

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

LUT School of Energy Systems

LUT Scientific and Expertise Publications

Tutkimusraportit – Research Reports

137

Mirika Knuutila, Helka Mustonen, Mikko Ropo, Anna Vuorio,
Petteri Laaksonen.

Hiilineutraali Yrityspuisto (CNBP) -hankkeen loppuraportti

 LUT
University

Tiivistelmä	3
Abstract	4
1. Hankkeen eteneminen	5
2. Hiilineutraalin yrityspuiston yleissuunnittelu	5
2.1 Hiilineutraalin yrityspuiston suunnittelun lähtökohdat	5
2.1.1 Hiilineutraalius ja sen rajaus	5
2.1.2 Hiilineutraalin energiajärjestelmän suunnittelun lähtökohdat	7
2.2 Hiilineutraalin yrityspuiston liiketoiminta	9
2.2.1 Yrityspuistoon sijoittuvat yritykset	9
2.2.2 Uudet liiketoimintamahdollisuudet hiilineutraalissa yrityspuistossa	10
2.2.3 Ympäristösertifiointi	11
2.3 Hiilineutraalin yrityspuiston energiajärjestelmä ja päästöt	12
2.3.1 Yrityspuiston energiankulutus- ja tuotanolaskenta	12
2.3.2 Yrityspuiston päästölaskenta ja sen tulokset	15
2.3.3 Yrityspuiston elinkaarikustannusoptimointi	20
2.3.4 Yrityspuiston työmatkaliikenne	22
3. Yleisohjeet hiilineutraalin yrityspuiston suunnitteluun	24
4. Johtopäätökset ja yhteenveto	26

Tiivistelmä

Tämä on EAKR-hankkeen ”Hiilineutraali Yrityspuisto (CNBP)” loppuraportti, jossa keskityimme raportoimaan LUT-Yliopiston hankkeessa tekemät laskelmat, tutkimus sekä tuotetut tulokset. LUT-Yliopisto toimi hankkeen osatoteuttajana, hankkeen päätoteuttajana toimi Mitra Management Oy ja toisena osatoteuttajana Imatran Rakennuttaja Mitra Oy. Hanke toteutettiin 14.10.2019-31.12.2021 välisenä aikana.

Hiilineutraali yrityspuisto on Imatralle rakennettava yrityskeskittymä. Puistolle on kaavoitettu 90 000 m²:ä yritystiloja Korvenkantaan, valtatie 6 välittömään läheisyyteen. Hiilineutraali yrityspuisto -konsepti pohjaa aikaisemmalle tutkimukselle, jonka perusteella vähäpäästöiset energiantuotantotavat tuottavat kiinteistön omistajille päästövähennysten lisäksi käyttökustannussäästöjä. Käyttökustannussäästöjen ja päästövähennysten lisäksi hiilineutraali yrityspuisto voi tuottaa yrityspuistoon sijoittuville yrityksille myös muita etuja, kuten imagoetuja.

Hiilineutraali yrityspuisto (CNBP) -hankkeen tavoitteena oli suunnitella yrityspuisto, jossa rakennusten energia tuotetaan pääosin uusiutuvia energialähteitä käyttäen ja pilotoida uudenlaista rakentamista. Hankkeen tuloksina saatiin seuraavat johtopäätökset:

- Hiilineutraaliuden taserajaus ei ole yrityspuiston tapauksessa itsestään selvä. Rajaus vaikuttaa muun muassa siihen, miten yrityspuiston hiilineutraalius määritellään ja kenen vastuulla on kompensoida välttämättömät päästöt. Yksi mahdollinen rajaus on, että yrityspuiston rakentajan/omistajan vastuulla olisi yritystilat ja niiden energiajärjestelmät sekä infrastruktuuri. Yrityspuistoon sijoittuvan yrityksen vastuulle jäisi tällöin yrityksen ydinliiketoiminnasta aiheutuvat päästöt sekä epäsuorat, kuten työmatka- ja logistiikkaliikenteestä aiheutuvat päästöt.
- Energiajärjestelmä, jossa minimoidaan kiinteistön elinkaaren aikaiset kustannukset ja päästöt, on mahdollinen toteuttaa ostamalla uusiutuvaa sähköä (esim. tuuli, vesi), tuottamalla lämpö lämpöpumpuilla tai vähäpäästöisellä kaukolämmöllä ja tuottamalla sähköä itse aurinkopaneeleilla.
- Kun energiajärjestelmä suunnitellaan mahdollisimman vähäpäästöiseksi, rakennusmateriaalit dominoivat elinkaarenaikaisia päästöjä, eli käytönaikaiset päästöt eivät enää ole määrävissä asemassa koko elinkaarenaikaisissa päästöissä. Eri rakennusmateriaalien päästöjen vertailu tulee entistä tarpeellisemmaksi.
- Yrityspuistoon sijoittumisen kannalta potentiaalisia yrityksiä ovat jo kestävyteen panostaneet ja vahvaan kestävyteen tähtäävät yritykset. Toisaalta yrityspuiston liiketoimintamallina voi myös olla tarjota pelkkien tilojen sijaan ns. valmista pakettia, johon kuuluisi myös yritysten ohjaaminen ja tukeminen kohti kestävämpää liiketoimintamallia. Tällöin myös sellaiset yritykset, joilla ei ole kyvykkyyksiä tavoitella vahvaa kestävyttä, ovat potentiaalisia yrityspuistoon sijoittujia.
- Yrityspuisto mahdollistaa sinne sijoittuville yrityksille käyttökustannus- ja päästöhyötyjen lisäksi muunlaisia etuja. Yrityksillä on mahdollisuus hyötyä yhteistyöstä: yritysten välille voidaan löytää yhteistyökohteita niin resurssien jaon (kuten tilat, osaaminen), yhteisten palveluiden (ruokala, jätehuolto), energiajärjestelmän (toisen ylijäämä hukkalämpö voidaan käyttää toisen yrityksen lämmityksessä) tai liiketoiminnan kautta (esimerkiksi kun yritykset toimivat saman tuotteen logistiikkaketjun peräkkäisissä vaiheissa).

Tässä raportissa on esitelty hankkeessa tehdyt laskelmat ja tutkimus sekä saadut tulokset ja johtopäätökset. Raportti antaa lähtökohdat Imatran yrityspuiston rakentamiselle ja suunnittelulle. Lisäksi raportin avulla ”hiilineutraali yrityspuisto” -konseptia voidaan käyttää myös muissa kuin Imatran yrityspuiston suunnittelussa.

Abstract

This report focuses on the results of the project “Carbon Neutral Business Park” carried out by LUT University. LUT University acted as an additional executor in the project as well as Imatran Rakennuttaja Mitra Oy, as the main executor was Mitra Management Oy. The project was executed during the timeframe 14.10.2019-31.12.2021.

Carbon Neutral Business Park is a business cluster which will be build in Imatra. In all, 90 000 m² has been allocated for the business premises in the Korvenkanta-area, near the road 6. The concept of the Carbon Neutral Business Park is based on previous studies, that showed that decreasing the emissions of an energy system in a building also reduces the operating costs. There are also other advantages that the carbon neutral business park could offer its tenants, such as image advantages.

The goals of the project were to plan a business park which uses mostly renewable energy and to pilot new kind of construction and planning of buildings. The conclusions of the project are presented below.

- Boundaries for the definition of carbon neutrality in the case of a business park are not obvious. The chosen boundaries affect how the carbon neutrality of the business park is defined and who has the responsibility to compensate the inevitable emissions. One possibility is that the owner of the business park is responsible for the premises, their energy systems, and the infrastructure. The company located in the business park would then be responsible for the emissions coming from their core business, as well as indirect emissions, such as transportation.
- An energy system for the business park where both the life cycle costs as well as the lifecycle emissions of the building are minimized, is possible when renewable electricity (such as wind or hydropower) is bought from the grid, the heating is executed by heat pumps or low-emission district heating, and some of the used electricity is produced in the area by solar photovoltaic panels.
- As the energy system is planned to produce as little emissions as possible, the building materials will dominate the emissions during the whole life cycle. Thus, the usage phase is no longer responsible for the most emissions in the life cycle. The importance of the emission comparison between different construction materials becomes more important.
- Companies who have already done actions to achieve strong sustainability are potential candidates to settle in the business park. On the other hand, if the business park offers not only business premises but the whole package of knowhow to introduce business models for sustainability into their tenant’s businesses, it is also suitable for those companies lacking the abilities to adopt business models for sustainability by themselves.
- The business park creates other kind of advantages for the companies located in the park in addition to reduced operating costs and low emissions, as the companies can benefit from collaboration. There can be many kinds of collaboration: sharing the resources (like premises and knowledge), using shared services (canteen, waste management), collaboration inside the energy system (waste heat utilization) and core business related collaboration (if the companies work with the same product in the same logistic line, for example).

In this report, we show the calculations and studies made as a part of the project as well as the results and conclusions of the project “Carbon Neutral Business Park”. In addition to giving framework for the construction of the business park in Imatra, this report enables using the concept of “Carbon Neutral Business Park” also in other locations.

1. Hankkeen eteneminen

”Hiilineutraali yrityspuisto (CNB)”-hankkeessa keskityimme hiilineutraalin yrityspuiston yleissuunnitteluun erityisesti energiajärjestelmien osalta, yrityspuistoon sijoittuvien yritysten kartoittamiseen ja kategorisoimiseen, sekä uusien liiketoimintainnovaatioiden keräämiseen.

Energiajärjestelmän yleissuunnittelu aloitettiin erityyppisten yritysten energiakulutusprofiilien määrittämisellä sekä yrityspuiston sähkö- sekä lämmönkulutuksen simuloimisella. Lisäksi kartoitettiin alueelle soveltuvat teknologiat. Kun arvio energiankulutuksesta oli selvillä, laskettiin arviot elinkaaren aikaisille päästöille erityyppisissä yritysraennuksissa ja eri energiajärjestelmillä. Laskennan perusteella valittiin tarkemmin tutkittavat energiajärjestelmäkombinaatiot. Energiajärjestelmäkombinaatioita verrattiin tämän jälkeen elinkaarikustannuslaskennassa. Kustannuslaskennalla energiajärjestelmien koot optimoitiin, ja optimoinnissa otettiin huomioon myös päästöt kompensatiokustannuksen muodossa. Näin saatiin selville paras energiajärjestelmäkombinaatio, joka minimoi sekä energian kustannukset että energiajärjestelmän ja -kulutuksen aiheuttamat päästöt. Tämän jälkeen tarkastelua laajennettiin, ja selvitettiin muun muassa työmatkaliikenteen päästöjen suuruusluokkaa sekä sähköautojen latausta.

Yrityspuistoon sijoittuvien yritysten tunnistamiseksi tuotettiin kyselytutkimus, johon saatiin vastaukset 161 suomalaiselta yritykseltä. Kyselytutkimuksen perusteella luotiin malli, jolla voidaan erotella vahvaan kestävytyteen ja heikkoon kestävytyteen tähtäävät yritykset yritysten ominaisuuksien perusteella. Lisäksi kyselytutkimuksen perusteella kategorisoitiin yrityksiä investointi- eli tulevaisuusorientoituneiksi ja kustannus- eli nykyisyysorientoituneiksi. Hankkeen aikana toteutettiin myös liiketoimintainnovaatio-workshop, jossa kerättiin ideoita uusista liiketoiminta- ja yhteistyömahdollisuuksista, joita hiilineutraali yrityspuisto mahdollistaa.

2. Hiilineutraalin yrityspuiston yleissuunnittelu

2.1 Hiilineutraalin yrityspuiston suunnittelun lähtökohdat

2.1.1 Hiilineutraalius ja sen rajaus

Suomessa hiilineutraaliutta on pitkään pidetty eri tahojen tavoitetilana ilmastonmuutoksen hillinnässä. Termistä on kuitenkin käytetty useampia määritelmiä, ja tästä johtuen hiilineutraalius tulisi aina jokaisessa asiayhteydessä erikseen määritellä. Yleisesti ottaen tilannetta, jossa tuote, palvelu, kunta tai maa saavuttaa nettonollapäästötilan, eli kun kasvihuonekaasupäästöt ovat yhtä suuret kuin poistumat, kutsutaan hiilineutraaliudeksi. Hiilineutraaliuden tavoittelussa on yleinen lähestymistapa, johon kuuluu kolme vaihtetta: 1) määritetään kasvihuonekaasupäästöt, 2) vähennetään kasvihuonekaasupäästöjä, ja 3) hyvitetään välttämättömät päästöt kompensoimalla, jotta saavutetaan hiilineutraalius.¹

Hiilineutraaliuden määritelmän lisäksi valitulla tarkastelurajapinnalla ja metodilla on vaikutus lopputulokseen. Jos tarkastelussa huomioidaan vain energiankulutus, yrityspuistoa voitaisiin pitää hiilineutraalina saavuttamalla hiilineutraali energiankulutus esimerkiksi ostamalla uusiutuvaa sähköä ja tuottamalla uusiutuvaa energiaa paikallisesti². Energiankulutuksen lisäksi yrityspuistossa päästöjä syntyy myös esimerkiksi rakennusten

¹ Seppälä, J., Saikku, L., Soimakallio, S., Lounasheimo, J., Regina, K. & Ollikainen, M. *Hiilineutraalius ilmastopolitiikassa – valtiot, alueet ja kunnat*. The Finnish Climate Change Panel, Report 5a/2019. Saatavilla: https://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2019/09/Hiilineutraalius_ilmastopaneeli_2019_FINAL.pdf

² Timmerman, J., Deckmyn, C., Vandeveld, L. & Van Eetvelde, G. 2014. *Low carbon business park manual: a guide for developing and managing energy efficient and low carbon businesses and business parks*. ISBN: 9789082233001

rakentamisesta ja liikenteestä. Toisaalta, vaikka yrityspuiston alueella syntyy päästöjä useista eri lähteistä, ei niiden kaikkien sisällyttäminen rajaukseen välttämättä ole mahdollista. Lisäksi hiilineutraaliuden tavoittelun vastuunjako eri tahojen (yrityspuisto, rakennusten omistajat, yrityspuistossa toimivat yritykset jne.) kesken on tärkeää, sillä se määrittää, kenen vastuulla on kompensoida rajauksen puitteissa aiheutuneet päästöt.

Vaikka päästöjen kompensatio on osa hiilineutraaliuden tavoittelua, sen luotettavuus riippuu kompensatiopalvelun tarjoajan luotettavuudesta. Vapaaehtoiset kompensatiomarkkinat ovat suurelta osin sääntelemättömät, ja saavutettua ilmastovaikutusta voi olla haastavaa todentaa³. Tästä syystä onkin suositeltavampaa priorisoida paikallisia päästövähennyksiä, kuten paikallisen uusiutuvan energian tuotantoa, sillä se nähdään tehokkaampana ja luotettavampana päästövähennyskeinona². Toisaalta nollapäästön saavuttaminen on huomattu vaikeaksi uusiutuvan energian hyödyntämisen kautta, kun tarkastellaan rakennuksen elinkaarenaikaisia päästöjä, huomioiden myös materiaalipäästöt⁴.

Päästövähennysyksiköitä, joita käytetään vapaaehtoiseen kompensatioon, tuotetaan maailmanlaajuisesti hankkeissa, jotka vähentävät päästöjä tai lisäävät hiilinielua standardeja noudattaen⁵. Vapaaehtoisen päästökompensaation hinta riippuu hankkeiden sijainnista, tyypistä sekä käytetystä kolmannen osapuolen sertifiointista, ja yhden hiilidioksiditonin kompensoinnin hinta vaihtelee 0,40–40 € kansainvälisillä markkinoilla³. Useimmiten käytetyt standardit vapaaehtoiseen päästöjen kompensatioon ovat Verified Carbon Standard (VCS), Gold Standard ja Clean Development Mechanism (CDM)⁶. Suomessa kansainvälisten standardien mukaisesti tuotettujen päästövähennysyksiköiden lisäksi markkinoilla on paikallisia kompensatiovaihtoehtoja, kuten kotimaisia metsähankkeita, soiden ennallistamista sekä teknologista hiilensidontaa, jotka voivat olla keskimääräistä kalliimpia⁷. Kompensaation hyödyntämistä osana hiilineutraaliuden tavoittelua tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 2.3.2. Yrityspuiston päästölaskenta ja sen tulokset.

Hiilineutraaliuden tavoittelussa ei ole kyse vain päästöjen vähentämisestä. Se on myös lupaus tulla ilmastoystävällisemmäksi ja parantaa jatkuvasti toimintaansa ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Erilaiset tulkinnot hiilineutraaliuden tavoittelulle ovat syntyneet, kun yleisiä sääntöjä ei ole vielä ollut. Vaikka on olemassa kansainvälisiä standardeja kasvihuonekaasupäästöjen laskennalle, hiilineutraaliudesta viestitään eri tavoin. Läpinäkyvyys, rehellisyys ja avoimuus ovat hiilineutraaliuden perusta. Koska ilmastotavoitteiden lisäksi hiilineutraaliudella usein saavutetaan myös positiivista maine-etua, voisi sitä mitata myös lisäarvon tuottamisen suhteen.⁸

³ Shea, R.P., Worsham, M.O., Chiasson, A.D., Kissock, J.K. & McCall, B.J. *A life cycle cost analysis of transitioning to a fully electrified, renewably powered, and carbon-neutral campus at the University of Dayton*. Sustainable Energy Technologies and Assessments 37 (2020)

100576. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100576>

⁴ Moschetti, R., Brattebø, H. & Sparrevik, M. *Exploring the pathway from zero-energy to zero-emission building solutions: A case study of a Norwegian office building*. Energy & Buildings 188–189 (2019) 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.047>

⁵ Ympäristöministeriö. *Päästökompensatiot ilmastomuutoksen hillimän keinona Suomessa – nyt ja tulevaisuudessa*. Publications of the Ministry of the Environment 2021:12. ISBN: 978-952-361-233-4

⁶ Sitra. *Onko päästöjen kompensointi rahastusta?* 2020. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/blogit/onko-paastojen-kompensointi-rahastusta/>

⁷ Finnwatch. *Anekauppaa vai ilmastotekoja? Vapaaehtoisen päästökompensaation kysyntä, tarjonta ja laatu Suomessa*. 2021. Saatavilla: https://finnwatch.org/images/reports_pdf/Anekauppaa_vai_ilmastotekoja.pdf

⁸ Alhola, K., Judl, J., Norris, G., Seppälä, J. *Carbon Game is On! Companies on the move to be carbon neutral*. Suomen ympäristökeskus 06/2015. Saatavilla: https://media.sitra.fi/julkaisut/Muut/Carbon_game_is_on.pdf

2.1.2 Hiilineutraalin energiajärjestelmän suunnittelun lähtökohdat

Perinteisissä rakennuksissa energiankulutus aiheuttaa suurimman osan rakennuksen päästöistä ja tämä korostuu erityisesti energiaintensiivisten teollisuusyritysten toiminnassa. Energiankulutuksen päästöjen vähentäminen on siten ensimmäinen askel kohti hiilineutraalia yritystoimintaa. Yrityspuiston energiankulutuksen päästöjen vähentämiseen voidaan hyödyntää Trias Energetica –periaatetta, joka jakautuu kolmeen vaiheeseen:

- 1) pienennetään energiankulutusta,
- 2) maksimoidaan uusiutuvan energian käyttö, ja
- 3) käytetään mahdollisimman vähäpäästöistä energiaa jäljelle jäävän energiatarpeen täyttämiseen.

Energiankulutuksen pienentämiseksi tehtäviä toimenpiteitä voidaan toteuttaa kolmella eri tasolla: yksittäisen yrityksen tasolla, useammasta yrityksestä koostuvan yritysryhmittymän tasolla, ja koko yrityspuiston tasolla.²

2.1.2.1 Energiankulutuksen pienentäminen

Yksittäisen yrityksen tasolla energiankulutusta voidaan vähentää parantamalla rakennuksen ja prosessien energiatehokkuutta ja hyödyntämällä hukka- ja prosessilämpöä. Yrityksen toiminnan energiatehokkuutta voidaan parantaa valitsemalla energiatehokkaita prosesseja ja laitteita ja optimoimalla niiden toiminta. Yrityskohtaisen energiankulutusprofiilin laatiminen mahdollistaa yrityksen eri toimintojen energiankulutuksen tarkastelun, mikä auttaa energiatehokkuusparannuksia vaativien prosessien ja toimintojen tunnistamisessa. Energiankulutusprofiili sisältää eri energialähteiden vuosikulutuksen tiettyä toimintoa kohti, energiankulutuksen aikaprofiilit ja prosesseissa vaadittavat lämpötilatasot, mikäli yritys käyttää lämpöä hyödyntäviä prosesseja.²

Prosessien ja laitteiden lisäksi myös rakennus, jossa yritys toimii vaikuttaa merkittävästi yrityksen kokonaisenergiankulutukseen. Rakennuksen lämmitystarvetta voidaan pienentää niin sanotuilla passiivisilla ratkaisuilla merkittävästi. Passiivisista ratkaisuista yleisin on lämpöeristyksen lisääminen, mutta lisäksi rakennuksen muoto, mittasuhteet, sijoittelu ja suuntaus vaikuttavat merkittävästi rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen. Ikkunoiden pinta-ala ja suuntaus vaikuttavat niin ikään merkittävästi rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen, sillä ikkunat johtavat lämpöä muita rakenteita paremmin ja päästävät rakennusta lämmittävää auringon valoa sisään rakennukseen.² Mikäli auringonvalo lämmittää rakennusta liiaksi, voidaan jäähdytystarvetta pienentää merkittävästi aurinkosuojauksella.⁹

Passiivisten ratkaisujen lisäksi rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa energiankulutuksen osalta valitsemalla energiatehokkaita teknologioita ja järjestelmiä. Varsinkin ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottojärjestelmällä voidaan tuottaa merkittäviä hyötyjä energiatehokkuuteen edullisesti¹⁰. Lisäksi valaistuksen toteuttaminen energiatehokkailla valaisimilla kuten LED-valoilla pienentää valaistuksen sähkönkulutusta ja valaistuksen aiheuttamaa lämpökuormaa. Lämpökuormien pienentäminen on tärkeää varsinkin uusissa rakennuksissa, koska niissä jäähdytystarve on usein korkeampi kuin vanhoissa rakennuksissa paremman eristyksen vuoksi.⁹ Lisäksi teknisten järjestelmien älykkäällä ohjauksella voidaan optimoida järjestelmien toiminta esimerkiksi pienentämällä ja lisäämällä ilmanvaihtoa ja valaistusta tarpeen mukaan.¹¹

⁹ Airaksinen et. al., 2015 Rakennusten Jäähdytysmarkkinat. VTT. VTT-CR06168-15

¹⁰ Knuutila, M., Kosonen, A., Jaatinen-Värri, A. & Laaksonen, P., 2021. *Profitability Comparison of Active and Passive Energy Efficiency Improvements in Public Buildings*. Julkaisematon artikkeli

¹¹ Verbeke et al., 2020 Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings - Summary. EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Energy, Directorate C -Renewables, Research and Innovation, Energy Efficiency, Unit C4 –Energy Efficiency: Buildings and Products. Luxembourg: Publications Office of the European Union ISBN 978-92-76-19978-6, <https://doi.org/10.2833/600706>

2.1.2.2 Uusiutuvan energian tuotanto

Hiilineutraalissa yrityspuistossa pyritään maksimoimaan uusiutuvien energioiden käyttö niiden vähäpäästöisyyden vuoksi. Yleisimpiä uusiutuvia energianlähteitä ovat tuuli, aurinko, maalämpö, ympäristön lämpö ja biomassa. Uusiutuvaa energiaa voidaan tuottaa yrityspuistossa paikallisesti tai sitä voidaan ostaa verkosta alkuperätakuista vastaan, mutta useissa tutkimuksissa on havaittu, että näiden yhdistelmä on usein taloudellisesti kannattavin vaihtoehto.^{3,12,13}

Paikalliseen uusiutuvan energian tuotantoon soveltuvia teknologioita ovat tuulivoimalat, aurinkosähköpaneelit, aurinkolämpökeräimet, maalämpöjärjestelmät ja biopolttolaitokset. Lämmitykseen käytetyn energian määrää voidaan leikata huomattavasti hyödyntämällä lämpöpumppuja, joilla sähköenergiaa saadaan muutettua lämmöksi käyttämällä hyödyksi lämpöä maaperästä, ulkoilmasta tai rakennuksen poistoilmasta. Tuulivoimalat ja biopolttolaitokset ovat teholuokaltaan usein suurempia, joten ne eivät välttämättä sovellu pienempiin yrityspuistohankkeisiin. Ilma-, poistoilma- ja maalämpöpumput sekä aurinkoenergiantuotannon teknologiat ovat sen sijaan hyvin skaalautuvia eikä niiden kannattavuus riipu juurikaan alueen kokonaistehontarpeesta.² Maalämmön hyödyntämistä varten on kuitenkin aina selvítettävä yrityspuistoalueen maaperän soveltuvuus sekä alueelle kohdistuvat lupakysymykset, sillä maalämpökaivoja ei usein saa porata esimerkiksi tietyille pohjavesialueille.

Oman energiantuotannon lisäksi yrityspuisto tarvitsee useimmiten energiaa myös verkosta. Uusiutuvaa sähköä voidaan ostaa alueelle alkuperätakuilla ja PPA-sopimuksella. PPA-sopimuksessa yrityspuisto tekee sopimuksen uusiutuvan sähkön tuottajan kanssa, joka sitoutuu tuottamaan yrityspuiston kulutusta vastaavan määrän sähköenergiaa.¹⁴ Myös uusiutuvaa lämpöä voidaan ostaa kaukolämpöverkosta, mikäli kaukolämpöverkko valmistaa lämpönsä biomassasta tai muista uusiutuvista energianlähteistä. Mikäli uusiutuvaa kaukolämpöä ei ole saatavilla, voidaan uusiutuvaa lämpöä tuottaa alueella paikallisesti lämpöpumppujärjestelmällä hyödyntäen uusiutuvaa sähköä.

2.1.2.3 Mikroverkot

Yrityspuistossa yksittäisen yrityksen ja rakennuksen energiankulutuksen minimoimisen lisäksi energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa myös yritysryhmittymien tasolla. Yritysten energiankäyttöä voidaan tehostaa yhdistämällä eri yritysten toimitiloja ja prosesseja ja hyödyntämällä prosessien hukkalämpöä eri toimijoiden kesken. Yritysryhmittymässä eri toimijat voidaan liittää keskenään mikroverkkoon, joka mahdollistaa lämmön ja sähkön siirron, oston ja myynnin yritysten välillä. Yritykset tulisi ryhmitellä ja sijoitella yrityspuiston alueella energiankulutusprofiiliensa mukaan siten, että ne hyötyvät toistensa energiatarpeista ja ylijäämästä mahdollisimman tehokkaasti. Yritysten välinen mikroverkko voidaan pienempien ryhmittymien sijaan toteuttaa myös koko yrityspuiston tasolla.²

¹² Jin, T., Shi, T. & Park, T. *The quest for carbon-neutral industrial operations: renewable power purchase versus distributed generation*. International Journal of Production Research 56:17 (2018) 5723-5735. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394593>

¹³ Wiryadinata, S., Morejohn, J. & Kornbluth, K. *Pathways to carbon neutral energy systems at the University of California, Davis*. Renewable Energy 130 (2019) 853-866. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.100>

¹⁴ Suomen tuulivoimayhdistys 2019. Power purchase agreements – Pitkäaikaiset sähkönostosopimukset Informaatiomateriaali. Suomen tuulivoimayhdistys ry. Saatavilla: https://www.tuulivoimayhdistys.fi/media/sty_ppa_materiaalipaketti_final_20180211.pdf

Tärkeä mikroverkon ja energiayhteisön hyötyjen mahdollistaja yrityspuistossa on kaavoitus ja omistussuhteet. Jos alue on kaavoitettu yhdeksi tontiksi ja yrityspuistoon sijoittuvat yritykset ovat vuokralla, voidaan sähköä jakaa rakennusten kesken ilman, että tonttien välisestä siirrosta tarvitsee maksaa siirtomaksua. Jos jokainen rakennus on omalla tontillaan ja tontit sijoittuvien yrityksen omistamia, on energiayhteisöhyötyjen saavuttaminen vaikeampaa.

Energian varastoinnilla voidaan tasata vaihtelevaa uusiutuvan energian tuotantoa tai esimerkiksi varastoida kesän jäädytyksessä rakennuksesta poistettua lämpöä talven lämmitystarvetta varten. Varastointi parantaa yrityspuiston energiaomavaraisuutta, kun alueen omaa uusiutuvan energian tuotantoa saadaan hyödynnettyä tehokkaammin. Energiavarastoinnin tehokkuutta voidaan parantaa ja kustannuksia pienentää toteuttamalla energianvarastointi keskitetysti osana mikroverkkoa. Mikroverkko mahdollistaa energian siirtämisen ja varastoinnin lisäksi myös keskitetyn uusiutuvan energian tuotannon, mikä voi laskea uusiutuvan energiantuotannon investointikustannuksia huomattavasti. Mikäli varastointikapasiteettia on tarpeeksi, alueen mikroverkko voidaan suunnitella myös toimimaan saarekkeena ympäröivän verkon ulkopuolella, mikä mahdollistaa ulkopuolisen verkon tilasta riippumattoman toiminnan.²

Yrityspuiston mikroverkko tarjoaa muiden hyötyjensä lisäksi myös mahdollisuuden ohjata alueen energiankulutusta ja tuotantoa yhtenä kokonaisuutena. Energiaa kuluttavia ja varastoivia prosesseja sekä alueen omaa energiantuotantoa voidaan ohjata ja hyödyntää osana kulutusjoustoja. Kulutusjousto mahdollistaa uusiutuvien energian tuotannon hyödyntämisen maksimoinnin ja voi lisäksi tuottaa lisäsäästöjä, jos kulutusta ohjataan optimoidusti verkon energian hinnoista riippuen. Keskitetty energianhallintajärjestelmä helpottaa myös yrityspuiston energiataseen ja päästötaseen seuraamista ja optimoimista.¹¹

2.1.2.4 Energiajärjestelmän suunnittelun lähtötiedot

Yrityspuiston energiajärjestelmä on moniosainen kokonaisuus ja sen suunnitteluun tarvitaan paljon erilaisia lähtötietoja. Yritysten osalta tarvitaan yrityksen energiankulutusprofiili, joka voidaan laatia yritykselle sen pyrkimässä yrityspuistoon, mikäli sellaista ei ole vielä olemassa. Tuntitason mitatut energiankulutustiedot tai suuntaava antava mallinnus on tarpeellinen, mikäli halutaan optimoida vaihtelevaa uusiutuvan energian tuotantoa kuten aurinkosähköä. Lisäksi rakennusten lämmitys- ja jäädytystarpeiden laskentaa varten tarvitaan tiedot alueen lämpötilasta vähintään kuukausitasolla.²

Kohteeseen soveltuvat uusiutuvan energian tuotantotapojen päästöt ja energiantuotantopotentiaalit tulee kertoittaa tarkasti. Maalämmön tarkastelua varten tulee selvittää alueen lainsäädäntö ja vaadittavat luvat liittyen maalämpökaivoihin sekä alueen maaperän soveltuvuus, kallion etäisyys maanpinnasta ja lämmönsiirto-ominaisuudet. Aurinkosähkön ja -lämmön tuotannon suunnittelussa tarvitaan tiedot auringon säteilyenergiasta tuntitasolla. Paikallisten sähkö- ja kaukolämpöverkkotoimijoiden kanssa tulee sopia mahdollisuuksista myydä ylimääräenergia verkkoon, ja verkosta ostettavan energian päästöt tulee selvittää.²

2.2 Hiilineutraalin yrityspuiston liiketoiminta

2.2.1 Yrityspuistoon sijoittuvat yritykset

Koska yrityspuistoon sijoittuvat yritykset eivät vielä hankkeen aikana olleet selvillä, myös potentiaalisten sijoittujayritysten tunnistaminen oli hankkeessa mielenkiinnonkohteena. Yritysten tunnistamiseksi toteutimme hankkeessa kyselytutkimuksen, joka lähetettiin 3 221 suomalaiselle yritykselle. Yritykset valittiin kaavoituk-

nessa yrityspuistoon soveltuviin toimialojen perusteella, ja näitä toimialoja ovat teollinen tuotanto, tukku-kauppa (pois lukien elintarvikkeet), varastointi ja muut logistiikkaan liittyvät toimialat sekä lähettitoiminta. Verkkokyselylomake lähetettiin sähköpostilla, ja yhteensä vastauksia saatiin lopulta muistutusviestien ja puhelukierroksen jälkeen 161 kappaletta. Vastausten vähyttä selittää koronapandemian yrityksille aiheuttamat haasteet.

Kyselytutkimuksen perusteella tuotettiin taksonomia yritysten kestävyiden omaksumisesta. Taksonomiassa tunnistettiin yritystyyppit, jotka ovat ottamassa tai jo ottaneet käyttöön kestäviä liiketoimintamalleja ja yritystyyppit, jotka eivät. Arkkityypeiksi tunnistettiin 3 ryhmää, kestävyiden kehittäjät, sidosryhmien arvostajat ja kestävyyskuhnaailijat. Kestävyiden kehittäjät ovat yrityksiä, jotka suuntaavat vahvaan kestävyteen ja ovat yleensä jo tehneet kestävyteen liittyviä toimenpiteitä. Tähän ryhmään kuului sekä pieniä valmistavia yrityksiä, joilla kestävyys oli liiketoiminnan keskiössä, sekä pieniä tuoteisiin ja palveluihin orientoituneita yrityksiä, joissa on kestävyysorientoitunut johtaja. Sidosryhmien arvostajat ovat palveluihin keskittyneitä yrityksiä, jotka keskittyvät laajempaan sidosryhmään ja ovat jo tätä kautta investoineet kestävyteen. Nämä yritykset keskittyvät kestävyteen kasvun sijaan, ja yrityksissä saattaa olla kestävyttä arvostava johtaja. Kestävyyskuhnaailijat tähtäävät heikkoon kestävyteen, eikä heillä ole juurikaan vihreitä kyvykkyyksiä. Vaikka tällaisella yrityksellä olisi kestävyysorientoitunut johtaja, ei tämä korvaa yritykseltä puuttuvia kyvykkyyksiä. Tähän ryhmään kuului erikokoisia valmistavan teollisuuden yrityksiä, kuten kykenemättömät kestävyiden kannattajat, liiketoimintaan keskittyvät sekä kasvuun keskittyvät.

Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että vahvaa kestävyttä tavoittelevat yritykset ovat potentiaalisimpia investoimaan kestävyteen ja täten myös muuttamaan yrityspuistoon. Nämä yritykset voidaan tunnistaa siitä, että ne ovat jo tehneet panostuksia kestävyteen, niillä on kestävyttä arvostava johtaja, ja niillä on taitoja tunnistaa ja hyödyntää kestäviä mahdollisuuksia. Toisaalta yrityspuiston liiketoiminta voi myös koostua tilojen lisäksi kestävyysosaamisen jakamisesta yrityspuiston asiakkaille. Tällöin myös kestävyyskuhnaailijat voivat olla potentiaalisia yrityspuistoon muuttajia.

Lisäksi kyselytutkimuksella selvitettiin yritysten maksuvalmiuden ja kestävydestä koetun lisäarvon avulla yritysten orientaatiota: ovatko yritykset orientoituneita nykyhetkeen vai tulevaisuuteen, ja näkevätkö yritykset kiinteistöjen energiatehokkuuden kustannuksena vai investointina? Hankkeen päättyessä tämä tutkimus on vielä kesken.

2.2.2 Uudet liiketoimintamahdollisuudet hiilineutraalissa yrityspuistossa

Yrityspuisto tarjoaa myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia niin yrityspuistoon sijoituville yrityksille kuin myös esimerkiksi energijärjestelmän ja muiden palveluiden tarjoajille. Hankkeessa toteutetun innovaatio-workshopin päätulokset uusista liiketoiminta- ja yhteistyömahdollisuuksista voidaan jakaa teemoittain: osaamiseen ja pilotointiin liittyvä liiketoiminta, energijärjestelmään ja sen palveluihin liittyvä liiketoiminta, sekä kiinteistöjen omistamiseen liittyvä liiketoiminta.

Osaamiseen, pilotointiin ja resurssien jakamiseen liittyvä liiketoiminta pohjautuisi alueen yritysten vahvaan verkostoitumiseen. Yrityspuistoon on mahdollista ottaa yrityksiä, jotka työskentelevät saman tuotteen tuotantoketjun eri vaiheissa. Myös yrityksistä, jotka eivät ole samalla alalla, voi olla hyötyä toisilleen resurssien jaon myötä, ja alue voisi tarjota yrityksille yhteiset palvelut, kuten ruokalan, jätehuollon, siivouksen ja niin edelleen. Yrityspuistoa voitaisiin käyttää myös erilaisten teknologia- ja yhteistyöratkaisujen demoalustana. Yhteistyöhalukkuus ja resurssien jako on konkretisoitunut jo hankkeen aikana rakennetussa ensimmäisessä yrityspuiston rakennuksessa: yrityksen tarvitsemat koulutus- ja neuvottelutilat on erotettu lukitusjärjestelmällisesti yrityksen muista tiloista, jolloin yrityspuiston muutkin yritykset voivat sovittaessa käyttää näitä tiloja silloin, kun kyseinen yritys ei tarvitse niitä omaan toimintaansa.

Yrityspuistoa voisi markkinoida myös osaamisalustana ja liiketiloja palveluna. Yritykset, jotka eivät ole varmoja, mitä heidän tulisi tehdä vastatakseen kestävyiden haasteisiin, voisivat hiilineutraalin yritystilan lisäksi saada tukea ja mallia siihen, miten kestävyiden voi integroida yrityksen päivittäiseen toimintaan. Business premises as a service -ajatuksella yritykset eivät saisi yrityspuistosta vain kestäviä toimitiloja vaan myös oppeja liiketoiminnan viemiseksi kestävämpään suuntaan.

Energiajärjestelmään liittyvä liiketoiminta lähtee jo energiajärjestelmän suunnittelusta. Workshopissa tunnistettiin haaste, jossa jokainen palveluntarjoaja haluaa oman järjestelmänsä yrityspuistoon, ja ristiriidaksi muodostuu järjestelmän optimointi. Hankkeessa tuotetaan yleissuunnittelun tasolla ohjeistus yrityspuiston energiajärjestelmän suunnitteluun, mutta käytännössä tarvitaan myös osaava ja puolueeton suunnittelutoimisto mitoitamaan ja kehittämään yrityspuistoon hiilineutraali ja optimaalisesti toimiva energiajärjestelmä. Kun lämmitys sähköistyy ja järjestelmään tulee useita muitakin uusia osia, kuten aurinkopaneelit ja sähköautojen lataus, on kokonaisuuden hallinta entistä tärkeämpää. Myös datan keruu ja datalla ohjaaminen tulee kyseeseen yrityspuistossa, kun optimoidaan useamman rakennuksen kokonaisuutta.

Kiinteistöjen omistamiseen liittyvään liiketoimintaan kuuluu muun muassa rahoitus, joka voitaisiin toteuttaa sekä kiinteistöjen että energiajärjestelmän osalta ulkopuolisilla sijoittajilla ja leasing-ajatuksella. Myös business premises as a service -malli liittyy kiinteistöjen rakennuttajan ja omistajan liiketoimintaan, ja vaatii resurssija yrityspuiston ylläpitäjältä.

2.2.3 Ympäristösertifiointi

Yrityspuiston omistajan on halutessaan mahdollista hakea yrityspuiston rakennuksille ympäristösertifikaattia. Ympäristösertifiointijärjestelmien avulla kiinteistöjen ympäristötehokkuutta voidaan mitata, todentaa ja vertailla. Saavutetulla ympäristösertifikaatilla on helppo viestiä rakennuksen omistajan vastuullisuudesta ja ympäristömyönteisyydestä.¹⁵ Positiivisen maine-edun lisäksi sertifiointiprosessi auttaa varmistamaan terveet ja tuottavat tilat¹⁶. Sertifioituilla kiinteistöillä on usein myös korkeampi markkina-arvo, esimerkiksi Suomessa ympäristösertifioituilla toimistoilla oli 4,1 %:a korkeampi vuokrataso ja ilman rakennusten yleisen laatuluokituksen kontrollointia vuokrataso oli jopa 12,8 %:a korkeampi¹⁷.

Hiilineutraali yrityspuisto -hankkeessa on keskitytty tarkastelemaan rakennusten energiajärjestelmiä sekä niiden kustannus- ja päästövaikutuksia. Rakennusten ympäristösertifiointijärjestelmät arvioivat ja varmistavat rakennusten ominaisuuksia kattavasti monesta eri näkökulmasta. Esimerkiksi LEED-, BREEAM-, RTS- ja Joutsenmerkki- järjestelmien painopistealueisiin kuuluu energian lisäksi ympäristö, sijainti, materiaalit, sisäilmasto sekä työmaan hallinta¹⁵. Hankkeessa tiedusteltiin yrityspuistoon tulevilta yrityksiltä preferenssiä rakennuksille haettavista sertifikaateista, mutta vastauksen perusteella haettavalla sertifikaatilla ei ole väliä, vaan ympäristösertifikaatin hakeminen rakennukselle ylipäättään tukee rakennuksessa toimivan yrityksen omaa ympäristöjärjestelmää.

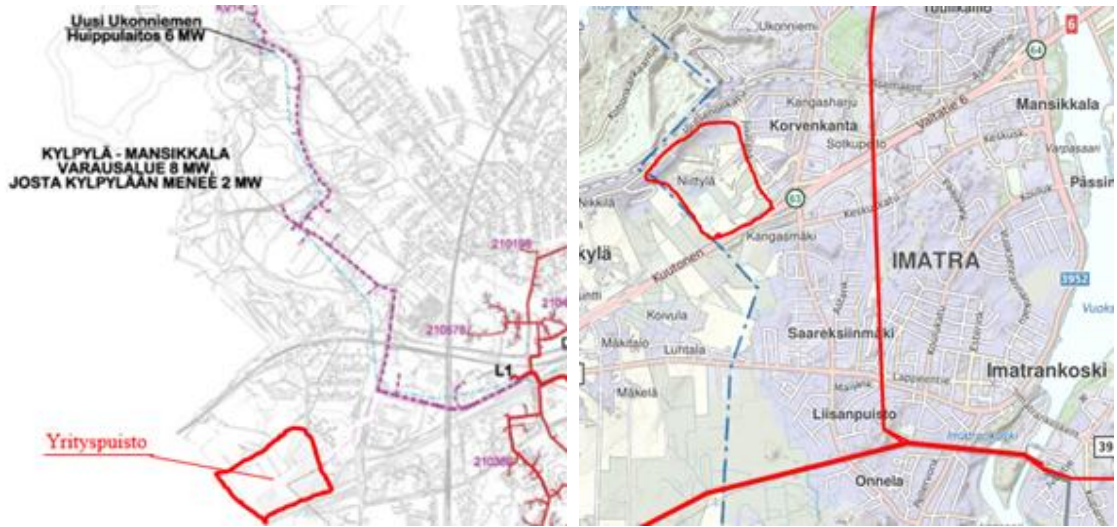
¹⁵ Green Building Council Finland. *Rakennushankkeiden ympäristöluokitukset Suomessa*. 2018. Saatavilla: https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2018/11/Rakennushankkeiden_ymp%C3%A4rist%C3%B6luokitukset-Suomessa.pdf

¹⁶ Zhang, L., Wu, J., Liu, H. *Turning green into gold: A review on the economics of green buildings*. Journal of Cleaner Production 172 (2018) 2234-2245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.188>

¹⁷ Huhtinen, H. *Ympäristösertifikaatin vaikutus toimistojen vuokratasoon*. Diplomityö. Aalto yliopisto, Real Estate Economics 2019. Saatavilla: https://aaltoDoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/41760/master_Huhtinen_Helena_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

2.3 Hiilineutraalin yrityspuiston energiajärjestelmä ja päästöt

Hiilineutraali yrityspuisto on kaavoitettu Imatran Korvenkantaan ja alueelle on myönnetty 90 000 kerrosneliometriä teollisuusrakennuksille ja niihin liittyville myymälä- varastotiloille. Energiantuotantoa varten selvitetiin, että alueelle saa porata maalämpökaivoja sillä se ei sijaitse pohjavesialueella. Maaperän todettiin myös olevan otollinen lämpökaivoja ja mahdollisia lämpövarastoja varten. Imatran alueella toimii lisäksi Imatran Lämpö Oy:n omistama kaukolämpöverkko ja valtakunnallinen 110 kV:n kantaverkko, Kuva 1. Imatran Lämpö Oy tuottaa muihin suomalaisiin toimijoihin verrattuna hyvin vähäpäästöistä kaukolämpöä.



Kuva 1. Imatran lämmön kaukolämpöverkko (vasemmalla) ja 110 kV:n kantaverkko (oikealla).

2.3.1 Yrityspuiston energiantuotanto- ja tuotantolaskenta

Hiilineutraalin yrityspuiston energiantarve- ja tuotantomitoitukseen liittyen tarkasteltiin rakennusten energiantuotantoa ja omaa energiantuotantoa, sekä eri energiajärjestelmävaihtoehtojen vaikutusta elinkaarikustannuksiin ja rakennusten päästöihin. Koska yrityspuiston suunnittelu on vielä kesken ja yrityspuistoissa voi olla erilaisia yrityksiä, tarkastelun toteuttamista varten luotiin neljä erilaista rakennustyyppiprofiilia. Kattavan yleiskuvan saavuttamiseksi rakennustyyppiprofiilit luotiin teollisuushallille, toimistorakennukselle, varastorakennukselle sekä liiketilalle. Taulukossa 1 on esitelty tutkittujen rakennustyyppiprofiilien rakenteelliset ominaisuudet.

Taulukko 1. Rakennustyyppiprofiilien rakenteelliset ominaisuudet.

Rakennustyyppi	Kerrosala [m ²]	Kerroskorkeus [m ²]	Kerrostien lukumäärä
Toimisto	1000	4,5	2
Liiketila	1000	7	1
Teollisuushalli	5000	9	1
Varasto	3000	7	1

Tutkituille rakennustyypeille oletetaan rakennusmateriaaleja perustuksen ja pohjarakenteen sekä rakenteen ja vaipan suhteen. Hiilineutraali yrityspuisto -hankkeessa aiemmin tehdyn Rambollin tyyppihallin materiaaliselvityksen kustannus- ja päästötarkastelun perusteella teollisuushallin oletetaan olevan teräsrunkoinen, jotta se kestää teollisuuden prosessien asettamia vaatimuksia. Muissa rakennustyypeissä oletetaan olevan betonirunko

ja kaikissa rakennustyypeissä puukatto. U-arvot rakenteille saatiin suunnittelutoimiston hankkeelle aikaisemmin toteuttamista selvityksistä ja piirustuksista ja ne on esitetty taulukossa 2. Rakennusmateriaalien päästöjen vertailu ja eri rakennustyyppien rakennusmateriaalien valinta oli siis jo toteutettu ulkopuolisen suunnittelutoimiston toimesta. Teollisuushallin runkomateriaaliksi oli valittu teräs, muiden rakennustyyppien runkomateriaaliksi betoni. Kaikissa rakennustyypeissä kattorakenteet ovat puusta, lattia betonilaattaa ja seinät pelti-villapelti-elementeistä. Koska alueen maaperä todettiin pehmeäksi, rakennukset vaativat paalutusta.

Taulukko 2. Rakenteiden U-arvot.

Rakenne	U-arvo	
Seinät	0,17	W/m ² K
Katto	0,09	W/m ² K
Pohja	0,16	W/m ² K
Ikkunat	1	W/m ² K
Ovet	1	W/m ² K

Eri rakennustyypeille mallinnettiin lämmitys-, jäähdytys- ja sähköntarpeet tarkoitusta varten luodulla Excel-työkalulla. Sähkön tuntikohtainen kulutusdata eri rakennustyypeille muodostettiin Energiaviraston tyyppikuluskäyristä ja yrityksistä mitatusta kulutusdatasta. Lämmitystarve simuloitiin tuntitasolla hyödyntäen Ympäristöministeriön ohjeistusta¹⁸ ja rakennustyypeille ominaisia lähtöarvoja. Tuloksena saatiin tuntitason lämmitys- ja sähköntarpeet yhdelle vuodelle eri rakennustyypeille. Rakennusten vuotuinen ominaislämmöntarve, ominaisjäähdytystarve ja ominaissähköntarve pinta-alaa kohti on esitetty taulukossa 3. Excel-työkalun toiminta ja energiankulutusmallinnus on kuvattu tarkemmin aiheeseen liittyvässä diplomityössä¹⁹.

Taulukko 3. Rakennustyyppien vuosittaiset ominaisenergiankulutukset pinta-alan suhteen

	Toimisto	Liiketila	Teollisuus	Varasto	
Ominaislämmitystarve	66,1	63,0	110,0	65,3	kWh/m ² a
Ominaisjäähdytystarve	39,2	49,9	7,5	5,4	kWh/m ² a
Ominaissähköntarve	43,2	69,3	170,0	49,0	kWh/m ² a

Energiankulutusmallinnuksesta havaittiin, että merkittävimmät erot rakennustyyppien välillä johtuvat teollisuuden merkittävästi suuremmasta lämmön- ja sähköntarpeesta sekä toimistojen ja liiketilöiden suuresta jäähdytystarpeesta. Näiden havaintojen pohjalta koko yrityspuiston energiankulutuksen arviointia varten muodostettiin neljä skenaariota. Skenaarioiden tarkoituksena oli kartoittaa yrityspuiston energiankulutuksen ääripäitä muuttamalla rakennustyyppien osuuksia alueen kaavoituspinta-alasta. Skenaariot on esitetty taulukossa 4 ja yrityspuiston energiantarpeet eri skenaarioille taulukossa 5.

Taulukko 3. Yrityspuiston energiankulutusskenaariot

Skenaario	Toimisto	Liiketila	Teollisuus	Varasto
1. Tasapainoinen	25 %	25 %	25 %	25 %
2. Suuri energiankulutus	0 %	0 %	100 %	0 %
3. Suuri jäähdytystarve	0 %	100 %	0 %	0 %

¹⁸ Ympäristöministeriö, 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2012, Helsinki: Ympäristöministeriö.

¹⁹ Ropo, M. Hiilineutraalin yrityspuiston energiankulutus- ja -tuotantomallinnus ja elinkaarikustannuslaskenta. Diplomityö. LUT University, School of Energy Systems, sähkötekniikka 2020. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020080748199>

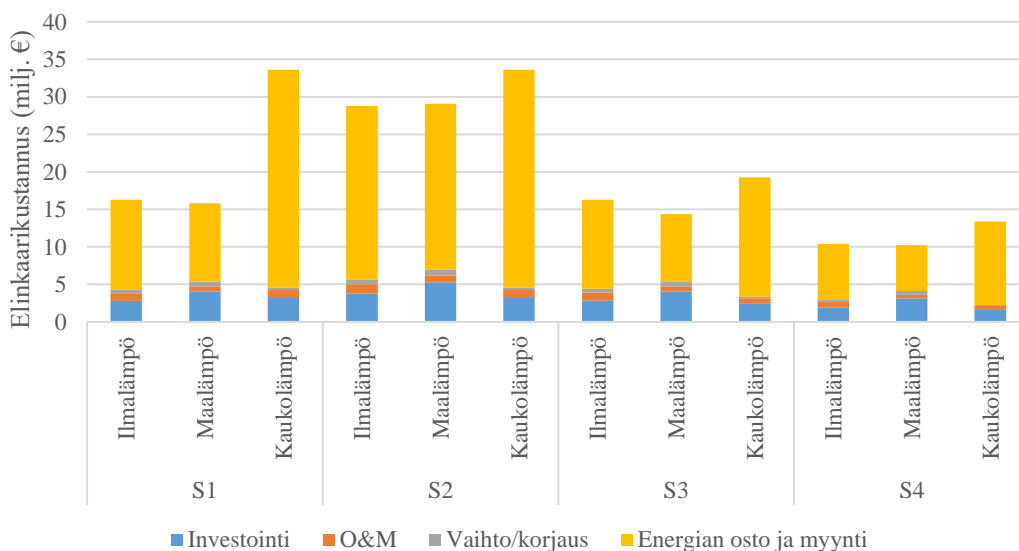
4. Pieni energiankulutus | 50 % | 0 % | 0 % | 50 %

Taulukko 4. Skenaarioiden vuotuiset energiankulutukset

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	
Ominaislämmitystarve	6,8	9,9	5,67	5,9	GWh/a
Ominaisjäähdytystarve	2,3	0,7	4,5	2,0	GWh/a
Ominais sähköntarve	7,5	15,3	6,2	4,1	GWh/a

Energiankulutusskenaarioiden lisäksi energialaskennassa tarkasteltiin aurinkosähköjärjestelmien, ilmalämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen elinkaarikustannuksia 50 vuoden ajalla. Teknologioiden valinta perustui PV-järjestelmien ja maalämmön vakiintuneisuuteen ja aiempiin tutkimuksiin²⁰. Aurinkosähkön tuotantomallinnus tehtiin käyttämällä tuntitaso mallinnettua dataa. Ilmalämpö- ja maalämpöpumppujen lämpötilaolosuhteista riippuva toiminta mallinnettiin tuntitasolla perustuen sovitteisiin¹⁰.

Järjestelmien mitoitusta tehtiin hyödyntämällä projektin ohessa luotua elinkaarilaskentatyökalua. Energiajärjestelmävaihtoehtoina olivat ilmalämpöpumput, maalämpöpumput ja kaukolämpö. Mitoitusperusteena ilmalämpöpumpulle käytettiin 85 %:a lämpöenergian tuotannosta, maalämpöpumpulle 95 %:a lämmöntuotannosta ja aurinkosähkövoimalalle 90 %:a omakäyttösuhdetta. Laskenta suoritettiin 50 vuoden elinkaarelle käyttäen liitteessä 1 esitetyjä lähtötietoja. Alustavan 50 vuoden elinkaarikustannuslaskennan tulokset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Energiajärjestelmän 50 vuoden elinkaarikustannukset energiankulutusskenaarioittain

Alustavan elinkaarikustannuslaskennan tuloksena saatiin energiajärjestelmän 50 vuoden elinkaarikustannukseksi 10–33 miljoonaa euroa rakennustyypeistä ja lämmitysjärjestelmästä riippuen. Ilmalämpö- ja maalämpöpumput osoittautuivat tässä tarkastelussa kaukolämpöjärjestelmää edullisemmaksi vaihtoehdoksi. Maalämpö oli investointikustannukseltaan huomattavasti ilmalämpöpumppuja kalliimpi vaihtoehto, mutta alemmat

²⁰ Ristimäki, M., Säynäjoki, A., Heinonen, J. & Junnila, S. Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. Energy 63 (2013) 168-179. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.030>

käyttökustannukset tekivät maalämmöstä edullisimman vaihtoehdon. Energian käyttökustannusten havaittiin siis merkittävän huomattavasti investointeja enemmän 50 vuoden tarkastelussa.

2.3.2 Yrityspuiston päästölaskenta ja sen tulokset

Eri energiajärjestelmävaihtoehtojen vaikutusta rakennusten päästöihin arvioitiin toteuttamalla standardin 15978 mukainen laskenta rakennusten elinkaarenaikaisista päästöistä. Päästölaskennassa käytettiin Bionovan OneClick LCA -laskentatyökalua. Työkalu on vahvistettu kolmannen osapuolen toimesta standardin EN 15978 mukaiseksi, ja se sisältää dataa rakennustuotteista sekä rakennusmateriaaleista perustuen EN 15804 mukaisiin ympäristöselosteisiin. Laskentatyökalu tukee CML -IA 2012 -vaikutusten arviointimenetelmää.²¹

Laskenta toteutettiin 50 vuoden elinkaarella jokaiselle rakennustyypiprofiilille erikseen, ottaen huomioon kaikki kuvassa 3 esitetyt rakennuksen elinkaaren vaiheet. Laskennan tavoitteena oli määrittää jokaisen rakennustyypiprofiilin ilmastovaikutus ominaishiilijalanjälkenä ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{a}$) ja selvittää, mikä energiantuotantojärjestelmävaihtoehto aiheuttaisi pienimmän ilmastovaikutuksen. Lisäksi suomalaisen rakennusten vähähiilisyiden arviointimenetelmän mukaisesti rakennusprojektin myötä syntyvät ylimääräisen uusiutuvan energian tuotannon, hiilivarastojen ja -nielujen sekä rakennustuotteiden uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat ilmastohyödyt voidaan raportoida negatiivisena ominaishiilikädenjälkenä ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{a}$)²². Laskennan tausta ja tulokset on raportoitu tarkemmin aiheeseen liittyvässä diplomityössä²³.

²¹ One Click LCA. *Life Cycle Assessment software*. Helsinki: Bionova Ltd 2015. Saatavilla: <https://www.oneclicklca.com/>

²² Kuittinen, M. *Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä*. Publications of the Ministry of the Environment 2019:22. e-ISBN: 978-952-361-029-3

²³ Mustonen, H. *Minimizing the climate impact of a business park by applying building life cycle assessment*. Diplomityö. LUT University, School of Energy Systems, ympäristötekniikka 2020. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020062445638>



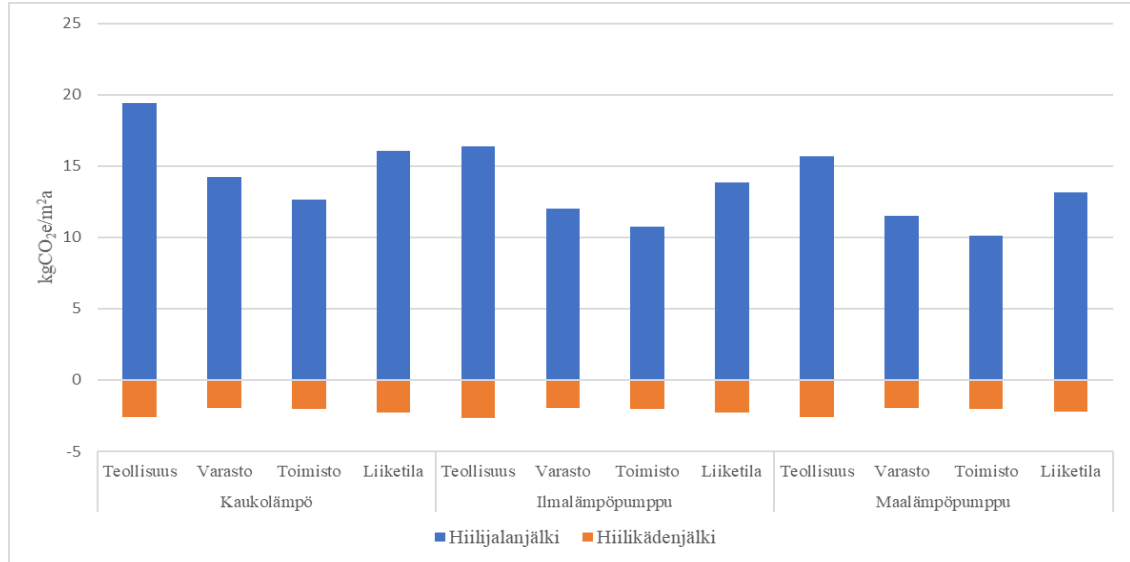
Kuva 3. Rakennuksen elinkaaren vaiheet sekä niistä raportoitava hiilijalanjälki ja -kädenjälki.

Laskentatyökaluun lisättiin rakennusta koskevat tiedot eri kategorioissa, koskien rakennusmateriaaleja, vuosittaista energian- ja vedenkulutusta, rakennustyömaan toimintoja, rakennusala sekä elinkaaren pituutta. Rakennusmateriaalien määrien laskennassa hyödynnettiin ulkopuolisen suunnittelutoimiston tuottamaa tyyppihallin materiaaliselvitystä 1 000 m² teollisuushallille, josta määrät skaalattiin vastaamaan luotujen rakennustyyppi-profiilien kokoja. Selvityksen materiaalit ovat nykyisten rakennusstandardien ja -käytäntöjen mukaisia. Vuotuinen energiankulutus saatiin kappaleessa 2.3.1 esitetystä laskennasta. Vuotuisen vedenkulutuksen ilmastovaikutus arvioitiin hyödyntämällä rakennustyyppikohtaisia lämpimän käyttöveden kulutuksen oletusarvoja²⁴, sekä olettamalla, että lämmin vesi kattaa 40 % rakennusten vedenkäytöstä. Laskentatyökalun Suomelle tyypillistä geneeristä dataa hyödynnettiin muun muassa rakentamisen, purkamisen, kunnossapidon sekä kuljetusestäisyksien päästöjä arvioitaessa.

Tulokset tuotettiin kolmelle eri energiajärjestelmävaihtoehdolle, jotka erosivat toisistaan lämpöenergian tuotannossa. Eri vaihtoehdoissa lämpö tuotettiin pääosin joko kaukolämmöllä, ilmalämpöpumpulla tai maalämpöpumpulla. Lisäksi jokaisessa vaihtoehdossa rakennukseen oli mitoitettu aurinkovoimala 90 %:n omakäyttösuhteella, ja rakennuksen sähkönkulutus katettiin ostamalla verkosta uusiutuvaa sähköä. Laskentatyökalussa Imatran Lämmön tuottaman kaukolämmön tuorein päästökerroin oli 59,3 gCO₂e/kWh (2018) ja uusiutuvan sähkön kerroin Suomessa oli 22,1 gCO₂e/kWh (2018)²¹. Rakennuskohtaiset tulokset eri energiajärjestelmävaihtoehdoille tuotettiin kopioimalla alkuperäinen rakennustyyppi-profiilin laskenta ja muuttamalla energiaan liittyvät tiedot.

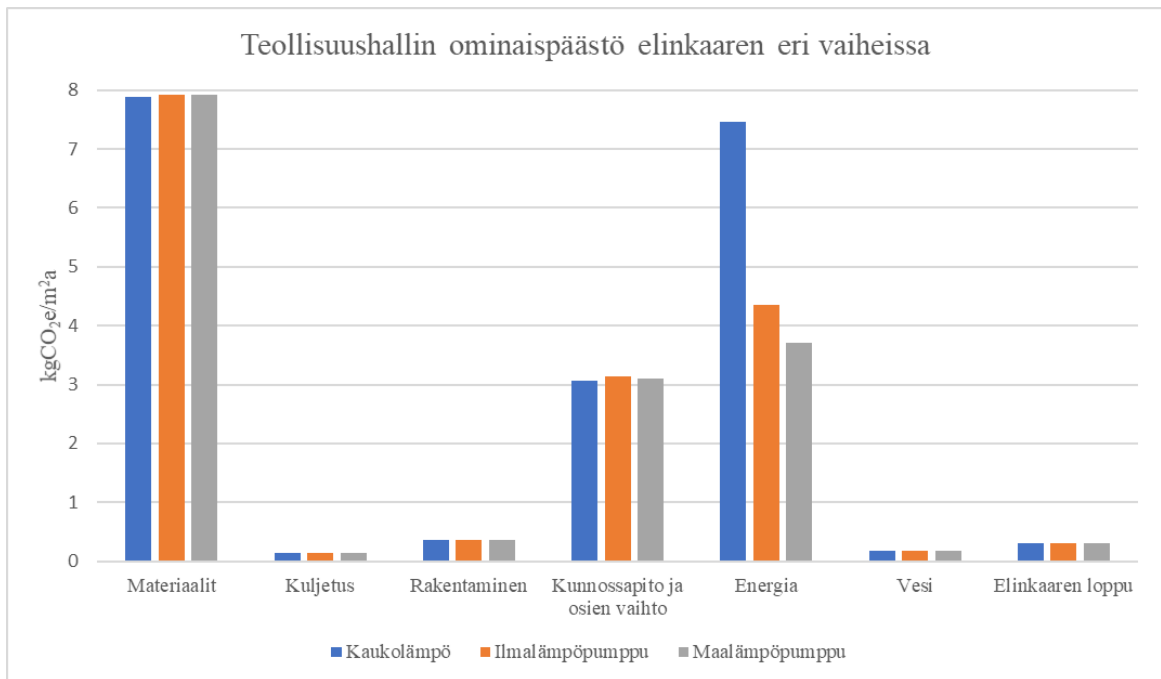
²⁴ Motiva. *Lämmin käyttövesi*. 2019. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiakaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Laskentatyökalu laskee yhteen rakennusten elinkaarivaikutukset annettujen tietojen perusteella. Kuva 4 esittää eri rakennustyyppi-profiilien ominaishiilijalanjäljet eri energiajärjestelmävaihtoehdoilla. Lisäksi kuvassa on raportoitu ominaishiilikädenjäljet.



Kuva 4. Rakennustyyppien elinkaarenaikainen ominaispäästö eri energiajärjestelmävaihtoehdoilla.

Ominishiilijalanjäljet ovat korkeimmillaan kaukolämmön ollessa päälämmönlähteenä ja matalimmillaan, kun rakennuksiin on implementoitu maalämpöpumppu. Teollisuushallin ominishiilijalanjälki on rakennustyypeistä jokaisella energiajärjestelmävaihtoehdolla suurin, vaihdellen välillä 15,7 – 19,4 kgCO₂e/m²a. Toimistorakennuksen ominishiilijalanjälki on pienin, vaihdellen välillä 10,1 – 12,6 kgCO₂e/m²a. Varastorakennuksella ominishiilijalanjälki vaihtelee välillä 11,5 – 14,2 kgCO₂e/m²a ja liiketilalla välillä 13,2 – 16,0 kgCO₂e/m²a. Ominishiilikädenjäljissä ei tapahdu merkittävää muutosta eri energiajärjestelmävaihtoehdoilla, teollisuushallilla se on -2,6 kgCO₂e/m²a ja muilla noin -2 kgCO₂e/m²a jokaisella vaihtoehdolla. Eri elinkaaren vaiheiden vaikutusta kokonaispäästöön voidaan tarkastella kuvasta 3, jossa on esitetty ominishiilijalanjälki teollisuushallille eri elinkaaren vaiheissa kaikilla energiajärjestelmävaihtoehdoilla.



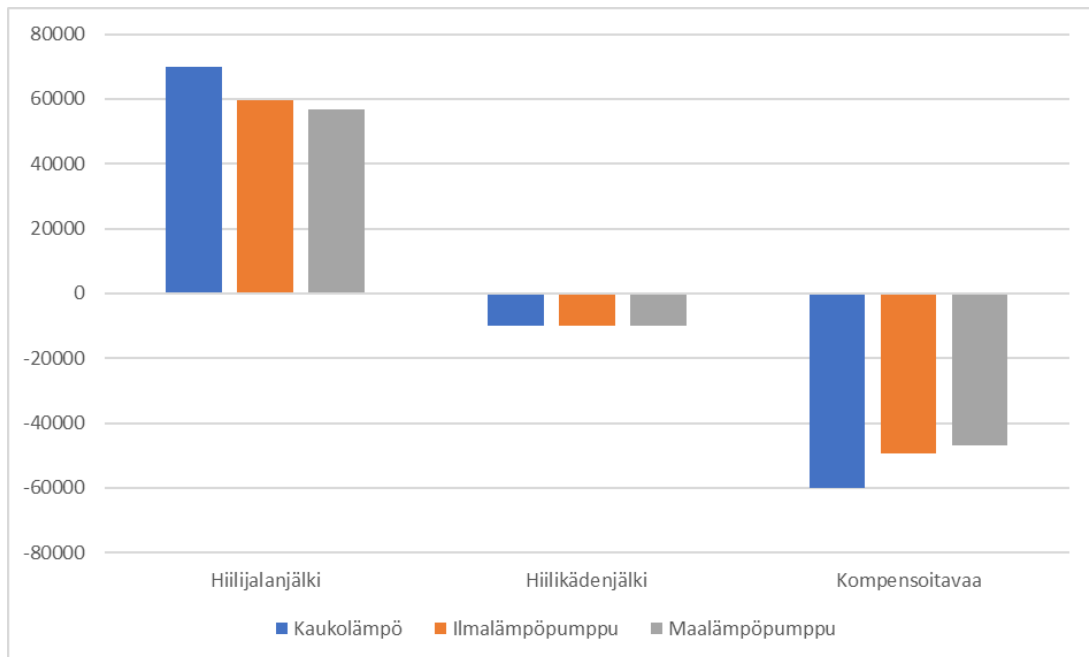
Kuva 5. Teollisuushallin ominaispäästö elinkaaren eri vaiheissa eri energiajärjestelmävaihtoehdoilla.

Perinteisesti rakennusten päästöt johtuvat pääosin käytönaikaisesta energiankulutuksesta²⁵, mutta tässä laskennassa suurin päästövaikutus aiheutuu rakennusmateriaaleista ja niihin liittyvistä prosesseista, sillä Imatran Lämmön kaukolämpö on vähäpäästöisempää kuin kaukolämpö Suomessa keskimääräisesti. Energiajärjestelmävaihtoehdoilla voi vaikuttaa kokonaispäästöön, mutta niiden ja materiaaleihin liittyvien päästöjen lisäksi kunnossapidon ja osien vaihdon aiheuttama päästö on merkittävä. Muiden elinkaarivaiheiden aiheuttamat päästöt jäävät pieniksi näiden kolmen rinnalla.

Suomen ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata rakennusten hiilijalanjälkiä 2020-luvulla, sekä asettaa tavoitearvoja eri rakennustyypeille²², joten rakennusten päästöjen määrittäminen jo suunnitteluvaiheessa on tärkeää, jotta voidaan tehdä tehokkaita päästövähennyksiä oikea-aikaisesti. Esimerkiksi nykyaikaisen toimiston ominaishiilijalanjälki on noin 25 kgCO₂e/m²a, ja tulevaisuudessa ominaishiilijalanjäljen odotetaan olevan suuruusluokkaa 11 kgCO₂e/m²a²⁵. Tämän laskennan tulokset ovat suuntaa-antavia ja todelliset hiilijalanjäljet tulisi laskea toteutuneiden rakennus- ja materiaalivalintojen mukaan.

Kun eri rakennustyypeille on määritetty ominaishiilijalanjäljet, voidaan arvioida koko yrityspuiston elinkaaren aikaista ilmastovaikutusta. Koko yrityspuiston ilmastovaikutusta arvioitiin olettamalla, että jokaista rakennustyyppiä on 25% koko yrityspuiston rakennusalaista (90 000 m²). Tällöin kunkin rakennustyyppin ominaispäästö kerrotaan 22 500 m² sekä elinkaaren pituudella (50 vuotta). Kuva 6 esittää tämän arvion mukaisen kokonaispäästön eri energiajärjestelmävaihtoehdoilla.

²⁵ Röck, M., Ruschi Mendes Saade, M., Balouktsi, M., Nygaard Rasmussen, F., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T. & Passer, A. *Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation*. Applied Energy 258 (2020) 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>



Kuva 6. Yrityspuiston kaikkien rakennusten mahdollinen ilmastovaikutus rakennustyyppiprofiilien ominaishiilijalanjäljistä ja kädenjäljistä johdettuna.

Rakennustyyppiprofiilien ominaishiilijalanjäljistä johdettuna koko yrityspuiston hiilijalanjälki 50 vuoden elinkaarella olisi 70 000 tCO₂e kaukolämpövaihtoehdolla, 60 000 tCO₂e ilmalämpöpumppuvaihtoehdolla ja 57 000 tCO₂e maalämpöpumppuvaihtoehdolla. Energiajärjestelmävaihtoehtojen ero kokonaispäästössä on jopa noin 20 %. Hiilikädenjälki on kaikilla vaihtoehdoilla noin -10 000 tCO₂e. Hiilineutraaliuden tavoittelun kannalta rajauksen mukaisesti tulisi saavuttaa nettonollapäästötila¹. Energiajärjestelmävaihtoehdoilla kokonaispäästöä voidaan pienentää, mutta kussakin tapauksessa päästöjä jäisi kompensoitavaksi tai vähennettäväksi, jos hiilineutraaliutta tavoitellaan myös rakennusmateriaalit huomioiden. Tässä tarkastelussa positiiviset ilmastovaikutukset raportoitiin hiilikädenjälkenä, jota ei määritelmän mukaan saa vähentää hiilijalanjäljestä²². Esimerkiksi siitä, saako rakennuksessa tuotettua ylimääräistä uusiutuvaa sähköä hyödyntää päästövähennyksenä tai kompensoitavana on eräviä ohjeistuksia²⁶. Toisaalta, kun hiilikädenjälki on yrityspuiston rakennuksista aiheutuva hyöty, ja yrityspuistoa tarkasteltaessa sekä rakennukset, että niiden käyttäjät ovat osallisena yrityspuiston päästöjen syntymisessä, voidaan hiilikädenjäljen katsoa vähentävän yrityspuiston päästöjä lopulta kokonaiskuvassa.

Eri energiajärjestelmävaihtoehdoilla voidaan siis vaikuttaa rakennusten ominaispäästöön ja näin ollen myös koko puiston päästöihin. Eri rakennustyypeillä oli kuitenkin erisuuret ominaispäästöt, sillä esimerkiksi teollisuushalli vaati enemmän rakennusmateriaaleja verrattuna liiketilaan, joten myös yrityspuistossa tapahtuvan yritystoiminnan muoto vaikuttaa koko puiston päästöihin. Vaikka maalämpöpumppuvaihtoehdolla puiston päästöt näyttäisivät olevan pienimmillään, niin kokonaispäästö voi nousta yli 60 000 tCO₂e:n, jos yritystoiminta on teollisuuspainotteista (70 %:a teollisuusrakennuksia ja 10 %:a kutakin muuta rakennustyyppiä). Toisaalta esimerkiksi toimistorakennusintensiivisessä (70 %:a toimistorakennuksia ja 10

²⁶ Satola, D., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Houlihan Wiberg, A. & Gustavsen, A. *How to define (net) zero greenhouse gas emissions buildings: The results of an international survey as part of IEA EBC annex 72*. Building and Environment 192 (2021) 107619. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107619>
Page 19(29)

:%a muita rakennustyyppinä) yrityspuistossa kokonaispäästö laskee 45 000 tCO₂e:iin. Vaikka tämä laskenta on geneerinen ja suuntaa-antava, voi sen perusteella todeta, että eri tyyppisten yritysrakennusten vaatimuksilla ja erityisesti materiaalivalinnoilla on merkitystä lopullisiin päästöihin energiajärjestelmäratkaisujen lisäksi.

Energiajärjestelmävaihtoehtojen elinkaarikustannustarkastelussa tehtiin herkkyystarkastelu aurinkovoimalan 90 %:n omakäyttösuhteen muuttamisesta mitoitustapana, ja sen vaikutusta tarkasteltiin myös päästölaskennassa. Alkuperäisen 90 %:n omakäyttösuhteen lisäksi rakennusten aurinkovoimalat mitoitettiin myös 80 ja 100 %:n omakäyttösuhteelle. 80 %:n omakäyttösuhteella aurinkopaneelille tarvittava kattopinta-ala kasvaa suuremmaksi kuin 90 %:n omakäyttösuhteella, ja 100 %:n omakäyttösuhteella päinvastoin. Kun aurinkovoimala mitoitetaan 80 %:n omakäyttösuhteella, ylimääräistä uusiutuvaa sähköä tuotetaan enemmän. Paneelialan kasvaessa kasvaa myös aurinkovoimalan aiheuttama materiaalipäästö. 80 %:n omakäyttösuhteella mitoitettu aurinkovoimala siis samanaikaisesti kasvattaa rakennuksen hiilijalanjälkeä sekä hiilikädenjälkeä. Kun aurinkovoimala mitoitetaan 100 %:n omakäyttösuhteella, ei tuoteta ollenkaan ylimääräistä uusiutuvaa sähköä. Paneelialan pienentyessä myös aurinkovoimalan aiheuttama materiaalipäästö pienenee. 100 %:n omakäyttösuhteella mitoitettu aurinkovoimala siis samanaikaisesti pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä sekä hiilikädenjälkeä.

Herkkyystarkastelun tulokset ovat ristiriidassa suomalaisen rakennusten vähähiilisyden arviointimenetelmäohjeen kanssa, jonka mukaan rakennuksen pitäisi tavoitella pientä hiilijalanjälkeä ja suurta hiilikädenjälkeä²². Tässä tarkastelussa molempia ei voitu saavuttaa samanaikaisesti. Kuitenkin, koska hiilijalanjälkeä kasvaa 1-6 %:a rakennustyyppistä riippuen, kun taas hiilikädenjälkeä voidaan lisätä 20-60 %:a aurinkopaneelilla, aurinkotuotannon lisäämistä voitaisiin harkita joissakin tapauksissa, esimerkiksi teollisuushallin yhteydessä. 100 %:n omakäyttösuhteella mitoitettua aurinkovoimalan avulla saavutettu hiilijalanjäljen pienentäminen ei ole merkittävä. Tällöin myös aurinkotuotannon määrän vähentämistä on harkittava huolellisesti.

2.3.3 Yrityspuiston elinkaarikustannusoptimointi

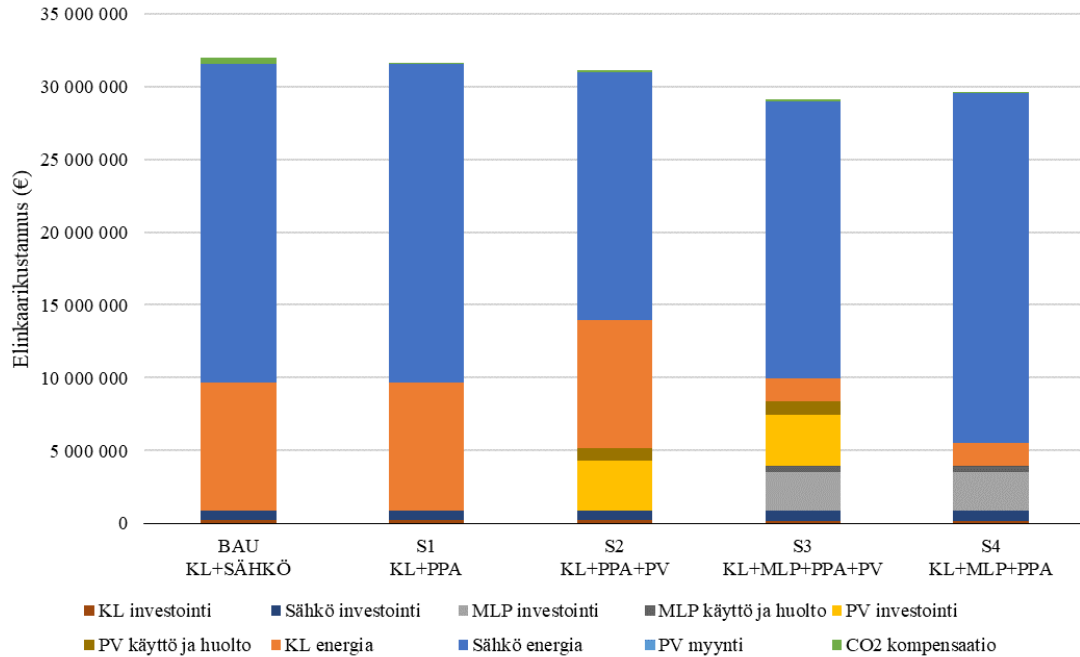
Hankkeessa luotiin elinkaarikustannusoptimointityökalu, jolla pystyttiin tarkemmin vertailemaan erilaisia energiajärjestelmävaihtoehtoja ja niiden elinkaarikustannuksia. Energiajärjestelmän päästölaskenta yhdistettiin osaksi kustannusoptimointia lisäämällä päästöjen kompensoitokustannus osaksi kokonaiskustannusta. Ostoennergian päästöjen lisäksi päästöissä huomioitiin myös paikallisten energiajärjestelmien materiaalipäästöt. Kustannusoptimointityökalua testattiin ensin case-kohteen, Imatran keskuskeittiön energiankulutusdataa hyödyntäen ja laskentamalli todettiin toimivaksi. Tämän jälkeen laskentatyökalua sovellettiin yrityspuiston elinkaarikustannusten ja järjestelmien optimaalisen mitoituksen selvittämiseen.

Aiemmassa energialaskennassa käytettyjä lähtöarvoja tarkennettiin, ja tähän tarkempaan tarkasteluun sisällytettiin maalämpö-, kaukolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmät sekä uusiutuva ostosähkö. Ilmalämpöpumput jätettiin pois tarkastelusta, koska niiden elinkaaripäästöt arvioitiin päästölaskennassa korkeammiksi, kuin maalämmön elinkaaripäästöt. Optimointi suoritettiin tasapainoisen ja teollisuuden energiankulutuksen skenaarioille (ks. taulukko 4.). Tarkastelun ajanjaksoksi valittiin 25 vuotta teollisuusrakennusten keskimääräisesti lyhyemmän elinkaaren vuoksi. Optimoinnissa tarkastellut energiajärjestelmävaihtoehdot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Energiajärjestelmäskenaariot optimointia varten

Skenaario	Lämpö	Sähkö
BAU	Kaukolämpö	Tavallinen verkkosähkö
1	Kaukolämpö	PPA-tuulisähkö
2	Kaukolämpö	PPA-tuulisähkö + PV
3	Maalämpö + kaukolämpö	PPA-tuulisähkö
4	Maalämpö + kaukolämpö	PPA-tuulisähkö + PV

Elinkaarikustannusoptimointi tehtiin eri energiajärjestelmäskenaarioille sekä tasapainoisella energiankulutuksella että suurella energiankulutuksella. Elinkaarikustannusoptimoinnin tulokset skenaariolle, jossa alueella on pelkkiä teollisuusrakennuksia, on esitetty kuvassa 7.



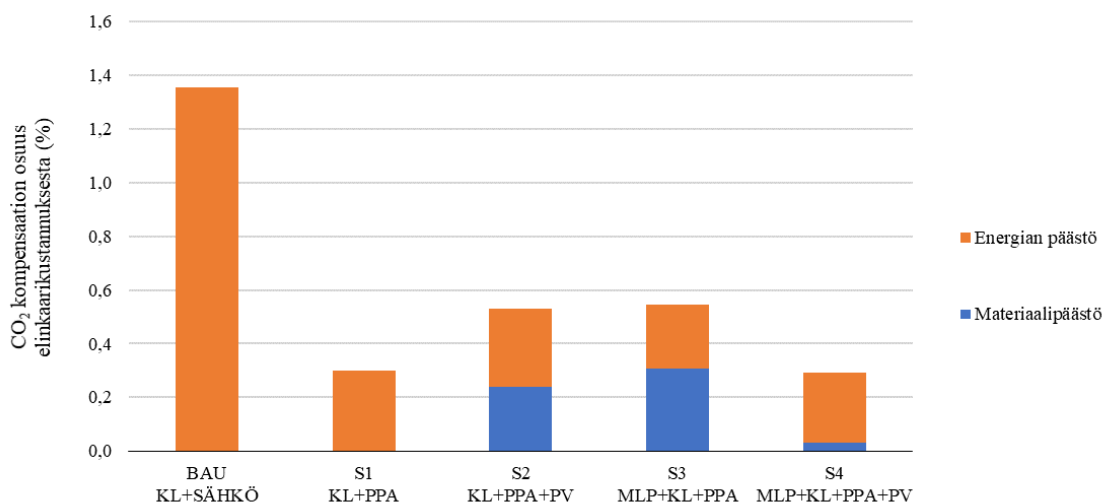
Kuva 7. Optimointimallilla lasketut elinkaarikustannukset skenaariolle, jossa alueella on ainoastaan teollisuusrakennuksia

Elinkaarikustannusoptimoinnista havaittiin, että 25 vuoden elinkaarelle laskennallisesti edullisin energiajärjestelmävaihtoehto olisi yhdistelmä maalämpöä, kaukolämpöä, aurinkosähköntuotantoa ja PPA-tuulisähköä. Merkittävin havainto on, että kun järjestelmät mitoitetaan optimaalisesti, voidaan saavuttaa kustannussäästöjä yhdistelemällä useita eri teknologioita. Toinen merkittävä havainto kuvasta 7 on, että kompensatiokustannus ei ole merkittävä energiajärjestelmän elinkaarikustannuksessa nykyisillä kompensatiohinnoilla.

Elinkaarikustannusoptimoinnissa maalämpöpumpulla oli optimaalisinta tuottaa 90 %:a kokonaislämmöntarpeesta, kun alueella oli tasapainoisesti eri rakennustyyppisiä ja 80 %:a kun alueella oli pelkkiä teollisuutta. Teollisuuden lämmöntarve sisältää siis suurempia tehopiikkejä, minkä vuoksi lisätehoa kaukolämpöliittymän kautta tarvitaan enemmän. Aurinkosähkön optimaalinen mitoitus tasapainoisella kulutuksella oli 94 %:n omakäyttösuhte ja teollisuuspainotuksella 81 %:n omakäyttösuhte. Laskelman mukaan aurinkosähköä kannattaisi siis asentaa alueelle riippuen siitä, kuinka paljon alueella on teollisuusyrityksiä. Erityisesti 1-vuoroteollisuuden energiankulutusprofiiliin havaittiin olevan hyvin yhteensopiva aurinkosähkötuotannon kanssa.

Elinkaarikustannuksen lisäksi työkalulla laskettiin energiajärjestelmän ja energiankulutuksen elinkaaripäästöt ja niiden kompensoinnista aiheutuvat kustannukset. Päästökertoimena kaukolämmölle käytettiin Imatran

Lämpö Oy:n päästökerrointa 8,3 kgCO₂e/MWh²⁷ ja tuulisähkölle 10 kgCO₂e/MWh²⁸. Kompensaatiokustannusten osuus kokonaiselinkaarikustannuksesta jaoteltuna energiankulutuksen päästöittäin ja materiaalipäästöittäin on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. CO₂ kompensaatiokustannuksen osuus kokonaiselinkaarikustannuksesta

Kompensaation osuus energiajärjestelmän kokonaiselinkaarikustannuksesta havaittiin liki merkityksettömäksi kokonaisuuden kannalta. Hiilineutraalista skenaariosta riippuen kompensaatiokustannuksen osuus vaihteli 0,2–0,5 %:n välillä. Pelkällä paikallisella, vähäpäästöisellä kaukolämmöllä ja tavallisella verkkosähköllä toteutetussa energiajärjestelmässä kompensaation osuus kokonaiselinkaarikustannuksesta oli 1,4 %:a. Energiajärjestelmien 2 ja 3 suuremmat materiaalipäästöt johtuvat aurinkopaneeleihin sitoutuneesta materiaalipäästöstä. Koska kompensaation kustannukset ovat hyvin pieni osa kokonaiselinkaarikustannusta, kompensoinnin toteuttaminen ja hiilineutraaliuden saavuttaminen ei tuota juurikaan lisäkustannuksia, varsinkin kun päästövähennysten saavuttaminen optimoiduilla järjestelmäratkaisuilla on elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto.

2.3.4 Yrityspiiston työmatkaliikenne

Rakennusten ja energiajärjestelmän lisäksi tarkastelua laajennettiin yrityspiiston työmatkaliikenteeseen. Työmatkaliikennettä arvioitiin sekä päästöjen että energiajärjestelmän eli sähköautojen latauksen näkökulmasta yhdestä teollisuuskiinteistöstä saatujen lähtötietojen perusteella.

Työmatkaliikenteen päästövähennyspotentiaalia arvioitiin vertaamalla sähköautojen päästöjä yhden yrityksen henkilökunnan työmatkaliikenteen perustasoon. Alueen autokannan perustaso-oletukset perustuvat tilastokes-

²⁷ Imatran Lämpö Oy, sähköposti 23.3.2021.

²⁸ Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G., CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union – Version 2017. European Commission, Joint Research Centre (JRC). 2017. <http://data.europa.eu/89h/jrc-com-ef-comw-ef-2017>

kuksen vuoden 2020 liikennekäytössä olevien henkilöautojen määrätalastoon, jonka mukaan 70 %:a liikennekäytössä olevista henkilöautoista on bensa-autoja ja lähes 30 %:a on dieselautoja²⁹. Autojen päästöt on laskettu VTT:n yksikköpäästötietojen perusteella.³⁰ Lisäksi 70 %:a ajomatka on oletettu maantieajoksi ja loput taa-jama-ajoksi. Kilometrien arvioinnissa oletettiin, että 70 henkilöä tekee 15 km työmatkaa omalla autolla ja työpäiviä on vuodessa 253. Tällöin perustason työmatkaliikenteen päästökseen saadaan 62,4tCO₂e/a. Jos puolet henkilö-kunnasta kulkee työmatkat sähköautolla (50 %:a sähköautoja, 30 %:a bensa-autoja ja 20 %:a dieselautoja), päästökseen saadaan 34,5tCO₂e/a ja vuositason päästövähennys on noin 45 %:a perustason verrattuna. Jos kaikki henkilökunnan jäsenet kulkevat työmatkat sähköautoilla, päästökseen saadaan 7,1tCO₂e/a ja vuositason päästövähennys noin 90 %:a perustason verrattuna. Sähköautoilun päästöjen arvioinnissa hyödynnettiin Suomen kulutussähkön 2018 vuosikerrointa³¹.

Aiemmin esitettiin teollisuushallin ominaispäästön olevan 15,7-19,4kgCO₂e/m²a energiavaihtoehdosta riip-puen. Tällöin 5 000 m²:n teollisuushallille koko 50 vuoden elinkaaren ajalta kokonaispäästö olisi noin 3 900-4 900 tCO₂e. Jos työmatkaliikenteen karkeasti arvioidut vuosipäästöt kertoo 50 vuoden elinkaarelle, olisi päästö noin 3 100 tCO₂e perustasolla, 1 700 tCO₂e, kun sähköautojen käyttöaste on 50 %:a ja 355 tCO₂e, kun sähköautojen käyttöaste on 100 %:a. Autokannasta riippuen työmatkaliikenteestä voi siis aiheutua merkittävä määrä päästöjä, jos hiilineutraaliuden tavoittelussa tarkastellaan sekä rakennuksista että työmatkaliikenteestä aiheutuvia päästöjä.

Sähköautojen latauskuorman vaikutusta energijärjestelmään ja sen mitoitukseen selvitettiin ääritapauksen las-kennalla, kun kaikki 70 työntekijää tulisi sähköautolla töihin. Laskenta toteutettiin minuuttitasolla ja sen tulok-set esitettiin tuntitasolla eri lataustehovaihtoehdoilla. Johtopäätöksinä voitiin sanoa, että edes 70 sähköautoa ei vaikuta merkittävästi teollisuusrakennuksen sähkön huipputehon tarpeeseen, koska sähkönkulutus on teolli-suushallissa jo alun perin niin korkea. 10 kW:n latausteholla huipputehon tarpeen nousu on nähtävissä, mutta pienemmillä lataustehoilla tehohuiput ovat loivempia. Saapumisjakauma vaikuttaa huipputehon tarpeeseen merkittävästi suurilla lataustehoilla, ja tämä tulos on spesifi tälle yhdelle rakennukselle, eikä ole yleistettävissä muihin rakennustyyppihin.

Sähköautojen lataus kannattaa huomioida yrityspuiston infran suunnittelussa. Lisäksi latauspistetoimittaja voi myös minimoida lataustehon piikit eli ohjata kuormaa optimaalisesti esimerkiksi aurinkosähkön käytön opti-moimiseksi.

²⁹ Tilastokeskus. *Autot käyttövoiman mukaan*. 2020. Saatavilla:

https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_lii_mkan/statfin_mkan_pxt_11ie.px/

³⁰ VTT, 2017. *Lipasto yksikköpäästöt -tietokanta*. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/>

³¹ Lounasheimo J., Karhinen, S., Grönroos, J., Savolainen, H., Forsberg, T., Munther, J., Petäjä, J. & Pesu, J., 2020. *The calculation of the greenhouse gas emissions of Finnish municipalities*. Reports of the Finnish Environment Institute 25/2020. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5180-4>

3. Yleisohjeet hiilineutraalin yrityspuiston suunnitteluun

Hankkeen johtopäätöksenä voidaan sanoa, että hiilineutraaliutta tavoiteltaessa päästölaskennan rajausta on erityisen tärkeässä roolissa. Miten hiilineutraalius määritellään ja mitä toimintoja otetaan tarkasteluun? Hiilineutraaliuden rajaukseen liittyen pohdimme myös sitä, kenen vastuulla mitkäkin päästöt ovat. Hankkeen pohjalta rajausta voisi olla esimerkiksi sellainen, että yrityspuiston omistajan hiilineutraaliustarkastelu keskittyy yritystiloihin ja niiden koko elinkaaren aikaisiin päästöihin. Tällöin yrityspuiston rakentajan/omistajan vastuulla olisivat vain yritystilat ja niiden energiajärjestelmät sekä infrastruktuuri. Hiilineutraaliin yrityspuistoon sijoittuvan yrityksen vastuulle jäisi tässä vaihtoehdossa yrityksen ydinliiketoiminnasta aiheutuvat päästöt sekä epäsuorat, kuten työmatka- ja logistiikkaliikenteestä aiheutuvat päästöt. Yrityspuiston suunnittelun avulla voidaan kuitenkin vähentää myös yrityksissä syntyviä epäsuoria päästöjä. Esimerkiksi liikenteestä aiheutuvia päästöjä voidaan vähentää sijoittamalla yrityspuisto keskeiselle paikalle. Toisaalta yrityksille voidaan yrityspuistossa mahdollistaa kestävämpi liiketoiminta muun muassa osaamisen jakamisella. Tämän takia hiilineutraaliustarkastelun rajausta ei ole yksiselitteinen.

Jotta hiilineutraalius olisi luotettavaa, pyritään hiilineutraaliuden tavoittelussa noudattamaan kolmiportaista lähestymistapaa, jossa ensin määritetään kasvihuonekaasupäästöt ja vähennetään niitä, ja vasta sen jälkeen hyvitetään välttämättömät päästöt kompensoimalla. Yrityspuistossa tämä tarkoittaa sitä, että lasketaan ensin kokonaispäästöt eri rakennusmateriaaliksi sekä energiajärjestelmävaihtoehdoille, valitaan näistä vähäpäästöisin ja kompensoidaan ne päästöt, joita ei pystytä muilla tavoin vähentämään. Kompensaatio on välttämätöntä hiilineutraaliuden saavuttamiseksi, kun käytetään elinkaarilaskennan menetelmää. Tässä hankkeessa rakennusmateriaalit oli jo päätetty, mutta optimaalisen tuloksen saamiseksi myös rakennusmateriaalien päästövaikutuksia tulisi vertailla läpinäkyvästi. Tällä hetkellä kompensaatiokustannuksen osuus elinkaaren aikaisista kustannuksista on häviävän pieni, mutta tulevaisuudessa tämä hinta voi nousta merkittävästi. Lisäksi tämänhetkiset poliittiset ohjaukset ja niiden mahdollinen kehitys kannattaa kartoittaa ja huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa³². Esimerkiksi ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata uudisrakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä lainsäädännöllä 2025 mennessä.²²

Yrityspuistoon sijoittuvia yrityksiä kartoitettaessa heidän välilleen voidaan löytää synergiaetuja niin resurssien jaon (kuten tilat, osaaminen), yhteisten palveluiden (ruokala, jätehuolto), energiajärjestelmän (hukkalämmön hyödyntäminen) tai liiketoiminnan kautta (yritykset toimivat saman tuotteen logistiikkaketjun peräkkäisissä vaiheissa). Yrityksille voidaan myös tuottaa lisäarvoa puiston sisällä suunnitteleamalla uusi toimitila käytännöllisemmäksi kuin vanha.

Yrityspuiston energiankulutukseen vaikuttaa merkittävimmin se, millaisia yrityksiä kohteeseen on tulossa. Teollisuusyritykset kuluttavat huomattavasti enemmän sähköä, mutta tuottavat usein myös hyödynnettäväksi tai myytäväksi kelpaavaa hukkalämpöä. Toimisto- ja liiketilarakennuksissa sen sijaan on monesti suuri henkilötiheys, mikä aiheuttaa varsinkin kesällä suuremman jäähdytystarpeen kuin esimerkiksi varistorakennuksissa, joissa sisäisiä lämpökuormia ei juurikaan ole. Myös teollisuusrakennuksissa sisäisiä lämpökuormia voi syntyä erilaisista prosesseista. Yritysten toiminnan energiankulutus, lämpökuormat ja mahdolliset hukkalämmön lähteet tulisivatkin tarkastella jo rakennuksia suunniteltaessa, jotta rakennuksen eristys, ilmanvaihto ja jäähdytysjärjestelmät saadaan mitoitettua oikein.

Alustavien laskelmien ja elinkaaritarkastelujen pohjalta voidaan todeta, että vähäpäästöisin ja kustannustehokkain energiajärjestelmä sisältäisi alueen omaa lämpöenergian tuotantoa lämpöpumpuilla ja lisäksi kytkennän kaukolämpöverkkoon talven lämmöntarvepiikkejä varten. Maalämpöjärjestelmän muita hyötyjä ovat suurempi energiaomavaraisuusaste ja mahdollisuus varastoida kesän jäähdytyksessä poistettua lämpöä maaperään käytettäväksi talvella. Kaukolämpöverkko liityntä alueelle kannattaa toteuttaa erityisesti siinä tapauksessa, että alueella on hetkellisesti suuria lämpötehtotarpeita. Kaukolämpöliittymän kannattavuus riippuu kuitenkin siitä, millä kustannuksella kaukolämpöä voidaan ostaa, kun osto

³² Vinokurov, M., Grönman, K., Kosonen, A., Luoranen, M., Soukka, R. *Updating the Path to a Carbon-Neutral Built Environment—What Should a Single Builder Do*. Buildings 8 (2018) 112.
<https://doi.org/10.3390/buildings8080112>

rajoittuu vain suurimman tehontarpeen hetkille. Lisähyötynä kaukolämpöverkkoliityntä voi tarjota myös mahdollisuuden kaukojäähdytykseen ja hukkalämpöjen myyntiin.

Uusiutuvaa tuulisähköä yrityspuiston tarpeisiin saadaan ostettua PPA-sopimuksella, jolloin sähkönkulutuksen päästöt puutoavat huomattavasti. Uusiutuva PPA-sähkö hyödyttää sekä tuottajaa että ostajaa, sillä ostaja välttää uusiutuvaan energiantuotantoon liittyvät investoinnit ja saa sähkölle tasaisen hinnan, kun taas tuottajalla on sähkölle aina ostaja. Lisäksi menetelmä mahdollistaa sopimusteknisesti uusiutuvan ja vähäpäästöisen sähkön ostamisen hetkellisestä tuotannosta riippumatta.³³

Alueella on kannattavaa tuottaa aurinkosähköä, kunhan aurinkosähköjärjestelmien tehot mitoitetaan optimaalisesti sähkönkulutuksen mukaan. Aurinkosähköntuotanto on sitä kannattavampaa, mitä enemmän alueella on 1-vuoroteollisuutta ja jäähdytystarvetta, sillä näiden energiankulutus kohtaa hyvin aurinkosähkön tuotantokäyrän kanssa. Aurinkopaneeli-investointeja tehdessä paneelin valmistajalla ja valmistusmaalla on kuitenkin hyvin suuri merkitys päästöjen kannalta.³⁴

Energian varastointi lisäisi alueen energiaomavaraisuutta ja parantaisi energiajärjestelmän joustavuutta. Varastointi alueella kannattaa toteuttaa lämpövarastoilla, koska sähkövarastot ovat vielä hiilineutraaliutta tavoiteltaessa kannattamaton vaihtoehto suurten materiaalipäästöjen³⁵ ja kustannusten³⁶ vuoksi. Energian varastointi voitaisiin toteuttaa esimerkiksi omana varastointiin tarkoitettuna porakaivokenttänä tai osana maalämpöpumppujärjestelmää, sillä alueen maaperä soveltuu tarkoitukseen hyvin. Toisaalta lämpöenergian varastoinnin ja lämmön myynnin kannattavuutta tulisi vertailla tarkemmin.

Alueelle sijoittuvat teollisuusyritykset tulisi mahdollisuuksien mukaan jo kaavoituksessa ryhmitellä siten, että hukkalämpöjen hyödyntäminen ja siirtäminen yritysten välillä on mahdollista. Yritysten välistä lämmönsiirtoa varten alueelle voidaan toteuttaa koko yrityspuiston kattava mikrolämpöverkko tai useampia yritysryhmittymäkohtaisia verkkoja. Mikrolämpöverkko mahdollistaisi hukkalämmön siirron lisäksi keskitetyn lämpöenergian tuotannon ja varastoinnin alueella, mikä laskisi näiden järjestelmien investointikustannuksia. Myös uusiutuvan sähkön tuotantoa ja kulutusta voitaisiin tehostaa toteuttamalla aurinkosähköjärjestelmä keskitetysti ja jakamalla sähkö mikroverkon kautta. Mikroverkkojen toimintaa voidaan edelleen parantaa keskitetyllä ohjausjärjestelmällä, jolla kulutusjoustoon soveltuvia prosesseja voitaisiin ohjata optimoidusti riippuen uusiutuvan energian tuotannosta ja energian hinnoista.

Koska yrityspuistoa rakennetaan vaiheittain rakennus ja yritysryhmittymä kerrallaan, tulisi rakennuksia ja niiden energiajärjestelmiä suunniteltaessa ottaa huomioon mahdollisuus liittää yritykset myöhemmin osaksi alueelle toteutettavaa mikroverkkoa. Myös energiajärjestelmää suunniteltaessa energiantuotannon ja varastoinnin skaalautuvuus tulisi huomioida, jotta yrityspuiston kasvava energiantarve saadaan täytettyä yritysten määrän kasvaessa. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi lisäämällä lämpöpumppuja, porakaivoja ja aurinkosähköjärjestelmiä alueelle vaiheittain. Kappaleessa 2.3.3. esitettyä laskentatapaa tulisi hyödyntää alueen energiajärjestelmän suunnittelussa eri energiajärjestelmävaihtoehtojen vertailemiseen, sillä se huomioi sekä kustannukset että päästöt osana samaa laskentaa.

³³ Jin, T., Shi, T. & Park, T. *The quest for carbon-neutral industrial operations: renewable power purchase versus distributed generation*. International Journal of Production Research 56:17 (2018) 5723-5735. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394593>

³⁴ Liu, F. & van den Bergh, J. *Differences in CO2 emissions of solar PV production among technologies and regions: Application to China, EU and USA*. Energy Policy 138 (2020) 111234. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111234>

³⁵ Vares, S., Häkkinen, T., Ketomäki, J., Shemeikka, J., Jung, N. *Impact of renewable energy technologies on the embodied and operational GHG emissions of a nearly zero energy building*. Journal of Building Engineering 22 (2019) 439–450. <https://doi.org/10.1016/j.job.2018.12.017>

³⁶ Wiryadinata, S., Morejohn, J. & Kornbluth, K. *Pathways to carbon neutral energy systems at the University of California, Davis*. Renewable Energy 130 (2019) 853-866. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.100>

4. Johtopäätökset ja yhteenveto

Hankkeen tavoitteena oli hiilineutraalin yrityspuiston yleissuunnittelu sekä asiakaskartoitus. Hankkeessa selvitettiin muun muassa yrityspuiston päästöt, hiilineutraalin energiajärjestelmän suunnittelun pääkohdat ja yrityspuistoon sijoittuvien yritysten tunnistamista.

Johtopäätöksinä hankkeesta voidaan todeta seuraavaa:

- Hiilineutraaliuden taserajaus ei ole yrityspuiston tapauksessa itsestään selvä. Rajaus vaikuttaa muun muassa siihen, miten yrityspuiston hiilineutraalius määritellään ja kenen vastuulla on kompensoida välttämättömät päästöt. Yksi mahdollinen rajaus on, että yrityspuiston rakentajan/omistajan vastuulla olisivat vain yritystilat ja niiden energiajärjestelmät sekä infrastruktuuri. Yrityspuistoon sijoittuvan yrityksen vastuulle jäisi tällöin yrityksen ydinliiketoiminnasta aiheutuvat päästöt sekä epäsuorat, kuten työmatka- ja logistiikkaliikenteestä aiheutuvat päästöt.
- Yrityspuiston kiinteistöjen energiajärjestelmä, jossa minimoidaan elinkaaren aikaiset kustannukset ja päästöt, on mahdollinen toteuttaa ostamalla uusiutuvaa sähköä (esim. tuuli, vesi), tuottamalla lämpö lämpöpumpuilla tai vähäpäästöisellä kaukolämmöllä ja tuottamalla sähköä itse aurinkovoimalalla.
- Kun energiajärjestelmä suunnitellaan mahdollisimman vähäpäästöiseksi, rakennusmateriaalit dominoivat elinkaarenaikaisia päästöjä. Tällöin käytönaikaiset päästöt eivät enää ole määräävässä asemassa koko elinkaarenaikaisissa päästöissä. Eri rakennusmateriaalien päästöjen vertailu tulee entistä tarpeellisemmaksi.
- Yrityspuistoon sijoittumisen kannalta potentiaalisia yrityksiä ovat jo kestävyyspanostaneet ja vahvaan kestävyyspanostukseen tähtäävät yritykset. Toisaalta yrityspuiston liiketoimintamallina voi myös olla tarjota pelkkien tilojen sijaan ns. valmista pakettia, johon kuuluisi myös yritysten ohjaaminen ja tukeminen kohti kestävämpää liiketoimintamallia. Tällöin myös sellaiset yritykset, joilla ei ole kyvykkyyksiä tavoitella vahvaa kestävyyttä, ovat potentiaalisia yrityspuistoon sijoittujia.
- Yrityspuisto mahdollistaa sinne sijoittuville yrityksille käyttökustannus- ja päästöhyötyjen lisäksi muunlaisia etuja. Yrityksillä on mahdollisuus hyötyä yhteistyöstä: yritysten välille voidaan löytää yhteistyökohteita niin resurssien jaon (kuten tilat, osaaminen), yhteisten palveluiden (ruokala, jätehuolto), energiajärjestelmän (toisen ylijäämä hukkalämpö voidaan käyttää toisen yrityksen lämmityksessä) tai liiketoiminnan kautta (esimerkiksi kun yritykset toimivat saman tuotteen logistiikkaketjun peräkkäisissä vaiheissa).

Tämän loppuraportin lisäksi hankkeessa tuotettiin seuraavat kirjalliset tuotokset.

- Tieteellinen artikkeli (julkaisematon). Vuorio Anna & Knuutila Mirika. *Developers to laggards – how strong sustainability is adopted via sustainable business models and by whom?*
- Tieteellinen artikkeli (julkaisematon). Ropo Mikko, Mustonen Helka, Knuutila Mirika, Luoranen Mika & Kosonen Antti. *Calculation method for the life cycle cost optimization of a carbon neutral building energy system – introducing carbon compensation and embodied emissions of renewable energy technologies.*
- Tieteellinen artikkeli (julkaisematon). Knuutila Mirika & Vuorio Anna. *Cost- and investment-oriented companies and differences in their motivation to execute energy efficiency improvements or adopt renewable energy technologies in their premises.*
- Lisäksi hankkeen ulkopuolella tuotettiin aiheeseen liittyvät diplomityöt: Helka Mustonen: *Minimizing the climate impact of a business park by applying building life cycle assessment* (2020) <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020062445638> ja Mikko Ropo: *Hiilineutraalin yrityspuiston skenaariopohjainen energiankulutus- ja tuotantomallinnus ja elinkaarikustannuslaskenta* (2020), <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020080748199>.

**LIITE I:
Energialaskennan lähtöarvot**

Lähtöarvo	Yksikkö	Toimisto	Liiketila	Teollisuus	Varasto
Iltanvaihto					
Ilmanvuotoluku	m ³ /(h·m ²)	4	4	4	4
Vuotoilmavirta	m ³ /s	0,15	0,09	0,40	0,24
Tuloilman tilavuusvirta	dm ³ /(s m ²)	2	2	3,475	1
Tuloilman keskim. tilavuusvirta	m ³ /s	4	2	17,375	3
Tuloilmavirta käytön ulkopuolella	dm ³ /(s·m ²)	0,5	0,5	0,5	0,5
Tuloilman lämpötila, minimi	°C	16	16	16	14
Tuloilman lämpötila, maksimi	°C	20	20	20	20
Sisäilman lämpötila käytössä	°C	21	21	21	17
Sisäilman lämpötila käytön ulkopuolella	°C	18	18	18	15
Jäähdytyksen rajalämpötila	°C	25	25	25	27
LTO:n hyötysuhde	-	0,8	0,8	0,8	0,8
c_p,ilma	kJ/kgK	1,01	1,01	1,01	1,01
rho_ilma	kg/m ³	1,2	1,2	1,2	1,2
Rakennuksen mitat					
Pohjan pinta-ala	m ²	1000	1000	5000	3000
pituus	m	50	50	50	50
leveys	m	20	20	100	60
korkeus (yhteensä)	m	9	7	9	7
Ikkunat & ovet / seinäpinta-ala	-	0,21	0,07	0,11	0,11
kerrosten lkm	-	2	1	1	1
U-arvot					
Seinät	W/m ² K	0,17	0,17	0,17	0,17
Katto	W/m ² K	0,09	0,09	0,09	0,09
Pohja	W/m ² K	0,16	0,16	0,16	0,16
Ikkunat	W/m ² K	1	1	1	1
Ovet	W/m ² K	1	1	1	1

Sisäiset lämpökuormat

Rakennuksen käyttöaika	-	7:00-18:00	8:00-21:00	7:00-18:00	7:00-18:00
Käyttöpäivät viikossa	-	5	6	5	5
Käyttöaika viikossa %	-	0,33	0,46	0,33	0,33
Valaistus	W/m ²	10	19	8	1,9
Laitteet	W/m ²	12	1	4	0,6
Ihmiset	W/m ²	5	2	2	0,4
n _i (käyttökapasiteetti)	-	0,65	1	0,5	0,5

Lämmitysteho auringosta

Ikkunapinta-ala Etelä	m ²	132,3	34,3	148,5	84,7
Ikkunapinta-ala Länsi	m ²	66,15	17,15	74,25	42,35
Ikkunapinta-ala Itä	m ²	66,15	17,15	74,25	42,35
säteilynläpäisykerroin	-	0,6	0,6	0,6	0,6
varjostuskerroin	-	0,75	0,75	0,75	0,75
aurinkosuojauksen vaikutus kesäkuukausilla	-	0,5	0,5	0,5	0,5

Lämmin käyttövesi

LKV vuodessa	m ³ /m ² a	0,1	0,065	0,1	0,1
LKV:n lämmitysenergia vuodessa	kWh/m ² a	5,25	3,4125	5,25	5,25

Sähkö

Sähkön ominaiskulutus kerrosalaa kohden	kWh/m ² a	43,2	69,3	170	49
---	----------------------	------	------	-----	----

