen mukaan Etelä-Savossa oli vuonna 2018 yhteensä 28 387 erilaista rakennusta, joiden polttoaineena on kevyt tai raskas polt-

toöljy, tosin raskaan polttoöljyn kohteita oli hyvin vähän ja sen käyttö siten jo lähes loppunut. Rakennuksista 22 996 oli asuinrakennusta, joista valtaosa oli omakotitaloja. Asuinrakennuksista potentiaalisimpia kohteita olevia kerrostaloja oli 754 ja rivitaloja 1792. Kerrostalojen osuus maakunnan kaikista öljykohteista on siis 2,7 % ja öljylämmitteisistä asuinrakennuksista 3,3 %. Vastaavat osuudet rivitaloille on 6,3 % ja 7,8 %. Lisäksi vapaa-ajan asuinrakennuksia oli 1730 kappaletta. Valtaosa maakunnan öljylämmitteisistä asuinrakennuksista on siis erillisiä pientaloja ja vapaa-ajan asuntoja, jotka eivät kuuluokkansa puolesta ole yksittäisinä ideaaleja kohteita Puhallus-hankkeen mukaiseen konseptiin.

Öljylämmitteisiä liikerakennuksia Etelä-Savossa oli yhteensä 627 ja toimistorakennuksia 186. Liikerakennuksiin kuuluvat myymälärakennukset, joita oli lähes puolet kaikista liikerakennuksista eli 288 kappaletta, majoitusliikerakennukset, kuten hotellit ja lepokodit, asuntolarakennukset ja ravintolat. Teollisuusrakennuksia oli 802 joista lähes kaikki olivat teollisuuden tuotantorakennuksia, kuten teollisuushalleja ja teollisuustaloja, varastorakennuksia oli 151. Maatalousrakennuksia oli 611 ja niistä yli puolet oli viljakuivaamoja ja viljan säilytysrakennuksia. Muista rakennustyypeistä mainittakoon opetusrakennukset, joita oli 295. (Väestörekisterikeskus 2018).

Jos tarkastellaan kaikkia edellisiä luokitteluja, niin rakennustyyppinsä puolesta parhaiten soveltuvia kohteita olisi n. 5200 kappaletta, joista noin puolet kerros- ja rivitaloja. Monet kohteet ja varsinkin kerrostalot sijaitsevat tosin keskusta alueilla, joissa on kaukolämpöverkko ja johon liittyminen lienee ainakin helpompi vaihtoehto.

### ***3.1.2 Vaatimukset öljylämmityksestä siirtymiselle***

Jotta kiinteistönomistajat voisivat siirtyä öljylämmityksestä siirrettävien hakelämpökotientien käyttäjiksi, täytyy ensin selvittää ne oleelliset tekijät, jotka vaikuttavat tähän siirtymään. Tärkeimpänä tekijänä monelle lienee taloudelliset asianhaarat eli kuinka suuri on investointikustannus ja vuosittaiset lämmöntuotannon kustannukset. Lämmöntuotannossa kustannukset syntyvät polttoaineena käytettävän hakkeen ostamisesta sekä sen toimituksesta, lämpökotin käyttämästä sähköstä sekä huollosta ja mahdollisista varaosista ja muista tarvikkeista sekä tuhkasäiliön

tyhjennyksestä. Suurimpana menoeränä lämmitysmuodon vaihdoksessa on luonnollisesti lämpökontin ja rakentamisen investointikustannus ja rahoituksen pääomakustannukset, joita syntyy todennäköisen pankkilainan koroista. Teholtaan 110 kW:n siirrettävä lämpökontti varusteineen maksaisi 80 000–100 000 € ja sen vaatimien perustusten tekeminen n. 1 000 €. Teholtaan 300 kW:n lämpökontille vastaavat kustannukset olisivat 180 000–200 000 € ja n. 5 000 €. Toiminnassaan kontti käyttää jonkin verran sähköä, joka on siis yksi kuluerä, mutta sähkönkulutus on energiamäärältään pientä, alle prosentti tuotetusta lämpöenergiasta. Itse polttoaineen ja sen toimituksen kustannuksia voidaan käsitellä yhtenä kustannuksena ja sitä täytyy verrata kunkin siirtymistä miettivän kiinteistön nykyisiin öljylämmityksen polttoainekustannuksiin, jotta kahden lämmitysmuodon kustannuksia voidaan vertailla ja määrittää takaisinmaksuaika.

Hakelämmitykseen voidaan siirtyä myös mallilla, jossa siirrettävän lämpökontin tuo paikalle lämpöyrittäjä, joka vastaa sen toiminnasta, huollosta ja polttoaineen hankinnasta. Tällöin kiinteistö ainoastaan ostaa yrittäjän tuottamaa lämpöenergiaa. Tässä mallissa samaan lämpökontin piiriin voitaisiin liittää myös naapurikiinteistöjä. Malli mahdollistaisi myös lähekkäin sijaitsevien omakotitalojen liittyä yhden hakelämpökontin piiriin, jolloin tällainen kohde kokonaisuudessaan voisi olla tarpeeksi suuri taloudellisen kannattavuuden parantamiseksi. Lämpöyrittäjämalli lienee ainakin kauppa- ja teollisuuskiinteistöjen osalta luonnollisempi vaihtoehto, sillä lämmityksen ulkoistuksen myötä näiden kohteiden omistajien täytyy huolehtia vain lämpölaskun maksamisesta. Tällöin oman liiketoiminnan ohessa ei tarvitse käyttää aikaa polttoainetilanteen tarkkailuun tai huoltotöihin, joihin tarvittaisiin lisäksi perehdytystä.

Lämmön tarvitsija ei luultavasti miettisi tai laskisi itse tehdyille huoltotöille rahallista arvoa, mutta ulkopuolisen lämpöyrittäjän täytyy tällaisestakin saada korvaus, mikä näkyy lopulta lämpölaskussa. Ulkopuolisella lämpöyrittäjällä siis saadaan lämmityksestä kiinteistön omistajan näkökulmasta helpompaa, samalla tästä edusta kuitenkin maksetaan enemmän, mutta monet ovat varmasti valmiita tähän myönnytykseen. Toki kiinteistön omistaja voi myös itse ryhtyä ns. mikrolämpöyrittäjäksi myyden omasta lämpökontista energiaa naapurikiinteistöille, jolloin hän voisi lyhentää lämpökonttinsa takaisinmaksuaikaa ja saisi sivutuloja itselleen.

Kiinteistökohtaisena muuttajana on tietenkin vielä tila tai sen puute, eli onko siirrettävä lämpökontti edes mahdollinen ratkaisu joihinkin kohteisiin. Puhallustekniikan ja lämpökontteihin integroidun hakevaraston ansiosta tilantarve on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin tilanteessa, jossa hake varastoitaisiin erilliseen siiloon ja toimitettaisiin kippaamalla hakelasti varaston eteen. Tämä ominaisuus voikin siis olla selvä etu puhallustoimitusketjulle verrattuna perinteiseen hakkeen toimitustapaan. Vaikka itse kontti ei viekään paljoa tilaa, niin sen sijoittamiselle asettaa kuitenkin rajoituksia ainakin paloturvallisuus, minkä takia riittävät välimatkat muihin rakennuksiin täytyy huomioida.

## **3.2 Muut toimijat ja sidosryhmät konseptin arvoketjussa**

Puhallustoimitusketju tarvitsee toimiakseen asiakaspohjan lisäksi tietenkin toimivan toimitusketjun. Koko konseptin onnistumisen kannalta onkin tärkeää kartoittaa maakunnan alueella sellaisia yrityksiä, jotka pystyvät ja joilla on halua ryhtyä toimimaan tämänkaltaisessa hakkeen pienjakelussa. Tällaisia yrityksiä pitäisi löytää kuljetus-, kone-, puutarha- ja maatalousyrittäjien joukosta, joilla on jo ennestään käytössään hakekuljetuksiin soveltuvia kuorma-autoja.

Sidosryhmistä arvoketjun eri toimialoilla Etelä-Savossa vaikuttaa ainakin kuljetus- ja logistiikka-alan SKAL Itä-Suomi ry, ProAgria, Metsäkeskus sekä metsänhoitoyhdistykset Etelä-Savo ja Kangasniemi-Pieksämäki. Metsäkeskuksella on asiantuntemusta hakealalta ja puupolttoaineiden käytöstä energiantuotannossa. Metsänhoitoyhdistykset taas ovat usein välittäjinä metsänomistajien ja hakkeen käyttäjien välillä. ProAgria on tekemisissä mm. maatilojen energiaratkaisujen kanssa.

### ***3.2.1 Vaatimukset hakkeen puhaltamiselle***

Yrittäjien kannalta puhaltimella varustetun hakekontin investointikustannus on oleellinen seikka, johon hieman saatiin alustavia tietoja hankkeen toimesta. Suurimman kuorma-auton hydraulikkaa voimanlähteenä käyttävän puhaltimen hintaindikaationa on noin 30 000 €, pienemmälle puhaltimelle taas puolet vähemmän eli noin 15 000 €. Mobiilit puhaltimet ovat näitä halvempi sijoituskohte, niiden hintaindikaation jäädessä 10 000 € seudulle. Nämä hinnat ovat verottomia, joten

niiden päälle tulisi vielä arvonlisävero. Puhaltimiin sijoittavat yrittäjät voisivat kuitenkin saada verovähennyksiä liiketoimintaa tukevista laitteistohankinnoista. (Miettinen 2020b).

Jotta yrittäjät lähtisivät sijoittamaan puhallustekniikkaan, täytyy toimitusketjulla olla myös asiakaspohja. Hakeyrittäjien osalta hakkeen pienkäytön lisääntyminen olisi tietenkin tervetullutta, sillä se vain lisäisi heidän tuotantonsa kysyntää. Monelle tuottajalle ei liene paljoa merkitystä sillä tapahtuuko hakkeen käytön lisääntyminen puhallustoimitusketjun mukaisesti vai ei. Hakelämmityksen lisääntyminen sellaisissa muutoskohteissa, joissa perinteinen hakelämmitys ei ole luontevin vaihtoehto öljystä luopumisessa, voi kuitenkin olla sellainen tavoite, jota hakeyrittäjien kannattaisi lähteä edistämään tukemalla puhallustoimitusketjun muodostumista. Ne, jotka vastaavat itse oman hakkeensa kuljetuksista voisivat siis hankkia puhaltimia, ja samalla kiinnittää erityistä huomiota tuottamansa hakkeen laatuun, jotta puhallustoimitukset sujuisivat ilman ylimääräisiä häiriöitä. Toisaalta pitkähkö tyhjennysaika jokaista toimitusta kohden saattaa vähentää sellaisten isompien kuljetusyrittäjien kiinnostusta siirtyä konseptin mukaiseen toimitustapaan, jotka ovat tottuneet pitämään kalustonsa liikkeellä lähes kellon ympäri. Tyhjennysajan pituus haitannee huomattavasti vähemmän pieniä yrittäjiä, joiden hakkeenkuljetukseen sopiva kalusto ei ole täysimääräisessä käytössä muissa kuljetuksissa.

Monien kiinteistöjen kohdalla tarvitaan todennäköisesti hakelämpökontin toiminnasta vastaamaan ulkopuolinen lämpöyrittäjä. Lämpöyrittäjien mielenkiintoa siirrettävillä hakelämpökonteilla toteutettavaan hajautettuun lämmöntuotantoon lisääntyy konttien helppo ja nopea toimitus ja asennus lämpöasiakkaan luokse. Yhden suuren kiinteistön tai pienempien kiinteistöjen muodostaman ryhmän liittämisen konteilla tuotettavan lämmön piiriin voi olla selvästi halvempaa verrattuna kaukolämpöön liittämiseen, jos kohteet sijaitsevat kaukana olemassa olevasta kaukolämpöverkosta. Kiinteistöryhmien pitää kuitenkin olla tarpeeksi tiiviitä, sillä liian pitkät välimatkat syövät edellä mainittua etua. Kun hake toimitetaan puhaltamalla konttien integroituun hakevarastoon, vähennetään tarvetta kauhakuormajille tai traktoreille, joita voitaisiin tarvita kipattavan hakekuorman siirtämiseksi erilliseen hakesiiloon tai kuljettimille.

Kaukolämpöyritysten osalta hajautettu tuotanto voisi tarjota kasvumahdollisuuksia, sillä yrityksillä on ollut vuosikymmeniä aikaa liittää taajama-alueiden parhaiten soveltuvat kohteet kaukolämpöverkkoon. Etelä-Savon maakunnan viidestä suurimmasta taajamasta vain Mikkelin keskustaajama on kasvanut viimeisen vuosikymmenen aikana ja muiden osalta väestö on vähentynyt (Tilastokeskus 2020). Keskitetyn kaukolämmön toiminta-alueilla ei siis ole helppoa saavuttaa kasvua. Jos liiketoimintaa pyritään laajentamaan öljylämmityksistä luopuviin kaukolämpöverkon ulkopuolisiin kohteisiin, voitaisiin kasvua mahdollisesti saavuttaa. Suurien tuottajien lisäksi on tietenkin myös pienempiä lämpötoimijoita, jotka vastaavat jo nyt yksittäisten suurkiinteistöjen tai pienien teollisuus- tai asuinalueiden lämmityksestä. Heidän kohdallaan siirrettävät hakelämpökotit olisivat vain uusi tuotantotapa tutussa liiketoiminnassa.

### **3.2.2 Yrittäjät**

Yrittäjäkartoituksen yhteydessä Etelä-Savon alueelta löytyi ainakin 12 yrittäjää tai yritystä, joilla hakeala on ensi- tai toissijainen toimiala. Näiden yritysten julkisista lähteistä löydettävissä olleet liikevaihdot olivat 100 000–20 000 000 €. Suurimmat liikevaihdot olivat niillä yrityksillä, jotka olivat päätoimialakseen ilmoittaneet jonkin muun kuin hakkeentuotannon. Hakkeeseen keskittyneillä yrityksillä liikevaihdot olivat korkeintaan 3,4 miljoonaa euroa. Mainittakoon, että kaikilla yhtiömuotonsa perusteella pienemmiltä vaikuttavien yritysten osalta ei liikevaihtoa ollut saatavilla julkisista lähteistä. Maakunnassa lienee hakkeentuottajia lukumääräisesti reilusti enemmänkin, mutta kartoituksessa ei juurikaan tullut esille pieniä toimijoita, jotka sivutoimisesti tuottaisivat haketta. Tällaiset pienet tuottajat eivät muutenkaan olisi kaikkein sopivampia puhallustoimitusketjun yrittäjiksi, sillä heidän toimintansa laajuus ei luultavasti oikeuttaisi tarvittavia investointeja.

Maakunnan alueella toimivia puutarha- ja viherrakennusyrityksiä löytyi monia, mutta suurin osa niistä vaikutti ennakkotietojen mukaan varsin pieniltä. Yrityksistä hieman suurempia oli alle kymmenen kappaletta, tosin lukumäärä pieneni hieman, sillä hakeliiketoimintaa omaavat yritykset laskettiin mukaan hakeyrittäjien joukkoon. Suuremmilla alan yrityksillä voisi olla käyttöä puhallusteknologialle esimerkiksi kuorikkeiden puhalluksessa rikkaruohojen torjuntaan tai maisemointi-

töissä, mutta tietoja näiden yritysten kalustosta ei ollut juurikaan saatavilla. Vaikka yrityksillä ei olisikaan soveltuvaa kuljetuskalustoa haketoimituksiin, voisivat ne kuitenkin olla kiinnostuneita mobiileiden puhaltimien käytöstä omassa nykyisessä liiketoiminnassa.

Kartoituksessa puhallustoimitusketjun kannalta lupaavia kuljetus- ja koneyrittäjiä löytyi 21. Tähän joukkoon otettiin mukaan vain sellaisia yrittäjiä ja yrityksiä, joilla heidän omien nettisivujensa tai muista vastaavista lähteistä saatavien tietojen mukaan joko oli hake- ja energiapuukuljetuksia tai joilla oli käytössään sellaista kalustoa, jolla hakkeen puhallinkuljetuksia voisi teoriassa hoitaa. Näillä yrityksillä oli kullakin vähintään yksi vaihtolavakuljetuksiin soveltuva kuorma-auto, jolla voisi siis kuljettaa vaihtolavakonttiin asennettua hakepuhallinta. Nimenomaisesti hakkeen kuljetuksiin erikoistuneita kuljetus- ja koneyrittäjiä ei kartoituksessa löytynyt. Luultavasti siksi, että monet suuremmat haketuottajat hoitavat myös omat kuljetuksensa. Sen sijaan monet eteläsavolaiset kone- ja kuljetusyrittäjät ovat erikoistuneet maa-aineskuljetuksiin, johon käytetyllä kalustolla toki voisi kuljettaa haketta. Suurin osa löytyneistä yrityksistä oli osakeyhtiöitä ja niiden tuoreimmat saatavilla olleet liikevaihdot olivat välillä 170 000–6 300 000 €.

Lämmöntuottajista Etelä-Savon alueella toimi ainakin neljä suurta kaukolämpöä tuottavaa yritystä ja 12 pienempää yritystä, jotka ovat keskittyneet pienempään tai hajautetumpaan tuotantoon. Osa pienemmistä yrityksistä on kuntien omistamia ja niillä on käytössään korkeintaan muutamien megawattien tehoisia lämpölaitoksia. Suurempien energiayritysten päätoimiala on lämmön ja sähkön yhteistuotannossa, mutta niillä oli myös pienempiä lämpökeskuksia. Suurimmalla osalla kartoituksessa löytyneistä pienemmistä yrityksistä pääpolttoaineena on hake ja varalla on myös kevyttä polttoöljyä. Suuremmilla tuottajilla on lisäksi turvetta. Suurempien yritysten liikevaihdot ovat kymmenistä miljoonista euroista 180 miljoonaan euroon, mutta niiden osalta suuri osa liikevaihdosta tulee sähköntuotannosta. Pelkkään lämmöntuotantoon erikoistuneiden pienempien yritysten liikevaihdot olivat 10 000–1 000 000 €.



### 3.3 Kilpailutilanne

Hakelämmityksen ja puhallustoimitusketjun mahdollisuuksiin tulevaisuuden kasvavana energiaratkaisuna vaikuttaa tietenkin se, minkälaisia muita vaihtoehtoja on lämmitysratkaisuun uusivilla tahoilla. Lopullisen lämmitysjärjestelmän valintaan yleensä vaikuttavat kustannukset, avustukset ja viranomaisten vaatimukset.

#### 3.3.1 Muutoksen vauhdittaminen

Marinin hallitus otti hallitusohjelmakseen joulukuussa 2019 edeltäneen Rinteen hallituksen 6.6.2019 julkaistun hallitusohjelman. Hallitusohjelmassa on asetettu tavoitteeksi, että fossiilisen öljyn käyttö lämmityksessä loppuu 2030-luvun alkuun mennessä. Valtion ja kuntien omistamien kiinteistöjen kohdalla öljyn käyttö loppuisi jo vuoteen 2024 mennessä. Öljystä luopumista aiotaan vauhdittaa tämän vuosikymmenen aikana erilaisilla toimenpideohjelmilla. (Valtioneuvosto 2019).

Syksyn 2020 budjettiriihessä päädyttiin korottamaan fossiilisten lämmityspolttoaineiden kuten polttoöljyn, maakaasun ja kivihiilen verotusta nettomääräisesti 105 miljoonalla eurolla vuoden 2021 alusta alkaen. Samalla kotitalouksille myönnetään kannustimeksi 9,72 miljoonan euron avustuspääräraha öljylämmityksestä luopumiseksi. (Valtioneuvosto 2020). Lisäksi turpeen verotusta korotetaan 2,7 eurolla megawattituntia kohti. Turpeelle tulee myös lattiahintamekanismi vuoden 2022 alusta lähtien, jolla veronkorotuksen kanssa pyritään puolittamaan turpeen käyttö 2030 mennessä.

Öljylämmityksestä luopuminen sekä sen vauhdittamiseksi myönnetty määrärahat avaavat uusia mahdollisuuksia uusiutuvaan energiaan pohjautuville lämmitysratkaisuille seuraavan vuosikymmenen aikana. Hakelämmityksen kanssa näistä markkinoista kilpailee ainakin maalämpö ja erilaiset lämpöpumppuratkaisut. Puhallustoimitusketjuun nojaavan hakelämmityksen lisänä on perinteinen hakelämmitys erillisine hakepolttimeineen ja -siiloineen. Turpeen veronkorotuksen ja lattiahintamekanismin myötä hakkeen kysyntä lisääntynee myös suurtuotannossa.

Tilastokeskuksen kyselytutkimuksessa ilmeni, että öljylämmityksen suosio 2010-luvulla on ollut jyrkässä laskussa ja öljykohteita on nykyään selvästi vähemmän kuin mitä rakennuskantarekisteri antaisi ymmärtää. Kerrostalojen osalta öljyn

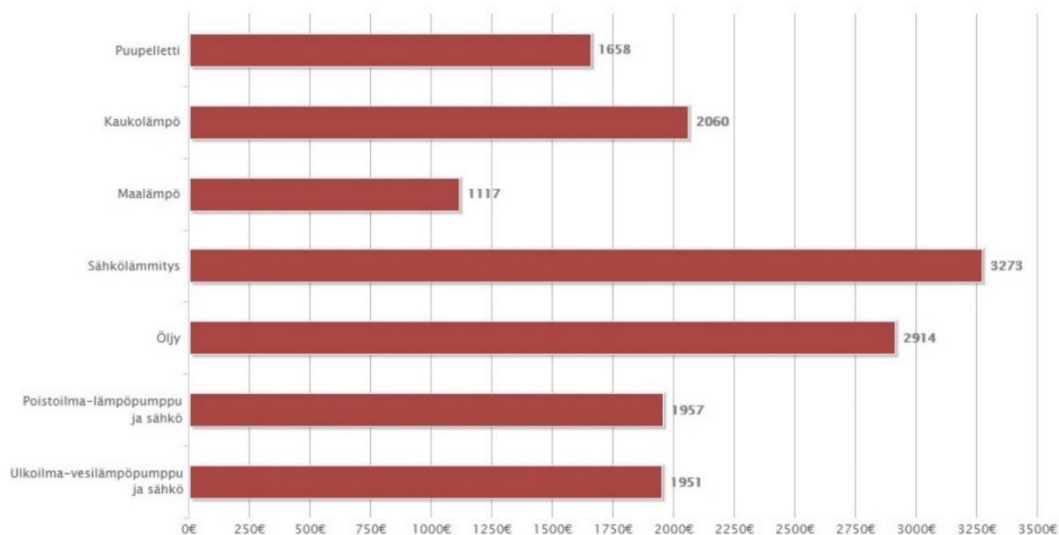
osuus lämmitettävästä kerrosalasta on enää muutama prosentti ja osuus on laske-  
nut vuosina 2010–2018 yli puolella. Samanaikaisesti kaukolämmön osuus on  
osoittautunut 7 % rekisteritietoa suuremmaksi. Lisäksi maalämpö on alkanut  
yleistymään kerrostaloissa. Rivitaloissa samoin kauko- ja maalämpö ovat yleisty-  
neet öljyn osuuden laskiessa, eikä öljy ole enää edes kolmen suosituimman läm-  
mitysratkaisun joukossa. Omakoti- ja paritaloissa suosituin päälämmönlähde on  
sähkölämmitys eikä sen osuudessa ole tapahtunut muutoksia. Öljy on toiseksi  
yleisin, maalämmön ollessa nykyisin kolmanneksi yleisin lämmitysratkaisu. Öljyn  
osuus on tippunut lähes 30 % rekisteritietoihin nähden, öljyn ja maalämmön ero  
oli 2018 enää n. 65 000 rakennusta, kun vuosikymmenen alussa eroa oli n.  
180 000 rakennusta. Myös kaukolämmön osuus on kasvanut mutta kasvu on vuo-  
den 2012 jälkeen taittunut ja maalämpö on siten ohittanut sen suosiossa. Ilmaläm-  
pöpumppujen määrä pientaloissa nousi 100 000 kappaleella vuosina 2014–2018.  
Kasvusta pääosa, 75 000, on ollut niissä kiinteistöissä, joiden päälämmönlähteenä  
on ollut sähkölämmitys. (Suomen virallinen tilasto 2018).

### **3.3.2 Muutoskohteen vertailu**

Motivan lämmitystapojen vertailulaskurilla voidaan verrata muutoskohteen läm-  
mitysjärjestelmän muutoksen kustannuksia. Esimerkkilaskelmissa muutoskohtee-  
na on pientalo, jonka öljypoltin on 1970-luvulta, öljyn kulutus 3 000 litraa vuo-  
dessa ja talossa asukkaita kolme henkilöä. Tyypillinen investointikustannus maa-  
lämmölle olisi tällaiseen kohteeseen 16 000–20 000 €, kaukolämmölle noin 7 500  
€ ja perinteiselle pellettilämmitysratkaisulle 10 000–16 000 €. Kaukolämpö ei  
kuitenkaan ole varsinainen kilpailija konseptin mukaisille lämpökonteille, sillä  
niitä kaavillaan juurikin sellaisille alueille, jossa kaukolämpöverkkoa ei ole.  
Lämpöpumppu ja sähkö -hybridimallille investointi olisi 10 000 euron molemmin  
puolin riippuen järjestelmän tyypistä. (Motiva 2017). Pelletti-investointia voi ver-  
rata hakepolttimeen, sillä monesti molempia puupolttoaineita voidaan käyttää  
samanlaisessa järjestelmässä. Aiemmin mainittu 80 000–100 000 € arvio 100  
kW:n siirrettävän hakelämpökontin investoinnille vaikuttaa siis hyvin suurelta,  
mutta koska kyseinen järjestelmä ei ole tarkoitettu tämänkaltaisten yksittäisten  
pientalojen lämmitykseen, vaan sitä käytettäisiin tällöin usean kiinteistön lämmi-  
tykseen, jolloin kustannus voitaisiin yksinkertaistaen jakaa kiinteistöjen lukumää-

rällä. Kustannusta tosin vielä nostaa lämpöliitännät kiinteistöihin. Talokohtaisessa investoinnissa päästäisiin siis perinteisen pellettilämmityksen hintoihin, jos yksi kontti riittäisi 6–8 talon ryhmälle.

Energiakustannuksiltaan puulämmitys on näistä kilpailukykyinen, sillä vain maalämpö osoittautui pellettiä halvemmaksi. Kaukolämpö oli kaikkein kallein ja lämpöpumput asettuivat sen ja pelletin väliin. Pellettikattilan hyötysuhteena käytettiin 80 %. Motivan laskurilla saadut edellä mainitun esimerkkikohteen vuosittaiset energiakustannukset eri lämmitysmuodoille on esitetty kuvassa 12. Hakkeen hinta energiasisältöä kohti on reilusti alhaisempi kuin pelletillä, mutta pienemmän lämpöarvon vuoksi hake vaatisi vuoden mittaan enemmän toimituskertoja, jolloin ero pellettiin tasoittuisi. Esimerkiksi syksyllä 2019 Tilastokeskuksen mukaan puupelletin verollinen hinta oli keskimäärin 58,00 €/MWh, kun metsähakkeen veroton hinta oli 21,01 €/MWh, samalla 24 % verokannalla hakkeen hinta olisi siis 26,05 €/MWh eli alle puolet pelletin hinnasta. (Suomen virallinen tilasto 2019). Hintaero maalämpöön luultavasti kaventuisi, jos siirrettävää hakelämpökonttia on hoitamassa ulkopuolinen lämpöyrittäjä, joka luonnollisesti laskuttaa tekemistään huoltotöistä ja tarvitsee muutenkin toiminnalleen katetta.



**Kuva 12** Vuotuinen energiakustannus käytön osalta pientalon eri lämmitysmuodoille (Motiva 2017).

Näistä tuloksista ei voi kuitenkaan vetää liian pitkälle meneviä johtopäätöksiä, sillä kustannusten muodostumiseen vaikuttaa monet kohteen ominaisuuksista joh-

tuvat tekijät, joita laskuri yksinkertaistaa. Tutkittavat hakelämpökotit soveltuvat muutenkin parhaiten suurkiinteistöille, joten vertaaminen pientalojen lämmitysjärjestelmiä kohtaan on siitäkin syystä haastavaa. Hakelämmityksen suhteutumiselle muihin mahdollisiin öljylämmityksen korvaajiin saadaan näin kuitenkin hieman suuntaviivoja.

### **3.3.3 Kotitalousvähennys ja avustukset muutokselle**

Lämmitysjärjestelmän vaihdoksessa kustannuksiin saadaan helpotusta hakemalla kotitalousvähennystä. Vuonna 2020 yrityksen laskuttaman työn osuudesta voidaan vähentää jopa 40 % siten, että suurin mahdollinen vähennys saadaan 5 875 € työstä. Kotitalousvähennyksellä satava hyöty on kuitenkin heikentynyt edelliseen vuoteen verrattuna. (Verohallinto 2020).

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) on myöntänyt avustusta pientalojen, eli omakoti- ja paritalojen, öljylämmityksestä luopumiselle 2 500 € tai 4 000 €. Suurempaa tukea on maksettu kohteille, jotka vaihtavat öljylämmityksen kaukolämpöön, maalämpöpumppuun tai ilma-vesilämpöpumppuun. Pienempää tukea on maksettu muihin uusiutuviin lämmitysratkaisuihin siirtyville kohteille. Hakelämpökottien kanssa kilpaileville ratkaisuille siis myönnetään suurempaa rahallista tukea. Huomioitavaa on, että jos on saanut ELY-keskuksen myöntämän tuen, niin saman aikaisesti ei voi hakea kotitalousvähennystä. (ELY 2020a). ELY-keskuksen tuki koskee pientaloja, jotka eivät kuitenkaan ole Puhallus-hankkeen mukaisen konseptin avainkohteita. Kuitenkin, kun usean pientalon muodostama ryppäs liitetään yhden hakelämpökotin piiriin, kyseinen ratkaisu voitaisiin rinnastaa kaukolämpöön, jolloin siirrettävien hakelämpökottien olisi mahdollista saada suurempaa tukea tällaisten kohteiden tapauksessa. (ELY 2020b).

Suuremmat asuinrakennukset, jotka siis yksittäisinäkin soveltuisivat konseptin hakelämpökoteille, voivat saada energia-avustusta asumisen rahoitus ja kehittämisskeskus ARA:lta. Avustusta myönnetään korjaustoimenpiteisiin siten, että sitä voi saada 4 000 € tai 6 000 € jokaista rakennuksen asuinhuoneistoa kohti, kuitenkin enintään 50 % rakennuskohtaisista kustannuksista. Avustuksen suuruus riippuu saavutetusta energiatehokkuuden parannuksesta. Avustuksen ehtona on vain rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen, joten hake on samalla viivalla

muiden uusiutuvien lämmitysratkaisujen kanssa. (ARA 2020a). Avustettavista korjaustoimenpiteistä öljylämmityksestä luopumiseen voi saada täyden 100 % tuen, jos samalla saavutetaan vaadittu energiatehokkuuden lisäys, joka on avustuksen saannin ehtona. (ARA 2020b).

Yritykset ja erilaiset yhteisöt, kuten kunnat ja säätiöt, voivat saada Business Finlandin myöntämää energiatukea energijärjestelmien muuntamiseksi vähähiiliseksi, kun hankkeiden investointikustannukset ylittävät 10 000 €. Investoinneissa puupolttoaineisiin, kuten hakkeeseen, pohjautuvat lämpökeskukset voivat saada 10–15 % tuen. Lämpöpumppuhankkeille tuki on aina 15 %, aurinkolämpöhankeille 20 % ja biokaasuhankkeille 20–30 %. Biokaasu on varsinkin maatilojen kohdalla kilpailija hakkeelle, tosin tuen saamiseksi maatilakohteille 80 % tuotetusta energiasta pitää mennä käytettäväksi kyseisen maatilalan ulkopuolelle. Hake on siis tämänkin tuen osalta heikommassa asemassa kilpaileviin öljylämmityksen korvaajiin verrattuna. Tukitaso on myös pienin, 10 %, mitä Business Finland ylipäätään myöntää energiatuessaan. (Business Finland 2020).

Hakelämmitys on siis tukien osalta heikommassa asemassa verrattuna moneen kilpailevaan öljylämmityksen korvaajaan, kun kyseessä on muutoskohteenä oleva asuinkäytössä oleva pientalo tai yrityksen tai yhteisön omistama kiinteistö. Ainoastaan taloyhtiöiden osalta kaikki lämmitysratkaisut ovat tasavertaisessa asemassa, mutta silloin tuen suuruuteen tai ylipäätään sen myöntämiseen vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen, jolloin muutoskohteen energiaremontissa pelkkä lämmitysratkaisun vaihtaminen ei yksistään riitä.

### ***3.3.4 Lupien tarve***

Kuten aiemmin todettiin, niin hakelämpökontin käyttöönottoon voidaan vaatia rakennus- tai toimenpidelupa riippuen kunnan rakennusvalvonnan tulkinnasta. Toisaalta Etelä-Savossa on kuntia, joissa pelkkä ilmoitusmenettely voisi olla riittävä. Kilpailevista öljylämmityksen korvaajista maalämpö vaatii eniten vaivaa käyttöönoton suhteen, sillä muutoskohteet tarvitsevat energiakaivojen poraamiseen lähes aina toimenpideluvan. Lupaa ei myönnetä tai rakentamiselle voidaan asettaa rajoituksia, jos kohde sijaitsee pohjavesialueella tai vedenottamoiden lä-

heisyydessä. Lisäksi kaavamääräykset ja maanalainen rakentaminen voivat estää maalämpökaivojen poraamisen. (Mikkelin kaupungin rakennusvalvonta 2020).

Ilmalämpöpumput, ml. ilma-vesilämpöpumput, ovat lupa-asioiden kannalta kevein vaihtoehto, sillä esimerkiksi Mikkelissä täytyy suorittaa vain lupamenettely. Sekin vain, jos pumppuja on julkisivulla enemmän kuin kaksi kappaletta. (Mikkelin kaupungin rakennusjärjestys 2017). Suomen kunnista ainakin Karkkilassa hakelämmityksen käyttöönotto muutoskohteissa vaatii myös palotarkastuksen. Kilpailevilla lämmitysmuodoilla ei tätä tietenkään vaadita, sillä niissä lämpöä ei tuoteta palamisprosessilla. (Karkkilan kaupunki 2017)

Hakelämmitys sijoittuu lupavaatimuksiltaan kahden pääkilpailijan väliin, mutta voi rakennusviranomaisen tulkinnasta riippuen olla myös yhtä vaativa kuin maalämpö. Siirrettävän hakelämpökontin perustusten tekeminen ja lämmönjakokanavien kaivaminen ei kuitenkaan aiheuta samanlaisia sijainnista johtuvia rajoitteita kuin maalämmön energiakaivot. Hakelämmitykseen tosin liittyy puunpoltosta aiheutuvat pienhiukkaspäästöt, jotka voivat rajata sen käyttöä. Kevyemmän rakentamisen myötä hakkeen käyttöönotto on myös huomattavasti nopeampaa, sillä suuren kiinteistön, kuten kerrostalon kohdalla riittävien energiakaivojen poraaminen ja lämmönkeruuputkien asennukset voivat kestää reilusti yli kuukauden (Tom Allen Senera 2020).

## 4 PUHALLUSKONSEPTIN KYSELYTUTKIMUS

Toimenpideo시오 1

*Samuli Konttinen, Jarno Föhr & Tapio Ranta*

Puhallustoimitusketjun vetovoimatekijöiden ja haasteiden varmistamiseksi suoritettiin kyselytutkimus arvoketjun eri alojen eteläsavolaisille yrityksille ja öljylämmitteisten kiinteistöjen omistajille. Kyselytutkimuksen avulla selvitettiin, että onko konseptin mukaiselle toimitusketjulle ja lämmitysratkaisulle kysyntää ja mitkä asiat toimivat suurimpina houkuttimina tai haasteina konseptin käyttöönotossa.

### 4.1 Kyselyn toteutus

Kyselyyn osallistuneet luokiteltiin viiteen ryhmään: öljylämmitteisten kiinteistöjen omistajiin, hakeyrittäjiin, kone- ja kuljetusyrittäjiin, lämpöyrittäjiin ja edellisten alojen sidosryhmiin. Kustakin ryhmästä valittiin kolmesta neljään lupaavinta tahoja, joille kyselytutkimus kohdistettiin. Kyselytutkimukseen pyrittiin saamaan 15–20 laajaa vastausta. Valikoituja tahoja lähestyttiin ensin sähköpostilla, jossa kerrottiin koko Puhallus-hankkeen ja tämän kyselytutkimuksen taustoista ja tavoitteista. Varsinainen kyselytutkimus toteutettiin puhelinhaastattelun muodossa, tosin pari tahoja vastasi kysymyksiin puhelinhaastattelun sijaan sähköpostitse.

Kullekin haastateltavalle ryhmälle osoitettiin luonnollisesti erilaiset kysymykset, jotta puhallustoimitusketjun eri vaiheet saatiin rinnastettua yritysten nykyiseen toimintaan. Täten lämpöyrittäjien kysymykset olivat suurelta osin erilaiset kuin hakeyrittäjien tai kiinteistönomistajien. Lisäksi kaikilta ryhmiltä kysyttiin samantyyppisiä yleisluonteisia kysymyksiä Puhallus-hankkeeseen liittyen. Näissä yleisissä kysymyksissä tiedusteltiin vastaajien ennakkotietoja, eli olivatko he kuulleet puhallustekniikasta hakkeen toimitusratkaisuna tai siirrettävistä hakelämpökonsteista. Lisäksi kysyttiin mielipiteitä päästövähennyksistä, kustannushyödyistä ja oman maakunnan biomassavarojen käytön edistämisestä, sekä siitä kuinka tärkeinä näitä asioita pidettiin oman toiminnan näkökulmasta. Lisäksi kysyttiin konseptin ja tekniikan kotimaisuuden tärkeyttä.

Haastateltujen eri alojen sidosryhmiltä kysyttiin yleisluontoisten kysymysten lisäksi samantapaisia kysymyksiä kuin omaa toimintaa lähinnä olevilta yrityksiltä. Tällöin kuitenkin pyrittiin pysymään yleisellä tasolla, sillä puhallustoimitusketjussa toimijat olisivat kuitenkin yksityisiä yrityksiä.

Hake-, kone- ja kuljetusyrittäjille suunnatut tarkennetut kysymykset olivat keskenään samankaltaisia, sillä toimialat menivät osin päällekkäin toistensa kanssa. Yrityksiltä tiedusteltiin, että oliko niillä tällä hetkellä käytössään sellaista kuljetuskalustoa, joita voidaan käyttää hakkeen puhallustoimituksissa. Lisäksi kysyttiin kysymyksiä kaluston laadusta ja määrästä. Hakeyrittäjiltä selvitettiin samalla toimittavatko he itse tuottamansa hakkeen asiakkaille, vai käyttävätkö he erillistä kuljetusyrittäystä toimituksiin. Kuljetus- ja koneyrittäjiltä vastaavasti tiedusteltiin, että onko heillä ollut omaa hakkeentuotantoa. Pyrittiin myös selvittämään hake- tuotannon vuosittaiset määrät ja tyypilliset asiakkaat, eli menikö hake suurille vai pienille laitoksille. Haketuotannon luonne selvitettiin myös, että oliko käytössä terminaalitiloja haketukselle vai oliko tuotanto pelkästään tienvarsihaketukselta. Lisäksi kysyttiin, oliko yritysten nykyisessä liiketoiminnassa puhallusteknologialle käyttöä viherrakentamisen alalla tai muiden soveltuvien materiaalien kuten kivi- vikkeiden, kevytsoran tai rehun puhaltamisessa.

Hakkeen toimittamisesta puhaltamalla kysyttiin, oliko tunnin mittainen tyhjennys- aika noin 40 i-m<sup>3</sup> kokoiselle hakekuormalle liian pitkä kestoinen ja kuinka pitkään tämän suuruisen lastin tyhjentäminen saisi maksimissaan kestää. Lisäksi kysyttiin hakepuhaltamisen tuomien etujen tärkeyttä, kun puhallettaisiin letkun kautta hankalaan tai korkealla sijaitsevaan varastoon. Samalla tiedusteltiin, oliko nykyisten hakekohteiden joukossa ollut sellaisia, joissa puhallustoimitus olisi hyödyllistä. Kyselyssä pyydettiin arvioimaan kuinka paljon puhallustoimitusketjun varassa olevia hakekohteita tulisi omalla toiminta-alueella olla, jotta puhallustoimitukseen tarvittavan tekniikan hankkiminen olisi yrityksille ajankohtaista. Edelliseen kysymykseen liittyen puhallinteknologian hankinnan vaatiman investoinnin suuruutta pyydettiin myös arvioimaan.

Lämpöyrittäjille suunnatuissa tarkennetuissa kysymyksissä tiedusteltiin nykyisen lämmöntuotannon tunnuslukuja, käytettyjä polttoaineita ja laitosten suuruusluok-



kia. Lopuissa kysymyksissä keskityttiin pääosin siirrettävien hakelämpökotien potentiaaliin hajautetussa energiantuotannossa. Kysymyksien avulla pyrittiin saamaan selville, oliko yrityksillä kokemusta sellaisista tilanteista, joissa kaukolämpöverkon laajentamista olisi suunniteltu jollekin uudelle alueelle, mutta kysyntää ei lopulta olisi ollutkaan riittävästi kaukolämmölle. Tähän liittyen kysyttiin kaukolämpöyritysten mielenkiintoa hajautettuun energiantuotantoon tällaisilla alueilla, joissa ei ollut kaukolämpöverkkoa, mutta joissa olisi potentiaalisina asiakkaina suuria kiinteistöjä.

Öljylämmitteisten kiinteistöjen osalta tiedusteltiin nykyisen lämmitysjärjestelmän ominaisuuksia kuten ikää, sekä millaisessa kohteessa järjestelmä sijaitsee. Lisäksi kysyttiin, onko ollut suunnitelmissa siirtyä öljystä uusiutuvaan energiaan ja millainen uusi lämmitysratkaisu voisi olla. Jos aikeita oli, niin kysyttiin, oliko taustalla halu pienentää oman kiinteistön lämmityksen päästöjä tai kustannuksia, ja kuinka tärkeinä nämä nähtiin. Kysyttiin myös, oliko aikeita hyödyntää ELY-keskusten myöntämää rahallista tukea öljylämmityksestä pois siirtymiselle. Siirrettävien hakelämpökotien ominaisuuksien, kuten integroidun hakevaraston tuoman kompaktiuden ja nykyiseen vesikiertolämmitysjärjestelmään toteutettavan asennuksen helppouden, houkuttelevuutta pyydettiin arvioimaan oman lämmitysratkaisun uudistamisen kannalta. Pyrittiin myös saamaan selville, kuinka paljon kiinteistöjen omistajat olivat valmiita investoimaan uusiutuvan energian lämmitysratkaisuun. Lämpökotien osalta kysyttiin, tarvittaisiinko mukaan erillinen lämpöyrittäjä, jolta lämpö ainoastaan ostettaisiin. Vaihtoehtoisesti kysyttiin, olisiko kiinteistöllä itsellään halua huolehtia ja hallinnoita lämpökotia myyden mahdollisesti lämpöä myös muutamalle naapurikiinteistölle ja toimia käytännössä niin sanottuna mikrolämpöyrittäjänä.

## **4.2 Kyselyn tulokset**

Haastatteluiden aikana ilmeni, että osa haastateltavista halusi pysyä nimettöminä. Tämän takia työssä nimetään anonyyminä pysyvät yritykset tai organisaatiot muodossa ”toimialayritys 1”, jossa luku on juokseva numerointi saman toimialan vastaajille.

#### **4.2.1 Hakealan yritykset**

Etelä-Savon alueella toimivista hakealan yrityksistä kyselyyn vastasivat Energiatuote Utriainen Oy, Hakeyritys 1 ja Puutarhayritys 1. Energiatuote Utriaisella liiketoiminta ulottuu energiapuun korjuusta aina lämpölaitosten pyörittämiseen, joten heiltä saatiin vastauksia myös lämpötoimijoille suunnattuihin kysymyksiin, ja näitä vastauksia käsitellään jäljempänä kappaleessa 4.2.3. Puutarhayritys 1:n osalta vastaukset saatiin ainoastaan sähköpostitse. Lisäksi sidosryhmähaastattelussa Metsäkeskuksen bioenergian ja biotalouden asiantuntija Kyösti Turkia vastasi myös haketoimialaa koskeviin kysymyksiin.

Kyselyssä kävi ilmi, että hakelämpökontit olivat lämmitysmuotona kaikille ainakin päällisin puolin tuttu asia, mutta hakkeen toimitus puhaltamalla varastoon oli muille paitsi Hakeyritys 1:lle ja Metsäkeskukselle täysin uutta. Tosin Energiatuote Utriaisella on käytössä hakkuri, jossa tuotettu hake siirtyy puhaltamalla eteenpäin. Haketta tuottavilla yrityksillä ei ollut laajemmassa mittakaavassa puhaltimille soveltuvaa kuljetuskalustoa. Energiatuote Utriaisella oli kyllä kuorma-autoja, joiden hydraulikkaan luultavasti voisi liittää puhaltimen, mutta varsinaista vaihtolavakalustoa ei heillä ollut käytössään. Hakeyritys 1:llä oli ainakin yksi ajoneuvo, joka soveltuisi puhalluskonteille ja Puutarhayritys 1:llä oli kuorma-autoja, jotka voisivat soveltua hakkeen puhallustoimitukseen, mutta tarkempia tietoja kaluston laadusta tai määrästä ei heidän kohdaltaan saatu.

Energiatuote Utriainen tuotti haketta vuosittain 35 000 i-m<sup>3</sup>, josta 30 000 i-m<sup>3</sup> meni omille lämpölaitoksille ja loput maataloille. Hakeyritys 1 tuotti haketta lämmityskauden aikana 55 000 i-m<sup>3</sup> ja toimitukset asiakasta kohti olivat 30–20 000 i-m<sup>3</sup> eli haketta meni sekä pien- ja suurkankäyttäjille. Puutarhayritys 1 tuotti edellisenä vuonna haketta 25 000 i-m<sup>3</sup>, josta osa meni pienkäyttäjille. Energiatuote Utriaisella tuotanto oli tienvarsihaketusta. Kahdella muulla oli käytössään terminaalitylat haketuokseen. Molemmat terminaalityhaketusta harjoittaneet yritykset ilmoittivat voivansa lisätä haketuotannon kapasiteettia, jos kysyntä kasvaa lähitulevaisuudessa. Keskittynyttä maakunnallista terminaalitytoimintaa ei nähty yritysten puolelta kovinkaan järkevänä, sillä haketoimitusten kannattavat kuljetusmatkat ovat rajalliset. Metsäkeskuksen Kyösti Turkian mukaan hakealalla on viimeisen 10–15 vuo-

den aikana näkynyt paljon kehitystä toiminnan tehostumisessa ja keskittymisessä. Terminaalitoiminta on yleistynyt turvaamaan voimalaitosten polttoainehuoltoa. Turkian mukaan terminaalihaketus on tienvarsihaketausta parempi vaihtoehto niille, joilla on tarpeeksi toimituskohteita. Keskustermiinaali taas voisi olla kannattava, jos hakkeen pienkäyttö lisääntyy merkittävästi. Lisäksi paikallisia metsävaroja pidetään Metsäkeskuksella riittävinä, vaikka hakkeen pienkäyttö kasvaisi merkittävästi lähitulevaisuudessa. Isojen laitosten osalta taas kysynnän kasvuun jouduttaisiin vastaamaan tuomalla haketta kauempaa.

Puhelinhaastattelussa esitettiin 40 i-m<sup>3</sup> suuruisen hakekuorman tyhjennysajan arvioksi noin yhtä tuntia, jota kaikki vastaajat pitivät varsin pitkänä. Hakeyritys 1:n mukaan hakekuorman tyhjennysaika saisi olla korkeintaan 15 minuuttia. Energiatuote Utriainen ei ollut aivan yhtä jyrkkä toimitusajan suhteen, sillä heidän mukaansa tämän suuruisen hakekuorman tyhjentämiseen saisi mennä korkeintaan 30–40 minuuttia. Puutarhayritys 1 ei ilmaissut omaa mielipidettään keston ylärajaksi, mutta toi esiin, että toimituksesta tulee kuluja yleensä 70–90 €/tunti. Tällöin 40 i-m<sup>3</sup> hakekuormassa toimituskustannus olisi aivan liian korkea. Lisäksi Hakeyritys 1 toi esiin, että vaikka hakelämpökontit ovat pieniä toimituskohteita, niin kohteeseen pitäisi toimittaa vähintään 20 i-m<sup>3</sup> kerralla, jotta kuljetuksissa olisi tarpeeksi kannattavuutta.

Puhallusteknologian mahdollistama hakkeen toimitus ahtaisiin tai korkeisiin paikkoihin ei ollut nykytilanteessa erityisen suuri etu. Puutarhayritys 1 ei pitänyt tätä ollenkaan tärkeänä. Kahden muun vastaajan mielestä näistä ominaisuuksista voisi olla hyötyä joissain tilanteissa, mutta kovin ahtaita toimituspaikkoja ei tällä hetkellä ole kovinkaan monia. Energiatuote Utriaisella ja Hakeyritys 1:llä oli tosin tiedossa kohteita, joihin on ollut hankala päästä kuorma-autolla. Ne olivat yleensä maatiloja, joita ei ollut suunniteltu hakelämmitystä varten. Ylöspäin puhaltaminen korkealle siiloon koettiin tärkeämpänä kuin ahtaaseen rakoon puhaltaminen. Toisaalta nähtiin, että puhallustoimitus voisi avata hakkeen käytölle lisää mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Ainoastaan Energiatuote Utriainen ilmoitti käsittelevänsä muita sellaisia materiaaleja, joita voitaisiin puhaltaa hakkeen tavoin. Tässä tapauksessa kyseessä oli kuivikkeiden toimitus, mutta toimituskohteet ovat olleet tilavia, joten oli selvitty kuorman kippauksella.

Pelkän puhaltimen vaatiman investoinnin arvioitua suuruutta ei pidetty itsessään liian suurena, jos puhaltimelle löytyy tarpeeksi käyttöä. Energiatuote Utriainen arvioi karkeasti, että puhallustoimituksesta riippuvia hakekohteita tulisi olla omalla toiminta-alueella kymmeniä, jotta puhallustoimituksissa olisi tarpeeksi volyyminia, mutta toisaalta liian pienet kohteet voisivat olla kannattavuudeltaan haastavia. Hakeyritys 1:n mukaan hakkeen puhallustoimituksia pitäisi olla vuosittain ainakin 20 000 i-m<sup>3</sup> ja kertatoimitus per kohde vähintään edellä mainittu 20 i-m<sup>3</sup>. Lisäksi Hakeyritys 1 arvioi, että hakelämmityksen pitäisi olla pellettilämmitystä edullisempaa, jotta tällaiset kohteet yleistyisivät. Pellettien puhallustoimitusta ei taas nähty kilpailukykyisenä, sillä sitä varten täytyisi mm. nykyistä konttikalustoa uusia tiiviimmäksi kosteuden poissa pitämiseksi. Jos puhallustoiminta vaikuttaa kannattavalta, niin kalusto hankittaisiin omiin nimiin. Puhaltimien leasing-vaihtoehto nähtiin sopivana vaihtoehtona toimintaa aloitteleville yrittäjille. Puutarhayritys 1 ei kannattavuus- tai investointiasioihin ottanut kantaa, sillä he eivät halua olla kuljetuksissa mukana ja puupuolella liiketoimintaa pyritään laajentamaan sahatavaran puunjalostukseen eikä hakepuolelle.

#### ***4.2.2 Kone- ja kuljetusalan yritykset***

Kone- ja kuljetusyrittäjiltä saatiin vastauksia Kuljetusliike Kari Malmsted Oy:ltä, MPT Kuljetus Oy:ltä ja Koneyrittäjä 1:ltä. Lisäksi sidosryhmähaastatteluissa SKAL Itä-Suomi ry:n toiminnanjohtaja Heikki Lappalainen vastasi toimialan mukaisesti kysymyksiin.

Puhallusteknologian käyttäminen hakkeen toimituksiin oli kaikille kolmelle yrittäjälle uutta, mutta hakelämpökonteista oli kuultu. SKAL Itä-Suomen toiminnanjohtaja on ollut mukana Puhallus-hankkeen ohjausryhmässä, joten hänelle hankkeen taustat olivat ennalta tuttuja. Soveltuvaa kalustoa oli MPT Kuljetuksella useita koukku- ja vaihtolava-ajoneuvoja sekä lisäksi pyöräkuormaajia. Kuljetusliike Kari Malmstedilla oli lavettikalustoa ja kalustoa maanrakennustoimituksiin. Koneyrittäjä 1:llä soveltuvaa kalustoa oli yksi kuorma-auto vaihtolavalla ja muutama muu raskas ajoneuvo, joiden soveltuvuudesta puhallustoimituksiin ei oltu täysin varmoja. Kellään haastateltavista ei ollut kokemusta omasta haketuotannosta. Hakekuljetusten osalta taas Kuljetusliike Kari Malmstedilla ei ollut juurikaan kokemus-

ta, vaikka suunnitelmia oli ollut joskus aikaisemmin. MPT Kuljetus taas oli kuljetanut haketta ainoastaan terminaaleihin kippaamalla. Koneyrittäjä 1 ilmoitti kuljettaneensa haketta silloin tällöin, yleensä pieniin kohteisiin kuten maataloille, mutta toiminta oli ollut sen suhteen katkonaista. Heikki Lappalaisen mukaan kiinteiden biopolttoaineiden kuljetuksiin erikoistuneita yrityksiä on Itä-Suomessa useita ja viime aikoina kuljetusalalla hakekuljetusten kehitys on ilmennyt resursseja omaavien yritysten toiminnan kasvamisena ja kaluston käytön tehostumisena. Energiapuun käytön ja siten kuljetusten osalta haasteena on yhteiskunnan poukkoileva tuki, joka on hankaloittanut ennustettavuutta. Lappalaisen näkemyksen mukaan hakekuljetusten pitäisi olla kannattavia myös ilman energiapuutukia, jotta ala kasvaisi.

Tunnin kestävä tyhjennysaika 40 i-m<sup>3</sup> hakekuormalle pidettiin liian pitkäkestoisena. Kuljetusliike Kari Malmstedin ja Koneyrittäjä 1:n mukaan 30 minuutti olisi kestolle yläraja, MPT Kuljetuksen mukaan tämäkin olisi vielä liian pitkä aika. Heikki Lappalaisen mukaan kuljetusalan yritykset ovat tottuneet nopeisiin toimituksiin ja purkuaikoihin, joten jos purkuajat ovat näin pitkiä, niin luultavasti yrityksen pitäisi olla erikoistunut juuri tämänkaltaiseen toimintaan. Kuljetusliike Kari Malmstedin mukaan puhaltaminen ahtaaseen tai korkeaan paikkaan on tärkeä etu. Koneyrittäjä 1 oli samoilla linjoilla. Hänen kohdallaan tämä tieto olisi vaikuttanut tehtyihin päätöksiin, kun hänen oman hallinsa lämmitysratkaisua vaihdettiin. Lisäksi pari asiakkaana ollutta maatilakohdetta oli ollut suhteellisen hankalia kuljetuksen osalta, mutta niistäkin oli lopulta selvitty. MPT Kuljetus taas oli täysin eri linjoilla. Heidän näkemyksensä mukaan hankaliin paikkoihin ei yrittäjän näkökulmasta ole mielekästä toimittaa haketta. Puhallusletkun vetäminen talvella pihojen poikki mahdollisesti kymmeniä metrejä olisi vain ylimääräistä ja rasittavaa työtä, josta ei saisi riittävää korvausta niin, että toiminta olisi kannattavaa kaikille osapuolille.

Puhaltimien hintaindikaatiota ei pidetty liian korkeana, jos laitteelle olisi tarpeeksi käyttöä ja, jos muu kalusto on yhteensopiva puhaltimen suhteen. MPT Kuljetus arvioi, että laaja ja kannattava puhallustoiminta vaatisi useamman puhaltimen, joille pitäisi olla koko ajan käyttöä. Toisaalta samalla rahalla saisi kehitettyä nykyistä ydinliiketoimintaa, jolloin investoinneilleen saisi ”varmaa” katetta. Kukaan

vastanneista ei osannut tarkemmin arvioida sellaista puhallustoimitusten määrää, jolla investointi olisi kannattava. Kuljetusliike Kari Malmstedin mukaan heillä pitäisi olla 150 000 i-m<sup>3</sup> kuljetuksia vuodessa, jotta ylipäättään lähtisivät laajemmin hakekuljetuksiin mukaan. Aikaisemmin hakekuljetuksiin keskittymistä mietittiin, mutta silloin ei ollut hakekuljetuksille tarpeeksi kysyntää. Heikki Lappalaisen arvioi, että puhallininvestointi on suuri verrattuna pelkkään konttiin, jolla voitaisiin toimittaa perinteiseen tapaan. Toisaalta investointi on pieni verrattuna kuorma-autoon, jota tarvittaisiin jo pelkän kontin tai lavan kuljettamiseen. Ja jos puhallinta voidaan käyttää vaikka kymmenenkin vuotta, niin investointi ei ole suuri jaettuna koko käyttöajalle. Haketoimitusten kausiluonteisuus ilmeni myös yhdeksi kannattavuutta haittaavaksi tekijäksi. Kuljetusyrityksiä kaluston leasing-mahdollisuus ei kiinnostanut, varsinkaan jos käyttöä olisi vain osalle vuodesta, mutta leasing-maksut rullaisivat ympäri vuoden.

Puhaltimien käyttämistä muiden materiaalien kuin hakkeen toimitukseen ei ollut ajankohtainen haastateltavien yritysten kannalta. Oheistoiminta nähtiin mahdollisuutena kasvattaa kaluston käyttöastetta, mutta ei siinä tapauksessa, jos samalla tarvittaisiin jotain muuta erikoistunutta kalustoa. Lappalainen arvioi riittävän oheistoiminnan löytymisen olevan haastavaa, koska perinteisillä energiapuualueilla ei luultavasti ole paljonkaan kysyntää viherrakentamiselle, maisemoinnille tai muulle vastaavalle toiminnalle.

#### **4.2.3 Lämpötoimijat**

Energiatoimijoista kyselyyn vastasivat Energiatuote Utriainen Oy, Kaukolämpöyrittäjä 1, Kaukolämpöyrittäjä 2 ja Lämpötoimija 1. Lisäksi sidosryhmähaastattelussa Metsäkeskuksen bioenergian ja biotalouden asiantuntija Kyösti Turkia vastasi aiemmin käsiteltyjen hakealan kysymyksien lisäksi kysymyksiin hakkeen energiakäytöstä.

Kahdella kaukolämpöyrittäjällä oli lämmöntuotannon lisäksi myös sähköntuotantoa ja kahdella muulla vain lämmöntuotantoa. Energiatuote Utriaisella oli toimintaa koko arvoketjulla aina energiapuun korjuusta hakettamiseen ja pienten lämpölaitosten toiminnasta vastaamiseen. Heidän lämpölaitoksistaan neljä olivat kokoluokaltaan 0,5–2 MW ja yksi oli alle 100 kW. Näillä lämmitetään toiminta-alueen

kuntien omistamia kiinteistöjä ja eri teollisuuskiinteistöjä. Lämpötoimija 1:n kaksi laitosta oli kokoluokiltaan 300 kW ja 2 MW ja niillä tuotetaan lämpöä pääosin teollisuuskiinteistöille. Kahden kaukolämpöyhtiön toiminta on huomattavasti laajempaa ja suurimmat laitokset olivat sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Näillä molemmilla asiakkaina oli kaikenkokoisia kiinteistöjä taajama-alueilla.

Molemmat pienemmät lämpötoimijat käyttivät vain haketta lämmöntuotannossa. Kaukolämpöyrittäjä 1:llä hake muodosti lämmöntuotannosta 50 %, loppuosan ollessa pääosin turvetta, lisäksi pienemmissä kattiloissa käytettiin pellettiä. Kotimaiset polttoaineet vastasivat yli 95 % koko tuotannosta. Kaukolämpöyrittäjä 2:n suurimmassa laitoksissa käytettiin 80 % erilaisia puupolttoaineita ja 10 % turvetta. Pienissä laitoksissa rankahake muodosti 90 % lämmöntuotannosta ja öljy alle 10 %. Kaukolämpöyrittäjä 2:n käyttämästä hakkeesta 95 % tuli 50 km säteellä laitoksista. Kyösti Turkian mukaan hakkeen käyttö energiantuotannossa on ollut tasaista viime vuosikymmenen, mutta oli edellisenä vuonna lähtenyt lievään nousuun. Kasvu on näkynyt ja tulee näkymään hakkeen korvatussa kivihiltä ja turvetta suurtuotannossa. Hakkeen pienkäyttö taas ei ole ollut merkittävää, vaikka sen potentiaali koettiin suureksi. Toisaalta puupolttoaineiden osuutta pienkäytössä olivat vähentäneet muut uusiutuvan energianratkaisut, kuten maalämpö ja lämpöpumput.

Siirrettävät hakelämpökontit olivat konseptina tuttuja kaikille, mutta omakohtaista kokemusta ei ollut kenelläkään niistä. Toisaalta Kaukolämpöyrittäjä 1:llä oli kylläkin kokemusta pellettikonteista. Kaukolämpöyrittäjä 2 taas oli käyttänyt siirrettäviä öljykontteja väliaikaisina lämmönlähteinä joissain tilanteissa. Muuna aikana ne olivat lämpölaitosten varavoimana, jonka takia niissä suosittiin öljyä nopean käyttöönoton takaamiseksi. Puhallusteknologia hakkeen toimitusmuotona oli sitä vastoin uutta kaikille. Hajautettu lämmöntuotanto ylipäättään oli pienille toimijoille tuttua ja osa nykyistä liiketoimintaa, kun taas molemmilla kaukolämpöyrittäjillä toiminta oli keskittyneempää. Kaukolämpöyrittäjä 1:llä oli haastatteluhetkellä muutama erilliskohde. Kaukolämpöyrittäjä 2:lla ei sellaisia ollut. Kummankin kaukolämpöyrittäjän kohdalla oli varsin vähän kiinnostusta liiketoiminnan laajentamiseen hajautettuun tuotantoon kauemmaksi kaukolämpöverkkoalueelta. Vaikka ilmeni, että molemmilla kaukolämpöyrittäjillä oli kokemusta tilanteista, joissa

suunniteltu kaukolämpöverkon laajentaminen oli epäonnistunut, kun kiinteistöjen osalta ilmeni liian vähäistä halukkuutta sitoutua kaukolämpöön. Kaukolämpöyrittäjä 1 ilmoitti suuremman kiinnostuksen puutteen syyksi seudun kuihtuvat kylät ja taajamat. Lisäksi, että heidän kannaltaan lupaavimmat alueet ja kiinteistöt oli jo liitetty kaukolämpöön ja kokoluokaltaan muutaman sadan kilowatin laitoksilla olisi heidän hankala tehdä kannattavaa liiketoimintaa. Kaukolämpöyrittäjä 2:n mukaan kiinnosta hajautettuun tuotantoon vähensi edellä mainitut asiat ja se, että pienillä paikkakunnilla on yleensä jo joku paikallinen toimija, jonka koko liiketoiminta on pientuotantoa. Lisäksi pienten kohteiden ylläpitoa ja lämmöntuotannon sujuvuutta varten täytyisi perustaa päivystysorganisaatio, jollaista pidetään turhan kalliina. Kaukolämpöyrittäjä 2:n kannalta kiinnostavia kohteita voisivat olla sellaiset, joissa useat lähekkäin sijaitsevat kiinteistöt siirtyisivät öljystä hakelämmitykseen, mutta silloinkin kohteiden täytyisi olla tarpeeksi suuria.

Hakelämpökotien siirrettävyys, kevyt rakenne ja integroidun hakevaraston tuoma kompaktius nähtiin lämmöntuottajien suunnalta hyvinä ominaisuuksina. Tärkeimpänä toki nähtiin kustannushyödyt, joita voitaisiin saada öljystä luopumalla. Turkian mukaan siirrettävyyden tuoma joustavuus on varsinkin Itä-Suomessa tärkeää, sillä alueella on paljon kiinteistöjä, joiden käyttötarkoitus voi tulevaisuudessa muuttua. Lisäksi hakkeen laadun tärkeyden nähtiin korostuvan varsinkin pienissä laitoksissa ja hakkeen puhallustoimituksessa. Ainakin Kaukolämpöyrittäjä 1:llä oli kokemusta heikkolaatuisesta ja liian märästä hakkeesta, joka jäätyi helposti talvella. Hajautettuun, pienistä laitoksista koostuvaan tuotantoon soveltuviksi nähtiin sellaiset yritykset, jotka tuottaisivat itse käyttämänsä hakkeen. Tällöin voitaisiin varmistua, että polttoaine olisi mahdollisimman korkea- ja tasalaatuista.

#### ***4.2.4 Öljylämmitteisten kiinteistöjen omistajat***

Öljylämmitteisten kiinteistöjen osalta vastauksia saatiin Mikkelin kaupungin kiinteistöpäälliköltä ja energiainsinööriltä sekä Mikkelin Notkola Kiinteistö Oy:ltä, Teollisuusyrittäjä 1:lta ja Koneyrittäjä 1:lta. Koneyrittäjä 1 osallistui alun perin vain kone- ja kuljetusyrittäjille suunnattuun kyselyyn, mutta haastattelun aikana ilmeni, että heidän kohdallaan voitaisiin toteuttaa myös öljylämmittäjille suunnattu kysely.



Mikkelin Notkola Kiinteistö Oy:n betonirakenteisessa 1 500 m<sup>2</sup> suuruisessa konepajahallissa oli 1970-luvun lopulta peräisin oleva öljyjärjestelmä, joka osin korvattiin kolme vuotta sitten ilma-vesilämpöpumpulla, jolloin öljyn käyttö oli puolettunut. Koneyrittäjä 1:n hallissa oli samoin korvattu öljy osittain ilma-vesilämpöpumpuilla ja nykyään öljyä kuluu vain veden lämmitykseen, jota tarvitaan paljon. Teollisuusyrittäjä 1:n hallissa öljykattila oli myös 1970-luvulta ja on yhä päälämmönlähde. Öljynkulutus siinä oli noin 16 000 litraa vuodessa. Mikkelin kaupungilla oli 16 öljylämmitteistä kiinteistöä, joista kouluja tai päiväkoteja oli seitsemän. Lisäksi oli mm. nuoriso- ja palvelutaloja sekä yksi kirjasto. Vuonna 2019 näiden kiinteistöjen öljynkulutus vaihteli 2 000 litrasta 46 000 litraan ja yhteensä kulutus oli 238 000 litraa. Osassa kohteita oli öljyn lisäksi maalämpö tai hakelämmitys.

Teollisuusyrittäjä 1 ei ole tarkemmin ajatellut öljystä luopumista tai tehnyt selvityksiä, mutta arveli, että ennen pitkään joutuu luopumaan öljystä. Notkolan Kiinteistö Oy ei ole suunnitellut lopusta öljystä luopumista, sillä kiinteistö on tarkoitus kaupata eteenpäin. Koneyrittäjä 1:n mukaan veden lämmitykseen menee nykyisellään ehkä turhan paljon öljyä ja sen kulutusta haluttaisiin vieläkin vähentää. Mikkelin kaupungilla ei olla pyritty korvaamaan loppuja öljykohteita, sillä osasta kiinteistöjä ollaan luopumassa ja osaa kouluista ollaan lakkauttamassa. Esimerkiksi kouluja voidaan lakkauttaa nopeastikin poliittisella päätöksellä ja pitkäjänteisyyden puute vaikeuttaakin lämmitysratkaisujen muutosasioita. Sen sijaan on keskitytty energiatehokkuuden lisäämiseen ja sitä kautta päästöjen pienentämiseen.

Mikkelin kaupunki varaa vuosittain 150 000 € energiahankkeisiin ja hankkeissa pyritään hyödyntämään Business Finlandin energiatukea, jota voi saada tämän suuruisiin hankkeisiin. Tällöin 100 kW kontin hinta-arviona esitetty 80 000–100 000 € olisi siis mahdollinen. Notkolan Kiinteistö Oy ja Koneyrittäjä 1 hyödyntäisivät mielellään energiatukia, jos päätyisivät luopumaan jäljellä olevasta öljyn osuudesta. Teollisuusyrittäjä 1:n öljystä luopuminen vaatisi energiatuen saamista. Yrittäjät eivät osanneet arvioida kuinka paljon olisivat valmiita investoimaan uusiutuvaan lämmitysratkaisuun.

Teollisuusyrittäjä 1, Notkolan Kiinteistö Oy ja Mikkelin kaupunki olivat kuulleet siirrettävistä hakelämpökoneteista. Notkolan Kiinteistö Oy:lle oli jonkinlaista konttia tarjottu, mutta tiedossa ollut naapurihallin hakelaitossuunnitelman kariutuminen ympäröivän asutuksen vastustuksen takia vei silloin oman mielenkiinnon. Ilman tätä ongelmaa hakkeeseen olisi luultavasti päädytty, jolloin öljy olisi korvautunut kokonaan. Nykyinen leasing-sopimuksella oleva ilma-vesilämpöpumppu järjestely on osoittautunut ongelmalliseksi, sillä laitteisto on ollut herkkä vikaantumaa. Lisäksi parempaan nähtiin, että lämpö tulisi yhdestä lähteestä, eikä kahdesta kuten nyt. Koneyrittäjä 1 oli ennen lämpöpumppuja suunnitellut haketta, mutta hankalan sijainnin vuoksi olisi tarvittu kuljettimia hakkeelle, mikä olisi ollut liian suuritöistä. Siirrettävä kontti integroidulla varastolla oli hänelle uutta, ja hän olisi luultavasti päätenyt sellaisen hankkimaan lämpöpumppujen sijaan. Myös puhallustoimitus itsessään olisi ratkaissut alkuperäisen hakepolttimosuunnitelman ongelmat. Hän arveli myös, että hakkeella yritystoiminnan käyttämän veden lämmitys onnistuisi paljon paremmin kuin lämpöpumppuilla, jolloin öljynkulutus olisi laskenut paljon enemmän. Mikkelin kaupungilla johonkin kohteeseen oli selvitetty hakekonttiratkaisua, mutta silloin ratkaisu olisi ollut sekä lämpöyrittäjälle että lämmönostajalle kannattamaton.

Konttiratkaisun pieni tilavaatimus ei toisi merkittäviä etuja Notkolan Kiinteistö Oy:lle, Teollisuusyrittäjä 1:lle tai Mikkelin kaupungille, sillä kohteiden tonteilla ei ole puutetta tilasta. Mikkelin kaupungilla suurempaan etuna nähtiin lämpökeskuksen sijoittuminen rakennuksen ulkopuolelle, jolloin rakennuksiin ei tarvitsisi tehdä rakenteellisia muutoksia, joiden hinta voisi nousta hyvin korkeaksi. Jopa samoihin lukuihin kuin itse kontin hinta. Koneyrittäjä 1:lle taas tilan säästyminen olisi ollut hyvin tärkeä asia, kuten aiemmin todettiin.

Hakkeen reilusti pienempi hinta öljyyn verrattuna kiinnosti yrittäjiä, mutta hakkeen käyttöönoton vaatimat investoinnit arveluttivat. Notkolan Kiinteistö Oy:llä tämä johtui siitä, että kiinteistöä pyritään kauppaamaan ja Teollisuusyrittäjä 1 arveli takaisinmaksuajan kuitenkin olevan ainakin 10 vuotta ja tälle ajalle oman toiminnan jatkuvuus voi olla epävarmaa. Kaikki haastateltavat tarvitsisivat ulkopuolisen lämpöyrittäjän hoitamaan mahdollista hakelämmitystä. Mikkelin kaupunkikin oli luopunut omasta huoltohenkilöstöstään kymmenisen vuotta sitten.

#### **4.2.5 Ekologisuus- ja kustannuskysymykset**

Etelä-Savon omien biomassavarojen käytön edistämiseen sekä lämmityksen päästö- ja kustannushyötyjen saavuttamiseen suhtauduttiin kyselyihin vastanneiden joukossa myönteisesti. Varsinkin paikallisten metsävarojen hyödyntämistä pidettiin erittäin tärkeänä aluetalouden kannalta. Energiantuottajat ja kuljetusyrittäjät painottivat silloin lyhyiden kuljetusmatkojen hyötyjä kustannusten sekä päästöjen osalta. Lisäksi energiantuottajille paikallisuuden tuomaa huoltovarmuutta painotettiin, kun muistettiin vielä turpeen käytön väheneminen lähivuosina. Kiinteistöjen omistajille eli lämmön ostajille paikallisuutta haluttiin kyllä tukea. Varsinkin yrittäjät halusivat nähdä elinvoiman jäävän omalle seudulle, mutta hinta oli kuitenkin tärkein tekijä, niin lämmön tuottajille kuin ostajillekin. Mikkelin kaupungin osalta ilmaistiin, että paikallisia tuottajia olisi hyvä tukea, mutta heidän osaltaan tärkein ohjaava tekijä on hankintalaki, jonka takia kaikkia polttoainetuottajia on kohdeltava tasavertaisesti niiden sijaintipaikasta riippumatta.

Ylipäätään fossiilisten polttoaineiden korvaamista uusiutuvilla energiaratkaisuilla pidettiin tärkeänä. Suurimmat lämmöntuottajat eivät kuitenkaan kokonaan pysty tai halua luopua fossiilisista, sillä varsinkin öljy soveltuu ominaisuuksiensa puolesta parhaiten huipputuotantoon ja varavoimaksi. Tosin painetta turpeesta luopumiseksi pidettiin liian kovana ja nykyisellään turpeen lopettamisen toimenpiteet koettiin liian nopeatempoisiksi. Fossiilisten polttoaineiden kulutuksen vähentyessä tuotannon kotimaisuusasteen sanottiin nousevan, vaikkakin se oli jo nyt kaikilla mukana olleilla lämmöntuottajilla korkea.

Puhallus-hankkeen mukaisen puhallustoimitusketjun ja lämpökontin konseptissa oleellista teknologiaa valmistetaan Suomessa ja tämä nähtiin etuna vastanneiden joukossa. Eri alojen yrittäjät, lämmön ostajat mukaan lukien, ilmaisivat halunsa suosia kotimaista tekniikkaa, jos se olisi kustannusten puolesta mahdollista. Tosin, yksi kuljetusyrittäjä ilmaisi epäluulonsa kotimaisen teknologian luotettavuuteen, sillä hänen mukaansa ”Suomessa tehdään kompromissiratkaisuja, joilla laitteet saadaan toimimattomiksi”. Mikkelin kaupungin osalta hankintalaki estää suosi-  
masta kotimaista, joten alkuperä- tai valmistusmaalla ei ole suurta merkitystä.

Kuitenkin kotimaisuuden mukanaan tuomaa varaosien ja teknisen tuen huoltovarmuutta pidettiin tärkeänä.

## 5 SELVITYS ÖLJYKOhteista MAAKUNNASSA JA NIIDEN MUUTOSTARPEISTA

Toimenpideoisio 2

*Mika Laihanen & Antti Karhunen*

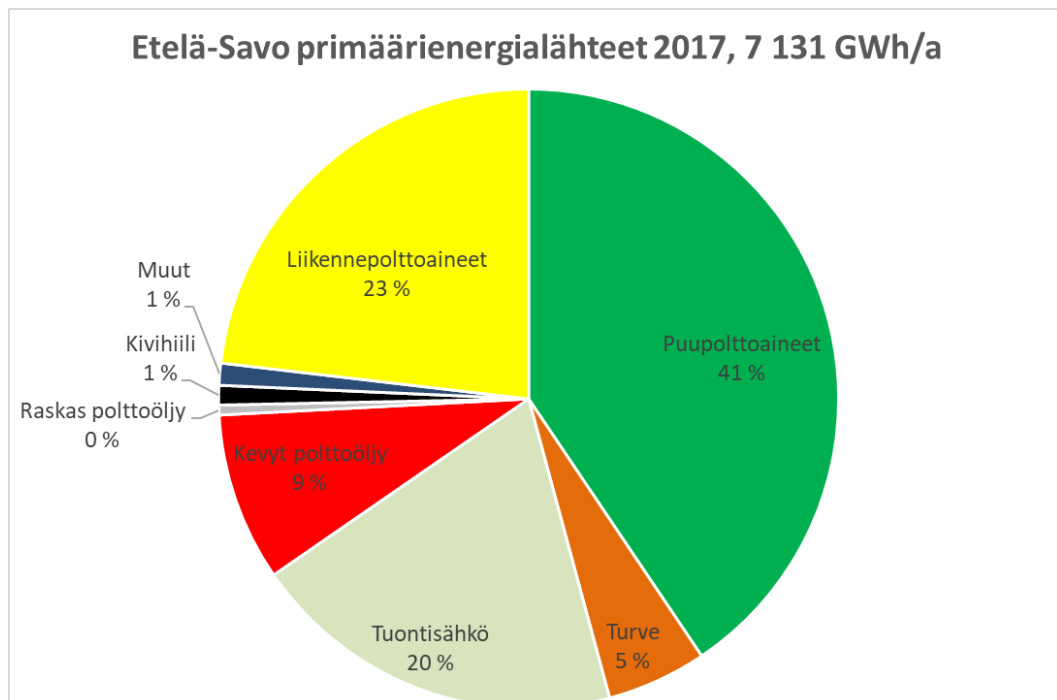
### 5.1 Taustaa ja osatehtävän tavoite

Etelä-Savon maakunnan energian käyttöä on analysoitu energiataseiden avulla (Laihanen 2019). Niiden tulokset kertovat maakunnan kokonaisenergian kulutuksen sekä eri primäärienergiälähteiden osuudet. Tulosten avulla voidaan kohdentaa toimenpiteitä esim. uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi sekä arvioida eri toimenpiteiden vaikuttavuutta. 1990-luvun alusta alkaen Etelä-Savossa tavoitteena on ollut korvata fossiilisia energialähteitä paikallisilla uusiutuvilla energialähteillä. Erityisesti omien puupolttoaineiden käyttöä on pyritty kasvattamaan, koska paikalliset metsävarat mahdollistavat niiden tehokkaamman hyödyntämisen (Karttunen 2017). Maakunnan omien toimenpiteiden lisäksi myös kansainvälisessä ja kansallisessa toimintaympäristössä tapahtuvat muutokset vaikuttavat maakuntien energian käytön kehitykseen.

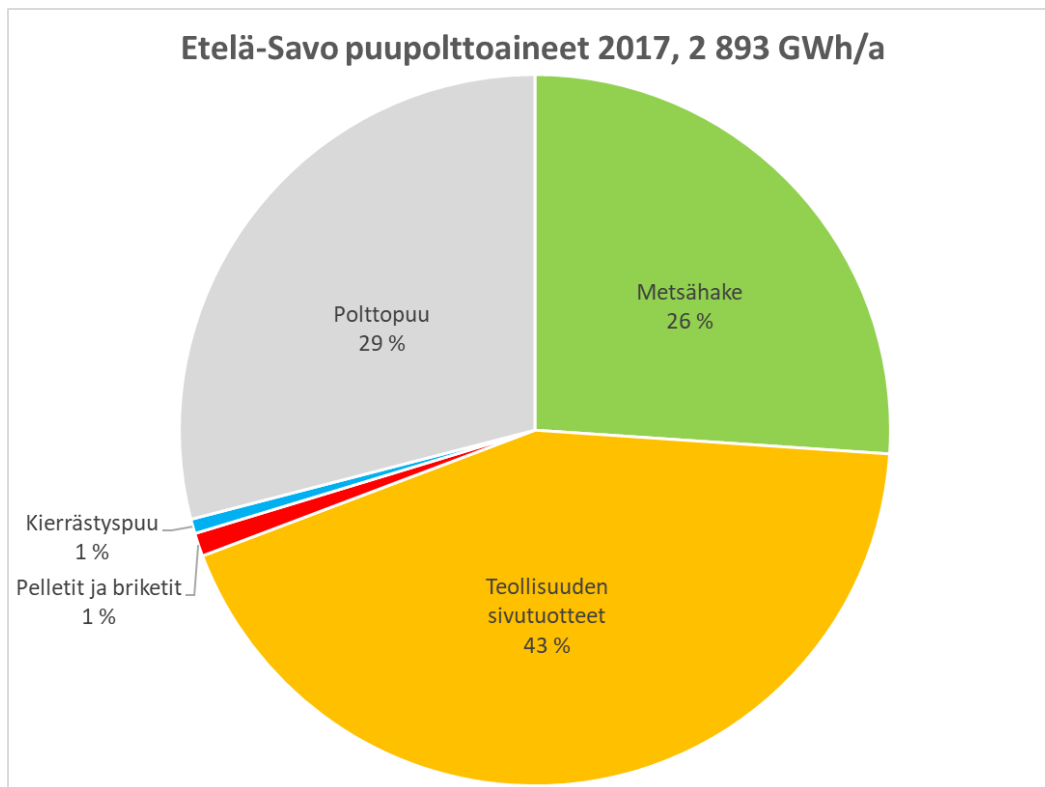
Vuonna 2017 Etelä-Savon maakunnan primäärienergiälähteiden käyttö oli 7 131 GWh, josta uusiutuvien energialähteiden osuus oli 54 % ja fossiilisten 46 %. Puupolttoaineet olivat 41% osuudella merkittävin primäärienergian lähde Etelä-Savossa. Etelä-Savon polttoaineiden käytöstä vuonna 2017 uusiutuvien osuus oli 73 %, kun liikenteen ja tuontisähkön primäärienergiämäärät eivät ole mukana. Vuonna 2017 liikennepolttoaineissa biopolttoaineiden osuus oli 12 % ja tämä toteutui valtakunnallisen jakeluvoitteen kautta. Vuonna 2019 liikennepolttoaineissa biopolttoaineiden jakeluvoitte on 18 % ja vuodesta 2020 alkaen 20 %. Kuvassa 13 on Etelä-Savon maakunnan kunnat. Kuvassa 14 on Etelä-Savon maakunnan primäärienergian käyttö vuonna 2017 ja kuvassa 15 Etelä-Savon maakunnan puupolttoaineiden käyttö vuonna 2017. (Laihanen 2019)



**Kuva 13** Etelä-Savon maakunnan kunnat (Etelä-Savon maakuntaliitto).



**Kuva 14** Primäärienergiälähteiden käyttö Etelä-Savossa vuonna 2017 (Laihanen 2019).



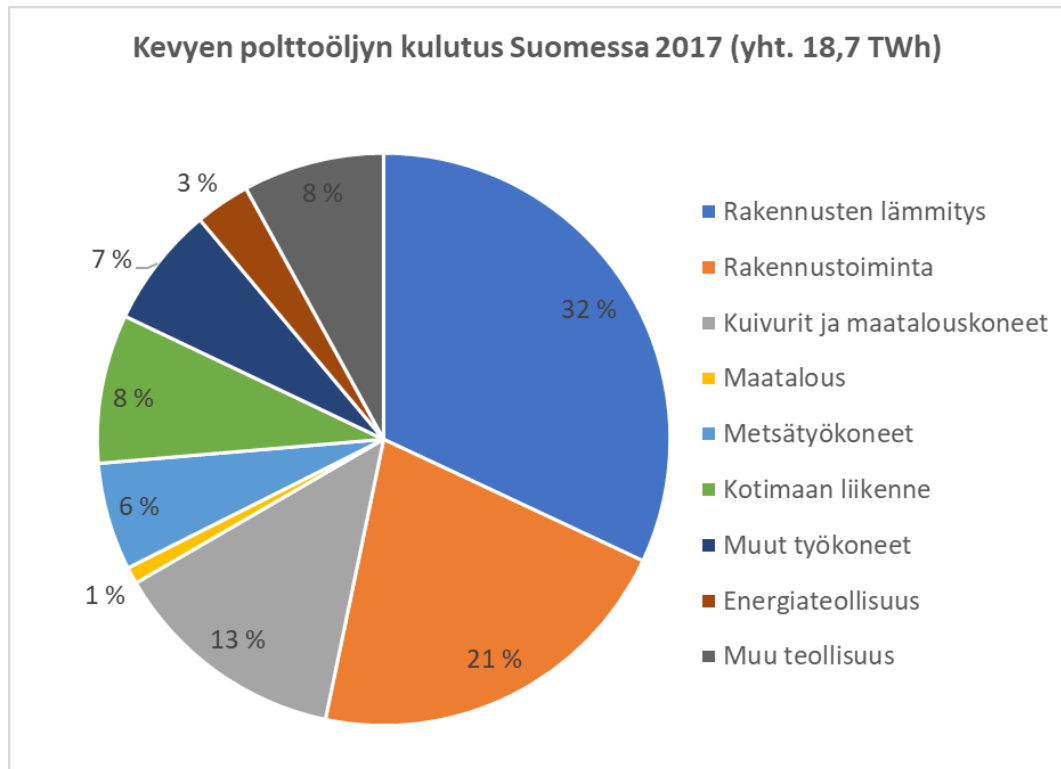
**Kuva 15** Puupolttoaineiden käyttö Etelä-Savossa vuosina 2017 (Laihanen 2019).

Paikallisia puupolttoaineita voitaisiin käyttää maakunnassa nykyistä enemmän ja erityisesti niillä voitaisiin korvata kiinteistöjen lämmityksessä käytettävää fossiilista polttoöljyä. Uusien toimintamallien ja käyttöteknologioiden kehitys avaa uusia mahdollisuuksia puupolttoaineiden käytön lisäämiseksi.

ToimenpideoSION tavoitteena oli selvittää Etelä-Savon maakunnan lämmitysöljyn käyttäjät. Lämmityksessä öljyä käytetään mm. teollisuudessa, kaukolämmön tuotannossa ja eri kokoisissa kiinteistöissä. Tavoitteena oli myös löytää potentiaalisimmat kohteet, jotka voisivat hyödyntää uutta hakkeen toimitus- ja käyttökonseptiä. Toteutuksen yhteydessä lisättiin myös potentiaalisten käyttäjien teknistaloudellista tietämystä uusiutuvasta energiasta sekä uudesta hakkeen toimitus- ja käyttökonseptista. Toteutuksessa kartoitettiin nykyisten öljylämmittäjien syitä ja hindasteita, jotka vaikuttavat öljyn korvaamiseen uusiutuvilla energialähteillä.

## 5.2 Öljyn käyttö ja kohteet Etelä-Savossa

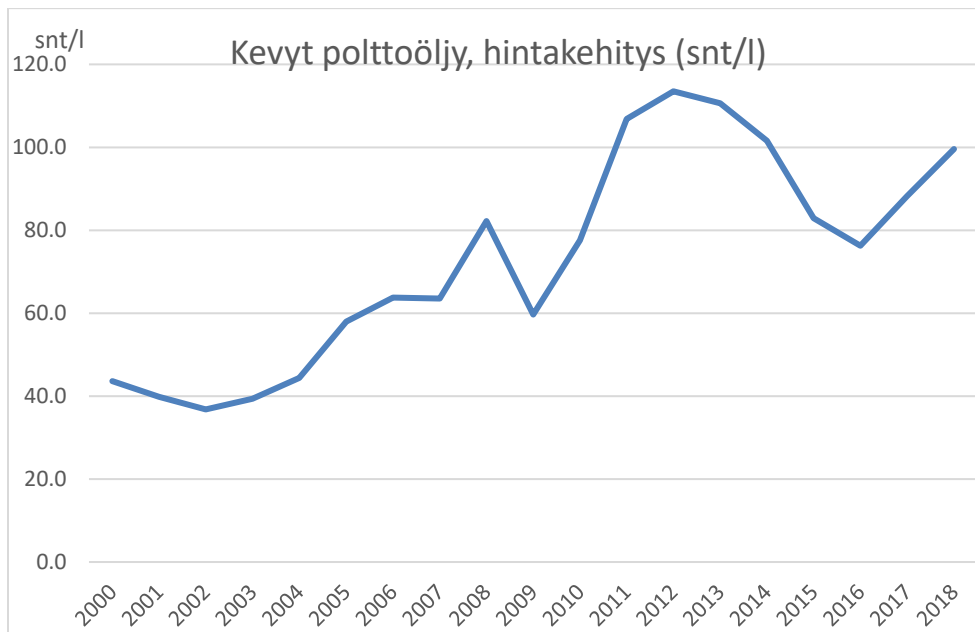
Suomessa kevyen polttoöljyn kulutus vuonna 2017 oli 18,7 TWh ja kuvassa 16 on kulutuksen jakautuminen sektoreittain.



**Kuva 16** Kevyen polttoöljyn kulutus Suomessa vuonna 2017 (Tilastokeskus 2019a).

Kiinteistöjen öljylämmityksen suosion taustalla on käytön helppous ja luotettavuus. Öljylämmitys on ollut myös kustannuksiltaan kilpailukykyinen vaihtoehto, mutta viime vuosina öljyn hinnan nousu, kiristyneet ympäristövaatimukset ja uudet lämmitysvaihtoehdot ovat vähentäneet öljylämmityksen suosiota. Kuvassa 17 on kevyen polttoöljyn keskimääräiset verolliset kuluttajahinnat vuosina 2000–2018. Vuonna 2018 kevyen polttoöljyn keskimääräinen kuluttajahinta oli 99,6 snt/l ja hinnassa erilaisten veroluontoisten maksujen osuus oli n. 45 %. Veroluontoiset maksut sisältävät valmisteveron, arvonlisäveron, huoltovarmuusmaksut ja öljysuojamaksut. Valmistevero sisältää energiasisältöveron ja hiilidioksidiveron. (Tilastokeskus 2019b)



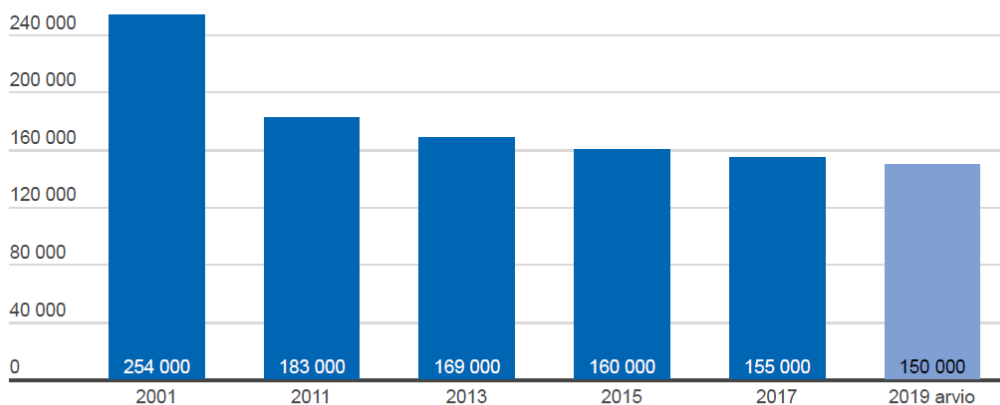


**Kuva 17** Lämmitysöljyn kuluttajahinta vuosina 2000–2018 (Tilastokeskus 2019b).

Valtakunnallisesti kevyen polttoöljyn käyttö on laskenut Suomessa ja kuvassa 18 on öljylämmitteisten pientalojen lukumäärät vuonna 2001–2019. Toisaalta vuonna 2018 Suomessa myytiin n. 3 000 uutta öljykattilaa. (Kauppalehti 25.6.2019)

### Öljylämmitteinen pientalokanta

Lukumäärä



Lähde: Rakennustutkimus RTS Oy

**Kuva 18** Öljylämmitteinen pientalokanta Suomessa.

Etelä-Savon maakunnassa uusiutuvien energialähteiden käyttöä on edistetty 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Lisäksi maakunnan kaupungeissa ja kunnissa on kaukolämmön tuotantoa, jossa hyödynnetään laajasti puupolttoaineita. Vuonna 2017 Etelä-Savon maakunnan kevyen polttoöljyn myynti oli 62 462 m<sup>3</sup> (625 GWh) ja raskaan polttoöljyn myynti oli 3 211 tonnia (36,7 GWh). (Öljyalan 2018) Raskaan polttoöljyn käyttö tulee loppumaan lähivuosina valtakunnallisten toimenpiteiden vauhdittamana. Kevyen polttoöljyn rahallinen arvo oli n. 55 milj. € ja öljyä käytettiin pääosin lämmityksessä ja työkoneissa. Tilastokeskuksen mukaan Suomessa kevyestä polttoöljystä 32 % käytettiin lämmityksessä ja 68 % oli mm. rakennustoimintaa, työkonekäyttöä ja maa- ja metsätalouden käyttöä. (Tilastokeskus 2019a) Maakuntakohtaisia tietoja ei ole saatavilla. Taulukossa 3 on analysoitu Etelä-Savon maakunnan kevyen polttoöljyn käytön vaikuttavuutta.

**Taulukko 3** Etelä-Savon kevyen polttoöljyn kulutus vuonna 2017.

	Lämmitys	Muut	Yhteensä
POK, m <sup>3</sup>	19 989	42 473	62 462
POK, l	19 989 423	42 472 577	62 462 000
POK, € (88,2 sent/l*)	17,6 milj. €	37,5 milj. €	55,1 milj. €
Autokuormia, kpl (45 t/kuorma)	375	798	1 173
Energiaa, GWh	200	425	625
Puuta, m <sup>3</sup> (2 MWh/m <sup>3</sup> )	99 947	212 363	312 310

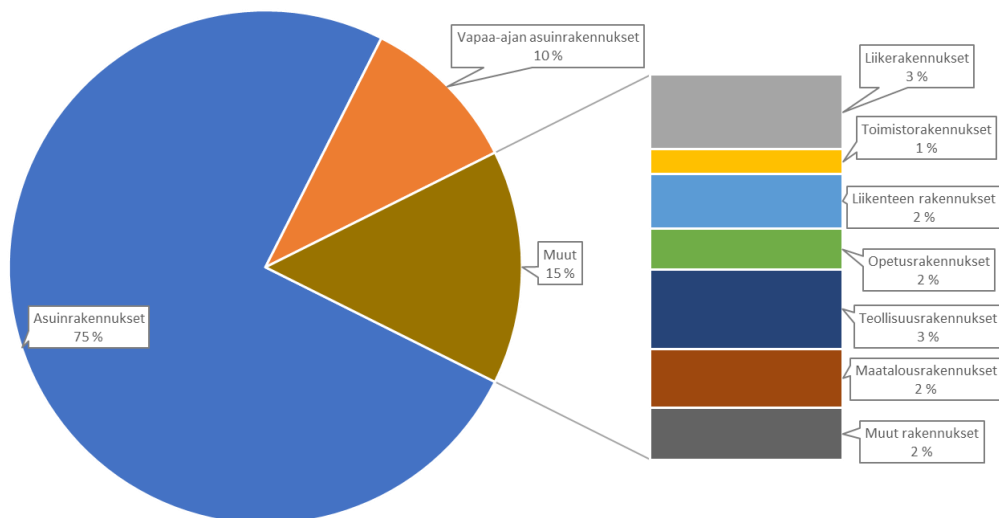
Vuonna 2017 Etelä-Savon maakunnassa lämmityksessä käytetyn kevyen polttoöljyn määrä vastasi energiasisällöltään noin 100 000 kiinto-m<sup>3</sup> energiapuuta. Väestörekisterikeskuksen tietokannan mukaan Etelä-Savon maakunnassa oli 9 769 öljylämmityskohdetta. Lukumäärältään suurin kohderyhmä oli omakotitalot. Todennäköisesti todellisten öljylämmityskohteiden lukumäärä on pienempi, koska lämmitysjärjestelmien uusinnan yhteydessä on vaihdettu esim. kaukolämpöön. Kaikki muutokset eivät ole todennäköisesti rekisteröityneet tietokantaan. Esimerkiksi isoissa kiinteistöissä vanha öljykattila on voitu jättää varajärjestelmäksi. Taulukossa 4 on kuntakohtaiset vuoden 2017 kevyen polttoöljyn myyntimäärät, energiasisältö ja kohteiden lukumäärä.

**Taulukko 4** Etelä-Savon kevyen polttoöljyn kulutus vuonna 2017 kunnittain.  
(Öljyalan 2018, Väestökisterikeskus 2018)

	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>GWh</b>	<b>Kohteiden lukumäärä</b>
Enonkoski	745	7,5	82
Heinävesi	1 999	20,0	245
Hirvensalmi	1 322	13,2	219
Joroinen	4 022	40,2	446
Juva	4 104	41,0	439
Kangasniemi	3 309	33,1	403
Mikkeli	15 113	151,1	3 093
Mäntyharju	3 319	33,2	661
Pertunmaa	1 269	12,7	223
Pieksämäki	7 055	70,6	1 263
Puumala	1 607	16,1	227
Rantasalmi	2 673	26,7	256
Savonlinna	13 629	136,3	1 954
Sulkava	2 294	22,9	258
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>62 460</b>	<b>624,6</b>	<b>9 769</b>

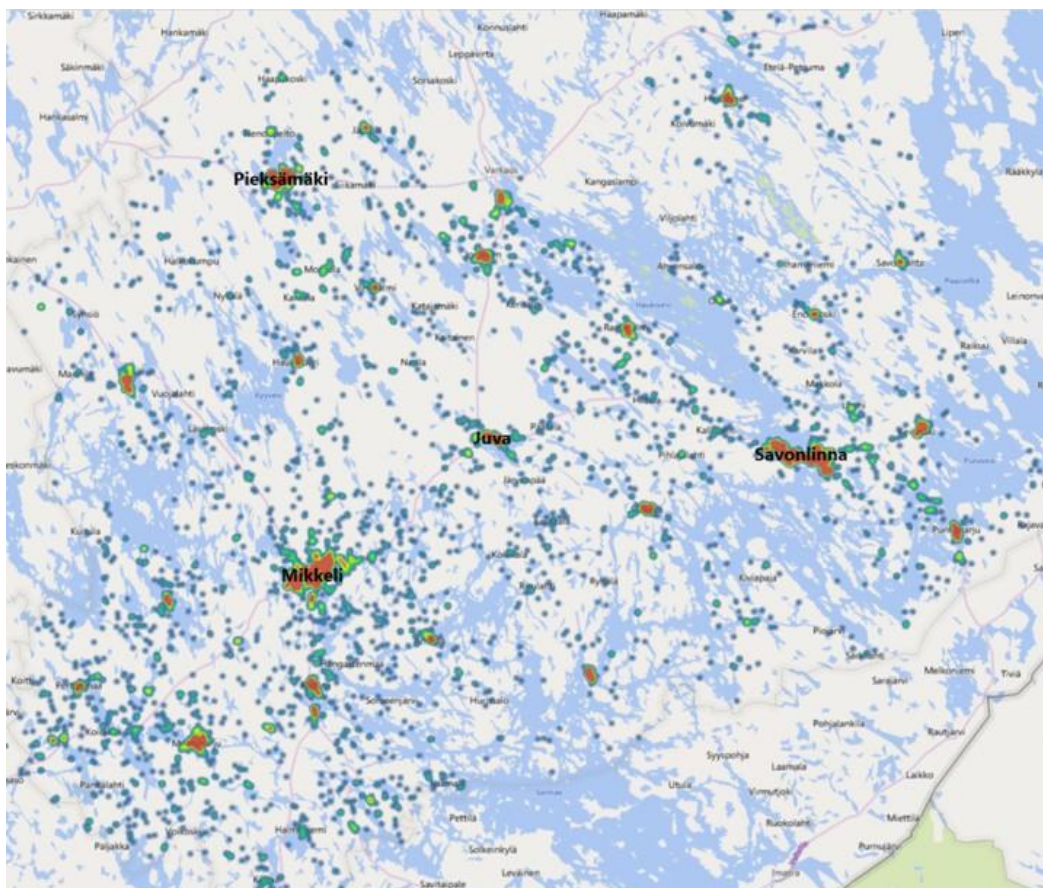
Kuvassa 19 on Etelä-Savon maakunnan öljylämmitteiset kiinteistöt rakennustyypeittäin. Kuvassa 20 on Etelä-Savon maakunnan öljylämmitteiset kiinteistöt (9 769 kpl). Erityisesti kaupunkien yhteydessä olevat keskittymät näkyvät karttakuvassa punaisena.

Öljylämmitteiset kiinteistöt Etelä-Savossa  
rakennustyypeittäin, yht. 9 769 kpl



Muut rakennukset: mm. varastot, palo- ja pelastuslaitoksen rakennukset

**Kuva 19** Etelä-Savon öljylämmitteiset kiinteistöt rakennustyypeittäin (Väestörekisterikeskus 2018).



**Kuva 20** Etelä-Savon öljylämmitteiset kohteet, yhteensä n. 9 769 kpl.

### **5.3 Puhalluskonseptin soveltuvuus ja potentiaalisimmat kohteet**

Puhalluskonsepti soveltuu 50–900 kW:n lämmityskohteisiin, eli suurista kiinteistöistä pieniin lämpökeskuksiin. Öljylämmityskohteissa voidaan hyödyntää olemassa olevaa lämmönjakotapaa, joka on yleensä vesikiertoinen patteri- tai lattialämmitys. Konsepti soveltuu sekä saneeraus- ja uudiskohteisiin. Lämpökeskuksen yhteydessä oleva hakevarasto helpottaa erityisesti saneerauskohteissa, jolloin ei tarvita erillistä polttoainevarastoa. Tämä myös alentaa järjestelmän investointikustannuksia ja pneumaattisen täytön ansiosta järjestelmä vaatii vähemmän tilaa.

Etelä-Savon maakunnassa käyttäjäryhmistä asuinrakennukset olivat lukumääräisesti suurin kohderyhmä. Käytännössä konseptin kokoluokka ja kontin sijoitus kaupunkien kaava-alueiden asuinkiinteistöjen yhteyteen voi olla haastavaa. Potentiaalisimmat kohteet löytyvät todennäköisesti haja-asutusalueelta. Lisäksi konseptia voidaan hyödyntää kaupunkien ja kuntien kaukolämmön tuotannossa.

Konseptin isommassa kokoluokassa lämmöntuotantoteho on 500–900 kW. Tämän kokoluokan kohteita ovat lämpökeskukset, isoimmat kiinteistöt ja viljakuivurit. Tutkimuksen mukaan tällaisia kohteita oli Etelä-Savon maakunnan alueella n. 50 kappaletta. Tietosuojan estää yksittäisten kohteiden ilmoittamisen. Isommassa kokoluokassa lämmitystoiminta voidaan myös ulkoistaa lämpöyrittäjälle, joka hoitaisi lämpölaitoksen toimintaan liittyvät toimenpiteet polttoaineen hankinnasta laitteiston huoltoon. Potentiaalisimpia lämpöyrittäjän asiakkaita ovat kunnat ja yritykset, jotka voivat keskittyä omaan liiketoimintaansa. Lämpöyrittäjällä voi olla useita tällaisia asiakkaita alueella, jotta riittävä toimintalaajuus saavutetaan.

Konseptin keskimmaisessä kokoluokassa lämmöntuotantoteho on 100–500 kW. Tämän kokoluokan kohteita ovat isoimmat kiinteistöt, teollisuusalueet ja viljakuivurit. Tutkimuksen mukaan tällaisia kohteita oli n. 100 kappaletta ja ne sijaitsivat ympäri maakuntaa. Myös tässä kokoluokassa voitaisiin hyödyntää lämpöyrittäjän palveluita.

Konseptin pienemmässä kokoluokassa lämmöntuotantoteho on alle 100 kW. Tämän kokoluokan tyypillisimmät kohteet ovat haja-asutusalueen kiinteistökohtaiset lämmitysjärjestelmät. Tutkimuksen mukaan tällaisia kohteita oli Etelä-Savon

maakunnassa yli 1 000 kappaletta. Todennäköisesti haja-asutusalueelta löytyy helpommin tilaa konseptin lämpökeskukselle ja siellä ei ole myöskään tarjolla kaukolämpöä. Usein myös maaseudun toimijoilta on enemmän kiinnostusta hyödyntää kotimaisia polttoaineita omissa lämmitysjärjestelmissä.

## **5.4 Öljyn käytön lopettamisen haasteita**

Kiinteistön lämmitystavan ja -järjestelmän valinta on aina haasteellinen tehtävä ja se tehdään osittain epävarmojen tietojen avulla, koska tulevaisuudessa tapahtuvia asioita ei tiedetä varmasti päätöksentekohetkellä. Esimerkiksi laitteiston todellinen käyttöaika on epävarma ja energian hinta muuttuu todennäköisesti järjestelmän elinkaaren aikana. Saneerauskohteissa joudutaan lisäksi huomioimaan jo olemassa oleva järjestelmä, joka rajaa yleensä eri vaihtoehtoja. Lämmitysjärjestelmän elinkaari on noin 30 vuotta, jolloin esim. polttoaineiden hintasuhteiden muuttuessa ei kannata aina päivittää koko järjestelmää. Eri järjestelmissä myös kustannuslajit vaihtelevat. Toisella on suurempi alkuinvestointi ja toisella on vastaavasti suuremmat käytönaikaiset kustannukset. Lämmitysjärjestelmät voivat myös täydentää toisiaan.

Hankkeiden toteutuksen aikana oltiin yhteydessä Etelä-Savon maakunnan öljylämmityskohteisiin ja näiden yhteydessä tunnistettiin useita haasteita, jotka ovat hidastaneet öljylämmityksen vaihtamista puupolttoaineille. Osa haasteista oli käyttäjien mielikuvia, joiden todenperäisyyttä käyttäjät eivät ole analysoineet tarkemmin. Seuraavassa on lueteltu esille tulleita haasteita:

- muutos ja uusi toimintamalli
- toimintavarmuus, soveltuvuus ja käytettävyys
- viime vuosina öljy on ollut kustannuksiltaan kilpailukykyinen
- kohteessa lämmityskustannus ei ollut merkittävä
  - keskitytään varsinaiseen liiketoimintaan
  - ei ole selvitetty kustannussäästöjä ja vaihtoehtoja
- hake- ja maalämmön investointikustannus on korkea
- uusitut ja varmatoimiset öljylämmityslaitteet
- odotellaan alueen keskitettyä ratkaisua

- kaukolämpö, johan kaikki pitäisi saada mukaan
- vuokrahallit, joissa vuokralainen maksaa lämmityksen
  - toiminnan jatkuvuus
  - kuka maksaa investoinnin
- kohteessa iso tehontarve, mutta lyhyt vuotuinen käyttöaika
- tekniset asiat eivät kiinnostaneet.

Uuden tekniikan ja tuotteen markkinoille saamisessa on aina haasteita. Kuluttajat ja potentiaaliset investoijat on saatava jotenkin kiinnostumaan uudesta tuotteesta tai menetelmästä. Uudella tuotteella tai menetelmällä pitää olla merkittäviä etuja, jotka tuovat lisäarvoa kuluttajille. Asiaa on pidettävä laajasti esillä ja toimivat esimerkkikohteet lopullisesti vakuuttavat kriittiset kuluttajat. ”Naapurin esimerkki” on kannustanut ja vakuuttanut monia toimijoita siirtymään fossiilisista polttoaineista uusiutuvan energian hyödyntäjäksi. Lähellä olevat kohteet tarjoavat yleensä myös vierailumahdollisuuden.

## 6 YHTEISTYÖSELVITYS YRITYKSISTÄ JA MAAKUNNAN YHTEINEN HAKETERMINAALI

Toimenpideo시오 3

*Antti Karhunen & Mika Laihanen*

### 6.1 Johdanto

Osatehtävän tavoitteena oli kartoittaa potentiaalisia hake-, kuljetus- ja lämpöyrittäjiä hoitamaan puuhakkeen toimituksia Puhallus-menetelmällä ja lämpöliiketoimintaa Etelä-Savon maakunnassa. Toisena tavoitteena oli selvittää maakunnan yhteisen haketerminaalin toimintaedellytyksiä puuhakkeen Puhallus-menetelmää hyödynnettäessä. Toimialan yrittäjiä Etelä-Savossa kartoitettiin myös hankkeen toteutuksen yhteydessä tehdyissä diplomitöissä (Konttinen 2020, Palkia 2020). Kansainvälisten ja kansallisten lehtiartikkeleiden sekä diplomitöissä tehtyjen haastatteluiden ansiosta paikallisten toimijoiden tietämys Puhallus-menetelmän mahdollisuuksista lisääntyi. Seuraavissa kohdissa on tarkasteltu Puhallus-menetelmän liiketoiminta- ja yhteistyömahdollisuuksia eri yrityksille sekä haketerminaalin toimintaedellytyksiä.

### 6.2 Tulokset

#### 6.2.1 Kuljetusyrittäjät

Etelä-Savon maakunnassa toimii useita ammattitaitoisia kuljetusyrityksiä ja nämä yritykset ottavat Puhallus-menetelmän käyttöön, jos kannattavan liiketoiminnan edellytykset täyttyvät. Toiminnan aloituksessa voidaan hyödyntää olemassa olevaa kuljetuskalustoa ja myöhemmin toiminnan laajentuessa yrittäjät investoivat uuteen kalustoon. Kuljetusyritysten investoinnit puhaltimeen ja hakekonttiin eivät ole ongelma, jos investoinneilla saadaan tuottoa. Konttisen diplomityössä haasteltiin maakunnassa toimivia kuljetusyrityksiä ja vastausten mukaan yrittäjät pitivät Puhallus-menetelmän purku-aikaa liian hitaana (Konttinen 2020). Kuljetusalalla on yleensä käytössä suoritusperustainen hinnoittelu, jonka johdosta yrittäjät



vierastavat pidempää purkuaikaa. Pidempi purkuaika on huomioitava hinnoittelussa, jotta kuljetusyrittäjät ottavat menetelmän käyttöön.

Perinteisesti kuljetusyrietykset kehittävät ja tarjoavat palveluita eri kuljetustarpeisiin liittyviin toimintoihin. Lämmön tuotanto ei ole kuljetusyrietysten ydinliiketoimintaa, joten todennäköisesti kuljetusyrietykset eivät aktiivisesti markkinoi Puhallus-menetelmän ratkaisuja. Yrietykset kyllä tarjoavat kuljetuspalveluita Puhallus-menetelmälle, jos käyttäjiä löytyy. Kuljetusyrietysten suorittamista huoltotoimenpiteistä lämpölaitoksilla on sovittava tapauskohtaisesti.

### **6.2.2 Lämpö- ja hakeyrittäjät**

Etelä-Savon maakunnan primäärienergian käyttö oli 7,1 TWh vuonna 2017 ja puupolttoaineiden osuus kokonaisenergiasta oli 41 % (2,9 TWh). Metsäenergian määrä oli n. 11 % kokonaisenergiasta ja n. 26 % puupolttoaineista (Laihanen 2020). Laajan metsäenergian hyödyntämisen johdosta Etelä-Savossa toimii useita ammattitaitoisia lämpö- ja hakeyrittäjiä. Toimintaa on maakunnan kattavasti ja myös eri kokoluokissa energiayhtiöistä pienempiin lämpöyrittäjiin. Paikallisessa lämmöntuotannossa hyödynnetään myös alihankintaverkostoja. Puuhakkeen tuotantoon löytyy maakunnasta tuotantokalustoa, jonka määrä on sopeutunut kysynnän mukaan.

Kun Puhallus-menetelmää otetaan käyttöön Etelä-Savossa niin toiminnassa kannattaa tehdä yhteistyötä paikallisten lämpö- ja hakeyrittäjien kanssa. Tällöin toiminnassa voidaan hyödyntää yrittäjien ammattitaitoa ja nykyistä kalustoa. Lämpö- ja hakeyrittäjät investoivat Puhallus-menetelmän hakekonttiin ja puhaltimeen, jos laitteistolle on kysyntää ja haketoimituksissa kannattavan liiketoiminnan edellytykset täytyvät. Yrittäjät myös markkinoivat Puhallus-menetelmää alueella oman toiminnan laajentamiseksi. Viimekädessä asiakas tekee valinnan lämmitysratkaisustaan. Tämä menetelmä mahdollistaa haketoimitukset myös ahtaisiin kohteisiin ja käytettävyys sekä kustannukset on aina arvioitava tapauskohtaisesti.

### 6.2.3 Toimintavolyymi ja kustannukset

Puhallus-menetelmän käyttöönotto vaatii investoinnin hakekonttiin ja siihen integroituun puhaltimeen. Puhallus-menetelmää on suunniteltu pienemmille lämmityskohteille, joissa hake toimitettaisiin kuorma-auton ”nuppikuormina” käyttöpai-  
kalle. Puhalluskontin tilavuus on 40 m<sup>3</sup>, jolloin tähän menee haketta 40 i-m<sup>3</sup> ja kuorman energiasisältö on n. 32 MWh. Puhallusauton toimintavolyymia on arvi-  
oitu vuosittaisten arkityöpäivien ja keskimääräisen vuorokausitoimitusten perus-  
teella. Vuodessa on n. 250 arkityöpäivää ja jos toimituksia olisi keskimäärin  
2 kuormaa/arkityöpäivä niin vuosivolyymi olisi 500 kuormaa. Tämä tarkoittaa n.  
20 000 i-m<sup>3</sup> haketoimituksia ja tämän hakemäärän energiasisältö on n.  
16 000 MWh. Seuraavassa taulukossa 5 on esitetty kolmen todellisen kohteen  
hakkeen kulutusmääriä.

**Taulukko 5** Esimerkkikohteiden hakkeen kulutustietoja.

Kohde	Maatila	Lämpökeskus	Lämpökeskus
Teho, kW	250	400	2 500
Polttoaineen tarve, MWh/a	560	1 625	14 240
Polttoaineen tarve, i-m <sup>3</sup> /a	700	2 030	17 800
Kuormia (40 i-m <sup>3</sup> ), kpl/a	18	51	445
Kuormia (40 i-m <sup>3</sup> ), kpl/kk	1,5	4,2	37,1

Esimerkkikohteen isommassa 2,5 MW:n lämpökeskuksessa haketta tarvitaan n.  
450 kuormaa vuodessa ja yksi tämän kokoluokan laitos työllistäisi keskimäärin  
yhden puhallusauton. Maatilakokoluokassa kohteiden lämmön tarve vaihtelee ja  
pienemmässä kokoluokassa tarvitaan useampi kohde, jotta puhallusauton vuotui-  
nen tuotantovolyymi täyttyy.

Puhallus-menetelmällä toimitetun hakkeen kustannuksia on arvioitu kuorma-auton  
tuntikustannuksen ja purkuajan sekä investointien avulla. Kuorma-auton tuntikus-  
tannukseksi on arvioitu 70 €/h (alv. 0 %). Jos Puhallus-menetelmässä 40 i-m<sup>3</sup> ha-  
kekuorman purku vie aikaa 0,5 tuntia enemmän kuin kippaus tai ketjupurku, niin  
kuorman purkamisen lisäkustannus on 35 €/kuorma (alv. 0 %), joka on energiayk-  
sikköä kohden n. 1,1 €/MWh (alv. 0 %). Kontin ja puhaltimen hankintahinnaksi

on ilmoitettu 35 000 € (alv. 0 %) (Miettinen 2021). Hankinnassa hinta kannattaa tarkistaa toimittajalta. Jos kontin ja puhaltimen pitoaika on 5 vuotta ja korko 5 %, niin 20 000 i-m<sup>3</sup> (16 000 MWh) vuosivolyymilla toimittaessa investoinneista syntävä hakkeen lisäkustannus on n. 0,5 €/MWh (alv. 0 %).

Edellä mainituilla lähtötiedoilla Puhallus-menetelmä nostaa hakkeen kustannuksia n. 1,6 €/MWh (alv. 0 %) tai toisaalta 1,6 €/MWh (alv. 0 %) lisäkustannuksella haketta voidaan toimittaa haastavampiin kohteisiin. Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2020 neljännellä kvartaalilla energiahakkeen keskihinta oli 22,5 €/MWh (alv. 0 %) (Tilastokeskus 2021). Paikallinen hakkeen hinta ja Puhallus-menetelmän kustannukset pitää arvioida aina tapauskohtaisesti.

### 6.3 Maakunnan yhteinen haketerminaali

Biomassaterminaalilla (haketerminaalilla) tarkoitetaan keskitettyä varastoaluetta, jossa biomassoja voidaan varastoida sekä prosessoida ja joka toimii kiinteänä osana biomassojen logistiikkaketjua (kuva 21). Terminaali voidaan sijoittaa käyttöpaikan tontille tai itsenäisenä kokonaisuutena esimerkiksi liikenteen solmukohtaan. Terminaalilla voidaan käsittää väliaikaisia ja pysyviä ratkaisuja. (Juntunen 2016)



**Kuva 21** Puupolttoaineterminaaleja.

VTT:n esityksessä terminaalit on jaettu seuraaviin tyypeihin (Virkkunen 2014):

- Satelliittiterminaali (1 TWh/a–0,3 TWh/a)
  - Suuri, monipuolisella polttoaineen valmistusteknologialla varustettu terminaali
  - Varastokapasiteettia sekä raaka-aineelle että valmiille polttoaineelle
  - Ympärivuotinen toiminta, tie- ja rautatieyhteydet
- Syöttöterminaali (1 TWh/a–0,3 TWh/a)
  - Varastokapasiteettia lyhytaikaiseen polttoaineen varastointiin
  - Valmius polttoaineen valmistukseen
  - Puskurivarastointia
  - Ympärivuotinen toiminta, painottuu lämmityskauteen
  - Tie- ja rautatieyhteydet
- Siirtokuormausterminaali (0,3 TWh/a–0,1 TWh/a)
  - Metsäpolttoaineen kausivarastointia ja tuotantoa lämmityskaudella
  - Rajallinen kapasiteetti, tieyhteys.

Biopolttoainerterminaalien perustamista, käyttöä ja kustannuksia on käsitelty VTT:n terminaalikäsikirjassa (Impola 2011).

Alla on lueteltu terminaalitoiminnan etuja ja haasteita:

- + Varaston tuoma toimitusvarmuus
- + Haketuksen ja kuljetuksen joustavuus
- + Kausivaihteluiden tasaaminen
- + Polttoaineiden laatulajittelu ja sekoitus
- Kustannuksia terminaalin perustamisesta ja ylläpidosta sekä polttoaineen purkamisesta ja kuormaamisesta
- Lupamenettelyt.

Vuonna 2019 Etelä-Savon maakunnan metsäenergian käyttö oli 425 000 m<sup>3</sup> (Niinistö 2020). Tämän metsäenergiamäärän energiasisältö on n. 850 000 GWh ja haketilavuus n. 1 000 000 i-m<sup>3</sup>. Puhallus-menetelmässä yhden puhalluskontin vuotuinen kapasiteetti on n. 20 000 i-m<sup>3</sup>. Toiminnan alkuvaiheessa maakunnan yhteinen haketerminaali ei tuo Puhallus-menetelmälle merkittäviä etuja, jotka kattaisivat terminaalitoiminnoista ja lisäkuljetuksista syntyvät kustannukset. Jos tulevaisuudessa toiminta laajenee merkittävästi niin maakunnan yhteistä haketerminaalia kannattaa tarkastella uudelleen. Tulevaisuudessa paikallisten terminaalien/varastojen tarve kasvaa polttoturpeen käytön vähentyessä.

Etelä-Savon maakunnan nykyisillä hakkeen käyttäjillä ja tuottajilla on omia pienemmän kokoluokan terminaaleja/varastoja ympäri maakuntaa. Puhallusmenetelmän alkuvaiheen toiminnassa kannattaa tehdä yhteistyötä paikallisten toimijoiden kanssa ja hyödyntää nykyisiä terminaaleja/varastoja. Nykyiset toimijat ottavat menetelmän palvelutarjontaansa, jos sille on kysyntää ja toiminnassa kannattavan liiketoiminnan edellytykset täyttyvät.

## **7 PILOTTIKOKEET VAHVISTAMAAN KONSEPTIN KÄYTTÖÖNOTTOA**

Toimenpideoasio 4

*Jarno Föhr & Raghu KC*

Puhallus-hankkeen neljännessä toimenpideosiossa keskityttiin puhalluskonseptin pilottikokeisiin. Pää tarkoituksena oli testata käytännössä hakkeen puhallusta kon-  
tista sekä mitata ja kehittää puhallustekniikan toimintavarmuutta.

### **7.1 Puhallustestit**

Puhallustestejä järjestettiin tyypillisellä aluelämpölaitoksella Keski-Suomessa, Konginkankaalla, jossa käytettiin pääpolttoaineena metsähaketta. Testejä järjestettiin sekä kesällä että talvella, jotta saatiin myös pakkasen ja lumen vaikutus osaksi testejä. Päätestit aloitettiin kesällä 2019 ja lopetettiin keväällä 2020. Testit jouduttiin lopettamaan hieman arvioitua aiemmin maailmanlaajuisen koronapandemia puhjettua. Kaiken kaikkiaan puhallustestit jaettiin viidelle eri testauspäivälle. Jokaisena testauspäivänä puhallettiin pneumaattisesti yksi täysinäinen hakekontillinen metsähaketta. Testauspäivinä 1, 2 ja 5 ulkolämpötila oli selvästi yli 4 °C, jolloin ei ollut pakkasolosuhteita. Kuitenkin ulkolämpötila oli -15 °C kolmantena testauspäivänä ja -7 °C neljäntenä testauspäivänä.

Tarkoituksena oli järjestää puhallustestit yhdistettyinä normaaleihin hakekuljetuksiin aluelämpölaitokselle, jolloin pystyttiin eliminoimaan erillisten kuljetuksien tarve. Kuorma-autona käytettiin samaa autoa, joka oli kuljettanut haketta ennenkin laitokselle, mutta se käytti KOME COMPOSITE -kuljetuskonttia (Kome Oy 2020). Kyseinen kontti on merkittävästi kevyempi kuin perinteiset metallikontit ja sen rakenne on yhtenäinen ilman liitoskohtia. Kontin rakenne on myös lämpöä eristävä, joka vähentää jäätymisongelmia. Komen Oy:n kuljetuskonttiin oli asennettu Lämpösi Oy:n hakepuhallin JYJ600 puhallustestejä varten (Lämpösi Oy 2020). Sekä kuljetuskontti että hakepuhallin olivat Puhallus-hankkeella vuokralla pilottitestejä varten (kuva 22).



**Kuva 22** Lämpösi Oy:n hakepuhallin JYJ600 asennettuna KOME COMPOSITE -kuljetuskonttiin.

Puhallustesteissä käytettiin Kome Oy:n komposiittikonttia, jossa on hakkeen liukumista helpottava sileä pinta. Muovikomposiitti materiaalina vähentää myös hakkeen jäätymisongelmia, joita tyypillisesti esiintyy vastaavilla metallista rakennetuilla siirtokonteilla. Testeissä olevan kuljetuskontin sisämitat olivat: pituus 6 m, korkeus 2,7 m ja leveys 2,4 m. Kuljetuskontin tilavuudeksi muodostui lopulta  $36,6 \text{ m}^3$ , koska teoreettisesta laatikkomallista vähennettiin  $2,3 \text{ m}^3$  johtuen takaseinän 30 asteen sisäkallistuksesta. Kuorma-auton maksimaalinen kippikulma oli 49 astetta.

Kuorma-auton moottorin ja hydraulimoottorin kierrosnopeudet pidettiin vakiona testien aikana, vaikka hakkeen valuminen puhaltajalle oli vaihtelevaa kuormituksen suhteen. Tällöin jokainen testi ajettiin läpi tietyllä vakiokierrosnopeudella. Hakepuhaltimen hydraulimoottorin maksimipaine oli rajoitettu venttiilillä 350 baariin. Puhaltimen kehittäjän Romanet Sarlin (2020) mukaan puhaltimen optimikierrokset, noin 4 500 RPM, saavutetaan kuorma-auton hydraulijärjestelmän 250 baarin paineella. Tässä kohtaa tullaan näiden puhallustestien ratkaisevimpaan asi-

aan, sillä testeissä käytetyn kuorma-auton hydraulijärjestelmä oli rajoitettu 160 baarin paineeseen. Kuorma-auton hydraulijärjestelmän paine oli mittaustarkistettu ennen varsinaisten puhallustestien aloittamista. Tällöin kuorma-auton hydraulijärjestelmän paine oli suurin rajoittava tekijä puhaltimen turbiinin kierrosnopeuksien suhteen.

## **7.2 Testien toteutus**

Puhallustestien päätarkoituksena oli testata ja mitata hakkeen pneumaattista tyhjennystä tilanteessa, jossa hake puretaan kuljetuskontista suoraan polttoainevarastoon. Testeissä mitattiin hakkeen laatua, turbiinin kierrosnopeutta, hakkeen tilavuusvirtaa, hakelastun nopeutta letkussa ja puhaltimen aiheuttamaa melua.

### **7.2.1 Materiaalit**

Testien aikana jokaisesta hakekontillisesta kerättiin näytepussillinen haketta palakokojakauman määrittämistä varten ja toinen näytepussillinen kosteuden määrittämistä varten. Hakkeet kerättiin näytepusseihin standardin SFS-EN ISO 18135:2017 (2017) mukaisesti useasta eri otoskohdasta. Kaikkia näytepusseja säilytettiin kylmähuoneessa 5 °C:n lämpötilassa ennen varsinaisia laboratorioanalyysyjä. Hakenäytteet analysoitiin kiinteille biopolttoaineille tarkoitettujen standardien mukaisesti: SFS-EN ISO 14780:2017 (2017) (näytteen esikäsittely), SFS-EN ISO 18134-2:2017 (2017) (kosteuspitoisuuden määrittäminen) ja SFS-EN ISO 17827-1:en (2016) (palakokojakauma). Viimeisimmän standardin kohdalla määrittäminen poikkesi standardista siiviläkokojen ja muodon osalta.

### **7.2.2 Menetelmät**

#### **Kierrosnopeus ja tilavuusvirta**

Puhaltimen turbiinin kierrosnopeus (RPM) mitattiin kierroslukumittarilla haketta puhaltaessa. Testi suoritettiin siten, että yhteen turbiinin kuudesta siivestä liimattiin vaalea teipinpalanen ja sen pyörimisnopeutta mitattiin optisesti käsin kierroslukumittarilla. Mittauksissa käytettiin normaalikäyttöistä CEM DT-6236B kierroslukumittaria (CEM 2020). Laitteen mittaustarkkuus oli  $\pm 0,05$  % ja maksimaa-



linen mittausalue oli 100 000 RPM:ään asti. Vastaavat mittaukset suoritettiin myös tyhjällä kuormalla, jolloin puhaltimen turbiini pyöri ilman hakevastusta.

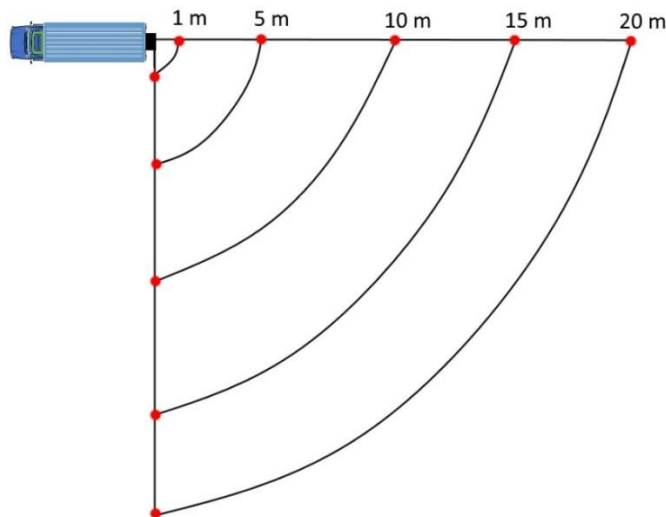
Hakkeen tilavuusvirta ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) letkusta (halkaisija 150 mm) laskettiin syötetyn tilavuuden ( $\text{m}^3$ ) ja käytetyn ajan suhteen. Testeissä tilavuusvirta laskettiin koko kontillisen ( $36,6 \text{ m}^3$ ) puhaltamiseen käytetyn ajanjakson suhteen. Ajan mittaus pysäytettiin aina keskeytyksen sattuessa. Letkun pituus pidettiin vakiona, ollen 2 m testien aikana.

### **Lastun nopeus**

Hakelastun nopeus ( $\text{m/s}$ ) mitattiin letkun suulta, jolloin yksittäisten hakelastujen liikettä kuvattiin videokameran avulla. Hakkeen lennon mittausmatka oli 1 m ja se rajattiin pystyyn asetetulla merkkaukepillä videointia varten. Lastun nopeus laskettiin jälkepäin hidastetun videokuvan avulla. Nopeus  $v$  laskettiin kaavalla:  $v = s/t$ , jossa  $s$  on lennon mittausmatka ja  $t$  on kulunut aika. Valitettavasti lastun nopeuksia mitattiin vain kolmen viimeisimmän puhallustestin aikana. Näissä testeissä mitattiin kuuden eri hakelastun nopeus ja nopeuksista muodostettiin keskiarvonopeus hakelastulle. Tällöin oli myös mahdollista laskea keskihajonta muodostetulle keskiarvonopeudelle.

### **Melu**

Hakepuhaltimen melun mittaukseen käytettiin pyörivien sähkökoneiden ilmaään mittausstandardia ISO 1680:2013 (2013). Standardi määrittelee vähemmän tarkan testausmenetelmän, jota käytetään silloin, kun mittausolosuhteet eivät täytä tarkan standardin vaatimuksia. Puhaltimen melutaso (dB) mitattiin useasta eri kohdasta vakioetäisyydeltä puhaltimesta. Mittauskohdat on esitetty kuvassa 23. Mittauksissa käytettiin tavallista käsikäyttöistä Amprobe SM-10 äänentasonmittaria (Amprobe 2020). Laitteen mittausalue oli 30–130 dB ja A-suodattimen taajuusalue oli 31,5–8 000 Hz. Standardi suosittelee yhden metrin mittausetäisyyttä, mutta testeissä mitattiin tämän etäisyyden lisäksi myös etäisyyksiltä 5 m, 10 m, 15 m ja 20 m. Tällöin saatiin kokonaisnäkemys äänen käyttäytymiseen avomaastossa.



**Kuva 23** Periaatekuva melun mittauskohdista, jotka on merkitty punaisilla pisteillä.

Vaikka olisi tärkeää tietää koneen äänitaso kuormitustilassa, niin lähes kaikki nykyiset kansalliset standardit määrittelevät koneen mittaustilaksi tyhjäkäynnin ja mahdolliset melurajat koskemaan sitä. Syynä tähän ovat mittausrasitukset. Puhallustesteissä suoritettiin melumittaukset puhaltimesta kahdessa eri tapauksessa: a) suojakotelon luukun ollessa suljettuna, b) suojakotelon luukun ollessa auki 180 asteen kulmassa. Puhaltimen turvallisuusohjeiden mukaisesti suojakotelon luukku pitää olla aina kiinni käytettäessä konetta. Tässä tapauksessa luukku pidettiin auki ainoastaan mittaustarkoituksissa. Jokaisessa mittauksessa käytettiin A-suodatinta ja mittauskorkeus oli aina 1,5 m maanpinnasta.

## 7.3 Testien tulokset

### 7.3.1 Hakkeen laatu

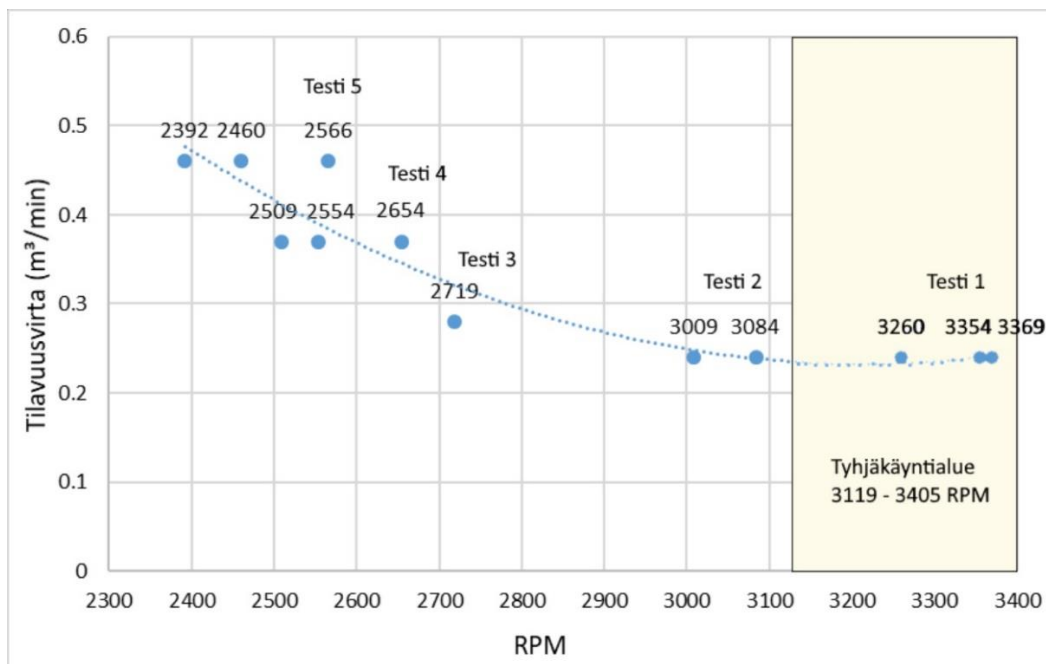
Puhallustesteissä olleiden puuhakelaatujen mittaustulokset on esitetty taulukossa 6. Hakkeiden keskimääräinen kosteuspitoisuus oli 35,4 p-%. Yksittäisissä testeissä olleiden hakkeiden kosteuksissa ja palakokojakaumassa ei ollut suurempia eroavaisuuksia keskenään. Ainoastaan viidennen testin hakkeen kosteuspitoisuus oli 7,1 %-yksikköä alhaisempi kuin hakkeiden keskimääräinen kosteuspitoisuus. Lisäksi viidennen testin hakkeen paino-osuus poikkesi keskiarvosta 11 p-% kokoluokassa 16–31,5 mm ja vastaavasti 6,8 p-% kokoluokassa 2–4 mm.

**Taulukko 6** Puuhakkeiden mittaustulokset.

Testi	Hakemateriaali	Kosteus (p-%)	Kokoluokan mukainen painojakauma (p-%)								
			>50 mm	>40-50 mm	>31.5-40 mm	>16-31.5 mm	>8-16 mm	>4-8 mm	>2-4 mm	0-2 mm	Yht. (p-%)
1	Karsittu ranka	38,0	0	0,4	0,7	6,4	34,8	35,3	14,8	7,6	100
2	Kokopuu	37,7	0,1	0,2	1,3	5,2	26,5	33,9	18,4	14,4	100
3	Karsittu ranka	36,4	0	0,4	0	6,2	45,4	27,3	13,2	7,5	100
4	Karsittu ranka	36,4	0,1	0	0,1	3,4	42,8	28,3	16,9	8,4	100
5	Karsittu ranka	28,3	0	0,1	0,1	19,1	46,1	22,5	7,3	4,8	100
<b>Keskiarvo</b>		<b>35,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>8,1</b>	<b>39,1</b>	<b>29,5</b>	<b>14,1</b>	<b>8,5</b>	<b>100</b>

### 7.3.2 Kierrosnopeus ja tilavuusvirta

Puhaltimesta mitatut turbiinin kierrosnopeudet ja niitä korreloiva hakkeen tilavuusvirta on esitetty kuvassa 24. Niiden välillä oli selvä riippuvuus ja kuvaan on piirretty polynominen suuntaviiva hahmottamaan keskinäistä korrelaatiota. Kaikkien viiden puhallustestin aikana mitattiin puhaltimelle tyhjäkäyntialueeksi 3 119–3 405 RPM, jolloin puhaltimen turbiini pyöri vapaasti ilman hakevastusta.



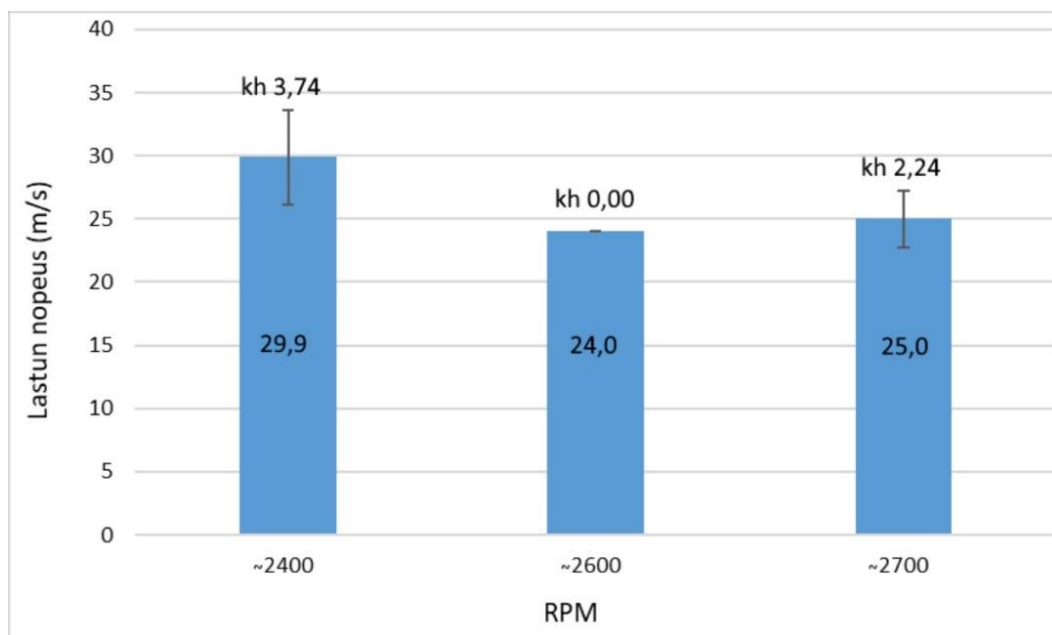
**Kuva 24** Turbiinin kierrosnopeuden vaikutus hakkeen tilavuusvirtaan.

### 7.3.3 Lastun nopeus

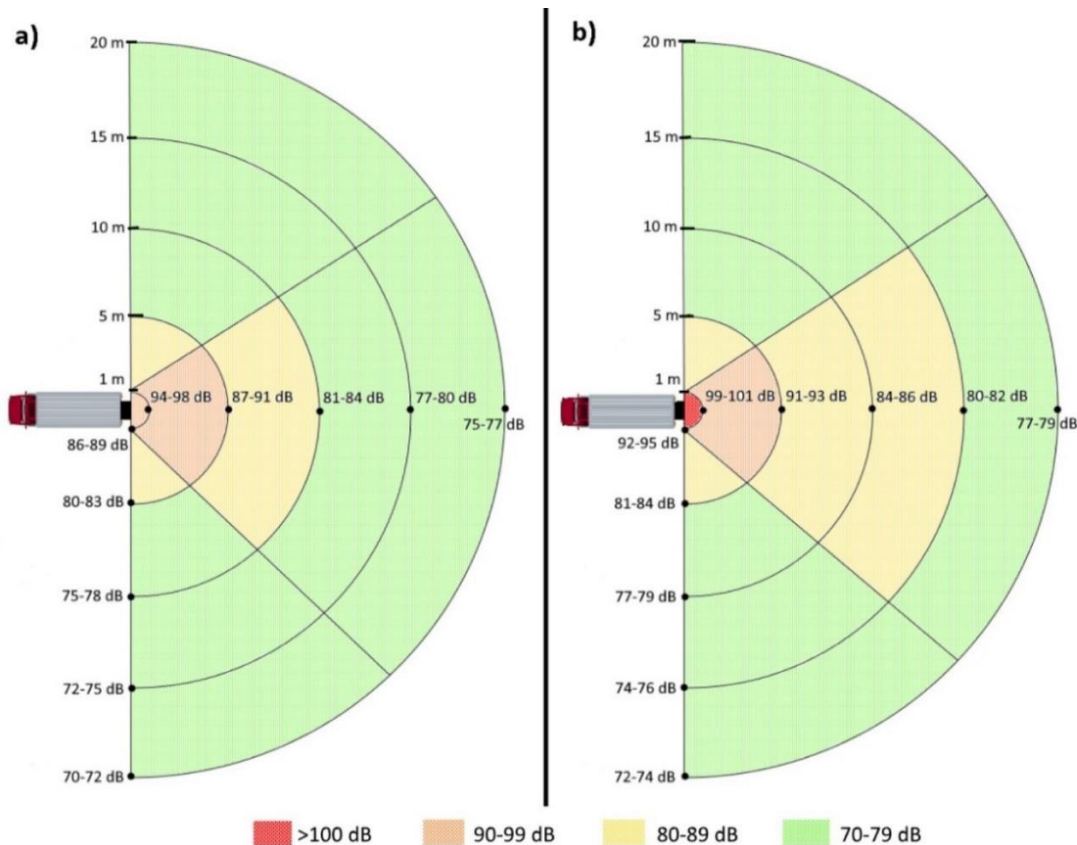
Lastun nopeutta mitattiin kolmessa viimeisessä puhallustestissä. Kuvassa 25 on esitetty lastun keskimääräiset nopeudet tietyillä turbiinin kierrosnopeusalueilla letkun suulta mitattuna. Kuvaan on merkitty myös lastun keskimääräisien nopeuksien keskihajonnat. Kuvasta 25 huomataan, että kun turbiinin kierrosnopeus on ollut alhainen, ollen noin 2 400 RPM, niin lastun keskimääräinen nopeus on ollut korkea (29,9 m/s).

### 7.3.4 Melu

Melumittaukset suoritettiin jokaisessa viidessä puhallustestissä ja niiden keskiarvotulokset on esitetty kuvassa 26. Kuvasta huomataan, että melutaso oli voimakkaampaa puhaltimesta kohtisuoraan mitattuna kuin sivulta mitattuna. Lisäksi suojakotelo oli vaimentanut melua tapauksessa a). Esimerkiksi yhden metrin etäisyydessä melu oli vaimentunut noin 1–7 dB kohtisuorassa mittauksessa ja noin 3–9 dB sivulta mitattaessa.



**Kuva 25** Lastun keskimääräiset nopeudet tietyillä turbiinin kierrosnopeuksilla. Nopeuksien keskihajonnat on myös ilmoitettu palkkien yläpuolella.



**Kuva 26** Puhaltimen melumittaustulokset. Tapauksessa a) suojakotelon luukku oli suljettuna ja tapauksessa b) luukku oli auki 180 asteen kulmassa.

#### 7.4 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset

Puhallustestit antoivat varsin odotettuja tuloksia. Testeissä ei aivan ylletty aivan järjestelmän kehittäjän Romanet Sarlin ilmoittamiin hakkeen virtaustuotoksiin. Testeillä ei ollut tarkoitus päästä täyskapasiteetteihin hakkeen tilavuusvirran osalta, vaan tarkoituksena oli mitata luotettavia kierrosnopeuksia turbiinista. Tämä luotettavuus myös saavutettiin ja hakepuhallin toimi varsin luotettavasti muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta koko puhallustestien ajan.

Kuitenkin puhallustestien aikana puhallin oli muutaman kerran lähellä tukehtua, kun kuljetusruuvi syötti turbiinille kerralla liian paljon haketta. Näissä tapauksissa sekä turbiini että kuljetusruuvi olivat ylikuormittuneita, jolloin hydraulikkajärjestelmässä ei ollut riittävästi öljyn painetta ylläpitämään turbiinin kierroksia. Joissa tapauksissa pitkät haketikut edesauttoivat turbiinin ja myös letkun mahdollista tukkeentumista. Tällaisia tapauksia saattoi herkemmin ilmetä puhallettaessa erit-

täin märkää ja tikkuista haketta (tikun pituus yli 10 cm). Normaalissa tilanteessa puhaltimen käyttäjä kuulee puhaltimen äänen eroavaisuudesta alkavan mahdollisen tukehtumisen, jolloin hän kerkeää vähentämään kuljetusruuvien syöttöä. Tämän takia hakepuhaltimessa on suositeltavaa käyttää ainoastaan hyvälaatuista haketta, mieluiten karsittua rankahaketta. Erityisesti murskaimella tuotetussa puumurskeessa voi esiintyä pitkiä tikkuja.

Koko puhallusjärjestelmän kannalta on huomioitava, että sekä ruuvikuljetin että hakepuhallin ottavat käyttövoimansa samasta hydraulimoottorista. Käytännössä, jos puhaltimen kierrosnopeutta nostetaan, niin ruuvikuljettimen kierrosnopeus laskee samassa suhteessa. Asia on huomattavissa myös kuvassa 24, jossa hakkeen tilavuusvirta pienenee, kun puhaltimen kierrosnopeudet kasvavat. Kuitenkin perustuen edellisiin tuloksiin, voidaan olettaa hakkeen tilavuusvirran kasvavan entisestään, jos puhaltimen kierrosnopeutta lasketaan mittausalueen ulkopuolelle alle 2 400 RPM:ään. Valitettavasti tämä suuntaviivan kehitys jää spekuloinnin varaan, koska mittauksia ei suoritettu kyseiseltä alueelta puhallustestien aikana.

Puhallustesteissä mitattiin myös hakelastujen lentonopeutta letkun suulta. Lastujen keskimääräinen nopeus vaihteli välillä 24,0–29,9 m/s riippuen puhaltimen kierrosnopeudesta. Mittaustoistojen määrä oli toisaalta melko vähäinen, joten suurempia johtopäätöksiä ei vielä voida tehdä mittauksien perusteella. Keskimääräisen nopeuden keskihajonta oli 3,74 m/s asti, joka osoittaa lastujen nopeuksien olevan vaihtelevaa letkun suulla. Keskimääräisen nopeuden vaihtelevuus johtui suurelta osin ruuvikuljettimen epätasaisesta hakkeen syötöstä puhaltimelle. Lisäksi hakkeen epäsäännöllinen liukuminen ruuvikuljettimelle kontin sisällä aiheutti epäbalanssia hydraulimoottorin tuottamalle käyttövoimalle. Muutamia kertoja kuorma-autoa piti liikuttaa tai kippiä heilauttaa, jotta hake alkoi vapaasti liukumaan kohti ruuvikuljettimia.

Myös hakepuhaltimen aiheuttamaa melua mitattiin testeissä. Tuloksien perusteella suositellaan aina käyttämään kuulon suojausta puhaltimen läheisyydessä, kun laiteisto on käynnissä. Kun suojakotelon luukku oli suljettuna, niin yhden metrin matkalta kohtisuoraan mitattuna melutaso oli 94–98 dB. Vastaavassa kohdassa melutaso oli 99–101 dB luukun ollessa auki. Kohtisuorissa mittauksissa päästiin

alle 80 dB:n tuloksiin 10 metrin matkan jälkeen suljetulla luukulla ja vastaavasti avonaisella luukulla 15 metrin matkan jälkeen. Sivulta mitattaessa alle 80 dB:n tulokset saavutettiin vain viiden metrin matkan jälkeen molemmilla luukkuta-pauksilla.

## 8 ENERGIATEHOKKUUDEN JA VÄHÄHIILISYYDEN TARKASTELU

Toimenpideo시오 5

*Raghu KC*

### 8.1 Johdanto

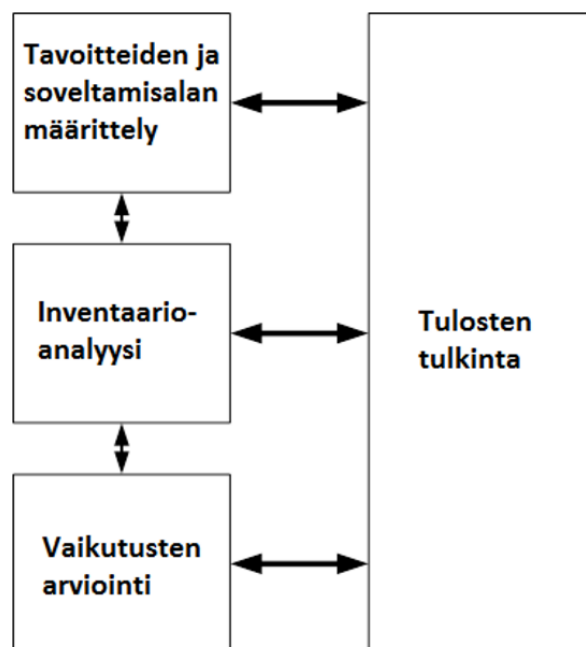
Uusiutuvien energialähteiden hajauttaminen on yksi avaintekijöistä, kun pyritään kohti hiilineutraaleja energiajärjestelmiä. Yksi suurista haasteista on kuitenkin poistaa pienen mittakaavan öljykäyttöiset lämmitysjärjestelmät pitkien välimatkojen Suomesta. Onneksi Suomessa on kuitenkin runsaasti biomassaresurssia, jolla on potentiaalia korvata öljy lämmitystekniikassa. Pienen ja hajautetun energiajärjestelmän yhtenä haasteena on kuitenkin toimiva logistiikka. Tässä tutkimuksessa tutkittiin potentiaalista ja innovatiivista ratkaisua tähän ongelmaan. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli arvioida uutta hakkeen ja pellettien puhallukseen perustuvaa toimitus- ja käyttöratkaisua pienikokoisessa biomassaa käyttävän liikerakennuksen tapauksessa ja analysoida mahdollisia ympäristöhyötyjä verrattuna tavalliseen kevyen polttoöljyn lämmitysjärjestelmään. Tarkastelun painopiste oli patentoidussa tekniikassa, jossa haketta tai pellettiä puhallettiin suoraan kuorma-auton kontista rakennuksen polttoainevarastoon. Terminaalihaketusketjussa on ylimääräinen lastaus- ja purkuvaihe, jota välivarastohaketuksessa ei ole.

Tutkimuksessa tarkasteltiin eri energiajärjestelmien aiheuttamia ympäristövaikutuksia liikerakennuksen tilalämmitystapauksessa. Tavanomaisen skenaarion (BAU) mukaisena tapauksena pidettiin liikerakennusta, joka kulutti 80 000 l kevyttä polttoöljyä vuodessa. Tarkoituksena oli vertailla kyseisen liikerakennuksen tapauksessa keskenään öljy-, pelletti- ja hakelämmitysjärjestelmiä ja niiden koko elinkaaren aikaisia päästöjä alkutuotannosta lähtien. Liikerakennuksen oletettiin sijainneen Ristiinassa, Etelä-Savossa. Vertailun vuoksi pellettejä ja haketta kuljettiin eri paikkakunnilta: Hirvensalmesta (40 km), Juvalta (75 km) ja Savonlinnasta (140 km).



## 8.2 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi eli LCA (Life Cycle Assessment) on menetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten analysointiin ja arviointiin. Menetelmän auttaa tunnistamaan ja kertomaan asianomaisille osapuolille mahdollisuuksista vähentää tuotteiden ympäristövaikutuksia sen elinkaaren eri vaiheissa. Siinä käsitellään sekä resurssien kulutusta että sen aiheuttamia seurauksia koko tuotteen elinkaaren ajan. Menetelmässä on neljä eri vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusten arviointi ja tulosten tulkinta (kuva 27). Menetelmän ensimmäinen ja samalla tärkein vaihe, tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaihe, kuvaa tuotejärjestelmän ympäristövaikutukset ja rajat tutkimukselle. Inventaarioanalyysivaiheessa otetaan huomioon tuotejärjestelmän syötteet ja tuotokset määrällisessä muodossa. Vaikutusten arviointivaiheessa edellisen vaiheen tuloksia arvioidaan siten, että voidaan ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä koko tuotteen elinkaaren aikana. Tulosten tulkintavaiheessa verrataan vaikutusarviointiin tai inventaarioanalyysin tai molempien tulosten arviointia asetettuihin tavoitteisiin ja soveltamisalaan. (ISO 14044:2006 2006)



**Kuva 27** Elinkaariarvioinnin vaiheet (mukaihen lähde ISO 14044:2006 2006).

## 8.3 Materiaalit ja menetelmät

### 8.3.1 Tutkimuksen tavoite

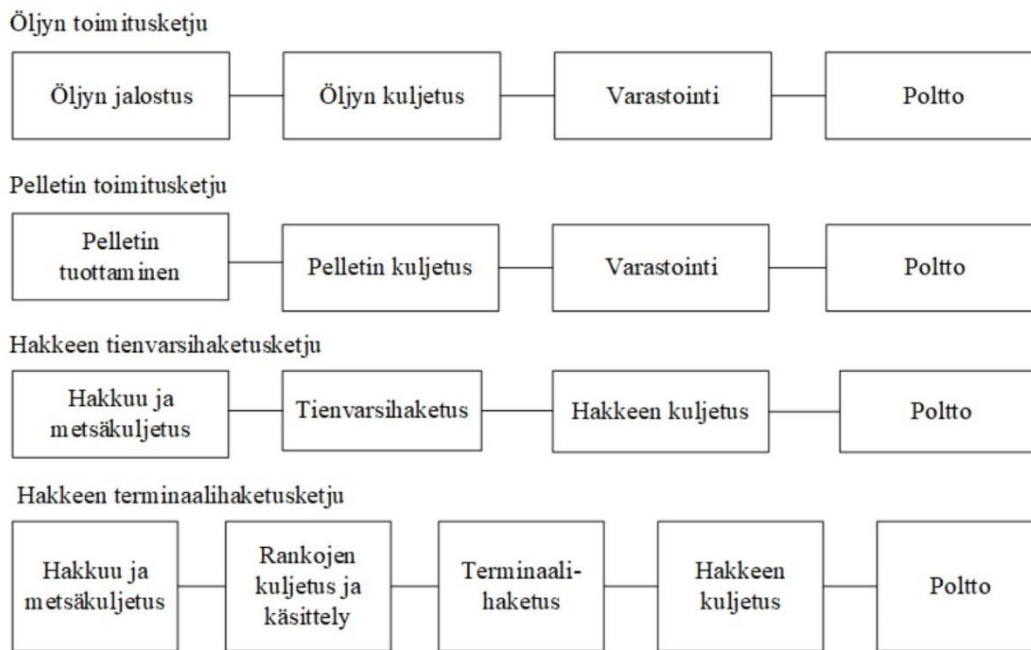
Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla eri energiajärjestelmien ja niiden koko elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. BAU-skenaario viittasi lämmitysjärjestelmään, jossa käytettiin polttoaineena kevyttä polttoöljyä. Vaihtoehtoisissa skenaarioissa polttoaineina olivat Vierumäeltä peräisin oleva pelletti sekä kolmesta eri paikasta (Hirvensalmelta, Juvalta ja Savonlinnasta) peräisin olevat hakkeet. Vaikutusten arviointi perustui ilmaston lämpenemispotentiaalia käsittelevään CML 2001 (2016) -menetelmään 100 vuoden ajanjaksolta. Toiminnalliset yksiköt, joita käytettiin laskelmissa, olivat  $t\ CO_2\ eq / vuosi$  ja  $kg\ CO_2\ eq / MWh$ . Arviointi sisälsi tyypillisen kehdoista hautaan -järjestelmän, jossa tarkasteltiin päästöjä aina polttoaineen hankinnasta loppukäyttöön asti, mutta se ei sisältänyt tuhkan hallintaa. Lisäksi arvioinnin ulkopuolelle jäivät infrastruktuurit, kuten kuorma-autot, hakkurit/murskaimet ja pyöräkuormaajat sekä biomassavarastojen mahdolliset päästöt.

### 8.3.2 Logistiset skenaariot

Logistiset skenaariot on esitetty kuvassa 28. Haketta kuljetettiin aina puhallustoitimitusketjulla, jolla on pidempikestoinen purku aika verrattuna muihin toimitusketjuihin. Öljyn toimitusketjun (BAU) skenaariossa kevyttä polttoöljyä tuodaan Porvoosta sijaitsevalta jalostamolta öljyautolla käyttöpaikalle. Pelletin toimitusketjun skenaariossa pelletit valmistettiin Vierumäellä ja ne kuljetettiin 23 tonnin hyötykuormilla. Hakkeen tienvarsihaketuksen skenaariossa rangat kuljetettiin hakkuun jälkeen tienvarsipinoon ja sieltä ne haketettiin liikuteltavalla rumpuhakkurilla suoraan hakeauton konttiin. Tämän jälkeen hakeauto kuljetti hakkeen suoraan käyttöpaikalle. Hakekontin kapasiteetti oli  $40\ m^3$  ja hyötykuormana käytettiin 11 tonnia (nuppikuorma).

Erillisissä herkkyystarkasteluissa rangat kuljetettiin ensin pinoon biomassaterminaalille ja sieltä ne haketettiin suoraan hakeautoon (hakkeen terminaalihaketusketju). Oletuksena oli, että terminaali sijaitsi 10 km päässä käyttöpaikasta, mutta ko-

konaisetäisyys metsästä käyttöpaikalle oli 10 km enemmän kuin vastaavalla hakkeen tienvarsihaketusketjulla.



**Kuva 28** Kaaviokuva eri toimitusketjujen skenaarioista.

### 8.3.3 Inventaarioanalyysi

BAU-skenaariossa kevyttä polttoöljyä poltettiin liikerakennuksen lämmitystä varten. Ajatuksena oli, että tarkasteltavissa vaihtoehtoisissa skenaarioissa korvattaisiin liikerakennuksen lämmityksessä käytettävä fossiilinen polttoaine uusiutuvalla puubiomassalla.

Lopullista tarkastelua varten tehtiin useita oletuksia koskien raaka-ainetta, tuotantoa ja kulutusmääriä. Muut oletukset ja luettelo lähteistä on esitetty taulukossa 7. Kevyen polttoöljyn vuotuisen tarpeen oletettiin olevan 80 000 l/vuosi (800 MWh). Kevyen polttoöljyn lämpöarvo oli 42,5 MJ/kg ja ominaistiheys 860 g/l. Lisäksi oletettiin, että lämmitysjärjestelmä toimi 90 %:n hyötysuhteella.

Pellettejä tarvittiin 169 t/vuosi saman energiamäärän saavuttamiseksi ja niiden lämpöarvoksi oletettiin 4,8 MWh/t. Toisaalta puuhaketta tarvittiin 337 t/vuosi saman energiamäärän saavuttamiseksi ja niiden lämpöarvoksi oletettiin 2,86 MWh/t.

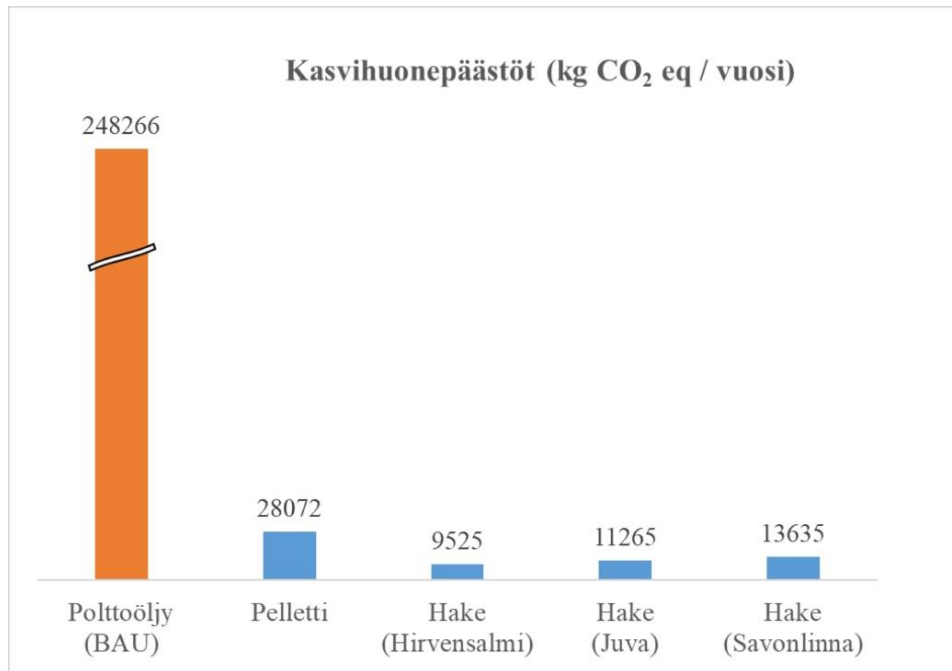
**Taulukko 7** Yksikköprosessit, tehdyt oletukset ja alkuarvojen lähteet.

Yksikköprosessi	Kuvaus/oletus	Lähde
Kevyen polttoöljyn jalostus	Jalostus Porvoossa	(GaBi databases 2011)
Lämpö polttoöljystä	1 MW:n kokoluokka	(Jungbluth 2007)
Öljyn kuljetus	EURO 6, kuorma 23 t	(GaBi databases 2011)
Dieselin jalostus		(GaBi databases 2011)
Pelletin kuljetus	EURO 6, kuorma 23 t	(GaBi databases 2011)
Rankojen kuljetus	EURO 6, kuorma 34 t	(GaBi databases 2011)
Lämpö pelletistä	300 kW:n kokoluokka	(Bauer 2013a)
Pelletin tuotanto		(Bauer 2013b)
Hakkuu	Tuottavuus 10,4 m <sup>3</sup> /h	(Werner 2012a)
Metsäkuljetus	Tuottavuus 12,3 m <sup>3</sup> /h	(Werner 2012b)
Purku/lastaus	Pyöräkuormaaja	(Jäppinen, Korpinen ja Ranta 2013)
Hakkeen kuljetus	EURO 6, kuorma 11 t, 40 m <sup>3</sup> , 45 prosentti hakekosteus	(GaBi databases 2011, Lämpösi Oy 2020)
Haketus: kulutus	Rumpuhakkuri: 475 kW, tienvarsi	(Werner 2013)
Haketus: päästöt	Kuiva biomassa 9,38 kg CO <sub>2</sub> /t	(Prinz, Väätäinen, Laitila et al. 2019)
Lämpö hakkeesta	1 MW:n kokoluokka	(Bauer 2007)

## 8.4 Tulokset

### 8.4.1 Kasviuonekaasupäästöjen vertailu

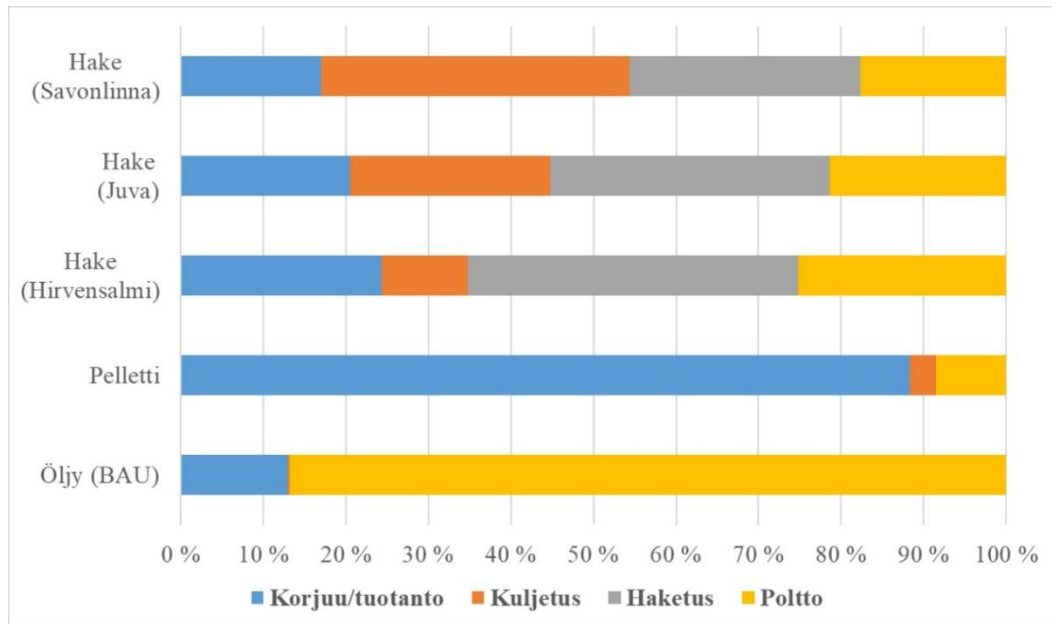
Eri energialähteistä peräisin olevat kasviuonekaasupäästöt koko toimitus- ja käyttöketjun elinkaaren ajalta on esitetty kuvassa 29. Hakkeelle käytettiin aina puhallustoimitusketjua. Kevyellä polttoöljyllä (BAU) kasviuonekaasupäästöt olivat jopa 248 t CO<sub>2 eq</sub>/vuosi tai 339 kg CO<sub>2 eq</sub>/MWh. Toisaalta hakkeella vastaavat kasviuonekaasupäästöt olivat vain noin 9,5–13,6 t CO<sub>2 eq</sub>/vuosi tai 13–18,6 kg CO<sub>2 eq</sub>/MWh riippuen siitä, miltä paikkakunnalta hake oli toimitettu. Pelleteillä kasviuonekaasupäästöt hieman nousivat verrattuna hakkeen kasviuonekaasupäästöihin, ollen 28 t CO<sub>2 eq</sub>/vuosi tai 38 kg CO<sub>2 eq</sub>/MWh.



**Kuva 29** Kasvihuonekaasupäästöt energialähteittäin.

#### 8.4.2 Kasvihuonekaasupäästöjen suhteelliset osuudet

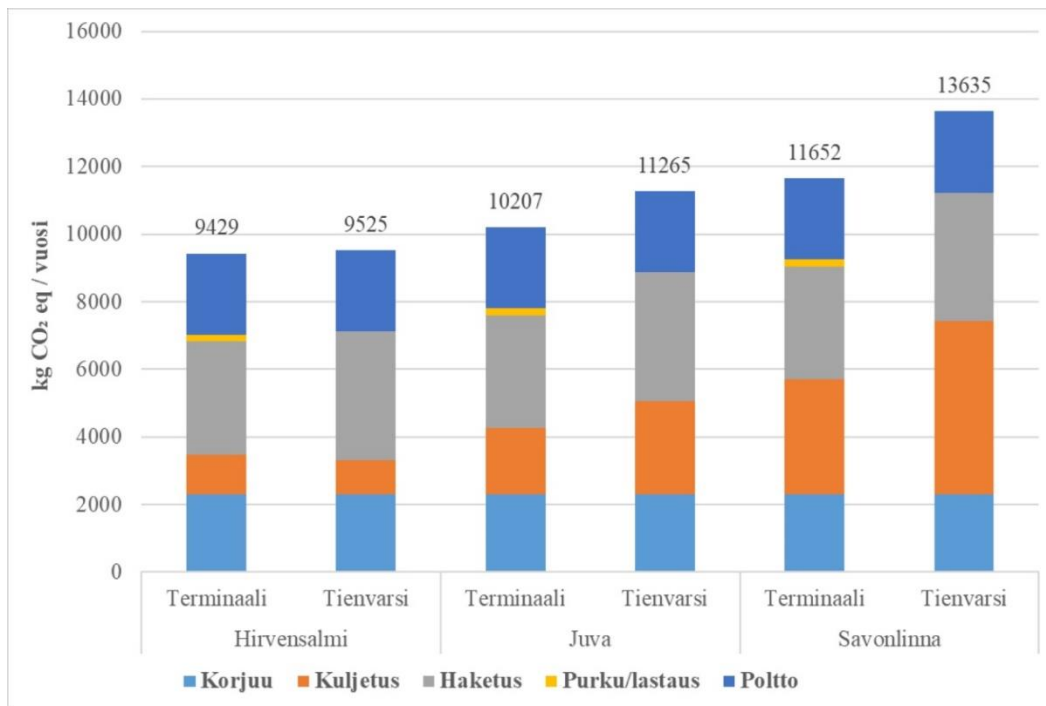
Kasvihuonekaasupäästöjen suhteelliset osuudet eri skenaarioiden elinkaarivaiheissa on esitetty kuvassa 30. Hakkeen osalta suurin osuus kasvihuonekaasupäästöistä aiheutui haketuksesta (28–40 %) ja sen jälkeen tasaisesti korjuusta (17–24 %) ja poltosta (18–25 %), riippuen hakkeen toimituspaikasta. Mielenkiintoista oli, että Hirvensalmelta peräisin olevan hakkeen kuljetuksen osuus oli noin 10 % kasvihuonekaasupäästöistä. Vastaavasti Savonlinnasta peräisin olevan hakkeen kuljetuksen osuus oli jopa 37 % kasvihuonekaasupäästöistä. Pelletin osalta suurin osuus kasvihuonekaasupäästöistä aiheutui sen tuotannosta, ollen 88 % kokonaispäästöistä. Loppuosuus (12 %) aiheutui pelletin kuljetuksesta ja poltosta. Öljyn (BAU) osalta valtaosa kasvihuonekaasupäästöistä aiheutui palamisesta (noin 87 %) ja loput sen jalostamisesta (noin 13 %). Öljyn kuljettamisesta aiheutui vain minimaalinen osuus.



**Kuva 30** Kasvihuonekaasupäästöjen suhteelliset osuudet eri skenaarioiden elinkaarivaiheissa.

#### 8.4.3 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin tulokset hakeskenaarioiden osalta esitetään kuvassa 31, jossa verrattiin keskenään terminaali- ja tienvarsihaketusketjujen elinkaarivaiheiden päästöjä. Tuloksien mukaan kasvihuonekaasupäästöissä ei ollut merkittävää eroa Hirvensalmelta peräisin olevan hakkeen osalta terminaali- ja tienvarsihaketusketjujen välillä. Kuitenkin polttoaineen kuljetusmatkan pidentyessä kasvihuonekaasupäästöjen erot kasvoivat näiden toimitusketjujen välillä. Kuljetukset terminaalin kautta (haketus terminaalissa) aiheuttivat suuremmat kasvihuonekaasupäästöt kuin suorat tienvarsihaketusketjun toimitukset. Suurin selittävä tekijä oli se, että rangat toimitettiin tukkirekoilla metsäteiden varsilta terminaaliin, joissa oli 34 tonnin hyötykuorma. Puolestaan tienvarsihaketuksissa käytettävän hakeauton hyötykuorma oli 11 t, jolloin hakeautojen piti tehdä määrällisesti enemmän kuljetusmatkoja tukkirekkoihin verrattuna.



**Kuva 31** Terminaali- ja tienvarsihaketusketjujen elinkaarivaiheiden päästöt.

## 8.5 Johtopäätökset

Tulokset osoittivat, että hakkeen käyttö esimerkkikohteen liiketilan lämmityksessä auttoi vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä jopa 96 % verrattuna vastaavaan öljylämmitykseen perustuvaan liiketilaan nähden. Tietysti pitää huomioida, että kasvihuonekaasupäästöjä vertailtiin polttoaineiden koko elinkaaren ajalta. Pellettiä käyttämällä päästöt olisivat vähentyneet 89 prosentilla verrattuna öljyyn. Tämä pienempi vähennys johtui suurelta osin pelletin tuotannosta aiheutuvista päästöistä. Lisäksi pellettilämmityksen kokonaispäästöt olivat jopa kolminkertaisia hakkeeseen verrattuna. Toisaalta pelletit tarjoavat myös muita fysikaaliskemiallisia hyötyjä, kuten laadun yhdenmukaisuuden ja korkeamman lämpöarvon verrattuna hakkeeseen. Pelletin tuotantovaihe on yksi kasvihuonekaasupäästöjen pullonkauloista, joka voi myös tarjota mahdollisuuden minimoida päästöjä sen osalta.

Herkkyysanalyysin tulokset osoittivat, että rankojen haketus terminaalissa aiheutti hieman pienemmät päästöt huolimatta ylimääräisestä kuljetusetäisyydestä ja materiaalin käsittelyihin liittyvistä päästöistä. Suurin selittävä seikka oli, että tukkirekan hyötykuorma oli 34 t ja hakeauton 11 t.

Paikallisesti saatavilla olevan biomassan käyttäminen lämmityksessä tuontifossiilisen öljyn sijaan tarkoittaisi, että kunnat voisivat olla riippumattomia energiasta ainakin lämmityssektorin parissa. Hast et al. (2016) mukaan öljylämmitysjärjestelmien korvaaminen hake- tai pellettijärjestelmillä voi kuitenkin olla haastava tehtävä Suomessa, varsinkin kevyen polttoöljyn hinnan ollessa alhaisella tasolla. Silloinkin, kun kevyen polttoöljyn hinta on alhaalla, öljylämmitysjärjestelmien korvaaminen täytyisi tehdä sen elinkaaren päässä ja siihen tarvittaisiin myös jonkinlaista rahallista tukea tai kannustinta valtion toimesta.



## 9 LÄMPÖKONTIN INVESTOINNIT JA KUSTANNUKSET

Toimenpideoasio 5

*Raghu KC & Jarno Föhr*

### 9.1 Johdanto

Tutkimuksen peruslähtökohtana oli, että öljyä käyttävä taloyhtiö mietti vanhan lämmitysjärjestelmänsä uudelleen uusimista tai korvaamista siirrettävällä lämpökontilla. Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida keskenään siirrettävän lämpökontin ja vastaavan kokoluokan öljylämmitysjärjestelmän investoinnin kannattavuutta. Arvioinnissa otettiin huomioon niiden alkuinvestoinnit ja lämmöntuotannon aikaiset kokonaiskustannukset. Arvioinnin laskelmat suoritettiin kahdelle eri kattilan kokoluokalle: 110 kW ja 300 kW. Siirrettävän lämpökontin polttoainevaihtoehtoina käytettiin puuhaketta ja puupellettiä (sama lämpökontti molemmille), ja niitä verrattiin öljyn käytölle BAU-skenaariossa (öljylämmitysjärjestelmä). Perusasetelma näiden lämmitysratkaisujen välillä oli se, että siirrettävän lämpökontin investointikustannus oli kalliimpi kuin öljylämmitysjärjestelmän, mutta sen käytön aikaiset kustannukset olivat suhteessa halvempia.

### 9.2 Menetelmät

#### 9.2.1 Lähtökohta

Siirrettävien lämpökonttien osalta oletuksena oli, että lämpöyrittäjä investoi lämpökonttiin ja asentaa sen käyttäjän läheisyyteen. Lisäksi lämpöyrittäjä tarjoaa kontin ylläpidon ja hoitaa polttoainetoimitukset sekä myös laskuttaa taloyhtiötä sopimuksen mukaisesti. BAU-skenaarion osalta oletuksena oli, että taloyhtiö investoi uuteen öljylämmitysjärjestelmään. Öljylämmitysjärjestelmän lisäksi taloyhtiö investoi uuteen öljysäiliöön, jonka kustannus sisältyi 15 000 euron laiteinvestointiin. Lisäksi taloyhtiö ylläpiti ja huolehti polttoaineen varastoinnista ja sen toimituksista sekä myös hoiti laskujen maksun. Edellä mainitut skenaariot ja niiden lähtötiedot on kuvattu taulukossa 8.

**Taulukko 8** Vertailutiedot lämmitysjärjestelmien investoinneille ja käytön aikaisille kustannuksille.

Kategoria	Yksikkö	Hake		Pelletti		Öljy
Nimellisteho	kW	110	300	110	300	300
Hyötysuhde	%	91	91	91	91	95
Huippukäyttöaika	h/a	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Lämmöntarve	MWh/a	220	600	220	600	600
Polttoainehinta	€/MWh	22,03 <sup>1</sup>	22,03 <sup>1</sup>	47,42 <sup>2</sup>	47,42 <sup>2</sup>	51,14 <sup>3</sup>
Vuotuinen polttoainekustannus <sup>4</sup>	€	5 326	14 525	11 464	31 266	32 299
Omakäyttösähkö <sup>5</sup>	€	264	724	264	724	
<b>Investointi<sup>6</sup></b>						
Pohjatyöt	€	7 000	7 000	7 000	7 000	1 000
Laiteinvestointi	€	100 000	200 000	100 000	200 000	15 000
Hallinnolliset kulut	€	1 000	8 000	1 000	8 000	1 000
Investointituki	%	20	20	20	20	0

<sup>1</sup>Tapaus Savonlinna (terminaali)

<sup>2</sup>(Tilastokeskus 2021a)

<sup>3</sup>(Tilastokeskus 2021b), perustuu polttoöljyn hintaan 60 senttiä

<sup>4</sup>Lämmöntarve kerrotaan polttoainehinnalla ja jaetaan hyötysuhteella

<sup>5</sup>1 % tuotannosta ja sähkön hinta 120 €/MWh

<sup>6</sup>Investointikustannustieto (Miettinen 2021)

### 9.2.2 Hakkeen toimitusketju siirrettävälle lämpökontille

Perusskenaarioissa hakkeen hinnaksi oletettiin 22,03 €/MWh ja jonka oletettiin olevan peräisin Savonlinnasta (106 km). Lisäksi toimitusketjun haketusvaihe suoritettiin terminaalisissa 10 km päässä lämpökontista. Puuhakkeen hinnan tarkasteluissa otettiin huomioon myös tienvarsihaketusketjun vaihtoehto ja lisäksi hake-toimitukset eri lähtöpaikoista. Ensisijainen oletus oli, että hakkeen käyttöpaikka oli Mikkelissä ja biomassaterminaali sijaitsi 10 km etäisyydellä hakkeen käyttöpaikasta. Hakkeen lähtöpaikat olivat Savonlinnasta (106 km), Juvalta (44 km), ja Hirvensalmelta (35 km). Tienvarsihaketusketjussa puurangat hakettiin tienvarressa erillisellä hakkurilla suoraan puhallusauton kyytiin, joka kuljetti hakkeet asiakkaalle. Terminaalihaketusketjussa tukkirekka (hyötykuorma 34 t) kuljetti rangat ensin terminaaliin ja liikuteltava hakkuri haketti materiaalin aumaan, josta ne lastattiin pyöräkuormaajalla puhallusauton kyytiin. Perinteistä haketoimitusta esimerkiksi kippilava-autolla ei sisällytetty mukaan laskelmiin.

### 9.2.3 Polttoainehinnat

Oletettiin, että puuhakkeen lämpöarvo oli 2,22 kWh/kg ja sen kosteuspitoisuus oli 45 % (Alakangas et al. 2016). Hakkeen hinnan selvitys aloitettiin määrittämällä kantohinta (ka) 4,64 €/m<sup>3</sup> ja se on otettu kansallisesta tilastosta (Luke 2021). Kustannukset olivat hakkuulle (ha) 19,1 €/m<sup>3</sup>, metsäkuljetukselle (me) 5,6 €/m<sup>3</sup> ja pinoamiselle (pi) 0,5 €/m<sup>3</sup> (Karttunen & Laitila 2015). Rankojen käsittelykustannukset (kä) olivat rankojen purkamiselle 2,4 €/m<sup>3</sup> (ainoastaan terminaalissa) ja haketukselle 4,8 €/m<sup>3</sup>. Kuljetuksen kustannus (ku) laskettiin ajoajasta (2 h), kuljettajan tuntihinnasta (70 €) sekä lastauksen ja purkamisen aikana odottamisen lisäkuluista (1,45 h) (Laitila & Väättäinen 2012). Polttoainekustannukset (po) laskettiin ajolle etäisyyden perusteella ja 9 tonnin kuorma-auton keskimääräisellä polttoaineenkulutuksella. Lisäksi tutkimuksessa suoritettiin herkkyyksianalyysyjä erilaisilla etäisyys- ja haketusmenetelmillä.

Näin ollen puuhakkeen hinta laskettiin kaavalla 1:

$$\text{Puuhakkeen hinta (pu)} = \text{ka} + \text{ha} + \text{me} + \text{pi} + \text{kä} + \text{ku} + \text{po} \quad (1)$$

Puupellettien hinta määritettiin pellettien kuluttajahinnastosta (Tilastokeskus 2021). Tässä tutkimuksessa kaikki hinnat ja kustannukset oli määritetty ennen veroja.

### 9.2.4 Kustannuslaskenta

Oletuksena oli, että viranomaisilta saatava investointituki oli 20 % siirrettävän lämpökontin kokonaisinvestoinnista. Diskonttauskoron oletettiin olevan 5 %, korkotason 2 % ja lainan keston 240 kuukautta.

Annuiteetti laskettiin kaavalla 2:

$$a_n = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

Nettonykyarvo (NPV) laskettiin kaavalla 3, jolloin saavutettiin positiivinen NPV lämmön vähimmäishinnalle:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (3)$$

jossa  $C_t$  on kassavirta,  $I_0$  on alkuinvestointi,  $k$  on diskonttokorko, ja  $t$  on investoinnin aika vuosina (20 vuotta).

### 9.2.5 Herkkyysanalyysit

Perusskenaarioiden lisäksi suoritettiin herkkyysanalyysijä, ja niitä suoritettiin erilaisilla muuttujilla, joilla saavutettiin jälleen positiivinen NPV lämmön vähimmäishinnalle. Analyysissä käytettiin erilaisia muuttujia kuten korkotasoa, myydyin lämmön määrää, investointitukea ja siirrettävän lämpökontin hintaa.

## 9.3 Tulokset

### 9.3.1 Puuhakkeen hinta

Puuhakkeen hinnat määritettiin sekä tienvarsi- että terminaalihaketusketjuille, ja ne laskettiin käyttämällä kaavaa 1. Hakkeelle käytettiin aina puhallustoimitusketjua. Tulokset on esitetty taulukossa 9.

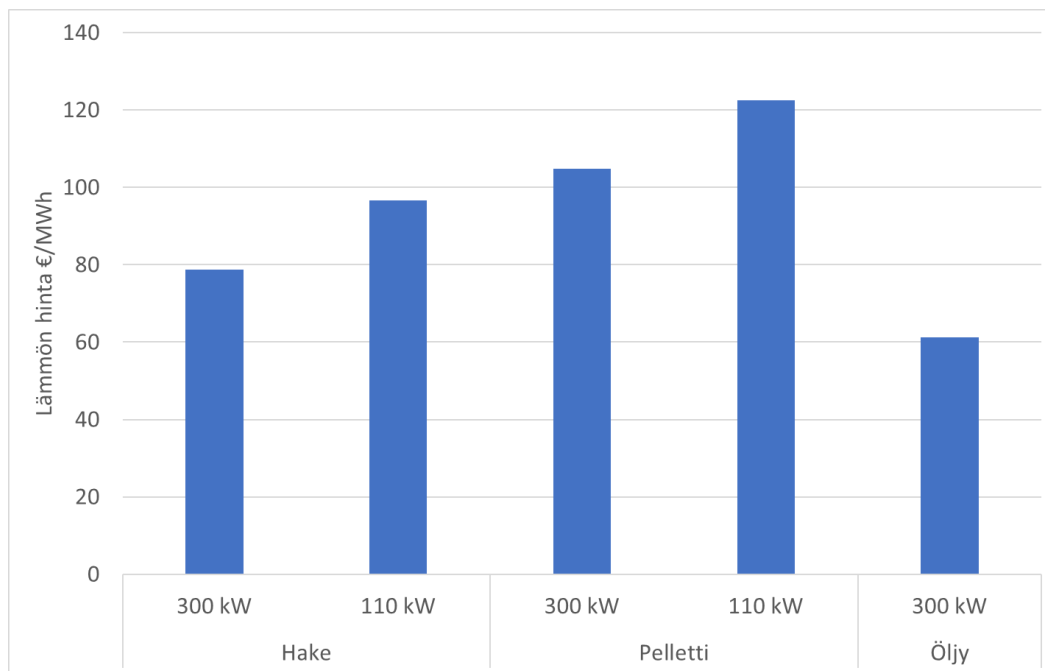
**Taulukko 9** Puuhakkeen hinnat erilaisilla toimitusvaihtoehdoilla: Hirvensalmi tienvarsi (TI), Hirvensalmi terminaali (TE), Juva tienvarsi (TI), Juva terminaali (TE), Savonlinna tienvarsi (TI) ja Savonlinna terminaali (TE).

	Hirvensalmi		Juva		Savonlinna	
	TI	TE	TI	TE	TI	TE
Puuhakkeen hinta (€/MWh)	18,41	20,37	18,64	20,65	19,67	22,03

### 9.3.2 Perusskenaariot

Kuvassa 32 on esitetty tutkittujen perusskenaarioiden tulokset. Tulokset osoittivat, että positiivisen NPV:n saavuttamiseksi hakelämmön vähimmäishinnan tuli olla 300 kW:n siirrettävän lämpökontin osalta 78,66 €/MWh ja 110 kW:n lämpökontin osalta 96,45 €/MWh. Sen sijaan pellettilämmön osalta vastaavat lämmön hinnat lämpökonteilla tulivat olla 104,86 €/MWh ja 122,45 €/MWh. Lisäksi uuden öljy-

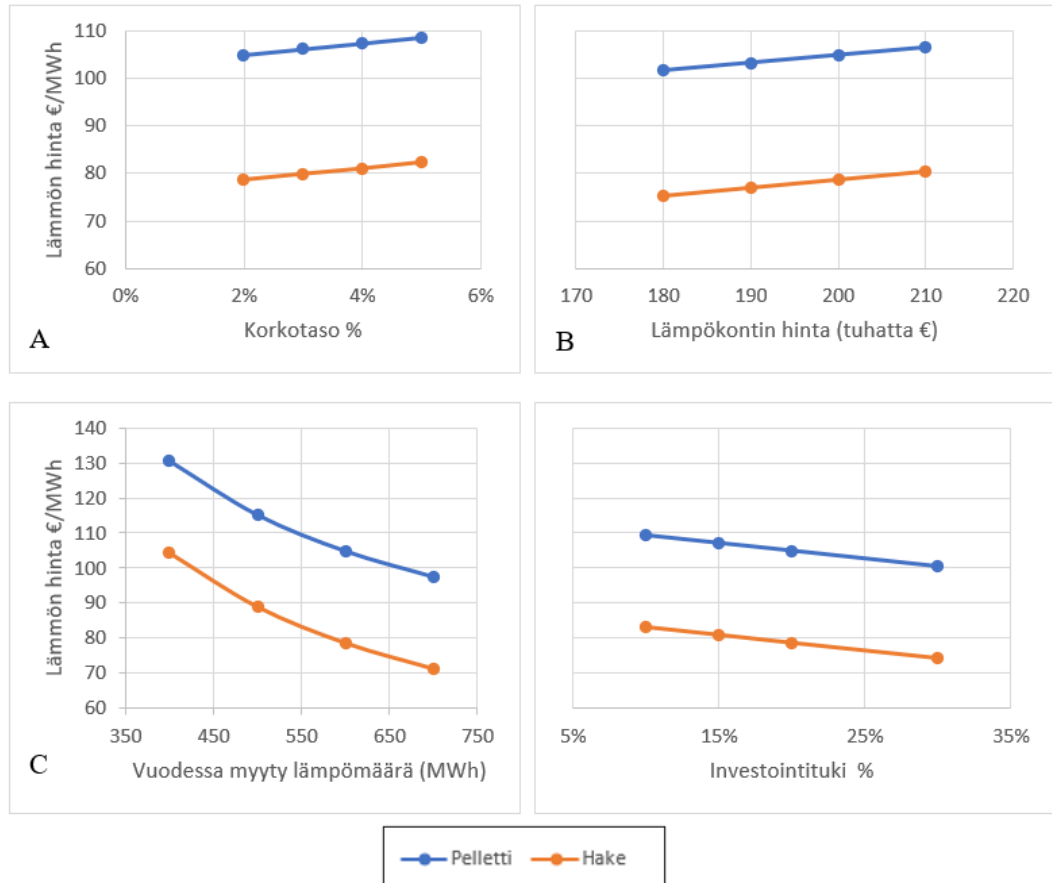
lämmitysjärjestelmän investointi määritti öljylämmölle hinnaksi vähintään 61,32 €/MWh.



**Kuva 32** Lämmön vähimmäishinta perusskenaarioissa, jolloin NPV oli positiivinen.

### 9.3.3 Herkkyysanalyysit

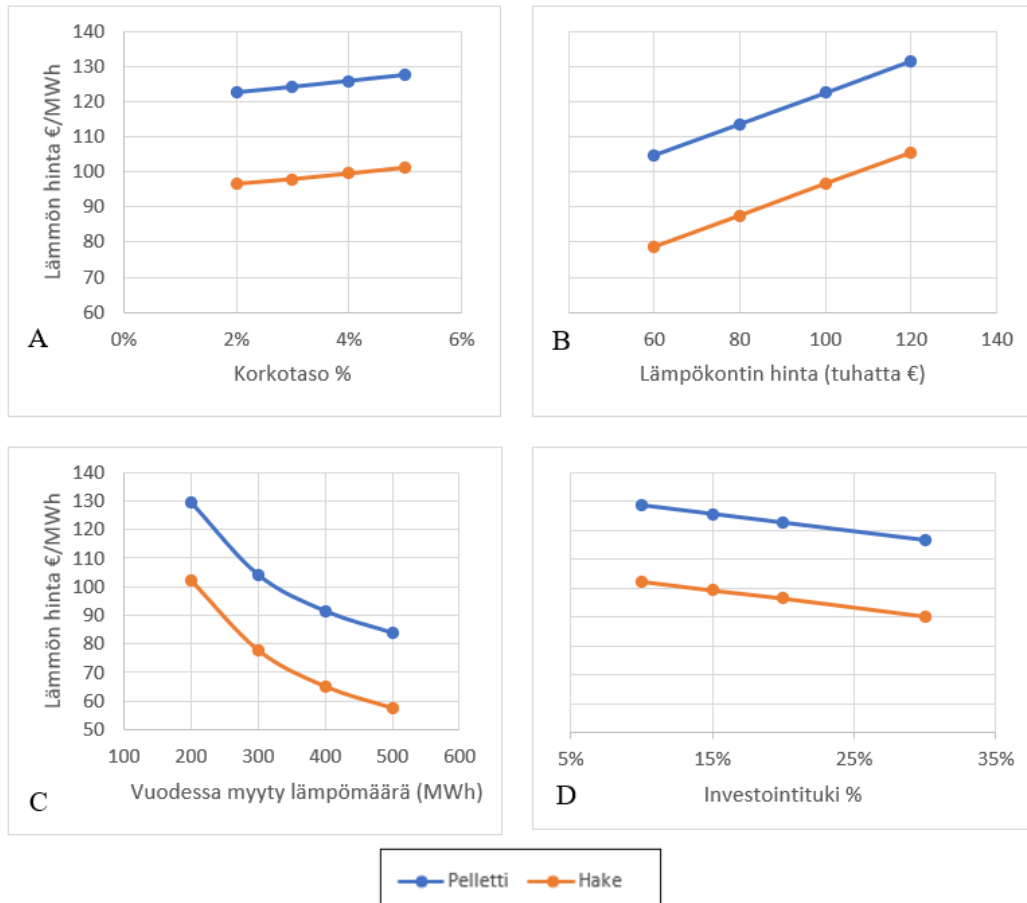
Herkkyysanalyysijä varten säädettiin useita eri muuttujia, joilla oli suora vaikutus käytettävissä olevaan lämmön hintaan. Herkkyysanalyysien tärkein seikka oli tarkastella taloyhtiön investoinnin näkökulma siirrettävän lämpökontin hankinnan suhteen. Edellisissä perusskenaarioissa lämpöyrittäjä myi lämmön taloyhtiölle, mutta tässä herkkyysanalyysissä oletettiin, että taloyhtiö osti siirrettävän lämpökontin ja sen päivittäiset ostopalvelut kolmannelta osapuolelta. Kuvassa 33 on suoritettu herkkyystarkasteluja 300 kW:n siirrettävällä lämpökontilla. Kyseisessä kuvassa on esitetty korkotason, lämpökontin hinnan, vuodessa myydyin lämpömäärän ja investointituen vaikutukset lämmön vähimmäishinnalle. Tällöin NPV oli positiivinen, eli toisin sanoen siirrettävän lämpökontin investointi oli vielä kannattava.



**Kuva 33** Korkotason, lämpökontin hinnan, vuodessa myydyn lämpömäärän ja investointituen herkkyydestä lämmön vähimmäishinnalle, kun käytetään 300 kW:n lämpökonttia.

Puupellettiä käyttämällä lämmön hinta oli kaikissa vaihtoehdoissa kalliimpi kuin hakelämmön hinta. Se johtui siitä, että polttoaineen hinta oli kaksinkertainen hakkeeseen verrattuna, muiden kulujen ollessa samoja. Kuvasta 33 huomataan, että 300 kW:n hakelämpökontilla korkotason nouseminen viiteen prosenttiin kasvattaisi hakelämmön hinnan 82,41 €/MWh:iin verrattaessa normaaliin kahden prosentin korkotasoon (78,66 €/MWh). Myös hakelämpökontin 20 000 € halvempi alkuinvestointi laskisi hakelämmön vähimmäishintaa 3,3 €/MWh verrattuna perusskenaarioon. Samasta kuvasta 34 huomataan myös, että vuodessa myydyn hakelämpömäärän kasvattaminen teoriassa 700 MWh:iin laskisi lämmön vähimmäishinnan 71,32 €/MWh:iin. Lisäksi lämpökontin 10 % suurempi investointituen osuus (yht. 30 %) aiheuttaisi noin 4,3 €/MWh alhaisemman hakelämmön hinnan.

Kuvassa 34 on esitetty täysin vastaavat herkkyystarkastelut myös 110 kW:n siirrettävälle lämpökontille kuin aikaisemmalle 300 kW:n lämpökontille. Jälleen puupellettiä käyttämällä lämmön hinta oli kaikissa vaihtoehdoissa kalliimpi kuin hakelämmön hinta.



**Kuva 34** Vastaavat herkkyystarkastelut lämmön vähimmäishinnalle, kun käytetään 110 kW:n lämpökonttia.

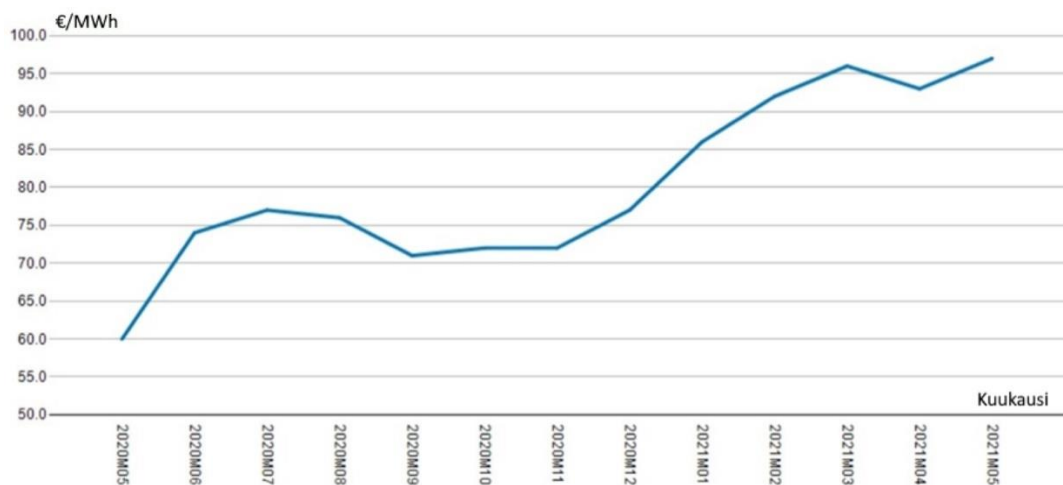
Kuvasta 34 ilmenee, että korkotason nouseminen kahdesta prosentista viiteen prosenttiin kasvattaisi hakelämmön hintaa vain noin viidellä prosentilla. Sen sijaan 25 prosentin alhaisemmalla siirrettävän lämpökontin hinnalla laskisi myös hakelämmön hinta noin 10 %. Toisaalta myymällä teoriassa 500 MWh lämpöä vuodessa laskisi hakelämmön hinta noin 44 prosenttia, jos verrataan lähtötilanteeseen 220 MWh/a. Lisäksi lämpökontin 10 % suurempi investointituen osuus (yht. 30 %) aiheuttaisi noin 6 % alhaisemman hakelämmön hinnan.

## 9.4 Loppukeskustelu

Eri lämmitysmuotojen kuluttajahintoja on esitetty taulukossa 10. Kyseiset hinnat eivät siis sisällä NPV:n laskentaa, jota suoritettiin aikaisemmin. Tässä tutkimuksessa määritettiin öljylämmityksen vähimmäishinnaksi 61,32 €/MWh, joka sisälsi investoinnin ja 20 vuoden kuoletuksen (polttoainehinnalla 60 sentt/l, ilman ALV). Pitää ottaa myös huomioon, että kevyen polttoöljyn hinta on vaihdellut vuosittain todella paljon, samoin kuin muidenkin lämmitysmuotojen hinnat (kuva 35).

**Taulukko 10** Lämmön kuluttajahintoja Suomessa maaliskuussa 2021 (Tilastokeskus 2021c).

Energia	Hinta, €/MWh (ilman ALV)
Kevyt polttoöljy	77,34
Kotitaloussähkö	114,92
Puupelletti	47,42
Kaukolämpö (rivitalo/pienkerrostalo)	67,41



**Kuva 35** Kevyen polttoöljyn kuluttajahinta ajalta toukokuu 2020–toukokuu 2021 (Tilastokeskus 2021b).

Sen sijaan kaukolämmön hinta, joka on jonkin verran verrattavissa lämpökontista tulevaan hakelämpöön, oli Tilastokeskuksen mukaan 67,41 €/MWh. Kaukolämmön hinta oli tällöin 11,25 €/MWh edullisempi kuin halvin vaihtoehto lämpökontista (78,66 €/MWh), joka käytti haketta. Kaukolämpöä tuotetaan kuitenkin usein



sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa ja niiden energianmyyntiin kuuluu myös sähkön myynti. Kaiken kaikkiaan, paras tapa alentaa lämpökontilla tuotetun lämmön hintaa olisi lisätä vuosittaista myyntyä lämpö määrää. Tässä tutkimuksessa ei verrattu puhallustoimitusketjun ja perinteisen haketoimitusketjun välisiä kustannuksia johtuen tutkimuksen suppeudesta.

## **10 PUHALLUS-HANKKEEN LOPPUPÄÄTELMÄT**

### **10.1 Hankkeella saavutettiin**

Puhallus-hanke teki läheistä yhteistyötä mm. seuraavien yrittäjien ja organisaatioiden kanssa: Kome Oy, SKAL Itä-Suomi ry, Metsäenergia Meter Oy, Lämpösi Oy, Biofire Oy ja Kiinteistökehitys Naistinki Oy. Lisäksi pilottikokeissa tehtiin tiivistä yhteistyötä puutarhatoimija Lassi Tervon (Tervon Puutarha) kanssa, joka toimi puhallustesteissä puhalluskontin käyttäjänä ja kuljettajana. Hankkeessa tehtiin yhteistyötä läpi maakuntien, sillä pelkästään Etelä-Savossa ei ollut kaikkia alan teknologian kehittäjiä ja valmistajia.

Hankkeen tuloksena saatiin tietoa, kuinka hakkeen uusi toimitus- ja käyttöratkaisu soveltui korvaamaan öljykohteita ja kuinka se soveltui lämmitysratkaisuna muutostarpeita vaativille tai uusille suurkiinteistöille. Hankkeessa tuotettiin suunnitelmat uudelle puhallustoimitusketjulle ja tuotettiin myös alustava markkinaselvitys koko konseptille, jolloin selvitettiin sen kehittymismahdollisuudet tulevaisuudelle. Hankkeessa saatiin selville merkittävimmät öljyn käyttäjäkohteet ja nykyiset tyypillisimmät öljykohteet, joihin uusi konsepti olisi sopiva ratkaisu. Lisäksi hankkeessa selvitettiin sopivia toimijoita hoitamaan hakkeen toimitus- ja lämpöliiketoimintaa Etelä-Savossa sekä saatiin tietoa maakunnan yhteisestä haketerminaalista, jossa alueen yritykset saataisiin yhteistyöhön ja tuottamaan lisäpalveluja biopolttoaineen ympärille.

Puhallus-hankkeessa toteutettiin pilottikokeita, joilla koko konseptia saatettiin käytäntöön ja edesautettiin sen markkinoiden avautumista. Pilottikokeita tehtiin yhteistyössä hankkeen ohjausryhmään osallistuvien yritysten kanssa ja näin ollen pilottikokeilut saatiin varmuudella toteutumaan ja niillä oli mahdollisuuksia siirtyä heti osaksi yritysten liiketoimintoja. Tällöin piloteista voi syntyä jatkossa uutta liiketoimintaa nykyisille yrityksille maakunnassa. Hankkeessa löydettiin myös yksi kiinteistökohde, jossa muutos öljyltä hakkeen käytölle olisi mahdollista tehdä lähitulevaisuudessa. Kyseessä olisi Mikkelin kaupungin omistama päiväkotit, josta käytiin keskustelua hanketoimijoiden ja kaupungin edustajien toimesta. Lisäksi hankkeessa tuotettiin vertailulaskelmia uuden konseptin, vanhan öljykon-

septin ja pellettitoimitusketjun välillä, jolloin saatiin selville niiden energiatehokkuudet, hiilijalanjäljet ja kustannukset liittyen logistiikkaan ja investointeihin.

## **10.2 Hankkeen tuottama lisäarvo**

Hankkeen tulokset ovat monistettavissa ja käytettävissä maakunnallisesti, kansallisesti että globaalisti. Tuloksia voivat hyödyntää myös kansainvälisille markkinoille suuntaavat yritykset. Hanke pyrki parantamaan toimialan yrittäjien taloudellisia toimintaedellytyksiä ja pyrki edistämään työpaikkojen määrän lisääntymistä arvoketjun eri vaiheisiin. Hankkeessa tehtävien pilottikokeilujen ansiosta saavutettiin uuden konseptin käyttöönottoa aivan käytäntöön asti, jolloin siitä toivottavasti muodostui pysyvää toimintaa Etelä-Savon maakuntaan. Näin ollen hanke tuki toimialan yrityksiä mahdollisella liiketoiminnan kasvamisella ja uuden liiketoiminnan alkuun saattamisella.

Puhallus-hankkeella pyrittiin kaiken kaikkiaan edistämään bioenergian käyttömahdollisuuksia erityisesti Etelä-Savon alueella. Hankkeessa suoritettavilla toimenpiteillä pyrittiin kehittämään polttoainehuoltoa ja huoltovarmuutta. Hankkeessa käsitellyllä kokonaisratkaisulla pystytään korvaamaan öljyn käyttöä sekä maakunnassa että koko Suomessa. Hankkeen avulla saatiin käsitys hakkeen uudeltaisesta energiahuollon toimitus- ja käyttöratkaisusta, jolla voitaisiin korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Tällöin kyettäisiin siirtymään fossiilisista polttoaineista kohti uusiutuvia energiaratkaisuja. Puuhakkeen lisääntyvä käyttö energiantuotannon polttoaineena tulisi lisäämään alueen omien biomassavarojen käyttöä ja vähentäisi samalla fossiilisten polttoaineiden aiheuttamia päästöjä. Tilanteessa hyötyisivät koko arvoverkon toimijat aina metsänomistajista lämpöasiakkaisiin asti.

Lisäksi uudella toimitusratkaisulla tavoiteltiin lisäarvoa myös puupellettien vastaavalle toimitusketjulle, joka on hyvin samankaltainen hakkeen toimitusketjuun nähden. Pellettejä kuljetetaan edelleen painavissa suursäkeissä, joita joudutaan nostelemaan. Puhallustekniikan avulla pellettien siirtäminen varastoon helpottuisi huomattavasti eikä olisi tarvetta erillisille nostureille. Pellettien pienjakelulogistiikka tulisi joustavammaksi käyttämällä hyödyksi puhallusteknologiaa.

### **10.3 Suositukset jatkotoimille**

Tämä tutkimusraportti on kaiken kaikkiaan kattava kuvaus puhallustoimitusketjun mahdollisuuksista ja potentiaalista sulautua biomassan toimitusketjun pariin erillisenä toimitusratkaisuna. Lisäksi tähän yhdistetty siirrettävä lämpökontti toisi tarvittavan lisän, jotta voidaan puhua kokonaisratkaisusta, jolla voidaan korvata öljykohteita. Tämä kokonaisratkaisu vaatii kuitenkin vielä lisää tutkimusta, jotta voidaan varmuudella selvittää tärkeimmät pullonkaulat koko konseptista. Erityisesti konseptin liiketoimintamahdollisuuksia ja käyttöönoton tukemista pitäisi selvittää lisää, ja tutkia enemmän konseptin etuja verrattuna vaihtoehtoisiin energiamuotoihin nähden. Suositeltavaa olisi vielä toteuttaa jatkohanke tutkimuksen näkökulmasta.

## LÄHTEET

- Amprobe 2020. Products. Amprobe SM-10 Sound Meter. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://www.amprobe.com/product/sm-10/>.
- ARA 2019a. Energia-avustus taloyhtiöille – Hakuohje 2020. Verkkajulkaisu. Päivitetty 28.7.2020. [Viitattu 16.11.2020]. Saatavissa: [https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat\\_ja\\_avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot](https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Taloyhtiot).
- ARA 2019b. Avustettavat korjaukset. Verkkosivusto. Päivitetty 14.2.2020. [Viitattu 16.11.2020]. Saatavissa: [https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat\\_ja\\_avustukset/Energiaavustus/Avustettavat\\_korjaukset\(53755\)](https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ja_avustukset/Energiaavustus/Avustettavat_korjaukset(53755)).
- Bauer, C. 2007. Heat production, softwood chips from forest, at furnace 1000 kW, state-of-the-art 2014. Ecoinvent database v3.1.
- Bauer, C. 2013a. Heat production, wood pellet, at furnace 300 kW, state-of-the-art 2014. Ecoinvent database v3.1.
- Bauer, C. 2013b. Wood pellet production. Ecoinvent database v3.1.
- Biofire Oy 2020. Pohjoismaista bioenergiatekniikkaa. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://www.biofire.fi/>.
- Business Finland 2020. Energiatuki. Verkkosivusto. [Viitattu 17.11.2020]. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>.
- CEN - EN 303-5 2012. Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW. Terminology, requirements, testing and marking. 86 s.
- CEM 2020. Digital Tachometers. DT-6234B/6236B. Verkkosivusto. Saatavissa: <http://www.cem-instruments.com/en/Product/detail/id/1302>.
- ELY 2020a. Avustus pientalon öljylämmityksestä luopumiseksi. Verkkosivusto. Päivitetty 23.11.2020. [Viitattu 23.11.2020]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/oljylammityksen-vaihtajalle>.
- ELY 2020b. Ympäristöasioiden asiakaspalvelun kanta lämpökotien rinnastettavuudesta kaukolämpöön avustusten osalta. Sähköposti 26.11.2020.
- Etelä-Savon maakuntaliitto 2019. [Viitattu: 4.7.2019]. Saatavissa: <http://suuntanasaimaa.kixit.fi/fi/page/55>.
- Euroopan komissio 2018. 2050 – Pitkän aikavälin strategia. Verkkosivusto. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_fi).
- GaBi databases 2011. Thinkstep AG. LBP-GaBi. University of Stuttgart: GaBi Software System, Leinfelden-493 Echterdingen, Germany.

- Hast, A. et al. 2016. What is needed to phase out residential oil heating in Finnish single-family houses? *Sustainable cities and society*, 22, 49–62.
- Impola, R., Tiihonen, I. 2011. Biopolttoaineterminaalit - Ohjeistus terminaalien perustamisella ja käytölle. Terminaalikäsikirja. VTT-R-08634-11.
- ISO 14044:2006 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Saatavissa: [www.sfs.fi](http://www.sfs.fi).
- ISO 1680:2013 2013. Acoustics – Test Code for the Measurement of Airborne Noise Emitted by Rotating Electrical Machines. 17 s.
- Jungbluth, N. 2007. Heat production, light fuel oil, at industrial furnace 1 MW. Ecoinvent database v3.1.
- Juntunen, R. & Luro, J. P. 2016. Biomassaterminaalit esiselvitys. Tapio. Tapion raportteja nro 6.
- Jäppinen, E., Korpinen, O.-J., Ranta, T. 2013. The effects of local biomass availability and possibilities for truck and train transportation on the greenhouse gas emissions of a small-diameter energy wood supply chain. *BioEnergy Research*, 6(1), 166–177.
- Karkkilan kaupunki 2017. Katselmukset. Verkkosivusto. Päivitetty 30.8.2017. [Viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: <https://www.karkkila.fi/sivut/FI/Katselmukset>.
- Karttunen, K., et. al. 2017. Metsätoimialan aluetaloudellinen vaikuttavuus Etelä-Savossa – Tulevaisuusvisio 2020-luvulla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Raportit ja selvitykset – Reports 71. ISBN 978-952-335-080-9. ISBN 978-952-335-081-6 (PDF). 55 s.
- Kauppalehti 2019. Öljylämmittäjän paheneva kiirastuli: ”Veroraippaa tulee selkään koko ajan”. Artikkelit 25.6.2019. [Viitattu: 4.7.2019]. Saatavissa: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/oljylammittajan-paheneva-kiirastuli-veroraippaa-tulee-selkaan-koko-ajan/d43384c8-d757-496f-808c-728f156a03f8>.
- Kome Oy 2020. Composite Kuljetuskontti. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://kome.fi/tuotteet/composite/kuljetuskontti/>.
- Konttinen, S. 2020. Markkinaselvitys ja kyselytutkimus hakkeen puhallustoimetusketjulle ja siirrettävälle lämpökontille. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/161944>.
- Laihanen, M. (toim.) 2020. Hiilivapaa Etelä-Savo. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Loppuraportti 31.8.2020. PDF-verkkodokumentti. 152 s. Saatavissa:

<https://esavoennakoi.fi/resources/public/Aineistot/Hiilivapaa%20Etel%C3%A4-Savo%20loppuraportti%20saavutettava.pdf>.

Lämpösi Oy 2020. Energy Consulting for BioEconomy. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://lamposi.fi/>.

Miettinen, M. 2020a. Hydrauliiikkajärjestelmän toimivuus kuorma-autossa. Lämpösi Oy. Sähköpostiviesti 19.5.2020.

Miettinen, M. 2020b. Hakepuhallin. Lämpösi Oy. Puhelinhaastattelu 14.10.2020.

Miettinen, M. 2021. Kontin ja hakepuhaltimen kustannusarvio. Lämpösi Oy. Sähköpostiviesti 12.4.2021.

Mikkelin kaupungin rakennusjärjestys 2017. Verkkajulkaisu. [Viitattu 20.10.2020]. Saatavissa: [https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/06/Rakennusjarjestys\\_2017.pdf](https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/06/Rakennusjarjestys_2017.pdf).

Mikkelin kaupungin rakennusvalvonta 2020. Maalämmön/Energiakaivon lupaohje. Verkkajulkaisu. [Viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2018/02/Maall%C3%A4mm%C3%B6n-lupaohje-2018.pdf>.

Motiva 2017. Lämmitystapojen vertailulaskuri. Verkkosivusto. [Viitattu 25.11.2020]. Saatavissa: <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>.

Niinistö, T. 2020. Puun energiakäyttö 2019. Luonnonvarakeskus.

Palkia, P. 2020. Haketerminaalikonsepti Etelä-Savossa ja siihen integroitu uusi puhallustoimitusketju. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/161925>.

Prinz, R., Väättäin, K., Laitila, J. et al. 2019. Analysis of energy efficiency of forest chip supply systems using discrete-event simulation. Applied Energy, 235, 1369–1380.

Rentizelas, A. A., Tolis, A. J. & Tatsiopoulos, I. P. 2009. Logistics Issues of Biomass: The Storage Problem and the Multi-Biomass Supply Chain. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 887–894.

Romanet Sarl 2020. Blowing systems and blowing trucks. Verkkosivusto. Saatavissa: <http://www.romanet-sarl.com/>.

SFS-EN ISO 14780:2017 2017. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteen esikäsittely. 55 s.

SFS-EN ISO 17827-1:en 2016. Solid Biofuels. Determination of Particle Size Distribution for Uncompressed Fuels. Part 1: Oscillating Screen Method Using Sieves with Apertures of 3, 15 mm and above. 14 s.

- SFS-EN ISO 18134-2:2017 2017. Kiinteät biopolttoaineet. Kosteuspitoisuuden määrittäminen. Uunikuivausmenetelmä. Osa 2: Kokonaiskosteus. Yksinkertaistettu menetelmä. 19 s.
- SFS-EN ISO 18135:2017 2017. Kiinteät biopolttoaineet. Näytteenotto. 122 s.
- Suomen virallinen tilasto 2018. Asumisen energiankulutus. 2018, 1. Asuinrakennusten päälämmönlähteiden kehitys 2010-luvulla. Päivitetty 21.11.2019. Helsinki: Tilastokeskus. ISSN=2323-3273. [Viitattu: 21.11.2020]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen\\_2018\\_2019-11-21\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_kat_001_fi.html).
- Suomen virallinen tilasto 2019. Energian hinnat. 3. vuosineljännes 2019. Helsinki: Tilastokeskus. ISSN=1799-7984. [Viitattu 24.11.2020]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2019/03/ehi\\_2019\\_03\\_2019-12-11\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2019/03/ehi_2019_03_2019-12-11_tie_001_fi.html).
- Suomen virallinen tilasto 2021. Energian hinnat. 4. vuosineljännes 2020. Helsinki: Tilastokeskus. ISSN=1799-7984. [Viitattu 21.4.2021]. Saatavissa: [https://stat.fi/til/ehi/2020/04/ehi\\_2020\\_04\\_2021-03-11\\_tie\\_001\\_fi.html](https://stat.fi/til/ehi/2020/04/ehi_2020_04_2021-03-11_tie_001_fi.html).
- Tilastokeskus 2019a. Energia 2018 taulukkopalvelu. Kevyen polttoöljyn kulutus. [Viitattu: 4.7.2019]. Saatavissa: [https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2018/alku.htm](https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2018/alku.htm).
- Tilastokeskus 2019b. Energian hinnat 1. Vuosineljännes 2019. Helsinki. Verkkojulkaisu. ISSN 1799-7984. [Viitattu: 5.7.2019]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi\\_2019\\_01\\_2019-06-12\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi_2019_01_2019-06-12_tie_001_fi.html).
- Tilastokeskus 2020. Taajamat väkiluvun ja väestötiheyden mukaan, 2011-2019. Saatavissa: [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin\\_Passiivi/StatFin\\_Passiivi\\_vrm\\_vaerak/](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin_Passiivi/StatFin_Passiivi_vrm_vaerak/).
- Tilastokeskus 2021a. Puupelletin kuluttajahinta. Helmikuu 2021. Helsinki. [Viitattu: 23.6.2021]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/thi/2021/02/thi\\_2021\\_02\\_2021-03-24\\_tau\\_025\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/thi/2021/02/thi_2021_02_2021-03-24_tau_025_fi.html).
- Tilastokeskus 2021b. Polttonesteiden kuluttajahinnat (sisältää alv:n). Tilastokeskuksen maksuttomat tilastotietokannat. Helsinki. [Viitattu: 23.6.2021]. Saatavissa: [https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehi/statfin\\_ehi\\_pxt\\_12ge.px/](https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/en/StatFin/StatFin_ene_ehi/statfin_ehi_pxt_12ge.px/).
- Tilastokeskus 2021c. Lämmitysenergian kuluttajahintoja maaliskuussa 2021. 1. Vuosineljännes. Helsinki. [Viitattu: 23.6.2021]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehi/2021/01/ehi\\_2021\\_01\\_2021-06-10\\_tau\\_003\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2021/01/ehi_2021_01_2021-06-10_tau_003_fi.html).
- Tom Allen Senera 2020. Maalämpö kerrostaloon. Verkkosivusto. [Viitattu 20.11.2020]. Saatavissa: <https://www.tomallensenera.fi/maalampo/maalampo-kerrostaloon>.



- Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. Osallistuva ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Helsinki: Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. ISBN 978-952-287-808-3. 213 s.
- Valtioneuvosto 2020. Hallituksen esitys Eduskunnalle valtion talousarvioksi vuodelle 2021. Helsinki: Edita Prima Oy. ISSN 1237-4318. 102 + 795 s.
- Verohallinto 2020. Kotitalousvähennys. Verkkosivusto. Päivitetty 21.4.2020. [Viitattu 30.11.2020]. Saatavissa: <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/verokortti-ja-veroilmoitus/tulot-ja-vahennykset/kotitalousvahennys/>.
- Virkkunen, M. 2014. Kiinteiden biopolttoaineiden terminaaliratkaisut tulevaisuudessa. VTT. ForestEnergy2020-vuosiseminaari. Jyväskylä, 08.10.2014.
- Väestökisterikeskus 2018. Etelä-Savon maakunnan öljylämmityskohteet. Sähköpostiviesti 16.11.2019.
- Werner, F. 2012a. Harvesting, forestry harvester. RER. Ecoinvent database v3.1.
- Werner, F. 2012b. Wood chipping, mobile chipper at forest road. RER. Ecoinvent database v3.1.
- Werner, F. 2013. Wood chipping, mobile chipper, at forest road. Ecoinvent database v3.1.
- Ympäristöministeriö 2020. Suomen kansallinen ilmastopolitiikka. Verkkosivusto. Saatavissa: <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>.
- Öljyalan Palvelukeskus Oy 2018. Etelä-Savon maakunnan kevyen ja raskaan polttoöljyn kuntakohtaiset myyntitiedot. Sähköpostiviesti 23.10.2018.

## LIITTEET

### Kyselytutkimuksen kysymykset.

### Liite I

#### Kysymykset hake-, kuljetus- ja koneyrittäjille:

1. Oletteko kuulleet siirrettävien lämpökonttien ja puhallustoimitusketjun konseptista aikaisemmin?
2. Puhallustoimitusketjuun kuuluvia lämpökontteja ja puhaltimia valmistetaan Suomessa. Onko käyttämänne teknologian kotimaisuus teille tärkeää?
3. Puhallin voidaan asentaa hakekonttiin, jolloin se saa käyttövoimansa kuorma-auton hydraulikkajärjestelmästä. Onko teillä valmiina soveltuvaa kuljetuskalustoa, joilla voidaan kuljettaa hakekonttia tai vaihtolavaa? Millaisista ajoneuvoista mahdollinen kuljetuskalusto koostuu ja kuinka monta tällaista ajoneuvoa teillä on käytössänne?
4. 40 m<sup>3</sup> suuruisen hakekuorman purkaminen puhaltamalla voi kestää lähes tunnin, haittaako pitkä tyhjennysaika liiketoimintaa?
5. Puhallusteknologian avulla haketta ja kiinteää materiaalia voidaan toimittaa letkulla ahtaaseen tai muuten hankalaan kohteeseen jopa 40 m päähän kuorma-autosta tai usean metrin korkeudessa sijaitsevaan paikkaan, kuinka tärkeänä pidätte tätä toimitusmuodon tuomaa etua liiketoiminnan kannalta?
6. Onko teillä nyt tiedossa haketta käyttäviä kohteita, joihin on hankala toimittaa haketta, johtuen paikan ahtaudesta tai erilaisista esteistä, jotka vaikeuttavat kuorma-auton pääsyn lähelle toimituspaikkaa?
7. Jos itse tuotatte haketta, niin kuinka paljon tuotantoa on vuodessa? Kuinka hakkeen menekki jakautuu suurten laitosten ja pienkäytön kesken? Voitteko kasvattaa tuotantoa tarvittaessa, jos hakkeen pienkäyttö lisääntyisi lähivuosina?
8. Puhallinteknologian hintaindikaatio on n. 15-30 t€ riippuen puhaltimen koosta. Onko tällaiselle hintahaitarille osuva summa mielestänne kohtuullinen sijoitus liiketoiminnan kehittämisessä?
9. Jos investoinnin suuruus vaikuttaa liian korkealta: Valmistaja pohtii myös leasing-mahdollisuutta puhaltimille. Olisiko se teille sopivampi vaihtoehto?
10. Minkä kokoinen puhallusteknologiasta riippuvainen asiakaspohja hakkeen toimitukselle teillä tulisi olla, jotta puhallusteknologian hankkiminen olisi mielestänne järkevää tämänlaisen markkinaraon hyödyntämiseen? Kuinka paljon haketta tulisi määrällisesti toimittaa puhaltamalla?
11. Onko nykyisessä liiketoiminnassa muiden materiaalien, kuten kuivikkeen, lannoitteen, rehun tai kevytsoran levityksessä, viherrakentamisessa tai maisemoinnissa käyttöä puhallusteknologialle?

12. Haketerminaalitoiminta:

- i. Onko käytössänne haketuskalustoa?
- ii. Onko käytössänne hiekka- tai asfalttipohjaista varastokenttää hakkeelle?
- iii. Onko käytössänne hallia, katosta tai muuta ”lämmintä” varastomahdollisuutta hakkeelle?
- iv. Onko käytössänne pyöräkuormaajaa hakkeen lastausta varten?
- v. Onko teillä mielenkiintoa toimia haketerminaalialalla?
- vi. Kumpaa pidätte itsellenne sopivampana tuotantotapana tienvarsi- vai terminaalihaketusta?

13. Voiko vastaajan nimen tai yrityksen nimen mainita diplomityössä vai haluaako pysyä anonyyminä?

**Kysymykset lämpötoimijoille:**

1. Minkälaista tuotantoa nyt, onko pääpaino kaukolämmössä tai onko mukana myös sähköntuotantoa?
2. Mikä on nykyisten lämmöntuotantolaitostenne suuruusluokka?
3. Mitä polttoaineita käytätte lämmöntuotannossa, onko käytössä haketta, jos on, niin kuinka paljon käytätte sitä vuodessa?
4. Oletteko tietoisia siirrettävien lämpökonttien ja puhallustoimitusketjun konseptista?
5. Onko teillä kiinnostusta laajentaa liiketoimintaa haja-asutusalueiden suurkiinteistöjen tai taloryppäiden lämmöntuotantoon, ilman, että ko. kohteita tarvitsisi yhdistää nykyiseen mahdollisesti kaukana sijaitsevaan kaukolämpöverkkoon?
6. Onko teillä tiedossa tapauksia, joissa kaukolämpöverkon laajentamista on suunniteltu jollekin alueelle, mutta tarpeeksi kiinteistöjä ei olisi sitoutunut ja siten suunnitelmat olisivat peruuntuneet?
7. Onko teillä ylipäättään kiinnostusta hajautettuun lämmöntuotantoon?
8. Onko polttoaineen paikallisuus teille tärkeää?
9. Kuinka tärkeänä pidätte uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämistä lämmöntuotannossa?
10. Lämpökontit ovat nopeita käyttöönotettaviksi uusissa kohteissa ja helposti siirrettävissä, lisäksi integroidun hakevaraston myötä ne ovat vähän tilaa vieviä, pidätekö näitä ominaisuuksia tärkeinä?
11. Puhallustoimitusketjuun kuuluvia lämpökontteja ja hakepuhaltimia valmistetaan Suomessa. Onko käyttämänne tekniikan kotimaisuus teille tärkeää?
12. Voiko vastaajan nimen tai yrityksen nimen mainita diplomityössä vai haluaako pysyä anonyyminä?

## Kysymykset kiinteistönomistajille:

1. Minkälainen lämmitysjärjestelmä teillä on käytössä? Jos öljy:
  - i. Millaisessa kohteessa järjestelmä sijaitsee
  - ii. Nykyisen järjestelmän ikä?
  - iii. Oletteko halukkaita vaihtamaan uusiutuvaan polttoaineeseen perustuvaan järjestelmään? Mikä voisi olisi uusi järjestelmä?
2. Nykyisessä hallitusohjelmassa öljystä pyritään luopuminen vuoteen 2030 mennessä, onko tämä aiheuttanut pohdintaa koskien lämmitysratkaisua?
3. ELY-keskus myöntää maksimissaan 4000 € tukea pientalon öljylämmitysjärjestelmän korvaamiseen toisella lämmitysjärjestelmällä. Yritykset voivat saada 10-15% investointitukea Business Finlandilta. Aiotteko hyödyntää jotain tukea lämmitysjärjestelmän vaihdoksessa?
4. Onko kuulleet siirrettävistä hakelämpökonteista?
5. Lämpökontti vie verrattain pienen tilan ja polttoaineen toimitus puhaltamalla ei vaadi erillisiä varastoja, perustusten teko ja asentaminen on nopeaa. Ovatko nämä etuja, joilla voisi olla vaikutusta lämmitysratkaisun valinnassa?
6. Aiheuttaako oman kiinteistön lämmityksen päästöt minkälaisia ajatuksia?
7. Onko polttoaineen paikallisuudella teille merkitystä?
8. Puhallustoimitusketjuun kuuluvia lämpökontteja ja puhaltimia valmistetaan Suomessa. Onko tuotteiden kotimaisuus teille tärkeää?
9. Kuinka paljon olisi valmis investoimaan uusiutuvaan lämmitysratkaisuun?
10. Onko nykyiseen öljynkulutukseen perustuva arvio hakepolttoaineen vuosikustannukseksi kohtuullinen?
11. Kumpi olisi parempi lämpökontti vai pelkkä hakepolttimo?
12. Mitä mieltä mallista, jossa ulkopuolinen lämpöyrittäjä tuo tontille lämpökontin ja vastaa sen toiminnasta ja myy lämmön kiinteistöille?
13. Kumpi olisi itselle sopivampi vaihtoehto, vastaisitte lämpökontista itse vai jättäisitte kontin lämpöyrittäjälle, jolta ostaisitte lämmön?
14. Onko teillä kiinnostusta mikrolämpöyrittäjäksi eli omistatte lämpökontin ja myytte lämpöä naapurikiinteistöille
15. Voiko vastaajan nimen mainita diplomityössä vai haluaako pysyä anonyyminä?

## Kysymykset sidosryhmille:

### Yleisiä kysymyksiä

- Y1. Oletteko kuulleet siirrettävistä hakelämpökonteista, joissa on integroitu hakevarasto?
- Y2. Oletteko kuulleet puhallusteknologian käytöstä hakkeen ja esimerkiksi myös pellettien toimitus- ja siirtomuotona?

- Y3. Konseptilla voitaisiin saavuttaa kustannus- ja päästöhyötyjä, samalla edistettäisiin oman maakunnan biomassavarojen käyttöä. Kuinka tärkeitä nämä asiat ovat? Entä pidättekö uuden teknologian kotimaisuutta etuna?
- Y4. Voiko vastaajan nimen mainita diplomityössä vai haluatteko pysyä anonyyminä?

### **Tarkennettuja kysymyksiä sidosryhmille:**

#### SKAL Itä-Suomi ry

- T1. 40 m<sup>3</sup> suuruisen hakekuorman purkaminen puhaltamalla voi kestää lähes tunnin, haittaako pitkä tyhjennysaika liiketoimintaa?
- T2. Onko toimialueellanne sellaisia yrityksiä, jotka ovat ensisijaisesti erikoistuneet hakkeen tai muiden kiinteiden biopolttoaineiden kuljetuksiin?
- T3. Onko kiinteän biopolttoaineiden kuljetustarpeessa näkynyt kasvua tai muuta muutosta viime vuosina?
- T4. Onko järjestönne yrityksen joukossa sellaisia, joilla on tai on ollut omaa haketuotantoa, vai ovatko kaikki puhtaasti kuljetusyhtiöitä?
- T5. Hintaindikaatio pelkälle hakepuhaltimille koosta riippuen on n. 15-30 t€, onko tämän suuruinen investointi liiketoiminnan kehittämiseen kuljetusalalla mielestänne kohtuullinen?
- T6. Olisiko joillekin yritykselle leasing-mahdollisuus sopivampi vaihtoehto?
- T7. Puhaltimia voi käyttää myös esim. kuorikkeen, kevytsoran eristevillan ja lannoitteiden puhaltamiseen, sekä muutenkin maataloudessa ja viherrakentamisessa. Onko tällaisilla toiminnoilla merkitystä järjestönne yrityksille nykytilanteessa?

#### Metsäkeskus

- T1. Kuinka tärkeänä metsäalalla nähdään hakkeen käytön edistäminen paikallisessa energiantuotannossa varsinkin korvaamaan fossiilisia polttoaineita, kuten öljyä?
- T2. Onko viime vuosina teidän näkökulmastanne näkynyt muutosta hakkeen tai muun energiapuu käytössä, onko ollut kasvua, suuntautuuko hake enemmän suur- vai pientuotantoon?
- T3. Onko hakelämmityksellä mielestänne, kuinka merkittävä rooli erillisrakennusten lämmityksessä tulevaisuudessa?
- T4. Jos oletteko perillä hakeyrittäjien toimista, niin onko hakkeen suurlaitoskäytössä hakkeen tuotanto tienvarsi- vai terminaalihaketuksena yleisempää? Entä hakkeen pienkäytössä?
- T5. Onko hakkeen tuotannossa tai logistiikassa muuten näkynyt toiminnan tehostumista, keskittymistä tai laajentamista aikaisempaan verrattuna?
- T6. Onko energiapuuyrityksillä, kuinka yleisesti toiminnassa mukana muuta metsä- tai energia-alan oheistoimintaa?

ISBN 978-952-335-696-2

ISBN 978-952-335-697-9 (PDF)

ISSN-L 2243-3376

ISSN 2243-3376

Lappeenranta 2021

 LUT  
University