

# Peruskorjaushankkeen energiaoptimointi ja elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta

Timo Karvinen, Sarah Yan, Emma Väliaho ja Ulla Nykter



Kaupunkiympäristön aineistoja 2020:31

# **Peruskorjaushankkeen energiaoptimointi ja elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta**

Granlund Consulting Oy

Timo Karvinen, Sarah Yan, Emma Väliaho ja Ulla Nykter



LIFE17 IPC/FI/000002  
LIFE-IP CANEMURE



Kannen kuva | Reetta Huomo  
Julkaisija | Helsingin kaupunki / Kaupunkiympäristön  
toimiala ISBN | 978-952-331-879-3  
ISSN | 2489-4257

# Sisällysluettelo

|                                    |                                                                                  |    |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1                                  | Johdanto .....                                                                   | 2  |
| 2                                  | Tiivistelmä .....                                                                | 3  |
| 3                                  | Työn tavoite .....                                                               | 3  |
| 4                                  | Keskeiset lähtötiedot .....                                                      | 4  |
| 4.1                                | Rakennuksen ominaisuudet ja energiankulutus .....                                | 4  |
| 4.2                                | Työn suoritustapa .....                                                          | 5  |
| 4.3                                | Optimointitarkastelun vaihtoehdot.....                                           | 5  |
| 4.4                                | Elinkaarikustannus- ja hiilijalanjälkilaskennan lähtötiedot ja periaatteet ..... | 8  |
| 4.5                                | Tavoite-energiankulutuksen laskentaperiaatteet .....                             | 8  |
| 4.6                                | Tulosten esitystapa.....                                                         | 8  |
| 5                                  | Tulokset.....                                                                    | 9  |
| 5.1                                | Suositus valinnoiksi optimoinnin perusteella.....                                | 9  |
| 5.2                                | Optimointitulosten muuttujakohtainen analyysi .....                              | 15 |
| Liite 1 Elinkaaren hiilijalanjälki |                                                                                  |    |

## 1 Johdanto

Helsingin kaupunki on sitoutunut kantamaan vastuunsa ilmastomuutoksen hillinnässä Maailman toimivin kaupunki -kaupunkistrategiassaan. Helsingin tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2035 ja tämä edellyttää eritoten toimia rakentamisen ja rakennusten energiankäytössä ja –kulutuksessa. Helsingin päästövähennysten saavuttaminen vaatii toimenpiteitä sekä rakennettavassa että jo olemassa olevassa rakennuskannassa, joista jälkimmäisessä keskeistä on kannan lämmitysenergian kulutuksen vähentäminen.

Tämän selvitystyön kohteena on Helsingin kaupungin asunnot Oy:n (Heka) omistama vuokratalokohde Kontulankaari 11. Kohde koostuu kolmesta asuinrakennuksesta, jotka ovat 8-kerroksisia ja valmistuneet vuonna 1969-1970. Kohteessa on asuntoja yhteensä 288 kpl. Kohteessa on käynnistetty peruskorjaushanke, joka on selvitystyön aikaan hankesuunnitteluvaiheessa. Selvitystyö on laadittu konsulttityönä Granlund Consulting Oy:ssä, jossa projektipäällikkönä toimi Timo Karvinen. Lisäksi työstä vastasivat Sarah Yan, Emma Väliaho ja Ulla Nykter.

Selvitystyön tavoitteena on löytää energiaoptimoinnin avulla kustannustehokkaat energiansäästötoimenpiteet tutkittavassa rakennuksessa sovittujen reunaehtojen mukaisesti. Energiaoptimoinnin lisäksi peruskorjauksen hankesuunnitteluvaiheessa toteutettiin rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä (2019) -ohjeen mukaisesti (liite 1). Selvitystyön tuloksien avulla pyritään ohjaamaan Helsingin kaupunkia ja Hekaa energiatehokkaisiin ja vähähiilisiin toteutusratkaisuihin ja hyödyntämään uusiutuvia energianlähteitä kohteessa Kontulankaari 11. Rakennukset vastaavat toisiaan, joten energiaoptimointi ja elinkaaren hiilijalanjälkilaskelma toteutettiin yhdelle rakennukselle.

Kontulankaaren peruskorjaushanke on case-kohteena Kohti hiilineutraaleja kuntia ja maakuntia (CANEMURE) -hankkeessa, jonka tavoitteena on edistää vähähiilisiä hankintoja sekä näin tukea Hiilineutraali Helsinki 2035-toimenpideohjelman käytännön toteuttamista. CANEMURE LIFE17 IPC/FI/000002 on saanut rahoitusta Euroopan unionin Life-ohjelmasta.

## 2 Tiivistelmä

Raportissa on esitetty energiaoptimoinnin tulokset Heka Kontula Kontulankaari 11:n asuinkerrostaloille. Työssä käytettiin MOBO-monitavoiteoptimointia yhdistettynä rakennuksen energiasimulointimalliin. Optimoinnissa tarkasteltiin erilaisia päälämmitysvaihtoehtoja sisältäen kaukolämmön ja erilaiset lämpöpumppujärjestelmät sekä talotekniikan ja rakenteiden energiatehokkuutta parantavia muutoksia. Optimoinnissa pyrittiin minimoimaan energiankulutusta ja saman aikaisesti elinkaarikustannuksia ja hiilijalanjälkeä 25 vuoden ajalla. Työn tulokset toimivat energiatehokkuustoimenpiteiden valinnan ja päätöksenteon tukena sekä lähtötietona toimenpiteiden yksityiskohtaisemmalle hanke- ja toteutussuunnittelulle. Työn tulosten perusteella koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen tulo-/poistoilmanvaihdoksi yhdistettynä kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmään pienentää merkittävästi energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä kohtuullisilla elinkaarikustannuksilla.

## 3 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli löytää monitavoiteoptimoinnin avulla kustannustehokkaat energiansäästötoimenpiteet tutkittavassa rakennuksessa sovittujen reunaehtojen mukaisesti. Työn tuloksien avulla pyritään ohjaamaan Helsingin kaupunkia ja Hekaa energiatehokkaihin ja vähähiilisiin toteutusratkaisuihin ja hyödyntämään uusiutuvia energianlähteitä kohteessa Kontulankaari 11. Työn laskentamenetelmät ja tulokset keskittyvät rakennuksen energiatehokkuuden kokonaisuuteen, missä on otettu huomioon eri toimenpidevaihtoehtojen tekninen toteutettavuus, taloudellinen kannattavuus, huolto- ja ylläpito- ja kunnossapito- ja hiilijalanjälki ja energiatehokkuus. Energiankulutuksen ja hiilijalanjäljen optimoinnissa keskitytään todellisen käytön mukaiseen ostoenergiankulutukseen eikä E-luvun mukaiseen vakioituun käyttöön. Työn tulokset toimivat energiatehokkuustoimenpiteiden valinnan ja päätöksenteon tukena sekä lähtötietona toimenpiteiden yksityiskohtaisemmalle hanke- ja toteutussuunnittelulle.

Vertailut suoritettiin optimoimalla kaikki investointeja vaativat energiatehokkuusratkaisut MOBO-optimointityökalulla (VTT:n ja Aalto-yliopiston kehittämä optimointityökalu) siten, että optimointi suoritettiin päälämmitysjärjestelmäkohtaisesti. Näin saatiin selville kustannusoptimaaliset energiatehokkuuden parantamiskonseptit kaikille kohteisiin soveltuville päälämmitysmuodoille. Optimoinnissa verrattiin seuraavia päälämmitysjärjestelmiä keskenään:

### Poistoilmanvaihtojärjestelmä

1. Kaukolämpöjärjestelmä
2. Kaukolämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmä
3. Kaukolämpö- ja maalämpöpumppujärjestelmä
4. Maalämpö- ja sähkökattilajärjestelmä
5. Maalämpö-, poistoilmalämpöpumppu- ja sähkökattilajärjestelmä

### Tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmä

6. Kaukolämpöjärjestelmä
7. Kaukolämpö- ja maalämpöpumppujärjestelmä
8. Maalämpö- ja sähkökattilajärjestelmä

Optimoitujen energiajärjestelmien tuloksia verrattiin rakennusten nykykuntoon sellaisessa tilanteessa, missä rakennukseen ei tehdä mitään korjaus- tai muutostoimenpiteitä. Jos optimoitaviin rakennusosiin kohdistuu ylimääräisiä PTS-korjaussuunnitelman mukaisia toimenpiteitä, tulee nämä huomioida optimoinnin tuloksia tulkittaessa sekä korjaus- ja muutostöitä suunniteltaessa.

## 4 Keskeiset lähtötiedot

### 4.1 RAKENNUKSEN OMINAISUUDET JA ENERGIANKULUTUS

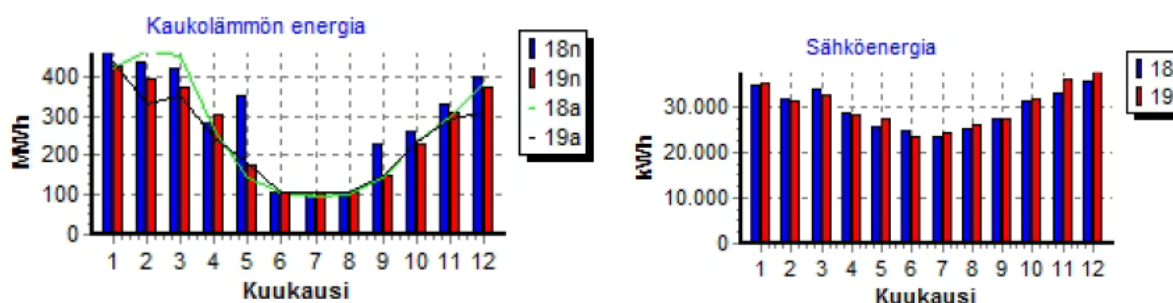
Työssä tutkittiin kerrostaloa Helsingin Kontulassa osoitteessa Kontulankaari 11. Kohteessa on kolme lähes identtistä kahdeksankerroksista taloa, joista tutkittiin yhtä. Energiasimulointimallissa huomioitiin seuraavat ominaisuudet:

- Arkkitehtuuri eli rakennuksen 3-ulotteinen malli, jota käytettiin energialaskentamallin pohjana.
- Rakentamisen ja LVI-tekniikan nykytilanteen mukaiset suunnitteluarvot, niiltä osin kuin ne olivat tiedossa. Muilta osin käytetty rakennuksen rakentamisvuoden aikaisia rakentamismääräyksiä ja asiantuntija-arvioita.

Rakennuksen perustiedot ja energiasimulointimallissa käytetyt tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakennuksen perustiedot ja arvioidut ominaisuudet.

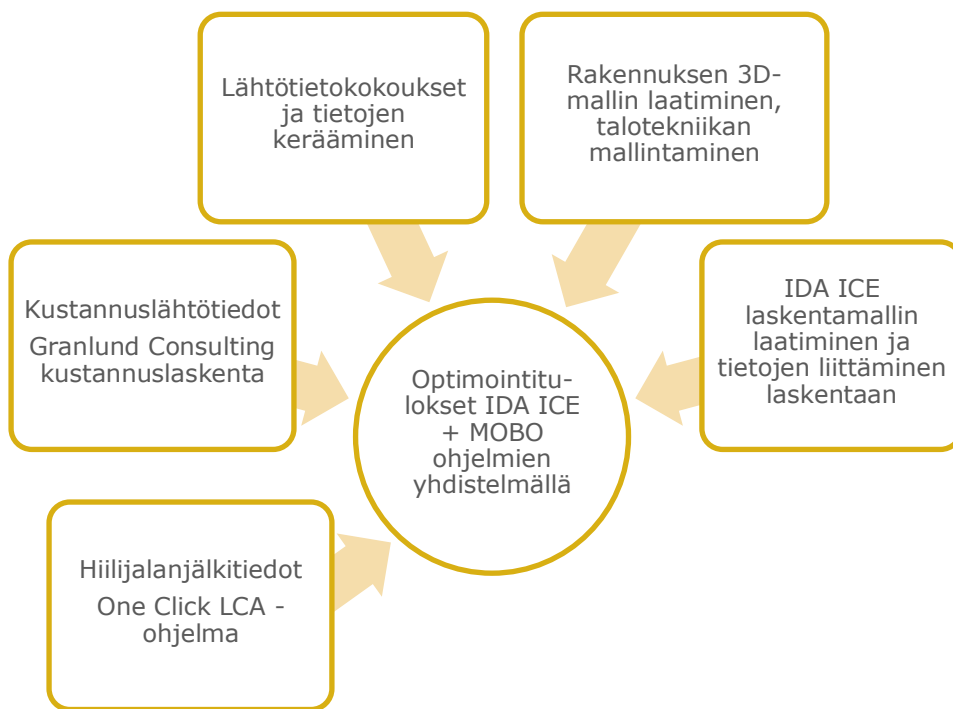
| Rakennuksen ominaisuus                          | Arvo                                     |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Rakennusvuosi                                   | 1971                                     |
| Rakennuksen kerrosala                           | ~9 217 m <sup>2</sup>                    |
| Rakennusten tilavuus                            | ~26 004 Rm <sup>3</sup>                  |
| Kaukolämmön normeerattu kulutus vuonna 2018     | 1017 MWh / 39,11 kWh/Rm <sup>3</sup>     |
| Kiinteistösähkön toteutunut kulutus vuonna 2018 | 120.9 MWh / 4,65 kWh/Rm <sup>3</sup>     |
| Ulkoseinien U-arvo                              | 0,29 W/m <sup>2</sup> K                  |
| Yläpohjan U-arvo                                | 0,47 W/m <sup>2</sup> K                  |
| Alapohjan U-arvo                                | 0,47 W/m <sup>2</sup> K                  |
| Ikkunoiden U-arvo                               | 2,1 W/m <sup>2</sup> K                   |
| Ovien U-arvo                                    | 2,2 W/m <sup>2</sup> K                   |
| Vuotoilmaeroin q <sub>50</sub>                  | 1,45 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) |
| Ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi                  | Koneellinen poistoilmanvaihto            |
| Ilmanvaihdon ilmavirta                          | 0,5 l/sm <sup>2</sup>                    |



Kuva 1. Kontulankaari 11 kaukolämmön ja kiinteistösähkön kulutus kaikissa kolmessa rakennuksessa kuukausitasolla vuosina 2018-2019.

## 4.2 TYÖN SUORITUSTAPA

Työ suoritettiin kuvan 2 mukaisesti keräämällä lähtötietoja ja tekemällä niistä energiasimulointiamalli IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmaan (IDA ICE). IDA ICE on simulointityökalu, jonka avulla voidaan simuloida dynaamisesti rakennusten sisäilmaolosuhteita, energiankulutusta sekä energiantuottojärjestelmiä. IDA ICE -ohjelmaa käytettiin MOBO-optimointiohjelmalla varsinaisten elinkaarikustannus- ja hiilijalanjälkioptimien määrittämiseen. Optimointianalyysissä suoritettiin noin 1 500 erillistä energiasimulointia. Lisäksi tehtiin useita kymmeniä erillislaskentoja tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi ja analysoimiseksi.



Kuva 2. Energiaoptimoinnin toteutuksen periaatekaavio.

## 4.3 OPTIMOINTITARKASTELUN VAIHTOEHDOT

Simuloinnissa tutkittiin taulukossa 2 esitettyjä energiatehokkuuden parantamisvaihtoehtoja, joiden yksityiskohdat ja kustannukset on esitetty osittain tarkemmin taulukossa 3. Kaikki soveltuvat muuttujat ovat kunkin energiantuottojärjestelmän kanssa yhtä aikaa käytössä laskennassa ja optimointiohjelma valitsee elinkaarikustannusten ja energiankulutuksien monitavoiteoptimin kannalta parhaat vaihtoehtoyhdistelmät. Kaikki tulokset perustuvat työn toteutusajankohtana käytössä olleisiin kustannustietoihin, joten tuloksia käytettäessä tulee kiinnittää huomiota mahdollisiin eroihin työssä käytettyjen kustannusten ja hankkeessa toteutuvien kustannusten välillä. Tarkasteltujen muuttujien hiilijalanjälkilaskennan tiedot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 2. Optimointilaskennan muuttujavaihtoehdot.

| Toimenpide                                     | Vaihtoehdot                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Yläpohjan lämmöneristysten parantaminen</b> | Yläpohjan lämmöneristystä parannetaan. Optimointitarkasteluissa U-arvo vaihteli välillä 0,09-0,47 W/m <sup>2</sup> K, missä suurin arvo vastaa pelkkää peruskorjausta. |
| <b>Aurinkosähköpaneelien asennus</b>           | Rakennuksen katolle asennetaan aurinkosähköpaneeleita 0-480m <sup>2</sup> , kiinteistösähkön tarpeen ylittävä osuus myydään ulkopuolelle.                              |

| Toimenpide                                                | Vaihtoehdot                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä                    | Rakennukseen asennetaan jätevedestä lämpöä talteen ottavat varaajat, joista kerätty lämpö siirretään suoraan käyttöön (lämpimän käyttöveden esilämmitys) tai lämpöpumppujärjestelmien lämmönlähteeksi lämmittämään lämmönkeruunestettä.                                                                                                          |
| Poistoilmalämpöpumpun asentaminen                         | Rakennukseen asennetaan poistoilmalämpöpumppujärjestelmä, joka tuottaa rakennukselle lämpöenergiaa.                                                                                                                                                                                                                                              |
| Maalämpöpumppujärjestelmän asentaminen                    | Rakennukseen asennetaan lämpöpumppujärjestelmä, joka tuottaa rakennukselle lämpöenergiaa. Lämmönlähteenä toimivat piha-alueelle porattavat energiakaivot.                                                                                                                                                                                        |
| Poistoilmanvaihdon muuttaminen tulo-/poistoilmanvaihdoksi | Poistoilmanvaihtojärjestelmä muutetaan tulo-/poistoilmanvaihdoksi. Energiansäästön lisäksi järjestelmä parantaa ilmanvaihtoa.                                                                                                                                                                                                                    |
| Lämmityspatterien uusiminen                               | Lämmityspatterit uusimalla huoneolosuhteista saadaan paremmat, mm. lämpötila saadaan talvella pysymään nykyvaatimusten mukaisena.                                                                                                                                                                                                                |
| Sähkölämmityskattilan asentaminen                         | Lämpöpumppujärjestelmien kanssa tutkitaan kaukolämmöstä irtaantumista, jolloin lisälämmöntarve tuotetaan sähkökattiloilla.                                                                                                                                                                                                                       |
| Lämmityspatteriverkoston älykäs säätö                     | Rakennuksen lämmityspatterilämmitysverkoston säätö muutetaan kaukolämpöjärjestelmässä älykkääksi säädöksi keskitetyllä ratkaisulla, jossa lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa säädetään huoneisiin asennettavien lämpötila-anturien painotetun keskiarvon perusteella. Tästä tehtiin erillinen tarkastelu, jota ei sisällytetty optimointiin. |

Taulukko 3. Tarkasteltavien muuttujien investointikustannukset optimoinnissa, hinnat ilman arvonlisäveroa.

| Toimenpide                                    | Toimenpidevaihtoehdot                                                                                                                          | Kustannukset                                                                                |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yläpohjan lämmöneristyksen parantaminen       | Peruskorjaus<br>Peruskorjaus + lisäeristys 200 mm<br>Peruskorjaus + lisäeristys 280 mm<br>Peruskorjaus + lisäeristys 400 mm                    | 45 €/m <sup>2</sup><br>121 €/m <sup>2</sup><br>128 €/m <sup>2</sup><br>139 €/m <sup>2</sup> |
| Aurinkosähköjärjestelmä                       | Aurinkosähköjärjestelmä asennuksineen, aurinkopaneeleja 0-480 m <sup>2</sup> . Piikkiteho 84 000 Wp suurimmalla pinta-alalla. Hyötysuhde 17 %. | ~1,1 - 1,5 €/Wp järjestelmän koon mukaan                                                    |
| Jäteveden lämmöntalteenotto                   | Rakennukseen asennetaan varaajajärjestelmä, 2 kpl Ecowec varaajia                                                                              | 90 000 €                                                                                    |
| Maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmä | Maalämpö- ja poistoilmapumppujärjestelmän                                                                                                      | 1 800 -4 200 €/kW teholuokan mukaan                                                         |

| Toimenpide                             | Toimenpidevaihtoehdot                                                                                                                     | Kustannukset           |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|                                        | asentaminen,<br>lämpöpumppujen lämmitysteho 90-270 kW                                                                                     |                        |
| Lämmityspatterien uusiminen            | Lämmityspatterien uusiminen termostaateineen                                                                                              | 154 000 €              |
| Sähkökattila                           | Sähkökattilan lisääminen 100-300 kW                                                                                                       | 35 000 - 55 000 €      |
| Tulo-<br>/poistoilmanvaihtojärjestelmä | Ilmanvaihdon toiminnan muutos ja siihen liittyvät työt ja laitteet. Lämmöntalteenoton hyötysuhde 73 %. SFP-luku 1,8 kW/m <sup>3</sup> /s. | 90.4 €/hm <sup>2</sup> |
| Lämmityspatteriverkoston älykäs säätö  | Keskitetty säätöjärjestelmä                                                                                                               | 30 000 € + 400 €/kk    |

Sähkölaitteiden tehon kasvatus ja sähkökeskusten mahdollista uusintaa ei ole huomioitu kustannuksissa.

*Taulukko 4. Tarkasteltavien muuttujien hiilijalanjälki 25 vuoden elinkaarella.*

| Toimenpide                                     | Toimenpidevaihtoehdot                                                                                                       | Hiilijalanjälki                                                                                                                 |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yläpohjan lämmöneristyksen parantaminen        | Peruskorjaus<br>Peruskorjaus + lisäeristys 200 mm<br>Peruskorjaus + lisäeristys 280 mm<br>Peruskorjaus + lisäeristys 400 mm | 0<br>23,6 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup><br>33,0 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup><br>47,1 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> |
| Aurinkosähköjärjestelmä                        | Aurinkosähköjärjestelmä asennuksineen, aurinkopaneeleja 0-480 m <sup>2</sup>                                                | 180,2 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>                                                                                         |
| Jäteveden lämmöntalteenotto                    | Rakennukseen asennetaan varaajajärjestelmä, 2 kpl Ecowec                                                                    | 1424 kgCO <sub>2</sub>                                                                                                          |
| Maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppu-järjestelmä | Maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmän asentaminen, lämpöpumppujen lämmitysteho 90-270 kW                           | 28 000 kgCO <sub>2</sub> per yksi 90 kW lämpöpumppu                                                                             |
| Lämmityspatterien uusiminen                    | Lämmityspatterien uusiminen termostaateineen matalammalle lämpötilatasolle                                                  | 118 000 kgCO <sub>2</sub>                                                                                                       |
| Sähkökattila                                   | Sähkökattilan lisääminen 100-300 kW                                                                                         | 2 700 kgCO <sub>2</sub> /100 kW                                                                                                 |
| Tulo/poistoilmanvaihtojärjestelmä              | Ilmanvaihdon toiminnan muutos ja siihen liittyvät työt ja laitteet                                                          | 10 000 kgCO <sub>2</sub>                                                                                                        |

#### 4.4 ELINKAARIKUSTANNUS- JA HIILIJALANJÄLKILASKENNAN LÄHTÖTIEDOT JA PERIAATTEET

Optimoinnissa tarkasteluajanjaksona käytettiin 25 vuotta, koska tätä pidempiä investointien takaisinmaksuaikoja ei yleensä haluta ja tämä ajanjakso on myös usean teknisen järjestelmän eliniän suuruusluokka.

Elinkaarikustannus- ja hiilijalanjälkilaskennassa käytettiin lisäksi seuraavia lähtötietoja:

- Kaikki selvitystyössä ja raportissa esitetyt kustannukset ovat ilman arvonlisäveroa.
- Laskentakorko oli 4 %.
- Sähkön hinta 120 €/MWh (sis. energia- ja siirtomaksut sekä sähköveron), Helenin vuoden 2020 hinnaston mukaisesti. Sähkön hintakomponenttien hinnankorotus edellisvuoteen nähden oli laskelmissa 2 %.
- Kaukolämpöenergian energia-, perus- ja tehomaksut Helenin vuoden 2020 kaukolämpöhinnaston mukaan, 28-53 €/MWh kausivaihtelun mukaisesti. Kaukolämmön kustannusten hinnankorotus edellisvuoteen nähden oli laskelmissa 2 %.
- Kaukolämmön hiilijalanjäljelle käytettiin keskimääristä päästökerrointa 84 g/kWh ja sähköenergialle 58 g/kWh (Lähde: Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä, Ympäristöministeriö, 2019).
- Kiinteistösähkön kulutuksen yli jäävä aurinkosähkön tuotanto myydään hinnalla 64,3 €/MWh, mikä on sähköenergian hinta (ilman siirtomaksua) Helenin vuoden 2020 hinnaston mukaan.
- Esitetyt tulokset ja kustannukset koskevat nimenomaan optimoinnin muuttujina olevia toimenpiteitä. Tuloksissa esitetyt investointikustannukset eivät siis vastaa kyseisen rakennuksen kaikkien PTS-korjaustoimenpiteiden sisältämiä kustannuksia.
- Elinkaarikustannukset on määritetty nykyarvomenetelmällä lisäämällä energiatehokkuustoimenpiteiden investointeihin tarkasteluajanjakson aikana toteutuvien energia- ja huoltokustannusten kassavirtojen nykyarvot.

#### 4.5 TAVOITE-ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTAPERIAATTEET

Rakennuksen energiaoptimointitarkasteluissa tutkittiin mahdollisuuksia pienentää rakennusten todelliseen käyttöön perustuvaa tavoite-energiankulutusta. Rakennuksen tavoite-energiankulutuslaskelmissa huomioitiin kiinteistösähkö, sekä lämmitysenergian kulutus, johon sisältyy ilmanvaihdon, lämmityspatteriverkoston ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergia. Lämmintä käyttövettä oletettiin kuluvan 130 l/asukas/vrk perustuen mitattuihin kulutustietoihin. Rakennuksen sisäisten lämpökuormien käyttöprofiilit on asetettu vastaamaan tyypillisiä asuinkerrostalojen käyttöaikatauluja. Rakennuksessa asuvien henkilöiden lukumäärä oli 190 perustuen Hekalta saatuihin tietoihin. Valaistuksen sekä LVI- ja kuluttajalaitteiden lämpökuormat vastaavat aikaisemmissa tutkimuksissa kyseiselle rakennustyyppille määritettyjä keskimäärisiä lämpökuormia. Rakennuksen energialaskentamalli kalibroitiin lähtötilanteen osalta vastaamaan rakennuksen mitattuja energiankulutuksia vuosien 2018-2019 ajalta ja lämmityksen mitoitus-tehoja ennen optimointitarkasteluiden suorittamista. Tulevaisuudessa mahdollisesti muuttuvia käyttöprofiileja ja kulutuksen muutosta, kuten sähköautojen latausta, ei ole huomioitu.

#### 4.6 TULOSTEN ESITYSTAPA

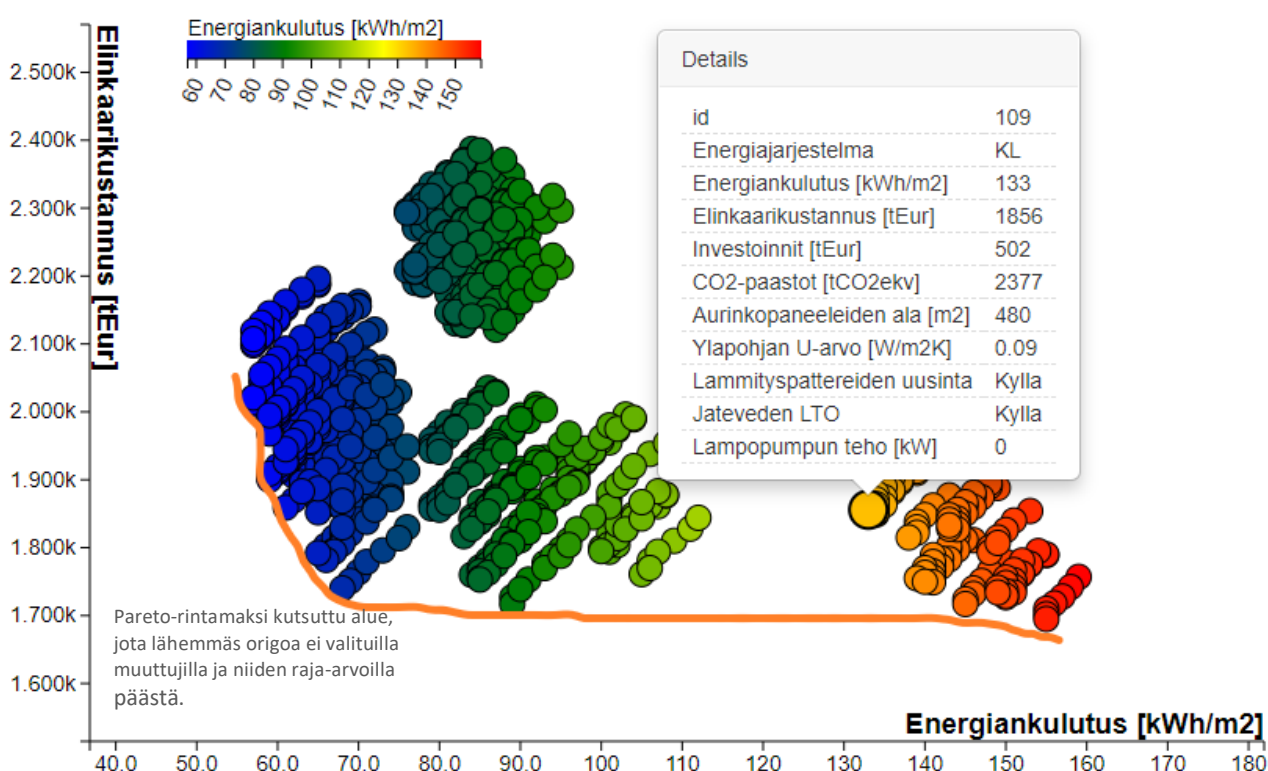
Laskentatulokset on esitetty kuvaajina ja taulukoituna. Kuvaajat on esitetty pistekuvaajina, joissa jokainen piste kuvastaa yhtä laskettua rakennusvaihtoehtoa. Nämä ratkaisupisteet on sijoitettu akseleille niiden elinkaarikustannusten nettonykyarvon, vuotuisen ostoenergian kulutuksen, investointikustannusten tai hiilijalanjäljen suhteen akselien nimien mukaisesti. Jokaisella ratkaisulla on rakennuksen toimenpidevaihtoehtojen suhteen oma uniikki kokonaisuus. Rakennuksen tarkasteluajanjakson (25 vuoden) elinkaarikustannusten nettonykyarvot on määritetty simulointiohjelmalla kullekin pisteelle kokonaissummana. Kuvaajista ei tämän takia pysty näkemään elinkaarikustannusten muodostumista vuosien mittaan.

Kuvan 3 selostuslaatikossa on havainnollistettu yhden ratkaisun ominaisuuksia, ja siitä on luettavissa mm. elinkaarikustannusten nettonykyarvo 1 856 t€, yläpohjan U-arvo 0,09 W/m<sup>2</sup>K ja aurinkopaneelien pinta-ala 480 m<sup>2</sup>. Kaikkien tulosten ominaisuudet voidaan esittää myös värikoodein, kuten kuvassa 3 on tehty energiankulutuksen suhteen.

Optimoinnissa pyrittiin minimoimaan elinkaarikustannuksia ja hiilijalanjälkeä 25 vuoden ajanjaksolla sekä vuotuista

ostoenergiankulutusta, jolloin pyritään löytämään rakennuksen kokonaisratkaisu, jonka piste on mahdollisimman lähellä kuvan 3 origoa. Tällöin päädytään lopulta tilanteeseen, jossa energiankulutuksen pienentäminen johtaa välttämättä elinkaarikustannusten nousuun, koska kustannus- ja energiatehokkuus ovat keskenään osittain ristiriitaisia tavoitteita. Tällöin muodostuu kuvassa 3 esitetty ns. Pareto-rintama, joka määrittää kuinka lähelle akselien leikkauskohdassa olevaa nollapistettä voidaan rakennukselle määritellyillä muuttujilla ja niiden raja-arvoilla päästä. Näitä Pareto-rintamalla olevia ratkaisupisteitä kutsutaan myös energiaoptimoinnin optimiratkaisuiksi.

Kuvassa 3 oleva Pareto-rintama on jakaantunut kahteen osaan, mikä johtuu energiantuotantomuodosta. Oikealla oleva pisteparvi edustaa kaukolämpöjärjestelmää ja vasemmalla, pienemmän energiankulutuksen alueella olevat pisteparvet kuvaavat eri lämpöpumppujärjestelmiä. Valittu piste ei edusta optimaalista ratkaisuvaihtoehtoa, koska pienemmillä elinkaarikustannuksilla päästään pienempään energiankulutukseen, kun lisätään lämpöpumppujärjestelmä kaukolämmön rinnalle.



Kuva 3. Kaikki yksittäiset yhden vuoden energiasimuloinnit poistoilmanvaihtojärjestelmälle. Vaaka-akselilla on rakennuksen energiankulutus pinta-alayksikköä kohti (ilman asukassähköä) ja pystyakselilla on laskettu elinkaarikustannusten nettonykyarvo 25 vuoden ajalle. Kuvassa on esitetty satunnainen ei-optimaalinen ratkaisu ja sen ominaisuudet tulosten tulkintatavan havainnollistamiseksi.

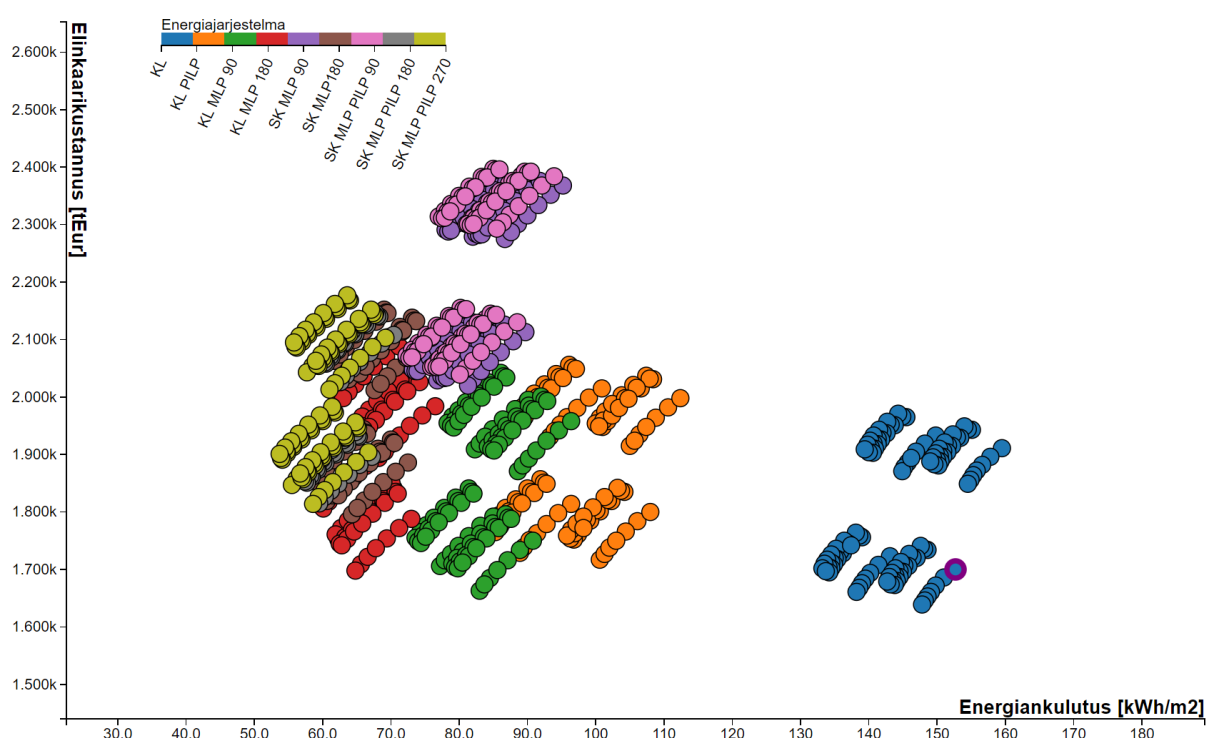
## 5 Tulokset

### 5.1 SUOSITUS VALINNOIKSI OPTIMOINNIN PERUSTEELLA

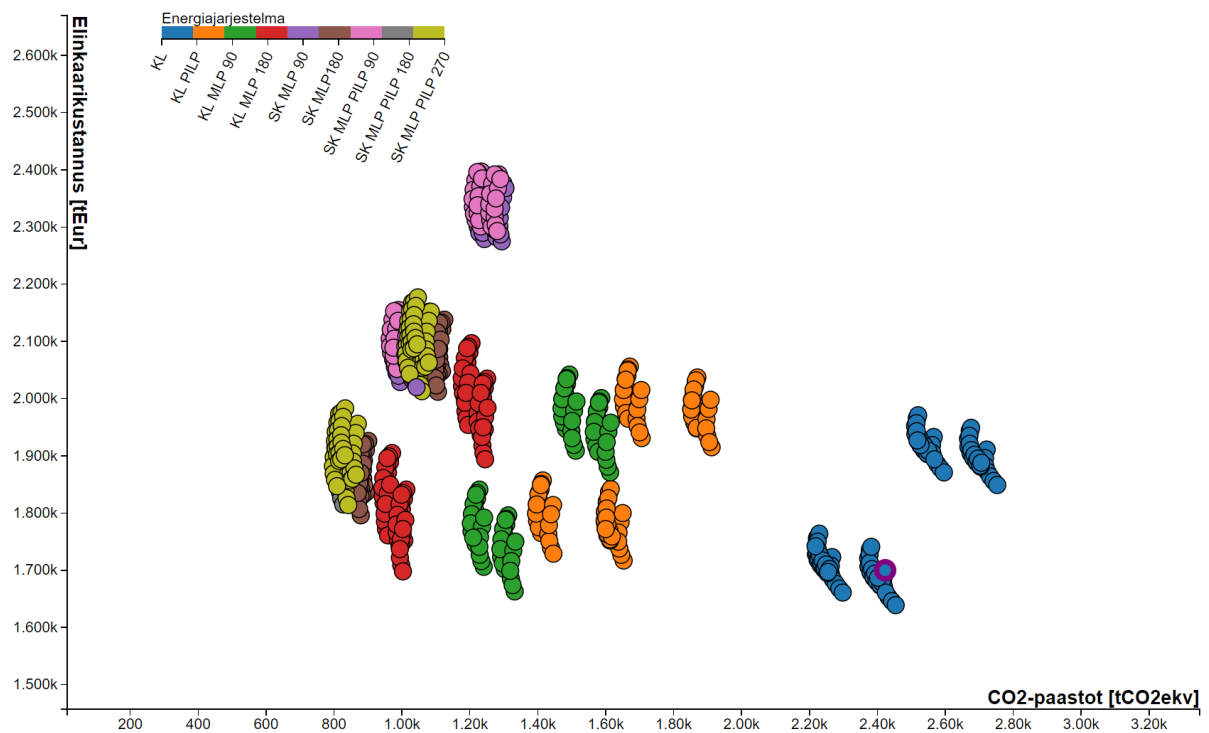
Kuvissa 4-7 on esitetty kaikki tulokset sekä poisto- että tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmälle. Kuvista nähdään, että ilmanvaihtojärjestelmän muutos pienentää energiankulutusta (kuvat 4 ja 6) merkittävästi ja samalla elinkaarikustannukset kasvavat maltillisesti. Sama trendi nähdään, kun energiankulutuksen sijaan vaaka-akselina on CO2-päästöt (kuvat 5 ja 7). Tutkituilla ratkaisuilla energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä on mahdollisuus leikata jopa

neljäsosaan nykytilanteeseen verrattuna. Suositelluksi ratkaisuksi päätettiin esittää tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmää, jossa on maalämpöjärjestelmä kaukolämmön rinnalla ja lämpöpumpun teho 90 kW. Tämä ratkaisu on hyvä kompromissi energiatehokkuuden ja hiilijalanjäljen näkökulmasta ja voidaan toteuttaa ilman merkittävää kasvua elinkaarikustannuksissa. Lisäksi järjestelmä parantaa asuntojen ilmanvaihtoa.

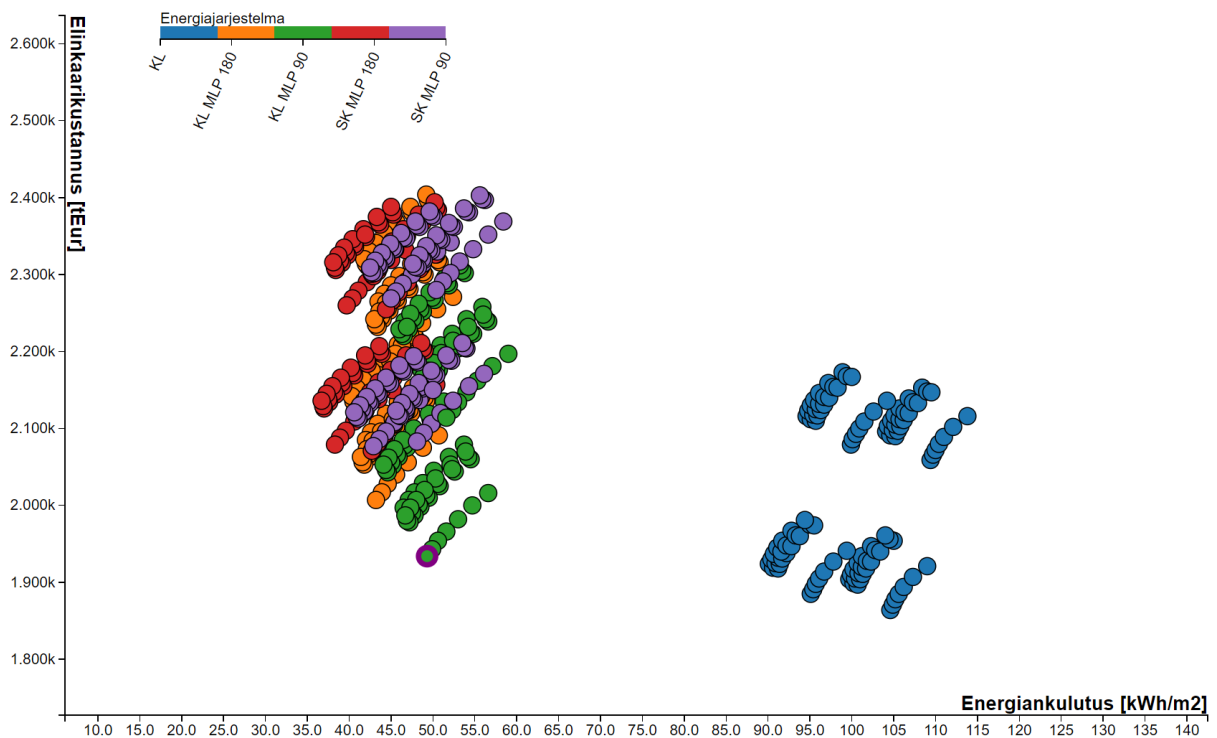
Poistoilmanvaihtojärjestelmään yhdistetyillä energiantuotantoratkaisuilla (kuvat 4 ja 5) energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä ei saada pienennettyä yhtä paljon kuin tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmällä (kuvat 6 ja 7). Poistoilmanvaihtojärjestelmässä pienin energiankulutus saavutetaan maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmällä (teho 270 kW) yhdistettynä sähkökattilaan. Tässä ratkaisussa maalämpökaivoja tulisi kuitenkin niin paljon, että niitä ei todennäköisesti saada mahtumaan tontille (yli 20). Lisäksi elinkaarikustannus kasvaa merkittävästi sähkökattilaratkaisussa. Myös tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmässä sähkökattila yhdistettynä suureen maalämpökenttään antaa pienimmän energiankulutuksen, mutta edellä mainituin syin ei ole perusteltavissa valittavaksi vaihtoehdoksi.



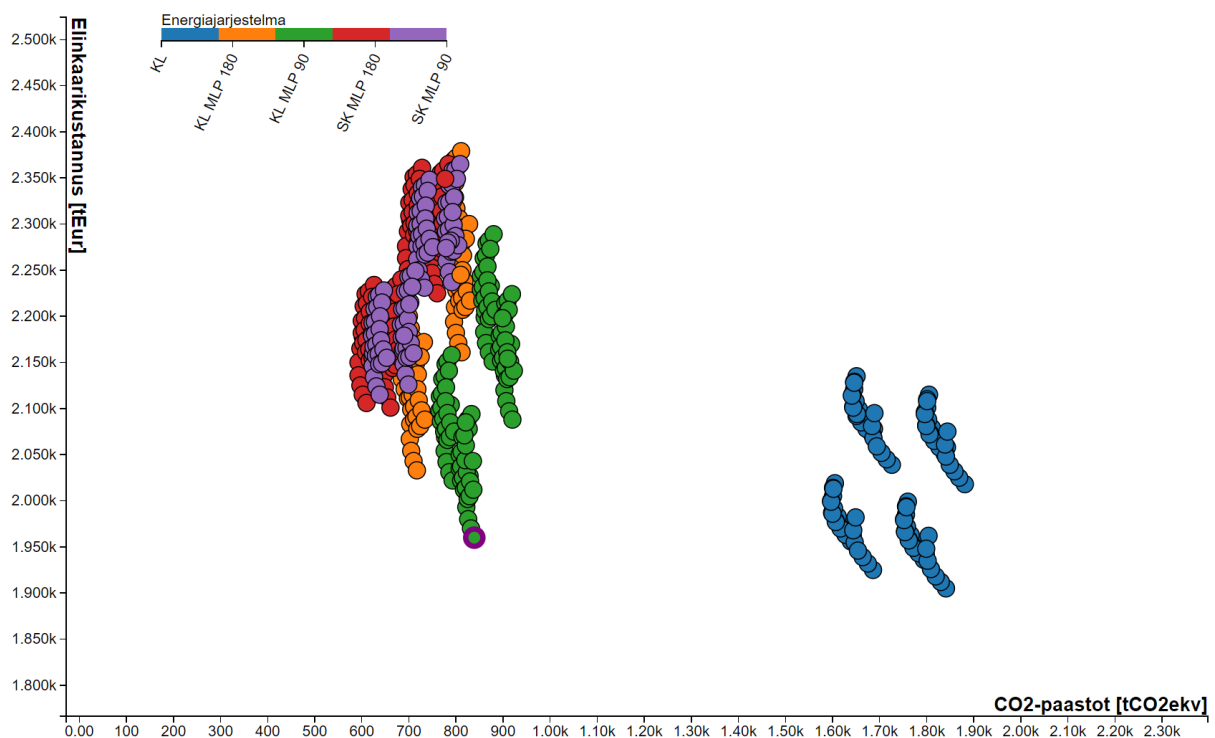
Kuva 4. Kaikki ratkaisupisteet poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Vaaka-akselilla on rakennuksen energiankulutus pinta-alayksikköä kohti (ilman asukassähköä) ja pystyakselilla on laskettu elinkaarikustannusten nettonykyarvo 25 vuoden ajalle. Referenssiratkaisuna on nykyinen järjestelmä, joka on merkitty violetilla pisteparven oikeassa laidassa.



Kuva 5. Kaikki ratkaisupisteet poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Vaaka-akselilla on CO<sub>2</sub>-päästöt (ilman asukassähköä) ja pystyakselilla on laskettu elinkaarikustannusten nettonykyarvo 25 vuoden ajalle. Referenssiratkaisuna on nykyinen järjestelmä, joka on merkitty violetilla pisteparven oikeassa laidassa.



Kuva 6. Kaikki ratkaisupisteet tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Vaaka-akselilla on rakennuksen energiankulutus pinta-alayksikköä kohti (ilman asukassähköä) ja pystyakselilla on laskettu elinkaarikustannusten nettonykyarvo 25 vuoden ajalle. Suositeltu ratkaisu on ympyröity violetilla värillä.



Kuva 7. Kaikki ratkaisupisteet tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Vaaka-akselilla on CO<sub>2</sub>-päästöt (ilman asukassähköä) ja pystyakselilla on laskettu elinkaarikustannusten nettonykyarvo 25 vuoden ajalle. Suositeltu ratkaisu on ympyröity violetilla värillä.

Suosittelut talotekniikan ja rakenteiden toimenpiteet ovat:

- Muutetaan ilmanvaihtojärjestelmä tulo-/poistoilmanvaihdoksi
- Asennetaan maalämpöjärjestelmä, jossa on 12 kpl 300 m syvää lämpökaivoa, lämpöpumpun teho 90 kW
- Yläpohjalle tehdään vain peruskorjaus
- Aurinkopaneeleita asennetaan 480 m<sup>2</sup>
- Ei jäteveden lämmöntalteenottoa
- Lämmityspattereita ei uusita

Toimenpiteitä ja muuttujien vaikutuksia tuloksiin analysoidaan tarkemmin luvussa 4.2.

Pienimpään energiankulutukseen ja hiilijalanjälkeen päästäisiin järjestelmällä, jossa olisi suurempi maalämpökenttä sekä korvaamalla kaukolämpö sähkökattilalla, mutta näissä vaihtoehtoissa investointikustannus nousee korkeammaksi ja edellä suositellulla järjestelmällä saadaan jo merkittävät säästöt aikaan energiankulutuksessa ja hiilijalanjäljessä nykytilanteeseen verrattuna. Lisäksi rakennuksen tontille voisi olla hankalaa mahdollistaa suuremmassa lämpöpumppujärjestelmässä tarvittavaa määrää porakaivoja. Tontilla joissakin kohdissa maan pinnassa oleva kallio ja sen louhiminen voi myös aiheuttaa rajoitteita. Porakaivojen pienempää määrää voidaan kompensoida lisäämällä niiden syvyyttä.

Suosittelulla ratkaisulla on nykytilanteeseen verrattuna:

- 230 t€ suurempi elinkaarikustannusten nettonykyarvo
- 103 kWh/m<sup>2</sup> pienempi vuotuinen ostoenergiankulutus

- 1 000 t€ suuremmat investointikustannukset
- 1 620 tCO<sub>2</sub>ekv pienempi hiilijalanjälki

Kaukolämmön ja sähkönkäytön huipputehot nykytilanteessa ja optimiratkaisussa ovat laskentamallin perusteella seuraavat:

- Nykytilanne
  - Kaukolämpö: 508 kW
  - Sähköteho: 127 kW
- Optimiratkaisu
  - Kaukolämpö: 383 kW
  - Sähköteho: 150 kW

Optimiratkaisussa aurinkosähköpaneelien maksimi piikkiteho on 84 kW.

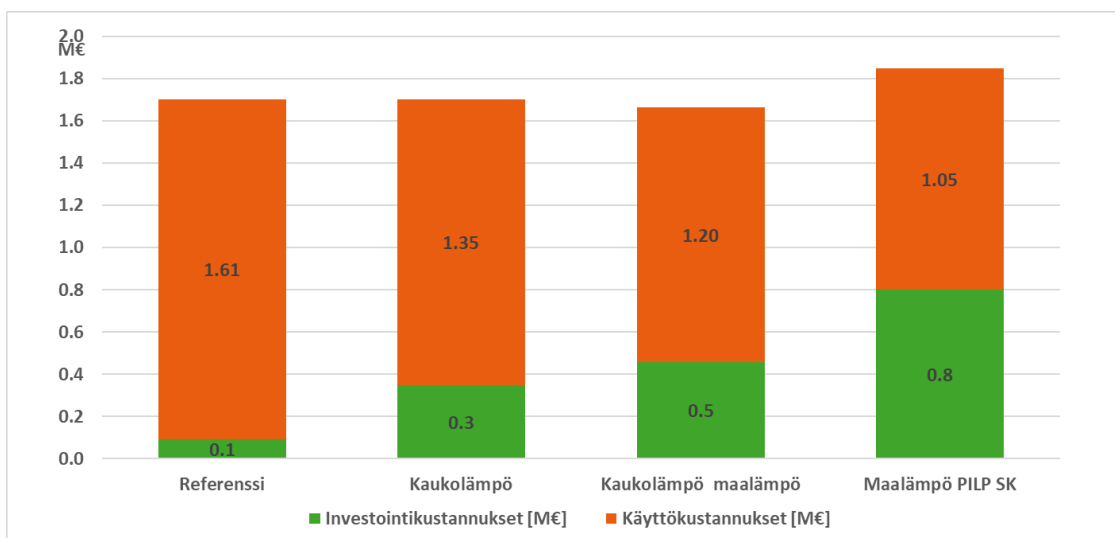
Optimoinnissa on käytetty kaukolämpö- ja sähköenergian vuotuisena hinnannousuna 2 % vuodessa. Mikäli sähkön hintakehitys tulee olemaan hitaampaa verrattuna kaukolämpöön, tulevat ratkaisut, joissa käytetään sähkökattilaa, elinkaarikustannuksiltaan edullisemmaksi. Jos hintakehitys tulee olemaan toisinpäin, kaukolämpöön osittain perustuvat ratkaisut tulevat olemaan edullisempia.

Pelkällä kaukolämpöjärjestelmällä ei kyetä saavuttamaan yhtä merkittäviä energiankulutussäästöjä kuin lämpöpumppujärjestelmillä. Ennen maalämpöjärjestelmän hankintaa tulee vielä selvittää rakennusvalvonnasta, onko kohteeseen mahdollista porata maalämpökaivoja pohjavesialueiden tai tulevaisuuden maanalaiseen rakentamiseen liittyvien rajoitteiden vuoksi. Näistä rajoitteista kohteessa ei ollut vielä tietoa raportin kirjoitushetkellä.

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty kunkin energiajärjestelmän energiatehokkuuden ja elinkaarikustannusten suhteen parhaiden optimiratkaisujen ominaisuudet. Käytönaikaisiin kustannuksiin sisältyy energiakustannusten lisäksi huoltotoimenpiteet, mm. lämpöpumppujen vuosihuolto, jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston huolto, lämpöpumppujen kompressorien vaihto 15 vuoden kohdalla ja lisäksi aurinkopaneelien invertterien uusinta 15 vuoden jälkeen, mutta näiden toimenpiteiden kustannusvaikutus on kokonaisuuteen nähden pieni. Kuvissa 8 ja 9 on vertailu ratkaisuiden kustannuksia. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat suuremmat ja vastaavasti käyttökustannukset pienemmät johtuen pienemmästä energiankulutuksesta.

*Taulukko 5. Nykytilanteen ja päälämmitysjärjestelmien optimiratkaisut poistoilmanvaihtojärjestelmässä.*

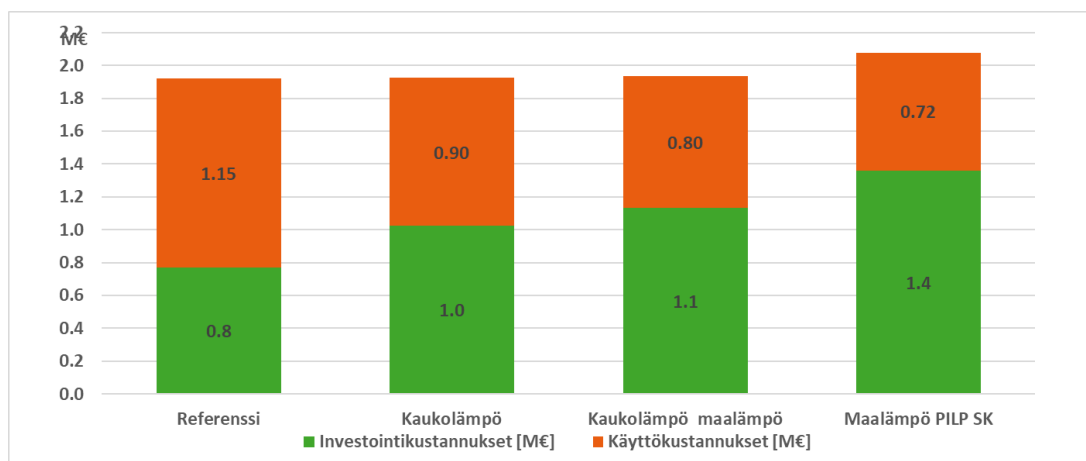
| Muuttuja                                                     | Referenssi | Kaukolämpö | Kaukolämpö<br>maalämpö | Maalämpö<br>PILP SK |
|--------------------------------------------------------------|------------|------------|------------------------|---------------------|
| Elinkaarikustannukset [M€]                                   | 1.7        | 1.7        | 1.7                    | 1.8                 |
| Investointikustannukset [M€]                                 | 0.1        | 0.3        | 0.5                    | 0.8                 |
| Ostoenergiankulutus [kWh/m <sup>2</sup> a]                   | 152.7      | 133.2      | 83.0                   | 55.5                |
| Kaukolämmön kulutus [kWh/m <sup>2</sup> a]                   | 142.9      | 133.4      | 60.1                   | 0.0                 |
| Sähköenergian kulutus [kWh/m <sup>2</sup> a]                 | 16.6       | 11.5       | 28.5                   | 61.0                |
| Käyttökustannukset [M€]                                      | 1.61       | 1.35       | 1.20                   | 1.05                |
| Kokonais CO <sub>2</sub> -päästöt [tCO <sub>2</sub> ekv/25v] | 2422.8     | 2259.4     | 1332.4                 | 808.7               |
| Yläpohjan U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]                        | 0.47       | 0.09       | 0.47                   | 0.47                |
| Aurinkosähköjärjestelmän koko [m <sup>2</sup> ]              | 0          | 480        | 480                    | 480                 |
| Jäteveden lämmöntalteenotto                                  | Ei         | Kyllä      | Ei                     | Ei                  |
| Lämmityspatterien uusinta                                    | Ei         | Ei         | Ei                     | Ei                  |
| Lämpöpumpun koko [kW]                                        | 0          | 0          | 90                     | 270                 |



Kuva 8. Nykytilanteen ja päälämmitysjärjestelmien optimiratkaisujen kustannusten vertailua poistoilmanvaihtojärjestelmässä.

Taulukko 6. Referenssiratkaisun ja päälämmitysjärjestelmien optimiratkaisut tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmässä.

| Muuttuja                                                                 | Referenssi | Kaukolämpö | Kaukolämpö<br>maalämpö | Maalämpö<br>sähkökattila |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------------------|--------------------------|
| Elinkaarikustannukset [M€]                                               | 1.9        | 1.9        | 1.9                    | 2.1                      |
| Investointikustannukset [M€]                                             | 0.8        | 1.0        | 1.1                    | 1.4                      |
| Ostoenergiankulutus [kWh/m <sup>2</sup> a]                               | 109.0      | 90.1       | 49.3                   | 38.3                     |
| Kaukolämmön kulutus [kWh/m <sup>2</sup> a]                               | 99.3       | 89.9       | 25.5                   | 0.0                      |
| Sähköenergian kulutus [kWh/m <sup>2</sup> a]                             | 14.4       | 10.0       | 26.1                   | 44.4                     |
| Käyttökustannukset [M€]                                                  | 1.15       | 0.90       | 0.80                   | 0.72                     |
| Kokonais CO <sub>2</sub> -päästöt [tCO <sub>2</sub> <sub>ekv</sub> /25v] | 1725.6     | 1570.1     | 802.3                  | 592.9                    |
| Yläpohjan U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]                                    | 0.47       | 0.09       | 0.47                   | 0.47                     |
| Aurinkosähköjärjestelmän koko [m <sup>2</sup> ]                          | 0          | 480        | 480                    | 480                      |
| Jäteveden lämmöntalteenotto                                              | Ei         | Kyllä      | Ei                     | Kyllä                    |
| Lämmityspatterien uusinta                                                | Ei         | Ei         | Ei                     | Ei                       |
| Lämpöpumpun koko [kW]                                                    | 0          | 0          | 90                     | 180                      |



Kuva 9. Referenssiratkaisun ja päälämmitysjärjestelmien optimiratkaisujen kustannusten vertailua tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmässä.

Vertailun vuoksi mainittakoon optimiratkaisulle laskettu **E-luku**, mikä on **100 kWh<sub>e</sub>/m<sup>2</sup>a**. Ero todelliseen ostoenergiankulutukseen johtuu siitä, että E-luvun laskenta perustuu vakioituun käyttöön ja eri energiamuotojen painotuksiin, sisältää asukassähkön ja lisäksi E-luvun laskennassa huomioidaan vain ympäristöstä saatava energia eikä sisäistä lämmönkierrätystä (Energiatodistusopas 2018, Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen, 1.11.2018, Ympäristöministeriö).

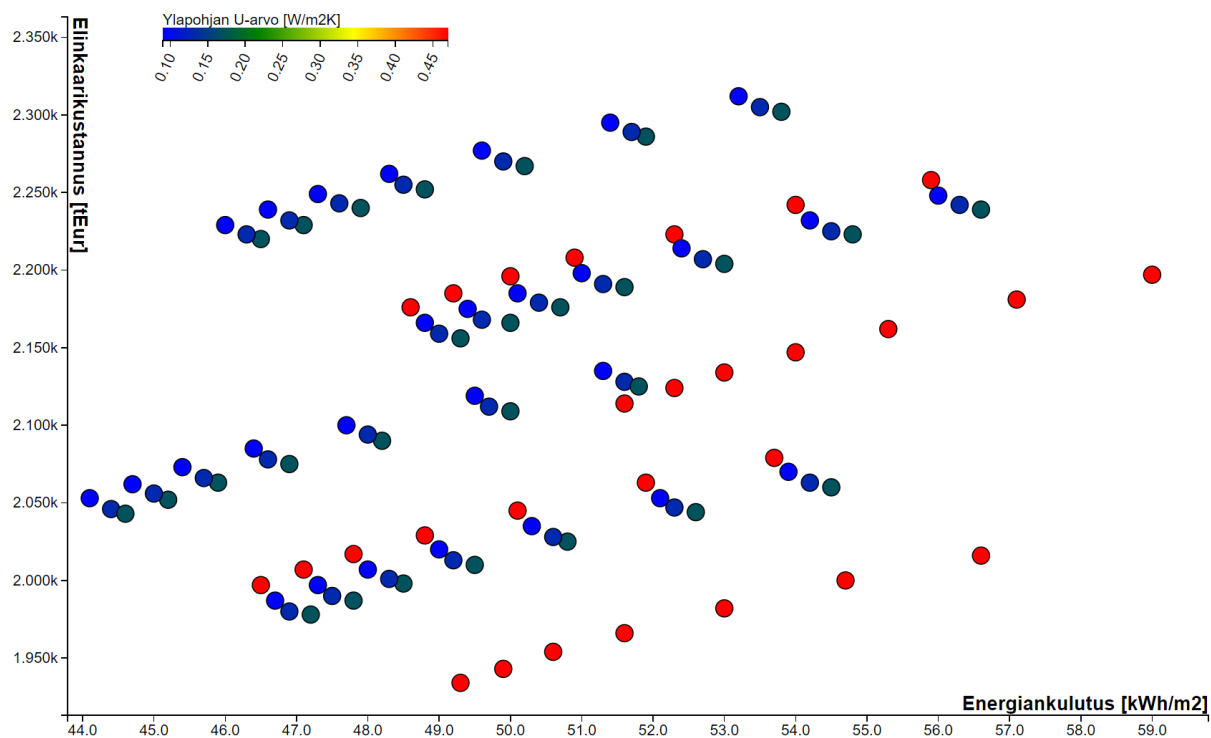
## 5.2 OPTIMOINTITULOSTEN MUUTTUJAKOHTAINEN ANALYYSI

Tässä luvussa esitetään optimiratkaisuksi valikoituneen tulo-/poistoilmanvaihdon ja kaukolämpö/maalämpöjärjestelmän 90 kW sisältämien muuttujien tarkempi analyysi. Muuttujien trendit ovat hyvin saman tyyppisiä kaikkien energiajärjestelmien yhteydessä (yläpohjan lämmöneristys, aurinkosähköpaneelit, jäteveden lämmöntalteenotto, lämmityspatterin uusiminen). Tulokset on esitetty kuvapareina aksleilla energiankulutus – elinkaarikustannus ja CO<sub>2</sub>-päästöt – elinkaarikustannus.

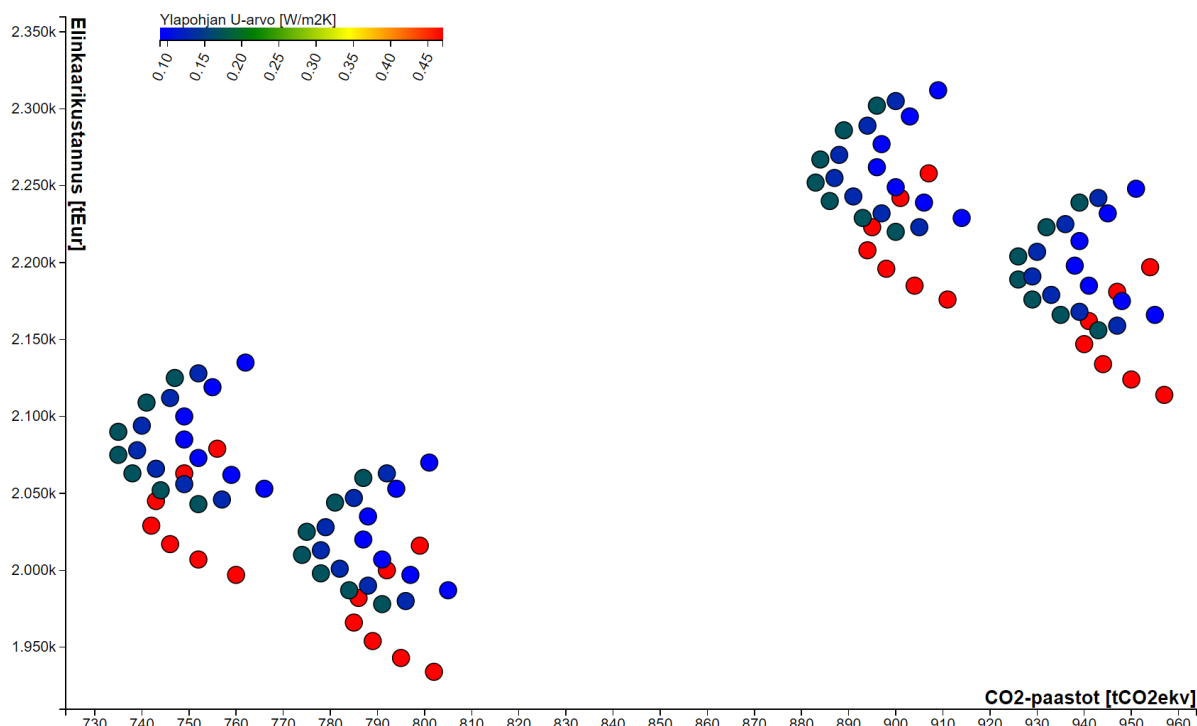
### Yläpohjan lisälämmöneristys

Yläpohjan lisälämmöneristysten vaikutus tuloksiin on esitetty kuvissa 10-11. Lisälämmöneristyksellä voidaan pienentää

energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä, mutta kasvavan elinkaarikustannuksen vuoksi on suositeltavaa tehdä vain peruskorjaus. Suurilla eristyspaksuuksilla (pieni U-arvo) materiaalin valmistuksen hiilijalanjälki alkaa dominoida verrattuna saavutettavaan energiansäästöön. Hiilijalanjäljen näkökulmasta optimaalinen U-arvo on 0,17 W/m<sup>2</sup>K.



Kuva 10. Rakennuksen yläpohjan peruskorjauksen laajuuden jakautuminen optimoinnissa. U-arvo 0,47 W/m<sup>2</sup>K vastaa peruskunnostusta.

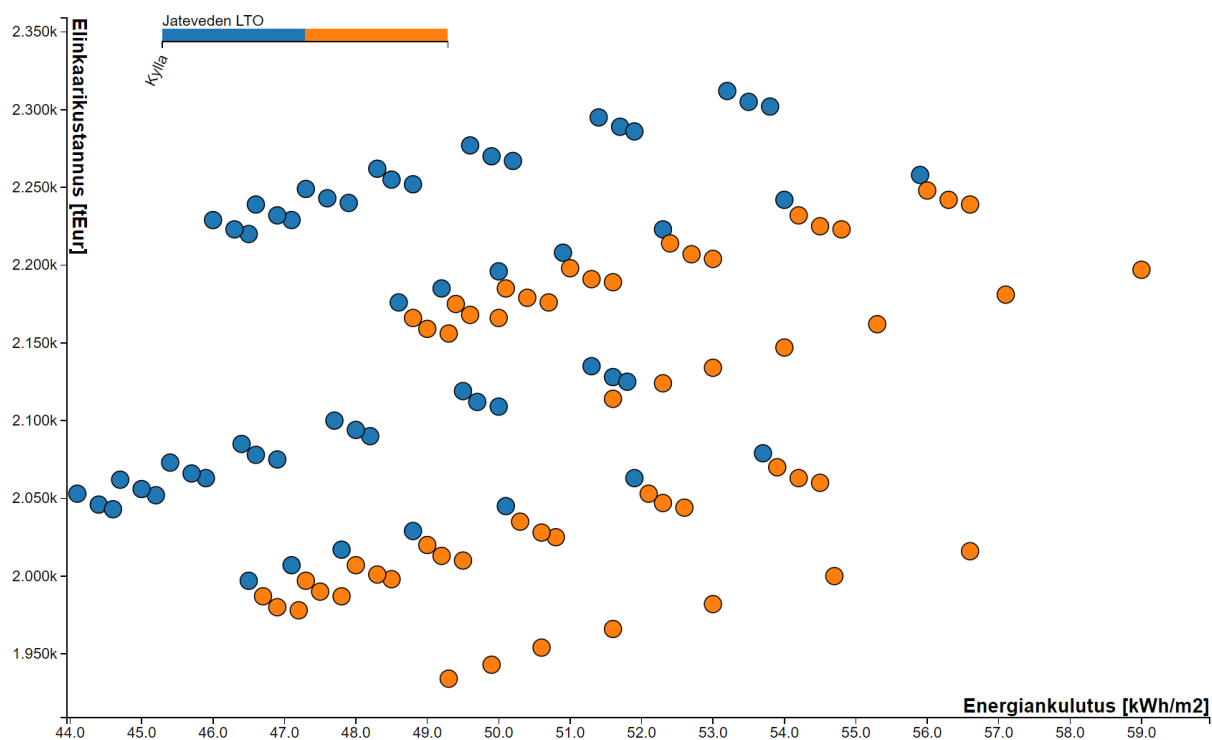


Kuva 11. Rakennuksen yläpohjan peruskorjauksen laajuuden jakautuminen optimoinnissa. U-arvo 0,47 W/m<sup>2</sup>K vastaa peruskunnostusta.

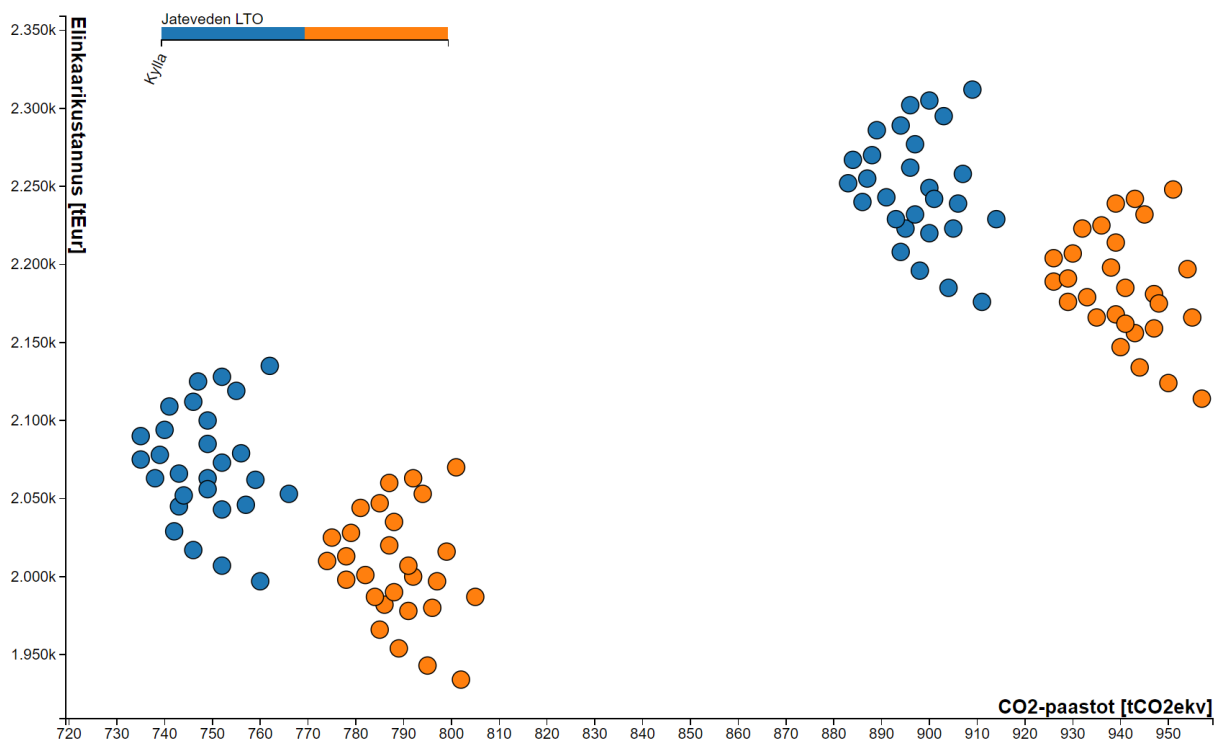
### Jäteveden lämmöntalteenotto

Jäteveden lämmöntalteenotossa tutkittiin rakennukseen asennettavia lämmönkeruuvaraajia. Näitä lämmönkeruuvaraajia tulisi 2 kappaletta. Lämpövaraaja varastoi jätevedestä saatavaa lämpöenergiaa, josta lämpö siirretään lämmönsiirtimen kautta joko käyttöveden lämmitykseen, tai lämpöpumppujärjestelmien kanssa lämmittämään lämmönkeruupiirin nestettä. Optimoinneissa tutkittiin käyttöveden lämmitystä pelkän kaukolämpöjärjestelmän yhteydessä. Lämpöpumppujärjestelmien yhteydessä jätevedestä talteen otettavalla lämmöllä esilämmitettiin lämpöpumpun höyrystinpuolella olevaa keruunestettä.

Kuvissa 12-13 on esitetty jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän valikoituminen eri ratkaisuille optimoinnissa. Jäteveden lämmöntalteenotto ei valikoitunut optimoinnissa kustannustehokkaaksi toimenpiteeksi. Ratkaisu olisi kannattava rakennuksissa, joissa vedenkulutus on suurempi kuin asuinkerrostaloissa, kuten uimahalleissa, hotelleissa tai korkeissa tornitaloissa, joissa talteenottoratkaisu saadaan toteutettua kompaktisti. Elinkaarikustannukset kasvoivat järjestelmän kanssa noin 50 000 €. Energiankulutus pieneni järjestelmän kanssa noin 4 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa riippuen muista järjestelmävalinnoista. CO<sub>2</sub>-päästöt pienenevät n. 5 %. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmälle oli asetettu optimoinnissa huoltokustannukseksi noin 500 € vuodessa jätevesipumppaamoihin liittyviin huoltotoimenpiteisiin. Toimenpide voisi olla kannattava, jos kaikille kolmelle rakennukselle tehtäisiin yhteinen lämmöntalteenottojärjestelmä, minkä takia suositellaan jatkotutkimuksen tekemistä aiheesta.



Kuva 12. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän jakautuminen optimoinnissa.



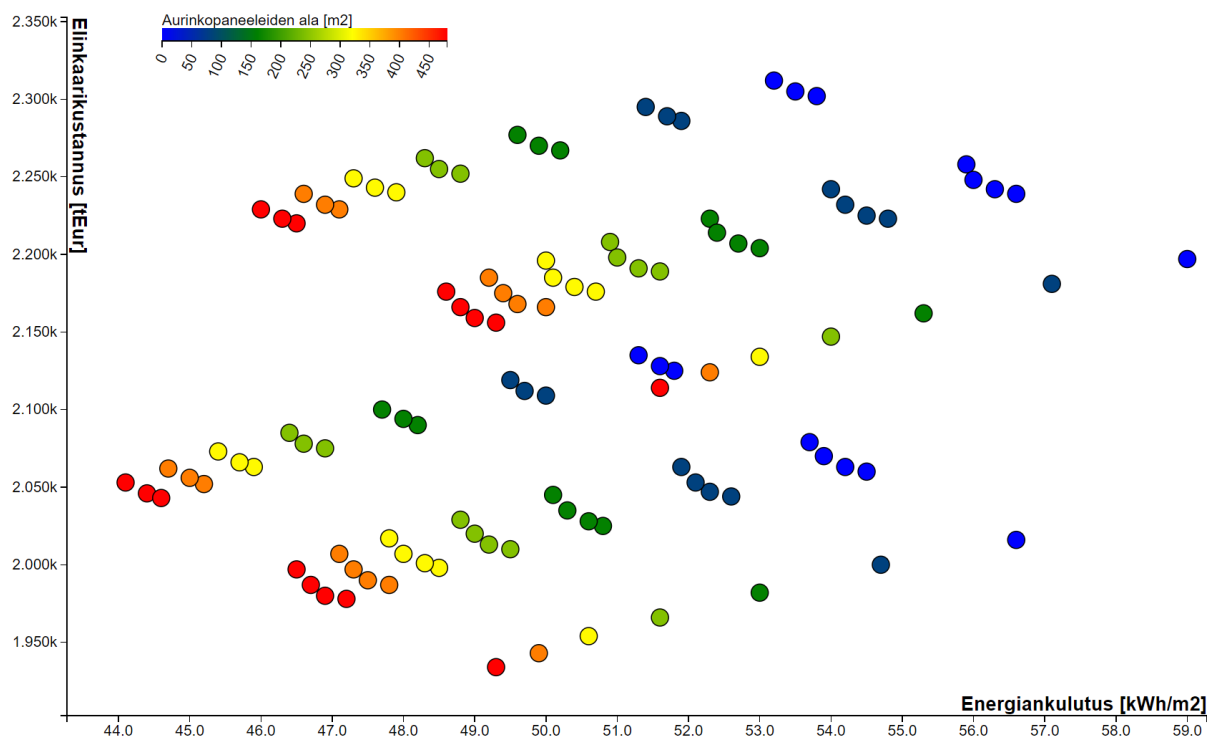
Kuva 13. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän jakautuminen optimoinnissa.

## Aurinkosähköpaneelit

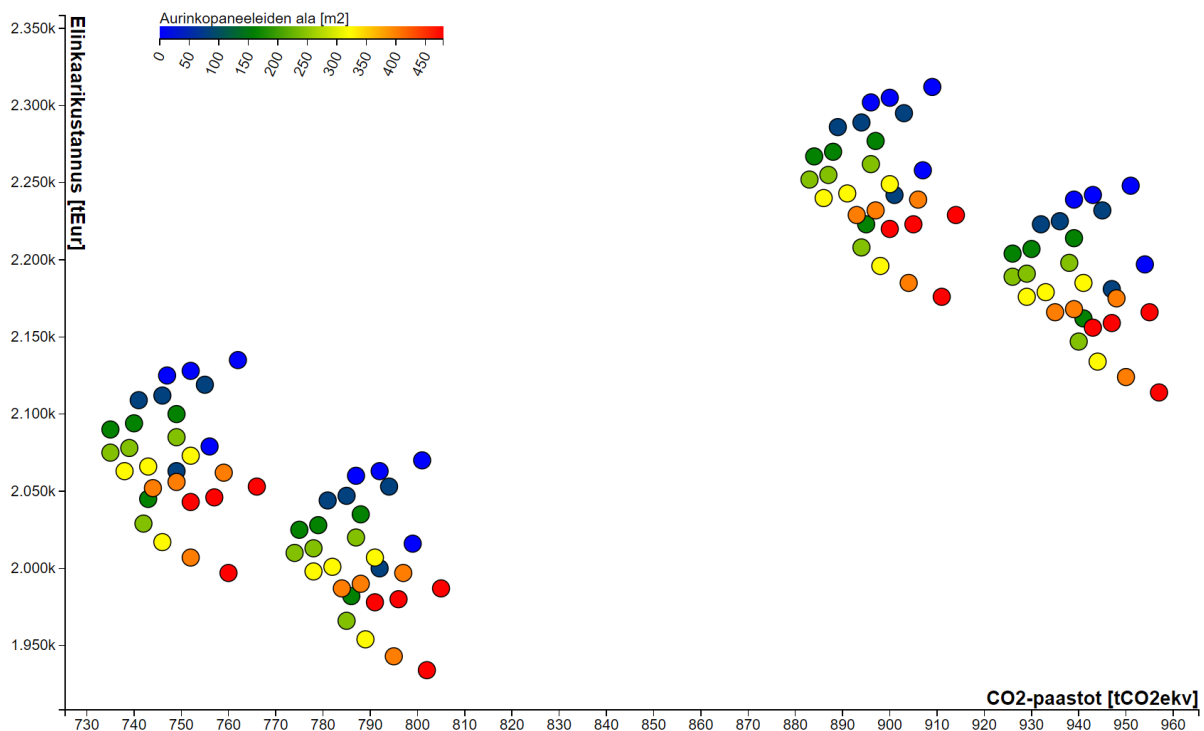
Aurinkosähköpaneelien asentaminen valikoitui suositeltavaksi vaihtoehdoksi optimoinnissa. Kuvassa 14 on esitetty aurinkosähköjärjestelmän koon jakautuminen. Aurinkosähköpaneelien koon kasvaessa energiankulutus ja elinkaarikustannus pienenevät. Paneelien pinta-ala 200 m<sup>2</sup> kattaa kiinteistösähkön tarpeen. Jos paneeleita asennetaan pienempi määrä, energiankulutus sekä myös E-luku kasvavat. Paneelien koko on mitoitettu siten, että kiinteistösähkön yli jäävä osuus on mahdollista myydä kiinteistön vuokralaisille tai ulkopuolisille. Kuvasta 15 nähdään aurinkopaneelien hiilijalanjälki. Tuloksista voidaan päätellä, että kun paneelien tuotto ylittää kiinteistösähkön tarpeen, aurinkopaneelien valmistuksesta aiheutuva hiilijalanjälki alkaa dominoida verrattuna omaan käyttöön tuotetun sähkön hiilijalanjälkihyötyyn ja päästöt kasvavat kun 200 m<sup>2</sup> pinta-ala ylittyy.

Aurinkopaneeleille on huomioitu 15 vuoden kohdalla tehtävä invertterin vaihdon kustannus, mutta ei muita huoltokustannuksia, koska niihin liittyvät muutamat vuotuiset huoltotarkastukset oletettiin kuuluvan normaalin kiinteistöhuollon piiriin. Aurinkopaneelien kustannuksissa on myös oletettu, että rakennuksen katto kestää niiden painon ilman rakenteellisia vahvistuksia. Tämä tulee vielä tarkentaa erikseen jatkosuunnittelussa, jos aurinkosähköjärjestelmään päätetään investoida. Jos aurinkopaneeleja ei voida asentaa tästä syystä ja halutaan korvata näin menetetty energiansäästö, seuraava suositeltava toimenpide on parantaa yläpohjan lämmöneristystä, vaikkakaan se ei osoittautunut elinkaarikustannuksiltaan kannattavaksi, kuva 10.

Aurinkosähkö mallinnettiin energiasimulointimallissa siten, että kiinteistön oman käytön yli tuotettu sähkö myytiin markkinahinnalla (64,3 €/MWh) mikä oletus täytyy ottaa huomioon tuloksia tulkittaessa. Raportin kirjoitushetkellä tämä skenaario ei vielä ole mahdollinen mm. lainsäädännöllisistä syistä.



Kuva 14. Aurinkosähköpaneelien pinta-alan jakaantuminen optimoinnissa.



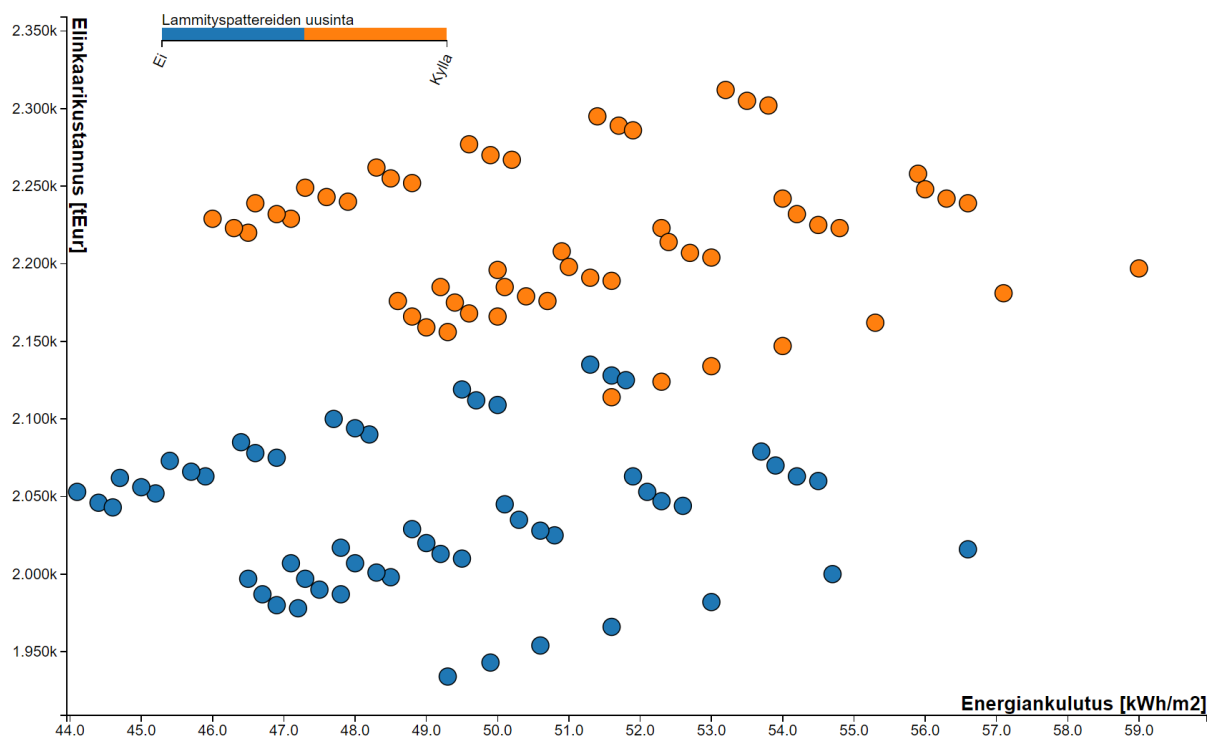
Kuva 15. Aurinkosähköpaneelien pinta-alan jakaantuminen optimoinnissa.

### Lämmityspattereiden uusiminen

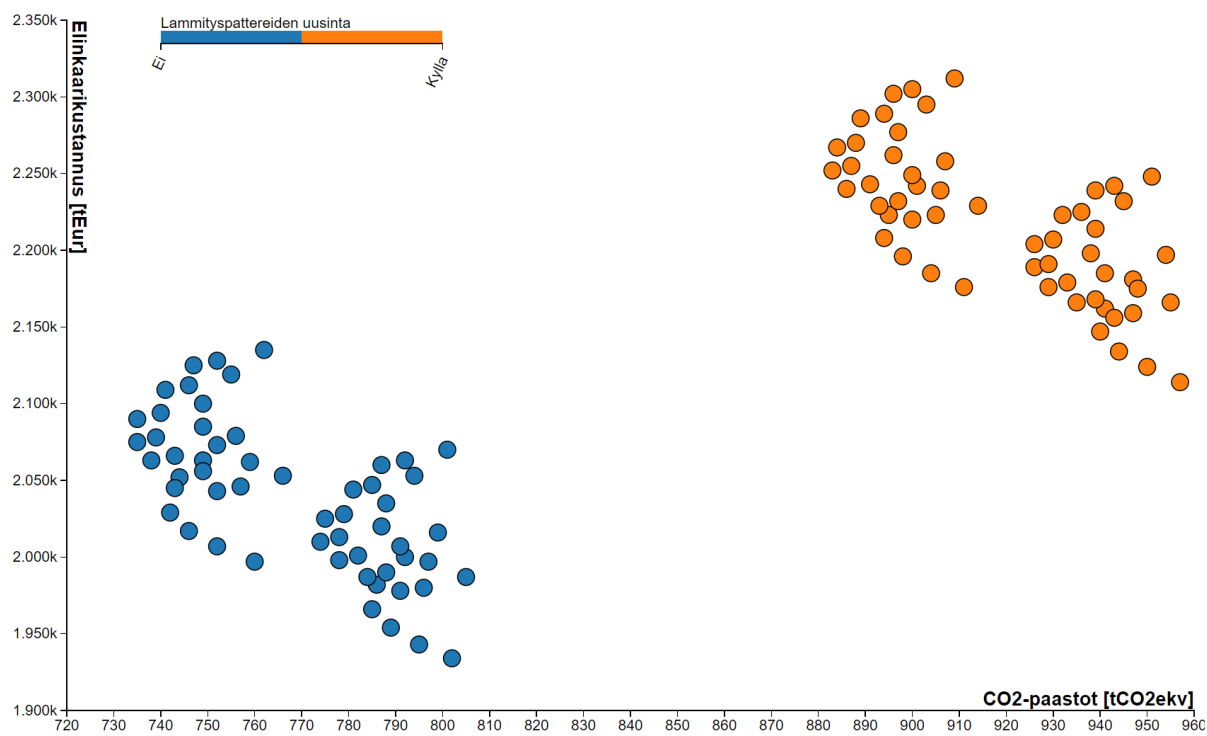
Nykyinen patteriverkoston lämpökäyrä on säädetty siten, että  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$  ulkolämpötilassa patteriverkostoon syötetään  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  lämpöistä vettä. Tätä matalampi menoveden mitoituslämpötilataso vaatii selvästi suuremmat patterit, joiden investointikustannukset kasvavat merkittävästi suhteessa saavutettaviin lisäsäästöihin, joten tätä vaihtoehtoa ei ole tarkasteltu. Nykyiset lämmityspatterit tulevat mahdollisesti elinikänsä päähän optimoinnin tarkasteluajanjakson kuluessa. Uudet lämmityspatterit mahdollistavat paremman huoneolosuhteiden hallinnan mikä näkyy asumismukavuuden parantumisena, koska nykyisillä lämpöpattereilla ei talvikaudella välttämättä pystytä pitämään lämpötilaa riittävän korkeana. Simuloinnissa on oletettu, että huoneiden minimilämpötila pystytään pitämään yhden asteen korkeammalla tasolla uusilla pattereilla. Älykkääseen säätöön otetaan erikseen kantaa raportin seuraavilla sivuilla.

Lämmityspatterien uusimisen valikoituminen optimoinnissa on esitetty kuvassa 16. Lämmityspattereiden uusiminen odotetusti lisää energiankulutusta, koska lämpötilataso nousee, mutta tämä näkyy kylmimmissä huoneissa asumismukavuuden parantumisena.

Hiilijalanjäljen osalta lämmityspatterien uusiminen ei ole suositeltava toimenpide, mikä nähdään kuvasta 17. Sen lisäksi, että energiankulutus kasvaa, suuri määrä uutta terästä entisestään kasvattaa hiilijalanjälkeä.



Kuva 16. Lämmityspattereiden uusimisen jakaantuminen optimoinnissa.



Kuva 17. Lämmityspattereiden uusimisen jakaantuminen optimoinnissa.

### Lämpöpumppujen mitoitusteho

Lämpöpumppujen mitoitustehoa optimoitiin simuloinnissa todellisiin lämpöpumppuvaihtoehtoihin perustuen ja tehot olivat järjestelmittain:

- Poistoilmalämpöpumppujärjestelmässä 90 kW (vain poistoilmanvaihtojärjestelmä)
- Maalämpöjärjestelmässä 90 ja 180 kW
- Maalämpö- ja poistoilmalämpöpumppujärjestelmässä 90, 180 ja 270 kW

Lämpöpumput valittiin siten, että niitä olisi 1-3 kpl 90 kW tehoisia pumppuja. Simuloinneissa käytetty lämpöpumpun COP oli 4,0. Suuremmalla lämpöpumpputeholla kaivokentästä tulee suurempi ja saadaan hyödynnettyä enemmän kallioperän energiaa. Näille lämpöpumpuille määritettiin niille sopivat laitekokonaisuudet. Kyseisille järjestelmille määritetyt kustannukset perustuvat investoinnin toteuttamiseen järkevällä urakkamallilla, jossa lämpöpumppujärjestelmien rakennuttaminen, valvonta, suunnittelu ja urakointi on tilattu luotettavilta toimijoilta, jolloin vältetään ylimääräisiltä kustannuksilta.

Lämpöpumppujärjestelmillä on mahdollista saavuttaa merkittäviä energiankulutus- ja elinkaarikustannussäästöjä. Energiankulutuksen pienentäminen auttaa myös suojautumaan energian hintojen kohoamista vastaan tulevaisuudessa.

Lämpöpumppujärjestelmille on määritetty optimoinnissa keskimääräiseen huoltotarpeeseen perustuvat vuosittaiset huoltokustannukset (noin 1500 €/a), sekä oletusarvoisesti 15 vuoden kohdalla tehtävän kompressorin vaihdon kustannus (noin 10 000 - 15 000 € lämpöpumppujen määrän mukaan).

Maalämpökaivojen määräksi mitoitettiin 300 m aktiivisyvydeltään olevia syviä kaivoja riippuen lämpöpumpun koosta:

- Maalämpö ja kaukolämpö 12 kaivoa (90 kW), 18 kaivoa (180kW)
- Maalämpö ja sähkökattila 12 kaivoa (90 kW), 18 kaivoa (180kW)
- Maalämpö ja poistoilmalämpöpumppu sekä kaukolämpö 12 kaivoa (90 kW), 14 kaivoa (180 kW)
- Maalämpö, poistoilmalämpöpumppu ja sähkökattila 12 kaivoa (90 kW), 18 kaivoa (180 kW) 26 kaivoa (270kW)

Tutkimuksen mukaan kohteeseen sopiva optimaalinen ratkaisu sisältää 90 kW lämpöpumpun ja sille sopivan kokoisen kaivokentän. Suuremmalla maalämpöjärjestelmällä elinkaarikustannus kasvaa merkittävästi vaikkakin energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-päästöt laskevat. Lisäksi suurempaa määrä kaivoja kuin 12 ei ole mahdollista porata tontin tilarajoitusten vuoksi. Mikäli tätäkään määrää ei saada mahtumaan, kaivoista voi tehdä syvempiä kuin nyt oletettu 300 m aktiivisyvyys.

Porakaivojen välillä tulisi suositusten mukaan olla noin 15 metriä etäisyyttä. Edellä mainitut kaivomäärät mitoitettiin GLHEPro -nimisellä ohjelmalla, jossa tarkasteltiin kaivojen käyttäytymistä 50 vuoden ajanjaksolla siten, että järjestelmässä kiertävän liuoksen lämpötila ei pudonnut alle 0 °C.

Lämpöpumput asennettaisiin lämmönjakohuoneisiin tai muihin yleisiin tiloihin, mikäli lämmönjakohuoneissa ei ole riittävästi tilaa pumpuille, varaajille ja muille järjestelmän vaatimille laitteille.

### Lämmitysverkoston älykäs säätöjärjestelmä

Lämmitysverkoston älykkään säätöjärjestelmän tarkastelua ei sisällytetty optimointianalyysiin vaan tehtiin erillislaskelmia ja poimittiin tietoja aiemmista projekteista kaukolämpöjärjestelmän yhteydessä. Vaihtoehtoina ovat joko keskitetty tai huonekohtainen säätöjärjestelmä, joiden toimintaperiaate on seuraava:

- Keskitetyssä järjestelmässä toiminta perustuu kaukolämmön alajakokeskuksessa tehtävään patterilämmitysverkoston menoveden lämpökäyrän automaattiseen säätämiseen huoneistoissa olevien lämpötila-antureiden lähettämään mittaustietoon perustuen. Huoneistojen lämpötilojen painotettu keskiarvo pyritään pitämään asetusarvossa nykyisiin sääolosuhteisiin ja sääennusteisiin perustuen. Keskitetty säätöjärjestelmä on herkkä lämmityspatteriverkoston tasapainotuksen suhteen ja järjestelmä ei toimi hyvin, jos huoneistojen välillä on merkittäviä eroja sisälämpötiloissa. Huoneanturit pyrkivät myös oppimaan asukkaiden käyttäytymistä, jotta

tiedetään, milloin on paras aika varata asunnon rakenteisiin lämpöä. Tehojousto myös vähentää tilojen lämmitystehontarvetta niinä hetkinä, jolloin lämpimällä käyttövedellä on merkittävää kulutusta, mikä vähentää kaukolämmön tarvittavan tilaustehon määrää.

- Huonekohtaisessa järjestelmässä asennetaan jokaiseen lämmityspatteriin oma älytermostaatti, joka säätelee lämmityspatterien läpi menevää virtausta huoneen lämpötilaan perustuen. Älytermostaatissa on keskitettyyn järjestelmään verrattuna samanlaisia säätöominaisuuksia, kuten sääennusteisiin ja huoneistojen opittuun lämpödynamiikkaan perustuvaa säätöä. Huonekohtainen järjestelmä säätelee jokaisen huoneen lämmityspatteria erikseen, toisin kuin keskitetyssä järjestelmässä, jossa mitataan koko huoneiston lämpöolosuhteita keskitetysti. Tämän takia huonekohtainen säätö on tarkempaa kuin keskitetyssä järjestelmässä eikä se ole niin riippuvainen verkoston tasapainotuksesta. Huonekohtaisen järjestelmän älytermostaatit vaativat Wi-Fi-tukiasemat, koska niiden säätö tapahtuu pilvipalvelun kautta. Tästä voi tulla hieman lisäkustannuksia riippuen taloyhtiön laajakaistasta ja tiedonsiirtovalmiuksista. Tämä tosin mahdollistaa myös sen, että asukkaat pystyvät säätämään esim. mobiililaitteilla asuntojen lämpötiloja myös etänä.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu keskitettyä järjestelmää ja tulokset on esitetty taulukossa 7 yhdelle kaukolämpö- ja tulo-/poistoilmajärjestelmän optimipisteelle.

Analyysin perusteella järjestelmä säästää tilalämmityksessä noin 10 % lämmitysenergiantarpeesta. Säästöjärjestelmä vaikuttaa siten, että osan aikaa vuodesta huoneissa on hieman viileämpää, jolloin ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta saadaan hieman vähemmän energiaa talteen, mikä kasvatti ilmanvaihdon lämmitysenergiantarvetta. Kyseisistä järjestelmistä saadaan paras hyöty sellaisissa asuinrakennuksissa, joissa on vain koneellinen poistoilmavaihto. Elinkaarikustannus on hieman suurempi älykkään säätöjärjestelmän kanssa. Tähän vaikuttaa erityisesti analyysissä oletettu järjestelmän korkeahko kuukausimaksu 400 €. Jos kuukausimaksu alenee tästä, järjestelmä tulee elinkaarikustannuksiltaan kannattavaksi.

*Taulukko 7. Lämmitysverkoston älykkään säätöjärjestelmän tulosten vertailua kaukolämmön ja tulo-/poistoilmavaihtojärjestelmän yhteydessä.*

| Järjestelmä                   | Energiankulutus<br>[kWh/m <sup>2</sup> ] | Elinkaarikustannus<br>[t€] | Investointikustannus<br>[t€] | CO <sub>2</sub> -päästöt<br>[tCO <sub>2</sub> ekv] |
|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|
| Kaukolämpö                    | 104.7                                    | 1864.3                     | 847.5                        | 1763                                               |
| Kaukolämpö<br>ja älykäs säätö | 95.2                                     | 1889.3                     | 877.5                        | 1608                                               |

Huoneistokohtaista järjestelmää ei tarkasteltu, koska se ei olisi missään tapauksessa tullut kannattavaksi huomattavan paljon korkeamman investointikustannuksen sekä kuukausimaksujen vuoksi.

Saavutettuun laskennalliseen säästöön vaikuttaa myös huomattavasti valittava skenaario, jonka perustella huoneiston lämpötilaa säädetään.

Lämmityksen säätöjärjestelmiä ei tarkasteltu lämpöpumppujärjestelmien yhteydessä, koska tutkimuksessa ei selvitetty tarkemmin onko järjestelmän säätö toteutettavissa lämpöpumppujärjestelmään integroituna, mikä ei esimerkiksi ollut mahdollista kaksi vuotta sitten. Lämpöpumppujärjestelmät myös heikentävät kyseisten säätöjärjestelmien kannattavuutta merkittävästi, koska tuotettavan lämmitysenergian keskimääräinen hinta on edullisempaa kuin kaukolämmöllä. Mikäli kohteeseen toteutetaan optimointitulosten suositusten mukainen lämpöpumppuratkaisu, suositellaan tarkemman selvityksen tekemistä älykkään säädön integroimisesta lämpöpumppujärjestelmään.

Liite 1.

# Elinkaaren hiilijalanjälki

Kontulankaari 11

Helsingin kaupungin asunnot Oy



# Elinkaaren hiilijalanjälki

## SISÄLLYSLUETTELO

|    |                              |   |
|----|------------------------------|---|
| 1. | Yhteenveto                   | 2 |
| 2. | Arviointikohteen perustiedot | 3 |
| 3. | Lähtötiedot ja rajaukset     | 4 |
| 4. | Tulokset                     | 6 |
| 5. | Arviointi                    | 8 |
| 6. | Lähteet                      | 8 |

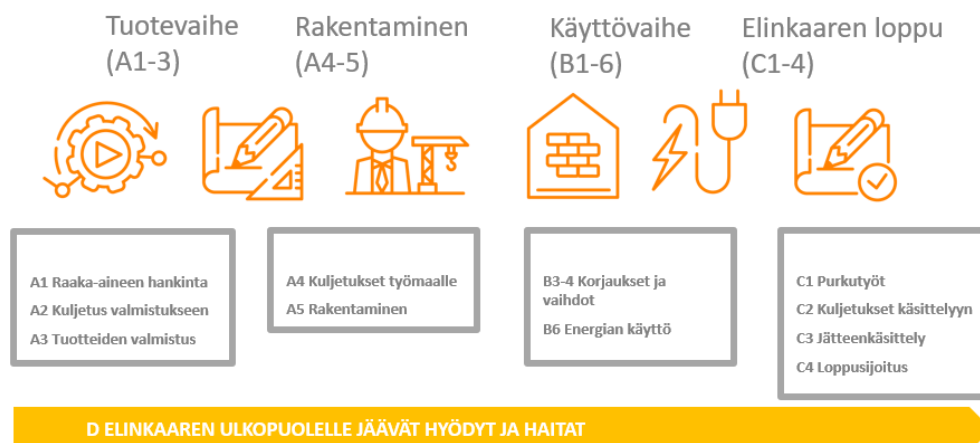
## 1. Yhteenveto

Helsingin kaupungin Asunnot Oy:n hankkeessa, Kontulankaari 11 taloyhtiön peruskorjauksen hankesuunnitteluvaiheessa toteutettiin rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä (2019) -ohjeen mukaisesti. Elinkaaren hiilijalanjälki kuvaa rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä, jotka on muunnettu yhteiseen yksikköön hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO<sub>2</sub>e) ja laskettu yhteen. Ympäristöministeriön arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission laatiman Level(s)-menetelmään ja Sen pohjana ovat eurooppalaiset kestävästä rakentamisesta koskevat standardit (mm. EN 15643 –sarja, EN 15978 ja EN 15804) sekä aiheeseen liittyvä tieteellinen tutkimus. Menetelmä on kohdistettu elinkaaren hiilijalanjälkilaskentaan rakennusten suunnitteluvaiheessa. Kyseisen arviointimenetelmän pilotointi alkoi syksyllä 2019 ja jatkuu 6/2020 asti. Ympäristöministeriön tavoitteena on, että rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ohjataan lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä.

Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä -laskentaohje ja projektissa käytetty laskentaohjelma One Click LCA täyttävät elinkaarilaskentastandardin EN 15804 vaatimukset käytettävien tietojen laadulle.

Raportin luvussa 2 esitetään perustiedot kohteesta ja luvussa 3 elinkaarilaskennan lähtötiedot. Luvussa 4 esitetään laskennan tulokset. Elinkaarilaskennan tulokset ovat suuntaa-antavia ja lähtötietoina on käytetty laskennan tekohetkellä saatavilla olleita arkkitehdin CAD-mallinnuksia sekä pohjapiirustuksia. Peruskorjauksen laajuus on määritelty laskennan tekohetkellä olleen suunnitelman mukaan. Tarkasteltavat elinkaaren vaiheet on esitetty kuvassa 1. Kyseisessä menetelmässä lähtökohtana on, että tuotevaiheen ja käytönajan energiankäytöstä aiheutuvan hiilijalanjälki määritetään aina hankekohtaisesti, ja muut elinkaaren vaiheet voidaan määrittää vertailuarvoilla.

Tarkastelussa huomioidaan myös tuotteen hiilikädenjälki, mikä kuvaa tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana ja elinkaaren ulkopuolella syntyvien absoluuttisten ilmastohyötyjen summaa muunnettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Laskelman perusteella Kontulankaari 11 -hankkeen elinkaaren **hiilijalanjälki** 50 vuoden tarkastelujaksolla on noin **9,52 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a** ja **hiilikädenjälki -0,18 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a**.



**Kuva 1.** Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä tarkasteltavat elinkaaren vaiheet (Moduulit A-D)

## 2. Arviointikohteen perustiedot

Arvioinnin kohteena oli hankkeen peruskorjattavat osat. Arviointikohteen perustiedot on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Rakennuskohteen perustiedot.

| Rakennuskohteen tiedot        |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| Rakennustunnus                | 47-770-A-69                |
| Osoite                        | Kontulankaari 11, Helsinki |
| Rakennustyyppi                | Asuinrakennus              |
| Rakennusvuosi (suunnittelu)   | 1969                       |
| Rakennuksen tekniset tiedot   |                            |
| Kerrosten lukumäärä           | 8                          |
| Kellarikerrosten lukumäärä    | 2                          |
| Pääasiallinen runkomateriaali | Betoni                     |
| E-luku                        | 100,1                      |

### 3. Lähtötiedot ja rajaukset

Alla on käsitelty laskennassa käytettyjä lähtötietoja rakennuksen eri elinkaaren vaiheille. Elinkaarilaskennan arviointijaksonpituudeksi valittiin 50 vuotta. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä arviointijaksoksi tulee asettaa 50 vuotta tai rakennuttajan tavoitekäyttöikä rakennesuunnittelulle.

#### 3.1 Päästövaikutukset ennen käyttöä

Elinkaaren tuotevaiheeseen sisältyvät raaka-aineiden jalostus, kuljetus ja tuotteiden valmistus tehtaalla. Rakentamisvaiheeseen sisältyy tuotteiden kuljetukset työmaalle, rakennustuotteiden työmaahävikki sekä rakennustyömaan energiankulutus. Taulukossa 2 on esitetty rakennustuotteiden ja -materiaalien hiilijalanjälkilaskennassa huomioitavat rakennusosat. Rakennusmateriaalien määriä arvioitiin hankesuunnitteluvaiheen suunnitelmien perusteella.

Rakennustuotteiden päästötiedot (esim.  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3_{\text{tuote}}$ ) perustuvat standardin EN 15804 mukaisiin ympäristöselosteisiin vastaavalle tuotteelle tai keskimääräiseen tietoon Suomen olosuhteissa. Talotekniikan, rakennustuotteiden kuljetusten sekä työmaatoimintojen osalta laskennassa käytettiin Ympäristöministeriön laskentaohjeen taulukkoarvoja (Lähde 1).

**Taulukko 2.** Hiilijalanjälkilaskennassa huomioitavat rakennusosat.

| Rakennusosa / toiminto | YM arvioitavat rakennusosat /toiminnot<br>(T=laskennassa käytetty taulukkoarvoa, YM 2019)                                                                                  | Huomioita laskennasta ja rajauksista                                                                                                                                                                                   |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tontti                 | Maaosat (raivaukset, kaivannot, kanaalit, täyttöosat, penkereet, kuivatusosat)<br>Tuennat ja vahvistukset<br>Päällysteet<br>Ulkopuoliset rakenteet tontilla                | YM:n ohjeistuksessa tulisi huomioida myös maaosat sekä pysyvät tuennat, paalut, vahvistukset ja muut ulkopuoliset rakenteet. Kyseisessä laskelmassa tontille ei tule uusia materiaaleja, joten näitä ei ole huomioitu. |
| Kantavat rakenteet     | Perustukset<br>Alapohjat<br>Runkorakenteet<br>Julkisivut, ovet ja ikkunat<br>Ulkotasot<br>Kattorakenteet                                                                   | Kantavista rakenteista on huomioitu rakenteiden uudet materiaalit, eli yläpohjan uusittava vesikatto, uudet ovet sekä parvekelasit. Muihin rakenteisiin ei kohdistu toimenpiteitä peruskorjauksessa.                   |
| Täydentävät rakenteet  | Väliseinät<br>Väliovet ja erityisovet<br>Portaat<br>Pintarakenteet (lattiat, sisäkatto ja seinät)<br>Vakiokiintokalusteet<br>Hormit ja tulisijat<br>Tilaelementit          | Täydentävistä rakenteista on huomioitu uusittavat väliovet sekä pintarakenteet. Vakiokiintokalusteista lavuaarit sekä wc-istuimet on huomioitu.                                                                        |
| Talotekniikka          | Lämmitysjärjestelmät (T)<br>Vesi- ja viemärijärjestelmät (T)<br>Ilmastointijärjestelmät (T)<br>Jäähdytysjärjestelmät (T)<br>Sprinklerit (T)<br>Sähkölaitteet (T)<br>Hissit | Talotekniikan laskennassa on käytetty taulukkoarvoja (Ympäristöministeriö 2019).                                                                                                                                       |
| Kuljetus työmaalle     | Rakennustuotteiden kuljetus työmaalle (T)                                                                                                                                  | Käytetty laskentaohjeen taulukkoarvoja.                                                                                                                                                                                |
| Työmaa                 | Työmaalla kulutettu energia (T)                                                                                                                                            | Käytetty laskentaohjeen taulukkoarvoja.                                                                                                                                                                                |

Peruskorjaushankkeessa huomioon otetaan vain korjauksessa tarvittavat uudet materiaalit tai sen yhteydessä korjattavat rakennusosat, ennen peruskorjausta kuluneita elinkaaren vaiheita ei lasketa takautuvasti mukaan

hiilijalanjälkeen. Hankesuunnitteluvaiheessa suunniteltu peruskorjauksen laajuus on talotekniikan uusiminen, asuntojen lattiapintojen, keittiöiden sekä kylpyhuoneiden uusiminen, asuntojen sekä rakennuksen ulko-ovien uusiminen, yläpohjan vesikatto sekä parvekelasien uusiminen.

Talotekniset järjestelmät huomioitiin ympäristöministeriön ohjeistuksen taulukkoarvoilla (Lähde 1, s.44).

Taloteknisistä laitteista huomioitiin hissit, vesi- ja viemärijärjestelmät, sähköasennukset sekä kaapeloinnit, tulo- ja poistoilmanvaihto, maalämpöjärjestelmä sekä aurinkopaneelit. Kiintokalusteista huomioitiin wc-kalusteet sekä keittiöiden ja kylpyhuoneiden lavuaarit. Keittiön muut kiintokalusteet jätettiin huomioimatta, sillä näille ei laskentaohjelmasta löydy päästötietoja. Kuljetukset työmaalle ja työmaa-aikaiset toiminnot (moduulit A3-A5) arvioitiin Ympäristöministeriön ohjeessa annetuilla taulukkoarvoilla.

### 3.2 Päästövaikutukset käytön aikana

Käytön aikaisiin päästövaikutuksiin sisällytetään korjausten energiankulutus, mahdollisten rakennusosien vaihto sekä rakennuksen käyttämä energia. Korjausten energiankulutuksen päästöjen laskennassa on käytetty Ympäristöministeriön ohjeistuksen taulukkoarvoja. Ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti käytönajan energiankulutuksina käytetään laskennallisia ostoenergiankulutuksia. Rakennuksen ostoenergiankulutukset perustuvat E-lukulaskemaan, joka tehtiin energiaoptimoinnin yhteydessä. Rakennuksen alustava E-luku on 100,1 kWh/m<sup>2</sup>. Sähkön ja kaukolämmön päästökertoimina käytettiin Ympäristöministeriön Rakennusten vähähiilisyiden arviointimenetelmä -ohjeen mukaisia päästökertoimia, jotka ottavat huomioon tulevaisuuden energiamuotojen ja päästöjen kehityksen vuosina 2020-2070. Sähkön päästökerroin 50 vuoden ajalle on 48 g CO<sub>2</sub>e/kWh ja kaukolämmön kerroin vastaavalle ajalle on 71,2 g CO<sub>2</sub>e/kWh. Yhteenvedo rakennuksen energiankulutustiedoista on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3. Yhteenvedo energiatiedoista**

| Energiamuoto                      | Kulutus MWh /a |
|-----------------------------------|----------------|
| Kokonaissähkönkulutus verkkosähkö | 169,576        |
| Kaukolämmön kulutus               | 648,429        |

### 3.3 Päästövaikutukset käytön jälkeen

Päästövaikutukset käytön jälkeen kattavat materiaalien purkamisesta, kuljetuksesta sekä jätteenkäsittelystä ja loppusijoituksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Purkutyömaan toiminnoille, purkujätteen kuljetuksille sekä purkujätteen käsittelylle ja loppusijoitukselle käytettiin laskentaohjeen taulukkoarvoja.

### 3.4 Elinkaaren ulkopuoliset päästövaikutukset

Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset muodostuvat niistä ilmastohyödyistä tai -haitoista, joita ei voida kohdistaa muihin elinkaaren vaiheisiin A-C. Tällaisia ovat esimerkiksi rakennuksen elinkaaren loppupäässä kierrätettävät rakennustuotteet ja -materiaali, jotka eivät enää ole jätettä, ja niiden oletetaan elinkaariarvioinnin näkökulmasta kelpaavan uudelleenkäyttöön, materiaali kierrätykseen tai energiahyödyntämiseen. Tällöin ne poistuvat arviointikohteen systeimirajojen ulkopuolelle. Lisäksi rakennus voi olla vuorovaikutuksessa energiajärjestelmän kanssa ja voi esimerkiksi myydä tuottamaansa ylijäämäsähköä sähköverkkoon. Nämä rakennuksen elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset rajataan myös tarkastelussa erilliseen moduuliin D. Elinkaaren ulkopuoliset päästövaikutukset ovat tässä laskelmassa oletusarvoja, jotka perustuvat laskennassa käytettyihin tyypillisten tuotteiden ympäristöselosteiden (EPD) arvioituihin uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saataviin hyötyihin.

## 4. Tulokset

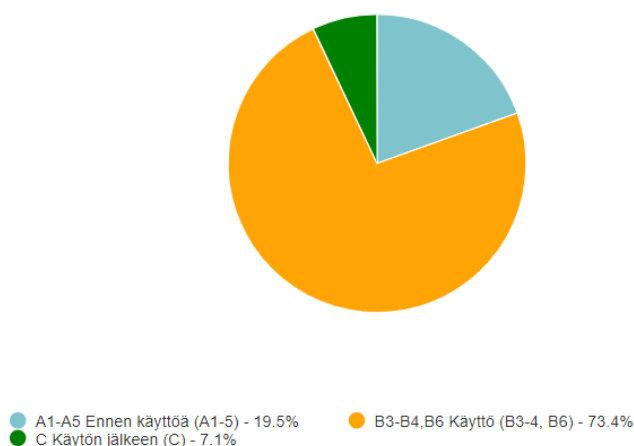
Laskennan tulokset ovat suuntaa antavia ja perustuvat laskentahetkellä saatavilla oleviin suunnitelmiin, tietoihin ja arvioihin. Taulukossa 4 on esitetty elinkaariarvioinnin tulokset.

**Taulukko 4.** Elinkaaren hiilijalanjälkilaskennan tulokset.

|                  | Osa-alue                                                | kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a | tCO <sub>2e</sub> |
|------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| <b>A1-A5</b>     | <b>Päästövaikutukset ennen käyttöä</b>                  | <b>1,86</b>                           | <b>788</b>        |
| A1-A3            | Tuotteiden valmistus                                    | 1,06                                  | 449               |
| A4               | Tuotteiden kuljetus työmaalle (taulukkoarvo)            | 0,2                                   | 84,7              |
| A5               | Rakennustuotteiden työmaahävikki                        | 0,04                                  | 16,9              |
| A5               | Uudisrakennustyömaan toiminnot (taulukkoarvo)           | 0,55                                  | 233               |
| <b>B3-B4, B6</b> | <b>Päästövaikutukset käytön aikana</b>                  | <b>6,99</b>                           | <b>2961</b>       |
| B3-B4            | Korjausten energiankulutus (taulukkoarvo)               | 0,04                                  | 16,95             |
| B4               | Rakennusosien vaihto                                    | 0,54                                  | 228,8             |
| B6               | Energian käyttö                                         | 6,41                                  | 2716              |
| <b>C1-C4</b>     | <b>Päästövaikutukset käytön jälkeen</b>                 | <b>0,67</b>                           | <b>283</b>        |
| C1               | Purkutyömaan toiminnot (taulukkoarvo)                   | 0,16                                  | 67,8              |
| C2               | Kuljetus jatkokäsittelyyn (taulukkoarvo)                | 0,2                                   | 84,7              |
| C3-C4            | Jätteenkäsittely ja loppusijoitus (taulukkoarvo)        | 0,31                                  | 131,3             |
| <b>D</b>         | <b>Elinkaaren ulkopuoliset päästövaikutukset</b>        | <b>-0,16</b>                          | <b>-67,8</b>      |
| <b>A-C</b>       | <b>Hiilijalanjälki (elinkaaren moduulien A-C summa)</b> | <b>9,52</b>                           | <b>4033</b>       |
| <b>A-D</b>       | <b>Hiilikädenjälki (elinkaaren moduulien A-D summa)</b> | <b>-0,18</b>                          | <b>-76,27</b>     |

Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty eri elinkaaren vaiheiden osuus hiilijalanjäljestä. Kuten kuvasta huomataan niin käytön aikaiset päästöt ovat huomattavasti suuremmat kuin ennen ja jälkeen käytön. Peruskorjattavassa rakennuksessa tämän on tavanomaista, etenkin kyseisessä hankkeessa, kun peruskorjauksen laajuus oli suppea. Myöskään energiatehokkuutta ei saa samalle tasolle peruskorjauksessa kuin uudisrakennuksessa, mikä näkyy tässä jakaumassa.

**Ilmaston lämpeneminen, kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>/a - Elinkaaren vaiheet**

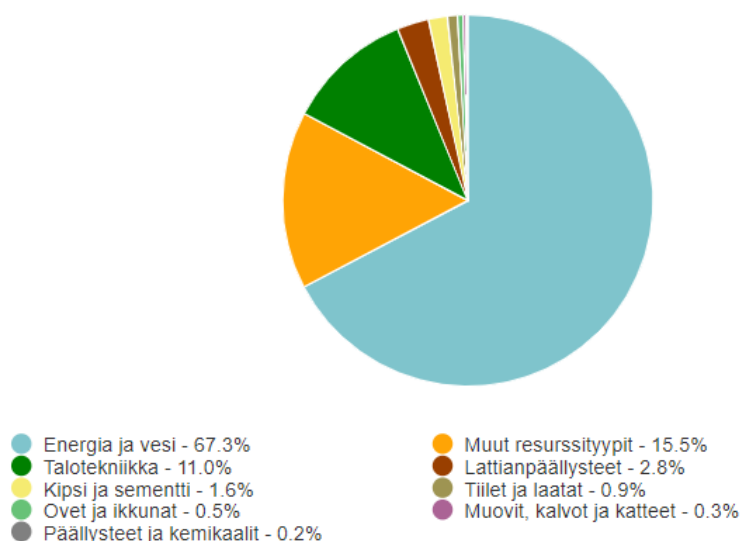


**Kuva 2.** Rakennuksen elinkaaren eri vaiheiden osuus hiilijalanjäljestä.

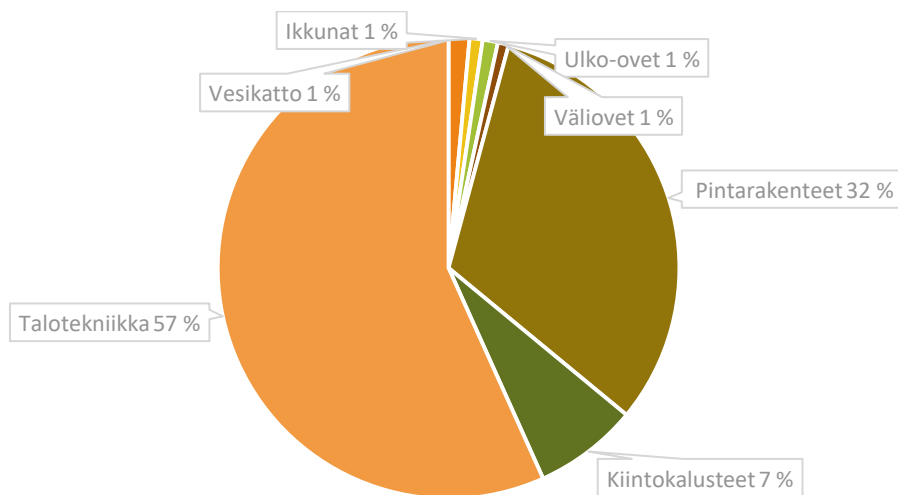
Kuvassa 3 on esitetty laskennassa huomioitujen osa-alueiden vaikutusten osuudet rakennuksen hiilijalanjäljestä. Kuvassa 4 on tarkennettu tulokset materiaalien päästövaikutusten osalta. Kuten kuvasta huomataan rakennuksen käytön aikainen energiankäyttö muodostaa suurimman hiilijalanjäljen. Myös talotekniikka aiheuttaa merkittävän osuuden päästöistä.

### Ilmaston lämpeneminen, kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a - Resurssityypit

Napsauta kaavion osiota nähdäksesi sen yksityiskohdat



**Kuva 3.** Laskennassa huomioitujen resurssityyppien osuudet rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä.



**Kuva 4.** Peruskorjauksessa huomioitujen materiaalien päästövaikutukset

Peruskorjauksessa eniten päästöjä aiheuttavat talotekniikan laitteet sekä pintarakenteet. Loput päästöt tulevat kylpyhuoneiden ja keittiöiden remontissa uusittavista vesikalusteista, sekä parvekelaseista, ulko- ja välivoista sekä yläpohjan uusittavasta vesikatosta.

Arvio rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljelle 50 vuoden tarkastelujaksolla on noin **4033 tCO<sub>2</sub>e** mikä tarkoittaa noin **9,52 kgCO<sub>2</sub>e /netto-m<sup>2</sup> /vuosi**.

Arvio rakennuksen hiilikädenjäljelle on - **76 tCO<sub>2</sub>e** eli noin - **0,18 kgCO<sub>2</sub>e /netto-m<sup>2</sup> /vuosi**. Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan positiivisia ympäristövaikutuksia, joita ei olisi syntynyt ilman rakennusta. Tämän rakennuksen ympäristöhyödyt saadaan materiaalien uudelleenkäytöstä elinkaarensa lopussa sekä biogeenisestä hiilivarastosta. Suurin osa, -0,16 kgCO<sub>2</sub>e /netto-m<sup>2</sup> /vuosi tulee materiaalien uudelleenkäytöstä sekä kierrätyksestä. Hiilikädenjäljessä ei ole tässä laskennassa otettu huomioon betonin karbonisaatiota, sillä tämän laskenta tämänhetkisillä tiedoilla sekä ohjelmalla on haastavaa. Lisäksi kyseisessä laskelmassa karbonisaatiota aiheuttavia sementtipohjaisia tuotteita on niukasti.

## 5. Arviointi

Taulukossa 5 on esitetty tiedot arvioinnin laatijasta. Taulukosta käy myös ilmi, missä kohtaa laskentaa on käytetty taulukkoarvoja ja milloin käytössä on ollut tarkemmat tiedot.

**Taulukko 5.** Arvioinnin laatija sekä arvioinnissa käytetyt tiedot

| Arvioinnin laatijan tiedot                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nimi                                             | Emma Väliäho, Ulla Nykter (laadunvarmistus)                                                                                                                                                                                                                                            |
| Koulutus                                         | Ympäristötekniikan Insinööri (Väliäho), Ympäristötekniikan DI (Nykter)                                                                                                                                                                                                                 |
| Arvioinnin laadinnan päivämäärä                  | 11.6.2020                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Arvioinnissa käytetyt tiedot                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Laskennan kohdat, joissa käytetty taulukkoarvoja | Esitetty taulukossa 2. ja 4.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Laskennan kohdat, joissa tehty tarkka laskenta*  | Esitetty taulukossa 2.<br>*Huom. laskelma perustuu laskentatekohetkellä oleviin suunnitelmiin                                                                                                                                                                                          |
| Käytetyt ympäristöselosteet                      | OneClick LCA-laskentaohjelman tietopankki (perustuu useisiin Eurooppalaisiin tietopankkeihin, lisätietoa:<br><a href="https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/database/">https://www.oneclicklca.com/support/faq-and-guidance/documentation/database/</a> ) |
| Arvioinnin tekovaihe                             | Hankesuunnittelu                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Käytetyt laskentaohjelmat                        | One Click LCA                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Tietojen luotettavuutta koskevat huomiot         | Laskelmat perustuvat laskentahetkellä käytössä olleisiin suunnitelmiin.                                                                                                                                                                                                                |

## 6. Lähteet

- 1) Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 31.8.2019 / Ympäristöministeriö. Saatavilla: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahiilisyys\\_en\\_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahiilisyys_en_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 2) Pohjapiirustukset sekä julkisivupiirustukset, Esko Hyvärinen & Reima Harlo Arkkitehdit Safa
- 3) Rakennuksen E-lukulaskelmarapotti 11.06.2020 / Granlund Consulting Oy

# Kuvailulehti

|                   |                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Tekijä            | Granlund Consulting Oy<br>Timo Karvinen, Sarah Yan, Emma Väliaho ja Ulla Nykter |
| Nimike            | Peruskorjaushankkeen energioptimointi ja elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta     |
| Sarjan nimike     | Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön aineistoja                               |
| Sarjanumero       | 2020:31                                                                         |
| Julkaisuaika      | 01:2021                                                                         |
| Sivuja            | 23                                                                              |
| Liitteitä         | 1                                                                               |
| ISBN              | 978-952-331-879-3                                                               |
| ISSN              | 2489-4257 (verkkojulkaisu)                                                      |
| Kieli, koko teos  | Suomi                                                                           |
| Kieli, yhteenveto | Suomi                                                                           |

## Tiivistelmä:

Selvityksen kohteena on Helsingin kaupungin asunnot Oy:n omistama vuokratalokohde Kontulankaari 11. Kohde koostuu kolmesta asuinrakennuksesta, jotka ovat 8-kerroksisia ja valmistuneet vuonna 1969-1970. Kohteessa on asuntoja yhteensä 288 kpl. Rakennukset vastaavat toisiaan, joten energioptimointi ja elinkaaren hiilijalanjälkilaskelma toteutettiin yhdelle rakennukselle.

Selvityksessä on esitetty energioptimoinnin tulokset asuinkerrostaloille. Työssä käytettiin MOBO-monitavoiteoptimointia yhdistettynä rakennuksen energiasimulointimalliin. Optimoinnissa tarkasteltiin erilaisia päälämmitysvaihtoehtoja sisältäen kaukolämmön ja erilaiset lämpöpumppujärjestelmät sekä talotekniikan ja rakenteiden energiatehokkuutta parantavia muutoksia. Optimoinnissa pyrittiin minimoimaan energiankulutusta ja saman aikaisesti elinkaarikustannuksia ja hiilijalanjälkeä 25 vuoden ajalla. Työn tulokset toimivat energiatehokkuustoimenpiteiden valinnan ja päätöksenteon tukena sekä lähtötietona toimenpiteiden yksityiskohtaisemmalle hanke- ja toteutussuunnittelulle.

Työn tulosten perusteella koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän muuttaminen tulo-/poistoilmanvaihdoksi yhdistettynä kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmään pienentää merkittävästi energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä kohtuullisilla elinkaarikustannuksilla.

Energioptimoinnin lisäksi peruskorjauksen hankesuunnitteluvaiheessa toteutettiin rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkilaskenta Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä (2019) -ohjeen mukaisesti (liite 1). Elinkaaren hiilijalanjälki kuvaa rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä, jotka on muunnettu yhteiseen yksikköön hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO<sub>2</sub>e) ja laskettu yhteen.

Elinkaarilaskennan tulokset ovat suuntaa-antavia ja lähtötietoina on käytetty laskennan tekohetkellä saatavilla olleita arkkitehdin CAD-mallinnuksia sekä pohjapiirustuksia. Peruskorjauksen laajuus on määritelty laskennan tekohetkellä olleen suunnitelman mukaan. Tarkastelussa huomioidaan myös tuotteen hiilikäden jälki, mikä kuvaa tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana ja elinkaaren ulkopuolella syntyvien absoluuttisten ilmastohyötyjen summaa muunnettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi. Laskelman perusteella Kontulankaari 11 -hankkeen elinkaaren hiilijalanjälki 50 vuoden tarkastelujaksolla on noin 9,52 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja hiilikäden jälki -0,18 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

## Avainsanat:

peruskorjaus, monitavoiteoptimointi, energiatehokkuus, energiankulutus, hiilijalanjälki, päästövähennys, kaupunkiympäristö



## Helsinki

Kaupunkiympäristön toimiala huolehtii Helsingin kaupunkiympäristön suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta, rakennusvalvonnasta sekä ympäristöön liittyvistä palveluista.