



05/2021

**Suomen teollisuuden  
sähköistyminen  
ja sen vaikutus  
energiatehokkuuteen  
ja hukkalämpöjen  
hyödyntämiseen**

# Esipuhe

---

Teollisuuden prosessien suora tai epäsuora sähköistyminen on ehdoton edellytys fossiilisten polttoaineiden käytön ja CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseen. Lämpöpumppujen käyttö ja hukkalämpöjen hyödyntäminen on osa sähköistymistä, mutta sähköistymisellä on toisaalta vaikutuksia hukkalämmön syntyyn. Eri toimialat ovat laatineet vähähiilitiekarttoja ja sähköistymisasiasta on tehty runsaasti selvityksiä ja myös hukkalämmön hyödyntämiseen liittyviä selvityksiä on toteutettu. Hiili-dioksidipäästöjen (CO<sub>2</sub>) vähentäminen on positiivinen väistämätön kehitys, mutta kaikkien siihen liittyvien mahdollisten toimien vaikutuksia energiatehokkuuteen ei ole laajasti selvitetty. Tässä Motivan tilaamassa kirjallisuusselvityksessä tarkastellaan Suomen teollisuuden sähköistymistä ja sen vaikutusta hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksiin ja erityisesti energiatehokkuuteen. Tietoa hankittiin sekä kirjallisuudesta ja yritysten uutisaineistoista että haastatteluilla.

Tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuva nykytilanteesta sekä ennakoida tulevaisuuden kehitysnäkymiä. Tulosten avulla pyritään edistämään kotimaisen teollisuuden energiatehokkuustyötä ja toiminnan muuttumista vähähiilisemmäksi. Selvityksessä on pyritty hahmottamaan tulevaisuuden toimien ja potentiaalien suuruusluokkia. Moni näistä laskennallisista luvuista antavat vain suuruusluokan ja niillä on tarkoitus auttaa hahmottamaan tulevaisuuden kehitystä sekä erottamaan merkittävät tekijät vähemmän olennaisista.

Työn toteuttajana on toiminut Elomatic ja siihen ovat osallistuneet Vilma Moilanen, Ville Hirvonen, Tiia-Maaria Ketola, Jussi Jääskeläinen ja Teemu Turunen. Motivasta työn tilaajana ja ohjaajina ovat toimineet Erja Saarivirta ja Tomi Kiuru. Osana tiedon hankintaa toteutettiin haastatteluja teollisuuden, teknologiatoimittajien ja tutkimuslaitosten sekä yliopistojen edustajien kanssa. Haastateltavina ovat olleet seuraavat henkilöt ja yritykset: Matti Korhonen, Metsä Board Oy; Mikko Lepistö, SSAB Europe Oy; Mari Peltomäki, Fazer Services; Ilkka Tenander, Nouryon Chemicals Finland Oy; Petri Saksala, Sandvik Mining and Construction Oy; Kari Siirtola, Agnico Eagle Finland Oy; Mikko Rintamäki, Kokkolan Energia Oy; Eemeli Tsupari, VTT; Teemu Turunen-Saaresti, LUT-yliopisto; Tero Tynjälä, LUT-yliopisto; Lari Heinonen, Valmet Oy; Mika Männistö, ABB Oy; Petri Vuori, Calefa Oy; Martti Kukkola, Oilon Oy.

Kiitämme Motivaa mielenkiitoisesta toimeksiannosta ja lisäksi kiitämme kaikkia kirjallisuusselvityksen toteuttamiseen osallistuneita henkilöitä ja yrityksiä.

26.2.2021

Teemu Turunen  
Elomatic Oy

Jussi Jääskeläinen  
Elomatic Oy

# Sisällysluettelo

---

<b>Esipuhe</b>	<b>2</b>
<b>Sisällysluettelo</b>	<b>3</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Ajureita teollisuuden sähköistymiseen</b>	<b>9</b>
2.1 EU:n päästötavoitteet	9
2.2 EU:n sektori-integraatiotavoitteet	9
2.3 Kansalliset tavoitteet ja niiden toimet	10
2.4 Ekosuunnittelu ja kuluttajakäyttäytymisen muuttuminen ohjaavat teollista toimintaa	10
2.5 Digitalisaation mahdollisuudet	11
<b>3 Suomen teollisuuden sähkönkäytön nykytila ja tiekartat tulevaisuuteen</b>	<b>14</b>
3.1 Nykytilan kuvaus	14
3.2 Tiekarttojen yhteenveto	14
<b>4 Sähköistymisen vaikutukset ja mahdollisuudet Suomen teollisuudelle</b>	<b>21</b>
4.1 Teollisuuden sähköistyminen	21
4.1.1 Lämpöpumppuratkaisut	23
4.1.2 Sähkökattilaratkaisut	24
4.1.3 Mahdollisesti sähköistettävät polttoaineita käyttävät teollisuuden tuotantoprosessit	25
4.2 Sähköistymisen vaikutukset energiatehokkuuteen ja hukkalämmön syntymiseen	26
4.3 Suomen pääteollisuusalojen hukkalämpöpotentiaalın hyödyntäminen ja sen vaikutus sähköistymiseen	28
4.4 Monistettavissa olevat sähköistämisen ja hukkalämmön hyödyntämiskäytännöt Suomen teollisuudessa	31
4.5 Teollisuudenalakohtaiset potentiaalit ja erityspiirteet liittyen sähköistymiseen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen	34
4.5.1 Metsäteollisuus	34
4.5.2 Kemianteollisuus	36
4.5.3 Metalliteollisuus	38

4.5.4	Elintarviketeollisuus	40
4.5.5	Teknolomiteollisuus	42
4.5.6	Energiayhtiöiden rooli Suomen teollisuuden sähköistymisessä	43
4.5.7	PK-yritykset osana sähköistymistä	44
<b>5</b>	<b>Vetyteknologia ja sähkön varastointi osana sähköistymisen tulevaisuutta</b>	<b>48</b>
5.1	Vedyn tuotannon ja vety-sähkön hyötysuhteet	48
5.2	Synteettiset polttoaineet ja niiden vaikutus sähköistymiseen	50
5.3	Vetyteknologian kehitys	52
5.4	Sähkön varastointiteknologiat	57
<b>6</b>	<b>Sähköistymisen haasteet ja huomioitavat epävarmuustekijät</b>	<b>60</b>
6.1	Kansallinen-, EU-tasoinen- ja globaalipolitiikka	60
6.2	Sähkön hinnan kehitys	63
6.3	Sähköverkkojen kehitys mukaan lukien huoltovarmuus ja energiaturvallisuus	64
6.4	Teknologian kehitys ja sen jalkautuminen yritystasolle	65
	<b>Lähdeluettelo</b>	<b>67</b>
	<b>Liite 1: Haastattelukysymykset</b>	<b>73</b>

# 1 Johdanto

Tässä Motivan tilaamassa kirjallisuusselvityksessä tarkasteltiin Suomen teollisuuden sähköistymistä ja sen vaikutusta hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksiin ja erityisesti energiatehokkuuteen. Tietoa hankittiin kirjallisuudesta, yritysten uutisaineistoista sekä haastatteluilla. Tavoitteena oli muodostaa kokonaiskuva nykytilanteesta sekä ennakoida tulevaisuuden kehitysnäkymiä. Tulosten avulla pyritään edistämään teollisuuden energiatehokkuutta ja toiminnan muuttamista kohti vähähiilisyyttä.

Sähköistyminen nähdään yhtenä merkittävänä tekijänä teollisen toiminnan muuttamisessa kohti vähähiilisyyttä. Tämä edellyttää, että sähköä voidaan jatkossa tuottaa päästöttömästi ja sen hinta tulee olla kilpailukykyinen. Teollisuuden sähköistymisen muodot jaoteltiin kolmeen eri tyyppiin: Suoraan sähköistymiseen, erilaisiin lämpöpumppuratkaisuihin ja epäsuoraan sähköistymiseen. Suoralla sähköistymisellä tarkoitetaan mm. fossiilisten polttoaineiden korvaamista sähkötoimisilla ratkaisuilla (sähkökattilat ja sähkölämmitys). Epäsuorassa sähköistymisessä sähköllä valmistetaan vetyä, jota voidaan edelleen jalostaa synteettiseksi polttoaineeksi. Raportissa on kootuna sähköistymisratkaisujen mahdollisuuksia nykyhetkestä 2030-luvulle. Raportin loppuosiossa on käsitelty sähköistymisen ratkaisuja pidemmälle tulevaisuuteen. Näihin tarkasteluihin sisältyvät vetyteknologiat, synteettiset polttoaineet sekä sähkön varastointi.

Suoran sähköistymisen potentiaalisimmat kohteet ovat erilaiset lämpökäsittely- ja kuivatusprosessit sekä uunit, joissa lämmön lähteenä ovat fossiiliset polttoaineet. Näitä prosesseja on useilla eri teollisuuden aloilla. Lämpökäsittelyprosesseja on käytössä laajasti metalli- ja teknologioteollisuudessa. Näiden osalta sähkölämmitys on jo ollut vaihtoehtoinen tapa toteuttaa lämmitys. Tästä huolimatta kaasui- tai öljykäyttöisiä prosesseja on runsaasti käytössä. Näiltä osin sähköistyminen on suuri mahdollisuus, mutta tähän vaikuttavat merkittävästi investoinnin hinta ja sähkön verotus. Esimerkiksi metalliteollisuudessa polttoaineiden osuus energiankäytöstä on yli 50 prosenttia.

Metsäteollisuudessa paperin ja kartongin päällystyskerroksen kuivauksessa on laajassa käytössä maakaasu- tai nestekaasukäyttöisiä kuivaimia. Erityisesti sähkölämmitteistä ilmakeivainteknologian laajamittaista käyttöä puoltaa kaasukäyttöisiä järjestelmiä pienemmät käyttö- ja huoltokustannukset. Myös sähkökattiloiden osalta nähtiin potentiaalia teollisuusintegraateissa ja energiateollisuuden parissa. Metsäteollisuudessa fossiilisten polttoaineiden osuus on 14 prosenttia, mikä vastaa noin 10 TWh/a. Tästä saa yleiskuvan mahdollisesta sähköistymispotentialista metsäteollisuudessa. Yleisesti voidaan todeta, että sähköisten lämmitysratkaisujen etuna on lämmöntuoton parempi hyötysuhde verrattuna polttotekniikkaan. Haasteena nähdään sähkönfrankapasiteettirajoitteet ja niihin vaadittavat investoinnit.

Suomen mahdollisuutena hukkalämpöjen hyödyntämisessä on kattava kaukolämpöverkosto. Tämä mahdollistaa sekä hukkalämmön hyödyntämisen että kaukolämpöverkon ja lämpöakkujen lataamisen sähköllä kysyntäjoustotilanteissa. Kaukolämpöverkosto nähdään tärkeänä linkkinä sektori-integraatiossa teollisuuden sekä energiantuottajien ja -jakelijoiden välillä.

Viime vuosina teollisuuslämpöpumppujen teknologiakehitys on nostanut niillä tuotettavan lämmön lämpötilatasoa merkittävästi yli 100 °C:een. Tämä avaa uusia sovelluskohteita

teollisuuden prosesseissa ja kasvattaa niiden hyödynnyspotentiaalia. Arvion mukaan tuottolämpötila 150 °C mahdollistaa teollisuuslämpöpumppujen hukkalämmön teknisen potentiaalin vuoden 2017 arviosta 16 TWh/a arvoon 20 TWh/a. On kuitenkin hyvä tiedostaa, että perinteiselle lämpöpumpputeknologialle löytyy edelleen potentiaalia esimerkiksi teollisuuskiinteistöissä ja elintarviketeollisuuden käyttöveden lämmityksessä. Tilastokeskuksen rakennustilaston mukaan Suomessa on noin 13 000 öljy- tai kaasulämmitteistä teollisuus- tai varastorakennusta, joiden rakennuspinta-ala on noin 17 miljoonaa neliometriä. Suuruusluokkaisesti arvioiden näiden lämmitystarve on noin 3 TWh. Tämä kuvastaa suoraan maa-/ ilmalämpöpumppujen potentiaalia.

Vetyteknologia nähdään yhtenä sähköistymisen suuntana. Pidemmällä tähtäimellä teollisuuden käyttämät fossiiliset polttoaineet on mahdollista korvata suoraan vedyllä tai synteettisillä polttoaineilla. Tämä vaatii laajaa teknologian kehittymistä ja skaalautumista vaikuttavuuden näkökulmasta sekä puhtaan sähkön kattavaa saatavuutta.

## 2 Ajureita teollisuuden sähköistymiseen



## 2 Ajureita teollisuuden sähköistymiseen

---

### 2.1 EU:n päästötavoitteet

---

EU:n ilmastopolitiikan tämänhetkisen pohjan on luonut vuonna 2007 vahvistettu ns. 20-20-20 -tavoitepaketti, jossa EU sitoutui vähentämään päästöjään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tämän lisäksi EU sitoutui nostamaan uusiutuvan energiantuotannon 20 %:n tasolle ja parantamaan 20 % energiatehokkuutta perusskenaarioon verrattuna. Päästöjen ja uusiutuvan energian osalta nämä tavoitteet on saavutettu. Sen sijaan energiatehokkuustavoitteen saavuttaminen on osoittautunut haasteeksi ja epäilyt sovittujen tavoitteiden saavuttamiseksi ovat kasvaneet. Esimerkiksi vuoden 2018 osalta EU:n primäärienergiankulutus oli 4,9 prosenttia suurempi kuin vuodelle 2020 asetetut tehokkuustavoitteet. (1; 2; 3)

Vuonna 2014 EU:ssa päätettiin ilmasto- ja energiatavoitteista vuosille 2021–2030. Tavoitteena näinä vuosina on vähentää kasvihuonepäästöjä 40 prosenttia, nostaa uusiutuva energiantuotanto vähintään 27 prosenttiin ja parantaa energiatehokkuutta perusskenaarioon verrattuna 27 prosenttia. Lisäksi vuonna 2015 EU liittyi mukaan Pariisiin ilmastopöytäkirjaan, jossa ilmaston keskilämpötilan nousu pyritään rajaamaan 1,5 °C:een vuoden 1990 tasoon verrattuna. (1)

Vuonna 2018 julkaistun IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) raportin mukaan sen hetkisillä kansallisilla tavoitteilla ei kuitenkaan pystyttäisi saavuttamaan Pariisin ilmastopöytäkirjassa 1,5 °C:een asetettua keskilämpötilan nousua, vaan nousu tulisi olemaan huomattavasti suurempaa. Tämän vuoksi EU on päivittänyt omia ilmastotavoitteitaan vuonna 2020 ja asettanut vuoden 2030 loppuun mennessä tavoitteekseen vähentää kasvihuonepäästöjä vähintään 55 prosenttia vuoden 1990 tasoon verrattuna. (1)

Lisäksi EU on asettanut ilmastoneutraaliustavoitteen vuoteen 2050 mennessä. Tavoite on osa EU:n vihreän kehityksen ohjelmaa (Green Deal), jonka tarkoituksena on ohjata koko EU:n taloutta kohti kestävä kehitystä. Osana vihreän kehityksen ohjelmaa EU:n komissiolta odotetaan uusia linjauksia päästökaupan ja kansallisten energia- ja ilmastopoliittisten velvoitteiden suhteen kesään 2021 mennessä. (1)

### 2.2 EU:n sektori-integraatiotavoitteet

---

Yhtenä keinona tavoitella asetettuja päästö- ja ilmastotavoitteita EU on julkaissut Euroopan energiajärjestelmän kehitystä linjaavan strategian, sektori-integraation. Heinäkuussa 2020 julkaistun sektori-integraation tavoitteena on edistää eri sektoreiden (sähkö, lämpö, liikenne ja teollisuus) energiajärjestelmien ja -teknologioiden yhteistoimintaa, jotta tavoiteltu ilmastoneutraalisuus vuonna 2050 voidaan saavuttaa. Strategiassa nähdään, että yhteistoiminnan avulla voidaan vähentää päästöjä kustannustehokkaasti ja mahdollistaa uusiutuvien sähköntuotantomuotojen liittäminen järjestelmään ilman toimitus- ja huoltovarmuusongelmia. Suomessa aiheen edistämiseen on nimitetty erillinen työryhmä. (4; 5)

Käytännössä sektori-integraation pyrkimyksenä on kattava päästöjen vähentämiseen tähtäävä suunnittelu, kannustava sääntely ja tarvittavien suurten investointien edistäminen.

Keskeisimpinä toimina nähdään olevan sähköistyminen sekä synteettisten polttoaineiden hyödyntäminen. Sähköistymisen näkökulmasta etenkin energiainfrastruktuuria tulee kehittää ja vahvistaa. (6)

### 2.3 Kansalliset tavoitteet ja niiden toimet

---

Kansalliset tavoitteet ja toimet pohjautuvat pitkälti EU:n asettamiin ilmasto- ja päästötavoitteisiin ja niiden pohjalta tyypillisesti hallituskausittain laadittavaan energia- ja ilmastostrategiaan. Suomessa on näiden pohjalta laadittu yhdennetty energia- ja ilmastosuunnitelma, joka on toimitettu komissiolle 2019. Suunnitelmassa käsitellään vähähiilisyttä, energiatehokkuutta, energiaturvallisuutta, energian sisämarkkinoita sekä tutkimusta, innovaatioita ja kilpailukykyä. Kansallisen energia- ja ilmastosuunnitelman tavoitteet ulottuvat vuoteen 2040. (7)

EU:n tavoitteiden perusteella Suomen maakohtainen tavoite on vähentää päästökaupan ulkopuolisia kasvihuonepäästöjä 39 % vuoden 2005 tasoon verrattuna. Suomen tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus vähintään 51 prosenttiin kokonaisloppuenergian käytöstä sekä 30 %:iin tieliikenteen loppuenergian käytöstä. Lisäksi tavoitteena on, että loppuenergian kulutus Suomessa ei nouse 290 TWh:n tason yli (vuonna 2018 304 TWh). (7)

Suomi on kuitenkin jo valmistelemassa uutta ilmasto- ja energiastrategiaa, joka tulee sisältämään EU:n vihreän kehityksen mukaiset säädösehdotukset. Lisäksi strategiassa otetaan huomioon eri alojen tekemät vähähiilisyyskartat ja sektori-integraatiotyöryhmän tulokset. Vähähiilisyystiekartoilla pyritään saamaan Suomi hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiiviseksi nopeasti tämän jälkeen. Tavoiteaikataulu uudelle ilmasto- ja energiastrategialle on vuoden 2021 kesä tai syysy. (8) Vuonna 2021 tammikuussa valmistui kiertotalousohjelma, jossa on esitetty suosituksia kiertotalouden edistämiseen Suomessa. Raportissa käydään läpi myös hiilineutraalisuutta ja energiatehokkuutta. (9)

### 2.4 Ekosuunnittelu ja kuluttajakäyttäytymisen muuttuminen ohjaavat teollista toimintaa

---

Ekosuunnittelun tavoitteena on asettaa vaatimuksia energiaa käyttäville ja energian käyttöön liittyville tuotteille. Näiden vaatimusten avulla parannetaan tuotteiden energiatehokkuutta sekä vähennetään muita ympäristövaikutuksia esim. kiertotalouden ja materiaalitehokkuuden avulla. Ecodesign-direktiivi (2009/125/EU) määrittää reunaehdot siitä, millaisille tuoteryhmille asetetaan tehdään. Lisäksi siinä on vaatimus CE-merkinnästä ja EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta. Kyseinen puitedirektiivi ei sisällä itsessään vaatimuksia millekään tuoteryhmälle. Varsinaiset tuoteryhmäkohtaiset asetukset määrittelevät tuoteryhmien vaatimukset ja niiden voimaantulon aikataulun. Vaatimukset kiristyvät usein asteittain ja tuotteiden tulee täyttää nämä vaatimukset EU:n markkina-alueella. (10)

Poliittisten toimien lisäksi myös kuluttajakäyttäytymisellä ja sen muuttumisella on vaikutusta teollisuuden alojen prosesseihin ja täten myös sähköistymiseen. Eri teollisuuden alojen on huomioitava omassa toiminnassaan tulevat muutokset ja pystyttävä muokkaamaan omia tuotteitaan ja toimintatapojaan kuluttajille sopiviksi. Sähköistymisen avulla voidaan osaksi vaikuttaa näihin muutoksiin ja vaatimuksiin.

Kuluttajien jatkuvasti lisääntyvä ympäristötietoisuus vaikuttaa jossain määrin kaikilla teollisuuden aloilla tulevaisuuden toimintaan. Kuluttajat vaativat ympäristöystävällisesti ja päästöttömästi tuotettuja tuotteita, ei pelkästään raaka-aineiden, vaan myös koko elinkaaren osalta. Kuluttajat vaativat puhtaampia energiantuotantotapoja sekä myös puhtaasti tuotettuja polttoaineita, mutta ylimääräistä hintaa näistä ei välttämättä olla valmiita maksamaan. Esimerkiksi vuonna 2020 Energiateollisuus ry:n toteuttaman tutkimuksen mukaan energian hinta nousi suomalaisten kuluttajien keskuudessa tärkeämmäksi valintakriteeriksi kuin päästövähennykset ja ilmastonmuutoksen hillintä. (11)

Teollisuuden toimintaan vaikuttaa jatkossa yhä enemmän kierrätyksen lisääntyminen ja kiertotalous. Väestönkasvu, ilmastonmuutos ja raaka-aineresurssien riittävyys pakottavat teollisuuden toimijoita miettimään materiaaleja ja tuotantomuotoja, joilla myös tulevaisuudessa toiminta voidaan turvata. Toiminnan tehostamisen ja kilpailukyvyn säilymisen kannalta hukkaenergian- ja materiaalien kierrättäminen on tarpeellista.

Kaupungistuminen näkyy etenkin energiantuotannossa ja energiansiirtojärjestelmissä. Kaupungistumisen myötä kaupungit laajenevat ja tarve hajautetulle energiantuotannolle lisääntyy. Toisaalta myös energiayhtiöiden tulee tarjota palveluita, joilla yksittäiset energiantuottajat voivat siirtää tuottamansa energian siirtojärjestelmiin. Näin ollen infrastruktuurin tulee olla riittävä tuleville muutoksille. Myös liikkumisen muuttuminen vaatii muutoksia etenkin infrastruktuurilta. Sähköiset julkisen liikenteen kulkuvälineet, raskaan liikenteen sähköistyminen sekä yksityisen puolen lisääntyvä ympäristöystävällisempi liikkuminen näyttelevät suurta roolia tulevaisuudessa. Sähköisen viestinnän kasvu, lukutottumusten muutos kohti sähköisiä vaihtoehtoja sekä sähköisen arkistoinnin ja dokumentoinnin lisääntyminen näyttäytyvät etenkin metsäteollisuudessa (12). Tuotteiden osalta joudutaan miettimään tarkkaan, miten kulutustottumukset muuttuvat, ja miten joidenkin tuotteiden menekin väheneminen voidaan korvata toisilla tuotteilla.

## 2.5 Digitalisaation mahdollisuudet

---

Digitalisaatiota voidaan pitää yhtenä ajurina teollisuuden sähköistymiseen. Digitalisaatiolla ei välttämättä ole suoraa roolia sähköistämisessä, mutta välillisesti se voidaan nähdä yhtenä tekijänä teollisuuden sähköistymisessä. Lähes reaaliaikainen seuranta, tuotannon tarkempi ohjaus ja tuotannon jousto nousevat yhä enemmän esille tulevaisuudessa. Lisäksi lisääntyvä koko tuotteen elinkaaren hiilijalanjäljen seuranta vaatii avukseen digitalisaatiota.

Digitalisaatio voidaan nähdä yhtenä osana EU:n sektori-integraation mahdollistajana. Ilman lähes reaaliaikaista seuranta ja tuotannon ohjausta eri sektoreiden integraatiosta, on hankalaa saada parasta mahdollista hyötyä irti. Kysyntäjousto, hukkalämpöjen laajempi hyödyntäminen, hajautettu energiantuotanto ja yksityisasiakkaiden liittäminen infraan vaativat digitalisaatiota toimiakseen saumattomasti.

Tämä sama voidaan nähdä myös useiden teollisten toimijoiden ympäristöissä, joihin on sijoittunut erilaisia toimijoita (esimerkkinä tässä selvityksessä on haastateltu toimijoita mm. Kokkola Industrial Parkista ja Äänekosken teollisuusalueelta). Digitalisaation avulla on mahdollista optimoida suurien teollisuuskompleksien kokonaisenergiatehokkuutta yksittäisten tuotantolaitosten toimenpiteiden sijaan, jolloin voidaan päästä nykyistä tehokkaampaan hukkaenergioiden hyödyntämiseen. Aiheesta on valmistunut vuosina 2020 ja 2021 kaksi hyvin kattavaa selvitystä,

joissa käydään digitalisaation mahdollisuuksia kokonaisuudessaan koko Suomen alueella sekä Suomen teollisuudessa. (13; 14)



### 3 Suomen teollisuuden sähkönkäytön nykytila ja tiekartat tulevaisuuteen

---

#### 3.1 Nykytilan kuvaus

---

Eri teollisuuden aloilla Suomessa ollaan sähköistymisen suhteen erilaisissa tilanteissa. Osalla aloista prosesseja on jo sähköistetty pitkälle vähähiilisyiden, energiatehokkuuden ja ohjattavuuden nimissä, kun taas toisaalla sähköistymisessä ollaan ottamassa vasta ensiaskeleita. Nykytilanteessa tärkeimpänä sähköistymisen ajurina voidaan nähdä vähähiilisyiden lisäksi myös investointien kannattavuus. Jos sähköistymisellä saadaan aikaan kustannussäästöjä lyhyillä investointien takaisinmaksuajoilla, toimenpiteisiin ryhdytään teollisuuden alasta riippumatta.

Metsäteollisuudessa sivuvirtoja ja hukkaenergiaa hyödynnetään jo melko laajasti. Tuotannosta riippuen joitakin prosessin osia on jo pitkälle sähköistetty ja mahdollisuuksia erilaisille sähköistämiskäytännöille etsitään laajasti. Yritysten vähähiilisyystavoitteisiin ollaan pääsemässä nopeallakin aikavälillä. Varsinkin isompien metsäyhtiöiden kohdalla sähköistäminenkin on nykypäivä. Osaltaan sähköistämistä ja uusien investointien läpivientiä edistää kova kansainvälinen kilpailu, jossa kilpailuetua pyritään etsimään myös päästöttömän tuotannon ja tuotteiden myötä. (12)

Kemianteollisuudessa tuotanto voidaan jakaa viiteen osioon: Energiaintensiiviseen kemianteollisuuteen, epäorgaaniseen kemianteollisuuteen, reaktiiviseen kemianteollisuuteen, formulointiin ja muokkaamiseen (15). Näiden välillä sähköistämisen nykytila vaihtelee alasta riippuen. Esimerkiksi epäorgaanisessa kemianteollisuudessa, jossa tuotantoon liittyy murskaamista ja jauhamista, prosesseja on jo sähköistetty pitkällekin. Samoin myös matalamman lämpötilan prosesseja on jo nykyisellään sähköistetty esimerkiksi lämpöpumppuratkaisujen avulla ja tiettyjä tuotantoprosessin osia on suoraan korvattu sähköratkaisuilla. Kuitenkin suurien kulutuskohteiden, kuten korkean lämpötilan kuivausprosessien sähköistäminen on nykytilassa vielä haastavaa ja kannattamatonta. Nykyisellä tekniikalla ei välttämättä päästä tuotannon vaatimiin korkeisiin (400–1000 °C) lämpötiloihin tai investoinnit kyseiselle tekniikalle ovat liian korkeita (15).

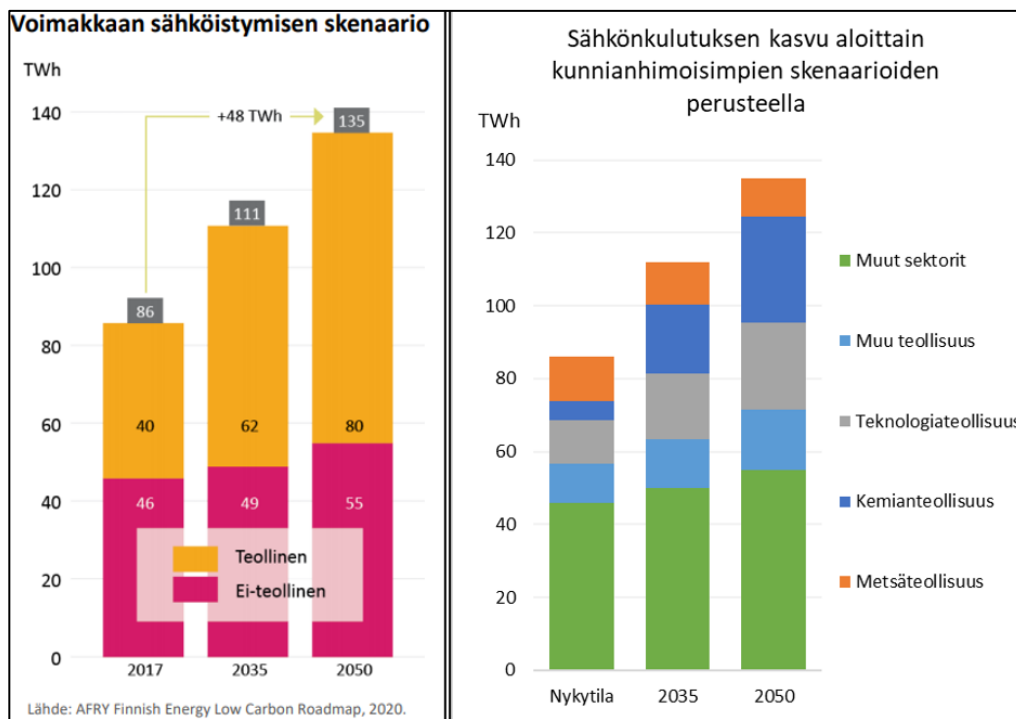
Elintarviketeollisuudessa nähdään, että vähähiilisyystavoitteiden saavuttamiseen tarvitaan myös energiantuotannon ja alkutuotannon päästöjen vähentämistä. Päästövähennystavoitteet vaativat vähähiilisempää tuotantoketjua, jossa yksittäisten prosessien sähköistäminen voi olla osa kokonaisuutta. Osaltaan elintarviketeollisuuden vähäiseen sähköistymiseen vaikuttaa myös epävarmuus uusien teknologioita kohtaan. Tuotantoprosesseihin ei haluta minkäänlaisia mahdollisia häiriötekijöitä, mikä tarkoittaa, että uusien teknologioiden on oltava erittäin varmatoimisia ja tuotantoprosesseja haittaamattomia. Lisäksi nähdään myös, että asiakkaat eivät tarpeeksi arvosta kotimaisia tuotteita suhteessa vähähiilisydestä syntyviin kustannuksiin nähden. (16)

#### 3.2 Tiekarttojen yhteenveto

---

Vuonna 2020 laadittujen toimialakohtaisten vähähiilisyystiekarttojen perusteella sähkönkulutus kasvaa jopa 48 TWh (voimakkaan sähköistymisen skenaario) vuoteen 2050 mennessä ja noin 80

prosenttia tästä kasvusta aiheutuu teollisuuden energiankulutuksen muutoksista (**Kuva 3.1**). Teknologia- ja kemianteollisuudessa kasvun on arvioitu olevan merkittävimmät hiilineutraalin sähkön tarpeen kasvattajat. Metsäteollisuudessa ulkopuolelta ostettavan sähkön osuuden arvioidaan jopa laskevan. (17)

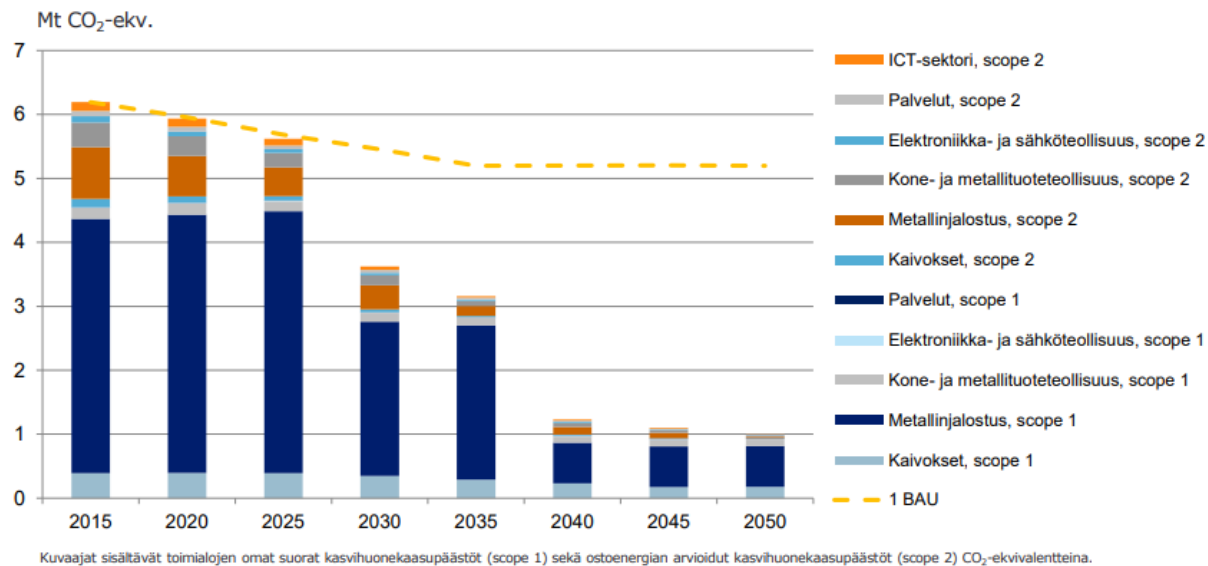


**Kuva 3.1 Energiateollisuus ry:n tiekartan mukainen arvio Suomen sähkönkulutuksen kasvusta vuoteen 2050 mennessä sähköistymisen seurauksena ja vähähiilitiekarttojen arviot eri teollisuudenalojen osuudesta kulutuksen kasvussa.**

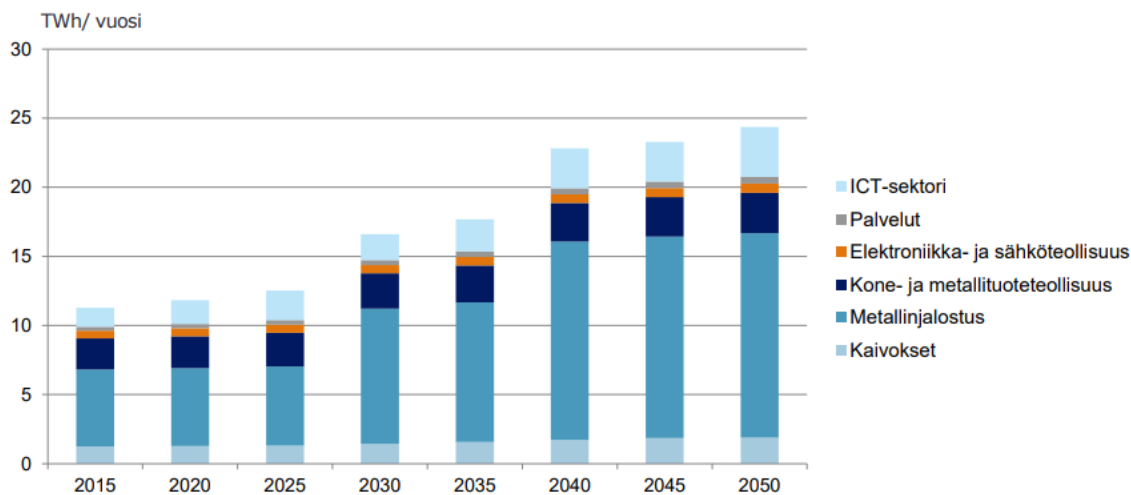
**Kemianteollisuuden** tuotantolaitoksista osa on erittäin energiaintensiivisiä ja lisäksi alalla käytetään paljon fossiilisia raaka-aineita. Kunnianhimoisessa skenaariossa ala pyrkisi hiilineutraaliksi vuoteen 2045 mennessä. Ensimmäisenä ratkaisuna on fossiilisista polttoaineista luopuminen. Keinot tähän vaihtelevat prosessista riippuen, mutta sähköllä tulee olemaan ratkaiseva merkitys. Raaka-aineista vain 9 prosenttia saisi silloin olla fossiilista alkuperää ja valta-osan tulisi olla uusiutuvia tai kierrätettyjä raaka-aineita. Lisäksi hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntäminen synteettisissä hiilivedyissä tulisi olla tasolla 7-8 MtCO<sub>2</sub>/a (megatonnia hiilidioksidia vuodessa). Myös raaka-aineiden muutos kasvattaa energian (sähkön) kulutusta. Alan sähköntarpeen ennakoidaan kasvavan vuoteen 2035 mennessä 19 terawattituntiin ja vuoteen 2045 mennessä 29 terawattituntiin, kun nykyinen kokonaisenergiankulutus on noin 7 TWh. (15)

**Teknologiateollisuus** tavoittelee 80 prosentin päästövähennemää vuoteen 2050 mennessä. Metallinjalostuksen suorat (**Kuva 2**, scope 1) ja energianhankinnasta (**Kuva 3.2**, scope 2) aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt kattavat suurelta osin alan kasvihuonekaasupäästöt (**Kuva 3.2**). Merkittävämmässä roolissa onkin metallinjalostuksen prosessien kehitys biohiileen ja vetyyn pohjautuviksi. Näissä kehityksen aikajänne on pitkä, joten päästöjä saadaan alas muita sektoreita hitaammin. Sähkönkulutuksen arvioidaan kasvavan nykyisestä, noin 30 TWh/a, tasolle 50 TWh/a

vuoteen 2035 mennessä ja liki 70 TWh/a vuoteen 2050 mennessä. Valtaosa kasvusta selittyy metalliteollisuuden muutoksilla, mutta jonkinlainen vaikutus on myös ICT-sektorilla, jossa alan oletettu kasvu ilmeisesti jättää alleen energiatehokkuuden kehityksen (Kuva 3.3). (12)



**Kuva 3.2** Teknologiateollisuuden tiekartassa esitetty arvio CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen potentiaalista ja aikataulusta.

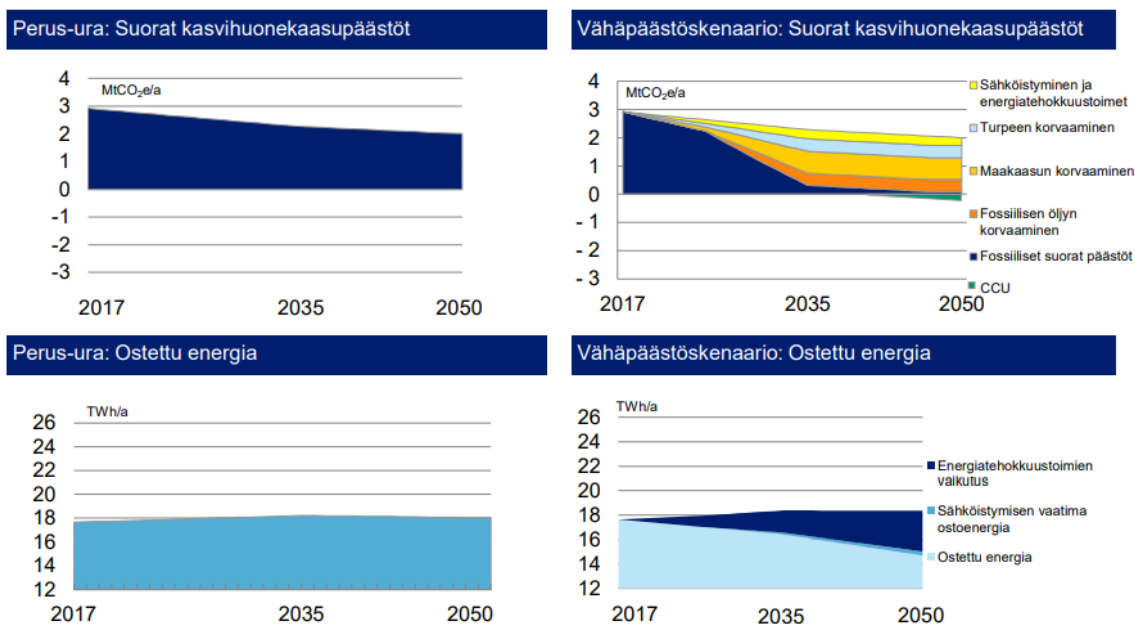


**Kuva 3.3** Teknologiateollisuuden tiekartassa esitetty arvio päästövähennysten vaikutuksista hiili-neutraalin sähkön kulutukseen.

**Metsäteollisuuden** vähähiilisyystiekartassa (Kuva 3.4) nähdään mahdolliseksi tuotantolaitosten kasvihuonekaasupäästöjen laskun tasolta 3 MtCO<sub>2</sub>/a tasolle 0,3 MtCO<sub>2</sub>/a vuoteen 2035 mennessä, vaikka alan tuotannon oletetaan kasvavan huomattavasti. Tärkeimpänä keinona



metsäteollisuudessa on fossiilisten polttoaineiden (turve, maakaasu ja fossiiliset öljyt) korvaaminen biopohjaisilla. Maakaasun kulutusta vähennetään myös sähköistymisen keinoin. Energiatohokkuustoimenpiteillä ja sähköistymisellä on päästövähennyksissä noin 20 prosentin osuus. Tarkastelukauden lopulla on huomioitu myös mahdollisuus hiilidioksidin talteenottoon. Metsäteollisuus on pitkälti energiaomavaraista ja useilla tuotantolaitoksilla tuotetaan energiaa tuotannon sivujakeista. Tästä syystä tuotantolaitosten ulkopuolelta hankittavan energian määrän odotetaan hieman laskevan sähköistymisestä huolimatta. Hankittavasta energiasta noin 70 prosenttia on sähköä. (16)



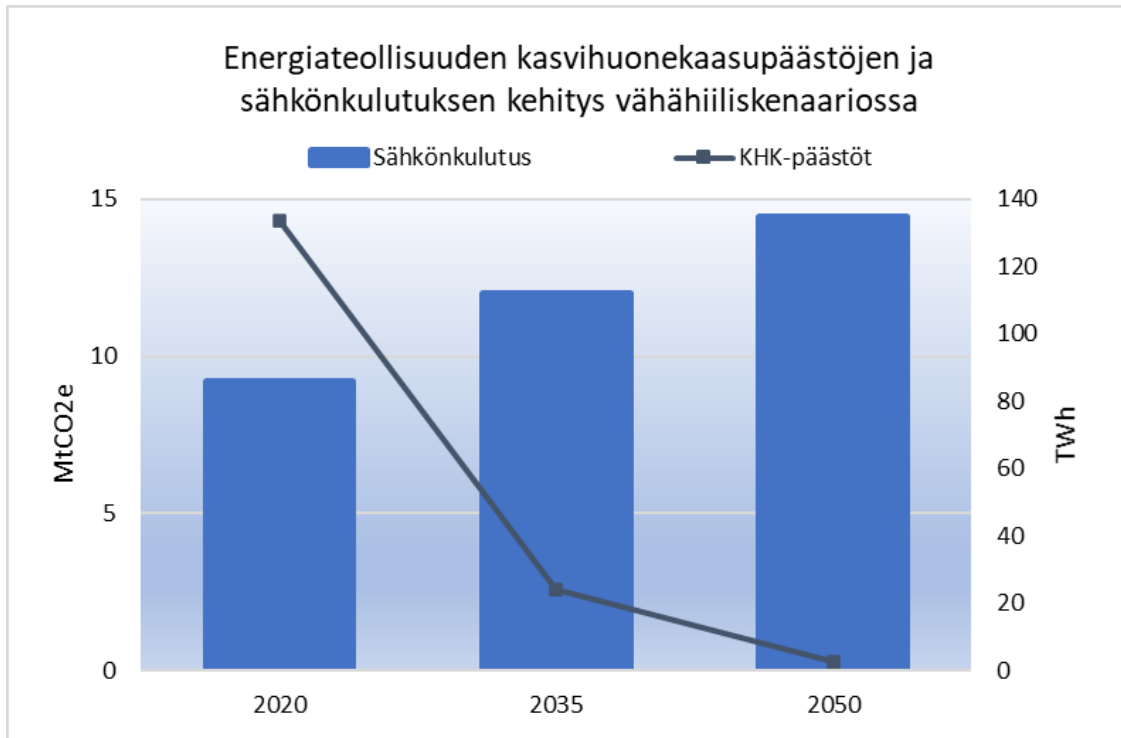
**Kuva 3.4 Metsäteollisuuden tiekartassa esitetyt päästöt ja ostosähkön määrä perus-urassa ja vähäpäästökkenaariossa. Vähäpäästökkenaariokuvaajassa värilliset kerrokset ja sähkökuvaajassa tummansininen kerros tarkoittavat päästöjä ja kulutusta, jotka jäävät syntymättä toimenpiteiden seurauksena. (16)**

**Elintarviketeollisuus** pyrkii hiilineutraalisuuteen ja tavoittelee toimialatasolla 75 prosentin kasvihuonekaasupäästöjen vähenemää liikevaihtoon suhteutettuna vuoteen 2035 mennessä. Alalla katsotaan, että tärkein toimi vähähiilisyteen pääsemiseksi on energiatuotannon muuttaminen fossiilisista uusiutuviin. Myös energiatoimilla katsotaan olevan edelleen merkitystä, mutta lukuja energiankulutuksen tulevasta muutoksesta ei esitetä. (18)

Edellä läpikäytyjen päästöiltään merkittävimpien teollisuudenalojen vähähiilisyystiekarttojen perusteella sähkönkulutuksen arvioidaan merkittävästi kasvavan, kun monet teollisuudenalat nojaavat päästövähennyksissä hiilineutraaliin sähkөөn. Energiatoimisuus on lisäksi arvioinut, että sähkön tuontia voitaisiin samanaikaisesti olennaisesti vähentää. Kasvavaan hiilineutraalin sähkönkulutukseen vastataan ydinvoimatuotannon lisäyksellä sekä moninkertaistamalla tuulivoimantuotanto. (17)

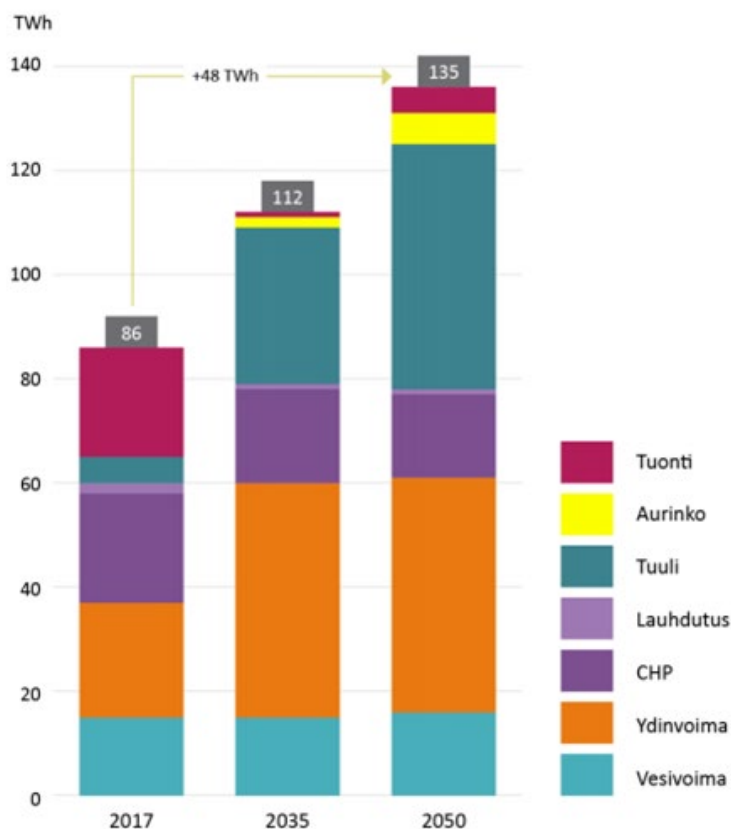
**Energiatoimisuuden** vähähiilisyystiekartassa (**Kuva 3.5**) tavoitellaan lähestulkoon alan hiilidioksidipäästöjen nollaamista. Nykyiset päästöt ovat 14 MtCO<sub>2</sub> ja vuonna 2050 päästöt voisivat

tiekartan mukaan olla vain 0,3 MtCO<sub>2</sub>. Muita päästövähennyskeinoja ovat kivihiilestä luopuminen sekä turpeen ja muiden fossiilisten polttoaineiden käytön huomattava vähentäminen (**Kuva 3.6**). Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla (**Kuva 3.6**) kuuluu pitkälti perusskenaarioon päästövähennyksistä vuoteen 2035 mennessä ja vähähiiliskenaariossa leikataan vain 0,1–0,2 MtCO<sub>2</sub> enemmän mm. maakaasun kulutuksesta. (17)



**Kuva 3.5** Energiäteollisuuden arvio sähkönkulutuksen kasvusta ja alan kasvihuonekaasupäästöjen tavoitetasot vuosina 2035 ja 2050.

## Voimakkaan sähköistymisen skenaario



Lähde: AFRY. Finnish Energy Low Carbon Roadmap 2020.

**Kuva 3.6** Energiateollisuuden tiekartassa esitetty arvio tulevaisuuden sähköntuotantomuotojen osuuksista, joilla alan päästövähennystavoitteet saavutettaisiin.

Sähköntuotannossa yhteistuotannon määrän on arvioitu hieman pienenevän, vaikka kaukolämmön kulutukselle ennakoidaan vain pientä laskua. Kaukolämmön tuotannossa on kuitenkin hukkalämpöjen ja uusiutuvan energian osuuden arvioitu kasvavan, joten yhteistuotannon tarve vähenee. Yhteistuotannossa sähköntuotantomäärät vastaavat hyvin kysyntään, joten yhteistuotanto on sähkön toimitusvarmuuden kannalta jatkossakin tärkeä tuotantomuoto. Lisäksi kaukolämpöverkon merkitys hukkalämpöjen hyödyntämiseen ja varastointiin korostuu tulevaisuudessa. (17)

Teollisuuden tiekartoissa maakaasun käyttöä pyrittiin korvaamaan uusiutuvilla polttoaineilla tai sähköllä, mutta vetyä ei valitun tulevaisuus horisontin takia mainittu erikseen vaihtoehtona. Teknologiateollisuus on omassa tiekartassaan arvioinut kaasuverkosta otettavan kaasun kysynnän laskevan ja Euroopan tasolla maakaasun korvaantuvan biokaasulla ja vedyllä vuoteen 2050 mennessä. Tiekartoista ei selviä oletetaanko vetyä tuotavan Suomeen Euroopasta vai valmistettavan Suomessa sähköllä ja onko vedyn valmistus huomioitu hiilivapaan sähkön tarpeessa. (17)

## 4 Sähköistymisen vaikutukset ja mahdollisuudet Suomen teollisuudelle

## 4 Sähköistymisen vaikutukset ja mahdollisuudet Suomen teollisuudelle

---

### 4.1 Teollisuuden sähköistyminen

---

Sähköistymisen tavat voidaan jakaa kolmeen tyyppiin:

1. Suoraan sähköistymiseen, esim. uunin kaasulämmityksen korvaaminen sähkölämmityksellä.
2. Erilaiset lämpöpumppuratkaisut (kattaa mm. MVR-teknologiat).
3. Epäsuoraan sähköistymiseen, jolla tarkoitetaan mm. sitä, että sähköllä valmistetaan vetyä ja synteettisiä polttoaineita.

Suomen teollisuuden kannalta yli teollisuuden alojen monistettavimmat teknologiat liittyvät tavalla tai toisella lämpöpumppuihin (sekä kappale, että energiamäärissä). Pitkällä tähtäimellä fossiiliset polttoaineet on mahdollista korvata vedyllä tai synteettisillä. Lisäksi teollisuudenalakohtaisesti on löydettävissä alaspesifisiä ratkaisuja, joihin syvennytään tarkemmin myöhemmin tässä raportissa.

Koko Suomen sähköistymispotentiaalista ja mahdollisesta tulevaisuuden kehityksestä saa hyvän kokonaiskuvan Fingridin meneillään olevasta skenaariotyöskentelystä, jonka eri skenaariot on kuvattu **Taulukossa 4.1**. Eri skenaariot käsittelevät sähkönkulutuksen ennustetta, johon vaikuttimina ovat:

- Teollisuuden vähähiilisyystavoitteiden toteutuminen ja fossiilisten polttoaineiden korvaaminen sähköllä.
- Suomen kilpailukyky ja houkuttavuus sähköintensiivisen teollisuuden kohdemaana.
- Suomen sähköntuotanto ja sen eri muodot (uusiutuvat + muut).
- Energiatehokkuus ja kysyntäjousto.

Eri skenaarioiden avulla on tarkasteltu tulevaisuuden vaatimuksia kanta- ja jakeluverkolle. **Taulukossa 4.1** on esitetty yhteenvedot neljästä eri skenaariosta. Näiden perusteella voidaan todeta, että maltillisen skenaarion mukaan sähkönkulutus ei juurikaan nouse, kun taas Ilmasto neutraali kasvuskenaariossa sähkönkulutus nousee yli kolminkertaiseksi. (19)

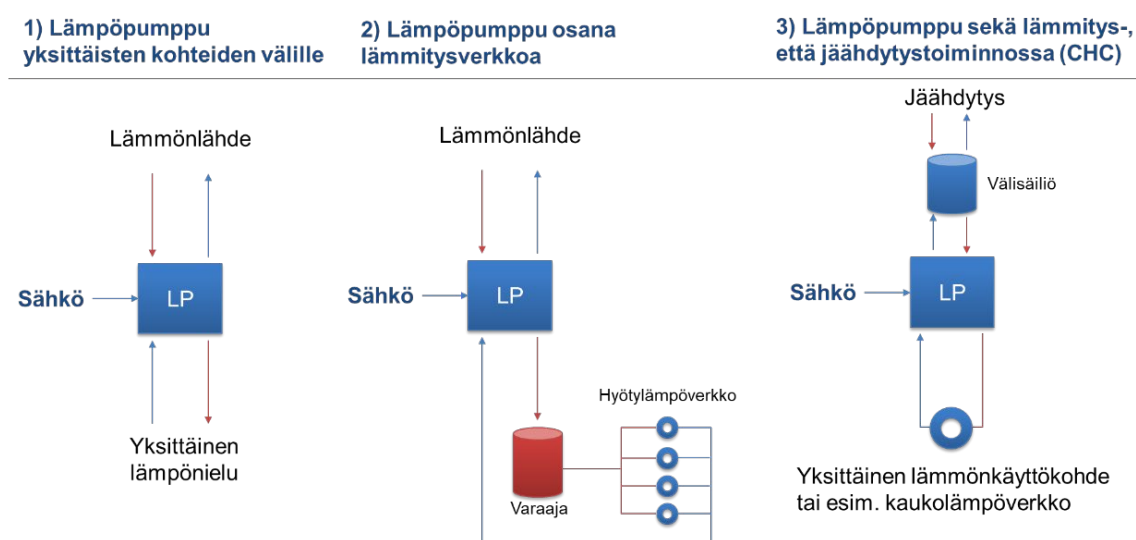
Taulukko 4.1 Sähkönkulutuksen skenaariot, Fingrid – Verkkovision skenaarioluonnokset. (19)

Skenaario	Vuosi			Skenaarion kuvaus
	2018	2035	2045	
	Sähkönkulutus, TWh			
Sähköä Vientiin	42	45	45	Sähköä vientiin -skenaariossa kulutus kasvaa vain vähän. Fossiilista erillislämmitystä korvataan pääasiassa sähköllä ja sähkönkäyttö henkilöliikenteessä kasvaa maltillisesti. Teollisuuden vähähiilitiekartoissa kaavailtu sähkönkulutuksen kasvu ei toteudu eikä muita merkittäviä sähköintensiivisten toimialojen investointeja kohdistu Suomeen. Kulutuksen jousto lisääntyy jonkin verran pääasiassa sähköautojen älykkästä latauksesta saatavan jouston myötä.
Ilmastoneutraali kasvu	42	84	143	Skenaariossa sähkön kulutus kasvaa hyvin merkittävästi teollisuuden prosessien, tieliikenteen ja lämmityksen sähköistyessä sekä ilmastoneutraalien polttoaineiden ja materiaalien tuotannon kasvaessa. Teollisuuden vähähiilitiekartoissa kuvatut prosessien sähköistämiseen liittyvät tavoitteet pääosin toteutuvat. Suomi on myös houkutteleva uusille sähköintensiivisen teollisuuden investoinneille, mikä lisää datakeskusten ja Power-to-X-teollisuuden sähkönkulutusta. Tässä skenaariossa Power-to-X-tuotannon tarvitsema sähkönkulutus ylittää EU:ssa 1000 TWh vuonna 2045, mikä tarjoaa merkittävää kasvupotentiaalia. Myös kemianteollisuuden vähähiilitiekartoissa esitetyt fossiilisten raaka-aineiden korvaamiseen liittyvät sähkönkulutusmuutokset tarjoavat merkittävää sähkönkulutuksen kasvupotentiaalia.
Merellä tuulee	42	72	96	Teollisuuden hiilineutraaliustavoitteet toteutuvat prosessien sähköistämisen tuloksena, ja erityisesti kemianteollisuuden ja terästeollisuuden fossiiliin energianlähteisiin perustuvat prosessit pystytään korvaamaan sähköllä. Suomi on kilpailukykyinen sijaintipaikka puhdasta sähköä tarvitsevalle teollisuudelle, mutta kilpailuetu ja sitä myötä teollisuuden sähkönkäytön kokonaismäärä on pienempi kuin Ilmastoneutraali kasvuskenaariossa. Panostukset energiatehokkuuteen laskevat sähkönkulutusta rakennusten lämmityksessä, palvelusektorilla ja kotitalouksissa, mutta kokonaisuutena tällä on rajallinen merkitys verrattuna teollisen sähkönkulutuksen kasvuun.
Aurinkoa ja akkuja	42	67	76	Teollisuuden vähähiilitiekartoissa kuvatut tavoitteet toteutuvat prosessien sähköistämisen tuloksena, ja erityisesti kemianteollisuuden sekä terästeollisuuden entiset fossiiliseen energiaan perustuvat prosessit pystytään korvaamaan sähköllä. Sähkön kulutus kasvaa, mutta kasvu on maltillisempaa kuin Merellä tuulee- ja Ilmastoneutraali kasvuskenaarioissa.

Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi muutamia käytännön ratkaisuja teollisuuden sähköistymiseen.

#### 4.1.1 Lämpöpumppuratkaisut

Yksinkertaisimmillaan lämpöpumppukytkentä voi olla lämmönlähteen ja lämpönielun yhdistäminen. Vaatimuksena tällaiselle kytkennälle on lämmöntuotannon ja -kulutuksen yhdenaikaisuus ja hyödynnettävän lämmön riittävyys. Tällöin lämpöpumppua ohjataan vain kulutuksen perusteella. Esimerkkinä tällaisesta kytkennästä on maalämpöpumppu. Systemi muuttuu monimutkaisemmaksi, jos lämmönlähteitä tai kulutuskohteita on paljon ja niiden teho vaihtelee. Järjestelmään voi olla tarpeen lisätä varaaja, jotta lämmönlähteen ja lämpönielun ajallinen ja tehollinen vaihtelu saadaan tasattua paremmin. Kannattavimmillaan lämpöpumppu on käytössä, jossa tarvitaan sekä lämmitystä että jäähdytystä. Näitä erilaisia kytkentätapoja on esitetty **Kuvassa 4.1**.



**Kuva 4.1** Erityyppisiä lämpöpumppukytkentöjä.

Motivan vuosina 2012–2014 toteuttamassa teollisuuden hukkalämpöihin keskittyneessä hankkeessa teollisuuslämpöpumppulaitosten ominaiskustannus arvioitiin olevan 500–700 €/kWh (20). Lämpöpumpputekniikka on kehittynyt tämän jälkeen ja myös ominaiskustannus laskenut tästä. Tällä hetkellä tuottolämpötilat ovat nousussa ja kiinnostus korkean lämpötilan lämpöpumppuja kohtaan kasvaa (**Kuva 4.2**). Suomessa toimii useita lämpöpumpputoimittajia (esim. Oilon Oy, Finness Energy Oy ja Calefa Oy), joilla on korkean lämpötilan lämpöpumppuja valikoimissaan. Kohdallaisen hyvillä hyötysuhteilla päästään jo 120–130 °C tuottolämpötiloihin, mutta laitteiden hinnat ovat vielä korkeita, joten takaisinmaksuaika on edelleen pitkä. Teollisuudessa on kuitenkin suuri määrä matalalämpötilaista hukkalämpöä tarjolla ja myös toisaalta paljon käyttökohteita, joissa matalapainehöyryn lämpötilatasot ovat riittävät. Tämän takia korkean lämpötilan lämpöpumpuille on näkyvissä kasvavat markkinat.

Tulevaisuuden kehityssuuntana on pyrkiä kohti parempia hyötysuhteita ja korkeampia lämpötiloja mm. öljyttömällä kompressoreilla ja lämpötilaresistanteilla komponenteilla. Neljännen sukupolven vähäpäästöisillä synteettisillä kylmäaineilla on päästy laboratorio-oloissa jo 150–160 °C-asteen lämpötiloihin ja tekniikan kaupallistaminen on työn alla. Kehityksen mukana myös kustannustaso luultavasti laskee ja sitä kautta järjestelmien kannattavuus paranee. (21)

Man Energy Solutions-yrityksen suuren kokoluokan lämpöpumpuilla (6-50 MW) päästään 150-160 °C:n lämpötiloihin. Hiilidioksidin korkean lämpötilan ansiosta kylmäainekierrossa pystytään hyödyntämään myös generaattoria sähköntuotantoon, mikä vähentää primäärienergian kulutusta. Iso kokoluokka vaatii kannattavuuden näkökulmasta myös isot lämmön lähteet, kulutuskohteet ja korkeat käyttöasteet. COP arvot vaihtelevat välillä 2,5–3.

Kirjallisuuslähteiden mukaan lämpöpumpputekniikkaa on testattu sovelluksissa, joissa on saavutettu yli 200 °C asteen lämpötilatasot. Kylmäaineena on käytetty hiilidioksidia.

- Sovelluskohde 1: Öljyn lämmitys 140 °C -> 280 °C, 50 MW (COP-luvut 1,92 ja 1,72)
- Sovelluskohde 2: Maitojauheen kuivatusilman lämmitys 64 °C -> 210 °C, 8,2 MW (COP-luvut 1,92 ja 1,61).

#### **Kuva 4.2 Esimerkkejä korkean lämpötilan lämpöpumppujen soveltuvuuksista ja lämpötilasoista. (21)**

Lämpöpumppuratkaisuiden merkittävimpänä riskinä on, että järjestelmä ei toimi, kuten on oletettu ja kannattavuuslaskelmissa esitetty. Varsinkin monimutkaisissa järjestelmissä suunnittelun merkitys on suuri ja sovelluskohteesta pitää olla paljon enemmän lähtötietoja ja ymmärrystä kuin normaalista lämmöntuotannosta.

Lämpöpumppuratkaisuja on myös houkuttelevaa markkinoida, sekä hankkia vain kohteen kannattavin ja helpoin sovelluskohde, kuten ison hukkalämpövirran hyödyntäminen kiinteistön lämmityksessä. Tällä näkökulmalla saadaan lyhin takaisinmaksuaika, mutta ei välttämättä hyödynnetä kaikkea kannattavaa potentiaalia. Toisaalta näin saadaan toteutukseen konkreettisia tehostamistoimenpiteitä.

Lämpöpumppujärjestelmien kannattavuuden näkökulmasta haasteena ovat myös tehtaiden sähköliittymien ja sähköverkon kapasiteetin riittävyydet. Mikäli lämpöpumppujärjestelmän kuluksen lisäksi täytyy kasvattaa sähköliittymää sekä rakentaa uusi muuntaja ja kaapeloinnit lämpöpumpulle, voi investointikustannus pahimmillaan kaksinkertaistua.

#### **4.1.2 Sähkökattilaratkaisut**

Sähkökattilat tai niihin rinnastettavat laitteistot eivät ole vielä kovin tyypillinen ratkaisu teollisuuden lämmöntuotannossa. Ainakin elintarviketeollisuudessa on jonkin verran sähkökäyttöisiä höyrykehittämiä puhdashöyryn pienimuotoiseen tarpeeseen. Laajemmin ei ole nähty kannattavana tuottaa höyryä sähköllä.

Tulevaisuudessa sähkökattilat saattavat yleistyä ensin muiden tuotantomuotojen rinnalla. Lämmön- ja höyryntuotanto sähkökattilalla voi olla hetkellisesti kannattavaa silloin, kun tuulivoiman ylituotanto laskee sähkön hintaa. Jatkossa, kun sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat matalat, sähkökattila voi olla helpoin ja kustannustehokkain ratkaisu tuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Sähkökattilan investointikustannukset ovat maltilliset ja sähkökattilan toiminta vastaa muiden kattiloiden toimintaa ilman savukaasuhäviöitä. Sähkökattilan hyötysuhde



on tyypillisesti hyvin korkea (> 99 %), kun taas KPA kattilalla vastaava luku on 90% molemmin puolin. (22)

Myös sähkökattiloiden kannattavuuden esteenä voi olla sähköliittymän koko tai tehtaan sähköverkon rajoitukset, kuten lämpöpumpuillakin. Sähkökattiloilla rajoitukset tulevat vielä lämpöpumppujakin helpommin vastaan, sillä koko lämpöteho tuotetaan sähköllä.

#### 4.1.3 **Mahdollisesti sähköistettävät polttoaineita käyttävät teollisuuden tuotantoprosessit**

Tyypillisiä teollisuuden prosesseja, joissa käytetään pääosin fossiilisia polttoaineita ovat erilaiset lämpökäsittelyprosessit ja polttokattilat. Näillä tuotetaan energiaa energiansiirtoverkostoihin tai yksittäisiin prosesseihin. Teollisten toimijoiden ja tutkimuslaitosten haastattelujen mukaan näiden osalta siirtyminen polttamisesta suoraan sähköllä toimiviin ratkaisuihin voi olla mahdollista korvaamalla polttoprosessi sähköisillä energiantuotantomuodoilla joko korvaamalla energianjakeluverkostoon tuottava yksikkö sähkökattilalla tai siirtymällä esim. sähkölämmitysratkaisuihin yksittäisissä prosessikohteissa. Näin voidaan korvata kyseisessä prosessissa esimerkiksi matalapainehöyryä, maakaasua tai polttoöljyä sähköllä.

Kun sähköistämistä tarkastellaan sähkökattilan näkökulmasta, voidaan tällöin korvata useita käyttökohteita sähköistämisen piiriin, jolloin energianjakelu käyttökohteille tapahtuu veden ja/tai höyryn muodossa. Sähkökattilaratkaisuja uskotaan ainakin aluksi tulevan polttokattiloiden rinnalle. Tämä mahdollistaa sähkön hinnan mukaan operoinnin, jolloin sähköllä tuotettua lämmönkäyttöä lämmönsiirtojärjestelmissä voidaan optimoida sähkön hinnan ja polttoprosessilla tuotetun lämmön riittävyyden sekä polttoaineen kustannusten, ja/tai saatavuuden mukaan. Tätä operointia edesauttaa sähkökattiloiden hyvä säädettävyyden ja nopea käyttöönotto.

Haastattelujen mukaan yksittäisiä polttoaineita käyttäviä tuotantoprosesseja, joihin suora sähköistäminen on mahdollista, ovat mm.:

- Prosessiveden ja -kemikaalien lämmitys.
- Kuivaus- ja lämpökäsittelyprosessit, joissa on käytössä maakaasu tai polttoöljy.
- Muut lämpöä käyttävät erotusprosessit.
- Polttoainekäyttöiset työkoneet.

Kuten sähkökattilan tapauksessa, myös yksittäisten prosessien sähköistymisen mahdollisuudet uskotaan tulevan ainakin osittain polttoprosessien rinnalle, jolloin sähkönkäyttöä voidaan optimoida hinnan, päästöjen ja energian saatavuuden mukaan. Tämä optimoinnin uskotaan vaativan kehittyneitä automaatio- ja digitalisaatioratkaisuja. Polttoainekäyttöisissä työkoneissa kehityssuunta on myös sähkökäyttöisiin laitteisiin. Tämä nousee isoksi mahdollisuudeksi etenkin kivistöteollisuudessa. Maanalaisissa laitteissa sähköistyminen tuo lisäksi etuja kevyempien ilmanvaihtovaatimusten suhteen. Toisaalta valmistavassa teollisuudessa on käytössä erilaisia työkoneita (esim. trukit), joita on mahdollista sähköistää. Osassa näistä tapauksista on vaikutusta vaa-dittaviin ilmanvaihtomääriin tuotantotiloissa.

Yksi merkittävimmäksi keinoksi em. polttoprosessien käytön vähentämiseksi, koetaan lämpöenergian talteenotto, jonka tehostamista voidaan edistää hyödyntämällä lämpöpumppuratkaisuja ja muita sähköavusteisia energiankierrätysratkaisuja (esim. MVR-teknologia).

Fossiilisten polttoprosessien päästöjen leikkaus voi olla mahdollista tulevaisuudessa myös *Power-to-x*-teknologian avulla. Tällöin vetyä tuotetaan päästöttömällä sähköllä ja jalostetaan edelleen synteettiseksi polttoaineeksi yhdistämällä vety hiilidioksidin kanssa. Näin sähköistymistä käytetään välillisesti polttoprosessin muuttamisessa hiilineutraalimpaan suuntaan.

Yleisesti sähköistämiseen liittyen on tärkeää huolehtia, ettei sähköistämällä ole negatiivisia vaikutuksia itse prosessiin. Jos pienintäkin mahdollisuutta on, että prosessi vaarantuu, jää sähköistäminen helposti tekemättä. Myös sähköistämisen investointi- ja käyttökustannukset vaikuttavat sähköistämisen edistämiseen. Sähkön verotus nähdään yleisesti tärkeässä roolissa sähköistymisen edistämässä. Prosessien älykäs ohjaus nousee myös tärkeään rooliin, kun prosessien sähköistämistä edistetään ja se nousee usein polttoprosessien rinnalle käytettäväksi ratkaisuksi.

#### 4.2 Sähköistymisen vaikutukset energiatehokkuuteen ja hukkalämmön synty-miseen

Sähköistymisen vaikutuksia energiatehokkuuteen ja hukkalämmön syntyyn on lukuisia ja eri teollisuuden aloilla vaikutukset voivat olla hyvin erilaisia ja eri suuruisia. Osa vaikutuksista on energiatehokkuuden kannalta positiivisia ja osa negatiivisia. **Kuvassa 4.3** on esitetty olennaisia tekijöitä ja arvioita niiden keskinäisestä suuruudesta.



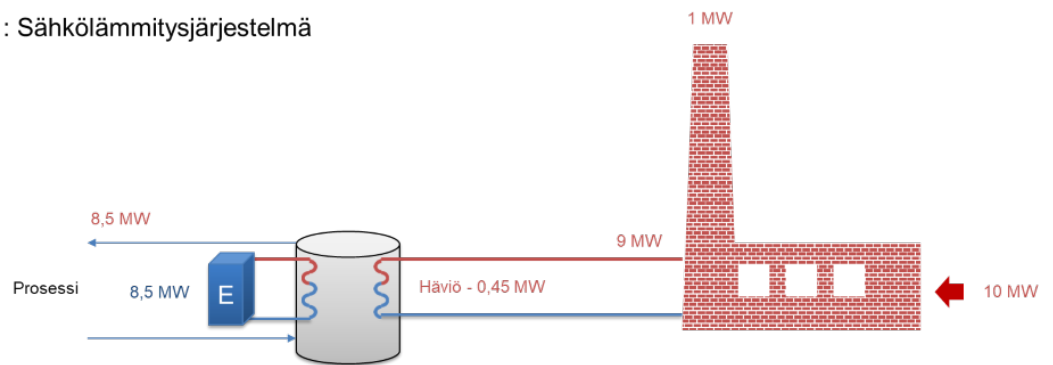
**Kuva 4.3** Sähköistymisen vaikutus energiatehokkuuteen.

Merkittävin energiatehokkuusvaikutus tulee savukaasuhäviöiden pienentymisen kautta, jos nykyiset polttavat ratkaisut korvataan sähköisillä. **Kuvassa 4.4** on havainnollistettu tätä vaikutusta kahden teknologian kautta. Tapauksessa 1 (**Kuva 4.4**, Case 1) otetaan polttavan lämmöntuotannon rinnalle sähkökattila, jolla tuotetaan pääasiallisesti prosessin vaatima energia. Tässäkin tapauksessa vanha ratkaisu jää vararatkaisuksi. Niinä aikoina, kun sähkökattila on toiminnassa, ei savukaasun mukana mene lämpö hukkaan. Samalla pienennetään olemassa olevan siirtojärjestelmän lämpöhukkaa.

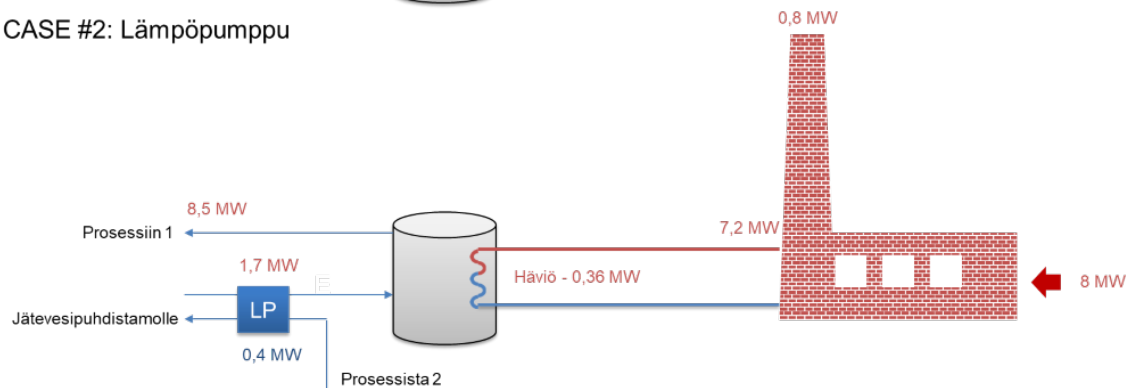
Vastaavasti tapauksessa 2 (**Kuva 4.4**, Case 2) hyödynnetään lämpöpumppua, jolla tuotetaan olemassa olevan lämpölaitoksen tukena lämpö prosessiin. Tällöin savukaasuja syntyy edelleen ja

olemassa olevaa lämmönsiirtoverkkoa hyödynnetään. Lämpöpumppu kuitenkin pienentää savukaasuhäviöitä samalla kun se hyödyntää prosessin hukkavirran energiaa.

#### CASE #1: Sähkölämmitysjärjestelmä



#### CASE #2: Lämpöpumppu



**Kuva 4.4 Esimerkki sähköistymisen vaikutuksesta energiatehokkuuteen.**

Sähköistymisellä voidaan joissain tapauksissa parantaa ydinprosessin hyötysuhdetta. Tästä yksi esimerkki on paperin/kartongin päällysteen kaasukäyttöisen IR-kuivauksen korvaaminen ilma-kuivaimilla, joissa on ilman sähkölämmitys. Tällöin itse kuivausprosessin hyötysuhde paranee samalla, kun lämpöhäviöt pienenevät. Hyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa myös tehostamalla ohjauksia ja tyypillisesti erilaiset sähkötoimiset lämmitykset ja prosessit ovat tarkemmin ja helpommin ohjattavia kuin polttoprosessit.

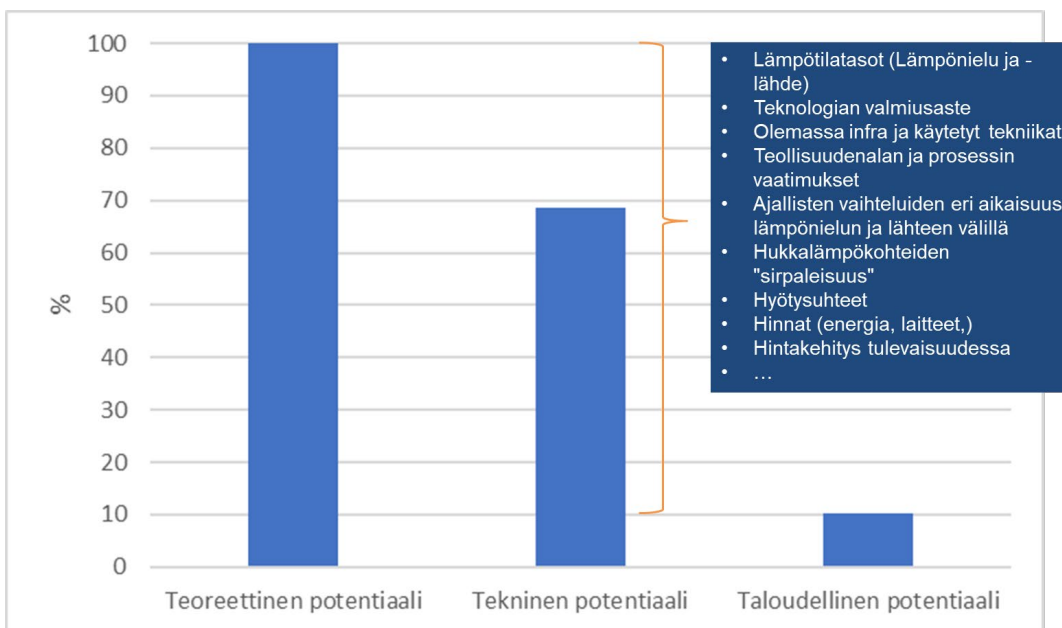
Osaltaan sähköistyminen voi heikentää energiatehokkuutta. Ensinnäkin osassa tapauksista sähköistyvät järjestelmät voivat olla päällekkäisiä jo olemassa olevien kanssa, jolloin kohteessa käytössä oleva laitekanta voi kasvaa. Lisäksi prosessi voi laajentua ja monimutkaistua, jolloin myös kokonaisuuden ohjaaminen tulee haastavammaksi kuin aiemmin ennen muutosta. Erityisesti sähköistyminen vaatii investointia useisiin järjestelmiin (esim. lämpöpumppu, lämpö/kylmävaraajat ja hyötylämpöverkko), jolloin kokonaisuuden ohjaus nousee olennaiseen rooliin. Tämä vaatii myöskin mittaamisen ja seurannan kehitystä ja mahdollisesti ylätason säätöjen toteuttamista kohteeseen. Älykäs ohjaus mahdollistaa erilaisten kulutusjoustoratkaisujen käyttämisen, mutta tämä ei kaikissa tapauksissa vaikuta energiatehokkuuteen positiivisesti. Tietyissä tilanteissa voidaan esimerkiksi joutua lataamaan lämpö/kylmäakkua, joka voi heikentää kokonaisuuden energiatehokkuutta. Energiakustannusmielessä tallainen toimintatapa voi kuitenkin olla järkevää.

Tehtäessä sähköistymisinvestointeja on yhtenä vaarana kokonaisuuden optimoinnin sijaan suoritettava osaoptimointi. Jos esimerkiksi lämpöpumppu sijoitetaan selkeimpään kohteeseen,

ei sillä välttämättä saavuteta kaikkea sitä potentiaalia, joka olisi ollut saavutettavissa kokonaisvaltaisella lähestymisellä. Konsepti- ja esisuunnittelulla on mahdollista pienentää osaoptimoinnin riskiä.

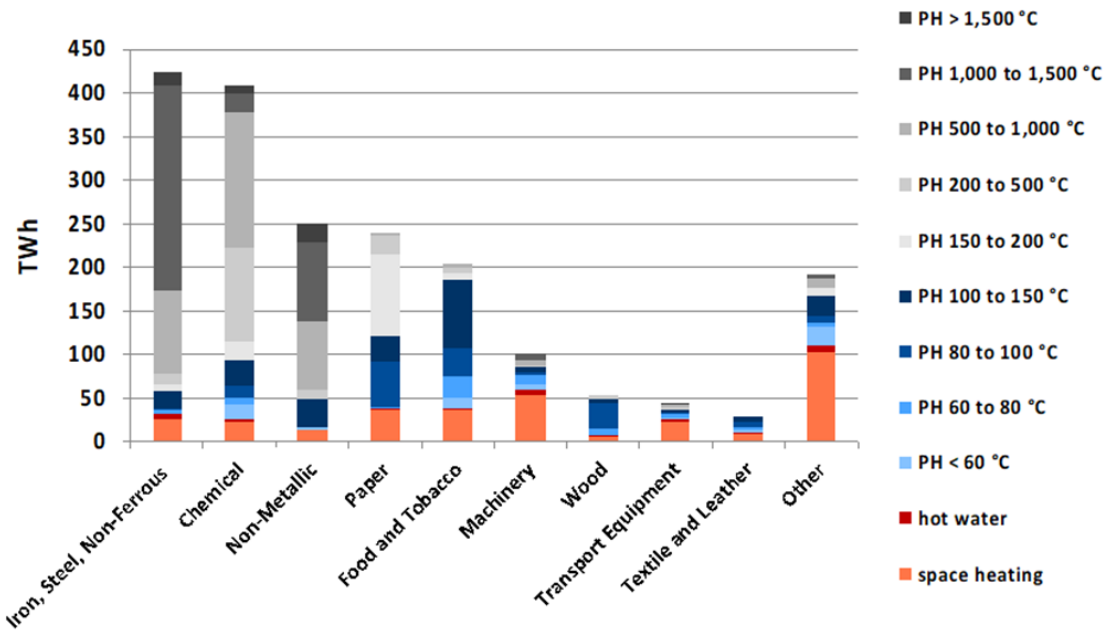
#### 4.3 Suomen pääteollisuusalojen hukkalämpöpotentiaalin hyödyntäminen ja sen vaikutus sähköistymiseen

Suomen teollisuuden hukkalämpöpotentiaali on kartoitettu merkittävimmillä aloilla ainakin vuosina 2008 ja 2017 (23). Tarkastelua on tehty myös EU-tasolla, jossa myös Suomen tilannetta on analysoitu suhteessa muihin EU-maihin (24). Tässä yhteydessä on myös käyty läpi lämpöpumppujen hyödyntämispotentiaalia. Näissä tarkasteluissa lähtökohtana on ollut esittää tekninen potentiaali, josta vain tietty osuus etenee toteutukseen. Tehostamispotentiaalin jalostuminen toteutettaviksi toimenpiteiksi vaikuttaa luonnollisesti merkittävästi tulevaisuuden skenaarioihin. **Kuvassa 4.5** on esitetty esimerkki siitä, miten lämpöpumppujen hyödyntämispotentiaali jalostuu toteutettaviksi toimenpiteiksi olettaen, että teorettisesta potentiaalista 70 prosenttia (25) jalostuu tekniseksi potentiaaliksi, josta puolestaan 15 prosenttia taloudelliseksi potentiaaliksi (26).



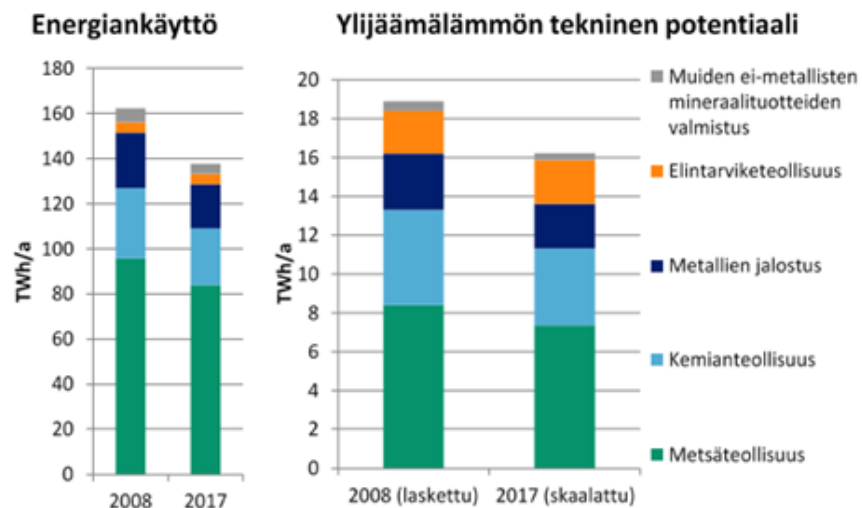
**Kuva 4.5** Esimerkki lämpöpumppujen hyödyntämispotentiaalin jalostumisesta teorettisesta taloudelliseksi.

Luonnollisesti hukkalämpöpotentiaali vaihtelee tapauskohtaisesti ja eroavaisuuksia löytyy eri teollisuuden aloilla. Potentiaali elää myös ajallisesti, josta esimerkkinä on teknologisen kehityksen mahdollistama lämpöpumpun hyötysuhteen parantuminen, mikä puolestaan johtaa kannattavuuden parantumiseen ja tätä kautta taloudellisen potentiaalin kasvamiseen. Toisaalta lämpöpumppujen lämpötilatasojen nousu voi mahdollistaa uusia lämmönlähteitä, mikä puolestaan voi mahdollistaa uusien, vielä potentiaalisempien kohteiden hyödyntämisen (**Kuva 4.6**).



Kuva 7 EU-maiden teollisuuden lämpötilatasot ja energiamäärät. (24)

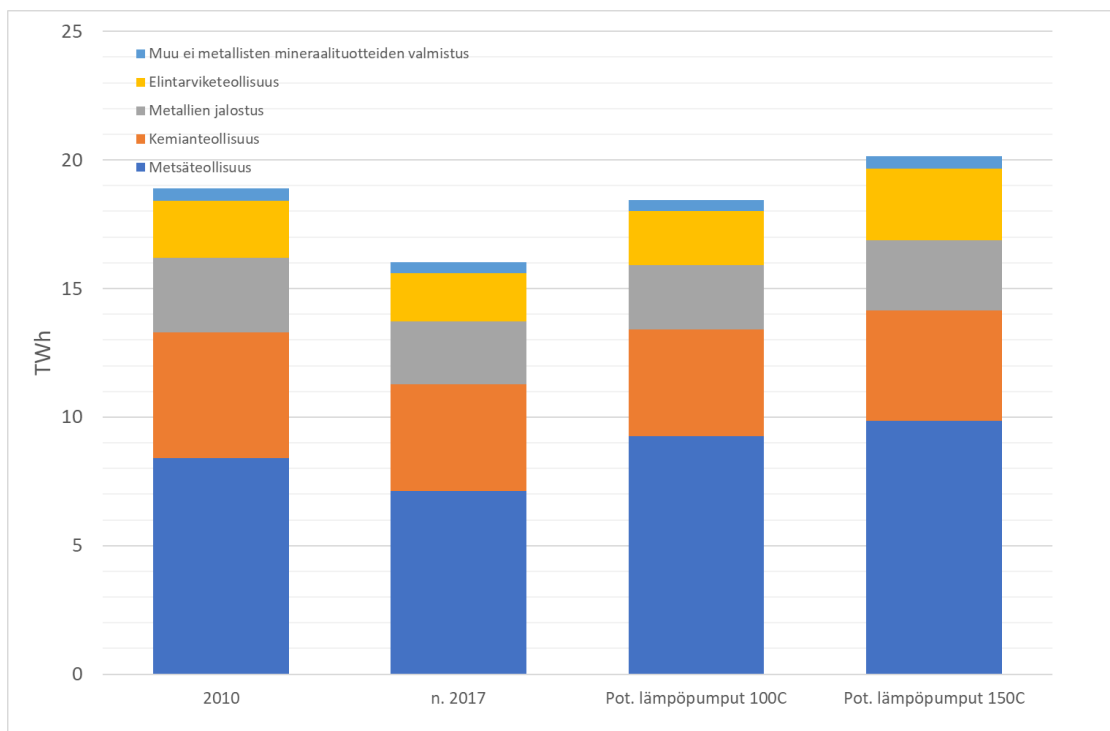
Tässä selvityksessä tarkastellaan jatkossa vain teknistä potentiaalia. Suomen teollisuuden hukka-  
lämpöpotentiaalin on arvioitu Motivan ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa -selvityksessä  
olevan noin 16 TWh/a:ssa (Kuva 4.7, Ylijäämälämmön tekninen potentiaali, skaalattu vuosi 2017).



Kuva 4.7 Teollisuuden energiankäyttö ja ylijäämälämmön tekninen potentiaali vuosina 2008 ja 2017. (23)

Lyhyellä tähtäimellä merkittävin vaikutus hukkalämmön hyödyntämispotentiaaliin tulee lämpöpumppujen teknologisen kehityksen ja sektori-integraation edistymisen kautta, jolloin hukkalämpöjä hyödynnetään yhä enemmän myös kaukolämpöverkoissa korvaamaan primäärienergian käyttöä.

Vuonna 2017 (**Kuva 4.8**) teollisuuslämpöpumppujen tuottama maksimimaalinen lämpötila oli noin 80 °C, mikä kasvaa jatkossa, sillä teollisuussovelluksilla on mahdollisuus tuottaa yli 100 °C lämpötiloja. Teknisesti on mahdollista kasvattaa tuottolämpötilaa merkittävästi tästäkin ylöspäin. Jos oletetaan, että jatkossa lämpöpumput pystyisivät tuottamaan korkeampia lämpötiloja ja että Suomen teollisuuden lämpötilatasot sekä potentiaali vastaisivat EU-alueen teollisuuden keskimääräisiä arvoja (**Kuva 4.8**), tarkoittaisi se hukkalämmön teknisen potentiaalin kasvua **Kuvan 4.8** mukaisesti.



**Kuva 4.8 Teollisuuslämpöpumppujen hukkalämmön tekninen potentiaali vuosina 2010 ja 2017 sekä sen kasvu olettaen lämpötilatasojen nousevan 100 °C:een ja 150 °C:een (perustuen Suomen teollisuuden energiankäyttöön ja ylijäämälämmön tekniseen potentiaaliin 2017 ja EU-maiden teollisuuden lämpötilatasoihin ja energiamääriin. (23; 24)**

Eli jos lämpöpumput pystyisivät tuottamaan 150 °C hukkalämpöä, olisi kasvupotentiaali vuoden 2017 arvioon 4 TWh (**Kuva 4.8**, n.2017 ja Pot. lämpöpumput 150C). Jos oletetaan, että keskimääräinen COP olisi 3, vaikutus teollisuuden sähkön tarpeeseen olisi tällä kehityksellä noin 1,33 TWh.

Toisaalta kasvupotentiaalia teollisuuden hukkalämpöpotentiaaliin on mahdollista löytää lämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkoissa. Energiateollisuus ry:n kaukolämpötilaston mukaan teollisuuden vuonna 2019 toimittama lämpö kaukolämpöyhtiöille (joka voidaan määritellä hukkalämmöksi) oli noin 1,2 TWh, joka on noin kolmannes kaikesta kaukolämpöverkossa

hyödynnetystä hukkalämmöstä. Vuonna 2019 noin 10 prosenttia kaukolämmöstä tuotettiin hukkalämmöllä (27). Pöyry on vuonna 2010 arvioinut, että kaukolämpöverkoissa oli potentiaalia hyödyntää hukkalämpöä 4–5 TWh, josta noin puolet on realisoitunut käytäntöön vuoteen 2019 mennessä. Jos oletetaan, että vuoteen 2030 hukkalämmön osuus kaikesta kaukolämmöstä kasvaisi 20 prosenttiin, tarkoittaisi tämä teollisuuden hukkalämpömäärän kasvua kaukolämmön tuotannossa noin 1 TWh, verrattuna vuoteen 2019 (**Taulukko 4.2**). (23; 24; 27)

**Taulukko 4.2 Esimerkkilaskelma hukkalämpöpotentiaaleista.**

	TWh
<b>Aikaisemmat arviot hukkalämpömäärästä ja hyödyntämispotentiaalista</b>	
Teollisuuden hukkalämmöt kaukolämpöverkossa vuonna 2018	1,2
Arvio hukkalämmön hyödyntämispotentiaalista (teollisuus ja kunnallinen) v. 2010	4,5
<b>Esimerkkilaskelma hukkalämmön hyödyntämisestä kaukolämpöverkoissa tulevaisuudessa</b>	
Kaukolämpötuotanto yhteensä vuonna 2019	38
Kaukolämmöstä 20 % tuotetaan hukkalämmöllä (perustuu nykyiseen kehitykseen)	7,6
Teollisuuden osuus hukkalämmön tuotannosta, jos teollisuus tuottaisi tästä 33 %	2,1

Näin ollen kaukolämpöverkkoihin liittyvä hukkalämpöpotentiaali on merkittävä, katsottaessa vuoteen 2030. Lämpöpumppuratkaisut ovat merkittävässä roolissa tätä kokonaisuutta.

#### 4.4 Monistettavissa olevat sähköistämisen ja hukkalämmön hyödyntämiskäytännöt Suomen teollisuudessa

Kun tarkastellaan monistettavia ratkaisuja sähköistämiseen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen eri toimialoilla, löydetään teknologioita ja ratkaisuja, jotka ovat sovellettavissa myös toimialoista riippumatta (**Kuva 4.9**). Teollisuuden ja tutkimuslaitosten haastattelujen perusteella hyödynnettävyyteen vaikuttavat osaltaan:

- Polttoprosessien ja lämmönkäyttökohteiden lämpötehot ja lämpötilatasot.
- Hukkalämpöjen määrä, lämpötilatasot ja laatu.
- Hukkalämpöjen hyödyntämismahdollisuudet.
- Sähkön hinta ja verotus.
- Sähkönsiirron ja jakelun kapasiteetti.
- Investointien tarve ja kannattavuus.

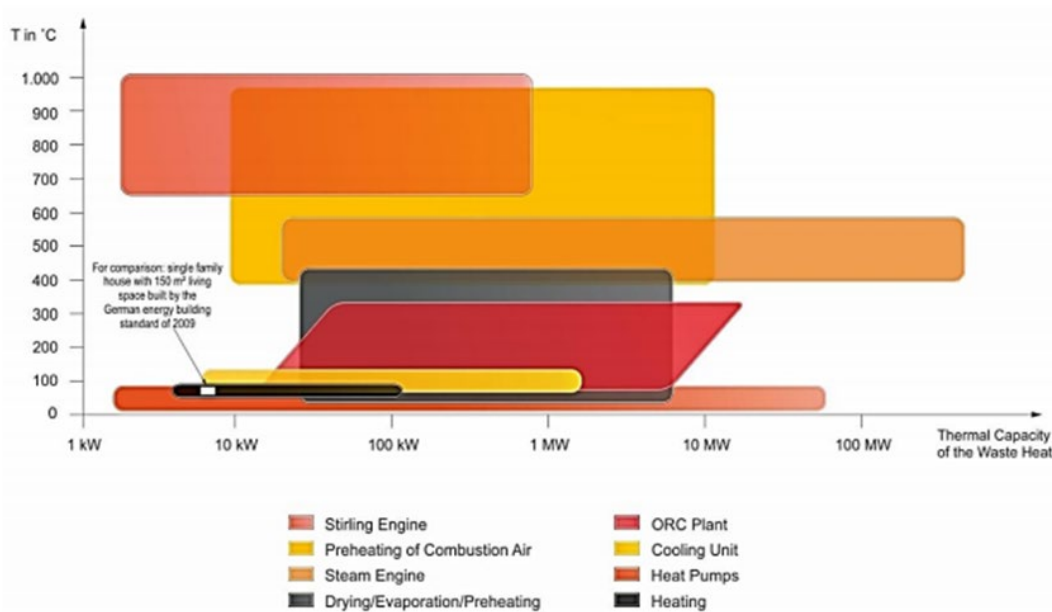
Energian kierrättämiseen hyödynnettäviä hukkalämpövirtoja syntyy lähinnä:

- Jäähdytys- ja jätevesijärjestelmissä.
- Prosessien ja kiinteistöjen poistoilmajärjestelmissä.
- Polttoprosessien savukaasujärjestelmissä.

Näiden suuruudet ovat toimialoittain vaihtelevia. Hukkalämpövirtojen hyödynnettävyyden kehittäminen vaatii myös sektori-integraatiota, jolloin hyödynniskohteita on paremmin

löydettävissä. Monistettavia teollisuuden sähköistämisen ja hukkalämmön hyödyntämisen ratkaisuja, joilla korvataan polttoprosesseja ovat pääosin edellisessä osiossa esiin tuodut ratkaisut:

- Sähkökattilat.
- Prosessien suorat sähkölämmitysratkaisut:
  - Kuivausprosessit
  - Lämpökäsittelyuunit
  - Prosessiveden ja kemikaalien lämmitys
- Lämpöpumput, ORC tekniikka ja MVR-teknologiat.
- Sähkömoottorit polttoainekäyttöisiin työkoneisiin.



**Kuva 4.9 Ylijäämälämmön hyödyntämisen menetelmät ja teknologiat. (24)**

Yleinen näkemys teollisuudelle tehdyissä haastatteluissa oli, että polttoprosesseja ei voida täysin korvata suorilla sähköisillä ratkaisulla lyhyellä tähtäimellä, mutta ne voisivat tulla osittain rinnakkaisiksi järjestelmiksi. Esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmät halutaan tyypillisesti varmistaa toisella järjestelmällä, prosessin toimivuuden varmistamiseksi. Yli vuoteen 2030 ulottuvassa tarkastelussa, synteettiset polttoaineet voisivat kuitenkin tarjota ratkaisuja myös tähän haasteeseen.

Sähkökattiloiden osalta monistettavuutta nähtiin isoissa tehdasintegraateissa, joissa on omaa energiantuotantoa (metsä- ja kemianteollisuus). Energiategiteollisuudessa uskotaan näille ratkaisuille olevan myös sijansa.

Haastatteluissa nousi esiin, että lämpöpumppujen hyödynnettävyyteen vaikuttavat lämpöteholuokat ja lämpötilavaatimukset. Lämpöpumppujen isoissa kokoluokissa (useamman megawatin lämpöteho) koettiin, että järjestelmät kasvavat kustannuksiltaan toistaiseksi vielä liian suuriksi. Eri teollisuuden aloilla hyödynnettävät lämpötilatasot kierrätettävälle lämmölle vaihtelevat myös suuresti. Metsäteollisuudessa ja osin kemianteollisuudessa lämpöä on jo kierrätetty prosessin poistoilmasta ja jätevesistä takaisin prosessiin, ja silti ylijäämälämpöä tehokkaiden, sisäisten lämpövirtakierrätysten jälkeenkin saattaa poistua ulkoilmaan, jäte- tai lauhdevesiin noin 50



°C:sena. Toisaalta elintarviketeollisuudessa tällainen lämpöjäte voitaisiin ottaa helpommin hyötykäyttöön, mihin pääosin vaikuttavat toiminnan erilaiset luonteet. Metsäteollisuudessa energiankäyttö keskittyy suurelta osin kuivausprosesseihin, joissa prosessin lämpötilatasot ja siksi myös hukkalämpövirrat ovat korkeammalla tasolla. Hukkalämpövirrat ovat korkeammalla tasolla jopa senkin jälkeen, kun näitä virtoja on jo hyödynnetty prosessin vaatimien vesimassojen ja korvausilmojen lämmittämiseksi suorilla lämmöntalteenottoratkaisuilla.

Elintarviketeollisuudessa sen sijaan lämmönkäyttöä määrittelee merkittäväällä osuudellaan prosessi- ja pesuvesien sekä kiinteistöjen lämmitys. Näissä järjestelmissä lämpötilat ovat pääosin 50–80 °C välillä. Samaan aikaan jäähdytysjärjestelmät synnyttävät lauhdelämpöä, jota voidaan hyödyntää ja lähteä korottamaan haluttuun lämpötilaan kohtalaisen vaivattomasti nykyisillä lämpöpumpputeknologioilla. Myös prosessissa syntyvissä jätevesissä on merkittävää lämmöntalteenottopotentiaalia hyödynnettäväksi elintarviketeollisuuden tarpeisiin. Sen sijaan metsäteollisuudessa lämpöpumpuilla pitäisi pystyä tuottamaan lämpöä vähintään 100–150 °C:ksi, jotta nykyisiä järjestelmiä voitaisiin lähteä kehittämään entistä energiatehokkaampaan suuntaan, jotta ne voisivat jossain vaiheessa korvata fossiilisia polttoaineita.

Energiateollisuudelle lämpöpumput nähdään merkittävänä mahdollisuutena polttoprosessien päästöjen leikkaamiseksi. Niitä voidaan hyödyntää energiantuotannon tehokkuuden parantamisessa mm. ottamalla lämpöä talteen savukaasuista ja korottaa tätä lämpöä lämpöpumpulla energian tuotannon kannalta järkevään lämpötilatasoon. Toisaalta lämpöpumput mahdollistavat sektori-integraatiota kaukolämpöjärjestelmien ja teollisuuden välillä. Teollisuuden prosesseista syntyvistä hukkalämpövirroista kyetään jo nyt ottamaan lämpöä hyötykäyttöön kaukolämpöverkostoon lämpöpumpulla avustettuna.

Myös ORC-tekniikka nousi keskusteluissa esiin yhtenä vaihtoehtona korkean lämpötilan hukkalämpövirtojen hyödyntämisessä sähköntuotantoon. Tälle nähdään potentiaalia laivateollisuuden päästöjen vähentämiseksi.

Kuivausprosessien sähköistäminen nousee esille etenkin metsäteollisuudessa. Siellä potentiaalisimmat sähköistämiskäytännöt ovat ensisijaisesti maakaasukäyttöisissä kuivausratkaisuissa. Nämä painottuvat mm. paperin ja kartongin jälkikäsitteilyn alueelle sekä päällysteiden kuivaukseen. Lisäksi puukuitumassan kuivauksessa on käytössä kaasukäyttöisiä kuivausprosesseja. Myös kemianteollisuudessa ja kaivosalalla on erilaisia kuivaus- ja erotusprosesseja, joissa on käytössä fossiilisia polttoaineita. Näille odotetaan myös sähköistämiskäytännöjen yleistymistä (28).

Lämpökäsittelyprosesseja on käytössä laajasti metalli- ja teknologiateollisuudessa. Näiden osalta sähkölämmitys on jo ollut vaihtoehtoinen tapa toteuttaa lämmitys. Tästä huolimatta kaasu- tai öljykäyttöisiä käsittelyuuneja on runsaasti käytössä. Näiltä osin sähköistyminen on suuri mahdollisuus, mutta tähän vaikuttavat merkittävästi investoinnin hinta ja sähkön verotus. Lämpökäsittelyuunien tehot ovat usein niin korkeita, että sen muuttaminen polttoprosessista sähköiseksi voi tarkoittaa merkittäviä investointeja laitosten sisäiseen sähköinfraan. Tällä koetaan kuitenkin olevan niin suuri vaikutus tuotannon CO<sub>2</sub>-päästöihin, että sähköistymistä tulee vääjäämättä tapahtumaan myös näiden prosessien osalta. Sähköistyminen nähdään myös polttoprosessille rinnakkaisena vaihtoehtona, jolloin prosessin kustannuksia voidaan optimoida sähkön hinnan mukaan.

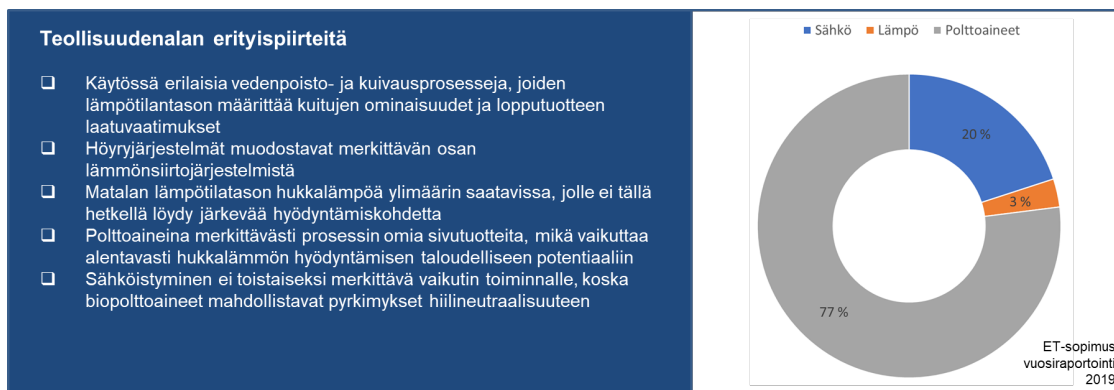
Kaivosteollisuuden merkittävimpana monistettavana sähköistämiskäytännönä koettiin polttoainekäyttöisten työkonien korvaantuminen sähköisillä työkonilla tai muilla sähköisillä ratkaisuilla. Esimerkiksi maanalaisten laitteiden sähköistyminen toisi merkittävästi etuja myös

kaivoksen ilmanvaihdon hallintaan. Erilaiset sähköhissiratkaisut nähdään mahdollisuutena korvata ns. dumppereita, mikä myös parantaisi oleellisesti energiatehokkuutta sähkömoottorin korkean hyötysuhteen vuoksi. Lisäksi lämpöpumppuratkaisut voivat auttaa kaivosteollisuutta kiertämään energiaa tuotantoprosessien sisällä.

#### 4.5 Teollisuudenalakohtaiset potentiaalit ja erityispiirteet liittyen sähköistymiseen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen

##### 4.5.1 Metsäteollisuus

Suomen metsäteollisuus käytti tilastokeskuksen mukaan vuonna 2019 noin 60 prosenttia koko Suomen teollisuuden energiasta. Suurin osa energiankäytöstä on polttoaineita (**Kuva 4.10**), mutta huomionarvoista on, että vain hyvin pieni osa niistä on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla.



**Kuva 4.10 Metsäteollisuuden erityispiirteitä ja energiankäytön kulutusjakauma.**

Hukkalämmön hyödyntämisen näkökulmasta metsäteollisuudessa on edelleen tehostamisen mahdollisuutta, mutta se vaatii sekä teknologian, että prosessien kehitystä. Esimerkiksi sellunkeitto ja kartongin kuivaus vaativat yli 150 °C lämpötiloja, mikä rajoittaa tällä hetkellä hukkalämmön hyödyntämistä. Yksi potentiaalinen monistettavissa oleva ratkaisu selluteollisuudesta on MVR-haihdutinteknologia, joka voi tarjota lämmönkäytön tehostamista ja hukkalämmön parempaa hyödyntämistä myös muissa metsäteollisuuden prosesseissa.

Viulun ja vanerin valmistuksessa lämpötilatasot ovat 150–200 °C. Vastaavasti sahateollisuudessa kuivauslämpötilat ovat matalampia (70–80 °C), joka voisi olla potentiaalinen kohde hukkalämmön hyödyntämiseen. Tässä kuivausprosessissa hyödyntäminen olisi helpommin toteutettavissa kanavakuivauksessa, kun taas kamarikuivaimissa vaaditaan muutoksia käytössä olevaan teknologiaan (erityisesti ilmajärjestelmiin). Toisaalta, jos lämpöpumpuilla saataisiin tuotettua noin 110 °C kiertovettä, olisi suurin osa kuivausprosesseista mahdollista ”sähköistää”. Rajoitteeksi voi kuitenkin tulla metsäteollisuuden polttoaineen alhainen hinta, joka haastaa investointien kannattavuuden.

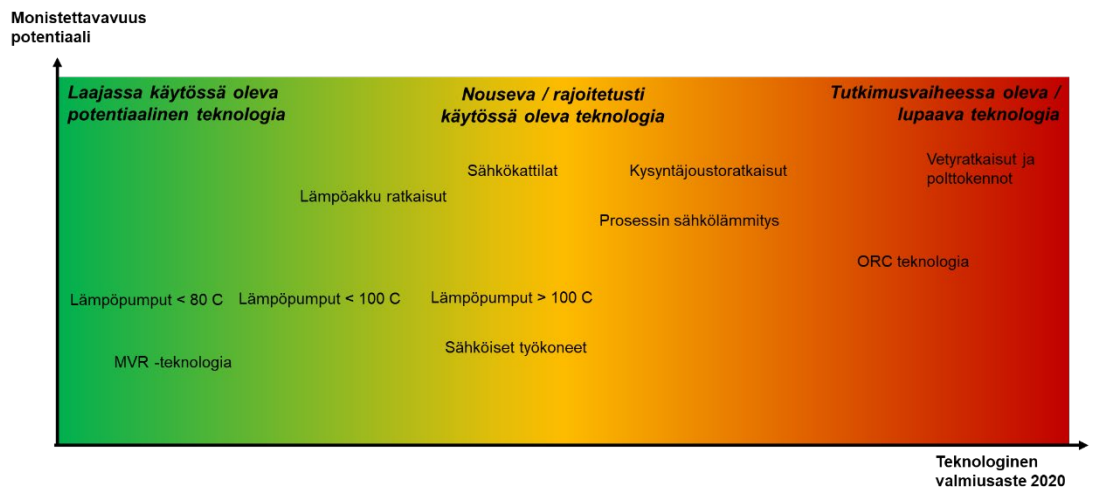
Vastaavasti metsäteollisuuden vesijärjestelmissä ja tehtaiden kiinteistöihin liittyvissä järjestelmissä on potentiaalia hyödyntää hukkalämpöä esimerkiksi lämpöpumpuilla. Lisäksi on

olemassa potentiaalia syöttää ylijäämälämpöä kunnallisiin kaukolämpöverkkoihin niissä koh-teissa, joissa tehtaot sijaitsevat lähellä asutuskeskuksia.

Suorassa sähköistymisessä päällysteen kuivauksen sähköiset infrapuna- ja ilmakeivaintek-nologiat ovat lyhyessä tähtäimessä avainasemassa. Päällystyskuivaimissa on laajassa käytössä maakaasu- tai nestekaasukäyttöisiä kuivaimia. Ilmakeivaimilla on parhaimmillaan saavutettavissa jopa 50 prosentin energiansäästö suhteessa infrakuivaimiin (29). Sähkölämmitteistä ilmakeivain-tekniologian laajamittaista käyttöä puoltaa lisäksi kaasukäyttöisiä järjestelmiä pienemmät käyttö- ja huoltokustannukset.

Luultavasti sähköistymisen maksimipotentiaali metsäteollisuudessa on fossiilisten polttoai-neiden osuus, joka on n. 14 prosenttia polttoaineiden käytöstä tarkoittaen 10 TWh. Helpoimmin korvattava on maakaasu, jota monissa käyttökohteissa voidaan korvata biokaasulla (jos saata-villa) tai sähköllä. Maakaasun osuus kokonaispolttoaineiden käytöstä on 5,9 prosenttia, mikä tar-koittaa noin 10 TWh (30).

Mahdollisten teknologioiden valmiusastetta ja monistettavuutta metsäteollisuudessa on ar-vioitu **Kuvassa 4.11** ja **Kuvassa 4.12** on case-esimerkki sähköistymisestä ja hukkalämmön hyödyn-tämisestä metsäteollisuudessa.



**Kuva 4.11 Sähköistymisen ja hukkalämmön hyödyntämisen teknologiat – Teknologinen valmius-aste ja monistettavuuspotentiaali.**

## CASE ESIMERKKI: Metsä Boardin Kaskisten tehtaalle uudentyypinen lämmönvaihdin ensimmäisenä Suomessa

Metsä Boardin Kaskisten massatehtaan voimalaitoksen savukaasujen lämmöntalteenotossa hyödynnetään jatkossa uudentyypistä energiatehokkaampaa teknologiaa. Kaskisiin asennettava uuteen teknologiaan perustuva lämmönvaihdin on Suomessa ensimmäinen lajiaan. Lämmönvaihtimen uusiminen on myös ensimmäinen hanke, jolle on myönnetty Business Finlandin uuden teknologian energiatukea. Myönnetyn tuen määrä oli 30 % lähes 600 000 euron suuruudesta investoinnista. Lämmönvaihtimen uusimisella tavoitellaan noin 10 800 megawattitunnin vuotuista energiasäästöä.

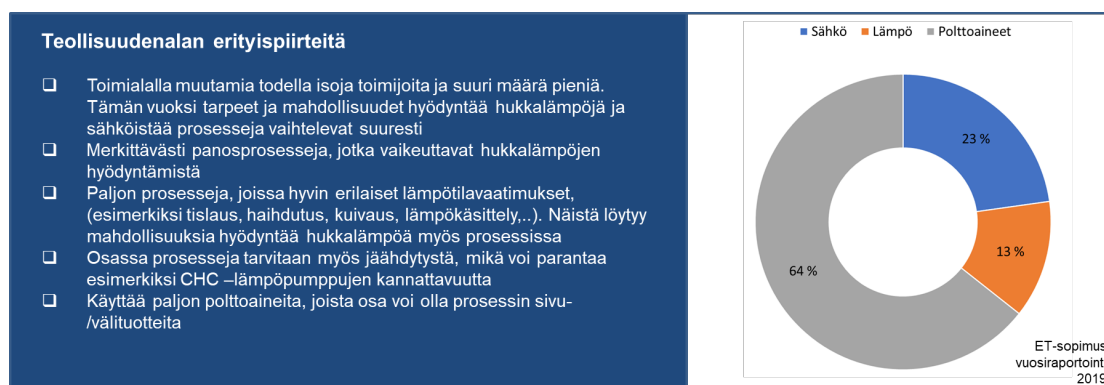
"Ripaputkiteknoologiaan perustuissa lämmönvaihtimissa esiintyy happaman kaasun kondensoitumisesta johtuvaa syöpmistä, minkä vuoksi vaihdin täytyy uusiksi tasaisin väliajoin. Uuden tyhjiöputkilämmönvaihtimen kanssa ei ole korroosio-ongelmaa, minkä vuoksi se tarjoaa erittäin pitkäaikaisen ratkaisun savukaasujen lämmöntalteenottoon. Koska kyseessä on uusi teknologia, on tämä meille eräänlainen tutkimushanke. Jos teknologia todetaan Kaskisissa toimivaksi, voidaan se jatkossa ottaa käyttöön muillakin tehtailla", sanoo Metsä Boardin energiatehokkuuspäällikkö Matti Korhonen.



Kuva 4.12 Esimerkki hukkalämmön hyödyntämisestä metsäteollisuudessa. (31)

### 4.5.2 Kemianteollisuus

Kemianteollisuus käyttää Suomen teollisuuden aloista toiseksi eniten energiaa. Huomionarvoista alan energiankäytössä on, että polttoaineenkulutus muodostaa lähes 2/3 koko energiankäytöstä (Kuva 4.13). Lisäksi tästä merkittävä osa tulee fossiilisista polttoaineista. Näin ollen sähköistymisellä on pidemmässä näkökannassa merkittävä rooli, kun toimialalla pyritään kohti hiilineutraalisuutta. Hukkalämpöjen hyödyntämisen kannalta huomionarvoinen asia on prosessin energiankäytön merkittävä rooli. Prosessien sisällä tehostamista ja hukkalämpöjen hyödyntämistä on tehty, mutta nämä voivat olla haastavia toteutusprojekteja, joissa prosessin toiminta ja turvallisuus ovat aina etusijalla. Kemianteollisuuden hukkalämpöjen hyödyntämistä on tarkasteltu myös kaukolämmön tuotannossa, josta merkittävimpana selvityshankkeena voidaan mainita Kilpilahden alueen hukkalämmön käyttäminen Pääkaupunkiseudun lämmityksessä. Alueen kokonaispotentialiaali olisi luokkaa 2 TWh. (32)



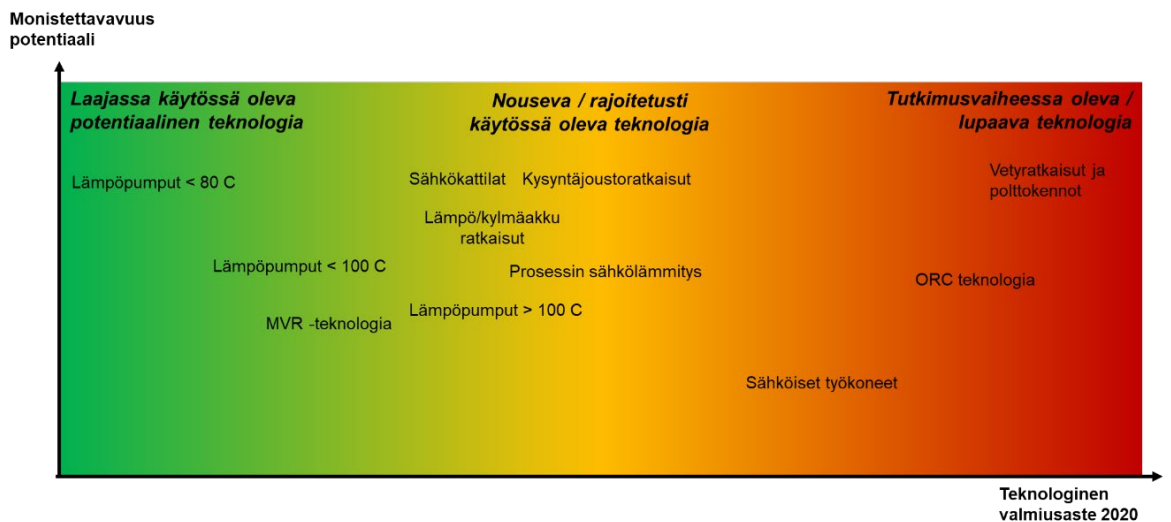
Kuva 4.13 Kemianteollisuuden alan erityispiirteitä ja energiankäytön kulutusjakauma.

Kemianteollisuudessa on käytössä erilaisia prosesseja, joiden lämpötilatasot vaihtelevat suuresti toisistaan. Esimerkiksi erilaisissa erotusprosesseissa (haihdutus, tislauk, kuivaus) vaaditut lämpötilatasot voivat olla varsin maltillisia, esimerkiksi alle 150 °C. Näiden prosessien optimoinnilla on mahdollista hyödyntää hukkalämpövirtoja tehokkaasti. Myös lämpöpumppuratkaisuille löytyy teollisuuden alalta sovelluskohteita, mutta niiden kannattavan takaisinmaksun löytäminen voi osoittautua haastavaksi. Tähän vaikuttavat teollisuuden alan toimintamallit, turvallisuuskäytännöt (Atex) ja erityisesti materiaalivaatimukset. Vastaavasti osa prosesseista vaatii korkeita lämpötiloja, joihin sähköisillä ratkaisulla ei välttämättä ole mahdollista päästä.

Panosprosessit aiheuttavat toisaalta lämpöpumppuratkaisuille ja erityisesti niiden ohjattavuudelle haasteita. Toisaalta panosprosesseissa tarvitaan usein myös jäähdytystä, joka mahdollistaa erilaisten CHC-ratkaisujen hyödyntämisen.

Osalla kemianteollisuuden toimijoista on prosessissaan luonnostaan ”lämpövarasto”-kapasiteettia, joka mahdollistaa esimerkiksi erilaisten kysyntäjoustoratkaisujen hyödyntämisen. Myös sähkökattilaratkaisulla voi olla soveltamiskohteita, kun pyritään korvaamaan fossiilisia polttoaineita.

Mahdollisten teknologioiden valmiusastetta ja monistettavuutta kemianteollisuudessa on arvioitu **Kuvassa 4.14** ja **Kuvassa 4.15** on case-esimerkki sähköistymisestä ja hukkalämmön hyödyntämisestä kemianteollisuudessa.



**Kuva 4.14 Sähköistymisen ja hukkalämmön hyödyntämisen teknologiat – Teknologinen valmiusaste ja monistettavuuspotentiaali.**

## CASE ESIMERKKI: Iso tehdas lämpenee hukkalämmöllä

Kemianteollisuuden tuotteita valmistava Kiilto asetti itselleen konkreettiset ympäristötavoitteet ja tavoittelee hiiliasapainoa kaikissa toiminnoissaan vuoteen 2028 mennessä. Se tarkoittaa käytännössä, että yritys leikkaa energian kulutusta viidenneksen vuoteen 2025 mennessä ja siirtyy käyttämään sataprosenttisesti uusiutuvaa energiaa vuosikymmenen kuluessa.

Kiillon Lempäälän tehtaalla energiansäästöä ja uusiutuvan energian käytössä otettiin iso askel, kun liimanvalmistuksessa syntyvä lämpöenergia alettiin ottaa talteen uuden lämpöpumpputjärjestelmän avulla. Hukkalämmöllä lämmitetään nyt tehdaskiinteistöt, joiden lattiapinta-ala on yhteensä yli kolme hehtaaria. Tehtaalla on otettu käyttöön myös maalämpöjärjestelmä, josta saadaan lämmön ohella tuotannossa tarvittavaa jäähdytystä. Uusi lämpöpumpputjärjestelmä pienentää tehtaan energiankulutusta 1 800 megawattituntia vuodessa.



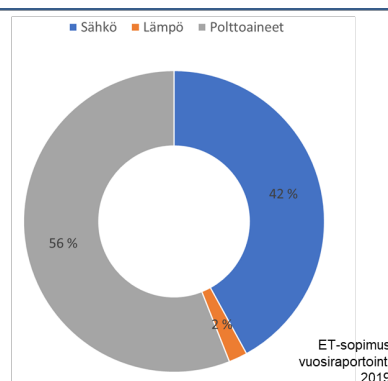
**Kuva 4.15 Esimerkki sähköistymisestä ja hukkalämmön hyödyntämisestä kemianteollisuudessa. (33)**

### 4.5.3 Metalliteollisuus

Metallien jalostusala on Suomen teollisuuden kolmanneksi suurin energiankäyttäjä tilastokeskuksen tilastojen mukaan. Alan energiankulutus jakaantuu suhteellisen tasan polttoaineiden ja sähkön välillä (**Kuva 4.16**). Huomionarvoista tässä teollisuuden alassa on, että osa prosesseista on hyvinkin energiantensiivistä. Suuruusluokan hahmottaa helposti SSAB:n, Vattenfallin ja LKAB:n HYBRIT-projektissa, jossa tavoitteena on korvata vuoteen 2045 mennessä 15 TWh hiiltä puhtaalla sähköllä ja vedyllä (34). Polttoaineiden osalta tarkastelun tekee haastavaksi laitosten sisäisten välituotteiden hyödyntäminen energiana. Metalliteollisuus käyttää merkittävän määrän fossiilista energiaa sekä kiinteässä (hiili) että kaasun muodossa. Toinen huomionarvoinen asia terästeollisuudessa on jo merkittävä sähkönkäyttö osassa prosesseja (mm. sulatus, uunit jne.) ja toisaalta valtava hukkalämpöpotentiaali, jolle ei löydy helposti käyttökohteita. Tämä näkyy erityisen hyvin Energiatehokkuussopimuksen vuosiraportoinnin tuloksissa, joissa merkittävin osan tehostustöistä on suuntautunut prosessiin (vuonna 2019, 29 %) ja energian tuotantoon (vuonna 2019, 57 %).

#### Teollisuudenalan erityispiirteitä

- Teollisuuden alalla on muutamia todella merkittäviä energiankäyttäjiä, jotka näkyvät koko Suomen energiankäyttötasolla
- Prosessien lämpötilavaatimukset ovat osin hyvin korkeita, mikä pienentää lämpöpumpputjärjestelmien hyödyntämismahdollisuuksia. Vastaavasti suora lämmöntalteenotolle löytyy potentiaalia ja se on usein hyödynnettävissä prosessin esilämmityksessä tai kiinteistön lämmityksessä
- Hukkalämpöä on paljon saatavilla, eikä kaikelle lämmölle löydy hyödynnyskohteita
- Osa hyvin energiantensiivistä prosesseista hyödyntää jo sähköä ja alan kehitystoiminta tähtää yhä kasvavaan sähköistymiseen
- Pienemmässä mittakaavassa suoraa sähköistymistä on jo tehty esimerkiksi metallien jalostuksessa, jossa osa esilämmitysuuneista on sähköisiä (korvaten fossiilisia polttoaineita)



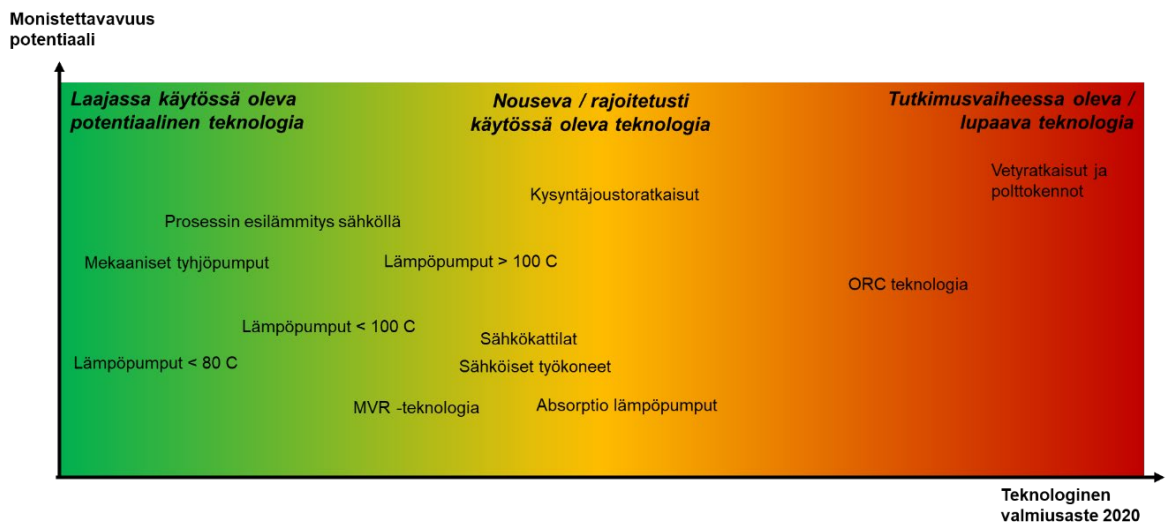
**Kuva 4.16 Metalliteollisuuden erityispiirteitä ja energiankäytön kulutusjakauma.**

Metalliteollisuudessa on käytössä useita korkean lämpötilan prosesseja (esim. masuuni, puristus, hehkutus, sulatus, valu, lämpökäsittely ja karkaisu). Näiden lämpötilat vaihtelevat 500–1000 °C

välillä. Näistä prosesseista on saatavilla hukkalämpöä korkeassa lämpötilassa. Toisaalta prosessien poistokaasumäärät voivat olla massavirraltaan suhteellisen pieniä ja kaasut ovat tyypillisesti kuivia, mikä rajoittaa niiden lämmöntalteenottopotentiaalia. Metalliteollisuudessa on kuitenkin prosesseja, jotka on mahdollista sähköistää. Esimerkkeinä ovat sähköiset esilämmitys- ja lämpökäsittelyuunit. Myöskin työkoneiden romunkäsittelykoneet on mahdollista sähköistää dieselkäyttöisistä sähkökäyttöisiksi.

Hukkalämmön käyttökohteita terästeollisuudessa ovat esimerkiksi maalausprosessit, peittäminen ja prosessien esilämmitykset. Näihin sovelluskohteisiin olisi mahdollista hyödyntää myös lämpöpumppua, mutta tyypillisesti metalliteollisuudessa on saatavilla myös lämmönlähteitä, joissa LTO (lämmöntalteenotto) ilman lämpöpumppua on mahdollista. Metalliteollisuudessa on myös käytössä erilaisia elektrolyysiprosesseja, mutta niissä ei juurikaan voida hyödyntää hukkalämpöä. Joissain tapauksissa elektrolyysin poistokaasuissa on merkittävä lämpösisältö, mutta se on varsin matalassa lämpötilassa ja haastava hyödynnettävä materiaalien keston kannalta.

Mahdollisten teknologioiden valmiusastetta ja monistettavuutta metalliteollisuudessa on arvioitu **Kuvassa 4.17** ja **Kuvassa 4.18** on case-esimerkki sähköistymisestä ja hukkalämmön hyödyntämisestä metalliteollisuudessa.



**Kuva 4.17** Sähköistymisen ja hukkalämmön hyödyntämisen teknologiat – Teknologinen valmiusaste ja monistettavuuspotentiaali.

## CASE ESIMERKKI: Sähköistymistä mekaanisella vakuumpumppujärjestelmällä

Investoiminen mekaaniseen vakuumpumppujärjestelmään on ensimmäinen tämän tyyppinen ratkaisu terästeollisuuden alalla Suomessa. Ovakon Imatran tehtaalla haluttiin parantaa tehtaan energiankulutusta, hiilidioksidipäästöjä ja jäähdytysveden kulutusta korvaamalla aiempi höyryejektörpumppujärjestelmä mekaanisella vakuumpumppuihin perustuvalla järjestelmällä. Uusi tekniikka mahdollisti myös entisestään parempilaatuisten erikoisterästen tuottamisen ja erilaisten teräslaatujen kehittämisen tulevaisuuden tarpeisiin. Kaiken lisäksi uusi tekniikka on nopeuttanut tuotantoprosessia.

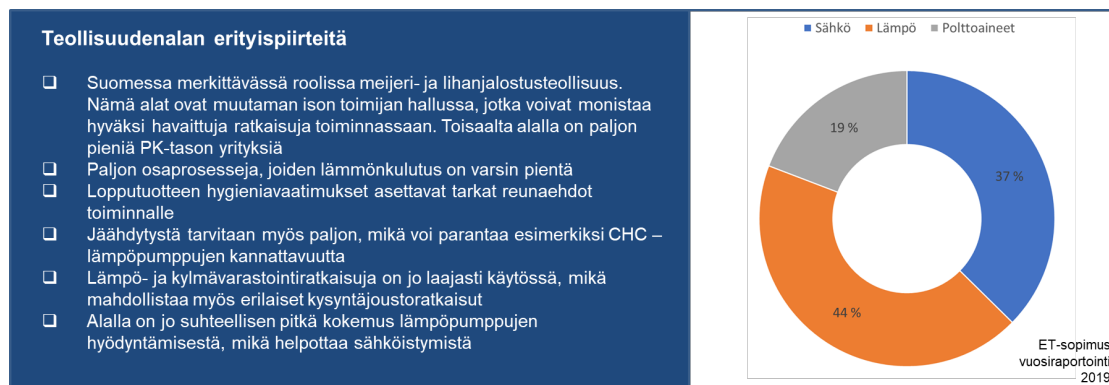
Halusimme uudistaa energiatehokkuudeltaan vanhentuneen järjestelmän, sillä vakumointi on tärkeä prosessivaihe erikoisterästuotannossa. Sillä poistetaan sulasta teräksestä siihen liuenneita kaasuja, erityisesti vetyä, joka haurastuttaa terästä. Nyt itse vakumointi tehdään 80 % aikaisempaa energiatehokkaammin. Se on erittäin suuri muutos ja pienentää terästehtaan vuosittaista energiankulutusta 5 %:lla. Investoinnin tulokset olivat jopa odotettua paremmat, kertoo Ovakon Imatran tehtaan ympäristöpäällikkö Hanna Vuolteenaho.



Kuva 4.18 Esimerkki sähköistymisen ja hukkalämmön hyödyntämisestä metalliteollisuudessa. (35)

### 4.5.4 Elintarviketeollisuus

Elintarviketeollisuus käyttää Suomen teollisuudesta neljänneksi eniten energiaa (noin 3 % Suomen teollisuuden energiankäytöstä). Se on kuitenkin sekä hukkalämmön hyödyntämisen että sähköistymisen kannalta merkittävä teollisuudenala. Huomionarvoista kulutusjakaumassa on lämmönkäytön merkittävä rooli (Kuva 4.19). Samalla on hyvä tunnistaa, että kyseisellä teollisuuden alalla on paljon prosesseja, joiden lämpötilatasot ovat merkittävästi matalampia kuin muilla Suomen pääteollisuuden aloilla.



Kuva 4.19 Elintarviketeollisuuden erityispiirteitä ja energiankäytön kulutusjakauma.

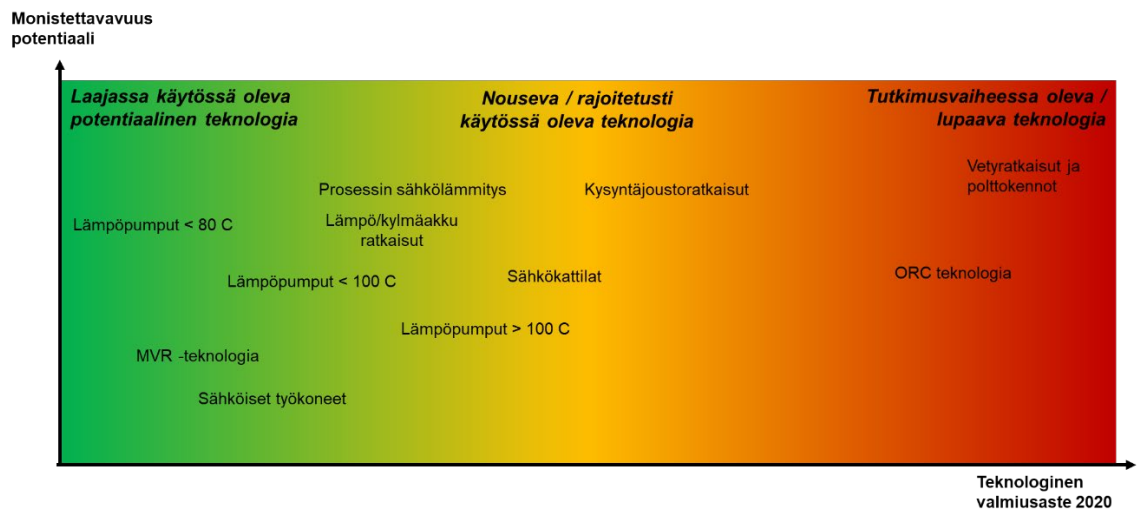
Prosessien näkökulmasta hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia löytyy mm. seuraavista prosesseista: erilaiset kypsytysprosessit (keitto, paisto jne.), pastörinti ja pesuvesien lämmitys sekä joissain tapauksissa myös kuivaus ja haihdutus. Korkeimmat lämpötilavaateet ovat tyypillisesti erilaisissa uuneissa, joissa esimerkiksi leipomouuneissa lämpötila voi olla lähes 250 °C. Myös lihan jalostuksessa ja eineisten valmistuksessa on käytössä kypsytysprosesseja, mutta niiden lämpötilavaatimukset ovat tyypillisesti 100–200 °C välillä. Huomionarvoista myös on, että höyryä



käytetään edellisissä prosesseissa myös kostutus käytössä, jolloin höyry tulee luultavasti olemaan myös jatkossa yksi energiajake näissä teollisuuden prosesseissa.

Hukkalämmön hyödyntämisen kannalta on hyvä huomioida sekä pesuvesien merkittävä käyttömäärä että kylmän/jäähdytyksen tarve prosesseissa ja tilojen jäähdytyksessä. Lisäksi kiinteistötekniikka ja olosuhdehallinta näyttelevät merkittäviä rooleja elintarviketeollisuudessa. Nämä parantavat erilaisten lämpöpumpusovellusten kannattavuutta ja jatkossa hukkalämpöä on toimitettavissa myös kunnallisiin kaukolämpöverkkoihin, jos omat lämpönielut eivät riitä. Sähköistymisen näkökulmasta myös suora sähköistyminen on mahdollista elintarviketeollisuudessa, sillä esimerkiksi erilaiset prosessin esilämmitysratkaisut voivat toimia sähköllä ja esimerkiksi nykyiset maakaasu-uunit voivat korvautua sähköuuneilla. Teollisuuden alalla olevat lämmön ja kylmän varaajat mahdollistavat kysyntäjoustoratkaisujen hyödyntämisen, jossa olisi mahdollisuus hyödyntää yhtenä ratkaisuna myös sähkökattilaa.

Mahdollisten teknologioiden valmiusastetta ja monistettavuutta elintarviketeollisuudessa on arvioitu **Kuvassa 4.20** ja **Kuvassa 4.21** on case-esimerkki sähköistymisestä ja hukkalämmön hyödyntämisestä elintarviketeollisuudessa.



**Kuva 4.20** Sähköistymisen ja hukkalämmön hyödyntämisen teknologiat - Teknologinen valmiusaste ja monistettavuuspotentiaali.

## CASE ESIMERKKI: Lämmön talteenotossa hyödyntämätöntä potentiaalia

Valio tekee Lapinlahden tehtaallaan syväselvityksen, joka tähtää hukkalämmön talteenottoa parantavaan investointiin. Tuloksia voidaan hyödyntää muillakin tuotantolaitoksilla.

"Hyödyntämätöntä potentiaalia on kuitenkin vielä paljon etenkin hukkalämmön talteenotossa", Valion energiapäällikkö Peter Fabritius sanoo.

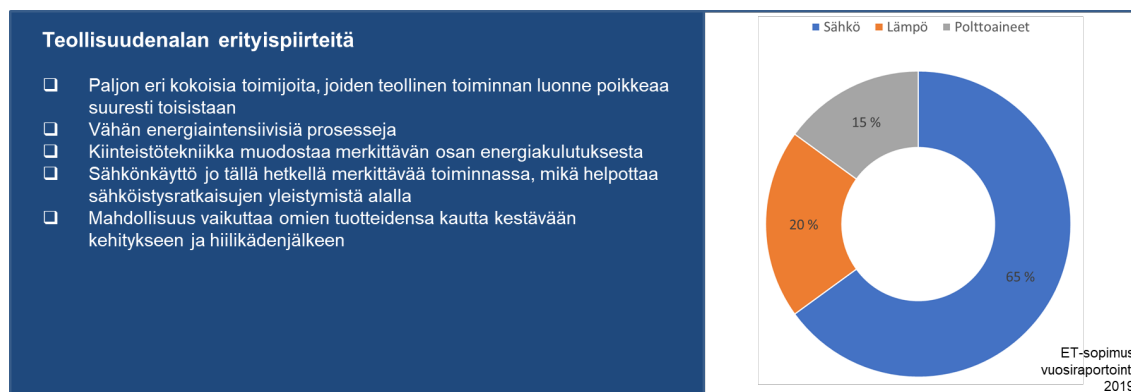
Kattilalaitoksiin asennettavat savukaasulauhduttimet hyödyntävät energiaa, jota syntyy esimerkiksi biopoltoaineiden polton tuottaman kostean savukaasun lauhdutuksesta. Energiatehokkuuden paranemisen ohella hiilidioksidipäästötkin vähenevät, kun kattilalaitoksessa poltettavan polttoaineen määrää voidaan vähentää. Fabritiuksen mukaan Lapinlahdella selvitetään myös lämpöpumppuratkaisua, jonka avulla lauhduttimesta saatava noin 60-asteinen lämpö voitaisiin nostaa noin 80 asteeseen. Tämä lisäisi talteen otetun lämmön käyttökohteita.



**Kuva 4.21 Esimerkki sähköistymisen ja hukkalämpöjen hyödyntämisestä elintarviketeollisuudessa. (36)**

### 4.5.5 Teknologiateollisuus

Suomen teollisuuden energiankäytön kannalta teknologiateollisuus ei näyttele merkittävää roolia (metalliteollisuus käsiteltiin erikseen muusta teknologiateollisuudesta). Näissä yrityksissä on kuitenkin merkittävä määrä PK-yrityksiä (pieniä ja keskisuuria yrityksiä), joissa on monistettavuutta hukkalämmön hyödyntämisessä. Toisaalta sähkönkäyttö on jo merkittävää tällä hetkellä (**Kuva 4.22**), mikä pienentää sähköistämispotentiaalia. Hukkalämmön hyödyntämisessä kiinteistötekniikka näyttelee merkittävää osaa lämpönieluna ja mahdollisia lämmön lähteitä ovat esimerkiksi maalaus- ja lämpökäsittelyyunit, kuivausprosessit ja hallien poistoilmat tai savukaasut. Lämpökäsittelyprosessien lämpötilat ovat korkeita (> 150 °C), eikä niitä suoraan voi lämmittää lämpöpumppuratkaisulla. Toisaalta moni prosesseista on sähköistettävissä suoraan, esim. lämmittämällä kuivausilmaa sähköllä. Matalamman lämpötilan hukkalämpöä on tarjolla edelleen teollisuuskiinteistöjen poistoilmoissa tai savukaasuissa.

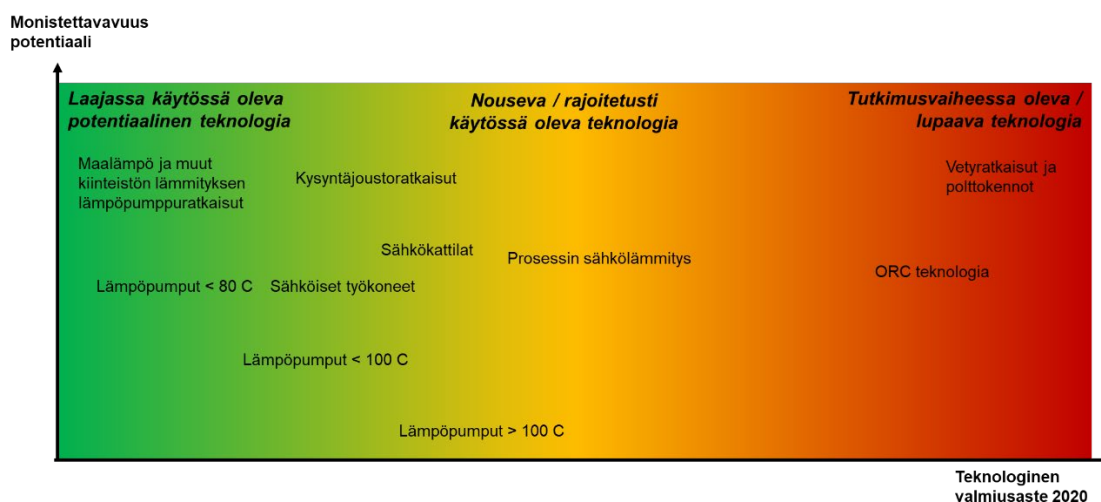


**Kuva 4.22 Teknologiateollisuuden alan erityispiirteitä ja energiankäytön kulutusjakauma.**

Teknologiateollisuuden erityispiirre on niiden suuri hiilikädenjälki. Nykyisten vientituotteiden kädenjäljen arvioidaan olevan vähintään 20 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a. Se vastaa nelinkertaisesti

teknologiateollisuuden omia hiilidioksidipäästöjä Suomessa. Kädenjälki on arvioitu myös kehitteillä oleville teknologioille. Uudet ratkaisut voivat kasvattaa kädenjälkeä lisää yli 50 Mt CO<sub>2</sub>-ekv./a. (37)

Mahdollisten teknologioiden valmiusastetta ja monistettavuutta teknologiateollisuudessa on arvioitu **Kuvassa 4.23** ja **Kuvassa 4.24** on case-esimerkki sähköistymisestä ja hukkalämmön hyödyntämisestä teknologiateollisuudessa.



**Kuva 4.23** Sähköistymisen ja hukkalämmön hyödyntämisen teknologiat - Teknologinen valmiusaste ja monistettavuuspotentiaali.

**CASE ESIMERKKI: Kolme uutta veturiekosysteemiä käyntiin**

Business Finland on myöntänyt yhteensä 60 miljoonaa euroa kolmelle uudelle veturiyrityksen vetämälle ekosysteemihankkeelle. Business Finlandin rahoituksen vastineeksi veturiyritykset ovat sitoutuneet lisäämään tutkimus-, kehitys- ja innovaatio (TKI) -toimintaansa Suomessa yhteensä sadoilla miljoonilla eurolla ja luomaan satoja uusia TKI-työpaikkoja vuoteen 2024 mennessä. Uusia veturihankkeita käynnistävät ABB, KONE ja Sandvik.

- ABB – Alustoja hiilineutraalin yhteiskunnan optimaaliseen sähköntuotantoon ja -käyttöön
- KONE – Kestävän kehityksen mukaisia liikkumista tukevia ratkaisuja kaupunkiympäristöihin
- Sandvik – Raskaiden työkoneiden globaalisti kilpailukykyisiä sähköisiä ja digitaalisia ratkaisuja

**Kuva 4.24** Esimerkki teknologiateollisuuden hiilikädenjälkihankkeista, joissa sähköistyminen merkittävässä roolissa. (38)

#### 4.5.6 Energiayhtiöiden rooli Suomen teollisuuden sähköistymisessä

Energiayhtiöt ovat tällä hetkellä merkittävän muutoksen kynnyksellä, sillä päästöoikeuksien hinnan kehitys sekä koko yhteiskunnan pyrkimys kohti hiilineutraalisuutta ajavat yhtiöitä kehittämään toiminataansa. Energiaturpeen käyttö vähenee jo tällä hetkellä vauhdilla ja sen oletetaan

supistuvan jopa 70 prosenttia nykyisestä vuoteen 2030 mennessä. Kaukolämmön tuotannossa on tapahtumassa nopeaa kehitystä, jossa energiayhtiöt ovat muodostamassa tiekarttojaan kohti tulevaisuutta ja lähivuosina uutta päästötöntä tuotantotekniikkaa otetaan käyttöön monissa kohteissa. Huomionarvoista on, että kaikki uudet tuotantotavat eivät perustu enää polttamiseen. (39)

Energia-yhtiöt ovat myös merkittävässä roolissa energia-alan sektori-integraatiossa, jossa eri energiasektorit yhdistetään toisiaan tukevaksi kokonaisuudeksi niin, että eri toimijat ja järjestelmät voivat tasapainottaa toistensa kulutus- ja tuotantopiikkejä. Sektori-integraatiossa muodostuu uudenlaisia yhteenliittymiä sektoreiden, energiantantajien, infrastruktuurien ja teknologioiden välillä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että osa kaukolämpöverkoston lämmöntuotannosta voidaan tuottaa käyttökohteessa syntyvällä ylijäämällä lämmöllä, jonka hyödyntäminen edellyttää lämpöpumpputekniikkaa. Kaukolämpöjärjestelmät voivat myös toimia sähkön ja lämmön varastoina ja näin osallistua kulutus- ja tuotantopiikkien tasapainottamiseen. (40)

Seuraavassa muutamia esimerkkejä isojen energiayhtiöiden suunnitelmista:

*”Jyväskylä nollaa hiilipäästöt*

Jyväskylässä energiayhtiö Alva lopettaa turpeen käytön vuoteen 2030 mennessä. Tämän jälkeen Alvan koko energiantuotanto on päästötöntä. Keinoiksi on valittu voimalaitosten tekniset parannukset, **jätevesipuhdistamon hukkalämpöjen käyttö, lämpöpumput ja kaukolämmitysjärjestelmän kulutusjous-**tot.

Jyväskylässä perehdytään myös uuden energiateknologian mahdollisuuksiin. Alva on mukana mm. hankkeessa, jossa tutkitaan geotermisen lämmön käyttöä alueella. Lisäksi **lämpövarastot ja biokaasun** käyttö voisivat olla Jyväskylään sopivia ratkaisuita. Mustankorkean voimalaitoksessa tuotetaan jo nyt kaukolämpöä biokaasulla.

Alvan tavoitteena on vähentää polttamiseen perustuvien energiantuotantomuotojen käyttöä.”

*”Seinäjoella useita eri vaihtoehtoja*

Seinäjoen Energiaa korvaa kaksi vanhaa turvetta käyttävää laitosta. Uusi biopolttoainetta käyttävä 50 megawatin tehoinen lämpölaitos valmistuu 2020-luvun alkuvuosina. Laitos korvaa vuonna 1982 valmistuneen turvetta ja puuta käyttävän lämpölaitoksen.

Yhtiön tänä vuonna valmistuva puupellettejä käyttävä laitos on Suomen suurin puupellettivoimalaitos. 120 megawatin tehoinen laitos korvaa vanhan öljyä käyttäneen laitoksen.

Seinäjoella investointitahti on kova. Viimeistään ensi vuonna on tarkoitus päättää siitä, millä tavalla vuonna 1990 valmistunut Seinäjoen voimalaitos korvataan. Laitos on mittava investointi. Se tuottaa noin 80 prosenttia Seinäjoen kaupungin kaukolämmöstä. Nykyisin käytössä olevan laitoksen pääasiallinen polttoaine on turve.

Käytöstä poistuvan laitoksen vaihtoehtoina ovat uusi **sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos, pelkkä lämpölaitos, jätteiden hyödyntäminen, geotermisen lämpö, datakeskuksen hukkalämmöt, lämpöpumpuilla tuotettava energia, suuret lämpöpumput, sähkökattila tai pienydinvoima**. Osa kaavailuista tekniikoista on kaupallisessa käytössä jo 2020-luvulla — osa vasta myöhemmin.

Seinäjoen Energia ei halua perustaa järjestelmää vain yhden kortin varaan. **Kaukolämmön tuotanto hajautetaan eri puolille kaupunkia ja energiaa tuotetaan useilla eri tekniikoilla ja energialähteillä**. Seinäjoen Energian tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2030 mennessä.”

Kuten huomataan, energiayhtiöt varautuvat korvaamaan yhä enemmän keskitettyä energiantuotantoaan erilaisilla lämpöpumppu- ja lämmönvarastointiratkaisuilla. Tämä avaa myös teollisuudelle yhä enemmän mahdollisuuksia syöttää ylijäämälämpöjään kaukolämpöverkkoihin.

#### 4.5.7 PK-yritykset osana sähköistymistä

Pienet ja keskisuuret yritykset ovat lukumääräisesti suuri joukko hyvin erityyppisiä toimijoita. Jotakin laajemmin sovellettavia sähköistymisen vaihtoehtoja on kuitenkin havaittavissa.

Lämmitys on laajimman sähköistämispotentiaalin omaava toiminto PK-sektorilla. Merkittävä osa sellaisista öljylämmitteisistä teollisuusrakennuksista, jotka eivät ole kaukolämpöverkostojen varrella, voisi olla lämmitettävissä esimerkiksi ilma-, vesi- tai maalämpöpumpuilla. Tilastokeskuksen rakennustilaston mukaan Suomessa on noin 13 000 öljy- tai kaasulämmitteistä teollisuus- tai varistorakennusta (rakennuspinta-ala ~17 milj. m<sup>2</sup>). Suuruusluokkaisesti arvioiden näiden lämmitystarve olisi noin 3 TWh. Näissä lukemissa ovat toki myös suuryritykset mukana.

PK-teollisuudessa on erilaisia toimintoja, joissa syntyy lämpimiä poistokaasuja tai -ilmoja, kuten saha- ja maalaus- ja lämpökäsittelyyunit, leipomot, pesulat jne. Osassa näistä poistokaasut ovat kohtalaisen korkeassa lämpötilassa tai kosteita, jolloin lämpöä saisi varsinkin lämpöpumpun avulla suuria määriä otettua talteen. Alla olevassa taulukossa (**Taulukko 4.3**) on arvioitu tällaisten kohteiden määrää Suomessa sekä niiden LTO-potentiaalien suuruusluokkia.

**Taulukko 4.3 PK-sektorin hukkalämpöpotentiaalien lähteet arvioituna LTO-potentiaalin suuruusluokalla.**

PK-teollisuus	Määrä Suomessa (kpl)	Kuormaa (MW)	Tunnit (h)	Kulutus (GWh)	Tekn. taloudellinen LTO-potentiaali (25 %) (GWh)
<b>Konepajat</b>					
Maalaus (uunit)	100	0,4	4000	160	40
Lämpökäsittely	150	0,5	4000	300	75
Pinnoitus (elektrolyysit yms.)	50	0,2	4000	40	10
Muoviteollisuus (ekstruudaus/valu)	100	0,3	4000	120	30
Sahat (pois isot konsernit)	130	1	6000	780	195
Leipomot	400	0,1	2000	80	20
Pesulat	300	0,1	6000	180	45
<b>Yhteensä</b>				<b>1660</b>	<b>415</b>

Edellä mainittiin uunit lämmöntalteenottomielessä. Teollisuudessa on paljon kaasulämmitteisiä uuneja, joista monet voisivat olla myös sähköistettävissä. Mikäli uuneissa on ilmanvaihto kosteudenhallinnan takia, ei sähköistamisellä ole vaikutusta lämmöntalteenottopotentiaaliin.

Kun tarkastellaan teollisuuden liikkuvia työkoneita, voidaan esimerkkinä tarkastella trukkien merkitystä energiankäytön ja sähköistymisen näkökulmasta. Suomessa myydään noin 4000 uutta trukkia vuodessa. Sähkökäyttöisten trukkien osuus on kasvussa, mutta polttoainekäyttöisiä myydään edelleen. (41; 42) Sähköistyminen on näiltä osin käynnissä, mutta lisäpotentiaaliakin on. Mikäli noin puolet uusista trukeista on polttoainekäyttöisiä ja näiden keskimääräinen polttoaineenkulutus on 4 l/h (laskettu dieselinä) ja käyttöä jokaisella trukilla on noin 3000 h/a, niin näiden trukkien polttoaineenkulutus olisi noin 0,2 TWh. Sähkökäyttöisellä trukilla polttomoottorin häviöt jäisivät pois, joten sähköistämispotentiaali olisi vuositasona vähintään 0,1 TWh:n luokkaa. Samalla parannettaisiin trukkien energiatehokkuutta paremman hyötysuhteen kautta. Jos sähkötrukit korvaisivat kokonaan kaasukäyttöiset, saavutettaisiin jo uusittavien trukkien osalta 0,2 TWh/a fossiilisten polttoaineiden osalta säästöjä, mutta sähkönkäyttö kasvaisi noin 0,1 TWh/a.



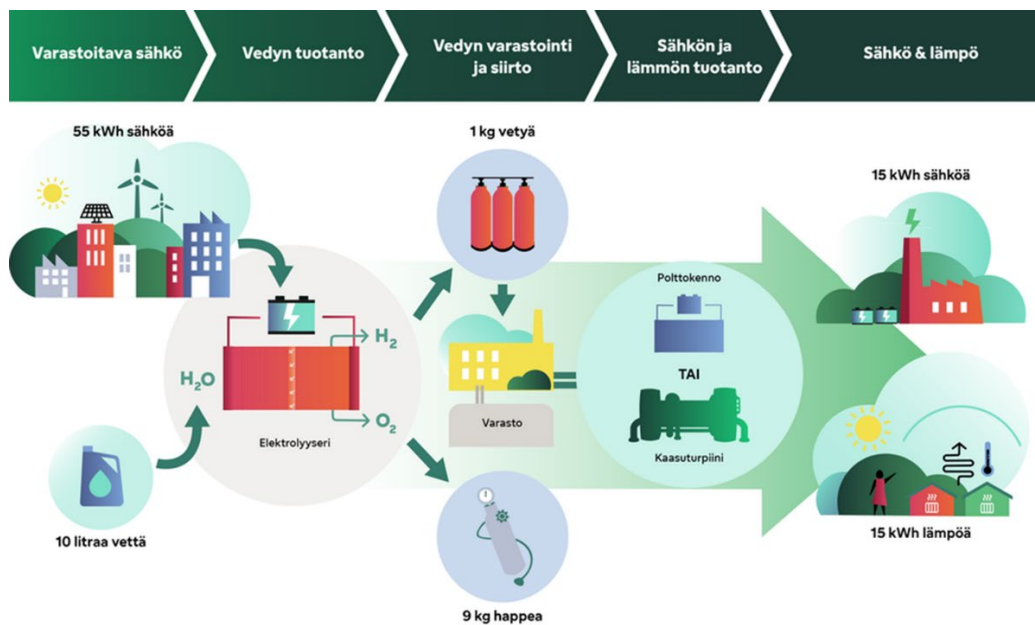
## 5 Vetyteknologia ja sähkön varastointi osana sähköistymisen tulevaisuutta

## 5 Vetyteknologia ja sähkön varastointi osana sähköistymisen tulevaisuutta

Edellä on käyty sähköistymisratkaisuja ja mahdollisuuksia nykyhetkestä vuoteen 2030 (vähähiilisyys tiekarttojen aikaskaala). Pidemmässä tulevaisuushorisontissa vetyteknologian sovellukset tuovat kokonaan uusia mahdollisuuksia sähköistymiseen. Toisaalta myös sähkön varastointitekniologiat tulevat olemaan keskeinen osa sähköistyvää energiasysteemiä. Tässä luvussa avataan sähköistymisen ulottuvuuksia pidemmällä tähtäimellä.

### 5.1 Vedyn tuotannon ja vetysähkön hyötysuhteet

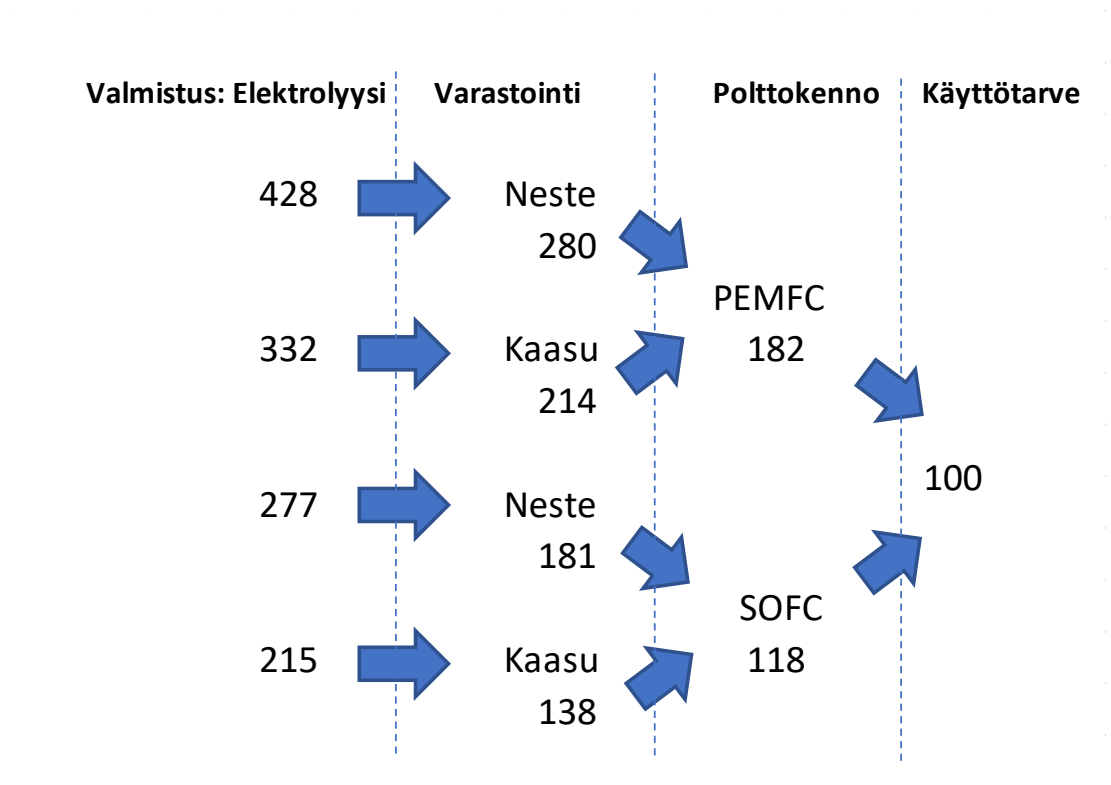
Eri toimialojen skenaarioissa vetytalous näyttelee merkittävää roolia tulevaisuuden sähköistyvässä maailmassa (Kuva 5.1). Tavoitteena on pystyä tuottamaan riittävästi hiilineutraalia sähköä ja hyödyntää sitä vedyn tuotantoon veden elektrolyysillä. Tämän hyötysuhde on noin 60–70 prosenttia. Vedyn avulla ylimääräinen sähkö voidaan varastoida ja hyödyntää sähkön tuotantoon silloin, kun sähkön tarve kasvaa. Kun vedyllä tuotetaan sähköä kaasuturbiinilla tai polttokennolla, hyötysuhde on 45–55 prosenttia. Tällöin kokonaishyötysuhde sähköstä vedyksi ja uudestaan sähköksi on noin 24–38 prosenttia. Hyötysuhdetta voidaan parantaa ottamalla talteen elektrolyysissä syntyvä lämpö esimerkiksi kaukolämpöverkkoon.



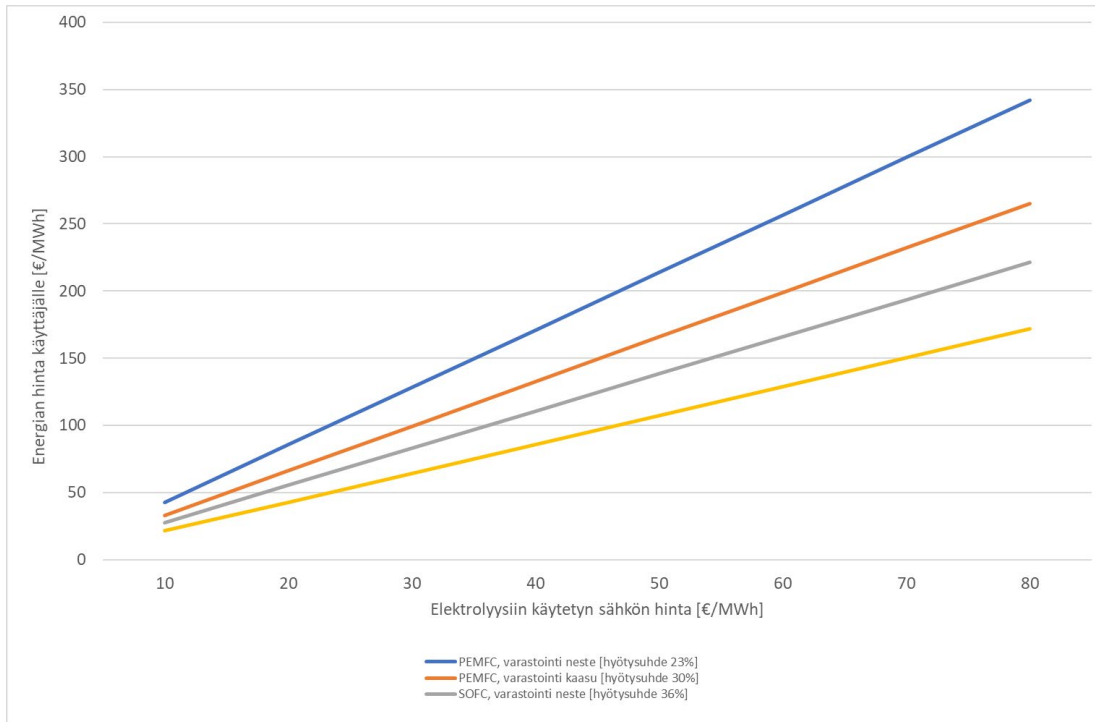
Kuva 5.1 Vedyn hyödyntämisen vaiheet ja hyötysuhteen muodostuminen. (43)



Käytettävällä teknologialla on vaikutusta kokonaissysteemin hyötysuhteeseen. Nykyisin käytössä olevat polttokennot ovat PEMFC-tyyppisiä, joilla on mahdollista tuottaa vain sähköä. Jos siirrytään hyödyntämään korkean lämpötilan SOFC-kennoja, on mahdollista hyödyntää myös polttokennojen hukkalämpö ja parantaa tätä kautta systeemin kokonaishyötysuhdetta. Myös varastointimenetelmällä ja siihen käytettävällä teknologialla on merkittävä vaikutus koko ketjun hyötysuhteeseen. **Kuvissa 5.2 ja 5.3** on esitetty suuntaa antava esimerkkilaskelma systeemin hyötysuhteen ( $\eta$ ) muodostumisesta, kun veden lämmitykseen tuotetaan 100 energiayksikköä lämpöä. (44)



**Kuva 5.2** Esimerkki vertailu PEMFC- ja SOFC- polttokennoproosessien hyötysuhteiden vaikutuksesta systeemin hyötysuhteeseen. (44)

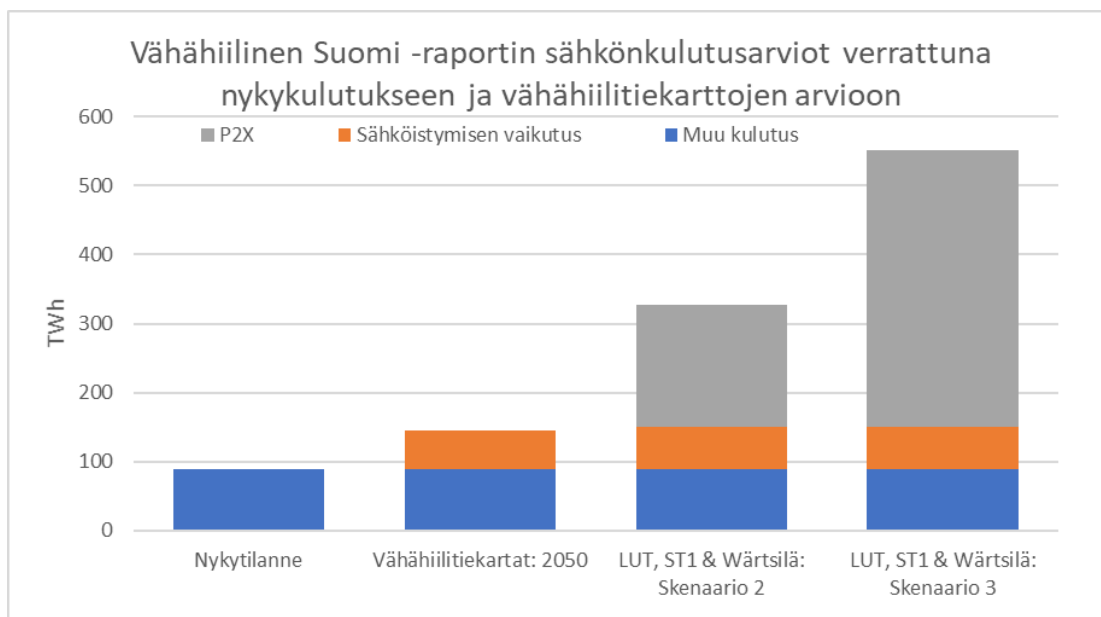


Kuva 5.3 Sähkön hinnan muodostuminen loppukäyttäjille vetytuotantoketjussa.

## 5.2 Synteettiset polttoaineet ja niiden vaikutus sähköistymiseen

Synteettisiä polttoaineita voidaan valmistaa vedystä ja eri lähteistä talteen otetusta hiilidioksidista tai ilman tuestä. Synteettisten polttoaineiden etuna olisi se, että niiden hyödyntäminen onnistuisi nykyisillä jakeluverkostoilla, moottoreilla ja polttimilla. Tämä madaltaa kynnystä siirtyä synteettisiin polttoaineisiin. Yksinkertaisimpia polttoaineita olisivat metaani ja metanoli, mutta myös monimutkaisempia yhdisteitä olisi mahdollista valmistaa.

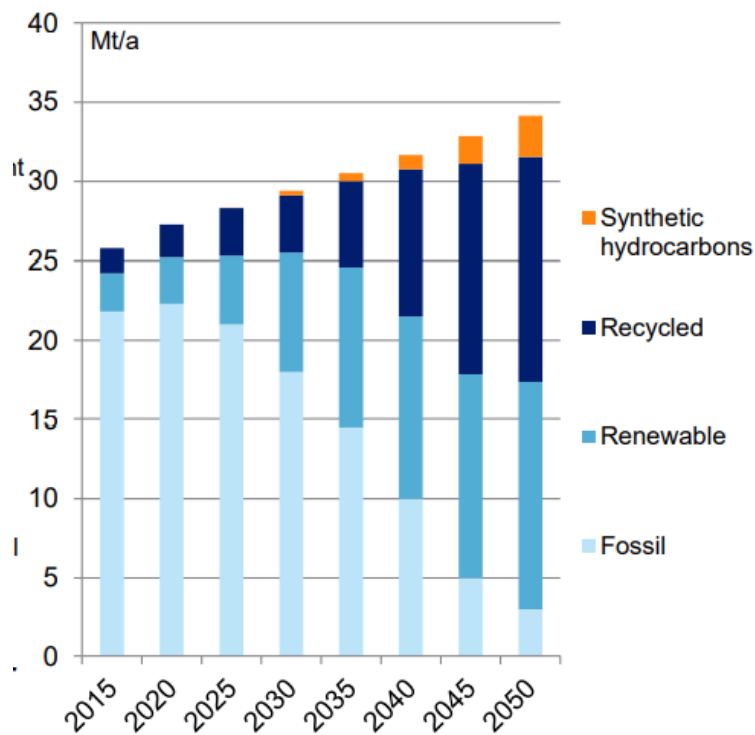
LUT-yliopiston, St1:n ja Wärtsilän yhteistyössä julkaiseman Hiilineutraali Suomi-raportin mukaan synteettiset polttoaineet ovat välttämättömiä, mikäli kaikesta liikenteestä halutaan hiilineutraali tavoitteiden mukaisesti. Tätä perustellaan sillä, että liikennevälinekanta ja jakeluverkostoa ei ehditä täysin uudistaa vuoteen 2040 mennessä. Raportissa on laskettu eri skenaarioita synteettisten polttoaineiden tuotannolle ja niiden vaikutukset hiilineutraaliin sähkön tarpeeseen. Raportin arvio tulevasta sähkön tarpeesta on huomattavasti suurempi kuin vähähiilitiekartoissa on ennakoitu. Pelkästään P2X-prosessit kuluttaisivat enemmän kuin tiekarttojen kokonaissähkönkulutusarvio vuodelle 2050 (Kuva 5.4). Skenaarioissa tosin on lähtökohtana suurimpien hiilidioksidintuottajien päästöjen talteenotto ja kierrättäminen polttoaineeksi, jolloin polttoaineita tuotettaisiin suuria määriä myös vientiin. Polttoaineen valmistaminen kotimaiseen käyttöön kasvatataisi sähkön vuosikulutusta raportin lukujen perusteella laskettuna runsaan 100 TWh nykytilanteeseen verrattuna (Kuva 5.4). (45)



**Kuva 5.4** Hiilineutraali Suomi-**raportin (LUT, St1, Wärtsilä)** sähkönkulutusennuste verrattuna tiekarttoihin ja nykytilanteeseen.

Teollisuus käyttää tällä hetkellä noin 37,6 TWh edestä fossiilisia polttoaineita. Tästä 10,8 TWh on hiiltä johtuen pitkälti oletettavasti terästeollisuuden kulutuksesta, mikä on korvattavissa ainoastaan vetypelkistyskehityksen myötä. Turpeen osuus on 2,3 TWh ja se on helposti korvattavissa puupohjaisilla polttoaineilla. Synteettisillä polttoaineilla korvattavissa oleva osuus olisi siten jäljelle jäävä, öljyn ja maakaasun osuus eli noin 24,5 TWh. (46) Mikäli tätä kulutusta yritettäisiin täysin korvata synteettisillä polttoaineilla, kuluisi niiden valmistukseen jopa 60 TWh sähköä. Oletuksena tässä on, että vedyn tuotannon kokonaishyötysuhde, jossa olisi mukana valmistusprosessi, olisi vähintään 40 prosenttia. Yksinkertaisten hiilivetyjen, kuten metanolin, valmistusprosessin kokonaishyötysuhde on tällä hetkellä parhaimmillaan noin 46 prosenttia (47). Myös tässä sovelluskohteessa tulee huomioida loppukäytön hyötysuhde varsinkin, jos vaihtoehtoisena ratkaisuna olisi suora sähkönkäyttö (sähkökattila, sähköuunit, akkukäyttöiset trukit ym.).

Yksi olennainen hahmotettava asia liittyen synteettisiin polttoaineisiin on aikaskaala, mikä näyttelee merkittävää roolia energiainfrastruktuurissa (**Kuva 5.5**). Kemianteollisuuden vähähiilisyystiekartassa on nähtävissä, että näiden ratkaisujen arvioidaan tulevan merkittävään rooliin vasta vuoden 2030 jälkeen (**Kuva 5.5**) (48).



Kuva 5.5 Kemianteollisuuden hiilineutraalisuus skenaarion aikaskaala ja jakaantuminen eri osa-alueille. (48)

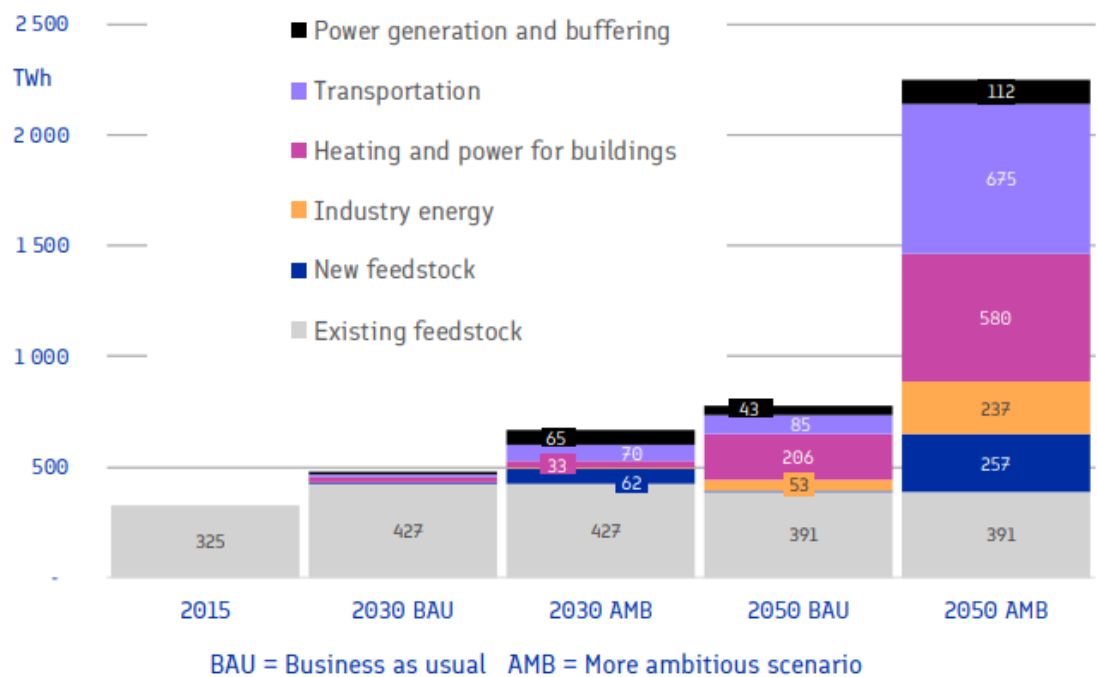
### 5.3 Vetyteknologian kehitys

Vähähiilisen vedyn hyödyntämismahdollisuuksista on maailmalla tehty useita selvityksiä, joista esimerkkinä on EU:n ja Suomen toteuttamat vetytiekartat. EU:n vuonna 2020 julkaiseman skenaarion mukaan vedyn hyödyntämisen oletetaan kasvavan eri käyttökohteissa merkittävästi vuoteen 2030 mennessä ja sen kehityksen oletetaan jatkuvan tästä eteenpäin (Kuva 5.6).

Huomionarvoista tässä keskustelussa on, että kokonaissysteemin näkökulmasta vety ei ole polttoaine vaan se on energiansiirron väliaine hyödynnettävissä ratkaisuissa, joissa useimmissa käytetään merkittävä määrä sähköä. Näin ollen sähköistymiskeskusteluissa on aina huomioitava vetytalouden kehitysskenaariot.

Karkeasti vetytalouden mahdollisuudet energiasektorilla voidaan jakaa seuraaviin pääluokkiin:

- Vedyn suora liikennekäyttö.
- Vedyn käyttö teollisuudessa (ja liikennepolttoaineiden tuotannossa).
- Vedyn hyödyntäminen energian varastoinnissa ja siirrossa.
- *Power to X (P2X)* -ratkaisut osana edellisiä



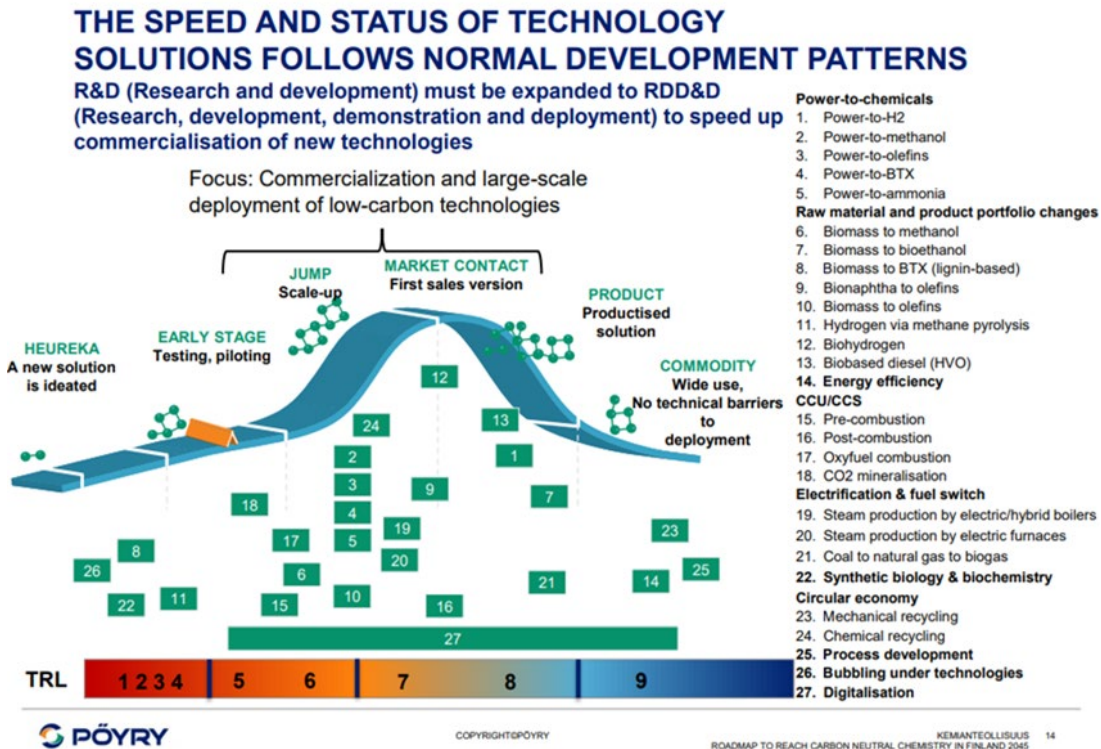
**Kuva 5.6 Suomen vetytiekarttojen skenaariot. (49)**

Vetyä on mahdollista käyttää suoraan liikennepolttoaineena henkilöautoissa, raskaassa liikenteessä sekä myös rautatieliikenteessä, ilmailussa ja merenkulussa. Henkilöautoliikenteeseen kaupallista teknologiaa olisi jo olemassa, mutta vetyinfrastruktuurin ja tankkausverkoston puuttuminen on hidastanut teknologian käyttöönottoa. Toisaalta autonvalmistajien panostaminen sähköautoihin on osaltaan hidastanut vedyn hyödyntämisen laajentumista henkilöautoliikenteeseen (50). Vastaavasti raskaassa liikenteessä akkuteknologian hyödyntäminen on osoittautunut haasteelliseksi, mikä voi avata vedyn käytölle mahdollisuuksia raskaan liikenteen puolelle.

Vastaavasti hyvin potentiaalisena nähdään raideliikenne, joka voisi tulevaisuudessa toimia vedyllä (51). Ensimmäisiä hankkeita on jo menossa maailmalla ja globaalit laite- ja teknologiatoimijat tutkivat vedyn mahdollisuuksia lukuisissa hankkeissa. Myös ilmailussa on vedylle tunnistettu hyödyntämismahdollisuuksia ja esimerkiksi Airbus julkaisi vuonna 2020 kolme konseptilentokonetta, joiden polttoaineena olisi vety. Meriteknologiassa vetyteknologian ratkaisuja voi olla odotettavissa ilmailua nopeammin (52), sillä välivaiheen ratkaisuna LNG:tä hyödyntävissä laivoissa vetyä voidaan tuottaa maakaasusta ja kun vedyn tuotanto- ja varastointi-infrastruktuuri on kehittynyt, voidaan laivan polttoaine tuottaa suoraan vedestä ja näin täysin puhtaasti (53; 54).

Kuten edellä esitetystä skenaarioista voidaan huomata (**Kuva 5.6**), myös teollisuuden vedyn hyödyntämisen oletetaan kasvavan. Tällä hetkellä vetyä käytetään merkittäviä määriä esimerkiksi liikennepolttoaineiden tuotannossa sekä ammoniakkin, metanolin ja vetyperoksidin valmistuksessa. Näissä prosesseissa tarvittava vety on teknisesti mahdollista korvata puhtaalla vedyllä, mutta toistaiseksi se ei ole vielä taloudellisesti kannattavaa. Kemianteollisuudessa on olemassa myös paljon muita teknologian kehityshankkeita, joissa vetyteknologiat, sähköistyminen, hukkalämpöjen hyödyntäminen ja energiatehokkuus ovat avainasemassa (**Kuva 5.7**). Viime aikoina Suomessa on ollut paljon otsikoissa SSAB:n, LKAB:n ja Vattenfallin yhteinen Hybrit-hanke, jossa on

tavoitteena kehittää teknologia fossiilivapaan teräksen valmistamiseen vuoteen 2045 mennessä (55). Tämä on osoitus hyvin kunnianhimoisesta hankkeesta, jossa muutetaan tuotantoprosessia sellaiseksi, missä vety on olennainen raaka-aine prosessissa.



Kuva 5.7 Kemianteollisuuden tulevaisuuden teknologioita ja niiden valmiusasteita. (48)

Kuten edellä on mainittu, niin vety voi toimia energianvarastoinnissa väliaineena, mikä puolestaan mahdollistaa joustavamman energiajärjestelmän toteuttamisen sekä mahdollisuuden pienentää tai poistaa uusiutuvan energian saatavuuden aikariippuvuuden.

Neljäs pääluokka vedyn hyödyntämiseen on *Power-to-X (P2X)*-teknologia, jossa sähköä hyödyntäen tuotetaan esimerkiksi prosessien raaka-aineita tai polttoaineita synteettisesti. Tyypillisesti nämä synteettiset raaka-aineet ja polttoaineet korvaavat fossiilisesti valmistettuja resursseja. Kun tähän yhdistetään hiilidioksidin talteenotto ja hyödyntämistechnologia (CCU ja CCS) esimerkiksi teollisuuden prosesseista, on mahdollista päästä lähes päästöttömään polttoaine- ja raaka-ainetuotantoon.

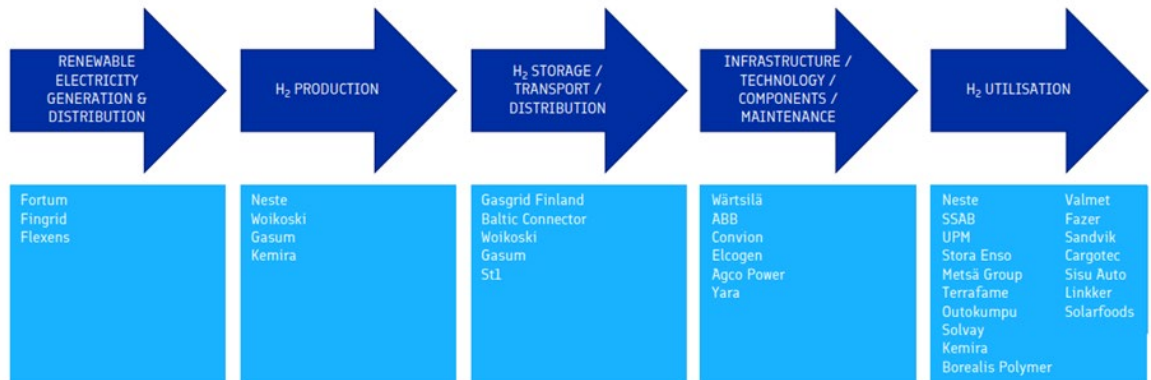
Kokonaisuudessaan vetyteknologian kehitys ja käyttöönotto jollakin toimialalla tukee kehitystä myös muilla toimialoilla, minkä vuoksi aihealuetta on tarkasteltava kokonaisuutena. Pitkällä aikavälillä katsottaessa vetytalous tulee näyttämään merkittävää roolia ainakin osassa teollisuuden alojen (pääosin teräs- ja kemianteollisuus) sähköistymispyrkimyksissä, mutta myös välillisesti vaikuttamaan muiden teollisuuden alojen toimintaan.

Kun asiaa tarkastellaan Suomen ja erityisesti Suomen teollisuuden kannalta, vedyn käyttö kemian- ja jalostamoteollisuudessa odotetaan pysyvän ennallaan tai jopa kasvavan. Erityisesti vetyä jalostamoteollisuudessa olisi mahdollista lisätä, samoin kuin hyödyntämistä

biopolttoaineiden tuotannossa. Power to X-tekniikan alueella on menossa useita mielenkiintoisia kehityshankkeita, joissa tutkitaan uuden puhtaan teknologian mahdollisuuksia:

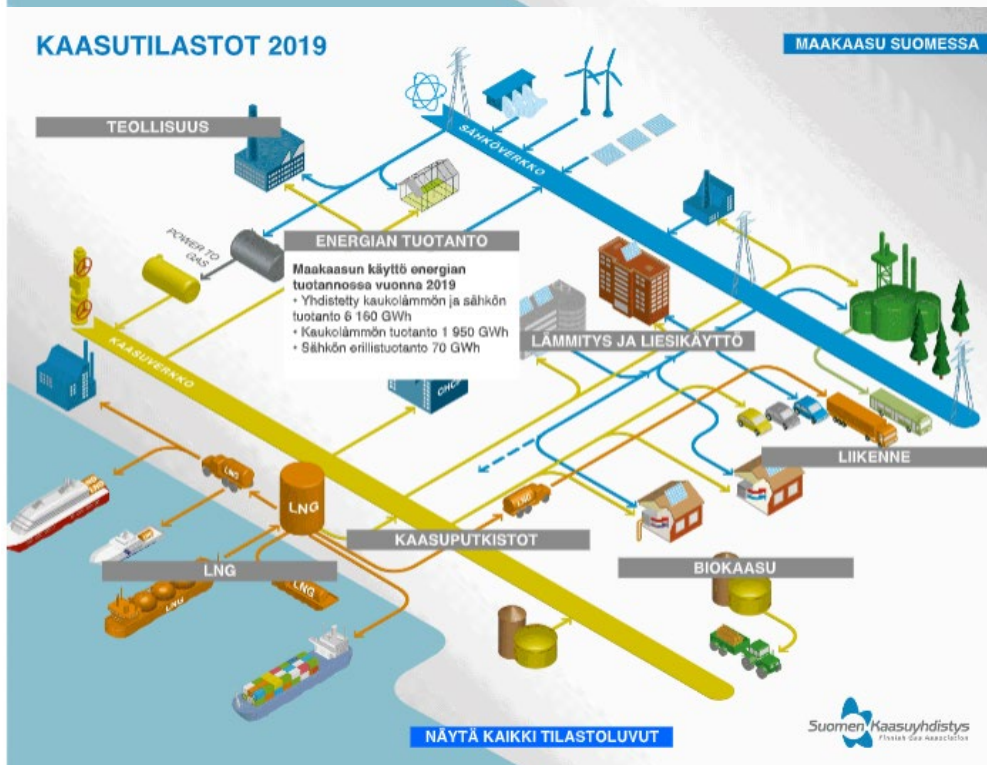
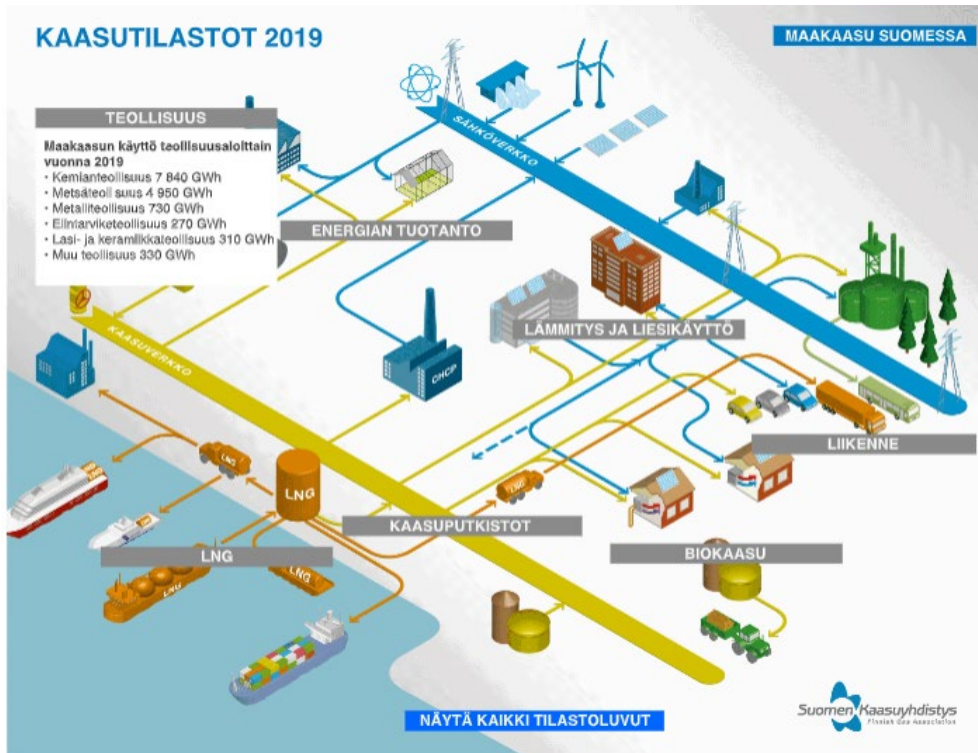
- VTT kehittää BECCU-prosessia, jolla valmistetaan 100 prosenttista polyolihiiltä hiilidioksidista ja kestävästä vedystä.
- LUT tutkii korkean arvon hiilipohjaisia materiaaleja, kuten nanoputkia ja grafeenia, jotka olisi mahdollista tuottaa vihreällä sähköllä ja käyttämällä hiilidioksidia raaka-aineena.
- Energiayhtiöt, St1 ja Q Power, ovat käynnistäneet yhteishankkeen, jossa on tavoitteena kehittää uusia tapoja tehdä synteettistä biometaania hiilidioksidista ja vedystä.
- Q Powerilla on hanke, jossa biologisella metanointiteknologialla tuotetaan vedystä ja hiilidioksidista biometaania.
- Vantaan Energia ja Wärtsilä toteuttavat toteutettavuustutkimusta Vantaan Energian power-to-gas-laitoksesta.
- Solar Foods on kehittämässä uutta tapaa tuottaa luonnonproteiinia käyttämällä uusiutuvaa sähköä ja ilmaa. Proteiini tuotetaan maaperäbakteereista, joita ruokitaan elektrolyyysillä tuotettavalla vedyllä.
- Soletair Power kehittää hiilidioksidin suoraa talteenottoa tavoitteenaan tuottaa synteettisiä, uusiutuvia polttoaineita elektrolyyysillä tuotetusta vedystä ja talteen otetusta hiilidioksidista.

Kokonaisuudessaan Suomessa on hyvät mahdollisuudet rakentaa vetytalouden arvoketju, kuten **Kuvasta 5.8** selviää.



**Kuva 5.8 Suomen vetytalouden arvoketjun toimijoita. (49)**

Vetytalouden kannalta yksi kriittinen infrastruktuuri tulee olemaan maakaasuun liittyvä jakelu ja tuotanto. Maakaasu voi toimia ensi vaiheessa vedyn tuotannon raaka-aineena ja sen verkostoa voidaan hyödyntää vedyn siirrossa. Toisaalta maakaasu on oletettavasti yksi sähköistyksen kautta korvattavista polttoaineista. Maakaasuun liittyvää teollisuuspotentiaalia tarkastellaan **Kuvassa 5.9**, jossa on esitetty maakaasun käyttö eri teollisuuden aloilla sekä eritelty sen käyttö energiantuotannossa vuonna 2019.



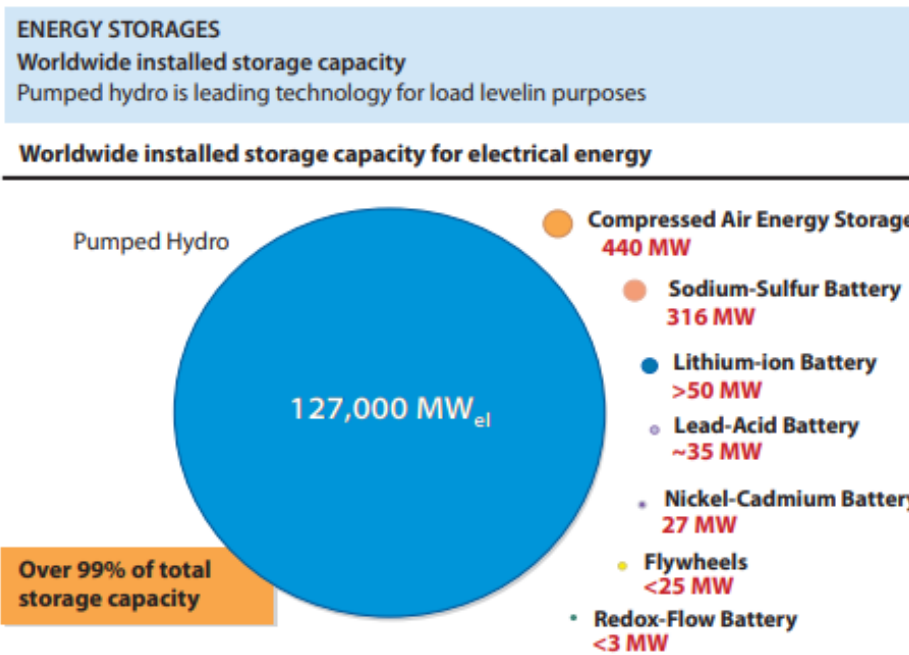
Kuva 5.9 Suomen maakaasun käyttö toimialoittain. (56)





Globaalisti suurin osa käytössä olevasta energiavarastointiteknologiasta (**Kuva 5.11**) perustuu veden pumppaamiseen ja on oletettavaa, ettei Suomen teollisuudessa nousevat teknologiat yleisty lähivuosina merkittävästi. (58)

**Kuva 13. Asennetut energiavarastot globaalisti.** Lähteet: EPRI, "Electricity Energy Storage Technology Options – A White paper Primer on Applications, Cost, and Benefits", Dec. 2010. Fraunhofer Institute, EPRI



**Kuva 5.11** Globaalisti asennetut energiavarastot.

Lyhyellä tähtäimellä Suomen teollisuuden kiinnostuksen aiheena on luultavasti kylmä- ja lämpöenergian varastointi olemassa olevaan varaaja-/siilo-/säiliökapasiteettiin. Valituille kohteille investoidaan myös varaajakapasiteettia, esimerkiksi lämpöpumppu investointien yhteydessä.

# 6 Sähköistymisen haasteet ja huomioon otavat epävarmuustekijät

## 6 Sähköistymisen haasteet ja huomioitavat epävarmuustekijät

---

Sähköistymisskenaarioiden toteutumiseen Suomessa vaikuttaa hyvin moni tekijä, sekä kansainvälisesti että Suomen tasolla. Esimerkkejä tulevaisuuden haaste- ja epävarmuustekijöistä:

- Kansallinen-, EU-tasoinen- ja globaalipolitiikka (6.1)
- Sähkön hinnan kehitys (6.2)
- Sähköverkkojen kehitys mukaan lukien huoltovarmuus ja energiaturvallisuus (6.3)
- Teknologian kehitys ja sen jalkautuminen yritystasolle (6.4)

### 6.1 Kansallinen-, EU-tasoinen- ja globaalipolitiikka

---

Poliittisessa päätöksenteossa kansainvälisillä päätöksillä ja sopimuksilla luodaan raamit toiminnalle, mutta toimenpiteet jalkautuvat pääosin kansallisen lainsäädännön kautta. Hallitusohjelmaan on kirjattu seuraava tavoite, jolla Suomi pyrkii maailman ensimmäiseksi fossiilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi. (59)

*Tavoite: Sähkön ja lämmön tuotannon tulee olla Suomessa lähes päästötöntä 2030-luvun loppuun mennessä huolto- ja toimitusvarmuusnäkökulmat huomioiden.*

Tavoitteeseen pääsemiseksi on ohjelmaan kirjattu seuraavat keinot/toimenpiteet, joilla on vaikutusta teollisuuden sähköistymiseen, energiatehokkuuteen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen:

1. Osana kestäväen kehityksen verosiirtymää hallitus toteuttaa energiaverotuksen kokonaisuudistuksen vuoden 2020 budjettiriiheen mennessä (elokuu 2020). Uudistus yhdessä päästökaupan kanssa tukee johdonmukaisesti etenemistä hiilineutraaliin kiertotalouteen. Ensimmäisessä vaiheessa toteutetaan seuraavat veromuutokset:
  - Lisätään energiantuotannon päästöohjausta poistamalla teollisuuden energiaveron palautusjärjestelmä ja alentamalla II veroluokan sähkövero kohti EU:n sallimaa minimimitasoa. Uudistus toteutetaan kustannusneutraalisti siirtymäkauden kuluessa. Siirretään sähkö veron veroluokkaan II kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavat lämpöpumput ja konesalit.
  - Sähkön varastoinnin kaksinkertainen verotus poistetaan myös pumppuvoimaloiden ja nykyistä pienempien akkujen osalta.
2. Energiatukijärjestelmää kehitetään siten, että painopistettä siirretään tuotantotuista kohti uuden energiateknologian investointi- ja demonstraatiotukia.
3. Polttoon perustumattomien uusien kaukolämmön tuotantotapojen ja varastoinnin käyttöönottoa ja pilotointia edistetään.

4. Yhteiskunnan sähköistyminen ja energiajärjestelmien (sähkö-, lämpö- ja liikenne) kytkeytyminen toisiinsa edellyttää uusiutuvan sähköntuotannon merkittävää lisäämistä.
5. Tuulivoiman osuutta Suomen energiatuotannosta kasvatetaan. Maatuulivoiman määrän kasvun arvioidaan tapahtuvan markkinaehtoisesti. Merituulivoiman rakentamisen edellytyksiä parannetaan. Poistetaan tuulivoiman rakentamisen hallinnollisia, kaavoitukseen liittyviä ja muita esteitä. Selvitetään ja mahdollisuuksien mukaan toteutetaan keinoja vähentää tutkista johtuvia rajoituksia tuulivoiman rakentamiselle.
6. Käytössä olevien ydinvoimaloiden jatkolupiin suhtaudutaan myönteisesti edellyttäen, että Säteilyturvakeskus puoltaa niitä.
7. Sähkön siirtohintojen hillitsemiseksi toteutetaan muun muassa sähkönsiirron kustannus selvityksen johtopäätöksiä, kuten alituottojen tasausjakson pidennys. Kehitetään sähköverkon joustavuutta ja vaihtoehtoisia tapoja varmistaa sähkön toimitusvarmuus erityisesti haja-asutusalueilla. Selvitetään mahdollisuus rajoittaa nykyisestäään sähkönsiirtomaksujen vuotuista korotusta.
8. Laaditaan yhteistyössä alan toimijoiden kanssa toimialakohtaiset tiekartat vähähiilisyteen, jotka sovitetaan yhteen uusien ilmastotoimien kanssa.
9. Vähähiiliseen talouteen siirtymiseksi tarvitaan lisäpanostuksia erityisesti biotalouden, kiertotalouden, puhtaan teknologian ratkaisujen, energiatehokkuuden, päästöttömien energiantuotantomuotojen, energian varastointiratkaisujen ja hiilen talteenoton ja hyödyntämisen kehittämiseksi ja markkinoille saattamiseksi sekä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaan.
10. Kehitetään pohjoismaista sähkömarkkinaa ja energiajärjestelmien integraatiota sekä näitä tukevaa yhteistä tutkimusta EU:n tutkimusohjelmien tuella.
11. Parannetaan huoltovarmuutta kehittämällä Suomeen alan toimijoiden kanssa älykkäämpää sähkö- ja kaukolämpöverkkoa, parantamalla siirtoyhteyksiä sekä hyödyntämällä uusia energian varastointimahdollisuuksia.
12. Älykkäiden sähköverkkojen ja kysyntäjoustopotentiaali on hyödynnettävä täysimääräisesti. Säätelyä ja verotusta kehitetään siten, että helpotetaan energian pientuotannon hyödyntämistä kaikille osapuolille, mukaan lukien taloyhtiöt, pientalot ja maatilat.

Kuinka edellä mainittuja toimenpiteitä saadaan laitettua toimeen ja kuinka johdonmukaista politiikka on tulevan vuosikymmenen aikana, vaikuttaa luonnollisesti teollisuuden sähköistymiseen, sen muotoihin ja muutosnopeuteen. Myös veroratkaisuilla on merkittävä rooli teollisuudelle ja mm. lämpöpumppuihin liittyvät veroratkaisut voivat parantaa mahdollisuuksia edistää sektori-integraatiota teollisuuden toimijoiden ja energiayhtiöiden välillä. Näin teollisuuden hukkalämmöt saadaan ohjattua tehokkaasti kaukolämpöverkkoihin ja tätä kautta hyödynnettyä tehokkaasti hiilineutraalisuuden edistämisessä. Samalla luodaan myös mahdollisuuksia erilaisille kysyntäjoustoratkaisuille, jotka voivat hyödyttää molempia toimija osapuolia. (60; 61; 62)

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2019 kokoamat energiatehokkuustyöryhmän teollisuuden edustajat ovat myös tuoneet esille teollisuuden erityispiirteitä, sähköistymiseen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen liittyvät toimenpiteet on listattu kahteen toimenpidekorttiin (**Kuva 6.1**) (63):

### **Toimenpidekortti: Sähköistymisen mahdollistaminen ja energiatehokkuuden huomioiminen**

Sähkön käytön osuuden lisääntyminen huomioidaan ja mahdollistetaan niin EU-tason kuin kansallisessa päätöksenteossa. Mahdollinen rajoittava säädösohjaus tunnistetaan ja esteiden poistaminen aloitetaan suunnitelmallisesti. Verotukseen liittyvät haasteet esim. sähkön mittaukseen, varastointiin ja lämpöpumppujen käyttämän sähkön erilaiseen verotukseen omistajan mukaan (energiayhtiö, teollisuus) liittyvissä kysymyksissä selvitetään. Myös muita käytettävissä olevia taloudellisia ohjauskeinoja hyödynnetään.

Sähkön älykkääseen käyttöön liittyvät kysynnän ja tuotannon joustoratkaisut ovat tulevaisuudessa välttämättömiä. Joissakin tapauksissa niiden vaikutus energiatehokkuuteen on negatiivinen. Nämä nykyisen EU:n energiatehokkuustavoitteen kannalta ongelmalliset tilanteet ja tyyppitapaukset tunnistetaan ja ratkaistaan koko energijärjestelmän kannalta optimaalisesti ja tarvittaessa esitetään EU:n energiatehokkuustavoitteen uudenlaista määrittelyä.

Taustaa: Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi fossiilisista polttoaineista luopuminen teollisuuden prosessissa ja energiantuotannossa on tärkeää. Fossiilisia polttoaineita korvattaessa sähköllä on keskeinen rooli, sillä sitä voidaan tuottaa useilla eri tavoilla päästöttömästi ja kustannustehokkaasti. Sähköisten ratkaisujen hyötysuhde on tyypillisesti korkea, mikä liittyy sähköistymisen myös energiatehokkuuden parantumiseen.

### **Toimenpidekortti: Ylijäämälämpöjen laajamittainen hyödyntäminen**

Parannetaan edellytyksiä laajamittaiselle eri lähteissä syntyvän ylijäämälämmön hyötykäytölle lämmityksessä ja sähköntuotannossa kartoittamalla lähteitä ja käyttökohteita ja selvittämällä teknisiä ja kaupallisia mahdollisuuksia, haasteita ja esteitä, tarvittaessa myös pilottihankkeiden avulla.

Selvitetään energiatehokkuusdirektiivin artikla 14:n mukaisesti tehtävän kattavan arvioinnin yhteydessä mahdollisuus sisällyttää hyödynnettävät ylijäämälämmöt kansalliseen uusiutuvan lämmön tavoitteeseen RED2:ssa olevien puitteiden mukaisesti. Laaditaan tarkemmat pelisäännöt ylijäämälämpöjen sisällyttämisestä energiatehokkuussopimusten raportointiin ja tarkastellaan ylijäämälämmön hyödyntämisen tilastointimenettelyjä.

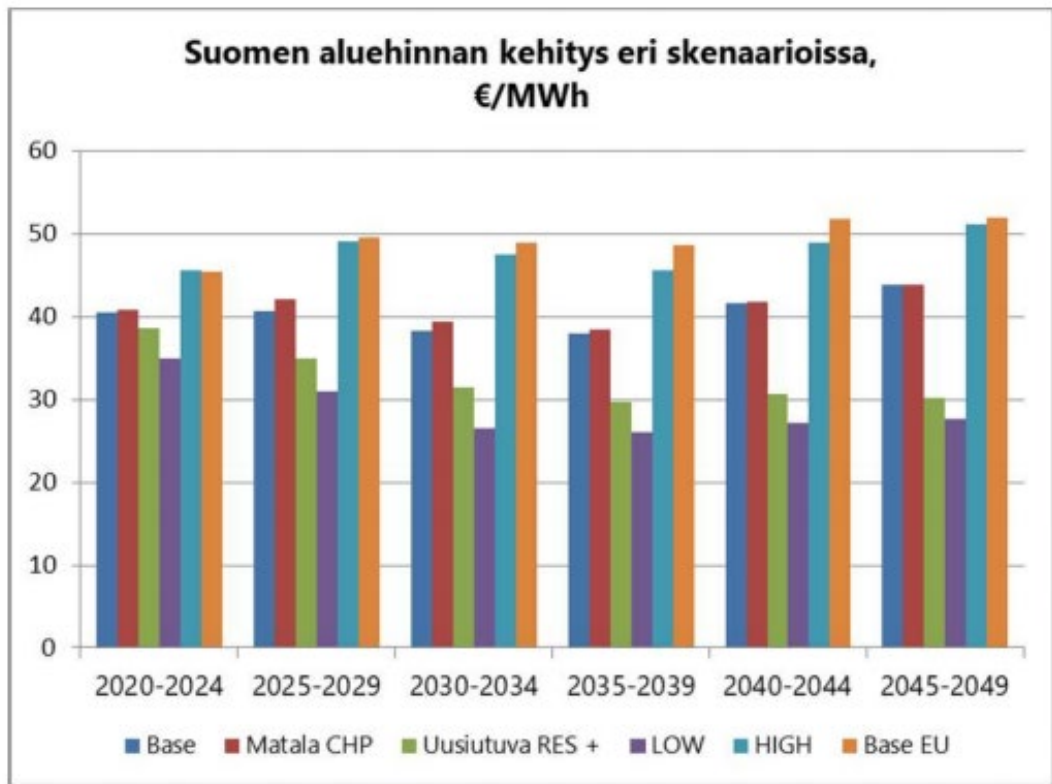
Selvitetään ylijäämälämmön myymiseen kaukolämpöyhtiölle ja sen varastointiin liittyviä kaupallisia ja verotuksellisia esteitä. Varmistetaan, että ylijäämälämmöt huomioidaan energiakatselmuksissa.

Varmistetaan, että ylijäämälämmöt huomioidaan energiakatselmuksissa

**Kuva 6.1 Sähköistymisen ja hukkalämpöjen hyödyntämisen toimenpidekortit.**

Sähkön hinnalla tulevaisuudessa on merkitystä teollisuuden sähköistymisessä. Teollisuudelle on tärkeää, että sähkö on kilpailukykyistä suhteessa muihin energialähteisiin ja verrattuna kilpailijamaiden energiakustannuksiin. Toisaalta myös sen markkinamekanismien on annettava yrityksille mahdollisuuden tehdä liiketoimintaa sähköllä (esim. erilaisten kysyntäjousto/reservimarkkina työkalujen avulla). **Kuvassa 6.2** on esitetty Suomen sähkön aluehinnan kehitysskenaarioita eri tuotantovaihtoehdoilla.

**Kuva 2. Suomen aluehinnan kehitys eri skenaarioissa.**



**Kuva 6.2 Skenaarioita Suomen aluehinnan kehityksestä. (64)**

Kuten huomataan erot ovat varsin suuria, eri skenaarioiden välillä (**Kuva 6.2**). Erityisen suureksi hintaerot muodostuvat, kun tarkastellaan vuosia 2045–2049. Sähkön hinnan vaikutusta teollisuusyrityksen toiminnan kannattavuuteen voidaan konkretisoida seuraavalla laskuesimerkillä:

Yrityksen liikevaihto: 10 milj. €

Yrityksen energiakustannus: 1 milj. €, josta sähkön osuus on puolet (0,5 milj. €)

Nykyinen sähkön hinta: Uusiutuva RES-hinta 2020–2024: 35 €/MWh

Uusi sähkön hinta: Base EU-hinta 2020–2024: 45 €/MWh

Vaikutus energiakustannukseen: + 143 000 €/a

Nykyinen tulos: 7 %

Yrityksen tulos uudella sähkön hinnalla: 5,6 %

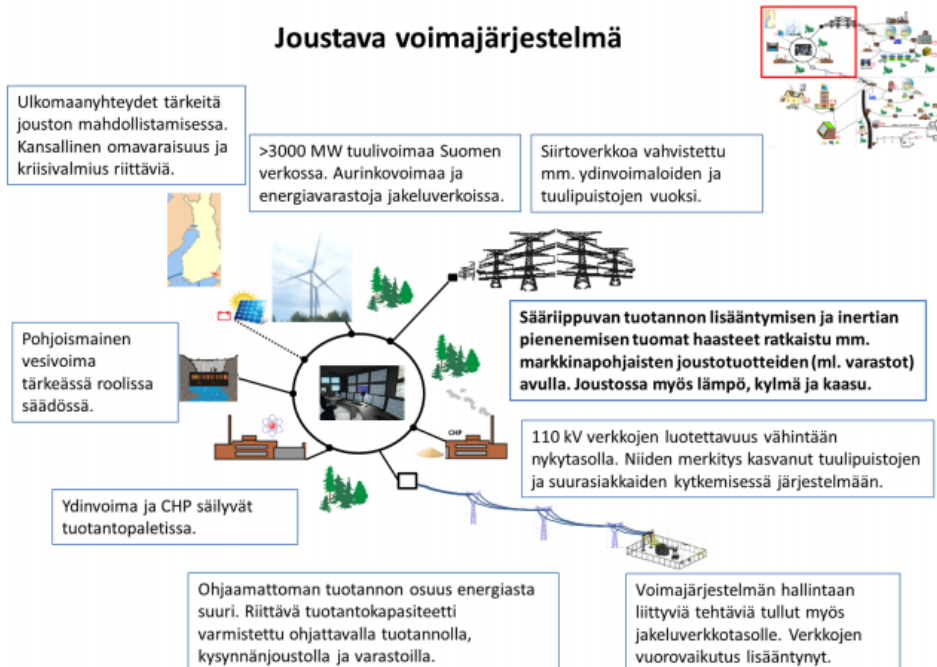
Yrityksen tulos uudella sähkön hinnalla, kun käytetty 2015–2019 lukuja: 2,9 %

Kuten huomataan, sähkön hinnalla on suuri merkitys ja jos merkittäviä epävarmuuksia on näköpiirissä, hidastavat ne varmasti teollisuuden halua sähköistää toimintojaan.

### 6.3 Sähköverkkojen kehitys mukaan lukien huoltovarmuus ja energiaturvallisuus

Teollisuuden sähköistymisen edellytys on sähkönsiirtoverkkojen kehittäminen sekä valtakunnallisesti, alueellisesti että yrityskohtaisesti. Fingrid on muotoilemassa kantaverkolle kehitysskenaarioitaan huomioiden eri teollisuudenalojen hiilineutraalisuus tiekartat (65).

Toisaalta eri tason sähköverkoilta vaaditaan jatkossa yhä enemmän joustavuutta ja mukautuvuutta. Tämä korostuu erityisesti, kun uusiutuvan sähkön osuus verkossa kasvaa. Toisaalta sähkönsiirtokapasiteetin takaaminen Suomen rajojen yli muodostaa merkittävän joustavuustekijän (Kuva 6.3).



Kuva 6.3 Joustavan voimajärjestelmän elementtejä. (66)



Kun järjestelmä on riittävän joustava (**Kuva 6.3**), energiantuotannon huippuja ja laskuja voidaan tasapainottaa. Älykkäiden sähkölaitteiden lisääntyessä kysyntäjousto mahdollistuu ja näiden ratkaisujen laajentuessa sekä uusiutuvan energian tuotannon kasvaessa myös digitalisaation rooli korostuu. Tämä puolestaan asettaa vaatimuksia esimerkiksi kyberturvallisuudelle. Teollisuudelle on erityisen tärkeää, etteivät uudet sähköiset ratkaisut tai esimerkiksi sektori-integraatoratkaisut aiheuta uhkia sen ydintoiminnalle (67).

Energiajärjestelmien toimitusvarmuudessa Suomalaiset energiaverkot ovat huippuluokkaa ja tämän oletetaan säilyvän myös tulevaisuudessa. Suomi paransi World Energy Councilin vuosittain julkaisemassa kestävästä energiajärjestelmästä vertailussa sijoitustaan huomattavasti edellisiin verrattuna. Vuonna 2019 Suomi sijoittui 128 maan joukossa viidenneksi, kun vuotta aiemmin sijoitus oli vertailun kolmastoista. Vertailussa on kolme pääulottuvuutta: energian toimitusvarmuus, energian saatavuus ja ympäristö, jossa on eroteltu ilmanlaatuun vaikuttavat lähipäästöt sekä hiilidioksidipäästöt. Suurin parannus Suomen pisteissä on tapahtunut hiilidioksidipäästöjen vähentymisen ansiosta. Energian toimitusvarmuudessa Suomi ylittää vertailussa todella korkealle, kolmannelle sijalle. Suomalaisten sähkönsiirtoyhtiöiden osaaminen ja investoinnit sähköverkkoon ovat tärkeä osa matkalla kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Sähkönjakelun toimitusvarmuus on tärkeä osa tulevaisuutta ja siitä on pidettävä huolta (68).

Teollisuuden sähköistymisessä, tarve verkkojen kehitykselle laitosten ja tehtaiden sisällä on toistaiseksi jäänyt keskusteluissa varsin pieneen rooliin. Kun esimerkiksi lämmitysprosesseja sähköistetään, voi se aiheuttaa tarvetta kasvattaa tehtaan liittymätehoa ja samaan aikaan kehittää tehtaan sisäistä esim. 20 kV:n verkkoa. Liittymätehon kasvatus voi pahimmassa tapauksessa vaatia esimerkiksi 110 kV:n liittymän (ja sen varayhteyksien) hankintaa. Tällä on luonnollisesti merkittävä kustannusvaikutus. Tässä yhteydessä on myös huomioitava kasvava tarve sähköautojen lautaukselle myös teollisuuslaitosten parkkipaikoilla. Onkin tärkeää sähköistymisinvestointeja suunnitella, että otetaan tarkasteluun myös tehtaan sisäisten sähköverkkojen kehitystarpeet riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta takaisinmaksuaika investoinnille ei yllättäen kasva projektin myöhemmässä vaiheessa. Kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi se, miten tehtaan sisäinen verkko on aikanaan rakennettu ja millaisia muutostöitä sähköjärjestelmiin täytyy tehdä, esimerkiksi tuotantotiloihin.

#### 6.4 Teknologian kehitys ja sen jalkautuminen yritystasolle

---

Uuden teknologian käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttaa aina vahvasti sen valmius sekä referenssit muista kohteista tai sovelluksista. Esimerkiksi 2010-luvun alussa elintarviketeollisuudessa investoitiin ensimmäisiin ison mittakaavan teollisuuslämpöpumppuihin. Kaikissa tapauksissa teknologia ei silloin vielä ollut testattua ja koeteltua sekä toisaalta niiden oikeanlainen mitoitus ja erityisesti niiden yhteyteen vaadittava varaaja- tai lämpöakkukapasiteettia ei osattu mitoittaa tarpeen vaatimalla tavalla. Haasteita syntyi erityisesti, kun systeemin toimintapiste muuttui, esimerkiksi prosessimuutosten johdosta. Vuosien aikana näistä on opittu, mutta esimerkki (**Kuva 6.4**) kertoo, millaisia haasteita uuteen teknologiaan voi teollisuudessa liittyä. **Kuvassa 6.4** on havainnollistettu eri teknologian valmiusasteen kehittymistä energiajärjestelmässä. (68)

	T&K		DEMONSTRAATIO		ESI- KAUPALLINEN	TUETTU KAUPALLINEN	KAUPALLINEN
	Perus- tutkimus	Soveltava tutkimus	Prototyypit	Toimivat laitteet	Ensimmäiset kaupalliset sovellukset	Kaupallinen käyttöön- otto kohdistetu- in tukimekanisme- in	Kilpailukykyinen ilman tukia
ENERGIAN- TUOTANTO JA ENERGIAN- TUOTANNON POLTTOAINEET		Geoterminen lämpö	Polttokennot Biohiili	Merituulivoima Pientuulivoima Pyrolyysiöljy		Maatuulivoima Aurinkosähkö Aurinkolämpö Biometaani	Vesivoima Kaasumoottorit Biomassakattilat
ENERGIA- TEHOKKUUS JA KULUTUS				Kotitalouksien ja PK-sektorin kysyntäjousto (sähkö)			Lämpöpumput Lämmön talteenotto LED-lamput Energiatehokas korjausrakentaminen Teollisuuden kysyntäjousto (sähkö)
ENERGIAN VARASTOINTI			Power to gas Faasimuutosvarastot			Sähköakut Vesivarastot kaukolämpöjärjestelmässä	Pumppuvoimalat
LIIKENNE JA LIIKENTEEN POLTTOAINEET		MaaS		Dual-fuel, RCCI Vesielektrolyysi (vety) Vetyautojen tankkaus	Sähköautojen lataus	Bioetanoli Biodiesel Biometaani	

Kuva 6.4 Teknologian valmiusasteen kehittyminen Suomen energiajärjestelmässä. (68)

Osaltaan teknologiaan liittyviä taloudellisia riskejä voidaan pienentää tukipolitiikalla, johon mm. Suomen hallitusohjelmassa oli viittauksia. Tärkeässä roolissa työssä on myös Business Finland, joka myöntää tukia uuden teknologian käyttöönottoon (69).

Myös uuden teknologian jalkauttaminen yritystasolle voi muodostua pullonkaulaksi. Erityisesti haasteita voi muodostua PK-sektorille, jossa resurssit hankkeiden edistämiseen ovat rajalliset. Tähän on kuitenkin mahdollista vaikuttaa palveluntarjontaa tukemalla ja kehittämällä. Yksi mahdollinen kehitysalue on erilaisten ESCO-palvelumallien kehitys, joissa investointi maksetaan saavutetulla hyödyllä.

## Lähdeluettelo

---

1. **Valtioneuvosto. Työ- ja elinkeinoministeriö.** Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia. 2020:52. Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista. *www.julkaisut.valtioneuvosto.fi*. [Online] Helmikuu 2021. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162494/TEM\\_2020\\_52.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162494/TEM_2020_52.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
2. **EU observer.** News. Energy. Analysis. ELENA SÁNCHEZ NICOLÁS. Why is EU off track for 2020 energy efficiency target? 11.2.2020. *www.euobserver.com*. [Online] Helmikuu 2021. <https://euobserver.com/energy/147407>.
3. **EURACTIV.** Frédéric Simon. EU way off the mark on energy savings goal, latest figures show. 7.2.2020. *www.EURACTIV.com*. [Online] Helmikuu 2021. <https://www.euractiv.com/section/energy/news/eu-way-off-the-mark-on-energy-savings-goal-latest-figures-show/>.
4. **Eurooppa-neuvosto. Euroopan unionin neuvosto.** Ilmastonmuutos: mitä EU tekee? *www.consilium.europa.eu*. [Online] Helmikuu 2021. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/#>.
5. **TEM.** Työryhmä etsimään keinoja energia-alan sektori-integraation edistämiseksi. *www.tem.fi*. [Online] <https://tem.fi/-/tyoryhma-etsimaan-keinoja-energia-alan-sektori-integraation-edistamiseksi>.
6. **Valtioneuvosto, Työ- ja elinkeinoministeriö.** Komissio julkisti sektori-integraatiota ja vetyä koskevat strategiat. Tiedote. 8.7.2020. *www.valtioneuvosto.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/komissio-julkisti-sektori-integraatiota-ja-vetya-koskevat-strategiat>.
7. **Valtioneuvosto. Ministry of Economic Affairs and Employment of Finland.** Publications of the Ministry of Economic Affairs and Employment. Energy. 2019:66. Finland's Integrated Energy and Climate Plan. Helsinki 2019. *www.julkaisut.valtioneuvosto.fi*. [Online] Helmikuu 2021. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161977/TEM\\_2019\\_66.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161977/TEM_2019_66.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
8. **TEM.** Järjestelmäintegraatio - energiapolitiikan uusi kärkiteema. *www.tem.fi*. [Online] <https://tem.fi/-/jarjestelmaintegraatio-energiapolitiikan-uusi-karkiteema>.
9. **Ympäristöministeriö.** Kiertotalousohjelma. Kiertotalouden strateginen ohjelma. *www.ym.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://ym.fi/kiertotalousohjelma>.
10. **Ekosuunnittelu.info.** Ekosuunnittelutietoa. *www.ekosuunnittelu.info*. [Online] Helmikuu 2021. <https://ekosuunnittelu.info/ekosuunnittelutietoa>.
11. **Energiateollisuus ry.** Energiateollisuus Ry - Suomalaisten energia-asenteet 2020. *www.energia.fi*. [Online] Helmikuu 2021. [https://energia.fi/files/5536/Energiateollisuus\\_-\\_Energia-asenteet\\_2020\\_media.pdf](https://energia.fi/files/5536/Energiateollisuus_-_Energia-asenteet_2020_media.pdf).
12. **Teknoliateollisuus.** Vasara, Lehtinen ja Laukkanen. Teknoliateollisuuden vähähiilitiekartta, raportti - vaihe 1. Pöyry, 9.1.2020. *www.teknoliateollisuus.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://teknoliateollisuus.fi/sites/default/files/inline->

files/Teknologiasteollisuuden%20tiekartta1\_Teknologiaselvitys%20v%C3%A4h%C3%A4hiiliratkaisuista\_P%C3%B6yry.pdf.

13. **Valtioneuvosto. Liikenne- ja viestintäministeriö.** Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:19. ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti.

Ekologisesti kestäväällä digitalisaatiolla ilmasto- ja ympäristötavoitteisiin.

*www.julkaisut.valtioneuvosto.fi.* [Online] Helmikuu 2021.

[https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162562/LVM\\_2020\\_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162562/LVM_2020_19.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

14. **Robocoast.** Tulevaisuuden tehtaat Suomessa tänään ja huomenna. *www.robocoast.eu.*

[Online] Helmikuu 2021. <https://robocoast.eu/2021/01/20/tulevaisuuden-tehtaat-suomessatanaan-ja-huomenna-2/>.

15. **Kemianteollisuus studio crasman.** Vasara, Nyman, Lehtinen, Akture ja Laukkanen. Roadmap to reach carbon neutral chemistry in Finland 2045, Final report. Pöyry, 06/2020.

*www.kemianteollisuus.studio.crasman.fi.* [Online] Helmikuu 2021.

<https://kemianteollisuus.studio.crasman.fi/Kemianteollisuusroadmap.pdf>.

[https://kemianteollisuus.studio.crasman.fi/file/dl/i/0Gtl\\_g/kBevzvlQojOC9zfO-Ztyug/Kemianteollisuusroadmap.pdf](https://kemianteollisuus.studio.crasman.fi/file/dl/i/0Gtl_g/kBevzvlQojOC9zfO-Ztyug/Kemianteollisuusroadmap.pdf).

16. **Metsäteollisuus.** Vasara, Patronen, Lehtinen ja Laukkanen. Tiekartta metsäteollisuudelle vähähiilisyssä yhteiskunnassa, osa: päästöt. Pöyry, päästöosion raportti 14.5.2020.

*www.forestindustries.fi.* [Online] Helmikuu 2021.

[https://www.forestindustries.fi/uploads/2020/06/15161007/metsateollisuus\\_ilmastotiekartta\\_AFRY\\_paaostoosuus\\_raportti\\_12062020.pdf](https://www.forestindustries.fi/uploads/2020/06/15161007/metsateollisuus_ilmastotiekartta_AFRY_paaostoosuus_raportti_12062020.pdf).

17. **Energiateollisuus ry.** Energia-alan vähähiilisyystiekartta. *www.energia.fi.* [Online] Helmikuu

2021. [https://energia.fi/files/4946/Energia-alan\\_vahahiilisyystiekartta\\_2020.pdf](https://energia.fi/files/4946/Energia-alan_vahahiilisyystiekartta_2020.pdf).

18. **Elintarviketeollisuusliitto ETL.** Elintarviketeollisuuden tiekartta vähähiilisyteen, 2020.

*www.etl.fi.* [Online] Helmikuu 2021. <https://www.etl.fi/media/aineistot/nettisisaltojen-liitteet/elintarviketeollisuuden-tiekartta-vahahiilisyteen.pdf>.

19. **Fingrid.** Verkkovision skenaarioluonnokset. *www.fingrid.fi.* [Online]

[https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid\\_verkkovision\\_skenaarioluonnokset.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_verkkovision_skenaarioluonnokset.pdf).

20. **Motiva.** Tuotannon hukkalämpö hyödyksi. *www.motiva.fi.* [Online]

[https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon\\_hukkalampo\\_hyodyksi.pdf](https://www.motiva.fi/files/8501/Tuotannon_hukkalampo_hyodyksi.pdf).

21. **Benjamin Zühlsdorf, Danish Technological Institute Michael Bantle, SINTEF Brian**

**Elmegaard.** Book of presentations of the 2nd Symposium on High-Temperature Heat Pumps.

s.l. : Technical University of Denmark, 2019.

22. **Energiateollisuus.** *Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta.* 2012.

23. **Motiva.** Esiselvitys - Ylijäämälämmön potentiaali teollisuudessa, 2019. *www.motiva.fi.*

[Online] Helmikuu 2021. [https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys\\_-\\_Yljaamalammon\\_potentiaali\\_teollisuudessa.pdf](https://www.motiva.fi/files/16214/Esiselvitys_-_Yljaamalammon_potentiaali_teollisuudessa.pdf).

24. **EEIP.** Thomas Nowak. El potencial técnico de las bombas de calor grandes e industriales.

[Online] Helmikuu 2021. <https://ee-ip.org/es/article/the-technical-potential-of-large-and-industrial-heat-pumps-1122>.

25. **TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö.** Jenni Patronen ja Heidi Uimonen. Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. AFRY, Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle, 09/2020. [www.tem.fi](http://www.tem.fi). [Online] Helmikuu 2021. [https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4\\_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4\\_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073](https://tem.fi/documents/1410877/2897650/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf/88a0e63b-e2b6-eef9-1b4c-8c5411a0e531/EEDselvitys+l%C3%A4mmityksest%C3%A4_loppuraportti+2020.pdf?t=1601627038073).
26. *Model based quantification of the contribution of industrial heat pumps to the European climate change mitigation strategy.* **Wolf, S., Blesl, M.** Stockholm : s.n., 2016. Proceedings of the ECEEE Industrial Efficiency Conference 2016. Berlin, 12.-14.09.2016.
27. **Energiateollisuus ry.** Energiavuosi 2019 Kaukolämpö, 20.1.2020. [www.energia.fi](http://www.energia.fi). [Online] Helmikuu 2021. [https://energia.fi/files/4402/Energiavuosi2019\\_Kaukolampo\\_MEDIKUVAT\\_20200120.pdf](https://energia.fi/files/4402/Energiavuosi2019_Kaukolampo_MEDIKUVAT_20200120.pdf).
28. **TEM, Työ- ja elinkeinoministeriö.** Yhteenvetoraportti toimialojen vähähiilitiekartoista ilmestynyt. *Mikko Paloneva ja Saana Takamäki. Yhteenvetoraportti toimialojen vähähiilitiekartoista, 22.10.2020.* [Online] Helmikuu 2021. <https://tem.fi/-/yhteenvetoraportti-toimialojen-vahahiilitiekartoista-ilmestynyt>. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-525-6>.
29. **Valmet.** OptiDry Coat dryers. [www.valmet.com](http://www.valmet.com). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/coating-drying/air-dryers/>.
30. **Metsäteollisuus ry.** Metsäteollisuus ry, Fredrik Blomfelt ja Metsä Group, Jari Voutilainen. Metsäteollisuus jo melkein irti fossiilisista - Loppuja karistetaan vauhdilla, 28.1.2020. [www.tem.fi](http://www.tem.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://tem.fi/documents/1410877/17156670/Mets%C3%A4teollisuus.pdf/c78d0591-ecbc-dc14-d5b1-1d8aee679e7b/Mets%C3%A4teollisuus.pdf>.
31. **Metsä Group.** Metsäteollisuus on energiätehokkaiden toimijoiden toimiala. [www.metsagroup.com](http://www.metsagroup.com). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.metsagroup.com/fi/Media/Pages/Case-Metsateollisuus-on-energiatehokkaiden-toimijoiden-toimiala.aspx>.
32. **Niemelä, Johan.** *Teollisuuden hukkalämmön hyödyntäminen - Case: Lastulevytehtaan paluulauhde. Diplomityö. Energiateknikka.* Lappeenranta, 2020 : Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT, <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020042822812>.
33. **Kemianteollisuus ry.** Uutishuone, juttusarjat, hiilineutraali kemia. Matti Remes. Kiilto: Iso tehdas lämpenee hukkalämmöllä. [www.kemianteollisuus.fi](http://www.kemianteollisuus.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.kemianteollisuus.fi/fi/uutishuone/juttusarjat/hiilineutraali-kemia/kiilto/>.
34. **HYBRIT: SSAB, LKAB, Vattenfall.** Fossil-Free Steel - a mutual opportunity. A fossil-free future. [www.hybritdevelopment.se](http://www.hybritdevelopment.se). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.hybritdevelopment.se/en/a-fossil-free-future/>.
35. **OVAKO.** Ovako Imatra Oy Ab:lle vuoden 2020 energianerokas - tunnustus. [www.ovako.com](http://www.ovako.com). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.ovako.com/fi/uutiset/uutiset-ja-tiedotteet/ovakon-lehdistotiedotteet/?releaseId=C9F58D44AD745D4C>.
36. **Energiätehokkuussopimukset.** Liittyjän tarina. Valio: Lämmön talteenotossa hyödyntämätöntä potentiaalia, 1.12.2020. [www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi](http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi).

- [Online] Helmikuu 2021. <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/valio-lammon-talteenotossa-hyodyntamatonta-potentiaalia/>.
37. **Metallinjalostajat ry.** Suomen metallinjalostuksen tutkimusstrategia, 13.10.2020. [www.metallinjalostajat.fi](http://www.metallinjalostajat.fi). [Online] <https://www.metallinjalostajat.fi/fi/suomen-metallinjalostuksen-tutkimusstrategia>.
38. **Business Finland.** Tiedote 30.11.2020. Kolme uutta veturiekosysteemiä käyntiin – Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta Suomessa vahvistuu merkittävästi. [www.businessfinland.fi](http://www.businessfinland.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.businessfinland.fi/ajankohtaista/uutiset/tiedotteet/2020/kolme-uutta-veturiekosysteemia-kayntiin--tutkimus--kehitys--ja-innovaatiotoiminta-suomessa-vahvistuu-merkittavasti>.
39. **Energiauutiset.** Petri Sallinen. Markkinaehtoiset investoinnit purevat. Katoava energiaturve. [www.energiiauutiset.fi](http://www.energiiauutiset.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.energiiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/katoava-energiaturve.html>.
40. **Valtioneuvoston hankeikkuna.** Sektori-integraatiotyöryhmän väliraportti 29.1.2021. Keinoja energia-alan sektoriintegraation edistämiseksi. [www.api.hankeikkuna.fi](http://www.api.hankeikkuna.fi). [Online] [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/205c3516-8910-4ab5-9113-cf523bc409ff/69be1508-0647-445b-aa73-5eaae44fff16/RAPORTTI\\_20210129082806.pdf](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/205c3516-8910-4ab5-9113-cf523bc409ff/69be1508-0647-445b-aa73-5eaae44fff16/RAPORTTI_20210129082806.pdf).
41. **Osto&logistiikka.** Esko Lukkari. Trukki-indeksi ylsi ennätukseen - Vuoden 2008 taso ylittyi viimeinkin. 9.10.2018. [www.ostologistiikka.fi](http://www.ostologistiikka.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/sisalogistiikka/trukki-indeksi-ylsi-ennatukseen>.
42. **Osto & Logistiikka.** Juho Paavola. Talous ja trukit nostavat toisiaan - Finanssikriisistä yskimisensä aloittanut trukkimarkkina on nousemassa huippuvuosien tasolle. 5.3.2018. [www.ostologistiikka.fi](http://www.ostologistiikka.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/sisalogistiikka/talous-ja-trukit-nostavat-toisiaan>.
43. **Fortum.** Eero Vartiainen. Vetytalous tulee – ennemmin tai myöhemmin. 4.9.2020. [www.fortum.fi](http://www.fortum.fi). [Online] <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>.
44. **Lahtinen, Lauri.** *Vedyn tuotanto pienen kokoluokan elektrolyysilaitteilla. Kandidaattityö.* Lappeenranta : LUT, 2019.
45. **LUT University. St1. Wärtsilä.** LUT University Petteri Laaksonen, St1 Mika Aho, Wärtsilä Veikko Kortela. Hiilineutraali Suomi. 16.9.2020. [www.lut.fi](http://www.lut.fi). [Online] <https://www.lut.fi/documents/10633/586301/Hiilineutraali+Suomi+raportti+18.9.2020.pdf/4e334624-3b24-4da4-b98c-59eb36c5da73>.
46. **Tilastokeskus.** Tilastot. Teollisuuden energian käyttö. Julkaistu 12.11.2020. Teollisuuden energiankäyttö väheni 2 prosenttia vuonna 2019. [www.stat.fi](http://www.stat.fi). [Online] Helmikuu 2021. [http://www.stat.fi/til/tene/2019/tene\\_2019\\_2020-11-12\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/tene/2019/tene_2019_2020-11-12_tie_001_fi.html). ISSN=1798-775X.
47. **Lehtonen, Aki.** *Kriittinen näkökulma hiilidioksidin raaka-ainekäyttöön metanolin valmistuksessa. Diplomityö. Konetekniikan laitos.* . Helsinki : Aalto-yliopisto, 6.4.2019. s. 50.
48. **Kemianteollisuus.studio.crasman.** Vasara, Nyman, Lehtinen, Akture ja Laukkanen. Roadmap to Reach Carbon Neutral Chemistry in Finland 4045. Final Report - Executive Summary. Pöyry. 06/2020. [www.kemianteollisuus.studio.crasman.fi](http://www.kemianteollisuus.studio.crasman.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://kemianteollisuus.studio.crasman.fi/file/dl/i/uU5LVw/WnO5roKpmlavGNz8iYxLUA/Kemianteollisuusroadmapexecutivesummary.pdf>.

49. **Business Finland.** Juhani Laurikko, Jari Ihonen, Jari Kiviaho, Olli Himanen, Robert Weiss, Ville Saarinen, Janne Kärki ja Markus Hurskainen. National Hydrogen Roadmap for Finland. 11/2020. [www.businessfinland.fi](http://www.businessfinland.fi). [Online] [https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf\\_national\\_hydrogen\\_roadmap\\_2020.pdf](https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf). ISSN 1797-7339. ISBN 978-952-457-657-4.
50. **Toyota Way.** Pekka Karvinen. Kohti vety-yhteiskuntaa. 15.6.2020. [www.toyotaway.fi](http://toyotaway.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://toyotaway.fi/ymparisto/kohti-vety-yhteiskuntaa>.
51. **Helsingin sanomat HS.** Minna Nalbantoglu. Maailman ensimmäinen vetyjuna aloitti liikennöinnin Pohjois-Saksassa – päästöinä vain vettä. 17.9.2018. [www.hs.fi](http://www.hs.fi). [Online] <https://www.hs.fi/talous/art-2000005831388.html>.
52. **Tekniikka&Talous.** Mikko Pulliainen. Airbus julkisti kolme nollapäästöistä lentokonekonseptia - kaikki luottavat vetyyn polttoaineena. 21.9.2020. [www.tekniikkatalous.fi](http://www.tekniikkatalous.fi). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/airbus-julkisti-kolme-nollapaastoista-lentokonekonseptia-kaikki-luottavat-vetyyn-polttoaineena/78a16c02-a80c-4f75-958b-848fb55a149e>.
53. **Uusi Teknologia.** Laivoihin viritetään vety- ja polttokennotekniikoita. 23.5.2019. [www.uusiteknologia.fi](http://www.uusiteknologia.fi). [Online] <https://www.uusiteknologia.fi/2019/05/23/laivoihin-viritetaan-vety-ja-polttokennotekniikoita/>.
54. **ABB.** Klaus Vänskä. Polttokennotekniikka ennakoi täysin päästötöntä meriliikennettä. 3.12.2018. [www.abb-conversations.com](http://www.abb-conversations.com). [Online] Helmikuu 2021. <https://www.abb-conversations.com/fi/2018/12/polttokennotekniikka-ennakoi-taysin-paastotonta-meriliikennetta/>.
55. **SSAB.** Ensimmäinen fossiilivapaissa teräksissä HYBRIT-tekniikan avulla. SSAB on ottanut johtoaseman matkalla kohti fossiilivapaata terästeollisuutta. [www.ssab.fi](http://www.ssab.fi). [Online] <https://www.ssab.fi/SSAB-konserni/Kestava-kehitys/Kestavat-toiminnot/HYBRIT>.
56. **Suomen Kaasuyhdistys.** Kaasu Suomessa. Kaasutilastot. [www.kaasuyhdistys.fi](http://www.kaasuyhdistys.fi). [Online] <https://www.kaasuyhdistys.fi/kaasu-suomessa/tilastot/>.
57. *“Green” path from fossil-based to hydrogen economy: An overview of carbon-neutral Technologies.* **Muradov, N. Z. and Veziroglu, T. N.** [toim.] Veziroglu N. s.l. : International Journal of Hydrogen Energy, 2008, Osat/vuosik. Vol. 33. Pp. 6804–6839. Elsevier. ISSN: 1364-0321.
58. **Decourt, B. ja Debarre, R.** *Electricity Storage Factbook.* Pariisi : Schlumberger Business Consulting Energy Institute, 2013.
59. **Valtioneuvosto.** Marinin hallitus. Hallitusohjelma. 3 Strategiset kokonaisuudet. 3.1 Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Suomella on hyvät mahdollisuudet kestävä kehityksen mukaiseen ekologiseen jälleenrakentamiseen. [www.valtioneuvosto.fi](http://www.valtioneuvosto.fi). [Online] <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>.
60. **Strateginen tutkimus. Smart Energy Transition. EL-TRAN.** S. Honkapuro et al. Keskustelupaperi 26.9.2017. Energijärjestelmä tarvitsee joustavuutta lisääviä ohjauskeinoja – voisiko dynaaminen sähkövero olla vaihtoehto? LTY, TTY, AYKK, SYKE, Strateginen tutkimus, Hiilineutraali ja resurssitehokas Suomi –ohjelma. [www.smartenergytransition.fi](http://smartenergytransition.fi). [Online] Helmikuu 2021. [http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2017/09/Keskustelupaperi-sa%CC%88hko%CC%88verosta\\_26092017\\_final.pdf](http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2017/09/Keskustelupaperi-sa%CC%88hko%CC%88verosta_26092017_final.pdf).

61. **Valtioneuvosto.** Hallituksen ilmastokokous 3.2.2020. Kestävän verotuksen tiekartta. *www.vnk.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://vnk.fi/documents/10616/20764082/kestavan+verotuksen+tiekartta+03022020.pdf>.
62. **Energiateollisuus.** Kati Takala. Mihin säättövoimaa tarvitaan? (Linjakset. Energiapolitiikka. Toimivat markkinat. Säättövoima). *www.energia.fi*. [Online] Helmikuu 2021. [https://energia.fi/linjaukset/energiapolitiikka/toimivat\\_markkinat/saatovoima](https://energia.fi/linjaukset/energiapolitiikka/toimivat_markkinat/saatovoima).
63. **Valtioneuvosto. Työ- ja elinkeinoministeriö.** Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia. 2019. Toimenpidekortit - Toimenpiteiden yksityiskohtaiset kuvaukset. Energiatieteiden tutkimuskeskuksen raportin erillinen liite. *www.vnk.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://vnk.fi/documents/1410877/15020328/Toimenpiteet+Liite+TR+53+2019.pdf/eb86ca0e-9823-cd03-cc06-1c712cb1614f/Toimenpiteet+Liite+TR+53+2019.pdf?t=1581412753000>.
64. **Valtioneuvosto. Työ- ja elinkeinoministeriö.** Sähköntuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050. 22.2.2019. *www.tem.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://tem.fi/documents/1410877/2132100/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+22.2.2019/8d83651e-9f66-07e5-4755-a2cb70585262/S%C3%A4hk%C3%B6ntuotannon+skenaariolaskelmat+vuoteen+2050+%E2%80%93selvitys+22.2.2019.pdf>.
65. **FINGRID.** Verkkovision skenaario-luonnokset. *www.fingrid.fi*. [Online] Helmikuu 2021. [https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkonkehittaminen/fingrid\\_verkkovision\\_skenaarioluonnokset.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkonkehittaminen/fingrid_verkkovision_skenaarioluonnokset.pdf).
66. **Energia.** Lauri Kumpulainen et al. Roadmap 2025 - Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & Roadmap 2025. Vaasan yliopisto, Oy Merinova Ab, LTY, TTY. *www.energia.fi*. [Online] Helmikuu 2021. [https://energia.fi/files/786/Roadmap\\_2025\\_loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/786/Roadmap_2025_loppuraportti.pdf).
67. **Karjalainen, Sirkka Heinonen ja Joni.** *SÄHKÖISTYMINEN VERTAISYHTEISKUNNASSA - Uusi tarina Suomen tulevaisuudelle*. s.l. : TUTU-JULKAISUJA 1/2018 Tulevaisuuden tutkimuskeskus Turun yliopisto, 2018.
68. **Energiaviestit.** Ari J. Vesa. Suomalaiset energiaverkot maailman huippua. 24.2.2020 (Juttuja). *www.energiaviestit.fi*. [Online] Helmikuu 2021. <https://www.energiaviestit.fi/juttuja/suomalaiset-energiaverkot-maailman-huippua.html>.
69. **SITRA.** Cleantech-teknologiat lisäävät työllisyyttä ja parantavat vaihtotasetta. *www.sitra.fi*. [Online] [https://media.sitra.fi/2017/02/23215651/Cleantech-teknologiat\\_lisaavat\\_tyollisyytta\\_ja\\_parantavat\\_vaihtotasetta.pdf](https://media.sitra.fi/2017/02/23215651/Cleantech-teknologiat_lisaavat_tyollisyytta_ja_parantavat_vaihtotasetta.pdf).



# Liite 1: Haastattelukysymykset

---

Haastattelu toteutetaan Teamsin välityksellä ja aikaa siihen varataan yksi tunti. Haastatteluun osallistuvat Elomaticin asiantuntija(t) ja mahdollisesti Motivan edustaja.

## *Valmistautuminen*

Alla on esitetty haastattelun pääkysymykset, joihin voitte tutustua ennen haastattelua. Teidän näkemyksiänne toivomme jokaiseen kysymykseen. Vastauksissa toivomme näkemyksiänne erityisesti oman toimintanne näkökulmasta.

## *Haastattelun toteutus*

Haastattelijat hoitavat haastattelun dokumentoinnin. Haastattelun muistio lähetetään haastattelijalle hyväksyttäväksi haastattelun jälkeen.

## **Yleiset kysymykset**

1. Mitä ajatuksia teollisuuden sähköistyminen herättää?
2. Miten näet energiatehokkuuden merkityksen nyt ja tulevaisuudessa?

## **Syventävät kysymykset**

3. Mitkä teollisuuden polttoaineita käyttävät tuotantoprosessit voidaan sähköistää ja miten?
4. Mitä tapahtuu energiatehokkuudelle ja/tai ominaisenergiankulutukselle kunkin em. osaprosessin sähköistämisen?
5. Mitkä ovat sähköistymisen vaikutukset hukkalämmön syntymiseen nykytilanteeseen verrattuna kunkin em. osaprosessin kohdalla?
6. Miten prosessien sähköistäminen vaikuttaa kokonaisuudessaan lämpöpumppuratkaisujen tarpeeseen?
7. Arvioi monistettavissa olevat sähköistämiskäytännöt koskien omaa toimialaasi / asiakaskuntaasi / Suomen teollisuutta. Arvio mahdollisuuksien mukaan suuruusluokkia eri ratkaisuille.
8. Arvioi monistettavissa olevat hukkalämmön hyödyntämiskäytännöt koskien omaa toimialaasi / asiakaskuntaasi / Suomen teollisuutta. Arvio mahdollisuuksien mukaan suuruusluokkia eri ratkaisuille.

## **Yleiset kommentit**

9. Aiheeseen liittyvät vapaat kommentit Motivalle.