

Tavoitteena vähähiilinen kaukolämpö

Selvitys kuntien energiaratkaisuista
Vantaalla ja Tampereella.

Sisällys

Esipuhe.....	3
Tiivistelmä.....	4
Summary.....	5
1. Selvityksen lähtökohdat.....	6
2. Johdanto.....	7
2.1 Kansallinen ilmasto- ja energiapolitiikka: tavoitteet ja kipupisteet.....	7
2.2 Kansainvälinen ilmasto- ja energiapolitiikka.....	10
2.3 Metsäbiomassan energiakäyttö ja politiikkaohjaus.....	11
2.4 Kaukolämmön tuotannon tulevaisuuden kehityssuuntia ja mahdollisuuksia	14
2.5 Keskeiset toimintaympäristön muutokset.....	19
3. Kuntatarkastelut	19
3.1 Vantaa	19
3.2 Tampere.....	23
4. Kaupunkien ratkaisujen arviointi.....	27
4.1 Vantaa: jätteen poltosta kohti energian kiertotaloutta?	27
Keskeisten ympäristövaikutusten arviointi.....	31
4.2 Tampere: irti poltosta ja kohti sähköistyvää kaukolämpöä?	34
Keskeisten ympäristövaikutusten arviointi.....	40
5. Johtopäätökset	42
6. Lähteet.....	47
7. Liitteet.....	56

Tekijä: Päivi Tikkakoski (Suomen luonnonsuojeluliitto, Helsingin yliopisto)

Yhteydenotot:

Suomen luonnonsuojeluliitto, Itälahdenkatu 22 b A, 00210 Helsinki.

Puh. 09 228 08210 (arkisin 9-15), email: toimisto@sll.fi

ISBN 978-952-9693-81-8

Esipuhe

Suomen luonnonsuojeluliiton tavoite on ilmastokriisin ja luontokadon pysäyttäminen. Haluamme vauhdittaa siirtymää hiilinegatiiviseen ja luontopositiiviseen yhteiskuntaan sosiaalisesti oikeudenmukaisella tavalla. Tämä edellyttää aidosti kestävästä siirtymästä ja irtikytkentää luonnonvarojen ylikulutuksesta.

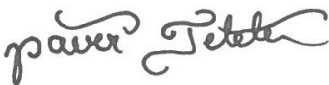
Tämän selvityksen tarkoitus on tuoda esiin kaukolämmön mahdollisuuksia ja esteitä siirtymässä vähäpäästöisyteen. Huolimatta uusiutuvan sähkön, ympäristö- ja hukkalämmön kasvavasta potentiaalista, kaukolämmön tuotanto on Suomessa yhä vahvasti kiinni polttamiseen perustuvissa teknologioissa.

Suomessa puupolttoaineet ovat merkittävä energianlähde fossiilisten polttoaineiden korvaajana. Puuta on pidetty kestäväenä, kotimaisena ja hiilineutraalina energianlähteenä. Luopuminen fossiilisista polttoaineista ja turpeesta on lisännyt sen käyttöä. Tämä on johtanut puupolttoaineiden suosimiseen kansallisessa ilmastopoliitikassa, vaikka tutkijat ovat jo pitkään tuoneet esiin puupolttoaineisiin liittyviä ongelmia. Esimerkiksi vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ja hiilinieluihin ovat jääneet huomioon ottamatta.

Selvityksemme punaisena lankana on havainto, että ilmastotavoitteiden saavuttamisen kannalta kaukolämmön politiikkaohjauksessa on korjattavaa. Puun energiakäyttö hidastaa mitä todennäköisimmin muun uusiutuvan energian ja teknologioiden investointeja. Näin on erityisesti hiilinegatiivisessa lämmöntuotannossa, johon moni kaupunki pyrkii.

Selvityksen tekeminen alkoi keväällä 2023. Sen kohteiksi valikoitui kaksi erilaista, mutta tavoitteiltaan edistyksestä kaupunkienergiayhtiötä: Vantaa ja Tampere. Yritysten lähtökohdat ovat hyvin erilaiset, mutta molempien tavoitteena on edistää hiilineutraalia Suomea. Vastaavasti Suomen luonnonsuojeluliitto haluaa omalla toiminnallaan kirittää yrityksiä sekä tukea kansallista keskustelua keskeisten haasteiden tunnistamiseksi ja ratkaisemiseksi. Kiitämme yhtiöitä hyvästä yhteistyöstä. Olemme myös ilahtuneita, että työn aikana Tampereen Energia on katsonut tarpeelliseksi päivittää omaa kaukolämpöselvitystään huomioimaan paremmin toimintaympäristön muutokset.

Toivomme, että tästä selvityksestä on hyötyä kansalaiskeskustelulle sekä Suomen ilmasto- ja energiapolitiikan kehittämiseksi. Haluamme myös jatkossa edistää yhteisiä tavoitteita vuoropuhelussa eri tahojen ja toimijoiden kanssa.



Päivi Tikkakoski
Tekijä



Tapani Veistola
Toiminnanjohtaja

Kiitokset:

Hanna Aho, Antti Halkka, Tuomas Vanhanen, Sampo Pihlainen, Bernt Nordman, Jari Natunen ja Anna Ikonen.

Tiivistelmä

Kaukolämmön päästövähennyksillä on keskeinen merkitys monen ison kunnan hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiselle. Puupolttoaineet ja jätteen energiakäyttö ovat suureksi osaksi korvanneet fossiiliset polttoaineet, kuten kivihiili, öljy, maakaasu ja turve, kaukolämmön tärkeimpänä energianlähteenä. Kehityksen taustalla on ilmastotavoitteiden ja päästökaupan kiristyminen. Koska puupolttoaineisiin tai jätteen energiakäyttöön ei toistaiseksi kohdistu päästökaupan piiriin kuuluvien polttoaineiden tapaan päästöjä hillitsevää politiikkaohjausta, on niiden lisääntyvällä käytöllä vaikutuksia sekä maankäyttösektoriin että taakanjakosektoriin.

Energiayhtiöiden puupolttoaineet ovat peräisin sekä suoraan energiapuuksi myytävästä (pääosin) harvennuspuusta että metsäteollisuuden sivuvirroista. Viime vuosina polttoon päätyvän puun osuus on ollut noin 60 prosenttia, minkä lisäksi suurin osa kaikista puutuotteista on lyhytikäisiä, jolloin niiden sisältämä hiili vapautuu nopeasti ilmakehään. Puun energiakäytöllä on keskeinen kytkös metsäsektorin resurssien käyttöön, ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta tärkeisiin hiilinieluihin sekä toisaalta luonnon monimuotoisuuteen. Puupolttoaineiden hankintaan ja riittävyteen kohdistuu merkittäviä kestävyysaasteita, joita Venäjän tuonnin päättymisen myötä kasvanut kysyntä on korostanut.

Kaukolämmön vähähiilisyden kannalta tärkeän kehityssuunnan tarjoaa yhteiskunnan nopeutuva sähköistyminen sekä entistä hajautetumpi energiajärjestelmä, jossa ympäristö- ja hukkalämpö sekä kulutuksen ja tuotannon joustokeinot ovat keskeisessä roolissa.

Selvityksessä tarkasteltujen kaupunkienergiayhtiöiden, Vantaan Energian ja Tampereen Energian (ent. Sähkölaitos) tavoitteena on saavuttaa ensin hiilineutraalius sekä pian sen jälkeen hiilinegatiivisuus (ks. luku 3. Kuntatarkastelut). Kaupunkienergiayhtiöiden suunnitelmassa korostuu pyrkimys sopeutua kehittyvään ilmasto- ja ympäristösääntelyyn sekä toimintaympäristön muutoksiin ottamalla uusia teknologioita käyttöön niin kaukolämmön sähköistymisen (mm. sähkökattilat ja lämpövarastot) kuin entistä tehokkaamman hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen osalta ja toisaalta turvautumalla hiilidioksidin talteenottoon, jonka avulla yhtiöt tavoittelevat hiilinegatiivisuutta. Käytännössä molemmat yritykset luottavat ilmasto- ja ympäristöratkaisuisaan pitkälti teknologisiin nieluihin, vaikka teknologian kaupallistumisen aikatauluun ja ilmastohyötyjen toteutumiseen liittyy yhä epävarmuuksia.

Selvityksen yhtenä keskeisenä huomiona on kansallisen ilmastopolitiikan poukkoilevuus ja vain osittainen kiinnittyminen tutkittuun tietoon. Näin syntyvä epävarmuus lisää todennäköisesti kaukolämpösektorin toimijoiden riskejä, sillä toimijat eivät voi tietää miten seuraavan hallituskauden toimet joko edistävät tai hankaloittavat pitkän aikavälin investointien kannattavuutta. Lisäksi korostuu taloudellisten ohjauskeinojen puutteellisuus, minkä vuoksi polttoon perustumattomien teknologioiden käyttöönotto on ollut verrattain hidasta. Siirtymän keskeisenä esteenä on puupolttoaineiden käytön verotuki ja jätteen energiakäytön osalta vero-ohjauksen puuttuminen sekä kiertotalouden rakenteelliset ongelmat, erityisesti puutteellinen tuottaja- ja kuluttajavas- tuun sääntely kierrätykseen kannustavaksi.

Summary

Low-carbon district heating is central for achieving carbon neutrality in many large municipalities. Wood fuels and the energy use of waste have replaced fossil fuels such as coal, oil, natural gas, and peat, as the most significant energy source for district heating. The main driver for this development has been tightening climate goals and emissions trading. Since wood fuels or the energy use of waste are not subject to policy guidance that curbs emissions similar to fuels covered by emissions trading, their increasing use has effects on both the land use sector and the effort sharing sector.

Energy companies' wood fuels come [mainly] from thinning wood, which is sold directly as energy wood, and from the forest industry side streams. In recent years, the share of wood that ends up being burnt has been about 60 percent, and in addition, the majority of all wood products are short-lived. This means that the carbon contained is quickly released into the atmosphere. The energy use of wood is linked to how resources are used in the forest sector, to the carbon sinks that are crucial for climate change mitigation, and not least for biodiversity. The procurement and sufficiency of wood fuels face significant sustainability challenges, which the increased demand following the end of Russian imports has highlighted.

For achieving low carbon of district heating, an important development is provided by the accelerating electrification of society and a more decentralized energy system, where environmental and waste heat and flexible means of consumption and production play a central role.

The goal of the energy companies examined in this report, Vantaa Energy and Tampere Energy (formerly Sähkölaitos), is to first achieve carbon neutrality and shortly thereafter carbon negativity (see chapter 3. for Municipal reviews). The plans of the energy companies emphasize their efforts to adapt to developing climate and environmental regulation and changes in the operating environment by introducing new technologies both in terms of the electrification of district heating (e.g. electric boilers and heat storage) and more efficient utilization of waste and environmental heat, and on the other hand by resorting to the carbon dioxide capture, with which the companies aim to achieve carbon negativity. In practice, both companies rely on technological sinks in their climate and environmental solutions, although there are still uncertainties regarding the schedule of the technologies' commercialization and the realization of climate benefits.

One of the major points highlighted in the report is the inconsistency of the national climate policy and the only partial adherence to scientific information. The resulting uncertainty is likely to increase risks for businesses in the district heating sector, as the actors cannot know how the next Government's actions will either promote or hinder the profitability of long-term investments. In addition, the lack of economic steering is highlighted, which has impacted the slow implementation of non-combustion technologies. Consequently, the tax exemptions of wood fuels and the lack of financial steering for waste incineration are critical impediments to the clean energy transition, as well as the remaining structural problems of the circular economy, especially the insufficient regulation of producer and consumer responsibility to encourage recycling.

1. Selvityksen lähtökohdat

Kaukolämpö eli keskitetty lämmöntuotanto ja -jakelu on yleisin lämmitysmuoto Suomessa. Vuonna 2018 noin 46 prosenttia Suomen asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergiasta tuotettiin kaukolämmöllä ja kaukolämpöverkko on kaikkiaan 166 Suomen kunnassa. Kaukolämpöä tuotetaan ns. sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa (CHP) ja erillisissä lämpölaitoksissa. [Motiva 2022] Kaukolämmön etuja ovat sen yksittäisiä järjestelmiä parempi energiatehokkuus, kokonaistaloudellisuus sekä toimintavarmuus [Mäkelä ja Tuunanen 2015]. Kaukolämmön ympäristöystävällisyyttä voidaan perustella sen paremman energiatehokkuuden ja alueintegraation kautta¹, jolloin päästövähennyksiä voidaan tehdä järjestelmähyötyjen kautta esimerkiksi liittämällä useita lämmönlähteitä olemassa olevaan verkkoon, kierrättämällä ja varastoimalla lämpöä kustannustehokkaasti [Sorknæs ym. 2020, Werner 2017]. Kaukolämmön ilmasto- ja ympäristöystävällisyyden kannalta keskeinen määrittävä tekijä on kuitenkin käytettävä polttoainevalinta [ks. Rezaie & Rosen 2012, Werner 2017]. Kunnissa maantieteellisesti tarkasteltuna kaukolämpö on liikenteen ja maatalouden ohella yksi suurimmista kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista [Auvinen ym. 2021], mutta vain kaukolämpö on suoraan kuntien päätäntävällässä eli kunnat voivat toiminnallaan vaikuttaa päästöjen muodostumiseen. Yleisesti kaukolämpöön kohdistuvat päästövähennykset ovat keskeisiä sekä kansallisten että kuntien omien ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi [Reda ym. 2021]. Kaukolämmön tuotannon vähähiilisuuden kannalta keskeisiä määrittäviä tekijöitä ovat paikalliset energialähteet, infrastruktuuri, teollisuus ja kaupunkirakenne sekä sijainti. Kaukolämmön ominaispiirteitä ovat sen tuotannon ja kulutuksen suuri kausivaihtelu, jolloin vähähiilisyys edellyttää ratkaisuja monipuolisesti esim. erilaisista energiavarastoista, hukkalämpöihin ja erilaisten ympäristölämpöjen hyödyntämiseen esimerkiksi lämpöpumppujen avulla.

Tässä selvityksessä on tarkasteltu kahden kunnan, Vantaan ja Tampereen, tavoitteita ja suunnitelmia kaukolämmön vähähiilisuuden saavuttamiseksi. Selvityksessä pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- **Mitä esteitä ja mahdollisuuksia kunnissa on tunnistettu siirtymässä fossiilisten polttoaineiden ja turpeen poltosta polttoon-perustumattomaan lämmöntuotantoon?**
- **Mitkä tekijät ohjaavat kuntien energiaratkaisuja?**
- **Ovatko kuntien kohtaamat esteet teknologisia, taloudellisia vai onko ohjauseinoissa puutteita?**

Kysymysten avulla pyrittiin kartoittamaan niin yleisiä mahdollistavia tekijöitä kuin kuntien kohtaamia haasteita siirtymässä vähähiiliseen kaukolämpöön. Selvityksen aineisto perustuu olemassa oleviin tutkimusraportteihin ja muihin kirjallisiin aineistoihin sekä kuntakohtaisiin asiantuntijahaastatteluihin [ks. liite 1]. Lisäksi kuntien energiaratkaisujen mahdollisia ympäristövaikutuksia on arvioitu soveltuvilta osin.

Selvityksen rakenne on seuraava. Osio 2 sisältää johdannon Suomen ilmasto- ja energiapolitiikan kannalta keskeisiin tavoitteisiin ja haasteisiin sekä sivuaa lyhyesti kansainvälistä ilmastopolitiikkaa [erit. EU] ja sääntelyä, joka keskeisesti liittyy tässä käsitelyyn aihealueeseen. Lisäksi tuodaan esiin joitakin kaukolämmön mahdollisia kehityssuuntia, painottaen erityisesti kaupunkien suunnitelmissa esiintyviä ratkaisuja. Osiossa 3 kuvataan lyhyesti kunkin kaupungin ilmastotavoitteet ja tähän liittyen kaupunkienergian suunnitelmat kaukolämmön vähähiilisuuden ratkaisujen toimeenpanemiseksi suhteessa nykytilaan. Osiossa 4 suunnitelmia arvioidaan kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen perusteella. Analyysin perusteella pyritään tunnistamaan valittujen ratkaisujen ja suunnitelmien haasteita, mahdollisuuksia sekä muita keskeisiä ympäristö- ja ilmastovaikutuksia. Osioista 5 löytyvät johtopäätökset ja Suomen luonnonsuojeluliiton suositukset näiden haasteiden ja näkökulmien huomioimiseksi jatkossa sekä kaupunkienergian kehittäjille että päätöksentekijöille.

¹Energian ja lämmön tuottaminen keskitetysti vähensi ilmansaasteita verrattuna kotitalouskohtaisiin lämpökattiloihin.

2. Johdanto

2.1 Kansallinen ilmasto- ja energiapolitiikka: tavoitteet ja kipupisteet

Suomen ilmastopolitiikan tavoitteena on uudistetun ilmastolain ([HE 423/2022](#)) mukaisesti saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivisuus pian sen jälkeen. Uuteen ilmastolakiin ([HE 423/2022](#)) on asetettu päästövähennystavoitteet myös vuosille 2030, 2040 ja 2050. Lisäksi lain mukaisen suunnittelujärjestelmän tarkoituksena on päästöjen vähentämisen ohella vahvistaa ja kasvattaa poistumia eli hiilinieluja, joista tärkeimmän muodostavat metsät ja maaperä. Sanna Marinin hallitusohjelman (2019) yhtenä tavoitteena oli maankäyttösektorin päästöjen vähentäminen ja hiilinielujen vahvistaminen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Petteri Orpon hallituksen [hallitusohjelman](#) mukaan energiamurros ja puhtaat teknologiat tarjoavat Suomelle mahdollisuuksia luoda työtä, vientiä, talouskasvua ja hyvinvointia. Uusi hallitus sitoutuu ilmastolain tavoitteisiin ja se edistää Suomen asemaa edelläkävijänä valmistelemalla hiilinegatiivisuutta tavoittelevan uuden energia- ja ilmastostrategian, jonka keskeisenä osana on teollisuuden puhtaan siirtymän investointien edistäminen. Hallitusohjelman mukaan Suomi asettaa tavoitteen teknisten nielujen käytölle merkittävässä määrin jo 2020-luvun kuluessa ja vahvistaa metsä- ja maaperänieluja.

Suomessa hiilineutraaliutta varten hyödynnetään koko raportoitu nettonielu, mikä poikkeaa esimerkiksi Ruotsin ilmastotavoitteesta, jossa maankäyttösektorin hiilinielujen oletetaan pysyvän vakaina ja hiilineutraaliuteen sisältyy vain Ruotsin LULUCF-velvoitteiden päälle tuleva lisäinen nielu.

Tuorein ilmastovuosikertomus [YM 2023a] korostaa lisätoimien tarvetta, jotta Suomen ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa. Vaikka päästöt ovat vähentyneet selvästi, hiilinielujen romahtamisen vuoksi nettopäästöt ovat samalla tasolla kuin vuonna 1990. Ilmastovuosikertomuksen mukaan *[il]man merkittäviä lisätoimia maankäyttösektorilla on todennäköistä, ettei Suomi saavuta EU:n LULUCF-asetuksen mukaisia velvoitteita ilman päästöyksiköiden ostoja muista jäsenmaista. Myös kansallisen hiilineutraaliustavoitteen saavuttaminen edellyttää lisätoimia maankäyttösektorilla sekä muilla sektoreilla.* [YM 2023a]

Jo vuoden 2022 ilmastovuosikertomuksen mukaan maankäyttösektorin muuttuminen nettonielusta päästölähteeksi vuonna 2021 käänsi Suomen nettopäästöt kasvuun, ja ne ylittävät nyt vuoden 2005 tason. Vuosikertomuksessa käytettyjen skenaarioiden pohjalta voidaan arvioida, että päästökaupan ja taakanjakosektorin toimet ovat riittäviä päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Tavoitteiden saavuttamiseen liittyy kuitenkin huomattavaa epävarmuutta, eikä käytetyissä skenaarioissa ole otettu huomioon energian hinnannousua tai maankäyttösektorin päästö- ja nielukehitystä [YM 2022a]. Suomen ilmastopaneelin arvion mukaan fossiilisten ja prosessiperäisten päästöjen vähennystahti vaikuttaa olevan nopeampaa kuin aiemmin hahmotettu lineaarinen päästövähennyspolku, jolla päästöt olisivat 21 Mt vuonna 2035. Ilmastopaneelin arvion mukaan kehitys näyttäisi nyt johtavan 18–19 MtCO₂ekv jäljelle jäävien päästöjen tasoon vuonna 2035 EU-politiikan linjauksien sekä energiantuotannon ja teollisuuden investointipäätösten myötä, joskin arviointiin liittyy tiettyjä epävarmuustekijöitä [Suomen ilmastopaneeli 1/2023]. Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiastrategian [TEM 2022] mukaan hiilineutraalius voi toteutua vuonna 2035, vaikka taakanjakosektorin päästöt jäisivät strategiassa esitettyä tasoa suuremmiksikin. Tällöin edellytyksenä on kuitenkin päästökauppasektorin päästöjen väheneminen tai maankäyttösektorin nettonielun vahvistuminen ennakoitua enemmän. Toisaalta päinvastainen kehitys näillä sektoreilla tarkoittaisi entistä suurempaa tarvetta vähentää päästöjä taakanjakosektorilla.

Luonnonvarakeskuksen kasvihuonekaasuinventaarion [joulukuu 2023] mukaan maankäyttösektori oli vuonna 2021 nettonielun sijaan päästölähde ensimmäistä kertaa mittaushistoriassa ja vuonna 2022 maankäyttösektorin päästöt kasvoivat entisestään [Luke 2023a]. Luonnonvarakeskuksen maankäyttösektorin tilanteen syitä selvittävä tutkimusraportti julkaistiin loppuvuodesta 2022 ja sen mukaan taustasyinä ovat lähinnä kasvaneet hakkuumäärät, metsien hidastunut kasvu sekä muuttunut arvio turvemaiden päästöistä [Luke 2022a]. Sekä Luonnonvarakeskus että Suomen ympäristökeskus arvioivat, että "[o]n olemassa merkittävä riski, että Suomi jää vertailutasosta ja LULUCF-velvoitteista jopa useilla kymmenillä miljoonilla hiilidioksidiekvivalenttitonneilla

kaudella 2021–2025”, minkä seurauksena lisäpolitiikkatoimet ovat tarpeen. Suomen ilmastopaneeli arvioi, että Suomen nieluhaaste, eli LULUCF-nettonielun kasvattaminen ja teknologisten nielujen luominen, on merkittävä [Suomen ilmastopaneeli 1/2023]. Kansainvälinen energiajärjestö IEA totesi Suomen maatumkinnassa (IEA 2023) keskeiseksi haasteeksi LULUCF-sektorin päästöihin ja nieluihin liittyvät epävarmuudet suhteessa Suomen 2035-tavoitteeseen. Järjestö suosittelee kehittämään valmiussuunnitelman vuoden 2035 nettonollapäästötavoitteen saavuttamiseksi siinä tapauksessa, että LULUCF-sektori ei pysty tuottamaan tarvittavia hiilinieluja. [VNK 2023] Maankäyttösektorin nielujen kehityksellä ja ohjauksella voi tulevaisuudessa siten olla merkittävää vaikutusta muiden sektorien päästövähennyksiin joko suoraan tai epäsuorasti, ja esimerkiksi energiaksi käytettävän metsäbiomassan saanti voi vaikeutua.

Taakanjakosektorin, joka käsittää liikenteen, maatalouden ja kulutusperäiset päästöt sekä rakennusten erillislämmityksen, kasvihuonekaasupäästöt ovat vähentyneet hitaammin kuin päästökauppasektorin päästöt. Vuonna 2021 taakanjakosektorin päästöt olivat 27,5 Mt CO₂-ekv. ja vuonna 2022 pikaennakkotietojen mukaan 26,7 Mt CO₂-ekv. Sektorin yhteenlasketut päästöt olivat vuonna 2022 noin 22 prosenttia pienemmät kuin vuonna 2005 ja päästöt ovat vähentyneet kaikilla sektoreilla maataloutta lukuun ottamatta. Liikenteen päästöt (pl. kotimaan lentoliikenteen CO₂-päästöt) ovat vähentyneet noin 2,7 Mt CO₂-ekv. Myös jätteiden käsittelyn ja taakanjakosektorille kuuluvan teollisuuden päästöt ovat nykyisin selvästi pienemmät kuin vuonna 2005. Vuonna 2030 päästöjen tulisi olla komission Suomelle ehdottaman -50 prosentin veloitteen mukaisesti 17,2 Mt CO₂-ekv., eli nykytoimien ja veloitteen välille jää 5,6 miljoonan tonnin päästökuilu vuonna 2030. [YM 2023] Käytännössä hallituksen muutokset jakeluveloitteeseen (veloitteen jäädyttäminen 13,5 prosenttia seuraaviksi vuosiksi sekä aiempaa hitaampi aikataulu² [veloitteen nostaminen 22,5 prosenttia vuonna 2027] vaikeuttavat todennäköisesti merkittävästi taakanjakosektorin päästövähennystavoitteen saavuttamista ja päästöjen puollittamista vuoteen 2030 mennessä vuoteen 2005 verrattuna.

Petteri Orpon hallitusohjelman [VN 2023] mukaan sähköntuotanto Suomessa moninkertaistuu ja sähköä riittää myös tuulettomina pakkasjaksoina. Suomi on omavarainen vuositasolla ja toimitusvarmuus on varmistettu kaikissa tilanteissa. Uusiutuvan energian osuutta energiantuotannossa kasvatetaan ja lisäksi edistetään toimia, joiden avulla fossiilista polttoaineista luovutaan sähkön ja lämmön tuotannossa viimeistään 2030-luvulla. Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena oli siirtyä puhtaaseen ja uusiutuvaan energiantuotantoon, ja sitä edistävien tukirakenteiden ja teknologioiden kehittäminen ja kaupallistuminen. Hiilineutraaliustavoitteen kannalta erityisesti kaukolämmön kasvihuonekaasujen vähentäminen on tärkeää, ja sen edellytyksenä on erityisesti polttoon perustumattomien lämmöntuotantomuotojen, kuten hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen ja geotermisen lämmön, käyttöönoton vauhdittaminen energiatukijärjestelmässä. [TEM 2022] Lämmityssektorilla merkittävä pullonkaula on tällä hetkellä tukeutuminen erityisesti puupohjaiseen bioenergiaan, jonka käytön lisäystä kaavaillaan sekä lyhyen ja keskivälin ratkaisuksi osittain huoltovarmuussystistä, mutta myös ratkaisuna kaukolämmön yleiseen hitauteen irtautua poltosta johtuen “ilmastopolitiikasta ja asenneilmapiiristä” [TEM 2022]. Ilmasto- ja energiastrategiassa huoltovarmuus rakentuu siten ainakin lähitulevaisuudessa enenevässä määrin puun ja osittain myös turpeen käyttöön [TEM 2022], huolimatta siitä, että kestävästi hyödynnettävien biomassojen määrä on rajallinen ja erityisesti metsähakkeen hyödyntäminen voi lisätä ainespuun käyttöä, jonka energiankäyttöä on ristiriidassa uusiutuvan energian direktiivin [RED] uudistuksessa linjatun kaskadiperiaatteen eli korkeamman lisäarvon käytön tavoitteen kanssa. Petteri Orpon hallitusohjelman mukaan velvoitevarastoitavien polttoaineiden varastointimääriä kehitetään tarpeita vastaavasti ja valikoimaa laajennetaan kapasiteettimekanismin laitoskannan mukaisesti kattamaan puu- sekä muut bio- ja sähköpolttoaineet. Käytännössä erityisesti lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitokset lisäävät biomassan käyttöä, sillä osa siitä käytetään sähköntuotantoon.

Ilmasto- ja energiastrategian myötä toimeenpannussa energiatukiuudistuksessa uusiutuvan energian tukemisen ehtoja tarkennettiin mm. siten että tukea ei voi jatkossa myöntää kiinteiden biomassapolttoaineiden tuotantoon tarkoitettun kaluston hankkimiseen; tai polttoon perustuville erillislämmöntuotantohankkeille, pois lukien uuden teknologian hankkeet ja biokaasuhankkeet [FINLEX 262/2023³]. Lisäksi erityisedellytyksenä on että, uusiutuvien polttoaineiden tuotantoa koskevissa investointihankkeessa tarkoituksena on tuottaa kestävyyslain nojalla kestävyyskriteerien mukaisiksi osoitettuja uusiutuvia polttoaineita [ibid]. Hallitusohjelman mukaisesti bioenergiaa käytetään korvaamaan fossiilisia polttoaineita, ja siksi biopolttoaineiden käyttöä ei rajoiteta esimerkiksi veroilla ja lainsäädännöllä. Samaan aikaan uusiutuvan energian direktiivin uudistamisen

²Sanna Marinin hallituksen asettaman aikataulun mukaisesti jakeluveloitetta veloitteen nostamisesta 28 prosenttiin vuonna 2024 ja 34 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.

³Lisätiedot: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/20230262#Pidm45053757722144>

myötä [kansallista lainsäädäntöä ollaan päivittämässä](#) direktiivin kanssa yhteensopivaksi. Suomella on jo ennestään vaikeuksia direktiivin toimeenpanossa, minkä vuoksi se on komission rikkomusmenettelyssä.

Energian tuotannon kannalta uusiutuvan sähköntuotannon (tai tuonnin) kasvu on keskeistä eri sektoreiden päästövähennyksille. Koljonen ym. 2021 arvioivat että uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta nousee noin 60 prosenttiin vuonna 2030 ja että sähkön tuotanto on lähes fossiilitonta jo vuonna 2030. Energiaperäisten päästöjen osuus kasvihuonekaasuinventaariorissa on Suomessa lähes 80 prosenttia, minkä vuoksi energian kokonaiskulutus on päästöjen kehityksen kannalta keskeistä. [Koljonen ym. 2021] Vähähiiliseen yhteiskuntaan siirtyminen vaatii merkittävää uusiutuvilla energialähteillä, erityisesti tuulivoimalla tuotetun sähkön lisäkapasiteettia sekä tuotannon ja kulutuksen kasvun mahdollistavia riittävän vahvoja sähkön siirto- ja jakeluverkkoja [TEM 2022] Tuulivoiman kapasiteetin arvioidaan kasvavan nykyisestä 6000 MW:sta [Suomen Tuulivoimayhdistys 2023] lähes 10 000 megawattia vuoteen 2025 mennessä ja 2030-luvulla kattavan jopa yli 20 000 MW kulutuksen [Fingrid 2022]. Tuulivoiman rakentaminen ja pitkät siirtoyhteydet edellyttävät kantaverkon vahvistamista erityisesti länsirannikolla [ibid]. Tuulivoiman lisääntyminen tuo haasteita tuulivoimalaitosten verkkoliitännöiden rakentamisessa hankkeiden eriaikaisuuden vuoksi, mikä on johtanut osittain sähköverkkojen koordinoimattomaan ja epäoptimaaliseen rakentamiseen. Vaihtelevan aurinko- ja tuulivoiman tuotannon tasaamiseksi tarvitaan lisäksi merkittävästi erilaisia kulutuksen ja tuotannon joustomekanismeja, kuten sähkövarastoja ja eri energiajärjestelmien joustavuuksien hyödyntämistä. [TEM 2022] Uusi Petteri Orpon hallitusohjelma tavoitteleeikin lisävelvoitteita tuulivoimarakentamiselle säätövoimatarpeen rahoittamiseksi sekä kannustimia lämmön ja energian kausivarastoinnille sekä lyhytaikaiselle kulutusjoustoille.

Energiantuotannon kannalta merkittävin ilmasto- ja energiapolitiikan taloudellinen ohjauskeino on ollut päästöoikeuden hinta [Koljonen ym. 2021], jonka ohjausvaikutus on korostunut erityisesti viime vuosina, johtuen esimerkiksi turpeen energiakäytön aiottua nopeampaa vähenemiseen [HS 2021]. Turpeen käyttö on kuitenkin kasvanut hieman Venäjän hyökkäyssodan alkamisen vuoksi [Tilastokeskus 2022]. Päästöoikeuden hinta on ohjannut siirtymää pois fossiilisista polttoaineista. [IEA:n maatuminnassa](#) todetaankin, että IEA:n jäsenistä vain Ruotsilla on pienempi fossiilisten polttoaineiden osuus kuin Suomella. Suomessa keskeinen keino kivihiihen energiakäytöstä irtautumisesta vuoteen 2029 mennessä on vuonna 2019 voimaan tullut kivihiihenkielto [\[416/2019\]](#), joka toimii perälautana.

Energiatehokkaamman ja joustavamman kaukolämmön tuotannon kannalta tarvitaan erityisesti verkkojen avaamista kaksisuuntaiseksi ja matalalämpöisten verkkojen käyttöönottoa ja erilaisten teknologioiden, kuten geo- ja maalämpöä yhdistettynä lämpöpumpputeknologiaan, lämpövarastoja sekä hukkalämpöjen parempaa hyödyntämistä kulutusjouston ohella. [TEM 2022] Hukkalämpöä syntyy arviolta 130 TWh, josta kaukolämpönä hyödynnettävä osuus on toistaiseksi vain n. 3 TWh, vaikka teknistä potentiaalia olisi lisätä määrää ainakin n. 35 TWh Lisähyödyntämismahdollisuuksia löytyy teollisuudesta ja lauhdelaitoksista, mutta tämä edellyttää investointeja erityisesti lämpöpumppujen ja siirtoyhteyksien rakentamiseen. Keskeisenä riskinä hukkalämpöjen hyödyntämisen kohdalla on niiden taloudellisen kannattavuuden säilyminen tai liiketoiminnalliset riskit, mikäli hukkalämpöä tuottavat teollisuuden toiminto jostain syystä loppuu tulevaisuudessa. Joka tapauksessa lämpöpumppujen merkitys tulee olemaan keskeinen osana hiilineutraalia energiajärjestelmää, ja järjestelmäintegraation ennustetaan lisäävän myös hukkalämmön hyödyntämisen mahdollisuuksia. [TEM 2022]

Kunnilla on keskeinen rooli Suomen 2035 hiilineutraaliustavoitteen toteuttamiseksi. Kuntien aktiivinen ilmastotyö edistää eri sektoreiden päästövähennyksiä suoraan [hiilijalanjälki], mutta kunnat voivat monin tavoin edistää ja vauhdittaa myös asukkaiden, yritysten, yhteisöjen ja muiden sidosryhmien päästövähennyksiä [hiilikädenjälki] [YM 2022b]. Kunnat vastaavat alueillaan kaavoituksesta, maankäytöstä, liikennesuunnittelusta, energiayhtiöiden omistajaohjauksesta, monien rakennusten lämmitystapavalinnoista ja julkisista hankinnoista. Kunnat voivat siten vaikuttaa myös kaukolämmön tuotantotapoihin ja verkoston laajuuteen omistajaohjauksen kautta, julkisen liikenteen tarjontaan, pyöräily ja jalankulkuverkostoihin, sähköautojen latausmahdollisuuksiin ja jätteen lajittelu- ja kierrätysmahdollisuuksiin. Kunnat voivat soveltaa rakennusten valtakunnallisia normeja tiukempia energianormeja kunnan maalle rakennettaessa. Lisäksi kunnat voivat toteuttaa ja rahoittaa erilaisia edistämisen- ja kehittämishankkeita tai osallistua muiden toimijoiden hankkeisiin ja tukea niitä taloudellisesti. [Ulvi ym. 2023] Uuden ilmastolain myötä kuntien tulee laatia ilmastosuunnitelma, joka sisältää päästövähennystavoitteen ja toimet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi sekä seurannan suunnitelman toteuttamiseksi kuntastrategiassa ja kunnan toimintakertomuksessa [YM 2023b]. Petteri Orpon hallitus kuitenkin aikoo poistaa tämän velvoitteen.

2.2 Kansainvälinen ilmasto- ja energiapolitiikka

Euroopan unionin tavoitteena on saavuttaa ilmastoneutraalius vuonna 2050 [EC 2019], tavoite perustuu unionin uuteen ilmastolakiin ja sen myötä sovittuun vihreän kehityksen ohjelmaan. Komissio valmistelee parhailaan vuoden 2040 ilmastotavoitetta, josta päätetään Europarlamenttivaalien jälkeisenä aikana. Vuonna 2021 annettiin valmiuspaketti Fitfor55, jonka tarkoituksena on saattaa lainsäädäntöohjaus tavoitteen mukaiseksi siten että päästövähennys -55 prosenttia 2030 mennessä saavutetaan [EC 2023]. Uusiutuvan energian direktiivi, päästökauppadirektiivi sekä taakanjako- ja LULUCF-asetukset muodostavat kokonaisuuden, jotka ohjaavat EU:n energia- ja ilmastopolitiikkaa vuosina 2021–2030, minkä lisäksi niiden avulla toimeenpannaan Pariisin ilmastopimuksen mukaista päästövähennyspolkua.

Osana uusiutuvan energian direktiivin [RED] uudistusta ja Venäjän hyökkäyssodan seurauksena alkanutta fossiilienergian kriisiä uusiutuvan energian tavoitetta nostettiin 45 (min. 40 prosenttia RED3) prosenttiin vuoteen 2030 mennessä [CEU 2023]. Lisäksi vastauksena Venäjän Ukrainaan aloittamaan hyökkäyssodan aiheuttamiin ongelmiin käynnistettiin RePower-EU-aloite, jonka tavoitteena on vauhdittaa siirtymää uusiutuvaan energiantuotantoon, edistää energiansäästöä sekä parantaa EU:n oman energiajärjestelmän häiriönsietokykyä mm. energiatoimituksia monipuolistamalla [EC 2022].

Osana 55-valmiuspakettia päätettiin myös EU:n nykyisen, suuret teollisuus- ja energiantuotantolaitokset kattavan, päästökaupan kiristämisestä ja ulottamisesta jatkossa myös meriliikenteen päästöihin. Lisäksi perustettiin kokonaan uusi, erityisesti tieliikenteen ja rakennusten erillislämmityksen päästöihin kohdistuva päästökauppa, joka kattaa näillä toimialoilla käytettävien polttoaineiden hiilidioksidipäästöt ja näiden toimialojen polttoainejakelijat. [YM 2022c]

Uudistetun RED-direktiivin mukaisesti jäsenvaltioiden on entistä tarkemmin pyrittävä minimoimaan uusiutuvan energian tuotannon haitalliset vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, ympäristöön ja ilmastoon. Bioenergian tukijärjestelmiä kehitettäessä on jatkossa huomioitava saatavilla oleva kestävä tarjonta biomassan energia- ja ei-energiakäyttöön sekä kansallisen metsähiilen ylläpitäminen nieluja ja ekosysteemejä vahvistamalla sekä kiertotalouden ja biomassan porrastetun käytön periaatteet ja jätehierarkia [2008/98/EY]. Kaskadiperiaatteen mukaisesti metsäbiomassaa tulisi käyttää sen suurimman taloudellisen ja ympäristöllisen lisäarvon mukaisesti seuraavassa tärkeysjärjestyksessä: 1) puupohjaiset tuotteet, 2) niiden käyttöiän pidentäminen, 3) uudelleenkäyttö, 4) kierrätys, 5) bioenergia ja 6) hävittäminen. Kaskadiperiaatteen toimeenpanossa sallitaan kuitenkin toistaiseksi kansallisten erityisolojen mukainen tukisuunnittelu ja poikkeaminen perustelluissa olosuhteissa, esim. kansallisen energian toimitusvarmuuden turvaamiseksi ja mikäli alueella ei ole teollisuudenaloja tai jalostuslaitoksia, jotka voisivat hyödyntää raaka-ainetta korkeamman lisäarvon käytön mukaisesti. [EC 10794/23] Lisäksi direktiivi määrittelee alueita, joilta metsäbiomassaa ei saa hankkia energiantuotantoa varten, kuten vanhat metsät. Sen mukaan biopolttoaineiden, bionesteiden ja biomassapolttoaineiden tuotannon on oltava yhdenmukainen LULUCF-asetuksessa määriteltyjen jäsenvaltioiden sitoumusten ja tavoitteiden sekä jäsenvaltioiden kansallisissa energia- ja ilmastosuunnitelmissaan kuvaamien politiikkatoimien ja toimenpiteiden kanssa.

Pariisin sopimuksessa [artikla 5, 2015] on määritelty tavoite myös hiilinielujen ja varastojen, kuten metsien, säilyttämiseksi ja lisäämiseksi, mikä luo perustan myös EU-maiden maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektorin [ns. LULUCF-sektori] sitoville tavoitteille kausille 2021–2025⁴ ja 2026–2030. Maankäyttösektorin ylijäämäistä nielua on voinut käyttää rajatusti taakanjakosektorin joustokeinona ja toisaalta tavoitetaso alittaminen voi lisätä päästövähennyspainetta taakanjakosektorilla. Suomen ilmastopaneeli ja Syke ovat arvioineet, että velvoitekauden 2021–25 ja 2026–30 tavoitteisiin pääsemiseksi ei tällä hetkellä ole käytössä tarvittavia ohjauskeinoja, vaikka lisätoimien tarve on tunnistettu [Ilmastopaneeli 2022, Soimakallio & Pihlainen 2023]. Mikäli tavoitteisiin ei päästä, joudutaan tarvittavat päästövähennykset tekemään esimerkiksi taakanjakosektorilla tai ostamaan korvaavia nieluyksikköjä muilta jäsenmailta [Ilmastopaneeli 2022a].

⁴Osana LULUCF-asetusta on Suomelle määritelty hoidetun metsämaan [mukaan lukien puutuotteet] vertailutasoksi -29,4 Mt CO₂-ekv. vuodessa kaudelle 2021–2025. [Soimakallio & Pihlainen 2023]

2.3 Metsäbiomassan energiakäyttö ja politiikkaohjaus

Suomessa puun energiakäyttö on historiallisesti pysynyt korkealla tasolla, mikä johtuu osittain sen erittäin suuresta energiakäytöstä metsäteollisuudessa. Sipilän hallituskauden aikana [VNK 2016] hakkuutasot nousivat reiluun 70 miljoonaan kuutiometriin, ja korkein hakkuutaso, joka [78,17 milj. m³, Luke 2022b] osuu vuoteen 2018, näkyy myös nielun pienentymisenä [Tilastokeskus 2022]. Marinin hallituksen tavoitteena oli kasvattaa metsähakkeen käyttöä 16–17 miljoonaan kuutiometriin vuodessa ja viimeisen kahden vuoden aikana kotimaisen puun käytön kysyntää on kasvattanut puun tuonnin tyrehtyminen Venäjältä.

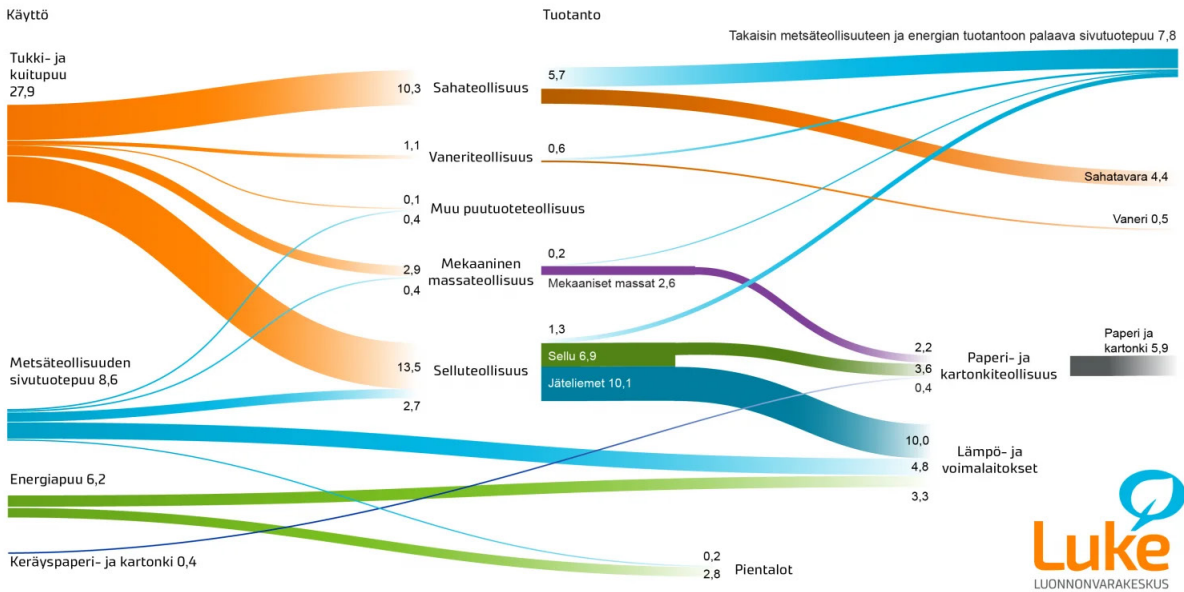
Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön [OECD] mukaan Suomen keskeisissä toimialakohtaisissa tietartoissa esitetyt tulevaisuuden biomassan käyttötasot eivät tue vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseen tarvittavaa hiilidioksidin sitomiskykyä. [OECD 2021]. Valtiovarainministeriön [VM 2022] mukaan kiinteän biomassan verottomuus yhdessä päästökaupan merkittävästi kohonneen hinnan kanssa ohjaa tällä hetkellä voimakkaasti biomassan energiakäyttöön. Tämä on ongelmallista niin kotimaisten hiilinielujen kuin päästökaupan sisäisen hiilivuodon näkökulmasta, sillä biomassan energiakäyttö päästökauppasektorilla voi johtaa päästökauppaoikeuksien hinnan alenemiseen, kun biomassan energiakäytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt eivät vähennä EU:n päästöoikeuksien määrää [ns. vesipatjaefekti100]. Orpon hallitusohjelmassa puupolttoaineiden verohuojennuksesta ei kuitenkaan ole luovuttu. Mahdollinen biomassan verottaminen voisi kuitenkin osin myös kompensoida julkiselle taloudelle aiheutuvia kustannuksia maankäyttösektorin EU-velvoitteiden toteuttamisesta [VM 2023]. Myös OECD:n mukaan Suomi voisi paremmin arvioida biomassan verotuksen mahdollista nettovaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin [OECD 2021].

Sanna Marinin hallitusohjelman tavoitteena oli, ettei ainespuuta päädy polttoon. Ohjauskeinoksi oli valittu seuranta. Petteri Orpon hallitusohjelma linjaa, että bioenergiaa tulee tuottaa ensisijaisesti erilaisista jäte-, jäännös- ja sivutuotteista. Biopolttoaineiden kestävä käyttöä ei kuitenkaan rajoiteta esimerkiksi veroilla ja lainsäädännöllä, sillä hallitusohjelman mukaan bioenergialla on tärkeä rooli fossiilisen energian käytöstä luopumisessa ja huoltovarmuuden turvaajana. Käytännössä maailmanmarkkinat ja geopolitiikka ovat kuitenkin toistaiseksi ainoat metsäbiomassan käyttöä ohjaavat tekijät, ja ne ovat lisänneet erityisesti suureen tuotantopanokseen nojaavien matalan lisäarvon tuotteiden riskejä hinnan vaihteluille. Kevään aikana esimerkiksi Stora Enso ilmoitti [Sunilan sellutehtaan sulkemisesta](#), syynä puuntuonnin loppuminen Venäjältä ja sellun maailmanmarkkinahinnan romahtaminen, kilpailu kuitupuusta ja puun hankintakustannusten merkittävä nousu. Hallitusohjelman tavoitteena onkin mainittu kotimaisen uusiutuvaan erityisesti puuraaka-aineeseen perustuvan teollisuuden arvonlisän nostaminen [yhdenmukaisesti [Metsäbiotalouden tiedepaneelin](#) suositusten kanssa] ja puun korkeampi jalostusaste, mutta käytännön ohjausta tavoitteille ei toistaiseksi ole.

Ilmastopaneelin [Seppälä ym. 2022] mukaan puun hyödyntämisen ilmastovaikutuksia tulee tarkastella kokonaisuutena metsän ja puutuotteiden hiilivaraston muutosten sekä puutuotteiden käytöllä saavutettavien välitettyjen fossiilisten kasvihuonekaasupäästöjen [ns. substituutiovaikutusten] yhteisvaikutuksena. Vaikka puun käyttöä ohjattaisiin mahdollisimman pitkäaikaisiin tuotteisiin, teollisuuden parempaan resurssitehokkuuteen ja pyrittäisiin maksimoimaan substituutiovaikutus, on lisähakkuiden aiheuttama hiilinielumenetys niin suuri, ettei näillä toimenpiteillä pystytä kompensoimaan hakkuista aiheutuvaa haittaa ilmastolle siinä aikataulussa, jossa päästöt pitäisi vähentää ja nieluja saada vahvistettua 1,5 asteen tavoitteen saavuttamiseksi. [ibid]

Suomessa energiantuotannon päästövähennykset ovat pitkälti perustuneet metsäbiomassan energiakäyttöön, josta suuri osa käytetään metsäteollisuuden sivuvirtoina ja puupolttoaineina energiayhtiöissä.

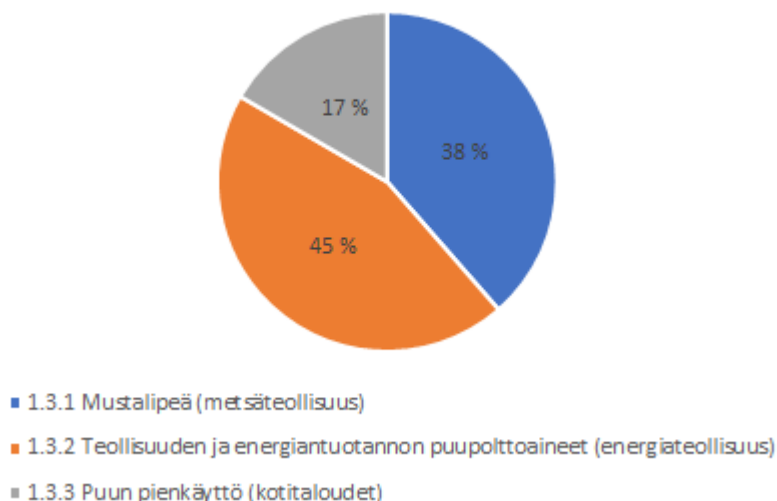
Metsäteollisuuden käyttötase 2020 (milj. tonnia puuta kuiva-aineena)



Kuva 1. Suurin osa puusta päättyy lopulta energiaksi joko suoraan tai sivuvirtoina (Luke 2021). Myös suurin osa puutuotteista (n.80 %) on lyhytaikaisia, jolloin niiden sisältämä hiili päättyy nopeasti takaisin ilmakehään (Seppälä ym. 2022). Käytännössä lisähakattua runkopuusta ja sen sivuvirroista valmistettujen puutuotteiden, polttoaineiden ja puutuotteiden hiilen varastoinnin kautta syntyvät ilmastohyödyt ovat 100 vuoden tarkastelujakson ovat vähäisemmät kuin ne päästöt, jotka aiheutuvat lisähakkuiden seurauksena syntyvän nielumienetyksen myötä (ibid).

Lisäksi puuta poltetaan kotitalouksissa pienpolttona⁵. Vuonna 2022 kaikesta käytetystä puun kuiva-aineesta energiaksi päättyi suoraan 60 prosenttia (LUKE 2023b) ja käyttö on ollut kasvussa erityisesti huoltovarmuussyistä Venäjän tuontien energian vähentymisen ja päättymisen vuoksi, johon lukeutuvat fossiiliset polttoaineet sekä tuontipuu. Suomen kokonaisenergian kulutuksessa uusiutuvan energian osuus oli 42 prosenttia vuonna 2021, josta puupolttoaineiden osuus oli 29,7 prosenttia, mikä tekee siitä suurimman yksittäisen uusiutuvan energialähteen [Tilastokeskus 2022] Lämpö- ja voimalaitosten metsähakkeena palaneita ainespuumääriä ei tiedetä, mutta tilastotietojen perusteella niiden on arvioitu yltävän jopa 2–3 miljoonaan kuutiometriin vuodessa (Niinistö 2023a).

Puupolttoaineet 2022



Kuva 2. Puupolttoaineiden prosentuaaliset mittasuhteet ja pääkäyttäjät. Käyttömäärät alla.

⁵Lämpö- ja voimalaitokset käyttivät kiinteitä puupolttoaineita vuonna 2022 yhteensä 22,9 miljoonaa kiintokuutiometriä [44,5 TWh]. Määrä väheni edellisvuodesta viisi prosenttia. Puun pienpoltossa eli pientaloissa sekä maataloilla kiinteää puuta kului 6,9 miljoonaa kuutiometriä [15,3 TWh].

Puupolttoaine (pääkäyttäjät)	Määrä [Tj]	Prosenttiosuus
1.3.1 Mustalipeä [metsäteollisuus]	142 448	38%
1.3.2 Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet [energiateollisuus]	165 376	45%
1.3.3 Puun pienkäyttö [kotitaloudet]	61 382	17%
1.3. Puupolttoaineet [yhteensä]	369 206	100%

Taulukko 1. Lähde: Tilastokeskus 2022 [*ennakkotieto.]

Suomessa puupolttoaineita tuetaan epäsuorasti noin 418 miljoonan euron verovapaudella vuodessa (Budjetti 2023)⁶. Puupolttoaineiden verotuen todellisia ympäristövaikutuksia voidaan tarkastella ilmastopolitiikan ja hiilipäästöjen hinnoitteluun kehitetyllä efektiivisen päästöohjauksen menetelmällä (OECD 2021), jossa haitallisen verotuen muodostaa referenssihintaa [€ / t CO₂] alempi päästöohjaus (Pihlainen ym. 2023). Menetelmää hyödynnetään esimerkiksi Valtiovarainministeriön talousarvion Kestävä kehitys -osiossa, sillä menetelmän avulla voidaan kuvata sitä kokonaishintaa tai kustannusta, joka hiilidioksidipäästöihin kohdistuu markkinapohjaisten ohjauskeinojen (CO₂-verot, polttoaineiden valmisteverot ja päästöoikeuden hinta) seurauksena. Efektiivistä CO₂-päästöohjausta verrataan optimaaliseen, ilmastohaitat täysimääräisesti hinnoittelemaan päästöohjaukseen, jossa hinnoittelu suoritetaan hyödyntämällä vertailuhintaa (referenssihintaa), jonka tulisi heijastaa hiilidioksidipäästöjen aiheuttamaa yhteiskunnallista kustannusta (social cost of carbon, SCC). Ilmastonmuutoksen yhteiskunnallinen kustannusarvio eli SCC kuvaa siten hiilidioksidipäästöjen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen ja erityisesti lämpenemisen aiheuttamaan haittaa, jonka taloudellinen arvo on laskettu muuntamalla se (diskonttaus) nykyhetkeen (Pihlainen 2023). **Mikäli puun polton aiheuttamalle yhteiskunnalliselle haitalle asetettaisiin päästöohjauksen vertailutasoja vastaava hinta, olisi se todennäköisesti moninkertainen verrattuna nykytilaan, jossa sen ilmasto- ja luontohaittoja ei hinnoitella lainkaan vaan käyttöä tuetaan verovaroin.** Esimerkiksi Soimakallio ja Pihlainen [2023] ovat arvioineet, että käyttämällä ilmastohaitan täysimääräisesti huomioivaa verotaso eli nykyistä päästöoikeuden hintaa [90 € / t CO₂], saataisiin kaiken teollisen puupohjaisen energiakäytön verottaminen (ml. metsähake, puru, kuori ja mustalipeä) noin 3,1 miljardin euron verokertymä (Soimakallio & Pihlainen 2023). Arviossa ei kuitenkaan huomioida puupohjaisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvien hakkuiden monimuotoisuusvaikutuksia (mm. metsälajien uhanalaistumiskehitys) tai pienpoltosta aiheutuvien pienhiukkaspäästöjen terveysvaikutuksia, joiden hinnoittelu on toistaiseksi haastavaa.

Puun energiakäytöstä aiheutuvat päästöt (ilmastovaikutus) lasketaan IPCC:n nykyisten laskentasääntöjen mukaisesti maankäyttösektorin tilipitosääntöihin⁷, joissa niiden muutosta tarkastellaan suhteessa tavoitetasoihin (LULUCF-asetus). On oletettavaa, että puupolttoaineiden verotuet osittain kannustavat hakkuisiin niin kauan kuin puun käytöstä syntyviin päästöihin ei kohdistu taloudellista ohjausta (esim. verotus) maankäyttö- tai energiasektorilla, sillä se lisää puun energiakäytön houkuttelevuutta korvaavana polttoaineena ja lyhytikäisissä tuotteissa.

Luonnonvarakeskuksen mukaan Suomi on hiilineutraali 2035 mikäli maankäyttösektorilla on noin -20,7 Mt CO₂-ekv. nielu. Tähän voidaan päästä, mikäli kasvu pysyy nykytasolla [103,2 milj. m³], jolloin suurin ylläpidettävä hakkuukertymä on noin 61,9 milj. m³ tai mikäli kasvu nousee 110 milj. m³ vuonna 2035, jolloin hakkuukertymä voisi olla noin 68,7 milj. m³ [Lehtonen 2023⁸]. Kestävä hakkuutaso ja maankäyttö voisi hillitä voimakasta riippuvuutta puun energiakäytöstä, mutta myös entisestään lisätä tarvetta päästövähennyksille energiasektorilla ja vaatia tukitoimia energiamurrokseen [IEA 2023]. Petteri Orpon hallitusohjelmassa ei kuitenkaan kaavailta rajoituksia hakkuumääriin, vaan päinvastoin siinä linjataan, että Metsähallitus hyödyntää kestävät hakkuumahdollisuudet optimaalisesti. Tavoitteena on sidosryhmien kanssa sovittujen hakkuumahdollisuuksien säilyttäminen nykytasolla tai jopa maltillinen kasvattaminen⁹.

⁶ https://budjetti.vm.fi/indox/tae/frame_year.jsp?year=2023&lang=fi

⁷ <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srl-en-1.pdf>, <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf/reporting-of-the-lulucf-sector-by-parties-included-in-annex-i-to-the-convention>

⁸ Muita keskeisiä oletuksia ovat kasvun tasoon vaikuttavat metsätuhot tai metsänhoitotoimet, turvapeltojen päästöjen puolittaminen 2035 mennessä [8,5 → 4,25 Mt CO₂], ja turvetuotannon päästöjen puolittaminen 2035 mennessä [2,2 → 1,1 Mt CO₂], puutuotteiden nielu kuten 2021 [-3,1 Mt CO₂]. Lisäksi ojitettujen turvemaiden maaperäpäästöt eivät kasva, turvemaiden avohakkuiden merkittävät päästöt ei ole huomioitu avohakkuiden korvaaminen jatkuvalla kasvatuksella ja polttopuun käyttömäärät eivät ole kasvaneet merkittävästi 2020.

⁹ <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165042>

2.4 Kaukolämmön tuotannon tulevaisuuden kehityssuuntia ja mahdollisuuksia

Lämmön tuotannon sähköistyminen

Ilmastopaneeli on arvioinut sähköistämisen vaikutuksia ja mahdollisuuksia Suomen energiajärjestelmässä (Lund 2022). Sähköistäminen mahdollistaa sektorikytkennän hyödyntämisen, kun esimerkiksi tuulivoimalla tuotettu sähkö kytketään lämmitykseen¹⁰, liikenteeseen ja teollisuuteen, ja jäljelle jäävää hukkalämpöä hyödynnetään edelleen lämmitysenergiana. Tuulivoimalla tuotettu vihreä vety¹¹ ja siitä jalostetut synteettiset polttoaineet toimivat päästöttöminä energiankantajina ja mahdollistavat kulutussektorien päästövähennykset. Näin esimerkiksi teollisuuden ja primäärienergian tuotannon yhteen kytkeminen voivat lisätä energiajärjestelmän joustavuutta, mutta luovat toisaalta myös uusia tarpeita infrastruktuurille. (Lund 2022) Lisääntyvän tuulivoimasähkön myötä myös sähkökattiloiden määrä on kasvussa ja tehtyjen investointien yhteenlaskettu kapasiteetti yltää jo 630MW (HS 2023)

Yhteiskunnan sähköistyminen tarkoittaa käytännössä sähkön- ja muu energiajärjestelmän vahvempaa integroitumista toisiinsa, jolloin sähkö korvaa muita energian loppukäyttömuotoja, kuten lämmitys- ja liikenne-polttoaineita (Lund 2022). Sitran arvion mukaan sähköstä tulisi suurin yksittäinen energiamuoto vuoteen 2050 mennessä [46 prosenttia energian loppukäytöstä vrt. 2015 27 prosenttia], jäljelle jäävän osuuden kattaisivat bio/puupolttoaineet [30 prosenttia], kaukolämpö [14 %] ja power-to-X [11 %] (Sitra 2021). Erityisesti lämmön-tuotannon ja liikenteen sähköistyminen lämpöpumppujen ja sähköautojen kautta lisää merkittävästi sähkön-kulutusta Suomessa (ibid). Käytännössä tämä kasvattaisi samaan aikaan sekä sähköenergian että sähkötehon huipputuotannon tehon tarvetta. Lämmöntuotannon sähköistämisen haasteena on erityisesti sähkön kulutuksen sääriippuvuus, mikä kasvattaa huipputehon tarvetta kylminä talvikuukausina. Ilmastopaneelin arvion mukaan lämmityksen huipputehon tarve talvella olisi yli kolminkertainen verrattuna sähkön kulutuksen huipputehon tarpeeseen ilman lämmitystä. Lämmityksen tarvitsemaa huipputehon tarvetta voidaan kuitenkin pienentää lämpöpumppujen¹² avulla lähes samalle tasolle kuin sähkönkulutuksen ilman lämmitystä, mikäli lämmönlähteen lämpötila on riittävä - esimerkiksi maalämpö, syvät porareiat ja rakennusten poistoilman käyttö ovat parempia lämmönlähteitä kuin pelkkä ulkoilma. Huipputehon tarve tulisi ottaa tarkasti huomioon paikallistason ratkaisuisissa, kun kaukolämmössä siirrytään fossiilisista polttoaineista lämpöpumppuihin. Taajamissa syvälämpökaivojen käyttö olisi tässä suhteessa kiinnostava vaihtoehto. Kun porataan esimerkiksi 2 kilometriä syvä lämpökaivo, vastaa sen teho kolmenkymmenen 300 metriä syvän porareian tehoa, jolloin syvälämpökaivo voisi soveltua myös taajamien käyttöön suuremmissa mittakaavoissa. (Lund 2022)

Sähköistämisen edetessä säätösähkön ja varavoiman merkitys kasvaa sekä kulutuksen että tuotannon rakenteen muuttuessa. Tämä tarkoittaa, että tuotannon ja kulutuksen tasapainottamisessa tarvitaan entistä enemmän erilaisia reservejä, joustoja ja rajasiirtoyhteyksiä. Muutoksen mittakaavan vuoksi olemassa olevat ratkaisut eivät välttämättä riitä, vaan tarvitaan uutta säätö- ja varavoimaa, ja muita teknologisia ratkaisuja. Näitä voisivat olla esimerkiksi laajalla polttoainevalikoimalla toimivat voimalat, jotka voivat tuottaa lämpöä myös kaukolämpöverkkoon, sekä erilaiset jousto- ja tehostamisratkaisut ja akkuvoimalat. Näiden ratkaisujen laajempaan käyttöönottoon tarvitaan kuitenkin myös taloudellisia kannustimia. Sähköistämisen onnistumisen ja hyväksyttävyyden kannalta tehon hallinta on keskeinen kysymys, jotta mahdolliset sähkön hintapiikit ja niiden haitalliset sosiaaliset vaikutukset voidaan minimoida (ks. Lipsanen ym. 2021). Näin ollen polttoaineita tarvitaan myös sähköistetyssä järjestelmässä tasapainottamaan energian kysyntää ja tuotantoa sekä takaamaan energiajärjestelmän toimintavarmuutta. Lisätietoa tarvitaan kuitenkin siitä, missä määrin biopohjaisia ratkaisuja voidaan ilmastokestävästi hyödyntää polttoaineeksi, ja kuinka paljon tarvitaan sähköpolttoaineita. Sähköistymisen avulla voidaan kuitenkin vähentää merkittävästi biomassan osuutta energiantuotannossa (Lund 2022)

Kulutusjousto on yksi vaihtelevan ja erityisesti uusiutuvan sähköntuotannon kuorman hallinnan joustomekanismi, mutta mahdollisuutta kaukolämmön kulutuksen säätelyyn erilaisten joustokeinojen avulla on toistaiseksi vähän hyödynnetty. Kuitenkin esimerkiksi energiayhtiöiden tarjoamilla energiapalveluilla, kuten kulutuksen etäohjauksella voidaan myös vaikuttaa lämmityksen kulutuspiikkeihin. Kaukolämmön jakelussa kulutusjousto¹³

¹⁰ Kaukolämmössä sähköistyminen voidaan hyödyntää mm. sähkökattiloiden avulla [Yle 13.6. 2023 & Yle 22.6.2023]

¹¹ Vetyä voidaan tuottaa elektrolyysiprosessilla, jossa vesi muutetaan vedyksi ja hapeksi sähköenergian avulla. Jotta vety olisi puhdasta, elektrolyysiin käytettävän sähkön on oltava hiilineutraalisti tuotettua. (Sivil ym. 2022) Ks. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS_2022_21.pdf

¹² Lue lisää lämpöpumpputeknologiasta, jolla lämmönlähde (esim. maa, ilma, vesi) siirretään kulutukseen: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat ja <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/how-a-heat-pump-works>

¹³ Kulutusjoustossa tekoälyyn perustuva ohjausjärjestelmä tutkii etukäteen, kuinka monen kiinteistön lämmitystä voitaisiin ohjata silloin kun lämpöä tarvitaan paljon. Kulutusjoustosta sovitaan asiakkaan kanssa ja se ohjaa lämmitystä asiakkaan oman lämmöntarpeen ehoilla, jolloin

mahdollistaa kaukolämmön tuotannon ja kiinteistöjen lämmityksen optimoinnin siten, että lämpöä ohjataan sinne missä sitä kulloinkin eniten tarvitaan [Fortum 2023] Kaukolämmön kulutusjoustopuolella voidaan säästää säästöjä sekä asiakkaalle että energiantuotantoon kun energiankäytön optimoinnin myötä asiakkaan lämpölasku pienenee ja energiayhtiö pystyy minimoimaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja tasaamaan lämmön tuotannon ajoa. [Lappeenrannan energia 2023]

”Prosumer”-malli eli kaksisuuntainen kaukolämpö

Kaksisuuntainen kaukolämpö on lämmitysmarkkinoille kehitetty toimintamalli, joka mahdollistaa lämpöä käyttävien asiakkaiden ryhtymisen lämmön myyjiksi. Asiakas voi myydä kaukolämpöverkkoon ylimääräisen lämpönsä, jolle hänellä itsellään ei ole käyttöä, tai se voi olla asiakkaan myyntiin tuottamaa lämpöä. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit, hinnoittelu ja sopimukset ovat useissa yrityksissä kehitysvaiheessa ja toimintaa pilotoidaan. [Energiateollisuus 2022] Sitran arvion [2017] mukaan kaukolämmön kaksisuuntaisella toimintamallilla voitaisiin lisätä kaukolämpöverkon hyödynnettävyyttä myös tulevaisuuden hajautetussa energian tuotannossa ja tuottaa lämpöä entistä tehokkaammin sekä talouden että ympäristön kannalta [ibid]. Kaksisuuntainen kaukolämpöverkon tuottajakuluttaja (prosumer) -periaate voisi siten lisätä kaukolämpöjärjestelmän joustavuutta samalla kun energiavarojen pienempi kulutus säästää ympäristöä [Mikkonen 2021]. Haasteena on prosumer-toimijoilta saatavan hukkalämmön kohtaanto-ongelmat lämmön tarpeen kulutushuippujen kanssa, minkä lisäksi prosumer-lämpö ei matalan lämpötilansa vuoksi ole välttämättä suoraan hyödynnettävissä nykyisessä kaukolämpöverkossa. Tämän edellyttäisi ainakin nykyisten verkkojen osalta ratkaisuja lämmön varastointiin ja hyödyntämiseen alhaisemmissa lämpötiloissa. [ibid] Sen sijaan uudet matalalämpöiset kaukolämpöverkot mahdollistavat useiden lämpölähteiden kytkemisen verkkoon ja näiden yleistyminen mahdollistaisi kaksisuuntaisen kaukolämpöjärjestelmän kehittämisen [Hynynen 2018]. Tämänkaltaisen kaukolämpöverkko suunnitellaan ainakin Tampereen Hiedanrantaan ja Turun Skanssiin [Yle 2022 ja Turku Energia 2021]. Taloyhtiöiden on lisäksi mahdollista saada tukea oman kaukolämpölaitteistonsa saneeraamiseksi, mikäli alueelle suunnitellaan, kaksisuuntaista kaukolämpöverkkoa [ARA 2022]. Siirryttäessä perinteisestä kaukolämpöverkosta erittäin matalalämpöverkkoon, leikataan jakeluverkoston lämpöhäviöt noin puoleen. Lämpötilan alentaminen vähentää kokonaisenergiankulutusta noin 0,6 prosenttia matalalämpöverkoissa ja 1,4 prosenttia erittäin matalalämpöverkoissa verrattuna perinteiseen kaukolämpöverkoston. Lämpöhäviöt pienenevät n. 25 prosenttia matalalämpö- ja 50 prosenttia erittäin matalalämpöverkoissa, joka vähentää 11,5tCO₂ päästöjä vuodessa lämpöhäviöiden laskiessa. Koska verkon lämpötila on niin matala, joudutaan kuluttajien käyttövettä priimaamaan, jotta veden lämpötila saadaan tarpeeksi korkeaksi [käyttöveden lämpötila on noin 55–65 °C]. Lisäksi matalalämpöverkoissa verkoston virtausta on kasvatettava tarvittavan tehon siirtämiseksi, mikä edellyttää suurempia putkia, jotka voivat kasvattaa kustannuksia, mutta näitä ei ole arvioitu kokonaisuuden kannalta kovin merkittäviksi [Pitkänen 2020].

Kaksisuuntaisen lämpöverkkotoiminnan yhtenä edellytyksenä on asiakastuottajien myymän lämmön huomiointi energiatehokkuussopimuksissa ja ympäristösertifioinneissa, mikä vauhdittaisi niiden halukkuutta tarjota lämpöä kaukolämpöyhtiölle. Lisäksi kaksisuuntaisuuden tekniset edellytykset tulee huomioida uusien alueiden suunnittelussa. Sitran mukaan pienimuotoiseen tuotantoon on kiinnostusta ja kustannuskilpailukyvyyn parantuminen tulevaisuudessa voi kasvattaa kaksisuuntaisen kaukolämmön markkinoita merkittävästi. Tämän mahdollistamiseksi tarvitaan kuitenkin lisää vuoropuhelua sekä viestintää kaksisuuntaisen kaukolämmön mahdollisuuksista ja yleinen tietoisuuden kasvattamista niin potentiaalisten kaksisuuntaisten asiakastuottajien kuin kaukolämpöyhtiöidenkin kesken. Lisäksi yhtenä tärkeänä ajurina kaksisuuntaisuuden lisäämiseksi on vaatimus energiatehokkuuden lisäämisestä, sillä mikäli verkkoon syötetty oma ylijäämälämpö voitaisiin hyödyntää kiinteistöjen energiatehokkuuden laskennassa ja huomioida esimerkiksi energiatehokkuussopimuksissa nykyistä selkeämmin, kannustaisi se kaksisuuntaisen toimintamallin käyttöönottoon. [Sitra 2017].

Hukka- ja ympäristölämpö

Teollisuudessa syntyvän ylimääräisen lämmön kierrättäminen on usein mainittu keino lämmöntuotannon päästöjen vähentämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi. Hukkalämmön käytön lisäämiseksi olisi merkittävä lisäpotentiaali mm. ydinvoimaloissa ja teollisuuslaitoksissa [yht. 30 TWh:n teknisesti hyödynnettävissä oleva potentiaali vastaa miltei koko Suomen kaukolämmön kulutusta] [Afry 2020].

kiinteistöjen käyttäjät eivät edes huomaa ohjausta. Kaukolämmön älykäs ohjaus edellyttää, että asiakkaalla on kiinteistössä etäohjattava lämmityksen säätöjärjestelmä.

Laitosten hukkalämmön hyödyntämiseen liittyy kuitenkin toistaiseksi kannattavuuteen, sijaintiin, tuotannon ajoittumiseen ja vaadittaviin varajärjestelmiin liittyviä haasteita ja epävarmuuksia. Lisäksi nykyisen kaukolämpöjärjestelmän liiketoimintamalliin sekä yleiseen ilmasto- ja energiapolitiikan sekä investointeihin liittyy epävarmuuksia [Auvinen ym. 2021]. Toisaalta näitä haasteita voidaan myös ratkoa erilaisin kohdennetuin politiikkatoimin, tukien ja rahoitusmallien sekä edistämällä järjestelmätason yhteistoimintaa ja vuoropuhelua [ibid]. Helpoiten hyödynnettävissä oleva hukkalämpö (1 TWh) löytyy erilaisten energiantuotantolaitosten savukaasuissa, joka olisi hyödynnettävissä lämmön talteenottojärjestelmien avulla. [Afry 2020]

Syken yhdessä sidosryhmien kanssa toteutetussa kyselytutkimuksessa hukkalämpöinvestoinnin kannattavuuteen liittyvinä epävarmuuksina mainittiin mm. lämmön lähteen pysyvyys mutta myös politiikan ja energiamuroksen kehittyminen. Hukkalämmön hyödyntäminen ei toistaiseksi ole useinkaan taloudellisesti kannattavaa, mutta tukien tai markkinamallin muutokset voisivat kuitenkin tehdä siitä kannattavaa. Hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämiseen liittyy kuitenkin myös teknistaloudellisia haasteita, jotka ilmenevät mm. lämmöntuotannon ja tarpeen kohtaanto-ongelmina, lisäksi ympäristö- tai hukkalämmön lämpötila on usein liian matala tai vaihteleva, lämmönlähteen läheisyydessä ei ole kaukolämpöverkkoa tai lämmönjakelussa kuormanhallinta vaikeutuu lämmönlähteiden lisääntymisen myötä. Nykyisen kaukolämpöverkoston mitoitus ei välttämättä myöskään ulotu hukka- ja ympäristölämmön kytkemiseksi verkkoon, mikä voi johtua kaavoituksesta mutta myös etäisyyksistä. [Auvinen ym. 2021] Koska Suomessa kaukolämpöä ei juurikaan säädelä, myöskään hybridi- tai kaksisuuntaisten lämpöverkkoliittymien ohjausta ei toistaiseksi ole kehitetty.

Ympäristö¹⁴- ja hukkalämpöjen hyödyntäminen edellyttää yhteistyön ja toimintamallien kehittämistä. Nykyisellä pullonkauloja muodostavat näkemyserot hukkalämmön taloudellisesta arvosta ja yhteistyön ja hyödynjakomallien kehittämättömyys hukkalämmön tarjoajien ja kaukolämpöyhtiöiden välillä. Kaukolämpöverkkojen markkinaehtoisien toiminnan esteenä on kaukolämpöyhtiöiden monopoli lämpöverkkoon, sillä yhtiöiden nykyinen organisaatorakenne ja liiketoimintamalli eivät sovellu hajautettujen ratkaisujen laajamittaiseen käyttöön. Muita merkittäviä tekijöitä ovat kaavoituksen hitaus ja hukkalämmön hyödyntämisen estävä sijoittelu, toimijoiden väliset osaamis-, tiedonpuute- ja asennehaasteet. [Auvinen ym. 2021]

Ympäristö- ja hukkalämmön kannalta keskeisiksi ratkaisuksi on tunnistettu lämpövarastojen kehittäminen, kaavoitus, siirtyä matalalämpöisempään verkkoon (lämmönsiirrinten mitoituksen muuttaminen) ja sen tukeminen ja/tai vaatiminen kaukolämpöyhtiöiltä ja taloyhtiöiltä. Lisäksi tarvitaan uusien toimintatapojen luontia, hinnoittelu- ja sopimusmallien sekä rahoitusmallien kehittämistä, jotta hukka- ja ympäristölämpöön liittyviä yhteistyömalleja voidaan edistää sekä tietoa ja osaamishaasteiden ratkaisemista esim. koulutuksen ja erilaisten investointi ja tuotonjaon laskureiden avulla. [Auvinen ym. 2021]

Lämmön kausivarasto

Energiavarastoinnin lisääminen on yksi IEA:n maaraportin suositus Suomen sähköverkon ja lämpöverkkojen joustavuuden ja joustavuuden lisäämiseksi. Helsingin energiayhtiöllä Helenillä on toistaiseksi Suomen suurin lämpövarasto Mustikkamaalla [teholtaan 120 MW ja varastointikapasiteetti 11,6 GWh], joka riittää lämmittämään yli 500 kotia yhdeksi vuodeksi. Helenillä on lisäksi lämmönvarastointikapasiteettia Salmisaaressa ja Vuosaaressa sekä suunnitteilla oleva Kruununvuoren lämpövarasto. [IEA 2023] Vastaavasti Vantaan lämpövarasto olisi kokoluokaltaan maailman suurin n. 90 GWh [ks. kpl 3]¹⁵.

Yleisin tapa hallita kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen huippuja on varastoida kuumaa tai kylmää vettä eristetyissä säiliöissä käytettäväksi kysynnän kasvaessa¹⁶, tällainen on esimerkiksi Helenin Mustikkamaan vuonna 2021 käyttöön otettu lämpövarasto¹⁷. Lämpöenergian varastointi on halvempaa kuin sähköverkon varastointi ja mahdollistaa uusiutuvien energialähteiden [tuuli ja aurinko] integroimisen lämmitys- tai jäähdytyssektoriin mm. lämpöpumppujen tai sähkökattiloiden avulla. Lisäksi varastoinnin avulla voidaan välttää uusien tuotantoyksiköitä käynnistäminen ja ne lisäävät siten kaukolämpöverkon joustavuutta, mikä vähentää merkittävästi ympäristövaikutuksia ja kustannuksia. [Celsiuscity]. Lämpöpumppujen käynnistys- ja käyttökustannukset ovat alhaiset ja käynnistäminen nopeaa, jolloin niitä voidaan ajaa joustavasti ja siten parantaa voimalaitosten energiatehokkuutta huomattavasti esimerkiksi siirtämällä CHP-laitosten käynnistysajankohtaa syksyisin ja aikais- tamalla alasajoa keväisin. Käytännössä tämä mahdollistaa parantaa CHP-laitosten kykyä ajaa peruskuormalla suurimman osan siitä ajasta, kun laitos on käynnissä. Lisää joustavuutta saadaan, mikäli lämpöpumppu on

¹⁴ Ympäristölämpöä on esimerkiksi geoterminen energia, maalämpö, vesilämpö ja ilmalämpö. ks. <https://www.sll.fi/2020/09/17/karoliina-auvinen-lopetetaan-polttaminen/>

¹⁵ <https://www.vantaanenergia.fi/me/hiiinegatiivinen/lammon-kausivarasto/>

¹⁶ Veden suuren ominaislämpökapasiteetin vuoksi siihen saadaan varastoitua paljon lämpöenergiaa pienellä lämpötila-alueella, mikä helpottaa varaston rakentamista [Hashnain 1998]. Lisäksi helppo saatavuus ja siirrettävyys puoltavat veden käyttöä lämmön talteenotossa.

¹⁷ <https://www.helen.fi/blogi/2020/mustikkamaa>

yhdistettynä kaukolämpöakkuun, sillä silloin voidaan hyödyntää sähkömarkkinoiden hintaheilahtelut. Lämpöpumppujen avulla voidaan myös suojautua markkinariskeiltä sillä ne monipuolistavat lämpöjärjestelmän lämmöntuotantorakennetta. [Kokko 2019]

Lämpöä voidaan varastoida myös kiinteisiin aineisiin, kuten kiviainekseen, tiileen ja hiekkaan. Esimerkiksi Polar Night Energyllä on Tampereen Hiedanrannassa 3 MWh:n hiekkaan perustuvaa korkean lämpötilan lämpövaraston testipilotti¹⁸, joka on liitetty paikallisen kiinteistön lämpöverkkoon, joka yhdistyy kaukolämpöön lämmönvaihtimen kautta ja on tuottanut lämpöä parille rakennukselle talvesta 2020–2021 lähtien. Testipilotissa energianlähteenä toimii 100 m² aurinkopaneeliryhmittymä ja verkosta saatava sähkö. Lämpövarasto toimittaa lämpöä muutamalle lähialueen kerrostalolle. Polar Night Energy:n lämpövarastoratkaisuja on kaavailtu pientaloasujille, teollisuuden lämmitysjärjestelmille ja kaukolämpöverkoille.¹⁹ Suurin osa nykyään hyödynnettävissä nykyisistä lämpövarastoista ovat päivä- tai viikkokohtaisia ja ne ladataan ja puretaan useita kertoja vuoden aikana, jolloin ne mahdollistavat tuotannon joustoja.

Sen sijaan kausivarastot ovat toistaiseksi harvinaisempia, sillä niiden haasteena on heikko kustannustehokkuus, sillä varastoja käytetään erityisesti tehon hallintaan talvipakkasten aikana, jolloin isot varastot ladattaisiin ja purettaisiin tyypillisesti kerran vuodessa. Lämmön talteenottomuodosta riippuen kustannuksia voi lisätä varaston huolto ja ylläpito sekä erityiset materiaalit, joita esimerkiksi hiekkavarastot vaativat. [Wan&Dadi 2022] Muita tunnistettuja haasteita on lämpövarastojen vaatima tila, joka voi muodostua esteeksi etenkin tiivistyissä kaupungeissa, joissa maa on arvokasta. Tiheässä kaupunkirakenteessa varastot pitää tyypillisesti louhia maan alle, mikäli niitä ei saada sijoitettua voimaloiden viereen, mikä lisää investointikustannuksia. Lisäksi lämpövarastoissa on aina lämpöhäviöitä, jotka huonontavat kokonaishyötysuhdetta. Myös lämpövarastojen eristäminen lisää kustannuksia, vaikka se vähentääkin lämpöhäviöiden määrää. [Norblad 2020]

Geolämpö

Geoenergia on maankamarasta saatavaa lämmitys- ja viilennysenergiaa. Geoenergia on pitkäikäinen, investointi- ja käyttökustannuksiltaan tehokas energiaratkaisu erityisesti kiinteistöjen tarpeisiin ja alueellisiin energiaverkkoihin. GTK:n arvion mukaan Suomen geoenergiavaraston lämpömäärällä pystyttäisiin korvaamaan Suomen kaukolämmön tuotanto yli 20 000–25 000 vuodeksi. Verrattuna maalämpöön, geolämpö kerätään keskisyvistä energiakaivoista, jotka voivat ulottua jopa 2 km syvyyteen. Geolämmön hyödyntämisen kannalta olennaisia ovat maankamaran geologiset piirteet, jotka vaikuttavat saatavissa olevan geoenergian määrään ja tehoon merkittävästi eri puolilla Suomea, myös kuntien ja kaupunkien eri alueilla. [GTK 2023] Maalämpö on yleisesti yksittäisten kiinteistöjen lämmittämiseen soveltuva ratkaisu, kun taas geolämpö tarjoaa enemmän tehoa käytettyyn maapinta-alaan nähden, keskeisimpiä haasteita ovat olleet poraukseen käytettävän kaluston soveltuvuus Suomen olosuhteisiin ja porauksen hinta. Porauspaikan geologinen tuntemus on keskeistä, jotta voidaan arvioida kallioperän kykyä tuottaa ja ottaa vastaan lämpöä. Tämän perusteella voidaan arvioida käyttöprofiili, putkityyppi ja virtausnopeus, jotka vaikuttavat merkittävästi kaivosta saatavaan tehoon ja vuosittaiseen energiamäärään sekä ulos tulevan nesteen lämpötilaan. Alan kehittämiseksi vaaditaan yleisesti lisää TKI-panostuksia, mutta GTK:n arvion mukaan keskisyvä geolämpö voisi 2030-luvulla saavuttaa saman maturiteetin kuin mitä maalämmöllä on nyt [Leppäharju 2021].

[Suomen ensimmäinen keskisyvä lämpökaivo](#) valmistui vuonna 2020 Espooseen. Kaivon tuotanto vastaa noin kolmen kerrostalon vuosittaista lämmönkulutusta.

Pienydinvoima

Modulaarisia, sarjatuotantona valmistettavia pienydinvoimaloita (SMR) on kaavailtu yhtenä ratkaisuna sähkön (erit. säätövoima) ja kaukolämmön tuotantoon. SMR-luokkaan sisällytetään yleisesti lämpöteholtaan alle 1500 MW reaktorit, mikä kattaa kaikki kaupalliset ja suunnitellut pienet modulaariset reaktorit aina mikroaktoreihin asti [Hujala ym. 2022]. Vastaavasti pieniksi reaktoreiksi katsotaan lämpöteholtaan suuruusluokkaa 10–300 MW olevat reaktorit [ibid], Suomen vanhin Loviisan ydinvoimalan reaktorikohtainen lämpöteho on 1500MW²⁰. Lämmöntuotannon edellytyksenä on voimalan sijainti lähellä asutusta, jotta se voidaan kytkeä kiinni kaukolämpöverkostoon [Södergren 2022]. Keskeinen este on olemassa olevan pienydinreaktoreita koskevan sääntelyn puute [Yle 2022a & HS 2023], turvallisuuskysymykset sekä mahdollinen hyväksyttävyyden asutuksen lähellä [Ahonen ym. 2019]. Ydinenergialainsäädännön mukaisesti laitoksen perustamisen yhteydessä on ratkaistava

¹⁸ <https://polarnightenergy.fi/sand-battery>

¹⁹ <https://polarnightenergy.fi/technology>

²⁰ <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos/voimalaitoksen-toiminta>

ydinjätteen sijoitus, jonka lisäksi ydinjätehuoltoa valvontaa koko laitoksen elinkaaren ajan [STUK 2023]²¹. Globaalien uraanivarojen on arvioitu riittävän myös ydinvoimakapasiteetin korkeamman kysynnän skenaarioissa ja pitkän ajan saatavuuden kannalta keskeisempi kysymys on markkinoiden toimivuus [WNA 2023, Monnet ym. 2018]. Suomen ydinpolttoaineen hankinta on toistaiseksi hajautettu ja vain Loviisan ydinvoimalassa on enää käytössä venäläistä uraania [HS 2022].

SMR-voimaloiden turvallisuus vaatii asutuksen lähellä huomattavia varotoimia, joiden kustannukset on huomioitava. Suomessa ydinreaktorin rakentamiseen, käyttöönottoon ja käytöstä poistamiseen tarvitaan lupa valtiolta, jota määrittelee ydinenergialainsäädäntö [Ahonen 2019]. Luvituksen on tarkoitus suojella ihmisiä, ympäristöä ja tulevaisuutta säteilyn haitallisilta vaikutuksilta ja arvioida ehdotetun ydinvoimalaitoshankkeen hyödyt ja haitat yhteiskunnan kokonaisedun kannalta. Varotoiminta-alueet ja hätäsuunnittelu vyöhykkeet ovat avainkysymys erityisesti pienten modulaaristen reaktorien käytössä alueellisessa lämmöntuotannossa, jossa kaukolämpölaitokset on sijoitettava suhteellisen lähelle käyttökohdetta. Yksittäisessä pienessä modulaarisessa reaktorissa on suurta vähemmän radioaktiivista materiaalia, mutta yhdellä toimipisteellä voi olla useita pieniä moduulirakenteita, jolloin useiden reaktorien samanaikaisen onnettomuuden vaikutus ei välttämättä poikkeaisi yhden suuren reaktorin onnettomuuden vaikutuksista. Pienten modulaaristen reaktorien turvallisuus on siis arvioitava kokonaisuutena. [Ahonen 2019]

Toistaiseksi kaupallisia SMR-reaktoreita ei ole vielä saatavilla. Lappeenrannassa²² rakenteilla on Suomen ensimmäinen, tutkimuskäyttöön tarkoitettu pilotti mikroreaktori, joka yhdistettäisiin myös Lappeenrannan Energian kaukolämpöverkkoon [Yle 2022b] VTT:n arvion mukaan [2017] ns. NuScale 160 MW kevytvesireaktorit [Light Water Reactor] voisivat olla teknistaloudellisesti kypsiä kaukolämmitykseen 2030-luvulla, jolloin niiden takaisinmaksuaika olisi 10–20 vuotta riippuen lopullisesta investointi- ja tuotantokustannuksista [VTT 2017]. Tuoreimman arvion [VTT 2022] mukaan kevytvesi-SMR-valmistajien kustannusarviot asettuvat 2300–4600 €/kWe välille, mikä on puolet vähemmän verrattuna isojen laitosten toteutuneisiin kustannuksiin, jotka ovat 4000–6000 €/kWe. Pelkässä lämmöntuotannossa hinta lämpötehoilowattia kohti on enintään kolmasosa sähkökilowatin hinnasta; lämmön tuotantoon riittää pelkkä reaktorilaitos²³. Pohjoismaisen vertailun mukaan päästöttömät, pelkkää lämpöä tuottavien reaktorien alhaiset käyttökustannukset kompensoisivat kaupunkienergiayhtiöille sähkönmyynnin tulomenetykset CHP-laitoksissa, mutta pienydinvoiman investointikustannuksiin liittyy vielä huomattavia epävarmuuksia. Teräsvirta ym. [2020] mukaan pienydinvoima voisi siten teoriassa olla yksi strategia hallita biomassan saatavuusongelmia, jotka aiheutuvat hiilen käytöstä luopumisesta vuoteen 2035 mennessä. Tutkitussa tapauksessa lupaavin ratkaisu oli viisi 24 MW:n pelkkää lämpöä tuottavaa SMR-yksikköä 100 MWh CHP-laitoksella. [Teräsvirta ym. 2020], jolloin sähkön yhteistuotannosta luopuminen säästäisi biomassaa.

EU-komission tuoreen julkilausuman²⁴ [2023] mukaan pieniin modulaarisiin reaktoreihin liittyvää tutkimuksen, innovoinnin ja koulutuksen edistämisen tavoitteena on varmistaa teknologian turvallisuus ja polttoainejätteen jatkokäsittelyn hallinta. Lisäksi komission johdolla selvitetään SMR-teknologian soveltuvuutta täydentävänä ratkaisuna vaikeasti dekarbonisoitavilla aloilla, kuten kaukolämpö, suolanpoisto, prosessilämpö, energiaintensiivinen teollisuus ja vedyn tuotanto. [EC 2023]. Ydinvoima on hyväksytty myös osaksi EU:n kestävän rahoituksen luokitusjärjestelmää eli taksonomiaa, mikä mahdollistaa hankkeiden sijoituskelpoisuuden ja rahoituksen hankkimisen osana ilmasto- ja ympäristötavoitteiden saavuttamista huomioiden “ei merkittävää haittaa” -periaate [EC 2022]. Suomessa käynnissä on ydinenergialain [990/1987] kokonaisuudistus, jonka yhtenä tavoitteena on uudelleen tarkastella mm. valtioneuvoston asetukset ja ydinenergiaan liittyviä turvallisuus- ja lupakäytäntöjä [YVL]. Ydinvoiman yleinen hyväksyttävyyden on Suomessa historiallisen korkea [Vnk 2022a]. On kuitenkin merkittävää, että useimpien kaupunkien hiilineutraaliustavoite sijoittuu 2030-luvun alkuun, jolloin käytettävissä oleva aikaikkuna päästövähennyksille on verrattain lyhyt. Ydinvoiman ja varsinkin uuden SMR-teknologian kaupallistuminen ja rakentaminen [luvittaminen] voi vastaavasti viedä vielä useita vuosikymmeniä, edellyttäen lisäksi, että turvallisuus, hyväksyttävyyden ja kustannustehokkuusriskit saadaan onnistuneesti ratkaistua.

²¹ Kevyillä vesijäähdytteisissä pienissä modulaarisissa reaktoreissa syntyvä jäte voidaan käsitellä ja hävittää vastaavilla teknisillä ratkaisuilta, jotka ovat jo käytössä tai suunnitteilla Suomessa. Nykyinen turvallisuusvaatimuksia voidaan noudattaa ydinjätehuollossa. Ydinjätteen käsittely on jokaisen ydinvoimalaitosluvan haltijan vastuulla. [ks. Ahonen ym. 2020] Suomalaisen ydinjätehuollon perusajatus on jokaisen luvan haltijan vastuulla.

²² Kaasujäähdytteinen MMR-reaktori olisi lämpötehoaltaan 15–30MW ja sopisi Lappeenrannan yliopiston mukaan hyvin myös lämmön ja sähkön yhteistuotantoon. Hankkeen tavoitteena on tutkia, kuinka pieniä reaktoreita voidaan käyttää osana tulevaisuuden energiajärjestelmää.

²³ Ydinlämmön tasoitettu hinta on alimmillaan noin kolmasosa sähkön hinnasta, eli 15–35 €/MWh[lämpö]. Kustannus on herkkää lainarahoituksen osuudelle, käytetylle korkokannalle, käyttökustannuksille, käyttö- kertoimelle sekä rakentamisajalle.

²⁴ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2023-04/ec_rtd_eu-smr-declaration-2030.pdf

2.5 Keskeiset toimintaympäristön muutokset

Energiapolitiikan toimintaympäristö muuttui ratkaisevasti keväällä 2022 kun Venäjän aloittama hyökkäyssota Ukrainaan johti fossiilisen energian kriisin syntymiseen Euroopassa, joka oli erityisesti maakaasun osalta vahvasti riippuvainen idän tuontienergiasta. Myös Suomessa Venäjän hyökkäyssodan yksi konkreettinen seuraus on ollut fossiilisten polttoaineiden (kivihiili, öljy, maakaasu) Venäjän tuonnin hiipuminen, mutta myös puun tuonnin tyrehtyminen taloudellisten sanktioiden myötä (ks. [Energiateollisuus 2022](#)). Tämä on johtanut energian tuonnin uudelleen järjestäytymiseen osan fossiilisten polttoaineiden kohdalla, mutta myös etenkin maakaasun saatavuuteen kohdistuvaan niukkuuteen. Energiakriisi on vauhdittanut siirtymää uusiutuvaan energiaan, mutta myös lisännyt energiakustannuksia, jotka ovat näkyneet sekä kuluttajainnoissa että energiayhtiöiden taseessa eri tavoin (ks. [Tilastokeskus 2023](#) & [HS 2022](#)).

Energiakriisi sekä metsäteollisuuden raaka-ainekysynnän kasvu Venäjän tuonnin loputtua on lisännyt kysyntää kotimaiselle puulle ja painetta korvata kivihiiltä ja öljyä ja osittain jo käytöstä poistunutta turvetta puupolttoaineilla. Lähitulevaisuudessa puupolttoaineiden saatavuuteen liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Jo nyt on nähtävissä metsäteollisuuden tuotannon kehitykseen vaikuttava raaka-ainepula ja maailman markkinoilla sellun hinnan lasku, jotka vähentävät energiateollisuuden hyödynnettävissä olevia sivuvirtoja ([Niinistö 2023b](#)). Energiapuun hinnan nousu on myös lisännyt kilpailua puusta metsä- ja energiateollisuuden välillä (ks. Luke 2023b&c), sillä kotimaisen ja kestävän metsähakkeen lisämobilisointiin liittyy suuria epävarmuuksia (Afyry 2023). Afryryn mukaan energiapuun tarjonta ja turpeen tuotantomahdollisuus eivät riitä kattamaan polttoaineiden kysyntää lähivuosina (ibid) Selvityksen arvion mukaan polttoainevaje energiantuotannossa on 1,5 TWh vuonna 2025, kun taas vuonna 2028 arvioitu kotimaisen energiapuun tarjonta ja turpeen tuotantomahdollisuus riittäisivät juuri ja juuri kattamaan arvioidun kysynnän. Jos energiapuun tarjonta kuitenkin heikkenee entisestään, voi polttoainevaje olla 5,2 TWh vuonna 2025 ja 3,6 TWh vuonna 2028. Lyhyellä aikavälillä polttoainevajeen arvioidaan olevan 3,3 TWh vuonna 2023. Mikäli energian toimitusvarmuus nojaa kotimaisiin jakeisiin, suuntautuu kasvava kysyntä erityisesti metsähakkeeseen, jolloin vajetta saatetaan kattaa mm. metsäteollisuuden ainespuun energiakäytöllä ja palaamalla turpeen tuotantoon, mutta osittain myös fossiilisten polttoaineiden aiottua suurempaan käyttöön. (Afyry 2023)

Lisäksi metsien käyttöön liittyvien ilmasto- ja luontotavoitteet asettavat rajoituksia puun käytölle, sillä eri tavoitteiden täysmitallinen saavuttaminen ei ole mahdollista yhtä aikaa (Blatter ym. 2023, Niinistö 2023, Blatter ym. 2022). Esityksessä kansalliseksi luonnon monimuotoisuusstrategiaksi ([VNK 2022b](#)) keskeinen tavoite on pysäyttää luontokadon eteneminen vuonna 2030 ja saada luonnon monimuotoisuus elpymään. Toimeenpanon kannalta keskeiset tavoitteet koskevat paineiden vähentämistä luonnonvarojen käytölle, hoidon ja ennallistamisen toimenpidetavoitteita sekä suojelun pinta-ala määrien ja alojen kohdentamista tarkoituksenmukaisesti. (ibid) Kansallisen luonnon monimuotoisuusstrategian valmistelu on kuitenkin edelleen kesken.

3. Kuntatarkastelut

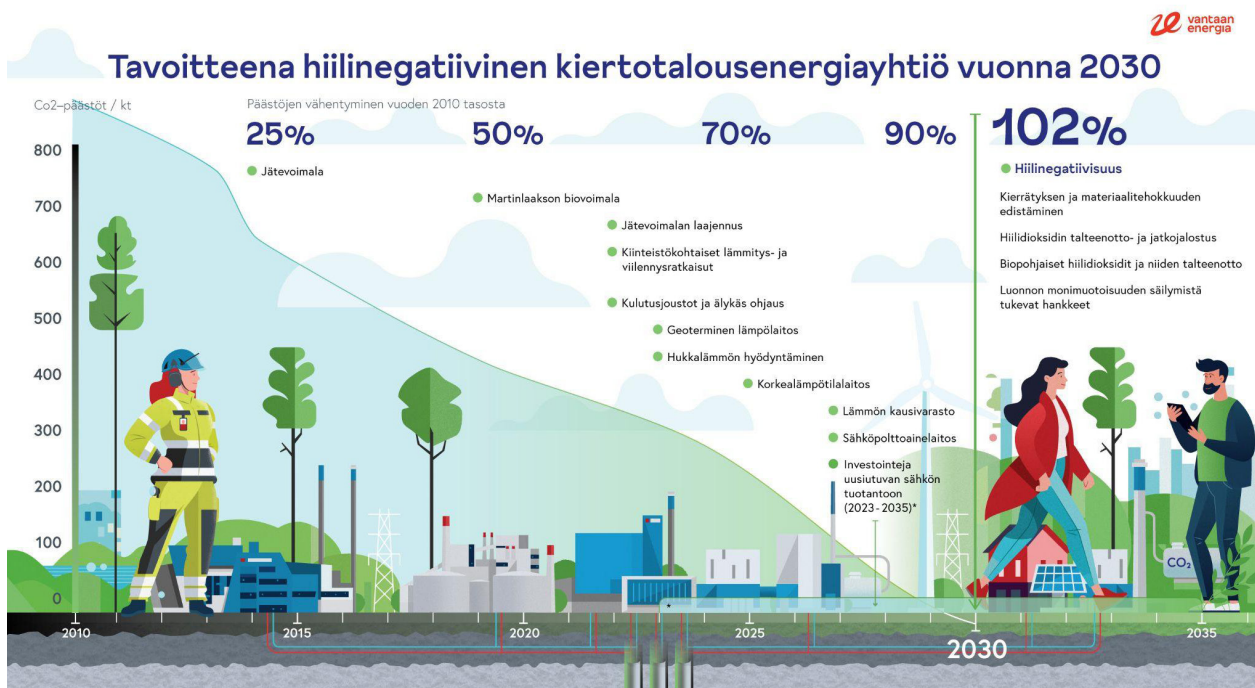
3.1 Vantaa

Vantaa on väkiluvultaan Suomen neljänneksi suurin kunta ja kuuluu pääkaupunkiseutuun. Vantaalla on runsaasti elintarvike-, LVI-, kone- ja laite-teollisuutta sekä yritystoimintaa. Rakennusten lämmitys aiheuttaa yli kolmanneksen pääkaupunkiseudun kasvihuonekaasupäästöistä (HSY 2021) ja Vantaalla lämmityksen päästöjen osuus oli 43 prosenttia vuonna 2022²⁵. Vantaa on sitoutunut Kuntien energiatehokkuussopimukseen (KETS), jonka avulla pyritään koko Vantaan energiatehokkuuden parantamiseen ja energiankäytön vähentämiseen sekä uusiutuvan energian käytön lisäämiseen. Lisäksi uudisrakentamisessa lähtökohtana ovat matalaenergiaratkaisut. (Vantaan kaupunki 2023). Vantaa on myös mukana Euroopan laajuisessa kaupunkien ilmasto- ja energiaverkostossa (Covenant of Mayors), johon se liittyi 2009. Verkoston kautta kaupungit tekevät sitoumuksia mm. päästöjen vähentämiseksi, ilmastonmuutokseen vaikutuksiin sopeutumiseksi ja energiaköyhyyden vähentämiseksi²⁶.

²⁵ <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/kasvihuonekaasupaastot/>

²⁶ <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/signatories>

Vantaan kaupungin tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2030²⁷. Kaupungin pitkän aikavälin ympäristötavoitteita määrittää koko kaupungin yhteinen resurssiviisauden tiekartta, jonka keskiössä ovat kiertotalous, uusiutuva energia sekä ympäristövastuullisesti toimivat asukkaat ja yritykset sekä luonnon monimuotoisuus. Tiekartan toimet koskevat mm. yhdyskuntarakennetta, liikkumista, hiilineutraalia energiaa, materiaalien elinkaarta ja kiertotaloutta, monimuotoista luontoa sekä hiilinieluja ja kompensointia. Vantaa liittyi ensimmäisenä pääkaupunkiseudulta myös kohti Hiilineutraalia kuntaa eli HINKU-verkostoon vuonna 2020²⁸. Vantaan siirtyminen fossiilittomaan energiantuotantoon tapahtuu uusiutuvien energialähteiden, jätteiden energiakäytöstä syntyvän energian ja energiavarastointiratkaisujen avulla.



Kuva 3. Vantaan energian tavoite- ja toimenpidepolku kohti hiilinegatiivista energiajärjestelmää. Lähde: Vantaan Energia 2022

Vantaan Energian hiilinegatiivisuustavoite yhdistelee kiertotaloutta ja uusia teknologioita osana energiajärjestelmän siirtymää ensin hiilineutraaliksi (irtautuminen fossiilisista polttoaineista) sekä lopulta hiilinegatiiviseksi vuoteen 2030 mennessä²⁹, jolloin Vantaan Energian oletettu hiilinegatiivisuus saavutetaan ottamalla jäljelle jäävät hiilidioksidipäästöt joko talteen (aktiivihiilenä) tai jalostamalla ne raaka-aineiksi. Vantaan Energian tavoitteena on luopua myös puupolttoaineista pääosin 2030 mennessä.

Vantaan Energian nykyiset päävoimalat ovat Uusiolan jätevoimala³⁰ ja Martinlaakson biovoimalaitos³¹.

Vantaan Uusiolan jätevoimalan tuottama lämpöteho on nykyisen lisäosan (2022) valmistumisen myötä 208 MW, mikä tekee siitä pohjoismaiden suurimman jätteen energiahyödyntämisen keskittymän. Uusiolan jätevoimalan perusyksikkö (2014) hyödyntää energiaksi 1,5 miljoonan kotitalouden sekajätteet Uudenmaan alueelta (jätekapasiteetti 320 000 tn/v), ja jätevoimalan laajennusosa (2022) hyödyntää energiaksi kaupan ja teollisuuden sekajätettä (jätekapasiteetti 200 000 tn/v). [VE 2023]. Lisäksi jätteitä on tuotu myös Italiasta. Jätevoimala Martinlaakson biokattila (lämpöteho 100 MW, sähköteho 35 MW) käyttää pääpolttoaineenaan puuperäisiä biopolttoaineita, kuten kotimaista haketta, sahanpurua ja kierrätyspuuta, vaneriteollisuuden hukkapaloja ja hieman turvetta. Biovoimalaitoksen toinen kattila polttaa yhä kivihiihtä (lämpöteho 135 MW, sähköteho 80 MW) ja kaasuturbiinilaitos maakaasua. Maakaasua on käytetty lämmöntuotannossa pääosin talven kulutushuipujen tasaamiseksi (kaasuturbiinin lämpöteho 100 MW, sähköteho 55 MW, lämmön talteenottokattilan sähköteho 35 MW). Vantaan Energian tavoitteena on luopua kaikista fossiilisista polttoaineista mahdollisimman

²⁷ <https://www.vantaa.fi/fi/kaupunki-ja-paatoksenteke/vastuullisuus/vastuullisuusraportti-2023/lapileikkaavat-teemat>

²⁸ Ks. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Vantaa_mukaan_Hinkuun\[59299\]](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Vantaa_mukaan_Hinkuun[59299])

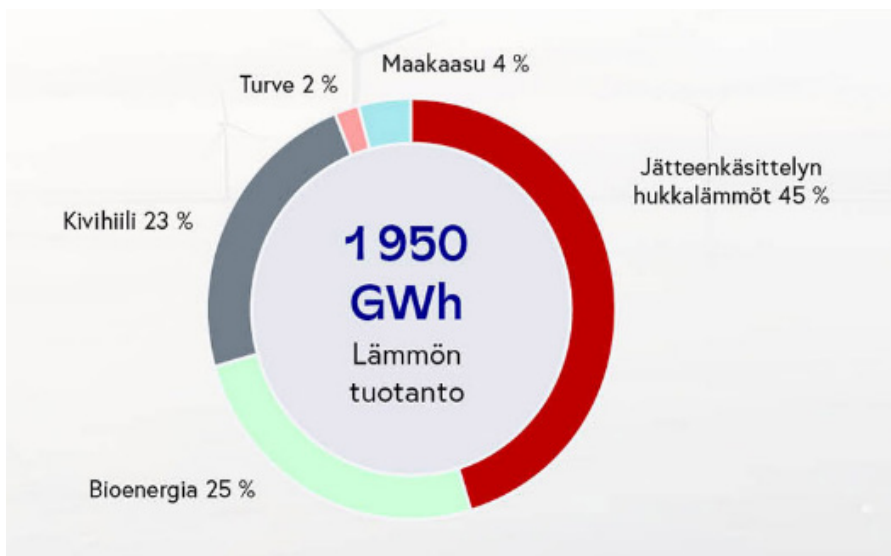
²⁹ ks. Vantaan Energian yleisesittely: <https://www.vantaanenergia.fi/me/lyhyesti/>

³⁰ https://fi.wikipedia.org/wiki/Vantaan_j%C3%A4tevoimala

³¹ Martinlaaksoon biokattila otettiin käyttöön 2019 ja se korvasin aiemmin öljykäyttöisen (1975) ja maakaasukäytön (1989). Lisäksi alueella on 1990 valmistunut kaukolämpöakku, jonka kapasiteetti on 750 MW.

pian säilyttäen toimitusvarmuutensa. Yhtiön tavoitteena oli turpeesta luopuminen vuonna 2021³², kivihiilestä luopuminen 2022 ja fossiilisista polttoaineista 2026, mutta Venäjän aloittama hyökkäyssota myötä suunnitelmia muutettiin huoltovarmuuden turvaamiseksi. Martinlaakson hiilivoimalan käyttö päättyi suunnitelmien mukaan huhtikuussa vuonna 2022 ja laitos oli tarkoitus purkaa kesällä. Kun maakaasun toimitukset Venäjältä loppuivat, se päätettiinkin huoltaa ja jättää huoltovarmuuskäyttöön. Myös biovoiman tuotantoa varmistettiin hankkimalla turvetta, vaikka siitä oli luovuttu jo edellisenä vuonna. Vantaan Energia käyttää turvetta nyt hiilen ohella huoltovarmuuspolttoaineena.

Jatkossa Martinlaakson voimalaitoksen kivihiilen polttoon tarkoitettu kattila on tarkoitus korvata arinakattilalla, joka on suunniteltu kyllästetyn puun lämpökäsittelyyn ja sen yhteydessä tapahtuvaan lämmöntuotantoon. Uuden kestopuubiovoimalan tavoitteena on käsitellä n.60 000 t/vuosi jätteenksi luokiteltavaa, kierrätykseen kelpaamatonta kyllästettyä puutavaraa. Jätepuun lämpökäsittelyn sivutuotteena syntyvä lämpöenergia hyödynnettäisiin energiantuotantoon, mikä vastaisi arviolta 10prosenttia Vantaan Energian kaukolämmön vuosituotannosta lähialueen lämpöverkoissa. [Sweco 2023]



Kuva 4. Vantaan Energian lämmön tuotannon energialähteet 2022. Lähde: Vantaan Energia 2022.

Merkittävin ratkaisu koskee Vantaan Kuusikonmäkeen rakennettavaa **lämmön kausivarastoa**, jonne varastoitaisiin mm. aurinko-, tuuli- ja hukkalämmönlähteistä saatavaa uusiutuvaa energiaa. Vantaan Energialla on kumppanuustuotantoa³³ uusiutuvan sähkön tuotannossa mm. Suomessa ja Norjassa, jossa yhtiö investoi uusiutuvan sähköntuotantoon, tuuli- ja aurinkosähköön sekä sähkön varastoimiseen. Käytännössä energiaa varastoitaisiin kesällä alhaisen lämmitystarpeen aikana ja hyödynnettäisiin talven pakkasilla lämmöntarpeen ollessa suuri. Uusiutuva energia olisi maan alla ja kalliossa varastoituneena +100-asteiseen veteen. Lämpövaraston tilavuus olisi 1 milj.m³ ja kapasiteetti on arviolta 90 gigawattituntia, mikä vastaa keskikokoisen suomalaiskaupungin vuosittaista lämmönkulutusta. [VE 2023] Vantaan Energian fossiilittoman energiantuotantoon tähtäävällä hankepaketilla voitaisiin saavuttaa jopa -65000 tCO₂ päästövähennys vuosittain [Hiilineutraaliwebinaari 15.11.2022³⁴]. Lämmön kausivaraston osuus tästä olisi noin puolet [lämmön kausivaraston YVA-selvitys]. Lämpövaraston erityispiirteenä olisi korkea lämpötila ja tästä aiheutuvat paineenhallintamenetelmät, jossa hyödynnettäisiin veden omaa massaa. Lämpövaraston hyödyntäminen pohjautuu järjestelmäintegraatioon, olemassa olevaan energijärjestelmään ja optimaalisen ajotavan ymmärtämiseen. [ibid] Vantaalla lämmön kausivarastoon varastoidulla energialla voitaisiin korvata erityisesti maakaasun käyttöä talvella. Kausivaraston merkitys on keskeinen Vantaan Energian tavoitteelle olla hiilnegatiivinen kiertotalousergiayhtiö vuonna 2030, mutta myös Vantaan kaupungin 2030 hiilineutraaliustavoitteelle. [VE 2023] Varistoon valmistui lisäksi keväällä 2023 Vantaan Energian **geolämpölaitos**, joka parantaa Vantaan energiaomavaraisuutta lisäten samalla uusiutuvan lämmön osuutta lämmöntuotannossa. Geolämpölaitos koostuu

³² <https://www.vantaanenergia.fi/fossiiliton-2026/eroon-kivihiilesta-ja-turpeesta-nopealla-aikataululla/>

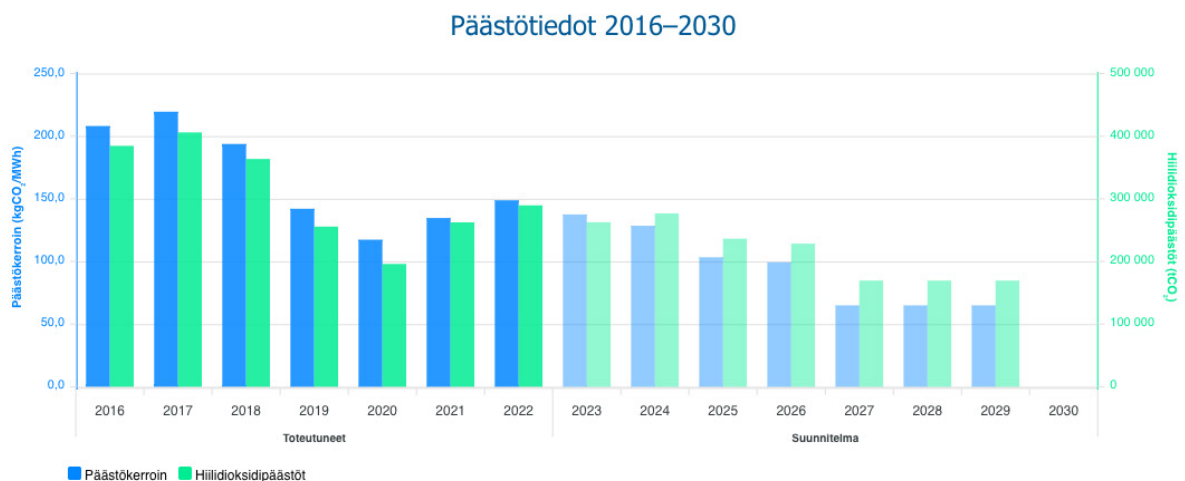
³³ Yhtiö on osakkaana tuuli-, vesi- ja ydinvoimaa tuottavissa yhtiöissä: Svartisen Holding, Kolsin Voima, EPV Energia, Pohjolan Voima ja Suomen Hyötytuuli

³⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=lv07wNv8bZM>

kolmesta 800 metriä syvästä lämpökaivosta ja se tuottaa noin 1400 MWh lämpöä, mikä vastaa n.35 perinteistä maalämpökaivoa.

Vantaalle on rakenteilla myös **korkealämpötilalaitos**, jonka avulla vaaralliseksi luokitellun jätteen käsittely voidaan jatkossa tehdä Suomessa Eurooppaan viennin sijaan. Korkealämpölaitoksen prosessissa syntyvä hukkalämpö (220 GWh) hyödynnettäisiin kiinteistöjen lämmitykseen, jolloin se korvaisi mm. maakaasun käyttöä ja edistää fossiilista polttoaineista irtautumista.

Osan kiertotalouskehikkoa muodostaa Vantaan Energian **sähköpolttolaitos**, jossa jätteenpoltossa vapautuva hiilidioksidi hyödynnetään synteettisten polttoaineiden tuottamiseksi liikenteeseen lämpökeskuksissa. Tämä mahdollistaisi maakaasun käytön korvaamisen synteettisellä kaasulla kaukolämmöntuotannossa erityisesti kylminä talvikuukausina. Lisäksi sähköpolttolaitoksessa tuotettu synteettinen kaasu vauhdittaa raskaan liikenteen toimialan vihreää siirtymää toimiessaan uusiutuvana liikennepolttoaineena. (Siponen 2022) Vantaan Energian sähköpolttolaitos-hankkeessa hyödynnettäisiin uusiutuvaa sähköä ja tuotetaan sekä lämpöä että synteettistä sähköpolttoa, joka palvelee liikennettä ja energiantuotantoa. Laitoksen toteutuksessa hukkalämmön talteenotolla on merkittävä rooli. Vantaan Energialla investoi uusiutuvan aurinko- ja tuulisähköntuotantoon sekä varastointiin Suomessa ja Norjassa kumppanuuksien pohjalta. Lisäksi Vantaan Energia suunnitelmissa on **aktiivihiihlaitos**, joka mahdollistaisi lämmöntuotannon jatkojalostamalla kierrätyspuuta muuhun kuin polttamiseen perustuvalla menetelmällä. Laitoksen lopputuotteena syntyisi lämpöä kaukolämpöverkkoon sekä biopohjaista aktiivihiihtä yhdyskuntien ja teollisuuden käyttökohteisiin. Vantaan Energian yhtenä tavoitteena (ja osittain myös ennakoiden jätteenpoltton siirtymistä päästökaupan piiriin 2028) on hiilidioksidin jatkojalostus, jolloin hiilidioksidia otettaisiin talteen jäte-energiana poltettujen jakeiden savukaasuista ja talteen otettua hiilidioksidia hyödynnettäisiin pitkän elinkaaren tuotteisiin, korvaamaan mm. muovien valmistuksessa käytettäviä fossiilisia raaka-aineita. (VE 2023)



Kuva 5. Vantaan kaukolämmön toteutunut ja oletettu päästökehitys 2016–2030.

Lähde: Kunnan kaukolämmön päästöt, Vantaa: <https://kpaastolaskuri.fi/paastot/VANTAA>

Tuotantojakauma



Kuva 6. Vantaan kaukolämmön tuotantojakauma energialähteittäin 2022. Vantaan Energian tuottaman kaukolämmön CO₂-päästökerroin vuonna 2022 oli 169,6 gCO₂/kWh.

3.2 Tampere

Tampere on väkiluvultaan Suomen kolmanneksi suurin kunta³⁵ ja lähikuntineen toiseksi suurin kaupunkialue. Kaupungin elinkeinorakenteen kärjessä ovat terveys- ja sosiaalipalvelut, teollisuus ja kauppa³⁶. Suurimmat alueellisten päästöjen lähteet ovat liikenne ja kaukolämpö [Tampereen kaupunki 2022]. Tampereella ilmastotyötä on tehty jo pitkään esimerkiksi kaupunkien ja alueiden välisessä yhteistyöverkostossa (Covenant of Mayors) ja hiilineutraaliustavoitteen 2030 tavoitteen taustalla ovat mm. Tampereen strategia 2030, Kestävä Tampere 2030 -linjaukset, sekä YK:n Kestävän kehityksen toimintaohjelma Agenda 2030. Lisäksi Tampere ja Tampereen kaupunkiseutu liittyivät Hinku-verkostoon 2019.

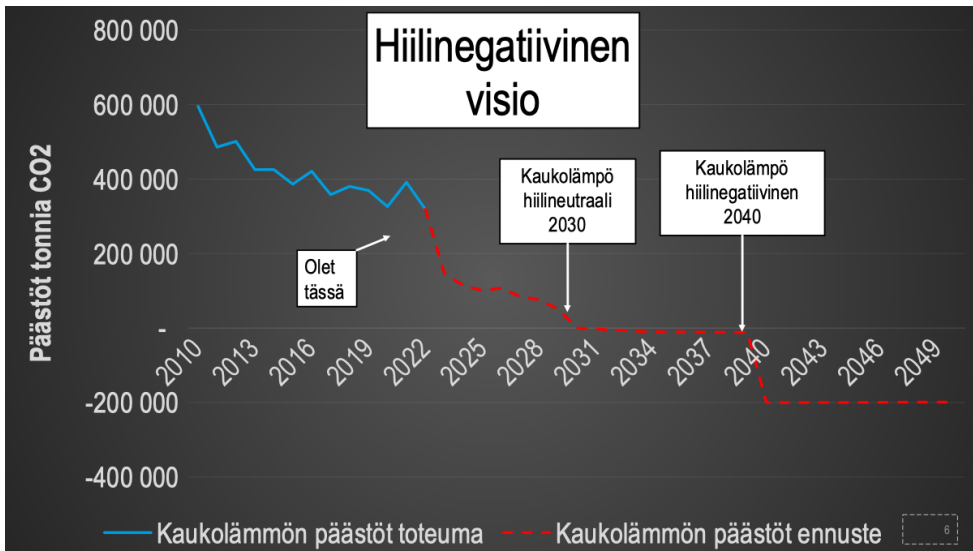
Tampereen keskeiset toimenpiteet [305] on koottu pitkän aikavälin suunnitelmaan eli [ilmastotiekarttaan](#), jonka lisäksi niiden toteutumista seurataan ilmastovahti-palvelussa. Tiekartan toimenpiteet käsittävät seitsemän teemaa: kaupunkisuunnittelu, liikennejärjestelmä, rakentaminen, energia, kulutus, kaupunkiluonto ja ilmastotyön koordinointi ja seuranta. Tiekarttaan sisältyviä investointeja ovat mm. Naistenlahden voimalan uusiminen, ratikan rakentaminen, bussikaluston muuttaminen vähäpäästöiseksi, biokaasuvoimalan rakentaminen, ulkovalaistuksen vaihtaminen älykkäisiin ledeihin ja kaupungin palvelukiinteistöjen energiasaneeraus. Näiden lisäksi kestävä kaupunkikehitystä edistetään tehostamalla kierrätystä, edistämällä jakamistaloutta, kestäviä hankintoja ja lisäämällä kasvisruoan määrää, joiden vaikutus kasvaa kertautuessaan. Tiekartan arvioitavissa olevilla toimenpiteillä arvioidaan saavutettavan noin 73 prosentin päästövähennys vuoteen 2030 mennessä. [Tampereen kaupunki 2022]

Keskeisessä roolissa [kaukolämmön] päästövähennyksien kannalta on kaupungin energiayhtiö, Tampereen Energia (ent. Sähkölaitos), jonka pitkän tähtäimen suunnitelmana on siirtyminen polttoon perustumattomaan ja hiilinegatiiviseen kaukolämpöön vuoteen 2040 mennessä. Tampereen Energian suunnitelma tukeutuu Tampereen sitoumukseen hiilineutraaliudesta vuonna 2030 sekä Suomen tavoitteeseen hiilineutraaliudesta vuonna 2035 ja hiilinegatiivisuudesta nopeasti tämän jälkeen. Tampereen Energian tavoitteena on pienentää lämmöntuotannon päästöjä 89 prosenttia vuoden 2015 tasosta vuoteen 2030 mennessä.³⁷ Tampereen Energian vuonna 2021 tekemässä selvityksessä "[Polttoon perustumattomaan ja hiilinegatiiviseen kaukolämpöön siirtymisestä](#)" erilaisia vaihtoehtoisia polkuja tavoitteisiin on arvioitu ja keskeisimmille skenaarioille on laadittu vuosittaiset askeleet haluttuun lopputilaan pääsemiseksi. Tavoitevuosi pohjautuu pääosin nykyteknologiaan. Selvitykseen tuodaan rajoitetusti mukaan myös vaihtoehtoja, joissa on mukana myös epävarmempia (esim. pienydinvoima) teknologioita.

³⁵ <https://www.tampere.fi/>

³⁶ <https://www.tampere.fi/tampere-tietoa/tilastot/tilastotietoa-tyosta-ja-elinvoimasta>,
<https://tampereenseutu.fi/tampereen-kaupunkiseutu/>

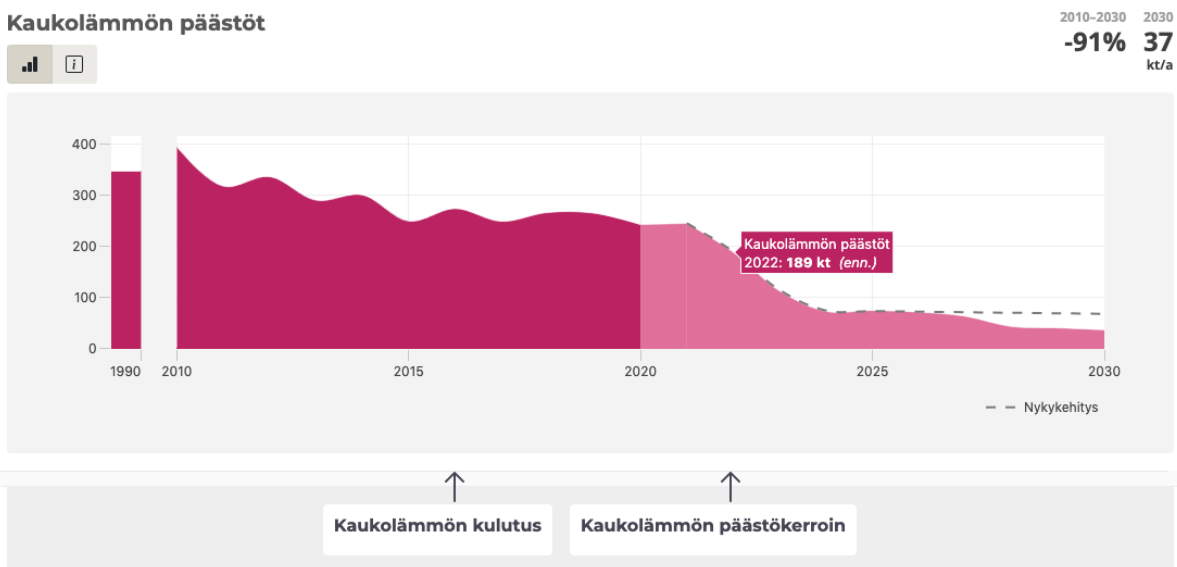
³⁷ <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtiolle/lamporatkaisut/kaukolammon-tulevaisuus/>



Kuva 7. Tampereen Energian (ent. Sähkölaitos) tavoitepolku hiilinegatiiviselle kaukolämmölle 2040.

Tampereella kaukolämmön kysyntään vuoteen 2040 mennessä vaikuttaviksi tekijöiksi on arvioitu rakennusten energiatehokkuuden kasvu, ilmaston lämpenemisestä johtuva lämmitystarpeen pienentyminen ja toisaalta Tampereen väkiluvun n. yli 1 % vuosittainen kasvu, joka vastaavasti kasvattaa lämmitystarvetta. Tampereen Energia on arvioinut ratkaisuja niiden päästövähennyspotentiaalain, kustannuksien ja saatavuuden perusteella, jonka mukaan potentiaalisimmat teknologiat polttovapaaseen ja hiilinegatiiviseen kaukolämmöntuotantoon Tampereella ovat sähkökattilat, lämpöpumput sekä hiilidioksidin talteenotto.

Kaukolämmön päästöt



Kuva 8. Tampereen kaukolämmön nykyinen ja ennakoitu päästökehitys. Päästöt vuonna 2022 189ktCO₂ [ennakkotieto]*
Lähde: ilmastovahti Tampere.³⁸

Tampereen nykyisessä kaukolämmön tuotantorakenteessa merkittävässä roolissa ovat **puupolttoaineet** sekä **Tammervoiman hyötyvoimalaitos**, jossa paikallisen sekajätteen poltosta tuotetaan lämpöä [400 GWh/vuosi] ja sähköä [70 GWh]³⁹. Tammervoiman hyötyvoimalaitoksen yhteyteen on tulossa vuonna 2026 **hiilidioksidin talteenottolaitos yhteistyössä Nordic Ren-Gasin**⁴⁰ kanssa. Laitoksen avulla talteen saataisiin 40 000 t CO₂, jonka lisäksi laitos tuottaisi polttoon perustumatonta kaukolämpöä 170 GWh vuodessa.⁴¹ Verrattuna pääkaupunkiseutuun, Tampereella ei ole koskaan käytetty kivihiiltä, vaan lämmöntuotanto on perustunut fossiiliseen kaasuun, turpeeseen ja öljyyn. Lisäksi puupolttoaineet ovat olleet jo pitkään merkittävässä

³⁸ https://ilmastovahti.tampere.fi/paastoskenaariot?node=district_heating_emissions

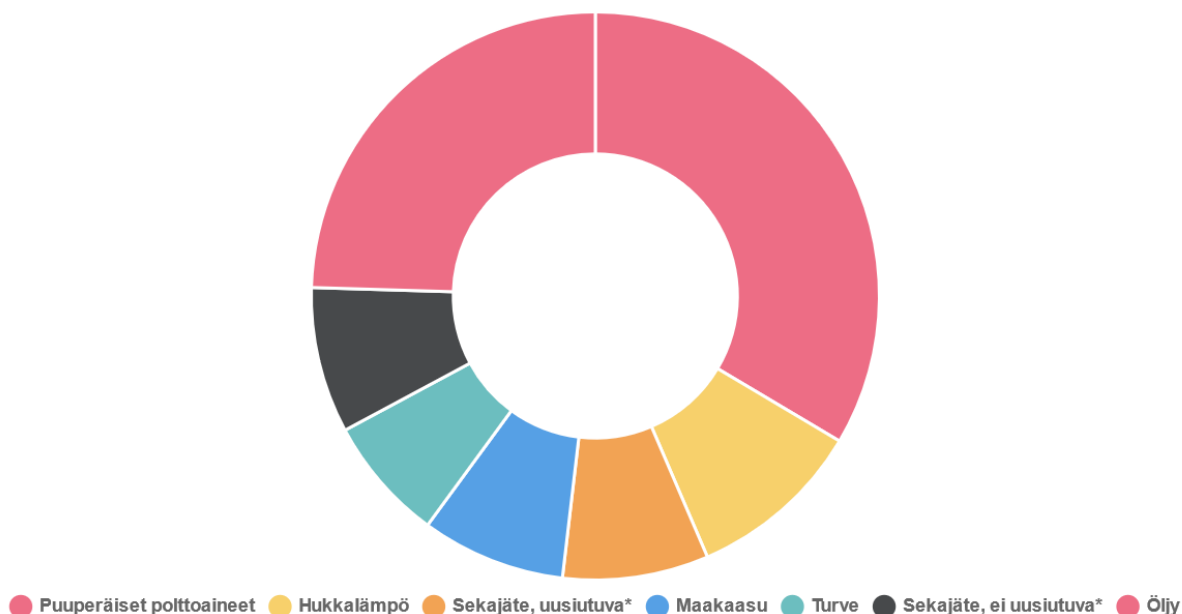
³⁹ <https://tammervoima.fi/voimalaitos/>

⁴⁰ <https://ren-gas.com/ajankohtaista/tampereen-power-to-gas-hanke-vahvassa-mytatuudessa/>

⁴¹ <https://ilmastovahti.tampere.fi/actions/4.1.6>

roolissa⁴². Vuonna 2013 Tampereen Sarankulmassa otettiin käyttöön Suomen ensimmäinen puupellettien pölypolttoon perustuva 33MW lämpövoimala⁴³. Hervannan hakelämpölaite [49,5 MW] valmistui 2015 Teollisuuden **hukkalämpöä** saadaan Hatanpäällä sijaitsevasta **Nokia R&D Lab datakeskuksesta**, 42 GWh, joka laskennallisesti vastaa 2500 omakotitalon vuotuista lämmitysenergian tarvetta⁴⁴. Lisäksi Tampereella on käynnissä geolämmön pilotointi, jossa tehdään reilun 2 km syvyinen **geolämpökaivo**.

Kaukolämmön tuotannon energialähteet vuonna 2022



Kuva 9. Tampereen Energian kaukolämmön tuotannon energialähteet: puuperäiset polttoaineet 33,5 %, hukkalämpö 10 %, sekajäte (uusiutuva) 8,3 %, maakaasu 8,2 %, turve 7,1 %, sekajäte (ei uusiutuva) 8,3 %, öljy 24,5 %. Lähde: [Tampereen Energia 2023](#).

Uuden **Naistenlahti 3 biovoimalaitoksen** myötä turpeen käyttö Tampereella oli ainakin alustavan aikataulun mukaan kaavailtu lopetettavaksi vuonna 2024, mutta Venäjän hyökkäyssodan myötä turpeen käyttöä on kaavailtu jatkettavan Tampereella huoltovarmuussyistä ainakin pari seuraavaa vuotta riippuen sää- ja puutilanteesta. Maakaasun käyttöä muilla laitoksilla vähennetään. Voimalaitos tuottaa sähkön lisäksi noin 50 prosenttia koko kaupungin kaukolämmöstä vuosittain. Naistenlahti 3 biolaitoksen CFB-kattilan⁴⁵ polttoaineteho on n. 210 MW, sähköteho n. 50 MW ja kaukolämpöteho n. 160 MW. Pääpolttoaineina voimalaitoksessa ovat metsäperäiset biomassat, kuten metsähake ja metsäteollisuuden sivutuotteet. Muita polttoaineita ovat A- ja B-luokan kierrätyspuu, C-luokan purkupuu ja SRF-kierrätyspolttoaine⁴⁶, jonka lisäksi varapolttoaineena on jyrsinturpe. Naistenlahti 3 -voimalaitos vähentää Tampereen Energian (laskennallisia) CO₂-päästöjä 55 prosenttia, mikä on 20 prosenttia koko Tampereen hiilidioksidipäästöistä. Päästövähennysarvio ei kuitenkaan sisällä maankäyttösektorille (LULUCF) laskettavia ilmastovaikutuksia, jotka syntyvät puun energiakäytön kasvusta Tampereella.

Lisäksi suunnitteilla on muita investointeja vihreään, polttoon perustumattomaan kaukolämpöön 2020-luvulla. Tampereen Energian mukaan polttoon perustumatonta ja hiilinegatiivista kaukolämpöä edistetään investoimalla **Naistenlahti 3 -voimalaitoksen lisälämmöntalteenottoon**, jonka avulla voimalaitoksen savukaasuja jäädytetään ja näin saatava (hukka)lämpö otetaan talteen kaukolämpöveteen lämpöpumpputekniikalla. Arvion mukaan näin saatava Tampereen sähkölaitoksen lämmöntuotannon kapasiteettia on noin 130 GWh, mikä on enemmän Nokian kaupungin koko kaukolämmön kulutus. Hankkeen tavoiteaikataulun mukaan lisälämmöntalteenotto on käytössä tammikuussa 2025. [Tampereen Energia 2022]

⁴² http://biobisnesta.fi/wp-content/uploads/2019/04/Heinonen_Tampereen-energiantuotannon-puunk%C3%A4ytt%C3%B6.pdf

⁴³ <https://kuntatekniikka.fi/2012/12/06/pellettien-polypoltto-tuli-suomen-lammontuotantoon/>

⁴⁴ <https://www.tampereilainen.fi/paikalliset/4382766>

⁴⁵ kiertoleijukerros polttokattila [CFB = Circulating Fluidized Bed] mahdollistaa mm. hyvin erilaisten polttoaineiden käytön.

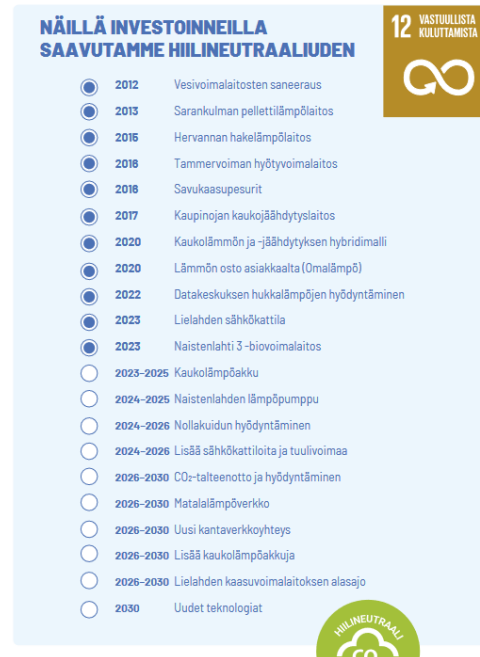
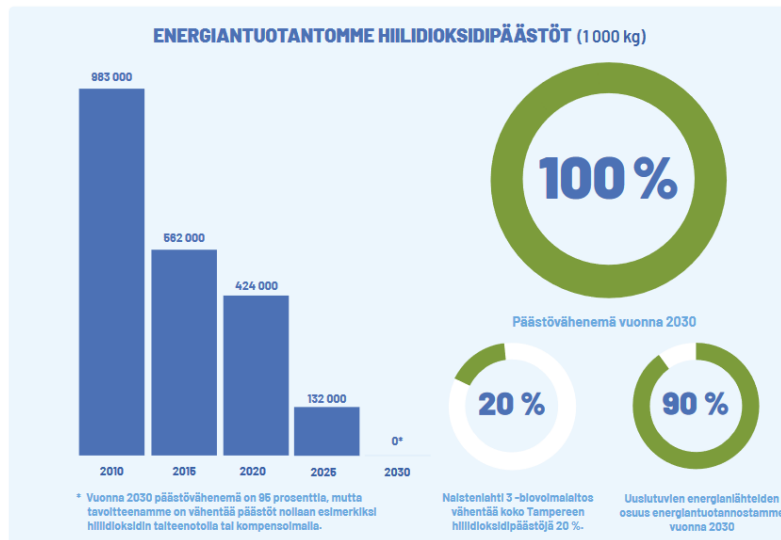
⁴⁶ SRF eli "solid recovered fuel" valmistetaan pääosin erilliskerätystä energijätteestä ja sisältää mm. muovia ja muita pakkausmateriaaleja, jotka eivät kelpaa materiaali kierrätykseen. Kierrätyspolttoaine on esikäsittelyä eli lajiteltua ja murskattua.

Lisäksi Tampereen Hiedanrannassa hyödynnetään alueella toimivan biohiililaitos Carbofex Oy tuotannossa syntyvää ylijäämää lämpöä kaukolämpöverkkoon. Carbofexin tehdas kuumentaa pirkanmaalaista puuta mineraalimuotoon, biohiileksi, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi viherrakentamisessa maanparannusaineena ja samalla voidaan sitoa hiilidioksidia maaperään pysyvästi. [Tampereen Energia 2023] Pyrolyysi (eli kuivatistaus) on teknologiana tyypillisesti kallis ja energiaintensiivinen⁴⁷.

Lisäksi vuonna 2025 kaukolämpöverkon ulkopuolisilla tonteilla edellytetään uusiutuvan energian ratkaisuja, ml. energiapositiiviset rakennukset. Uuteen Hiedanrannan kaupunginosaan Tampereen Energia suunnittelee **kaksi-suuntaista matalalämpöistä kaukolämpöverkkoa**, jossa kiertäisi n. 65–70 –asteinen vesi ja joka mahdollistaisi myös hukkalämmön hyödyntämisen⁴⁸. Lisäksi palvelurakennuksia ja kaupungin maaomaisuutta kehitetään virtuaalivoimalaitoksiksi kaukolämpöverkolle ja sähköverkolle, ja kaupungin kiinteistöissä otetaan käyttöön älykäs kaukolämpö. Tämän tarkoituksena on edistää kaukolämmön kulutuspiikkien hallintaa ja talotekniikan älykkäämpää ohjausta.

PYSÄYTÄMME ILMASTONMUUTOKSEN

Yhdessä asiakkaidemme kanssa



Kuva 10. Lähde: Tampereen Energian Vastuullisuusraportti 2022 [s.39]

Tampereen Energian uusi investointi on Lielahden⁴⁹ asennettu **sähkökattila**, jonka teho on 45MW ja rakentamisen kustannus on noin kolme miljoonaa euroa⁵⁰. Sähkökattila toimii vedenvaraajan tavoin ja lämmittää kaukolämpöä silloin kun uusiutuvaa tuulivoimalla tuotettua pörssisähköä on runsaasti saatavilla. Sähkökattilan avulla voidaan lisätä sähkö- ja lämpöjärjestelmään joustavuutta, vakautta ja toimitusvarmuutta, joita energiakriisi erityisesti on haastanut⁵¹. Sähkökattilaa on tarkoitus ajaa etenkin edullisimpina pörssisähkön tunteina, jolloin se vakauttaa sähköntuotannon ja lämmönkulutuksen piikkejä sekä pitää kaukolämmön hinnan tasaisempana. Suomessa halvimmat tunnit ovat tyypillisesti niitä, jolloin tuulivoimaa on tarjolla runsaasti, joten investointi tukee osaltaan uusiutuvan energian tuotantoa ja siirtymää uusiutuvaan sähköntuotantoon. Arvioitu alueellinen päästövähennys on n. 16 000tCO₂.⁵²

Tampereen Energia suunnittelee myös suuren kaukolämpöakun rakentamista lisätäkseen järjestelmän kulutusjoustoja. Kaukolämpöakkuun varastoitaisiin kaikilla muilla laiteyksillä tuotettua lämpöä sekä sähkökattilan tuottamaa lämpöä silloin, kun sää on leuto, lämmön kysyntä ja sähkön hinta alhainen. Kaukolämpöakku

⁴⁷ Patwa ym. 2022. Ks. <https://doi.org/10.1016/j.jscitotenv.2022.155253>

⁴⁸ <https://kuntalehti.fi/uutiset/teknikka/tampereelle-on-suunnitteilla-matalalampoinen-kaukolampoverkko/>

⁴⁹ <https://yle.fi/uutiset/3-12440181>

⁵⁰ <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/tampereelle-pirkanmaan-suurin-vedenkeitin/>

⁵¹ <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/energiakriisi-mullisti-energia-alan--tallaista-on-tyoskentely-myrskyn-silmassa/>

⁵² <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/tampereelle-pirkanmaan-suurin-vedenkeitin/> & <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/yksi-suomen-ensimmaisista-sahkokayttoisista-lampokattiloista-on-saapunut-tampereelle/>

auttaisi Tampereella erityisesti maakaasun käytön vähentämiseen vuorokauden sisäisissä kysyntäpiikeissä pakkassäällä. Lämpövarastoja on tyypillisesti päivä-, viikko- tai kausivarastointiin, Tampereen Energian arvion mukaan jo viikkotason varastointiin tarvitaan Tampereella huomattavasti normaalia kookkaampi varasto, joka voisi olla 10 000 MWh (10 GWh) tai enemmän. Tämän kokoluokan lämpövarastoja on rakennettu tai rakenteilla esimerkiksi Ouluun (10 GWh), Helsinkiin (Mustikkamaa 11,6 GWh) ja Vaasaan (7–9 GWh). Käytännössä 10 GWh lämpövarastosta voidaan ottaa lämpöä esimerkiksi viikon verran noin 60 MW teholla. Tämä (60 MW) vastaisi talvella kuitenkin korkeintaan 20 prosenttia Tampereen kaukolämmön tarpeesta. Kausivaraston kokoluokan tulisi Tampereella olla siten vähintään 100 GWh. Vantaalle suunniteltavan 90 GWh:n lämpövaraston kustannusarvio on 75 MEUR, mikä tekisi siitä huomattavasti edullisemmän kuin Helenin Mustikkamaan lämpövarasto megawattituntia kohti. Tampereen Energian arvion mukaan Tampereella 100 GWh riittäisi kattamaan vajaat 5 % koko vuoden lämmön tarpeesta.

Tulevaisuudessa Tampereen Energian tavoitteena on kompensoida oman tuotantonsa päästöt (hiilineutraalius) investoimalla teknisiin hiilidioksidinieluihin (BECCS/BECCU), joita skaalaamalla yhtiön tavoittelee ainakin osittaista hiilinegatiivisuutta⁵³.

4. Kaupunkien ratkaisujen arviointi

4.1 Vantaa: jätteen poltosta kohti energian kiertotaloutta?

Vantaan kaukolämmön tuotannossa painottuu tällä hetkellä jätteen energiakäyttö, joka toisaalta luo pohjaa myös muulle hukkalämpöenergian hyödyntämiselle sekä kehitystyölle kohti hiilinegatiivisuutta. Jätteen hyödyntäminen energiaksi on osin mahdollistanut Vantaan irrottautumisen fossiilisista polttoaineista sekä puu- ja polttoaineiden käytön vähentämisen.

Yleisesti jätteen energiayhdyntämisellä on korvattu fossiilisten polttoaineiden käyttöä kaukolämmön tuotannossa erityisesti Pohjoismaissa, mikä on vähentänyt kasvihuonekaasupäästöjä ja lisännyt energiaomavaraisuutta (Pöyry 2015). Yhdyskuntajätteen poltossa syntyy hiilidioksidipäästöjä yli puolet vähemmän verrattuna kivihiilen polttoon ja vain noin 38 prosenttia verrattuna turpeen poltossa syntyviin päästöihin (ibid). Vantaalla jätteistä tuotettua kaukolämpöä on myös viety muihin kaupunkeihin, kuten Helsinkiin, johon kaupungin kaukolämpöverkolla on yhteys. Tällä hetkellä vain rinnakkaispolttolaitokset, joissa tasalaatuisen teollisuusjätteen lisäksi käytetään muita tavanomaisia polttoaineita sekä kierrätyspolttoaineita (Pöyry 2015), ovat päästökaupan piirissä, mutta jätteen polton ennakoidaan tulevan päästökauppaan 2028⁵⁴.

Jätteiden energiakäytöstä eli jätteenpoltosta aiheutuvat päästöt raportoidaan taakanjakosektorin luokassa muut päästöt, eivätkä ne siten sisälly jätteiden käsittelyn päästötietoihin. Taakanjakosektorin jätteenpolton päästöt ovat kasvaneet vuodesta 2005 lähtien merkittävästi erityisesti yhdyskuntajätteen energiayhdyntämisen lisääntymisen myötä⁵⁵. Vuonna 2020 syntyneestä yhdyskuntajätteestä noin 58 prosenttia hyödynnettiin energiana, kun vastaavasti vuonna 2008 vain noin 17 prosenttia syntyneestä yhdyskuntajätteestä poltettiin. (YM 2022d) Jätteenpolton päästöjen kasvu on osiltaan lisännyt muiden ei-päästökauppasektorin alojen päästövähennystarvetta. Jätteen energiayhdyntämisen sisällyttäminen päästökauppaan tukisi siten sekä kansallista ilmastopoliittia että jätteepoliittia (Pöyry 2015), jossa tavoitteena on kasvattaa erityisesti yhdyskuntajätteen kierrätysastetta ja kehittää uudelleenkäyttöinfrastruktuuria (YM 2022e). Pöyryn arvion mukaan päästökaupan aiheuttama kustannuslisä vaikuttaisi kuitenkin sekä tuotettavan sähkön ja lämmön hintaan että laitokselle tuotavan jätteen porttimaksuun. (Pöyry 2015) Erilaisten ohjauskeinojen, kuten jätteenpolttoveron ja vapaaehtoisen sopimisen vaikutuksen kiertotalouden edistämiseksi ja ilmastopäästöjen vähentämiseksi on arvioitu olevan vähäinen (Bröckl ym. 2021). Verotasojen energia- ja painoperusteiset jätteenpolttoverot siirtäisivät kustannukset ensisijaisesti jätteenpolttolaitoksien porttimaksuihin ja jätemaksuihin. Kustannusvai-

⁵³ Vain hiilidioksidin pysyvä talteenotto johtaa negatiivisiin päästöihin eli hiilinegatiivisuuteen. BECCU on käytännössä päästöjen kierrättämistä.

⁵⁴ <https://zerowasteeurope.eu/press-release/zwe-welcomes-the-agreement-on-the-municipal-waste-incinerators-within-the-eu-ets/>

⁵⁵ Energiayhdyntäminen on noussut vuosien 2009–2019 aikana 463 000 tonnista noin 1,7 miljoonaan tonniin. Vuonna 2019 noin 56 % yhdyskuntajätteistä päätyi energiayhdyntämiseen. Materiaalina hyödyntäminen on kasvanut 920 000 tonnista noin 1,3 miljoonaan tonniin, ollen noin 43 %. Energiayhdyntäminen sisältää Suomessa kierrätyspolttoaineeksi valmistetun yhdyskuntajätteen määrän, josta osa on viety ulkomaille energiayhdyntäväksi. (Bröckl ym. 2021)

kus kotitalouksiin olisi marginaalinen, eikä se siten kannustaisi riittävästi kotitalouksien sekajätteen synty- paikkalajitteluun. Verolla ei todennäköisesti olisi vaikutusta kaukolämmön hintoihin tai laitosinvestointeihin. Kiertotalouden edistämiseksi ja ilmastovaikutusten vähentämiseksi tarvitaan siten laajempi, koko jätearvo- ketjun kattava sopimusjärjestelmä, jossa otetaan käyttöön useita samaan suuntaan ohjaavia ohjauskeinoja, kuten syntypaikkalajittelun sekä tuottajavastuujärjestelmien kehittäminen. (Bröckl ym. 2021) Pyrkimystä tähän suuntaan on tavoiteltu Jätelain uudistuksessa (YM 2021), jossa tuottajavastuuta laajennettiin ja tiedon julkai- su- ja raportointivelvoitteita lisättiin. Valtakunnallinen jätesuunnitelman mukaisesti tavoitteena on hidastaa yhdyskuntajättemäärän kasvua suhteessa bruttokansantuotteeseen ja saavuttaa suhteellinen irtikytkentä (57 % kierrätystavoite) vuoteen 2027 mennessä. (YM 2022d) Suomi ei viimeaikaisen arvion mukaan tule saavutta- maan jätedirektiivin mukaista yhdyskuntajätteen kierrätystavoitetta, joten EU-komissio on ehdottanut useita toimia, kuten jätteenpolton vero ja uusien jätteenpolttolaitosten rakentamisen estäminen kierrätysasteen lisäämiseksi (EU-komissio 2023). Ympäristöministeriö on arvioinut, että uusien jätteenpolttolaitosten rakenta- minen on mahdollista vuoteen 2035 mennessä ja jätteen tuonti saattaa kasvaa (TEM 2023).

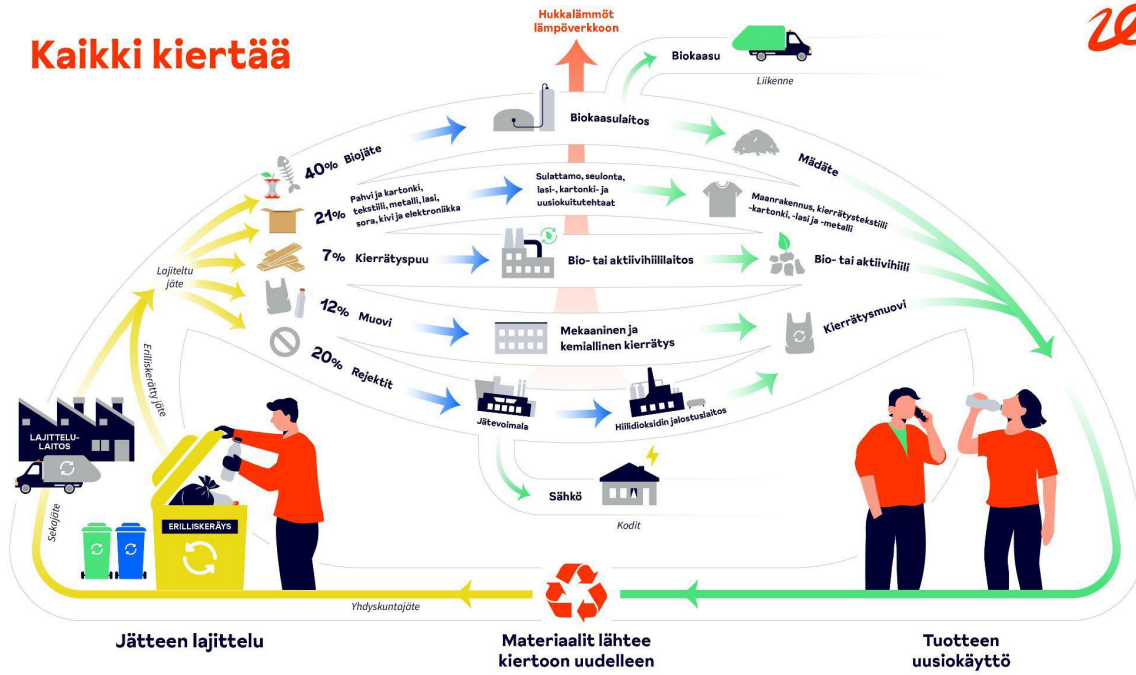
Jätteen energiakäytön jatkuessa myös päästölaskentaa tulisi kehittää tarkemmaksi ja alueellisen vaihtelun sekä erilaiset jätejakeet huomioiden. Nykyinen laskentamenetelmä allokoii jätteenpolton päästöt energian hyödyntäville kunnille, mikä voi hidastaa jätteiden määrän vähentämistä ja kiertotaloutta (Liljeström & Monni 2020). Lämmityksen sekä kaukolämmön päästöt ovat merkittävässä roolissa kuntien ilmastotavoitteiden kannalta ja nykyisin käytössä olevalla menetelmällä on mahdollinen ei- toivottu ohjausvaikutus, mikäli kunnat ovat haluttomia hyödyntämään jätteenpolttolaitoksen tuottaman lämmön. Kuntien kannalta on haasteellista, että poltettavien jätteiden koostumus saattaa vaihdella merkittävästi alueittain ja eri vuodenaikoina. (ibid).

Jätteen koostumuksen ja päästökertoimen määrittäminen on keskeistä myös mahdollisen vero-ohjauksen kannalta. Jätteenpolton päästökertoimen perustuu kansalliseen Tilastokeskuksen määrittämään keskiarvoon, esim. vuoden 2023 yhdyskuntajätteen päästökertoimen on $40\text{CO}_2\text{t/TJ}$, jota perustelee erityisesti sen keskimääräinen 50 pro- sentin bio-osuus (Tilastokeskus 2023), jota kohdellaan hiilineutraalina eli biopolttoaineiden päästökertoimen on nolla (Pöyry 2015). Jos kierrätystavoitteet saavutetaan, voisi yhdyskuntajätteen CO_2 -päästökertoimen olla $34,1\text{ t CO}_2\text{/TJ}$ vuonna 2025 ja $28,8\text{ t CO}_2\text{/TJ}$ vuonna 2035. Päästökertoimen laskennan taustaoletuksena on biojätteen osuuden pienentyminen poltettavassa jätteessä nykyisestä 39 prosentista 35 prosenttiin vuonna 2025 ja 30 prosenttiin vuonna 2035. Lisäksi muovin osuuden oletettu pienentyminen nykyisestä 15 prosentista 12 pro- senttiin vuonna 2025 ja 9 prosenttiin vuonna 2035. (Liljeström & Monni 2020).

Jätteenpoltoa voitaisiin myös hillitä asettamalla vero, jonka taso määrittäisi eräkohtaisen jätekoostumukseen pohjalta. Vero määräytyisi jätteen todellisen energiasisällön ja poltosta syntyneiden CO_2 -päästöjen perusteella ja verotaso (EUR/tonni) olisi suoraan verrannollinen poltetun jätteen todelliseen lämpöarvoon ja päästökertoi- meen, jotka ovat riippuvaisia jätteen koostumuksesta. Päästölaskennan tarkentaminen kannustaisi jätejakei- den erottamiseen ja kierrätykseen, sillä erityisesti fossiiliperäisellä muovilla on korkea lämpöarvo, jolloin sen poltosta syntyy paljon CO_2 -päästöjä eli sen CO_2 -päästökertoimen on korkea. (Bröckl ym. 2021) Oikeudenmukainen ja luotettava päästölaskenta on myös keskeinen kannustin kuntien päätöksenteon ja kunnianhimoisen ilmas- totyön kannalta. Laskentamenetelmä vaikuttaa huomattavasti kokonaispäästöihin kunnissa, joissa kaukoläm- mön osuus kokonaispäästöistä on suuri ja jättepoltoaineet kuuluvat kaukolämmöntuotannon merkittävimpiin polttoaineisiin. (ks. Liljeström & Monni 2020)

EU:n siirtyminen kiertotalouteen vuoteen 2050 mennessä tavoittelee ilmastoneutraaliuden ja luonnonvarojen kulutuksesta irti kytkettyä talouskasvua ja kilpailukykyä (COM [2020] 98 final). Vuonna hyväksytyn 2018 jäte- säädöspaketin tavoitteena on tehostaa jätehierarkian noudattamista ja lisätä materiaalien resurssitehokasta käyttöä ja kierrätystä. Jätedirektiivissä (EU, 2008/98/EY, 2018) säädetään toimenpiteistä, joilla suojellaan ympäristöä ja ihmisten terveyttä ehkäisemällä tai vähentämällä jätteen syntymisen ja jätehuollon aiheutta- mia haittavaikutuksia sekä vähentämällä materiaalien käytöstä aiheutuvia kokonaisvaikutuksia ja paranta- malla materiaalien käytön tehokkuutta. Kansallisesti jättesäädöspaketin toimeenpano edellyttää tehokkaita ohjauskeinoja kiristyvien yhdyskuntajätteen ja pakkajätteen kierrätystavoitteiden saavuttamiseksi (Bröckl ym. 2021). Etenkin muovi- ja puupakkajätteen kierrätystavoitteet muuttuvat haastavammiksi, sillä nykyiset kierrätysasteet tulisi kaksinkertaistaa vuoteen 2025 mennessä. Mikäli kansalliset kierrätystavoitteet saavutet- taisiin, yhdyskuntajätteen polton CO_2 -päästöt laskisivat 47 prosenttia vuoden 2018 tasosta vuoteen 2035. Kierrätyksen lisääntyessä jätteenpolttolaitokset kuitenkin todennäköisesti korvaisivat menetetyt yhdyskunta- jätteen määrän muulla jätteellä tai muista maista (esim. Italia) tuodulla sekajätteellä tai polttoaineella, jolloin jätteenpolttolaitoksien CO_2 -päästöt eivät todennäköisesti laskisi ilman muita toimia (ibid).

Kaikki kiertää



Kuva 11. Vantaan Energia on tutkinut mahdollisia tulevaisuuden skenaarioita kiertotalouden toteutumisesta Suomessa. Kuvassa yksi mahdollinen skenaario, jota Vantaan Energia on työstänyt yhdessä yhteistyökumppaneidensa, esim. VTT kanssa. Lähde: Vantaan Energia 2023.

Vantaan Energian oman kiertotalouden pyrkivän energiajärjestelmän tavoitteena on ennakoida sääntelyn kiristymistä ja toisaalta kehittää lisäarvoa kierrätyksestä samalla kun kierrätykseen kelpaamattomat rejektit hyödynnettäisiin edelleen energiaksi. Vantaan Energian ja heidän kumppaniensa visioimassa kiertotalouseko-
 systeemissä keskeiset hankkeet olisivat korkealämpölaite (vaarallisen jätteen poltto energiaksi), sähköpolttoainelaitos (CCS/U), jossa jätteen polton hiilidioksidipäästöistä valmistettaisiin synteettistä metaania liikennepolttoaineeksi sekä kaukolämmön kulutushuippujen hallintaan sekä aktiivihillilaitos, jossa kierrätyspuusta jatkojalostettaisiin aktiivihillit. Jätevoimalan laajennusosan myötä kierrätykseen kelpaamaton energiajäte voitaisiin hyödyntää aikaisempaa suuremmalla kapasiteetilla lämmön ja sähkön energialähteeksi. Vantaan Energian kiertotaloussuunnitelman edellytyksenä on siten tehostettu lajittelu, jotta jatkokäyttöön kelpaavat raaka-aineet, kuten muovi saadaan pois sekajätteestä. Yhtenä vaihtoehtona on pohdittu myös erillisiä teollisia lajittelulaitoksia. Kierrätykseen kelpaamattomat muovit (esim. PVC) poltettaisiin jatkossakin, mutta myös tältä osin saatava fossiilinen CO₂ voitaisiin yhdistää vedyn tuotantoon (CCS/CCU) samalla kun lämpövirrat hyödynnettäisiin edelleen kaukolämmöksi. Vantaan Energian ratkaisu olisi siten tältä osin yhdenmukainen kaskadi-periaatteen ja jätehierarkian mukaisen raaka-ainekäytön kanssa. Kuitenkin vaarallisen jätteen polttoon liittyy huomattavia ympäristö- ja terveysnäkökulmia, joten tämänkaltaisen jätteenpolton kasvu on yhteiskunnan kannalta ongelmallinen strategia.

Waste hierarchy



Kuva 12. Lähde: European Commission 2023⁵⁶. Jätehierarkian mukaan jätteen syntymisen ehkäiseminen on ensisijainen vaihtoehto, ja jätteen lähettämisen kaatopaikalle tulisi olla viimeinen keino. Tämän kaskadiperiaatteenakin tunnetun jaotellun mukaan jätteen hyödyntäminen energiaksi (kuvassa recovery⁵⁷) olisi toiseksi viimeinen vaihtoehto (jätteiden loppukäsittely viimeinen).

Vantaan Energian suunnitelma vaatii toteutuakseen mittavia investointeja, joihin rahoitusta on alustavasti myönnetty Työ- ja elinkeinoministeriön kehityshankkeiden investointituesta⁵⁸. Teknologisesti Vantaan Energian ratkaisut ovat jo nyt saatavilla, mutta investointien pitkä takaisinmaksuaika lisää riskejä erityisesti sääntelyn kehityksen näkökulmasta ainakin seuraavan 30 vuoden ajaksi. Rahoituksen lisäksi haasteena on lainsäädännön ja muun ohjauksen tulkinta ja toimeenpano. Vantaan Energia on aiemmin nostanut esiin uusiutuvan energian direktiivin uudistuksen (RED3) jätehierarkian koskevat lausekkeet ja erityisesti vihreän vedyn osalta jäteperäisen fossiilisen hiilidioksidin ja sen poiston luokittelun tulevassa EU:n hiilenpoistojen sertifiointijärjestelmässä (COM [2022] 672 final⁵⁹), jolla on keskeinen merkitys eri hiilenkiertojen kestävyuden määrittämiseksi koskien bioenergiaa (BECCS) ja suoraan ilmasta talteen otettu hiiltä (DACCS). Käytännössä EU:n sertifiointijärjestelmän tarkoituksena on tukea hiilinegatiivisuutta eli lisäisten poistojen käyttöönottoa (päästövähennysten ohella) osana unionin ilmastoneuraaliustavoitetta (2050) eikä se siten ole sovellettavissa fossiilisen hiilidioksidin kierrättämiseen, joka taas on Vantaan Energian suunnitelmassa keskeisessä roolissa. Fossiilisia hiilidioksidipäästöjä koskeva hiilen talteenotto ja varastointi (CCS) [2009/31/EY] on hillintätoimena jo mukana päästökaupassa, ja sitä ohjataan CCS-direktiivin kautta⁶⁰.

Huomionarvoista on myös, että Vantaan Energian oma toiminta ei kategorisesti yllä hiilinegatiivisuuteen, mikäli talteen otettu hiili kierrätetään muiden lyhytikäisten tuotteiden muodossa (CCU) eikä sitä talleteta pysyvästi geologisiin varastoihin (CCS) tai pitkäikäisiin tuotteisiin niin että kokonaisuudessaan varastoituneen hiilen määrä ylittää vuosittain päästöjen määrän. Hiilinegatiivisuuden edellytyksenä ovat lisäiset poistot eli kansainvälisesti hyväksytyjen laskentasääntöjen mukaan joko suoraan ilmasta talteen otetun tai biogeenisen hiilidioksidin pysyvä tai pitkäikäinen talletus, jolloin muodostuu ns. negatiivinen päästö. Fossiilisten päästöjen talteenotolla voidaan hillitä päästöjä ilmakehään, mutta ei luoda lisäisiä poistoja ilmakehästä. Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin ilmastovaikutukset riippuvat elinkaarilaskennan rajauksista, kuten hiilidioksidin talteenoton ja kuljetuksen vaatimasta energiasta sekä vaikutuksista maankäyttösektorilla, jolloin on mahdollista, että ilmastoneutraaliin lopputulokseen ei päästä vaan päästöt voivat jopa lisääntyä (Aho ja Tikkakoski 2023). Mitigaatiostrategiana luottaminen poistoihin on niin ikään puutteellinen eikä se vastaa päästövähennyksiä. Tutkimuksissa on viitteitä siitä, että päästöjen ja poistumien todellinen ilmastovaikutus ei ole yhteismitallinen vaan päästöistä aiheutuu suurempi ilmastovaikutus (ilmastopakote) kuin poistumista (Zickfeld ym. 2021).

⁵⁶ https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en

⁵⁷ https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index_en.htm

⁵⁸ <https://tem.fi/-/kuudelle-puhtaan-energian-hankkeelle-lahes-100-miljoonaa-euroa-investointitukea>

⁵⁹ https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:60d407c8-7164-11ed-9887-01aa75ed71a1.0010.02/DOC_1&format=PDF

⁶⁰ Hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia koskeva CCS-direktiivi 2009/31/EY muodostaa lainsäädäntökehikon hiilidioksidin (CO₂) pysyväille geologiselle varastoinnille. CO₂:n varastointi CCS-direktiivin mukaisesti sisältyy päästökauppaan ja mahdollisista vuodoista on palautettava päästöoikeuksia. Hiilenpoistojen sertifiointikehikolla varmistetaan, että uusiutuvan energian hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla (BECCS) ja suoraan ilmasta talteen otetun hiilidioksidin varastoinnilla ja talteenotolla (DACCS) tuotettavien hiilenpoistojen määrä on yhdenmukainen päästökaupan päästöjen tarkkailuasetuksen kanssa sekä komission innovaatorahastoa varten kehittämiä BECCS:iä ja DACCS:ia koskevien menetelmien kanssa. ” Eduskunta U-kirje.

Vantaan Energian toiminnalla voitaisiin kuitenkin katsoa olevan myönteinen hiilikädenjälki, joka syntyy liikenteen fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta synteettisillä polttoaineilla, jolloin ilmastopäästöt vähenevät.

Vantaan Energian kannalta ja yleisesti kiertotalouden toimivuuden kannalta tunnistettu haaste on myös hajautunut jätemarkkinakenttä, johon kuuluu sekä kunnallisia että yksityisiä toimijoita ja joka ei toistaiseksi tue tehokasta kierrätysraaka-aineen saantia. VTT:n arvion mukaan EU:n yhdyskuntajätteen kierrätystavoitteeseen [60 prosenttia 2030⁶¹] pääsemiseksi tarvitaan merkittäviä muutoksia lainsäädännöstä kuluttajiin asti [VTT 2023]. Vantaan Energian kiertotalouskehikon kannalta ratkaisevaa on, miten lainsäädännössä suhtaudutaan kierrätetty jätteen asemaan tulevaisuudessa. Tällä hetkellä lainsäädäntö ei tunnista kaikkea käsiteltyä jätettä täysin kierrätetyksi [VTT 2023], mikä hankaloittaa kierrätystuotteiden jatkokäyttöä. Esimerkiksi sekajätteen käsittelystä saatavaa mädätettä ei toistaiseksi voi hyödyntää, vaikka tuote olisi laadullisesti puhdas ja erillinen laitoslajittelu teknisesti toimiva. VTT:n mukaan nykyisen mallista kierrätystä voitaisiin parantaa lisäämällä syntypaikkalajittelua kodeissa ja muissa kiinteistöissä sekä rakentamalla Suomeen keskitettyjä jätteen lajittelulaitoksia. Yhdyskuntajätteen laitoslajittelu on toistaiseksi hyödyntämätön keino Suomessa, mutta laitoslajittelun teknisten ratkaisut ja saatavien jätevirtojen hyödynnettävyys voisivat edistää ilmastomuutoksen hillintää, kierrätystavoitteiden ja energiatehokkuuden saavuttamista, mikäli ristiriidat ja mahdolliset haitalliset ympäristövaikutukset voidaan hallita. [VTT 2023]

Toistaiseksi myös kierrätysmateriaalien kehittymättömät markkinat heikentävät jätehuoltoyritysten halukkuutta investoida kierrätystä tehostaviin prosesseihin. Yksi merkittävä haaste on heikkolaatuisten kierrätysmateriaalien huono kysyntä sekä jo tehdyt isot investoinnit jätteenpolttolaitoksiin, biojätteen käsittelylaitoksiin ja mekaanisen jätteen käsittelylaitoksiin, jotka eivät kannusta tekemään investointeja kierrätyksen parantamiseksi, vaan jätteet pyritään käsittelemään taloudellisesti kannattavimmilla vaihtoehdoilla [Bröckl ym. 2021]. Vaikka kierrätysaste nousisi, ovat jätteenpolttolaitokset jatkossakin merkittävässä roolissa jätteen käsittelylaitosten kierrätykseen kelpaamattomien rejektien käsittelyssä. [ibid]

Keskeisten ympäristövaikutusten arviointi

Jari Natunen (Suomen luonnonsuojeluliitto)

Jätteenpolton keskeiset ympäristövaikutukset liittyvät toiminnan ilma- ja vesipäästöihin, poltossa muodostuviin tuhkiin ja kuoniin, energiankulutukseen ja -tuotantoon sekä raaka-aineiden kulutukseen [Bröckl ym. 2021, ks. myös Ramboll/TSJ 2013]. Muita vaikutuksia liittyy kuljetuksiin ja energiankulutukseen [polttoainevalinnat] sekä palamisprosessin energiankulutukseen [ilmasto-opas 2023⁶²]. Lisäksi huomioitavaa on palamisprosessin aiheuttama melu ja tärinä. Ilmastopäästöjen osalta yhdyskuntajätteiden poltossa syntyy hiilidioksidipäästöjä laskennallisesti alle puolet verrattuna kivihiilen poltossa ja vain noin 37 prosenttia verrattuna turpeen poltossa syntyviin päästöihin. [Bröckl ym. 2021] Jätteenpolton muiden päästöjen kannalta merkityksellistä on, kuinka hyvin muita päästöjä voidaan hallita ja seurata, sillä jätteenpolttolaitoksen päästöjen seuranta on vaikeammin ennustettavaa kuin esimerkiksi pelkästään hiiltä polttavan voimalaitoksen päästöjen seuranta [Gasum 2023].

Jätteenpolttolaitoksen polttouuniin päätyy vaihtelevia määriä hyvin erityyppistä jätettä, jolloin myös poltossa syntyvien kaasujen määrä vaihtelee. Tyypillisesti jätteenpoltossa syntyy kaasuja, kuten hiilidioksidia [CO₂], typen oksideja [NO_x], rikkidioksidia [SO₂] ja suolahappoa [HCl], raskasmetalleja, kuten elohopeaa [Hg] ja pienhiukkasia. Lisäksi jätteenpoltossa voi syntyä syövyttäviä kaasuja, jotka täytyy kuumentaa tiettyyn lämpötilaan ennen kuin niitä voidaan käsitellä kaasuanalysaattoreilla. Valvontalaitteiston täytyy siksi kestää ja pystyä toimimaan luotettavasti korkeissakin lämpötiloissa. [ibid]

Vuonna 2021 pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajäte käsitti HSY:n mukaan noin 80 prosenttia kierrätykseen kelpavaa jätettä, joista lisäksi osa voi soveltua uusiokäyttöön⁶³. Siten todellista sekajätettä on vain viidesosa nyt polttoon menevästä määrästä. EU:n jätehierarkian [2008/98/EC⁶⁴] mukaan kierrätettäväksi tai uusiokäyttöön kuuluvien materiaalien polttamista tulisi välttää ilmastopäästöjen vähentämiseksi ja resurssitehokkuuden parantamiseksi. Periaate sisältyy myös kansallisen jätelain [646/2011] 8 §:ään ja se on yhdenmukainen sekä Suomen valtakunnallisen jätesuunnitelman että siihen sisältyvän kierrätystavoitteen [57 %] saavuttamiseksi vuoteen 2027 mennessä vähintään EU:n kierrätystavoitteiden tasolle [YM 2022d].

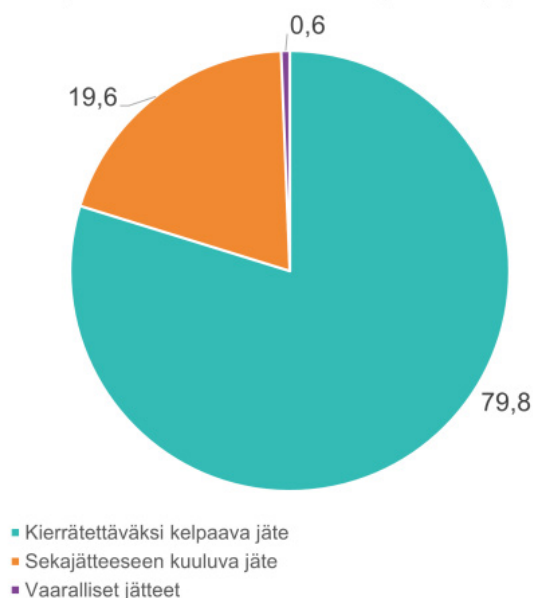
⁶¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/targets>

⁶² <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/jatehuolto-hillinta>

⁶³ Keskimääräinen jätteen koostumus katso sivu 19 ja kierrätykseen kelpaavat jätteet sivu 20–21. <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-sekajatteen-koostumus-vuonna-2021.pdf>

⁶⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02008L0098-20180705>

Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajäte 2021 (%)



Kuva 13. HSY:n jäteraportti (2021, s. 21)

Pääkaupunkiseudun sekajätteen määrä asukasta kohden oli vuonna 2021 130 kg. Määrä on laskenut noin 10 prosenttia edellisestä vuoden 2018 tutkimuksesta, ja trendi jätteen määrässä on laskeva. Lajittelun jätteen keräyksen laajenemisesta kaikkiin yli 5 asunnon kiinteistöihin 2021 oli yksi sekajätteen määrää alentava tekijä⁶⁵.

Jätteiden lajitteluun ei toistaiseksi olemassa riittäviä kannustimia tai vaatimuksia. Jätteenpolton sijasta kaupunkien tulisi kuitenkin panostaa lajitteluun ja kierrätykseen. Kierrätysasteen nostaminen edellyttäisi asianmukaisia vaatimuksia ja tarkkailua sekä mahdollisia sanktioita lajitteluvirheistä. EU:ssa on yleistymässä punnituksen perustuva keräys, jonka on todettu vähentävän jätteen määrää sata kiloa henkeä kohden ilman että laitton jätteen sijoittaminen lisääntyisi. Kerrostalossa paras tulos saavutetaan, kun jokaisella asunnolla on oma [seka]jäteastiansa.⁶⁶ Jos 100 kg vähennys olisi tehty pääkaupunkiseudun nykyistä tilannetta vastaavassa tilanteessa, tarkoittaisi tämä lähes täydellistä lajittelua. Lajittelematon tai huonosti lajiteltu jäte tarkoittaa, että seassa on myös vaarallisia jätteitä, kuten pattereja, maaleja ja muita ongelmajätteitä. Vuonna 2021 vaarallisen jätteen määrä oli pääkaupunkiseudulla 0.6 prosenttia sekajätteen koko määrästä⁶⁷. "Saastuttaja maksaa" -periaate koskee teollisuutta, mutta sen tulisi koskea myös kuluttajaa, mikäli haitallisten jätteiden määrää halutaan vähentää.

Suomen luonnonsuojeluliiton Uudenmaan piirin muistutuksessa on käsitelty useita kansalaisjärjestöjen kritiikin kohteita jätteenpolttotoiminnassa⁶⁸. Poltosta tulevia päästöjä ei ole toistaiseksi selvitetty jätteenkohtaisesti. Jätteenpolttolaitoksilla ei ole myöskään käytössä laskeuman mittauksia, jolloin ei voida tietää miten haitta-aineet kertyvät luontoon lähiympäristössä. Lisäksi oijen kautta läheisen Natura -alueen vesistöön mahdollisesti päätyviä vesistö-päästöjä ei ole vielä selvitetty⁶⁹. Suomen luonnonsuojeluliiton Uudenmaan piirin suosituksena on, että Vantaan Energia selvittäisi päästöjensä haittakustannuksia IHKU-mallin⁷⁰ avulla, joka on käytössä esimerkiksi Pohjois-Suomen Aluehallintoviraston ilmapäästöjen terveysvaikutusten arvioimiseksi (esim. Kemin Metsä-yhtiön ja Paltamon Kaicellin ympäristöluvat). Vantaan Energia on käyttänyt IHKU-mallia ympäristöluva-asioissa perusteena poikkeaman myöntämiseen kyseisen toimialan BAT-päätelmien mukaisesta päästötasosta, mutta koska kyseessä on kustannustehokkuuslaskelman apuväline, mallia käytetään pääsääntöisesti

⁶⁵ Jätteen määrät ja muutokset sivut 4, 17 ja 18, Lajitteluvaihtoehdot sivu 9
<https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-sekajatteen-koostumus-vuonna-2021.pdf>

⁶⁶ <https://yle.fi/a/3-12206875>

⁶⁷ <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-sekajatteen-koostumus-vuonna-2021.pdf>

⁶⁸ <https://www.sll.fi/uusimaa/2021/05/25/muistutus-vantaan-energia-oy-n-vaarallisen-jatteen-polttolaitoksen-ymparistolupahakemuksesta/>

⁶⁹ Vaarallisen jätteen polttolaitoksen ympäristöluva <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1936143>, Jätteenpolttolaitoksen luvan tarkistus [BAT] <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/1897504>

⁷⁰ https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Ilmansaasteiden_haittakustannusmalli_Suomelle_IHKU/Tiivistelma

yleisellä tasolla teollisen toiminnan ilmanpäästöjen arviointiin. Luonnonsuojeluliiton mukaan mallin käyttö on lisääntymässä esimerkiksi Pohjois-Suomen AVI:n ympäristöluvuissa ja se kuvastaa luvituksen kannalta tärkeitä terveysvaikutuksia.

Teollisuus- ja vaarallisten jätteiden poltto

Vantaan Energian toiminta nojaa toistaiseksi sekajätteen poltttoon, josta kaupunkien energijärjestelmät ovat osittain riippuvaisia. EU:n hyvien käytäntöjen ja säätelyn myötä jätteen energiakäytön merkitys laskee 10–20 prosenttiin nykyisestä. Vantaan Energia on laajentanut toimintaansa poltttoon johdettavan yhdyskuntajätteen määrän vähenemisen takia myös teollisuusjätteisiin, joita on luvituksessa esitetty syntypaikkalajiteltuun sekajätteisiin rinnastettaviksi⁷¹. Vantaan Energian mukaan teollisuusjätteiden polttaminen on johtanut poltettavan jätteen suuren rikkipitoisuuden vuoksi joihinkin laitoksen ympäristöluvassa annettujen rikkidioksidipäästöraja-arvon ylityksiin, jotka on myös asianmukaisesti raportoitu laitoksen valvontaviranomaiselle Uudenmaan ELY-keskukselle⁷². Osassa ylityksissä rikkidioksidin mittaus on noussut hetkellisesti yli CEMS-järjestelmän mittausalueen, jota on tämän jälkeen laajennettu. Vantaan Energian mukaan jätteenpolttolaitoksella ilmapäästöjä ehkäistään ja tarkkaillaan EU-tasolla hyväksytyjen jätteenpolton WI BAT-päätelmien vaatimusten mukaisesti⁷³, ja laitoksella on käytössä savukaasujen puhdistuksessa BAT-vaatimukset täyttävää parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Suomen luonnonsuojeluliitto pitää teollisuusjätteitä johtuvia toistuvia häiriöitä kuitenkin ongelmallisina. Erityisen huolestuttavana voidaan pitää tilannetta, jonka aikana kaikkien jatkuva-toimisesti mitattavien päästöaineiden mittareiden mittausalueet ylittyivät. ELY-viranomaiselta tai yhtiöltä ei ole toistaiseksi saatu selvitystä, miten esimerkiksi raskasmetallien päästöt käyttäytyvät, kun rikin päästö on korkealla tasolla. Esimerkiksi raskasmetalleja ja arseenia ei mitata jatkuvatoimisesti, mutta EU:n vaatimusten myötä elohopean jatkuvatoiminen mittaus on tulossa pakolliseksi⁷⁴. Niin kauan, kun eri teollisuusjätefraktoille ominaisia päästöjä ei ole selvitetty, on olemassa riski, että esimerkiksi jätteen raskasmetalleja vapautuu haitallisissa määrin. Vantaan Energia mukaan kahdesti vuodessa tehty BAT-tason mukainen päästötarkkailu⁷⁵ osoittaa, ettei raskasmetalleista ole ongelmaa. Suomen luonnonsuojeluliiton mukaan lisätietoa tarvitaan erityisesti metallien ja arseenin mittaustuloksista häiriöiden aikana.

Vantaan Energian jätteenpolttolaitoksella polttoon hyväksyttävistä jätteistä määrätään laitoksen ympäristöluvassa, jonka myöntää toimivaltainen lupaviranomainen (AVI) voimassa olevan ympäristölainsäädännön nojalla. Ympäristönsuojelulain 49 §:n mukaan laitoksen ympäristöluvassa ei voida sallia sellaisten vaarallisten jätteiden polttamista, joiden käsittelystä aiheutuisi terveysvaaraa tai muita haitallisia ympäristövaikutuksia. Kansalaisjärjestöjen⁷⁶ mukaan on kuitenkin ongelmallista, että vaarallisen jätteen polttolaitoksen lupa käsittää jätteitä, joiden polttamisesta ei ole osoitettu tosiasiallista hyötyä. Epäorgaaniset jätteet eivät pala eikä niiden määrä ei siten pienene, kuten orgaanisten jätteiden, joiden palaessa muodostuu vettä ja hiilidioksidia. Jätteen hapettuuessa sen vaarallisuus voi kasvaa, kuten tapahtuu kromin hapettuuessa kuudenarvoiseksi kromiksi. Riskialttiita jätteitä ovat esimerkiksi mineraalijätteet ja termisten prosessien jätteet. Järjestöt pitävät huolestuttavana, mikäli jätteenpolttolaitoksen liiketoimintasuunnitelmana on erityisen vaarallisten jätteiden kerääminen riippumatta niiden polttokelpoisuudesta, jolloin polttokelvottomat jätteet hävitettäisiin sekoittamalla ne muiden jätteiden tuhkaan. Tämänkaltainen menettely kilpailisi tällöin käytännössä asianmukaisen jätteenkäsittelyn kanssa. Syken jätetilastopöiminnan mukaan polttokelpoisia vaarallisia jätteitä viedään vain murto-osa suunnitellusta kapasiteetista, noin 2000–3000 tonnia vuodessa, mukaan lukien vaaralliset orgaaniset jätteet⁷⁷. Esimerkiksi Ekokemilla Riihimäellä on yksi vaarallisen jätteen rumpu-uuni pois käytöstä vähäisen kysynnän

⁷¹ Rinnastuvan jätteen kuvaus on esimerkiksi KHO:n päätöksessä <https://www.kho.fi/fi/index/paatoksia/muitapaatoksia/muupaatos/1478081096894.html>

⁷² Uudenmaan ELY:ltä saadut VE:n häiriöilmoitukset

⁷³ Jätteenpolttolaitosten ympäristönsuojeluvaatimukset perustuvat EU-tasolla teollisuuspäästödirektiivin (2010/75/EU) IV luvun jätteenpolttokoskeviin määräyksiin sekä ympäristönsuojelulain [527/2014] 107–115 §:n sääntelyyn sekä jätteenpolttosta annettuun valtioneuvoston asetukseen [151/2013]. Lisäksi EU-tasolla on vahvistettu jätteenpolton parasta käyttökelpoista tekniikkaa edusta WI BAT-päätelmät. Jätteenpolttolaitoksen toiminta on Suomessa ympäristöluvanvaraista, ja kunkin laitoksen ympäristöluvassa asetetaan edellä mainitun lainsäädännön ja WI BAT-päätelmien perusteella päästöraja-arvot laitoksen tuottamien ilmanpäästöjen sisältämien haitta-ainepäästöjen rajoittamiseksi sekä määrätään laitoksen päästöistä aiheutuvien ympäristövaikutusten tarkkailusta.

⁷⁴ EC 2019: https://commission.europa.eu/news/publication-new-eu-environmental-standards-waste-incineration-sector-2019-12-18_en

⁷⁵ Jätteenpolttolaitosten [151/2013] 18 §:n ja WI BAT-päätelmien nojalla ilmanpäästöistä tulee mitata vähintään kahdesti vuodessa raskasmetallit, dioksiinit ja furaanit.

⁷⁶ Vantaan Omakotiyhdistysten keskusyhdistyksen ja Vesiluonnon puolesta ry:n valitus Vaasan hallinto-oikeuteen vaarallisen jätteen polttolaitoksen luvasta 27.6.2022

⁷⁷ Syken tilastot jätteen viennistä. Ks. poiminta poltttoon soveltuvista jätteistä Vantaan Omakotiyhdistysten valituksen liitteessä -saatavissa hallinto-oikeudesta tai SLL:ltä.

vuoksi, minkä antaa olettaa, että kysyntä polttokelpoisen vaarallisen jätteen käsittelylle on todellisuudessa pienempi kuin Vantaan Energian tuleva kapasiteetti.

Kansalaisjärjestöjen huoli koskee myös toimintaan liittyviä merkittäviä ympäristö- ja terveysriskejä sekä -vaaroja. Suomi ja EU ovat mukana elohopean haittojen vähentämiseen pyrkivässä Minamata-konventiossa⁷⁸. Konvention parhaan saatavilla olevan teknologian [BAT] viitedokumentti edellyttää mm. harkintaa laitoksen sijoituspaikassa huomioiden asutuksen, Vantaan Energian luparajoja merkittävästi pienempiä päästöjä ja päästöjen hallintaa myös jätteistä⁷⁹. Esimerkiksi Vantaan Energian laitoksen laskeuma-alueilla on useita Helsingin ja Vantaan lähiöitä. Vaarallisen jätteenpolttolaitoksilla on tapahtunut ympäristöturvallisuuden vaarantaneita onnettomuuksia, kuten esim. Saksassa Leverkusenin laitoksen tuhoisa räjähdys ja palo vuonna 2021⁸⁰. Onnettomuudesta aiheutuneen savun on arvioitu lisänneen vakavan ympäristöonnettomuuden vaaraa dioksiinien ja furaanien suhteen⁸¹. Vantaan Energian mukaan ympäristölupamenettelyssä huomioidaan myös mahdollisten häiriötilanteiden ja onnettomuuksien riski ja laaditaan riskinarviointiin perustuva ennaltavaraustumissuunnitelma.

4.2 Tampere: irti poltosta ja kohti sähköistyvää kaukolämpöä?

Tampereen kaukolämmön tuotannossa painottuu toistaiseksi puun energiakäyttö, vaikka Tampereen Energian (ent. sähkölaitos) suunnitelmassa ja hankkeissa on nähtävissä ainakin pyrkimys irtautua vähitellen puun käytöstä pääpolttoaineena ja pitää sitä säätövoimana. Tampereen tavoitteena oli aiemmin lopettaa turpeen poltto 2024, mutta Venäjän hyökkäyssodan myötä tavoitevuotta on siirretty eteenpäin huoltovarmuusnäkökulmiin vedoten⁸². Tampereen suunnitelmien keskiössä on vuosina 2021 tehty *selvitys*, jossa pyrkimyksenä on sähköistyminen ja ainakin osittain hajautettu energiajärjestelmä, joka pitäisi kaukolämmön kustannuksiltaan kilpailukykyisenä. Tampereen Energian kolme keskeistä polttoon perustumatonta ratkaisua ovat i) sähkökattilat, jotka yhdistetään lämpövarastoon ja keskitettyyn sähkön käytön tuntioptimointiin niille tunneille, kun tuulivoimaa on paljon; ii) teollisen luokan lämpöpumput, joita hyödynnetään pysyvien (ja talvipakkasilla riittävien) lämmönlähteiden, kuten datasalien, geokaivojen ja voimalaitoksien yhteydessä; iii) hukkalämmöt, joita saataisiin hiilidioksidinegatiivisista valmistusprosesseista, kuten biohiilen ja synteettisen polttoaineen valmistamisesta (Joroinen ym. 2021). Myös tässä sähköistyvässä keinovalikoimassa oletuksena on, että fossiilinen kaasun tai biomassan poltto säilytetään säätövoimana. (ibid)

Tampereella kaukolämmön sähköistäminen on toistaiseksi maltillista ja riippuvainen sekä edullisen puhtaan sähkön, verkkokapasiteetin että kausivarastojen rakentamisen mahdollisuudesta. Koko maan tasolla sähköistämisen etenemisen kannalta keskeisiä tekijöitä ovat kantaverkon kapasiteetin (kantokyky) kehittyminen sekä puhtaan sähkön tuotannon riittävyys sektorit läpäisevään sähköistymiseen (Fingrid 2022), joka kasvattaa sähkön tarvetta erityisesti teollisuudessa ja liikenteessä, mutta myös muissa isoissa kaupungeissa, kuten Helsinki. Tampereen Energian selvityksen mukaan nollapäästöistä sähköä ei voida toistaiseksi olettaa, ja yhtiön mukaan poltosta luopuminen ja laajamittainen sähköistäminen Suomessa johtaisi osioptimointiin eli päästöjen siirtämiseen muualle (rajojen ulkopuolelle) tilanteessa, jossa tuulettomana ajanjaksona tarvittava sähkö tuotettaisiin fossiililla polttoaineilla sillä alkuperätaaku ei toistaiseksi takaa tuntikohtaista päästötöntä tuotantoa. Toisaalta EU:n sisäisen päästökaupan kiristyminen ohjaa jo nykyisellään tuotantoa sekä päästöoikeuksien määrän että hinnan kautta pois fossiilista polttoaineista ja puhdistaa siten erityisesti sähköntuotantoa. Viimeisimmän päästökauppauudistuksen myötä päästökatto tiukentui merkittävästi ja samalla ylimääräisiä päästöoikeuksia saatiin tehokkaasti pois markkinoilta, minkä seurauksena EU:n sisäisen päästöjen siirtymisen (ns. vesipatjaefektia) riskiä pystytään hallitsemaan entistä paremmin. Suomessa myös kivihiilenkieltolaki perustuu oletukseen siitä, että päästöt eivät siirry muualle.

⁷⁸ <https://mercuryconvention.org/en/about> Minamatan sopimus velvoittaa sopimusosapuolia eli valtioita, ei yksittäisiä toiminnanharjoittajia kuten Vantaan Energiaa. Tässä viitattu BAT/BREF-dokumentti ei ole oikeudellisesti sitova, vaan ohjeistaa sopimusosapuolia (valtioita) miten sopimuksen velvoitteita voidaan täytöntöön panna kansallisen sääntelyn ja ohjeistuksen kautta. Vantaan Energian laitoksen toiminnassa noudatetaan kansallista lainsäädäntöä, jolla on puolestaan täytöntöön pantu Minamata-sopimuksen velvoitteet. Suomen luonnonsuojelulliton mukaan Minamata konvention laitoksia koskevaa BAT-dokumenttia ei ole huomioitu lupaprosesseissa asianmukaisesti.

⁷⁹ https://mercuryconvention.org/sites/default/files/2021-06/BAT_BEP_E_interractif.pdf

⁸⁰ Leverkusenin onnettomuus, ks. <https://www.hs.fi/ulkomaat/art-2000008152878.html> & <https://www.wsws.org/en/articles/2022/08/02/expl-a02.html>

⁸¹ Artikkelit Leverkusenin onnettomuudesta (englanniksi) <https://unece.org/environment/press/industrial-accident-leverkusen-reminder-continuous-need-invest-prevention-and>

⁸² <https://www.sahkolaitos.fi/blogiarkisto/kannanotto-suomen-energian-huoltovarmuuden-turvaamiseksi/>

Tampereen Energian selvityksessä tavoitehorisontti on vuosi 2040, johon perustuu yhtiön eri kaukolämmön tuotantoskenaariot, kuten skenaario X [ei polttoa, ei hiilidioksidin talteenottoa⁸³] ja skenaario BECCS⁸⁴. Tampereen Energian mukaan skenaario X:n saavuttaminen on huomattavan haastavaa ja riippuvaista koko Suomen energijärjestelmän muutoksesta, sillä polttovapaa maailma edellyttää sekä tuulivoiman että lämmön kysynnän kausiluonteisuuden ja energiavarojen kalliiden kustannusten hallintaa ja tasapainottamista. Kuorman jakaminen sähkö- ja lämpövarastojen avulla on keskeistä tehon hallinnan kannalta, mutta tulevaisuudessa sähkönsiirto voi kuitenkin perustua pääosin puhtaisiin energiantuotantomuotoihin sillä alkuperätkuujärjestelmä uudistetaan RED3:n myötä. Tulevaisuudessa esimerkiksi vihreän vedyn tuotanto vaatii tarkempaa tuntitason alkuperätakuuta [tai varttitason riippuen sähkömarkkinan kaupankäyntisäätöjästä]. Tampereen Energian mukaan tie hiilinegatiiviseen yhteiskuntaan voidaan saavuttaa parhaiten ja nopeimmin yhdistelemällä tuotantoa, joka “pitää sisällään polttoon perustumattomia ratkaisuja, mutta myös hiilinegatiivisia ja -neutraaleja polttoon perustuvia tuotantomuotoja, jotka auttavat koko Suomen energijärjestelmän ylläpitoa” [ks. Joroinen ym. 2021]. Tarve polton jatkumiselle pienimuotoisena on perusteltu säättövoiman tarpeella, mutta ristiriita todellisuuden ja suunnitelmien perusteella syntyy siitä, että poltto ei ole siirtymässä myöskään sivurooliin Tampereella eivätkä suunnitelmat ainakaan toistaiseksi ole johtamassa siihen, että sähköistyminen olisi kaukolämmön tuotannossa perusvoiman kaltainen tuotantomuoto [ks. Joronen ym. 2021]. Lisäksi BECCS-skenaariota osalta ei ole selvitetty kuinka hiilidioksidin talteenotto ja kuljetus järjestetään, mikä on niiden päästövaikutus ja mikä toiminnan mahdollinen kustannushaarukka olisi, sillä sijainti sisämaassa verrattuna rannikkokaupunkeihin kasvattaa oletetusti hiilidioksidin kuljetusmaksuja, ja vain mikäli hiilidioksidi talletetaan joko pitkäikäisiin tuotteisiin tai se sijoitetaan pysyvästi geologisiin muodostelmiin voidaan teknologian avulla saavuttaa hiilinegatiivinen lopputulos.

Tampereen Energian selvityksessä sähköistymisen haasteita on käsitelty sekä kaupungin että kansallisen energijärjestelmän tasolla. Kaupunkitasolla ja kaukolämmön tuotannossa sähkön käyttöä kasvattaa etenkin lämpöpumppujen määrän lisääntyminen sekä kotitalouskohtaisessa lämmityksessä että kaukolämmön tuotannossa [Fingrid 2022]. Kansallisesti kaukolämmön tuotannossa merkittävimmät fossiiliset polttoaineet ovat toistaiseksi vielä hiili, maakaasu ja turve, mutta kantaverkon kehittämissuunnitelman taustalla olevissa laskelmissa on arvioitu sähkön lämmityskulutuksen kasvavan noin 6 TWh vuosina 2019–2030. Suurimman kasvun on arvioitu toteutuvan kaupungeissa, joissa nykyään fossiilisia polttoaineita hyödyntävää sähkön ja lämmön yhteistuotantoa korvautuu lämpöpumppuratkaisuilla, jolloin sähkön kulutus toisaalta kasvaa, mutta sen tuotanto supistuu. Tämän seurauksena erityisesti kasvukeskusten sähkönsaantia on vahvistettava. [Fingrid 2022].

Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset ja haasteet voivat olla hyvin erityyppisiä kaupungeissa ja taajama-alueilla verrattuna haja-asutusalueisiin. Kaupungeissa ja taajama-alueilla sähkön kysyntä muuttuu sähköistyvän kaukolämmön, kiinteistökohtaisen lämmityksen sekä liikenteen sähköistymisen seurauksena [Forsman ym. 2020]. Kulutusjoukon toimivuus ja latausnopeuksien tehot vaikuttavat olennaisesti sähköistyvästä liikenteestä johtuvaan jakeluverkkojen kuormitukseen samaan aikaan sähköistyvän lämmityksen kanssa. Merkittävin haaste sähköverkon kapasiteetissa voi syntyä kantakaupunkien alueella, jossa rakennukset lämmitetään kaukolämmöllä eikä rakennusten liittymiä olla mitoitettu korkealle sähkönkulutukselle, mitä mahdollinen sähköautojen samanaikainen lataus kasvattaa. Sähköliittymän rajallinen kapasiteetti voi siten rajoittaa kulutusjoukon potentiaalia kulutuksen lisäämisen osalta edullisen sähkönhinnan hetkinä. Huippukuormituksen estämiseksi jakeluverkkoyhtiöt voivat siirtyä veloittamaan siirtomaksuja huipputehohon perustuen, kun ne eivät estä kulutusjouktoa silloin, kun verkon siirtokapasiteetti antaa myöden. Muita mahdollisuuksia ovat verkon kapasiteetista ja / tai sijainnista riippuvat siirtomaksut, mutta ne ovat tekniseltä toteutukseltaan haastavampia. [ibid] Toisaalta myös sähköautojen älykäs kaksisuuntainen lataus voi auttaa tasoittamaan sähkön vuorokausitason kulutuspiikkejä ja siten lisätä sähköverkon joustavuutta ja vähentää sähköntuotannon päästöjä. Älykäs lataus voi siten tukea uusiutuvan energian tuotannon integroinnissa ja vähentää uusien verkon investointien tarvetta [Kopsakangas-Savolainen -Meriläinen 2018].

Tulevaisuudessa kaukolämmön yhteistuotantolaitosten (CHP) sulkeminen ja yhteistuotannon korvaaminen muulla lämmöntuotannolla kaupungeissa voi tuoda lisähaasteita kaupunkiverkoille, sillä kaupungin sisäisen sähköntuotannon sulkeutuminen lisää painetta sähkönsiirtoon muualta kohti asutuskeskuksia. Hiilineutraaliustavoitteen vaikutuksia sähköjärjestelmään arvioineen raportin [Forsman ym. 2020] mukaan maltillisen

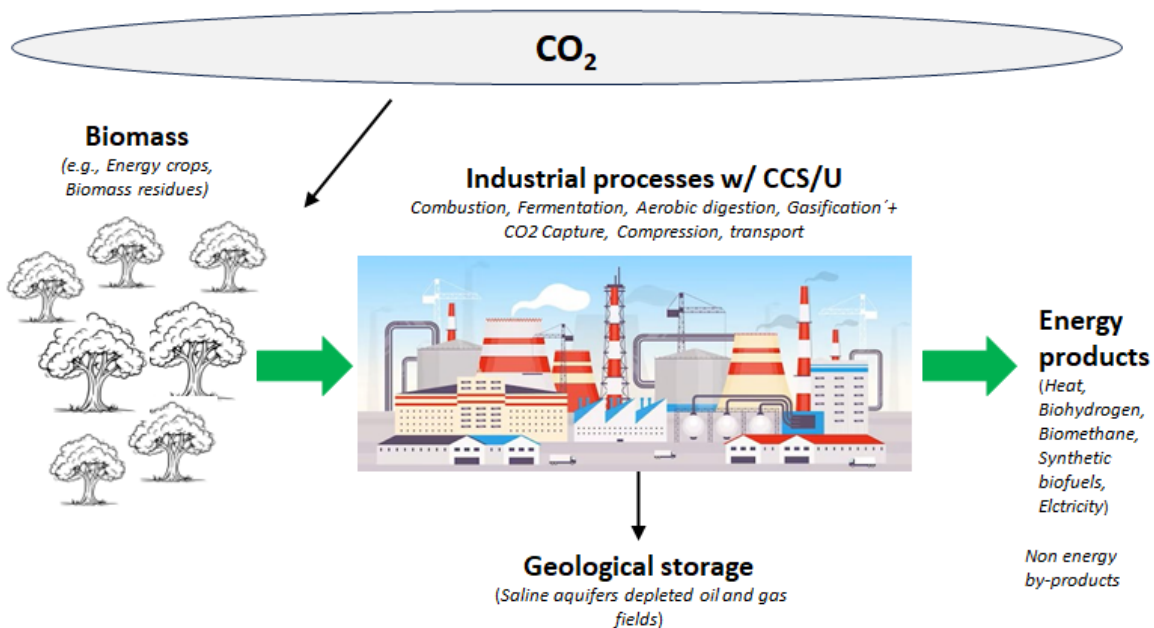
⁸³ Skenaariossa pohjalla on lämpöpumppu ja huiput tuotetaan suoralla sähköllä. Teknologioiksi on valittu iso kaukolämpöakku, kevythybridit, geolämpö, aurinkolämpö, biohiili, Sulkavuoren jätevedenpuhdistamon hukkalämmöt, muut pienen kokoluokan hukkalämmöt sekä sähkökattilat.

⁸⁴ Tuotantopinnan pohjakuormana toimii Tammervoiman hyötyvoimalaitos [TAVO] ja Naistenlahti 3 [NSL3] hiilidioksidin talteenottoilla ja loput kysynnästä tuotetaan lämpöpumpuilla ja sähköllä. Skenaariossa mukana olevat teknologiat ovat iso kaukolämpöakku, kevythybridit, geolämpö, aurinkolämpö, biohiili, Sulkavuoren jätevedenpuhdistamon hukkalämmöt, muut pienen kokoluokan hukkalämmöt sekä sähkökattilat.

sähköistymisen perusskenaariossa [ilman merkittäviä päästövähennystoimia] yhteistuotanto vähenee 38 prosenttia, hiilineutraaliustavoitteen saavuttavassa sähköistymisen perusskenaariossa 27 prosenttia ja älykäässä sähköistysskenaariossa 34 prosenttia vuodesta 2019 vuoteen 2040. [ks. skenaariokuvaukset s. 35–7 Forman ym. 2020]. Sulkeutuvan sähköntuotannon lisäksi sähkönkäyttö voi siten kasvaa samalla sähköistyvän kaukolämmön tuotannon takia. Yhteistuotantolaitoksen sulkeutuminen voi siis mahdollisesti vaatia kantaverkkoliittymän vahvistamista. Fingridin suunnitelmissa on vahvistaa sähköverkkoa ainakin Helsingin ja Tampereen suunnalla yhdessä paikallisten kaupunkiverkkoyhtiöiden kanssa. [ibid]

Myös Tampereella on tunnistettu erityisesti Ukrainaan kohdistuneen Venäjän hyökkäyssodan myötä tarve päästä eroon fossiilisista polttoaineista nopeasti. Lämpöyhtiöiden nykyiset polttoon perustuvat ratkaisut rakentuvat osittain perinteiselle osaamiselle sekä CHP-roolille sähkön ja lämmön tuotannossa. Kaupunkien ympäristösitoumuksista ja ilmastotavoitteista huolimatta, energiasiirtymän tärkein ohjaava tekijä on taloudellinen eli käytännössä energian ja teknologian reaalin hinta. Tampereella, kuten monissa muissa kaupungeissa, turpeesta irti pääseminen on lisännyt metsäbioenergian käyttöä, vaikka sähköistymisen mahdollisuudet tunnistetaan [tuuli- ja aurinkovoima] ja jatkossa esimerkiksi sähkökattila ja lämpövarastot osittain vähentävät puun käyttöä. Vantaan tavoin, myös Tampereella jätteen poltto on isossa roolissa perusvoiman tuotannossa ja Ren-Gas-projektin myötä myös Tampere pyrkii CCS-teknologian hyödyntämiseen sekä jalostamaan raskaan liikenteen polttoainekaasua, eli synteettistä metaania. Ratkaisu vahvistaisi sektorikytkentää sekä vähentäisi jätteenpolton ja liikenteen ilmastopäästöjä.

Tampereella polttoon perustumattoman kaukolämmön toteutus on toistaiseksi pienimuotoista, vaikkakin sähkökattilan ja suunniteltu lämmön kausivarasto ovat tärkeitä kehitysaskelaita kohti fossiilivapaata ja polttoon perustumatonta tuotantoa. Käytännössä Tampereen Energian selvityksessä ja aikaisemmassa energiantuotannossa on kuitenkin huomattavaa polkuriippuvuutta, sillä myös uudet ratkaisut, kuten lisälämmön ja hiilidioksidin talteenotto, nojaavat jätteenpolton ja puun energiakäytön jatkumiselle. Jätteenpolton energiakäyttöä on energiayhtiöiden taholta perusteltu erityisesti sillä, että jätteen käsittelylle ei toistaiseksi ole juuri muita vaihtoehtoja kaatopaikkasijoituksen loputtua ja kierrätys ei toistaiseksi toimi riittävän tehokkaasti. Erityisesti Naistenlahti 3:n myötä puun energiakäytön voidaan odottaa pysyvän melko korkeana, sillä laitoksen odotetaan tuottavan 50 prosenttia kaikesta kaukolämmöstä. Tätä voidaan pitää merkittävänä heikennyksenä kehityssuunnalle, jossa sähköistyminen ja uudet ratkaisut johtaisivat aidosti päästöttömiin ja ei-polttoon perustuviin ratkaisuihin. Bioenergian hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin, [Bio Energy Carbon Capture and Storage, BECCS] perustuvaan teknologiaan liittyy useita avoimia kysymyksiä, kuten teknologian kaupallistumisen aikataulu, hiilen poistojen sääntely ja hyväksi lukeminen sekä varastoinnin sijainti [ja pysyvyys], sillä loppusijoitukseen sopivia geologisia muodostelmia ei ole Suomessa vaan hiilidioksidi on kuljetettava joko laivoilla tai putkia pitkin esimerkiksi Pohjanmerelle [Norja] tai Baltian maiden alueelle [Koljonen ym. 2020 ja Lehtilä ym. 2021].



Kuva 14. Muokattu kuva alkuperäisestä [Lähde: Kemper 2015]. Bioenergian käyttöön liittyvä tuotantoprosessi ja siihen liittyvä hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (BECCS) sekä biogeenisen hiilen hyödyntäminen loppu- ja sivutuotteina.

Hiilen poistot sekä luonnollisten nielujen että teknisten nielujen (ml. Direct Air Capture & Storage, DACS) avulla ovat tärkeässä roolissa IPCC:n skenaarioissa, joissa tavoitteena on lämpötilan nousun rajoittaminen alle kahteen asteeseen sekä mahdollisen lämpötilan ylimenokauden (overshoot) jälkeen pyrkimys palauttaa ilmakehän hiilidioksidipitoisuus ja siitä aiheutuva ilmastovaikutus eli lämpeneminen takaisin haluttuihin raja- tai tavoitearvoihin (IPCC 2023). Tämä voi kuitenkin johtaa ilmaston kannalta vaaralliseen viivytelyyn, sillä mikäli teknisille nieluille ja hiilen talteenotolle annetaan ilmastoskenaarioissa liian suuri rooli, se voi luoda alimitoitettun kuvan päästövähennysten tarpeesta ja kiireellisyydestä (Lähde 2023, ks., myös Climate Uncensored⁸⁵). Ilmastotutkija Kevin Anderssonin mukaan oletukset planeetan laajuisen teknisten nielujen ja hiilen talteenoton sisällyttämisestä ilmastomalleihin on käytännössä hidastanut ilmastotoimia. Näin päästövähennyksiä ja luonnollisten nielujen vahvistamista siirretään oletuksella, että tekniset nielut ovat tulevaisuudessa käytettävissä, koska tutkijoiden mukaan hiilen talteenotto tulee todennäköisesti peittämään osan odotuksista, ei aiheutettua vahinkoa voida enää ottaa takaisin. Tutkijoiden havainto on, että keskeinen kiista koskeekin hiilidioksidin talteenoton skaalaa ja aikajäniteitä (Anderson ym. 2023). Hiilibudjetti vaarallisen kuumenemisen välttämiseksi ja 1,5 asteen polulla pysymiseksi edellyttää siten ensisijaisesti nopeita päästövähennyksiä ja luonnollisten nielujen vahvistamista kuluvalle vuosikymmenellä (Aho ja Tikkakoski 2023). Esimerkiksi EU:n vuoden 2040 ilmastotavoitteiden asettamista koskevassa analyysissään EU:n ilmastopaneelin kolme vaihtoehtoista polkua 1,5 asteen kuumenemisrajassa pysymiseksi sisältävät kaikki enemmän luonnon hiilinieluja kuin teknisiä nieluja (The European Scientific Advisory Board on Climate Change 2023).

BECCS ja CCS on sisällytetty myös Suomen hiilineutraaliutta ja hiilinegatiivisuuden saavuttamista arvioiviin analyyseihin (Koljonen ym. 2020). Erityisesti CCS:a on kaavailtu prosessiteollisuuteen, kuten sementin valmistus, polttoaineiden jalostusprosessit sekä sellun valmistuksessa, ja BECCS:iä bioenergiapohjaiseen CHP-yhteistuotantoon kaupunkien kaukolämpöverkoissa (ibid). Negatiivisten päästöjen tuotanto voidaan arvioiden mukaan kuitenkin saada käyttöön pääsääntöisesti vasta vuoden 2035 jälkeen (Lehtilä ym. 2021). Lisäksi teknologioiden käytettävyys ja kustannustehokkuus on riippuvainen siitä, kuinka hyvin ja nopeasti teollisuuden sähköistäminen yleistyy ja mitä muita rajoitteita tai muutoksia esimerkiksi teolliseen tuotannon laatuun ja kysyntään tulee (esim. sellu), jolloin suora sähköistäminen voi tulla tehokkaammaksi keinoksi saavuttaa halutut päästövähennykset.

Suomen ilmastopaneelin mukaan (2023) teknologiset nielut tarjoavat lisäkeinon Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseen vuoden 2030 jälkeen, mutta ne eivät saa syrjäyttää tai hidastaa muita ilmastotoimia. Suomi on pahasti jäljessä vuoden 2030 tavoitteiden saavuttamisessa maankäyttö- ja taakanjakosektoreilla eikä teknologisista nieluista saada apua näiden tavoitteiden saavuttamiseen. Myös vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite edellyttää lisätoimia ja tavoite voidaan saavuttaa erittäin määrätietoisilla ja tehostetuilla ilmastotoimilla taakanjako- ja maankäyttösektoreilla, mutta toimiin on ryhdyttävä heti. Suomen teollisista päästölähteistä saatavan hiilinielun yksikkökustannus on talteenottokohteesta riippuen nykyarvion mukaan noin 120–240 €/tCO₂ kaupallisella laitoksella vuoden 2030 tienoilla. Kustannukset ovat edullisimpia suurissa rannikolla sijaitsevilla laitoksissa. Merkille pantavaa on, että kustannukset ylittävät selvästi maankäyttösektorin edullisimpien toimien päästövähennyskustannukset (kuten entisten turpeenottoalueiden vettäminen). Jo tunnistetut ilmastotoimet ovat siis tänään selvästi edullisempia kuin teknologisten nielujen tuottaminen tulevaisuudessa. Raportissa todetaan että, Suomen 2–3 eniten bioperäistä hiilidioksidia tuottavan laitoksen hiilidioksidi riittäisi talteen otettuna ja varastoituna tuottamaan noin 5 Mt teknologisen hiilinielun. Laitokset ovat sellu-, paperi- ja biotuotetehtaita. Jos kansallinen operatiivinen tuki kattaisi koko hiilidioksidin talteenoton, paineistuksen, kuljetuksen ja varastoinnin kustannuksen, 5 MtCO₂-suuruisen teknologisen hiilinielun rahoittaminen vaatisi 605–705 M€/vuosi.

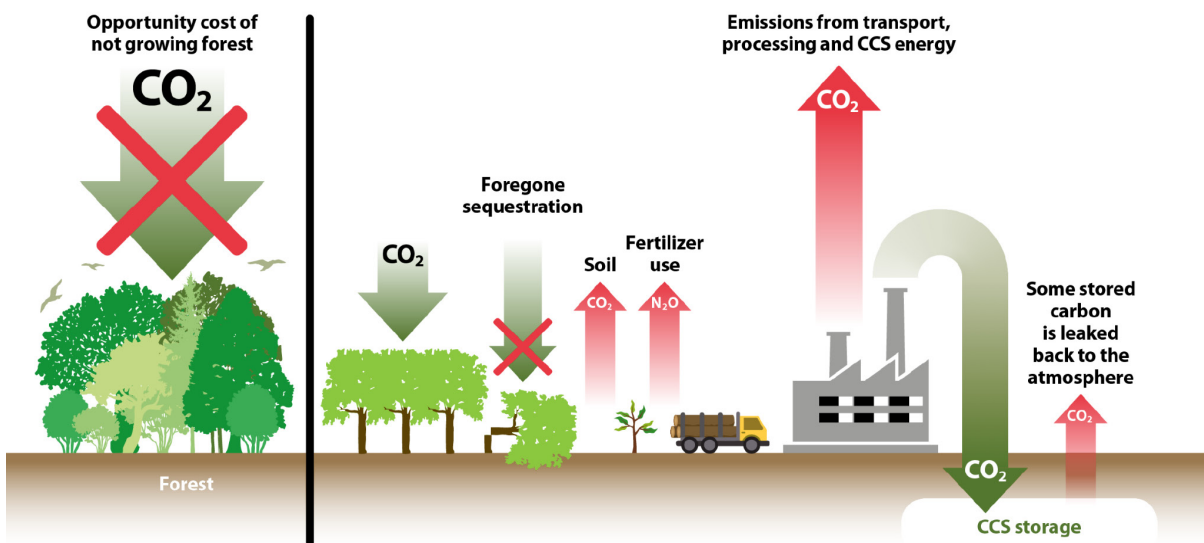
Tämän perusteella Tampereen Energian suunnitelman osalta on keskeistä arvioida bioenergiaan perustuvan hiilen talteenoton kustannustehokkuutta. Käytännössä tämä tarkoittaa käyttöastetta, jolla yhtiön (säästövoimaksi oletettujen*) biokattiloiden toiminta on taloudellisesti kannattavaa savukaasujen talteen ottamiseksi, jotta biogeenisten tuotteiden tuottamiseksi tarvitaan. Mikäli tavoitteena on varastoida talteen otettu hiilidioksidi, on tarkasteltava myös kuljetusta sisämaasta rannikolle ja sieltä edelleen varastointikohteeseen, joita ei ole saatavilla Suomessa. Toisaalta mikäli oletuksena on puun energiakäytön jatkuminen samassa mittakaavassa, on syytä pohtia, kuinka yhteensopivana ratkaisua voidaan pitää sekä alueellisten että kansallisten ekologisten tavoitteiden kannalta.

Metsäbiomassaan pohjautuva bioenergia on nähty teollisuudessa ratkaisuna ilmastopäästöjen syntyymiseen kahtaalta: ensinnäkin sen avulla on korvattu fossiilisia polttoaineita ja toisaalta BECCS:in avulla pyritään saa-

⁸⁵ <https://www.youtube.com/@ClimateUncensored/videos>

uttamaan hiilinegatiivisuus eli biogeenisen hiilidioksidin poisto ilmakehästä pysyvästi. Oletuksena on, että näin voidaan saavuttaa nettonegatiiviset päästöt, jolloin kyseessä ei ole vain päästöjen ja poistojen tasapainotila (ns. hiilineutraalius) vaan hiilen pysyvä kierrosta poistaminen (hiilinegatiivisuus). Näin saavutettavaan hiilinegatiivisuuteen liittyy kuitenkin useita epävarmuuksia johtuen osin virheellisestä oletuksesta, että bioenergiana hyödynnettävät jakeet olisivat hiilineutraaleja metsätähteitä ja varastointia ei luonnostaan tapahtuisi lainkaan. Käytännössä kaikissa metsäbioenergian jakeita polttavissa laitoksissa hyödynnetään raaka-aineena metsäteollisuuden sivutuotteiden, kuten sahanpurun ja kuoren, lisäksi suoraan metsästä saatavia jakeita, kuten oksia, latvuksia ja kantoja, sekä kuitu- ja tukkipuuta, joiden hiilineutraalius on osoitettu (Seppälä ym. 2015) virheelliseksi. Lisäksi erityisesti ainespuun, lahoppuun ja kantojen polttamisen takaisinmaksuajat eli aika hiilivaraston muutoksen ja palautumisen välillä voivat kestää vuosikymmenistä tai jopa useista vuosisatoja (Seppälä ym. 2022). Lisäksi on huomioitava vielä tuotanto- ja kuljetusketjusta aiheutuvat päästöt, jolloin on epävarmaan, saadaanko sen avulla lisäpoistoja lainkaan tai saavutetaanko niitä Pariisin ilmastopimuksen tavoitteiden kannalta olennaisella aikajänteellä (EASAC 2022), joihin myös Suomen kansalliset ja alueelliset päästövähennystavoitteet perustuvat.

Would BECCS deliver negative emissions?



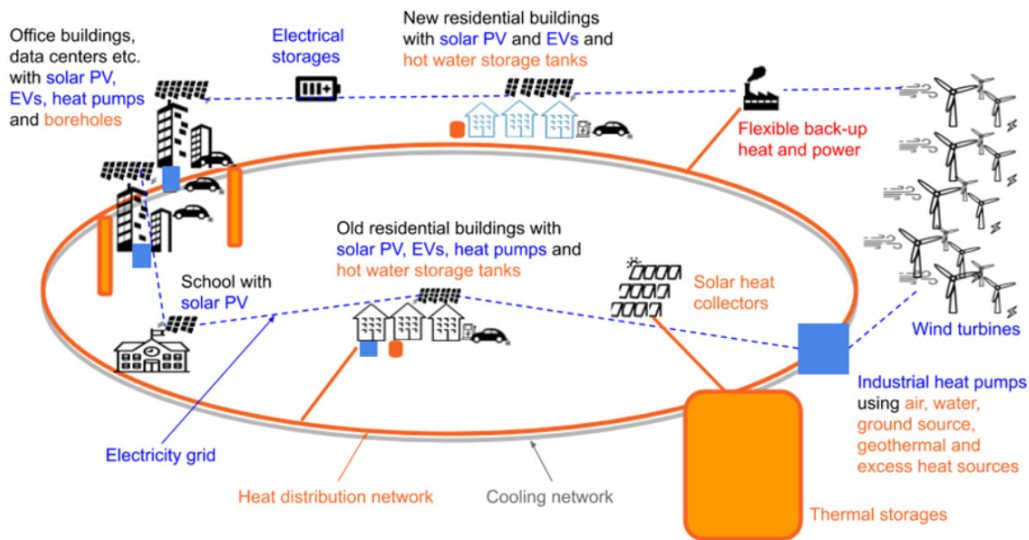
Kuva 15. Ympäristöjärjestöjen kritiikki koskee negatiivisiin päästöihin perustuvia päästövähennysstrategioita, jotka perustuvat usein liian yksinkertaistaviin oletuksiin ja puutteellisiin systeimirajauksiin kokonaisvaikutusten kannalta. BECCS liitettävä yleinen oletus on, että hiilen varastoitumista metsiin ei tapahtuisi nettomielessä (varaston kasvu), minkä lisäksi huomiotta jäävät usein muut ympäristövaikutukset, päästöt ja energian kulutus, joita BECCS:n käyttö edellyttää. Suomessa BECCS voisi johtaa nykyisen metsäpolitiikan mukaisten hakkuutasojen ylläpitoon, mikä uhkaisi hiilinielutavoitteiden saavuttamista ja metsäluonnon monimuotoisuutta. Kuvan lähde: Fern (2023)

Suomessa olennaista onkin tarkastella mahdollisen BECCS:n nettovaikutusta ilmastoon. Tämä sisältää bioenergian polton ja koko tuotantoketjun aiheuttamat päästöt sekä CCS-tekniikan (hiilen talteenotto ja varastointi) kautta saatavat pysyvät poistot. Kun poltettava puu tulee myös muista kuin lyhyessä kierrossa olevista jakeista, parhaassa tapauksessa BECCS:n hyödyntämisen vaikutus olisi päästöjä hillitsevä, ei nettonegatiivinen. Teollisuuden biopohjaiset päästöt ovat yli 20 MtCO₂ vuodessa, eli kyseessä on merkittävä ilmasto-kuumentava päästölähde. (Aho & Tikka 2023)

Syken kyselytutkimuksessa⁸⁶ (2021) yhtenä syynä hajautettujen järjestelmien ja hukkalämmön hyödyntämisen esteeksi on tunnistettu kaukolämpöyhtiöiden monopoliasema kaukolämpöverkkoon, jonka seurauksena kaukolämpöjärjestelmän kiinteät kustannukset ja hinnoittelumalli syövät sekä hukkalämmöntuottajien investointilleen saamat korvaukset että heikentävät järjestelmän joustavuutta esimerkiksi huippukuorman säätelämiseksi (ks. Auvinen ym. 2021). Tämä voi osittain vaikeuttaa hukkalämmön hybridimallien toimeenpanoa ja kannustaa joko irtautumaan kaukolämpöjärjestelmästä tai lauhduttamaan ylijäämälämmön ulkoilmaan. (ibid) Tampereen Energia on korostanut, että kaukolämmöllä ei ole monopoliasemaa, mutta käytännössä sen suunnitelmassa hybridiratkaisut ovat vielä melko pienessä roolissa ja kaukolämpöyhtiöiden liiketoimintamallissa ko-

⁸⁶ <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/download/noname/%7B72E96E5E-7C86-4459-A742-B07AF8F93A54%7D/16772>

rostuu perinteinen keskitetty lämmöntuotanto, joka tuo suuremman katteen kaupunkienergiayhtiöille. Tampereen Energia pyrkinyt lisäämään kaukolämmön joustavuutta kehittämällä keskitettyjä kevythybridiratkaisuja, joissa yhtiö investoisi rakennuskohtaisiin lämpöpumppeihin ja myisi lämmön asiakkaille (ks. Joronen ym. 2021). Ratkaisun tarkoituksena on edistää ostettavan energian säästöä ja toisaalta lisätä kaukolämpöjärjestelmän tehonhallintakyvykkyyttä (ks. Joronen ym. 2021). Lisäksi kaukojäähdytyksen osalta on pyritty mahdollistamaan kaukolämmön ulkopuolisten kiinteistöjen liittymisen verkkoon (Combined Heating & Cooling) sekä kiinteistöjen ylijäämälämmön myynti verkkoon.



Kuva 16. Vähähiilisen kaukolämpöjärjestelmän konsepti SET-tutkimuksen pohjalta (Lähde: Reda ym. 2021). Myös SET-tutkimuksen aikainen energiaverolainsäädäntö (biomassan verovapaus) vahvisti energiayhtiöiden sitoutumista biomassan käyttöön ensisijaisena korvaajana fossiilisille polttoaineille. Lisäksi energiayhtiöiden haastateltavat ilmoittivat, että ehdotetut teknologiset ratkaisut olivat epäkypsiä, eli eivät helposti saatavilla kaupallisessa mittakaavassa tai että ne eivät sovellu kaukolämpöön. Sen sijaan kaukolämpömarkkinoiden tulokkaiden näkökulmasta perimmäinen syy perinteisten energiayritysten vastustukselle johtui omista eduista tai ”vanhasta” ajattelutavasta, joka muodosti siten suurimman esteen ehdotetulle konseptille. (ks. Reda ym. 2021)

Hajautettu energiajärjestelmä, joka sisältää tyypillisesti älykästä ohjausta ja kulutusjoustoja, hyödyttää tyypillisesti sekä asunnon omistajaa että taloyhtiötä pienempinä energialaskuina, mutta auttaa myös tasapainottamaan kaukolämpöverkon kulutuspiikkejä ja vähentämään fossiilisten tai puupolttoaineiden käyttöä ja niistä aiheutuvia ilmastopäästöjä. Älykkäässä ohjauksessa kaukolämpöverkkoon kytkettyjä rakennuksia pyritään ajamaan koko järjestelmän eli tuotannon, jakelun ja kulutuksen kannalta optimaalisesti eikä pelkästään yksilötasolla jolloin tuotanto joustaa kulutuksen mukaan aiheuttaen kulutuspiikkejä, jotka tuotetaan tyypillisesti nopeaan tuotantoon soveltuvilla fossiilisilla polttoaineilla (Guelpa-Verda 2021, Salo ym. 2019) Kaukolämmön kulutuksen kysyntäjoustopa rakennusten tarvitsemaa lämpötehoa siirretään ajallisesti ilman että kokonaisenergian tarvetta joudutaan vähentämään, vaikkakin menetelmän avulla voidaan myös edistää energiatehokkuutta (Cai ym. 2021). Rakennuksiin voidaan esimerkiksi syöttää muutama tunti ennen kysyntäpiikkiä lämpöenergiaa, joka varastoituu joko lämminvesivaraajaan tai rakennusten rakenteisiin ja vastaavasti vähentää lämmitystä ajaksi, jolloin muuten olisi pitänyt käynnistää varavoimalaitos. (Vento 2016, ks. Ala-Kotila ym. 2020)

Tuotannon tasolla kysyntäjoustoa voidaan toteuttaa erilaisin lämpövesisäiliön tai kaukolämpöakkujen avulla. Tällä hetkellä lämpövarastoja on käytössä kaupungeissa vaihtelevasti. Koska uudessa vähähiilisessä ja sähköistyvässä energiajärjestelmässä kuitenkin tarvitaan hajautettua järjestelmää joustoineen, tulisi kaukolämpöyhtiöitä velvoittaa optimoimaan kaupunkitason järjestelmään erilaisia kulutus- ja tuotantojoustoa edistäviä varastoja ja lämmönlähteitä. Myös kulutusjousto voidaan tehdä myös keskitetyillä järjestelmillä, mutta kynnyskysymys on usean viikon varastoinnin mahdollisuus, mikäli halpaa sähköä, kuten tuulivoimaa, ei ole saatavilla. Tulevaisuuden kannalta kaukolämmön kehitykselle on ratkaisevaa, kuinka paljon uusiutuvaa sähköntuotannon kapasiteettia saadaan rakennettua ja missä aikataulussa (hintavaikutus), mikä määrittelee sen, kuinka kannattavaa yhtiöiden on investoida ja käyttää lämpöpumppuja (sähkönkulutus) kuin esimerkiksi polttaa puuta.

Tampereen Energian selvityksen vähähiilisyystavoitteita voidaan pitää yhdenmukaisena kansallisen tason tulevan kehityksen kanssa ja jatkossa on oletettavaa, että sähköistyminen korvaa fossiilisia ja myös puupolttoaineita. On kuitenkin tärkeää, että taloudelliset kannustimet jatkavat ohjaamista tähän suuntaan. Tällä hetkellä keskeisin ohjauskeino on lämpöpumppujen, sähkökattiloiden alempi sähköveroluokka⁸⁷, mutta esim. hukkalämpöjen investointiesteet ja puupolttoaineiden verotuet hidastavat siirtymistä uusiutuviin ja puhtaisiin energialähteisiin. Kaupunkien laajemman sähköistämisen kansantaloudellisia vaikutuksia ei myöskään ole toistaiseksi selvitetty, ja lisäksi tulisi arvioida mitä valtion tukia tai maksuja voidaan suunnitella 2050 energijärjestelmän ilmasto- ja luontovaikutuksien minimoimiseksi. Esimerkiksi puupolttoaineiden verottomuus ei huomioi niistä aiheutuvaa todellista ilmastovaikutusta⁸⁸ tai luontohaittoja, minkä lisäksi myös muun ilmaston kannalta hyödyllisen uusiutuvan energian tukien ehdoissa tulisi huomioida myös maankäytön ja rakentamisen luontoon kohdistuvat haitalliset vaikutukset (Pihlainen ym. 2023). Poliittikkokoherenssin ja kustannustehokkuuden kannalta olisi siten perusteltua poistaa sekä ilmastotavoitteiden kanssa ristiriitaiset ja luonnon monimuotoisuutta kuormittavat tuet ja kannusteet (ibid).

Tampereen kaupungin tavoittelemaan hiilineutraaliuteen vuonna 2030 on karkeasti arvioituna aikaa vain yhden voimalaitosprojektin verran. Tampereen kaupungilla ei toistaiseksi ole virallista linjausta kaukolämmöstä, vaan linja perustuu Tampereen Energian valitsemaan sähköistämiseen isossa perspektiivissä. Käytännössä kaukolämmön tuotannossa on Tampereella kuitenkin investoitu huomattavasti bioenergian käytön jatkumiseen (Naistenlahti 3), jonka lisäksi huomattavana perusvoimana käytettävään jätevoimaa, joka ilman CCS nostaa toistaiseksi kaukolämmön päästöjä. Tampereen Energian tavoitteena on tulevaisuudessa yhdistää hiilen talteenotto Naistenlahti 3:n voimalaitoksen yhteyteen, mutta hiilen talteenoton ja mahdollisen kuljetuksen kustannusarvioita ei toistaiseksi ole saatavilla. Globaalissa mittakaavassa IPCC-skenaarioiden mukainen polku (vaarallisen lämpenemisen välttäminen) voidaan pitää vaikeana ilman osittaista CCS-tekniikan hyödyntämistä muiden ratkaisujen ohella.

Ympäristölämmön hyödyntämisessä on koettu toistaiseksi haasteita Tampereella. Esimerkiksi suunnitelmiin kuulunut geolämpö ei toistaiseksi ole edennyt halutussa laajuudessa⁸⁹ ja Tampereen Energia on arvioinut järvilämmön kannattamattomaksi. Hiedanrannan uudessa kaupunginosassa toteutetaan teknistaloudellisesti kypsää ilmasto- ja energiaratkaisuja, mutta kyseessä ovat korttelikohtaiset ratkaisut, joiden avulla ei toistaiseksi voida ratkaista kaupunkienergian haasteita. Kaupunginosassa kokeiltavaa kaksisuuntaista lämpöverkkoa voidaan kuitenkin pitää tärkeänä askeleena kohti energiatehokkaampaa tulevaisuuden kaukolämpöä, vaikka se ei toistaiseksi poista kokonaan lisäpolttoaineen tarvetta. Muun kaupungin osalta matalalämpöisen kaukolämmön käyttöönoton yhtenä esteenä ovat nykyiset kaukolämpöputket, jotka ovat alimitoitettuja toimiakseen matalalämpöisessä kaukolämmössä, joka tarvitsee toimiakseen joko enemmän vettä tai veden lämpötilan nostamisen (priimaus) esimerkiksi lämpöpumppujen avulla.

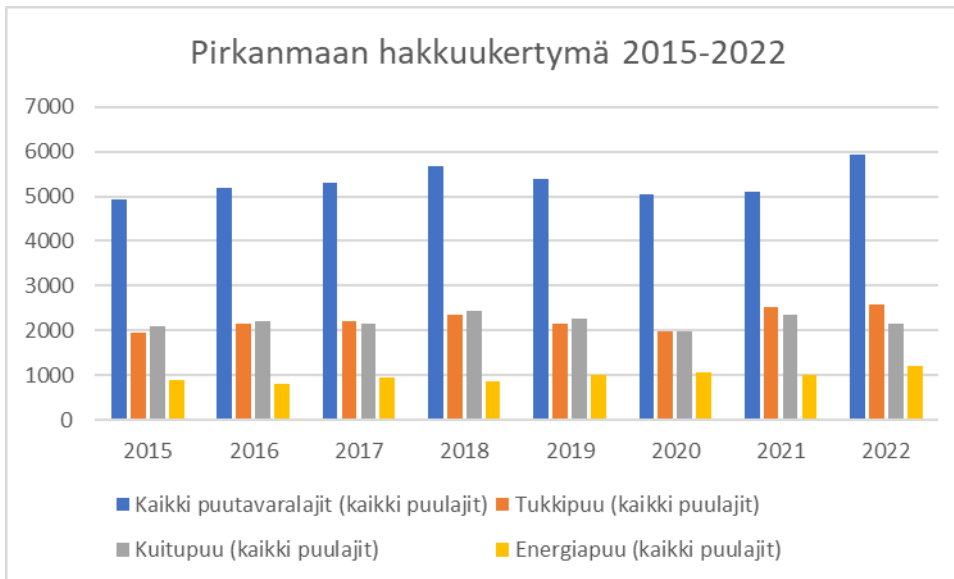
Keskeisten ympäristövaikutusten arviointi

Luonnonvarakeskuksen arvion (2022) mukaan Pirkanmaalla toteutuneen hakkuukertymän osuus suurimmasta ylläpidettävästä hakkuukertymästä oli 103 prosenttia vuosina 2016–2022. Tämä tarkoittaa sitä, että hakkuutaso oli niin suuri, että se vaikuttaa tuleviin hakkuumahdollisuuksiin. Hakkuutasoa arvioidaan vain puuntuotannon näkökulmasta, ei luonnon monimuotoisuuden tai hiilinielujen näkökulmasta. Pirkanmaalla hakkuiden kokonaisuus on kasvanut vuodesta 2015 noin 1 miljoonalla kuutiolla, josta energiapuun kasvu oli lähes 0,3 milj. m³. Suomen luonnonsuojeluliiton Pirkanmaan piirin mukaan alueen suometsät ovat tulossa korjuuikään, mikä voi siten kaksinkertaistaa näiden hakkuiden päästövaikutuksen runsashiilisen maaperän vaikutuksesta. Piirin mukaan Tampereen Energian puun hankinta-alue ei ole toistaiseksi tiedossa, jolloin edellytykset kestävyiden arvioimiseksi ovat heikot. Suurempi läpinäkyvyys ja vuoropuhelua parantaisi luottamusta kansalaisjärjestön osalta sekä kestävyyslupauksiin että toiminnan kestävyiden arviointiin.

⁸⁷ <https://www.vero.fi/tietoa-verohallinnosta/uutishuone/uutiset/uutiset/2022/1%C3%A4mp%C3%B6pumput-ja-s%C3%A4hk%C3%B6kattilat-alempaan-s%C3%A4hk%C3%B6veroluokkaan-010722/>

⁸⁸ Syken raportissa esim. puupolttoaineiden verotuista aiheutuvaa todellista ilmastohaittaa arvioitiin efektiivisen CO₂-päästöohjauksen avulla, jossa päästöohjausta kokonaisuudessaan verrataan optimaaliseen, ilmastohaitat täysimääräisesti hinnoittelevaan päästöohjaukseen. Hinnoittelu suoritetaan hyödyntämällä vertailuhintaa eli referenssihintaa, jonka tulisi heijastaa hiilidioksidipäästöjen aiheuttamaa yhteiskunnallista kustannusta (social cost of carbon, SCC).

⁸⁹ <https://kaupunkilampo.fi/tampere/>



Kuva 17. Lähde: LUKE 2022b [Tarkemmat tiedot puutavaralajeittain, ks. liite 2]

Tampereen Energian selvityksessä biomassan poltto on katsottu olevan "ilmastoneutraali tapa tuottaa energiaa", millä yhtiö viittaa sen laskennalliseen hiilineutraaliuteen (Joronen ym. 2021a ja b). Puun uusiutuvuus tulkitaan usein virheellisesti yhteensopivaksi päästöttömyyden kanssa, vaikka biogeeninen hiili on tutkimuksen mukaan todettu lisäävän ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta varsinkin lyhyellä ja keskipitkällä aikajänteellä (Yle 2015⁹⁰, Liski ym. 2011). Käytännössä puun poltossa vapautuu hiilidioksidia energiayksikköä kohden hiukan enemmän kuin kivihiilen poltossa ja huomattavasti enemmän kuin kaasun ja öljyn poltossa (Syke 2018⁹¹). Voidaankin perustellusti sanoa, että Suomen energiasektorin päästövähennykset on osittain saavutettu maankäyttösektorin kustannuksella, sillä metsien nielu ei ole riittänyt kattamaan nopeasti kasvanutta puupolttoaineiden käyttöä (ks. Bios 2022⁹²) ja tämän ilmastopolitiikan seurauksena Suomen nettopäästöt eivät ole vähentyneet. Tätä näkökulmaa vasten energialaitosten jatkuva ja lähitulevaisuudessa mahdollisesti jopa kasvava riippuvuus puupolttoaineista voidaan nähdä ongelmallisena sekä ilmaston että toisaalta luonnon kantokyvyn kannalta, sillä esimerkiksi hakkuutähteiden kerääminen vähentää hiilivaraston lisäksi monimuotoisuudelle arvokasta lahoppua, heikentää maaperän ravinnetasapainoa ja lisää ravinnehuuhtoutumia vesistöihin (Repo ym. 2020, Tapio 2023)

Tampereen Energia luottaa puun hankinnassaan metsien kestävyysertifikaatteihin. Suurin osa Suomen metsistä (90 prosenttia) kuuluu PEFC-sertifikaatin, jonka ekologiset kriteerit on todettu riittämättömiksi turvaamaan edes minimitason monimuotoisuuden suojelua, ja esimerkiksi Suomen ympäristökeskus Syke ja ELY-keskukset ovat irtautuneet sertifikaatista⁹³. Myös FSC-sertifikaatti on todettu puutteelliseksi eikä se ole tiukemmista kriteereistä huolimatta ollut tae hyvästä metsänhoidosta ja suojelutoimien riittävydestä (Kaartinen 2020). Kriteerien ongelmana on mainittu niiden monitulkinnallisuus ja ei-ehdottomuus, joka mahdollistaa satunnaiset ja ei-systemaattiset virheet kriteerien soveltamisessa maastossa. Tämä on osittain johtanut siihen, että elinympäristöt rajataan mahdollisimman tiukasti, että puuta voitaisiin hakata mahdollisimman paljon. (ibid) Myös FSC:n valitusprosessin ja valvonnan puutteet mahdollistavat käytännössä kriteerin järjestyksellisen rikkomisen, sillä mikäli valitus tehdään ennen hakkuuta, ei rikettä ole vielä tapahtunut ja jos valitus tehdään hakkuiden jälkeen, ei rikettä voida enää todentaa (SLL 2023). FSC-standardin päivitystyön myötä [2023] näitä ongelmia on pyritty korjaamaan⁹⁴.

Metsäbioenergiaa käyttävät yhtiöt korostavat tyypillisesti, että niiden energian käyttö on kestäväää sillä, se perustuu teollisuuden sivuvirtoihin ja koostuu siten teollisuudelle arvottomista jäte- ja hakkuutähddevirroista. Käytännössä haketerminaalien seurannassa on kuitenkin havaittu että polttoon menee runsaasti myös run-

⁹⁰ <https://yle.fi/a/3-7844226>

⁹¹ https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ratkaisujablogi/Sampo_Soimakallio_Miksi_puuntuotannon_maf47869

⁹² "puuston hakkuut vähentävät keskimäärin noin 1,7 kertaa enemmän hiilinieluja vuosina 2015–2025 kuin mitä hakkuiden mukana siirtyä puun hiiltä jatkojalostukseen." <https://bios.fi/30-vuotta-ilman-nettopaastovahennyksia/#sdfootnote1sym>

⁹³ <https://www.hs.fi/kotimaa/art-2000007956345.html>

⁹⁴ <https://fi.fsc.org/fi-fi/newsfeed/paivitetty-metsanhoidon-fsc-standardi-on-julkaistu>

kopuuta, lahopuuta ja vanhaa puuta, mikä johtuu lämpölaitosten kasvaneesta puun kysynnästä ja toisaalta metsähakkeen korjuun kasvaneista kustannuksista, jolloin taloudellinen kannattavuus voi painottua kestävyysnäkökulmia enemmän [ks. esim. metsäkartoittaja [Ida Korhosen havainnot X:ssä](#)⁹⁵, Ei polteta tulevaisuutta⁹⁶ -kampanjan [terminaalivierailut](#), [Riikilä \[Metsälehti 2022\]](#) [Greenpeace 2019](#)]. Havaintoa tukee myös se, että metsähakkeen lämpöarvo on sitä parempi, mitä enemmän se sisältää palamisen kannalta hyvää ainesta, mikä voi sääntelyn puuttuessa lisätä myös runkopuun keräämistä polttoon. Myös Luonnonvarakeskuksen asiantuntijoiden mukaan tilastoitu lämpö- ja voimalaitosten metsähakkeen käyttö ylittää selvästi kotimaan metsistä hakatun energiapuun määrän tuontihakkeenkin huomioimisen jälkeen [Niinistö & Routa 2023], minkä perusteella polttoon päätyvän ainespuun määrä on kasvanut viime vuosina. Tarkkaa tilastotietoa runkopuun energiakäytöstä ei ole toistaiseksi saatavilla, mutta sen määräksi on arvioitu jopa 2-3m³ [ibid]

Tampereen Energia on tunnistanut kestäväen puun hankinnan haasteet ja metsien riittävyyden ja sen tavoittelemaa siirtymää irti poltosta voidaan pitää myönteisenä askeleena kohti sähköistyvää ja vähähiilistä kaukolämpöä. Toisaalta yhtiön nykyinen linja, jossa puupolttoaineiden rooli tulee ainakin toistaiseksi olemaan merkittävä ei täysin ilmennä huolta metsien riittävyydestä. Siirtyminen BECCS-teknologiaan (eli julkisessa keskustelussa usein mainittu "[tehtaan piippujen tulppaaminen](#)") ei ole myöskään täysin yksioikoinen ratkaisu, sillä teknologian kaupallistuminen ei välttämättä tapahdu odotuksista huolimatta edes 2030-luvulla -ainakaan ilman mittavaa julkista tukea [ks. [Aho & Tikkakoski 2023](#)]. Negatiivisia päästöjä ei myöskään toistaiseksi tunnisteta osana kansainvälisille ilmastopimuksille tehtävää päästölaskentaa [Laininen ym. 2022], joten niiden rooli päästöjen vähentämiseksi ja markkinavetoinen rahoitus on epävarmaa. Tässä yhteydessä on syytä pohtia myös miten REDIII:n sisältämää kaskadiperiaatetta tulisi lopulta toimeenpanna eli tulisiko biogeenisen hiilen talteenottoa [BECCS/BECCU] hyödyntää ensisijaisesti metsäteollisuudessa eikä energiantuotannossa, jossa energialähteiksi on tarjolla muitakin ratkaisuja. BECCS-teknologiaan turvaaminen tässä vaiheessa voi johtaa metsäbioenergian käytön jatkumiseen muiden ratkaisujen käyttöönoton sijaan myös energiayhtiöissä. Yleisesti metsien käytön kohdalla vaarana on nykyisen kestävämmän metsäpolitiikan jatkuminen ja siitä aiheutuvien haitallisten luonto- ja vesistövaikutusten unohtaminen [Aho & Tikkakoski 2023]. Ajatus BECCS:n tuottamista miinuspäästöistä on alun perin kytkeytynyt ajatukseen lisäisen biomassan käytöstä, jota saataisiin mm. metsityksen kautta. Olemassa olevan hiilivaraston ja tulevan kasvun heikentäminen on kuitenkin hyvin erilainen lähtökohta eikä laskeminen kategorisesti negatiiviseksi päästökseen ole siten perusteltua. Ilmastolta, mikäli hakkuita ei rajoiteta ja ilmastolle haitallisimpien jakeiden poltosta ei luovuta, BECCS voisi parhaimmillaankin korvata vain osaa puun polton päästöistä. [Aho & Tikkakoski 2023].

5. Johtopäätökset

Selvityksessä on pyritty antamaan kaupunkien kaukolämmön päästövähennyksiä koskeville toimille laaja poliittikakehys sekä kansallisesta että kansainvälisestä näkökulmasta. Nämä ulottuvuudet ovat keskeisiä sekä käytännön mahdollisuuksien ja esteiden tunnistamisen kannalta, mutta myös tulevien ympäristösääntelyn velvoitteiden hahmottamiseksi. Yhtenä keskeisenä huomiona on kansallisen ilmastopoliittian poukkoilevuus ja vain osittainen kiinnittyminen tutkittuun tietoon. Näin syntyvä epävarmuus lisää todennäköisesti kaukolämpösektorin toimijoiden riskejä, sillä toimijat eivät voi tietää miten seuraavan hallituskauden toimet joko edistävät tai hankaloittavat pitkän aikavälin investointien kannattavuutta. Erityisesti taloudellisten toimijoiden kannalta on keskeinen riski, jos hallituksen politiikka muuttuu oleellisesti (verrattuna edelliseen hallitukseen tai muihin verrokkimaihin) samaan aikaan kun kansainvälinen toimintaympäristö edellyttää suurempaa aktiivisuutta päästöjen vähentämiseksi ja luonnon monimuotoisuuden heikkenemisen pysäyttämiseksi.

Tämä on ongelmallista myös Suomen pitkäjänteisen kansallisen ja kansainvälisen ilmastopoliittian sitoumusten kannalta, mutta erikoiseksi tilanteen tekee se, että Suomen ilmastopoliittian pitkän linjan turvaamiseksi on vuonna 2015 säädetty ilmastolaki eli ilmastopoliittian suunnittelujärjestelmä, jota vahvistettiin erityisesti tavoitteiden osalta vuonna 2022 ja muutoksenhaun osalta vuonna 2023. Luonnon monimuotoisuuden suojelemisen ja luontokadon pysäyttämisen osalta Suomi on sitoutunut Kunming-Montrealin maailmanlaajuisen luonnon monimuotoisuuskehityksen tavoitteisiin ja Suomen kansallista monimuotoisuusstrategiaa päivitetään parhaillaan. Molemmat tavoitteet perustuvat kansainvälisesti vertaisarvioituun tutkittuun tietoon. Kansallisen biodiversiteettistrategian toimeenpanossa tullaan tekemään hallinnonalakohtaiset toimintaohjelmat. Myös

⁹⁵ Ks. myös Ida Korhonen "aarninappu": <https://www.instagram.com/aarninappu/>

⁹⁶ Ei polteta tulevaisuutta -kampanja: <https://eipoltetatulevaisuutta.fi/uk/>

kaupunkienergiayhtiöiden päästövähennysten kannalta on keskeistä huomata, että Suomessa luontokadon pysäyttämiseksi keskeinen luontotyyppi ovat pinta-alaltaan suuret metsät ja niiden käytön sovittaminen luonnon monimuotoisuuden kannalta kestäviin rajoihin.

Alla selvityksen keskeiset johtopäätökset:

- 1) Toiminnan laskennallinen hiilineutraalius tulkitaan päästöttömäksi energiasektorilla ja hiilinegatiivisuus ymmärretään osittain virheellisesti oman toiminnan ominaisuutena, vaikka sen tulisi ylittää koko tarkasteltuun ketjuun/toiminnan elinkaareen.**

Selvityksen perusteella molemmat tarkastellut kaupungit ovat sitoutuneet kaukolämmön päästövähennyksiin ja tavoittelevat oman toimintansa hiilinegatiivisuutta, vaikkakin termin tulkinta ja soveltaminen ei nyt analysoitujen materiaalien perusteella ole täysin ongelmatonta. Hiilineutraalius on hankala termi, jonka huolimaton käyttö todennäköisesti yksinkertaistaa vaihtosuhteita, joita esimerkiksi biomassan käytön ja ilmaston välillä on. Kuten selvityksessä on aiemmin todettu, lisääntyvät hakkuut heikentävät erityisesti kiinteillä puupolttoaineilla saatua korvausvaikutusta, jolloin todellisia ilmastohyötyjä ei saavuteta.

Vastaavasti hiilinegatiivisuuden edellytyksenä ovat lisäiset ja pysyvät poistot, jotka voidaan saavuttaa esim. DAC- tai BECCS-tekniikan avulla. Sen sijaan päästöjen siirtyminen lyhytikäisiin tuotteisiin, kuten synteettisiin polttoaineisiin ei vielä johda hiilinegatiivisuuteen, vaan vaikutus on kokonaispäästöjä vähentävä ja voidaan korkeintaan puhua positiivisesta hiilikädenjäljestä.

Samantapainen käsitteellinen sekaannus koskee usein vihreää vetyä, johon tyyppillisesti sisällytetään kaikki vedyn tuotannon muodot. Vetyä voi kuitenkin olla vihreää, sinistä, harmaata tai pinkkiä. Vedyn "väri" kertoo siten sen tuotantoprosessista sekä prosessin päästöistä [Rasi 2022]. Harmaa vety on peräisin fossiilisista polttoaineista, ja yleisin tapa tuottaa harmaata vetyä on maakaasun höyryreformointi. Myös sininen vety tuotetaan pääosin maakaasusta, mutta erotuksena harmaaseen vetyyn tuotantoprosessin hiilidioksidi otetaan talteen ja hyödynnetään. Vastaavasti vihreä vety tarkoittaa uusiutuvalla energialla, kuten aurinko- ja tuulienergialla, vedestä tuotettua vetyä. [Rasi 2022] Ydinvoimalla tuotettua vetyä kutsutaan pinkiksi kutsuttu ja se on niin ikään päästötöntä [Hölttä 2023].

Käsitteiden käytön vaihtelevat käytännöt kaupunkien viestinnässä ja markkinoinnissa korostavat tarvetta avata läpinäkyvästi niiden perusteluita, mutta myös säännellä viherväitteitä kuluttajien suojelemiseksi viherpesuluta, kuten EU-komissio pyrkii tekemään ehdotuksessaan viherväittämiksi [COM/2023/166 final].

- 2) Nykyinen politiikkaohjaus, erityisesti puupolttoaineiden verotuki, vääristää puupolttoaineiden käytön todellista hintaa muiden polttoon perustamattomien teknologioiden ja investointien kustannuksella. Niin kauan, kun puunpolton todelliset ympäristö- ja ilmastovaikutukset eivät ole huomioituna hintaohjauksessa, on sen veroetu yhteiskunnan kokonaisyhyötyjä heikentävä.**

Syken tuoreen raportin [Pihlainen ym. 2023] mukaan mikäli puun polton aiheuttamalle yhteiskunnalliselle haitalle asetettaisiin päästöohjauksen vertailutasoja vastaava hinta, olisi se todennäköisesti moninkertainen verrattuna nykytilanteeseen, jossa sen ilmasto- ja luontohaittoja ei hinnoitella lainkaan vaan käyttöä tuetaan verovaroin. Arvion pohjana on efektiivisen CO₂-päästöohjauksen menetelmä, jonka avulla nykyistä vero-ohjausta voidaan verrata optimaaliseen, ilmastohaitat täysimääräisesti hinnoittelemaan päästöohjaukseen, joka heijastaa hiilidioksidipäästöjen aiheuttamaa yhteiskunnallista kustannusta (social cost of carbon, SCC). Menetelmä kuvaa siten erityisesti puupolttoaineiden verotuen todellisia ympäristövaikutuksia, jossa haitallisen verotuen muodostaa referenssihintaa [€ / tCO₂] alempi päästöohjaus. Esimerkiksi käyttämällä ilmastohaitan täysimääräisesti huomioivaa verotasoa eli nykyistä päästöoikeuden hintaa [90 € / t CO₂], saataisiin kaiken teollisen puupohjaisen energiakäytön verotuksella noin 3,1 miljardin euron verokertymä [Soimakallio & Pihlainen 2023].

- 3) Puupolttoaineiden hintaohjauksen puuttuminen sekä päästökauppa- että maankäyttösektorilla jättää niiden poltosta aiheutuneet päästöt kokonaan päästöhinnottelun ulkopuolelle. Kiinteille puupolttoaineille asetettava vero korjaisi asetelmaa, kun maankäyttösektorille aiheutuvat nielu- jen menetykset ja ilmastopäästöt huomioitaisiin päästöohjauksena energiantuotannossa.**

Tulevaisuudessa mahdollinen maankäyttösektorin metsien hiilinielujen hinnoittelujärjestelmä voi johtaa siihen, että metsänomistajat voivat valita useammasta vaihtoehdosta hakkuista saadun kantohinnan sijaan. Puupolttoaineiden suuren osuuden yhtenä juurisyyinä on kestävämpään hakkuutasoon perustuva metsätalous, jonka jalostusarvo on alhainen johtuen suuresta sellun, paperin ja kartongin tuotannosta. Koska maankäyttösektorilla ei toistaiseksi ole hiille hintaa, on puun myynti raaka-aineeksi metsänomistajille taloudellisesti kannattavin vaihtoehto muiden ansaintamahdollisuuksien puuttuessa. Metsäteollisuuden nykyinen tuotantorakenne nojaa suurelta osin oletukseen rajoittamattomasta raaka-aineen saannista, mikä tekee volyymin perustuvasta tuotannosta kannattavan korkeasti jalostettujen tuotteiden sijaan. Metsäteollisuuden nykyisen tuotantorakenteen ja siihen sisältyvän sivuvirtojen energiakäytön on myös todettu estävän alan skaalautumista korkeamman lisäarvon tuotteisiin, sillä edellytyksenä on irtikytkentä erityisesti mustalipeän energiakäytöstä [Berg-Andersson ym. 2022]. Mikäli ympäristösääntelyn ja innovaatioiden johdosta suhteellinen irtikytkentä kuitenkin tapahtuisi, johtaisi se myös energiayhtiöiden käyttämien sivuvirtojen vähentymiseen. Etlan arvion mukaan sivuvirtojen käytön lisääminen materiaalituotannossa voisi kasvattaa paitsi tuotannon kokonaisarvoa, myös työllisyyttä. Tämä turvaisi myös tuotannon raaka-ainesäntiä hakkuiden vähentyessä tulevaisuudessa EU:n kiristyneen ilmastopolitiikka myötä ja siksi Suomen metsäsektorin pitäisi varautua jo ennalta siihen mahdollisuuteen, että hakkuukertymät vähenevät nykytasostaan. [Berg-Andersson ym. 2022]

4) Jätteenpolton päästöjen vähentämiseksi tarvitaan toimia sekä jätesektorin alku- että loppupäässä. Jätteenpolton mahdollinen siirtyminen päästökauppaan ei välttämättä vähennä poltettavan jätteen määrää, mikäli yritykset siirtyvät CCS/U-teknologiaan.

Jätteen energiakäyttö on vähentänyt jätteen kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvia metaanipäästöjä, mutta samaan aikaan jätteenpolton päästöt ovat kasvaneet. Tällä hetkellä vain rinnakkaispolttolaitokset, joissa tasa-laatuisten teollisuusjätteen lisäksi käytetään muita tavanomaisia polttoaineita sekä hyvälaatuisia kierrätyspolttoaineita ovat päästökaupan piirissä. Kierrätysvelvoitteiden kiristyessä ja kiertotalouden myötä sekajätteen määrä todennäköisesti vähenee, mikä voi ajaa energiayhtiötä lisäämään tuontijätteen käyttöä ja siirtymään teollisuusjätteiden ja vaarallisen jätteen polttoon. Tämä voi lisätä ympäristöterveysriskejä. Mikäli syntypaikkalajittelua ja tuottajavastuuta ei saada kuntoon, on kuitenkin odotettavissa, että kierrätystavoitteista jäädyään. Vantaan Energian kiertotalouskehikko vastaa osittain ongelmaan laitospohjaisten kierrätyskeskusten avulla, sillä kiertotalouden yhtenä keskeisenä esteenä on kotitalouksien puutteellinen ja riittämätön kierrätysaste. Jätteen tehokkaampi hyödyntäminen kiertotaloudessa voisi kuitenkin osaltaan vähentää tarvetta neitseellisten luonnonvarojen käyttöönottoon [Pihlainen ym. 2023]. Jätteenpolton määrään vaikuttaa keskeisesti hintaohjauksen puute eli kannustimet kierrätyksen tehostamiseen, jotta jätteenpolttoon ei päädy kierrätyskelpoista materiaalia. Jätteiden kiertotaloushyödyntämisen esteenä on ollut erityisesti se, että elinkaarisien ympäristövaikutusten näkökulmasta parhaat toimintamallit eivät toistaiseksi ole olleet kilpailukykyisiä jätteiden energiakäyttöön verrattuna [Myllymaa ym. 2008]. Bröckl ym. 2021 mukaan jätteen polton hillitsemiseksi tarvitaankin samaan suuntaan ohjaavia, koko arvoketjun kattavia ohjauskeinoja.

5) Kaukolämmön tuotannon energiapaletti monipuolistuu kovaa vauhtia polttoon perustumattomilla vaihtoehdoilla, mutta molempien esimerkkikaupunkien osalta niiden hyödyntäminen on toistaiseksi pienimuotoista. Päätöksenteon osalta ratkaisevaa on eri teknologioiden soveltuvuus kohteeseen ja kustannusvaikutus.

Kaupunkien suunnitelmissa poltto ei ole toistaiseksi siirtymässä sivurooliin, vaan CCS-teknologialla on keskeinen rooli polton jatkumisessa. Polttamisessa painottuu nyt ja tulevaisuudessa puupolttoaineet sekä jätteet. Tämä johtuu erityisesti puutteellisesta talousohjauksesta. Energiasiirtymän tärkein ohjaava tekijä on käytännössä energian ja teknologian reaalin hinta. Puun polton verottomuus vaikuttaa polton kannattavuuteen suhteessa polttoon perustumattomiin vaihtoehtoihin. Myös ympäristö- ja hukkalämmön hyödyntäminen edellyttää yhteistyön ja toimintamallien kehittämistä, sillä niiden käyttöönottoon liittyy merkittäviä pullonkauloja erityisesti hukkalämmön tarjoajien ja kaukolämpöyhtiöiden välillä. Syken kyselytutkimuksen (Auvinen ym. 2021) mukaan kaukolämpöverkkojen markkinaehtoisuuden esteenä on kaukolämpöyhtiöiden monopoli lämpöverkkoon, sillä yhtiöiden nykyinen organisaatorakenne ja liiketoimintamalli eivät sovellu hajautettujen ratkaisujen laajamittaiseen käyttöönottoon.

6) Bioenergian hiilidioksidin talteenotto ja varastointiteknologiaa (BECCS) hyödyntämällä voidaan saavuttaa negatiivisia päästöjä vain, mikäli hiilidioksidi talletetaan pysyvästi ja elinkaariset päästöt ovat nettonegatiiviset. Hiilidioksidin käyttäminen lyhytaikaisiin tuotteisiin (BECCU) ei välttämättä muodosta negatiivista päästöä vaan sen ilmastohyöty voi käyttökohteesta riippuen olla päästöjä hillitsevä.

BECCS-tekniikkaan liittyy toistaiseksi merkittäviä epävarmuuksia koskien sen todellisia ilmastovaikutuksia ja kustannustehokkuutta. Suomessa CCS- ja BECCS-tekniikka on kuluvan vuoden aikana peräänkuulutettu ratkaisuna teollisuuden päästövähennyksiin ja tekniset hiilinielut on nostettu myös Petteri Orpon hallitusohjelman ilmastotoimien keskiöön. Asetelma on ongelmallinen, sillä hiilen poistojen puolesta kampanjointi on epäsuorasti liitetty oletukseen nykyisen taloudellisen ja teollisen toimintamallin jatkumisesta ennallaan (BAU) ilman sen suurempia rakenteellisia muutoksia, mikäli vain tehtaantulppu tulppataan. Tätä voidaan pitää eräänlaisena osaoptimointina ja jopa uhkapelinä sekä ilmaston että luonnon monimuotoisuuden kannalta. Hiilen poistojen laajempi kaupallistuminen on toistaiseksi vielä saavuttamatta, ja tiedeyhteisö on varoittanut, että varaukseton luottaminen hiilen poistoihin voi itse asiassa johtaa päästövähennysten viivästymiseen ja epäonnistumiseen riittävien ja tehokkaiden ilmastotoimien tekemisessä lyhyellä aikajänteellä, jotta vaarallinen ilmastomuutos voidaan pysäyttää ja pysyä Pariisin sopimuksen rajoissa. Lisäksi turvautuminen CCS/BECCS-tekniikoihin olisi jatkumoa nykyiselle metsäpolitiikalle, joka perustuu yhtäältä korkeisiin, luonto- ja ilmastotavoitteiden kannalta kestävämpiin hakkuutasoihin.

Mikäli (BE)CCS/CCU harkitaan teollisuuden päästövähennysstrategiana, tulisi tarkastella sen elinkaarisia päästöjä ja poistumia eli nettovaikutusta ilmastoon. Tämä sisältää bioenergian polton ja koko tuotantoketjun aiheuttamat päästöt sekä CCS-tekniikan (hiilen talteenotto ja varastointi) kautta saatavat pysyvät poistot. Huolimatta yleisistä väittämistä, ilman merkittäviä muutoksia ohjaukeinoissa on todennäköistä, että poltettava puu on edelleen peräisin myös muista kuin lyhyessä kierrossa olevista jakeista, vaikka kaikkia näitä virtoja ei voida tilastollisesti seurata tai paikantaa. Tämän seurauksena BECCS:n vaikutus olisi parhaimmillaankin päästöjä hillitsevä, ei nettonegatiivinen. Tämän lisäksi BECCS-tekniikkaan liittyy haitallisia vaihtosuhteita luonnon monimuotoisuuden kannalta, mikäli tekniikan käyttöönotto ylläpitää ylisuuria hakkuutasoja.

Oleellinen kysymys on myös CCS- ja BECCS-tekniikoiden taloudelliset kustannukset ja se, kenen maksettavaksi ne tulevat. Negatiivisia päästöjä ei toistaiseksi tunnusteta osana kansainvälisille ilmastosopimuksille tehtävää päästölaskentaa, joten niiden markkinaehtoinen rahoitus on epävarmaa. Julkisessa keskustelussa tekniikan käyttöönoton vauhdittamiseksi on vedottu julkisen sektorin tukeen, mitä ei voida pitää sosiaalisesti oikeudenmukaisena tai ilmastopolitiikan "saastuttaja maksaa" -periaatteen mukaisena, sillä näin koituvat hyödyt tukevat pääasiassa yksityisen sektorin voiton tavoittelua. Sen sijaan kansalaiset ja yhteiskunta kantavat vastuun viime kädessä metsäsektorin ilmastopolitiikan epäonnistumisesta ja aiheutettujen luontohaittojen seurauksista.

7) Sähköistymiseen liittyviä pullonkauloja on ratkottava sekä kansallisesti että paikallisin toimin.

Suomessa tuuli- ja aurinkovoiman tuotantopotentiaali on kasvanut nopeasti ja sähköistyminen etenee eri sektoreilla, mikä tukee päästövähennysten saavuttamista erityisesti energian tuotannossa. Kansallisesti sähköistymisen edellytyksenä on erityisesti verkkokapasiteetin vahvistaminen ja uusiutuvan energian hankkeiden toteuttaminen siten että pyritään minimoimaan sosiaalisesti ja luonnon monimuotoisuuden sekä hiilinielujen kannalta haitallinen maankäytön muutos. Sähköistymisen kansantaloudellisia vaikutuksia tulisi myös arvioida tarkemmin samalla kun huomioidaan se, että kestävä energiasiiirtymän tulee edistää myös energiansäästöä tukevia hyviä käytäntöjä.

Sähköistyminen on keskeinen ajuri myös kaukolämmön puhtaassa, polttoon peruuttamattomassa energiasiiirtymässä, mutta siirtymään liittyy myös merkittäviä tehonhallintaa koskevia haasteita. Näiden ratkaisemiseksi tarvitaan määrätietoisia toimia erilaisten tuotannon ja kulutuksen joustokeinojen lisäämiseksi, sillä kulutusjouston avulla voidaan tasata sääriippuvaista sähköntuotantoa. Kaukolämmön tuotannon osalta erityisesti suurten kausiluontoisten sähkö- ja lämpövarastojen lisääminen on keskiössä, mutta lisäksi tarvitaan kaukolämmön kysynnän eli kulutuksen joustoja. Keinoja tähän tarjoavat esimerkiksi älykäs ohjaus, joka perustuu järjestelmän optimointiin niin tuotannon kuin kulutuksenkin kannalta.

Hajautettujen ja älykkäiden järjestelmien rakentamisen avulla saatavat joustot ovat keskeisiä, sillä kaukolämmön päästövähennyshaaste on mittava ja siten jopa yksittäisten kiinteistöjen siirtymistä maalämpöön voidaan pitää kaupunkien hiilineutraalustavoitteiden saavuttamisen kannalta suositeltavana.

8) Energiakriisi on osoittanut huoltovarmuuden haavoittuvuuden nykyisessä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvassa ja keskitettyssä energijärjestelmässä. Sama koskee pitkiin toimitusketjuihin ja hitaaseen/huonoon toimitusvarmuuteen perustuvia puupolttoaineita.

Huoltovarmuuden osalta keskustelu on perustunut taloudelliseen kestävyteen eikä keskustelua sosiaalisesti ja ympäristön kannalta kestävästä huoltovarmuudesta ole juuri käyty. Luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen on keskeinen riskitekijä myös huoltovarmuuden kannalta tulevaisuudessa ja tämän vuoksi huoltovarmuuden kehittämistä ei tulisi tehdä irrallisena muista kestävyden ulottuvuuksista. Ilmastonmuutoksen eteneminen voi merkittävästi muuttaa energiayhtiöiden haavoittuvuutta ja riskejä, jolloin huoltovarmuuden kehittäminen hajautettuun ympäristö- ja hukkalämpöön, järjestelmään integroituun kulutusjoustoön ja uusiutuviin ja puhtaisiin polttoaineisiin perustuvaksi tulisi olla keskiössä.

6. Lähteet

Afry [2023]. Kotimaisten polttoaineiden toimintaympäristö ja käyttöarviot 2028 saakka. AFRY Management Consulting Oy. Saatavilla: https://afry.com/sites/default/files/2023-02/kotimaisten_polttoaineiden_toimintaymparisto_ja_kayttoarviot_2028_saakka_loppuraportti_8.2.2023.pdf

Afry [2020]. Energiatehokkuusdirektiivin mukainen selvitys hukkalämmön potentiaalista ja kustannushyötyanalyysi tehokkaasta lämmityksestä. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle 9/2020. Saatavilla: 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

ARA [2022]. ARA tarjoaa taloyhtiöille jopa 6000 € tuen kaukolämpölaitteiston nykyaikaistamiseen. Uutinen 20.10.2022. Saatavilla: <https://www.alva.fi/blog/2022/10/20/ara-tarjoaa-taloyhtiöille-jopa-6000-e-tuen-kaukolampolaitteiston-nykyaikaistamiseen/>

Ahonen, E., Heinonen, J., Lahtinen, N., Tuomainen, M., [2020]. Preconditions for the safe use of small modular reactors – outlook for the licensing system and regulatory control. STUK. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139290/STUK_Preconditions%20for%20the%20safe%20use%20of%20small%20modular%20reactors.pdf?sequence=1

Anderson, K., Buck, H.J., Fuhr, L., Geden, O., Peters, G.P., Tamme, E. [2023]. Controversies of carbon dioxide removal. Nature Reviews Earth & Environment 4, 808–814 [2023]. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00493-y>

Auvinen, K., Meriläinen, T., Saikku, L. [2021]. Yhteenveto tutkimuksen tuloksista: Hukka- ja ympäristölämmön hyödyntämisen esteet ja edistämiskeinot kaukolämpöverkoissa. Saatavilla: https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ilmastotyö/Energia/Hukka_ja_ymparistolammon_kasvun_esteet_ji59173

Ala-Kotila P, Vainio T, Heinonen J. Demand Response in District Heating Market – Results of the Field Tests in Student Apartment Buildings. Smart Cities. 2020; 3(2):157–171. <https://doi.org/10.3390/smartcities302000>

Berg-Andersson, B., Kulvik, M., Lintunen, J., Kunttu, J., Orfanidou, T. [2022]. "FutureForest2040 – Suomen metsäalan rakenteelliset muutokset sekä markkina- ja työllisyysnäköymät vuoteen 2040". ETLA Raportti No 131. Saatavilla: <https://pub.etla.fi/ETLA-Raportit-Reports-131.pdf>

BIOS [2022]. Joulupuu on varastettu -30 vuotta ilman nettopäästövähennyksiä. Blogikirjoitus 19.12.2022. Saatavilla: <https://bios.fi/30-vuotta-ilman-nettopaastovahennyksia/#sdfootnote1sym>

Blatter, C., Mönkkönen, M., Burgas, D. Di Fulvio, F., Toraño Caicoya, A., Vergarechea, M., Klein, J., Hartikainen, M., Antón-Fernández, C., Astrup, R., Emmerich, M. Forsell, N., Lukkarinen, J., Lundström, J., Pitzén, S., Poschenrieder, W., Primmer, E., Snäll, T., Eyvindson, K. [2023] Climate targets in European timber-producing countries conflict with goals on forest ecosystem services and biodiversity. Communication Earth & Environment 4, 119 [2023]. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00771-z>

Bröckl, M., Kiuru, H., Heads, S., Kämäräinen, K., Patronen, J., Luoma-aho, K., Armila, N., Sipilä, E., Semkin, N. [2021]. Jätteenpolton kiertotalous- ja ilmasto vaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:8. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-093-6>

Celsius city [2020]. Thermal Energy Storage. Saatavilla: <https://celsiuscity.eu/thermal-energy-storage/>

Euroopan komissio [2022]. EU:n ympäristölainsäädännön arviointi 2022. Maaraportti - SUOMI. SWD [2022] 277 final. Saatavilla: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/FI/TXT/PDF/?uri=SWD:2022:277:FIN&from=EN> KOMISSION YKSIKÖIDEN VALMISTELUASIIRI

European Commission, EC. [2020]. 2030 Climate Target Plan. Saatavilla: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en

European Council [2023]. Council and Parliament reach provisional deal on renewable energy directive. Press release 30 March 2023. Saatavilla: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/03/30/council-and-parliament-reach-provisional-deal-on-renewable-energy-directive/>

European Commission, EC [2022]. REPowerEU: Affordable, secure and sustainable energy for Europe. Saatavilla: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repower-eu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en

European Commission [2023]. Commission Declaration on 'EU Small Modular Reactors (SMRs) 2030: Research & Innovation, Education & Training'. NEWS ARTICLE4 April 2023. Saatavilla: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/commission-declaration-eu-small-modular-reactors-smrs-2030-research-innovation-education-training-2023-04-04_en

European Commission, EC [2023]. 2021/0218(COD). Saatavilla: <https://www.consilium.europa.eu/media/65109/st10794-en23.pdf>

European Commission [2022]. EU taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonisation. General publications. Saatavilla: https://finance.ec.europa.eu/publications/eu-taxonomy-complementary-climate-delegated-act-accelerate-decarbonisation_en

European Commission, EC, COM/2023/166 final. [2023]. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on substantiation and communication of explicit environmental claims (Green Claims Directive).

European Academies' Science Advisory Council, EASAC [2022]. Forest bioenergy update: BECCS and its role in integrated assessment models. Commentary report. Saatavilla: https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Negative_Carbon/EASAC_BECCS_Commentary_2022_WEB_final.pdf

European Parliament [2022]. P9_TA [2022]0317 Renewable Energy Directive ***I / Texts adopted. Saatavilla: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0317_EN.pdf

Euroopan parlamentti [2023]. Miten EU aikoo saavuttaa kiertotalouden vuoteen 2050 mennessä? Saatavilla: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20210128STO96607/miten-eu-aikoo-saavuttaa-kiertotalouden-vuoteen-2050-mennessa>

European Scientific Board on Climate Change [2023]. Scientific advice for the determination of an EU-wide 2040 climate target and a greenhouse gas budget for 2030–2050. Saatavilla: DOI: 10.2800/609405

Energiateollisuus. Tulevaisuuden asiakasratkaisut. Saatavilla: https://energia.fi/energiasta/asiakkaat/kaukolammon_asiakkuus/tulevaisuuden_asiakasratkaisut

Fingrid [2022]. Kantaverkon kehittämissuunnitelma 2022–2031. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/kantaverkon-kehittamissuunnitelma-2022-2031.pdf>

Fingrid [2022]. Tuulivoimabuumi haastaa kantaverkon siirtokykyä länsirannikolla. Tiedote 12.7.2022. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/tuulivoimabuumi-haastaa-kantaverkon-siirtokyky-lansirannikolla/>

Forsman, J., Närhi, J., Uimonen, H., Semkin, N., Miettinen, V., Toivola, S. [2021]. Hiilineutraalisuustavoitteen vaikutukset sähköjärjestelmään. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:4. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-029-5>

Fortum [2023]. Kulutusjousto eli kaukolämmön älykäs ohjaus. Saatavilla: <https://www.fortum.fi/yriyksille-ja-yhteisolle/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kulutusjousto-eli-kaukolammon-alykas-ohjaus>

Gasmet [2023]. Jätteenpolttolaitoksen päästömittaust. Saatavilla: <https://www.gasmet.com/fi/sovellukset/teollisuuden-paastomittaus/jatteenpoltto/>

Guelpa, E- Verda, V. [2021]. Demand response and other demand side management techniques for district heating: A review. Energy, Volume 219, 15 March 2021. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119440>

Geologinen tutkimuskeskus [2023]. GTK. Geoenergian ratkaisut.

Saatavilla: <https://www.gtk.fi/palvelut/energia-ja-rakentaminen/geoenergian-ratkaisut/>

Helsingin Sanomat, HS [2022]. Lintilä: Venäjältä tulee uraani ainoastaan Loviisan ydinvoimalaan, ja sitä riittää kahdeksi vuodeksi. Uutinen 9.3. 2022. Saatavilla: <https://www.hs.fi/politiikka/art-2000008670939.html>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY [2021] Kasvihuonekaasupäästöt.

Saatavilla: <https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/kasvihuonekaasupaastot/>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä, HSY [2021]. Pääkaupunkiseudun sekajätteen koostumus vuonna 2021. Kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimuksen loppuraportti.

Saatavilla: <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-sekajatteen-koostumus-vuonna-2021.pdf>

Helsingin Sanomat [2021]. 'Hiilipäästöjen hinnannousu Euroopassa on lyönyt kaikki ennusteet, ja sen seurauksena turpeesta tuli "järkyttävän kallista"'. Artikkelit 18.4.2021.

Saatavilla: <https://www.hs.fi/talous/art-2000007926977.html>

Helsingin Sanomat, HS [2023]. "Suuri vedenkeitin" lämmittää yhä useampia koteja, ja rahaa säästyy – "Viikonloppuna täytettiin termari". Uutinen 9.10. 2023. Saatavilla: <https://www.hs.fi/talous/art-2000009894919.html>

Hujala, E., Hyvärinen, J., Rintamaa, R., Suikkanen, H., Vihavainen, J., Wähä, S. [2022]. Uusien ydinenergiateknologioiden mahdollisuudet ja kehitystarpeet. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:43. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-189-6>

Hynynen, H. [2018]. Menolämpötilan alentaminen kaukolämpöverkon kehitystyössä. Diplomityö. Aalto yliopisto.

Saatavilla: https://aaltoodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/32370/master_Hynynen_Heikki_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hölttä, M. [2023]. Viisi asiaa, jotka päättäjän pitää tietää vihreästä vedystä. Uutinen 13.3.2023. Aalto-yliopisto.

Saatavilla: <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/viisi-asiaa-jotka-paattajan-pitaa-tietaa-vihreasta-vedysta>

IEA [2023]. Finland 2023 -Energy Policy Review. Saatavilla: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/07c88e41-c17b-4ea1-b35d-85dff665de4/Finland2023-EnergyPolicyReview.pdf>

IPCC [2023]. IPCC Sixth Assessment Report [AR6] "climate change 2023" Synthesis Report.

Saatavilla: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2023/03/Doc5_Adopted_AR6_SYR_Longer_Report.pdf

Ilmastopaneeli [2022]. Maankäyttösektorin nettonielua on vahvistettava kiireellisesti. Tiedote 25.5.2022.

Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/tiedotteet/maankayttosektorin-nettonielua-on-vahvistettava-kiireellisesti/>

Joronen, J., Salhoja, P., Vähätiitto, J., Murto, M. [2022]. Selvitys puun energiakäytön kestävydestä. Tampereen sähkölaitos. Saatavilla: https://www.tampereenergia.fi/wp-content/uploads/2023/02/selvitys-puun-energiakayton-kestavyydesta_26092022.pdf

Kaartinen, R [2020] FSC-sertifiointi ei turvaa metsien luontoarvoja. Suomen Luonto.

Saatavilla: <https://suomenluonto.fi/artikkelit/fsc-sertifiointi-ei-turvaa-metsien-luontoarvoja/>

Kemper, J. [2015]. Biomass and carbon dioxide capture and storage: A review. International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 40, 2015, Pages 401-430. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.06.012>

Koljonen, T., Lehtilä, A., Siikavirta, H., Aakkula, J., Haakana, M., Hirvelä, H., Kilpeläinen, H., Kärkkäinen, L., Laitila, J., Lehtonen, H., Maanavilja, L., Ollila, P., Tuomainen, T., Soimakallio, S., Honkatukia, J. [2020]. Hiilineutraali Suomi: skenaariot ja vaikutusarviot. VTT. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2020/T366.pdf>

Kopsakangas-Savolainen, M., & Meriläinen, T. [2018]. Sähköautoilun sähkömarkkina-ajurit ja hajautettu varastointi. Suomen ilmastopaneeli Raportti 1/2018. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/IP_Sahkoautoistumisen-ajurit_sahkomarkkina_.pdf

Kokko, S [2019]. Lämpöverkon käytön optimointi – Case Renforsin Ranta Diplomityö. Tampereen yliopisto. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/118692/KokkoSimo.pdf?sequence=2>

Koljonen, T., Honkatukia, J., Maanavilja, L., Ruuskanen, O-P., Similä, L. koostumus vuonna 2021. Kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimuksen loppuraportti. Saatavilla: <https://julkaisu.hsy.fi/paakaupunkiseudun-sekajatteen-koostumus-vuonna-2021.pdf>

Kujanpää, L., Koponen, K., Linjala, O., Mäkikouri, S., Arasto, A. 2023. Teknologisten hiilinelujen mahdollisuudet ja niiden edistäminen Suomessa. Suomen ilmastopaneelin raportti 5/2023. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2023/12/ilmastopaneelin-raportti-5-2023-teknologisten-hiilinelujen-mahdollisuudet-ja-niiden-edistaminen-suomessa.pdf>

Lappeenrannan Energia Oy [2021]. Neljä energiayhtiötä kehittävät yhdessä lämmön kulutusjoustoja. Tiedote 27.1.2021. Saatavilla: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/tiedote/nelja-energiayhtiota-kehittavat-yhdessa-lammon-kulutusjoustoja>

Laininen, J., Ahonen, H-M., Laine, A., Kulovesi, K. [2022]. Selvitys – Vapaaehtoisin päästökompensaatioihin liittyvät erityiskysymykset. Ympäristöministeriö 9/2022.

Lehtilä, A., Koljonen, T., Laurikko, J., Markkanen, J., Vainio, T. [2021]. Energijärjestelmän ja kasvihuonekaasujen kehitykset. Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:67. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-318-0>

Lehtonen, A. 2023. Maankäyttösektorin päästövähennykset ja hiilineutraali Suomi 2035. Luke Metsäareena 2023. Saatavilla: https://www.luke.fi/sites/default/files/2023-02/Aleksi_lehtonen_Metsa%CC%88areena.pdf

Leppäharju, N. [2021]. Keskisyvien lämpökaivojen energiapotentiaali ja hyödyntäminen Suomessa. Saatavilla: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/download/noname/%7B988AB8D9-F59B-4F78-9134-0C0FCFD-D63E7%7D/168143>

Liljeström, E & S, Monni [2020]. Jätteen energiahyötykäytön päästöjen kohdentaminen kunnille. JäPä-hankkeen loppuraportti: Tarkastelu erilaisista tavoista jakaa yhdyskuntajätteen energiahyödyntämisen päästöt kunnille. Pohjautuu raporttiin: ALas-hanke: Yhdyskuntajätteen poltto, tammi-kuu 2020. Benviroc. Saatavilla: https://kivo.fi/wp-content/uploads/JaPa_hanke_loppuraportti_21102020_BenvirocOy.pdf

Lipsanen, A., Kivimaa, P. & Leino, M. 2021. Sähköistyvän yhteiskunnan ja energiamurroksen vaikutukset sosiaaliseen oikeudenmukaisuuteen. Suomen ilmastopaneelin raportti 3/2021. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2021/10/ilmastopaneelin-raportti-3-2021-sahkoistyvan-yhteiskunnan-vaikutukset-oikeudenmukaisuuteen.pdf>

Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu, V-V., Tuovinen, J-P. [2011]. Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. SUOMEN YMPÄRISTÖ 5 | 2011. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/dd55181c-139f-4f9e-98cf-8a227cfe137c/content>

Lund, P. 2022. Sähköistämisen vaikutuksia ja mahdollisuuksia Suomen energijärjestelmässä – skenaariotarkasteluja. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2022. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/03/ilmastopaneelin-raportti-1-2022-sahkoistamisen-vaikutuksia-ja-mahdollisuuksia-suomen-energiajarjestelmassa-skenaariotarkasteluja.pdf>

Luonnonvarakeskus, Luke [2022a]. Selvitys: Metsien kasvun aleneman syyt ja uusien kasvihuonekaasuinventaarion tulosten vaikutukset Suomen metsien vertailutason saavuttamiseen kaudella 2021–2025. Luonnonvarakeskus.

Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/uutiset/selvitys-metsien-kasvun-aleneman-syyt-ja-uusien-kasvihuone-kaasuinventaarion-tulosten-vaikutukset-suomen-metsien-vertailutason-saavuttamiseen-kaudella-20212025>

Luonnonvarakeskus, Luke [2023a]. Kasvihuonekaasuinventaario 2021: Maataloussektorin ja maankäyttösektorin nettopäästöihin ei merkittäviä muutoksia verrattuna joulukuussa 2022 julkaistuihin ennakkotietoihin. Seurantajulkistus 15.3.2023.

Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/seurannat/maatalous-ja-lulucfsektorin-kasvihuonekaasuinventaario/kasvi-huonekaasuinventaario-2021-maataloussektorin-ja-maankayttosektorin-nettopaastoihin-ei-merkittavia-muutoksia-verrattuna-joulukuussa-2022-julkaistuihin-ennakkotietoihin>

Luonnonvarakeskus, Luke [2023b]. Puun kuiva-ainetta käytettiin lähes 37 miljoonaa tonnia vuonna 2022. Uutinen 29.11.2023. Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/uutiset/puun-kuivaainetta-kaytettiin-lahes-37-miljoonaa-tonnia-vuonna-2022>

Luonnonvarakeskus, Luke [2023c]. Vuonna 2022 hakattiin paljon, vaikka määrä pieneni kaksi prosenttia. Uutinen 15.5.2023. Saatavilla:

<https://www.luke.fi/fi/uutiset/vuonna-2022-hakattiin-paljon-vaikka-maara-pieneni-kaksi-prosenttia>

Luonnonvarakeskus, Luke [2022b]. Hakkuukertymä ja puuston poistuma alueittain 2022. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma/hakkuukertyma-ja-puuston-poistuma-alueittain-2022>

Lähde, V. [2023]. Ilmastonmuutoksen tilannekatsaus Dubain ilmastokokouksen alla. Blogi 29.11.2023. BIOS-tutkimusyksikkö. Saatavilla: <https://bios.fi/ilmastonmuutoksen-tilannekatsaus-dubain-ilmastokokouksen-alla/>

Mikkonen, M. [2021]. Prosumer-toiminta kaukolämpöverkossa. Kandidaatin tutkielma. LUT-yliopisto. Saatavilla: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163145/Kandidaatinty%C3%B6_Mikkonen_Minja.pdf?sequence=1

Monnet, A., Gabriel, S., Percebois, J. [2017]. Long-term availability of global uranium resources, Resources Policy, Vol. 53, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.07.008>

Motiva [2021]. Suomen teollisuuden sähköistyminen ja sen vaikutus energiatehokkuuteen ja hukkalämpöjen hyödyntämiseen. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/19644/Suomen_teollisuuden_sahkoistyminen_ja_sen_vaikutus_energiatehokkuuteen_ja_hukkalampojen_hyodyntamiseen_raportti_2021.pdf

Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M., Dahlbo, H. [2008]. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. SUOMEN YMPÄRISTÖ 39 | 2008. Suomen ympäristökeskus. Saatavilla: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/c3e398d7-eb2b-47bb-8f01-6056655031d2/content>

Motiva [2022]. Kaukolämpö. Saatavilla: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo

Mäkelä, V.-M. & Tuunanen, J. [2015] Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Oppimateriaalia. Saatavilla: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/97138/urnisbn9789515885074.pdf?sequence=1>

Norblad, H. [2020]. Kaukolämmön kehitysmahdollisuudet Suomessa. Kandidaatin työ. Tampereen yliopisto. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/120322/NorbladHeta.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Niinistö, T & Routa, J. [2023]. Lämpö- ja voimalaitoksissa palaa kuitupuuta. Bioenergialehti 11/2023. Saatavilla: <https://bioenergialehti.fi/2023/11/30/lampo-ja-voimalaitoksissa-palaa-kuitupuuta/>

Niinistö, T. [2023]. Kysyntä ohjaa puuta polttoon. Blogikirjoitus 30.11.2023. Luke. Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/blogit/kysynta-ohjaa-puuta-polttoon>

OECD [2021]. OECD Environmental Performance Reviews: Finland 2021, OECD Environmental Performance Reviews, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/d73547b7-en>.

Perlman, K. [2023]. BECCS: No time for false saviours. One Earth. Saatavilla: <https://www.oneearth.org/beccs-no-time-for-false-saviours/>

Pitkänen, A. [2020]. Hiedanranta: kaukolämmön jakeluverkoston vaihtoehtotarkasteluita. Tampereen kaupunki. Fluidit oy. Saatavilla: <https://energiaviisaat.fi/wp-content/uploads/2020/12/Fluidit-Hiedanranta-matalaenergi-aselvitys-2020.pdf>

Pihlainen, S., Pohjola J., Piironen, T., Pekkonen M., Kostamo, K., Kautto, P. [2023]. Ympäristölle haitalliset tuet Suomessa. Katsaus ilmastolle ja luonnon monimuotoisuudelle haitallisiin tukiin. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 30 | 2023. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5598-7>

Reda, F., Ruggiero, S., Auvinen, K., Temmes, A. [2021] Towards low-carbon district heating: Investigating the socio-technical challenges of the urban energy transition. Smart Energy, Volume 4. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266695522100054X>

Rezaie, B. & M. A. Rosen [2012]. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements. Applied Energy. Vol. 93, May 2012, Pages 2-10. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.020>

Repo, A., Eyvindson, K. J., Halme, P., Mönkkönen, M. [2020]. Forest bioenergy harvesting changes carbon balance and risks biodiversity in boreal forest landscapes. Canadian Journal of Forest Research, 50(11), 1184-1193. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0284>

Rasi, S. [2022]. Vety osana kiertotaloutta. Blogi 9.2.2022. Luke. Saatavilla: <https://www.luke.fi/fi/blogit/vety-osana-kiertotaloutta>

Salo, S., Hast, A., Jokisalo, J., Kosonen, R., Syri, S., Hirvonen, J., Martin, K. [2019]. The Impact of Optimal Demand Response Control and Thermal Energy Storage on a District Heating System. Energies. 2019; 12(9):1678. <https://doi.org/10.3390/en12091678>

Seppälä, J., Heinonen, T., Kilpeläinen, A., Peltola, H., Pukkala, T., Sihvonen, M., Soimakallio, S., Weaver, S., Vesala, T., Ollikainen, M. 2022. Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt. Suomen ilmasto-paneelin raportti 3/2022. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2022/05/ilmastopaneelin-raportti-3-2022-metsat-ja-ilmasto-hakkuut-hiilinielut-ja-puun-kayton-korvaushyodyt.pdf>

Siponen, M [2022]. Vantaan Energia tekee savukaasuista liikennepolttoainetta Sähköpolttoainelaitoksessaan. Saatavilla: [Vantaan Energia tekee savukaasuista liikennepolttoainetta Sähköpolttoainelaitoksessaan | Vantaan Energia](https://www.vantaanenergia.fi/vantaan-energia-tekee-savukaasuista-liikennepolttoainetta-sahkopolttoainelaitoksessaan)

Sitra [2021]. Sähköistämisen rooli Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamisessa: Kustannustehokas polku kohti päästötöntä Suomea. Suom. toim. Landström, M., Tamminen, S., Koistinen, A., Peljo, J. Kirjoittajat: Roques, F., Le Thieis, Y., Aue, G., Spodniak, P., Pugliese, G. [Compass Lexecon], Cail, S., Peffen, A. [Enerdata], Honkapuro, S., Sihvonen, V. [LUT]. Sitra muistio. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/app/uploads/2021/09/sitra-sahkoistamisen-rooli-suomen-ilmastotavoitteiden-saavuttamisessa.pdf>

Sitra [2017]. Kaksisuuntaisen kaukolämmön liiketoimintamallit. Raportin tekijä: Pöyry Management Consulting Oy. Saatavilla: https://www.sitra.fi/app/uploads/2017/02/Kaksisuuntaisen_kaukolammon_liiketoimintamallit-2.pdf

Soimakallio, S. & Pihlainen, S [2023]. Metsänielujen kehityssuunnat vuosina 2021–2025 ja suhde EU-velvoitteisiin sekä ohjauskeinot nielujen vahvistamiseksi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 9/2023. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5570-3>

Sorknæs, P., Østergaard, P. A., Thellufsen, J.Z., Lund, H., Nielsen, S., Djørup, S., Sperling, K. [2020] The benefits of 4th generation district heating in a 100% renewable energy system. Energy, Vol. 213,2020, Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119030>.

- STUK [2023]. Ydinjätehuolto. Säteilyturvakeskus. Saatavilla: <https://stuk.fi/ydinjatehuolto>
- Suomen Tuulivoimayhdistys [2023]. Tuulivoima Suomessa 30.6.2023. Saatavilla: https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot_1_6_2023-1.pdf
- Suomen ilmastopaneeli [2023]. Suuntaviivoja Suomen ilmastotoimien tehostamiseen. Suomen ilmastopaneelin julkaisuja 1/2023. Saatavilla: <https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2023/02/ilmastopaneelin-julkaisuja-1-2023-suuntaviivoja-ilmastotoimien-tehostamiseen.pdf> [viitattu 20.4]
- Sweco [2021]. Vantaan Energia, Sweco ja Fira toteuttavat kestopuubiovoimalan allianssimallilla. Saatavilla: <https://www.sweco.fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/vantaan-energia-sweco-ja-fira-toteuttavat-kestopuubiovoimalan-allianssimallilla/>
- Södergren, G. [2022]. District heating with small modular reactors utilising an adaptive β -value. Uppsala Univesitet. Saatavilla: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1721958/FULLTEXT01.pdf>
- Tampereen Energia [2022]. Naistenlahti 3:n hyötysuhde paranee savukaasun lämmön lisätalteenotolla. Uutinen 21.12.2022. Saatavilla: <https://www.tampereenergia.fi/uutiset/naistenlahti-3n-hyotysuhde-paranee-savukaasun-lammon-lisatalteenotolla/>
- Tilastokeskus [2023]. Polttoaineluokitus / Bränsleklassificering / Fuel classification. Saatavilla: https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Tampereen kaupunki [2022]. Hiilineutraali Tampere 2030. Tiekartta. Saatavilla: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-10/hiilineutraali_tampere_2030_tiekartta-paivitys_2022.pdf
- Tapio [2023]. Metsänhoidon suositukset: Hakkuutähteen korjuu uudistushakkuualoilta. Saatavilla: <https://metsanhoidonsuosituksat.fi/fi/toimenpiteet/hakkuutahteen-korjuu-uudistushakkuualoilta/paatoksen-teko#section-924>
- Tilastokeskus [2022]. Kasvihuonekaasupäästöjen raportoinnissa alkaa uusi kausi. Katsaus 25.5.2022. Saatavilla: <https://stat.fi/julkaisu/cktlew2c03aln0a515eyjxe8>
- Tulkki, V., Pursiheimo, E., Lindroos, T. [2017]. District heat with Small Modular Reactors (SMR). VTT Publications. Saatavilla: <https://publications.vtt.fi/julkaisut/uu/2017/OA-District-heat-with-Small.pdf>
- Tulkki, V., Arnold, M., Leppänen, J., Soppela, O., Hyvärinen, J. [2022]. Ydinkaukolämpöselvitys. VTT. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/2023-01/VTT-CR-01059-22.pdf>
- Teräsvirta, A., Syri, S., Hiltunen, P. [2020] Small Nuclear Reactor–Nordic District Heating Case Study. Energies. 2020; 13(15):3782. <https://doi.org/10.3390/en13153782>
- Turun Seudun Jätehuolto, TSJ [2013]. Jätteen energiahyötykäytön ympäristövaikutusten arviointiselostus. Ramboll. Saatavilla: <https://projektit.ramboll.fi/YVA/TSJ/aineisto/TSJ-Selostus-15-2-2013.pdf>
- Turku Energia [2021]. Ensimmäinen Suomessa! Kaksisuuntainen matalalämpöverkko lämmittää taloja Skanssissa. Uutinen 01.09.202. Saatavilla: <https://www.turkuenergia.fi/valopilkku/lammitys-ja-jaahdytys/ensimmainen-suomessakaksisuuntainen-matalalampoverkko-lammittaa-taloja-skanssissa/>
- Työ ja elinkeinoministeriö, TEM [2022]. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Toim. Huttunen, R., Kuuva, P., Kinnunen, M., Lemström, B., Hirvonen, P. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2022:53. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ulvi, T., Tenhunen, J., Riekkinen, V., Pihlainen, S., Berger, M., Cederlöf, K. [2023]. Opas kunnan ilmastosuunnitelman valmisteluun. Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:17. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-398-0>

United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC (2015). Paris Agreement.
Saatavilla: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Vantaan Energia (2021). Sähkölaitteistoainelaitos.

Saatavilla: <https://www.vantaanenergia.fi/me/hiilinegatiivinen/power-to-gas-hanke/>

Vantaan Energia (2022). Lämmön kausivarasto -hankkeen yleisötulaisuudet. Saatavilla: <https://www.vantaanenergia.fi/me/hiilinegatiivinen/lammonkausivarasto/lammon-kausivarasto-hankkeen-yleisotulaisuudet/>

Vantaan kaupunki (2023). Ilmastotyö Vantaalla.

Saatavilla: <https://www.vantaa.fi/fi/asuminen-ja-ymparisto/ymparisto-ja-luonto/ilmastotyö-vantaalla>

Valtiovarainministeriö, VM (2023). Verokartoitus 2023. Valtiovarainministeriön julkaisu 2023:15.

Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-367-436-3>

Valtiovarainministeriö, VM (2022). Ilmastopolitiikan kehittämistarpeet Suomessa. Muistio 8.12.2022.

https://vm.fi/documents/10623/142666320/41_Ilmastopolitiikan+kehitt%C3%A4mistarpeet+Suomessa.pdf/e17f7459-9a57-4d8b-29de-e06cc822b00c/41_Ilmastopolitiikan+kehitt%C3%A4mistarpeet+Suomessa.pdf?t=1670421214096

Valtioneuvoston kanslia, VNK (2023). "IEA arvioi jälleen myönteisesti Suomen energiapolitiikkaa – haasteita silti riittää". Tiedote 5.5.2023. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/iea-arvioi-jalleen-myonteises-ti-suomen-energiapolitiikkaa-haasteita-silti-riittaa>

Valtioneuvoston kanslia, VNK (2022). Ydinvoiman tulevaisuus ja lain kokonaisuudistus seminaarin pohdittavana. Tiedote 28.1.2022. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/ydinvoiman-tulevaisuus-ja-lain-kokonaisuudistus-seminaarin-pohdittavana>

Valtioneuvoston kanslia, VNK (2022b). Kansallinen luonnon monimuotoisuusstrategia lausunnoille – luontokato pysäytettävä vuoteen 2030 mennessä. Tiedote 14.12.2022.

Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/kansallinen-luonnon-monimuotoisuusstrategia-lausunnoille-luontokato-pysaytettava-vuoteen-2030-mennessa>

Valtioneuvosto, VN (2023). Vahva ja välittävä Suomi. Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023.

Valtioneuvoston julkaisu 2023:58. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165042/Paa-ministeri-Petteri-Orpon-hallituksen-ohjelma-20062023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vento, M. (2016). Kaukolämmön kysyntäjoustopiilee suuri säästö. Uutinen 15.12.2016.

Saatavilla: <https://kuntatekniikka.fi/2016/12/15/kaukolammon-kysyntajoustopiilee-suuri-saasto/>

Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT (2023). Technical Steps Towards Circularity of Carbon-Containing Wastes. Saatavilla: https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2023/VTT_Waste_Vision_report_2023.pdf

Wan, C. & S. Dadi (2022). How thermal storage can help with the climate crisis. Bessemer Venture Partners.

<https://www.bvp.com/atlas/how-thermal-storage-can-help-with-the-climate-crisis#4-Cost>

Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. Energy,

Vol. 137, 2017, Pp. 617–631. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>.

World Nuclear Association, WNA (2023). Supply of uranium. Saatavilla: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>

Yle (2022). Tampereen Hiedanrantaan rakennetaan uudenlainen matalalämpöinen kaukolämpöverkko – muuttaa kaupunginosan lämmitysratkaisun kerralla hiilineutraaliksi. Uutinen 11.5.2022.

Saatavilla: <https://yle.fi/a/3-12360603>

Ympäristöministeriö, YM (2022d). Kansallinen luonnon monimuotoisuusstrategia lausunnoille – luontokato pysäytettävä vuoteen 2030 mennessä. Tiedote 14.12.2022. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/kansallinen-luonnon-monimuotoisuusstrategia-lausunnoille-luontokato-pysaytettava-vuoteen-2030-mennessa>

Ympäristöministeriö (2022a). Ilmastovuosikertomus 2022. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:24. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164392/YM_2022_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ympäristöministeriö (2023b). Kuntien ilmastosuunnitelmat. Saatavilla: <https://ym.fi/kuntien-ilmastosuunnitelmat>

Ympäristöministeriö (2022b). Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma Kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa 2035. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:12. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-262-4>

Ympäristöministeriö (2022c). EU:ssa sopu päästökaupan laajentamisesta ja vahvistamisesta. Saatavilla: <https://ym.fi/-/eu-ssa-sopu-paastokaupan-laajentamisesta-ja-vahvistamisesta>

Ympäristöministeriö, YM (2022e). Kierrätyksestä kiertotalouteen. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2027. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:13. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163978/YM_2022_13.pdf

Ympäristöministeriö, YM (2023a). Ilmastovuosikertomus 2023. Ympäristöministeriön julkaisuja 2023:27. Saatavilla: https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Kertomus/Documents/K_17+2023.pdf

Zickfeld, K., Azevedo, D., Mathesius, S., Damon Matthews, H. (2021). Asymmetry in the climate-carbon cycle response to positive and negative CO₂ emissions. *Nature Climate Change*. Volume 11, pages 613–617 (2021). Saatavilla: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01061-2>

7. Liitteet

Haastatellut

Vantaa

Matias Siponen [Vantaan Energia]

Juha Luomala [Vantaan Energia]

Jari Viinanen [Vantaan Kaupunki]

Tampere

Tuomas Vanhanen [Tampereen kaupunki/ väitöskirjatutkija Tampereen yliopisto]

Elina Seppänen [Tampereen kaupunki]

Jukka Joronen, Juko Vähätiitto, Pinja Salhoja [Tampereen Energia]

Kaikki puulajit			Kaikki puutavaralajit	Tukkipuu	Kuitupuu	Energiapuu
Kaikki puulajit			Kaikki puulajit	Kaikki puulajit		
2015	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	4943	1953	2090	901
2016	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5191	2158	2225	807
2017	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5303	2217	2143	943
2018	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5669	2364	2427	868
2019	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5400	2142	2261	998
2020	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5033	1987	1978	1068
2021	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5098	2527	2359	1023
2022	6 Pirkanmaa	Kaikki yhteensä	5938	2573	2168	1198

Taulukko 2. Pirkanmaan hakkuukertymän lisätiedot vuosilta 2015–2022. Lähde Luke 2022.

