

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikka
Diplomityö

Toni Noronen

HUONEKALUTEHTAAN ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Työn tarkastajat: TkT, dosentti Ahti Jaatinen-Värri
TkT, dosentti Aki Grönman

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
School of Energy Systems
Energiatekniikka

Toni Noronen

Huonekalutehtaan energiatehokkuuden parantaminen

Diplomityö

2021

84 sivua, 20 taulukkoa, 42 kuvaa ja 3 liitettä

Tarkastajat: TkT, dosentti Ahti Jaatinen-Värri ja TkT, dosentti Aki Grönman

Hakusanat: elinkaarikustannuslaskenta, energiatehokkuus, aurinkopaneelit, ilmalämpöpumppu, ilmanvaihto.

Diplomityön tavoitteena oli tutkia 5500 m² huonekalutehtaalte vaihtoehtoisia energiatehokkuutta parantavia järjestelmiä nykyisen energijärjestelmän rinnalle. Tarkoituksena oli löytää eri vaihtoehtoisia energiatehokkain sekä kustannustehokkain ratkaisu. Vaihtoehtoisiksi energijärjestelmiksi nykyisen järjestelmän rinnalle valikoitui ilmalämpöpumppu, ilmanvaihtojärjestelmä, aurinkopaneelit sekä hybridijärjestelmä. Ilmanvaihdolla tarkoitetaan nykyisen poistoilmajärjestelmän tilalle lisättävää tulo- sekä poistoilmajärjestelmää lämmöntalteenotolla. Hybridijärjestelmä sisälsi kaksi energijärjestelmää, ilmalämpöpumppu- sekä aurinkopaneelijärjestelmän.

Energialaskelmat tehtiin käyttämällä CAD -suunnitteluohjelmistoa sekä Riuska -simulointiohjelmaa. Nykyinen ja vaihtoehtoiset energijärjestelmät simuloitiin ja tuloksia verrattiin nykyiseen energiankäyttöön. Näin saatiin selville energiatehokkaimmat järjestelmät. Tämän lisäksi järjestelmistä laskettiin elinkaarikustannukset, joiden avulla selvitettiin järjestelmien takaisinmaksuaika, nettohyödykkeet sekä sisäiset korkokannat. Elinkaarikustannuslaskennassa käytettiin valmiita Excel -pohjia.

Hybridijärjestelmä on energiatehokkain järjestelmä, jolla kokonaisenergiankulutus pienenee 96,9 MWh vuodessa. Seuraavaksi tehokkain järjestelmä on ilmalämpöpumppu, jotka pienentävät kokonaisenergiankulutusta 71,3 MWh vuodessa. Aurinkopaneelien mitoituksen vuoksi kokonaisenergiankulutus pienenee 25,6 MWh vuodessa. Lämmöntalteenotolla varustetulla ilmanvaihdolla saadaan kokonaisenergiankulutusta pienennettyä vuodessa 21,5 MWh. Elinkaarikustannuslaskennan näkökulmasta paras järjestelmä on ilmalämpöpumppu sen pienen alkuinvestoinnin ja hyvän energiansäästön takia. Takaisinmaksuaika jää alle 5 vuoteen. Hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika on alle 8 vuotta, aurinkopaneelien hieman alle 16 vuotta. Kallein on ilmanvaihtojärjestelmä, joka suuren alkuinvestoinnin ja suhteessa pienen energiansäästön takia ei maksa itseään takaisin käytännössä koskaan.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Energy Technology

Toni Noronen

Improving the energy efficiency of the furniture factory

Master's Thesis

2021

84 pages, 20 figures, 42 pictures and 3 tables

Examiners: TkT, docent Ahti Jaatinen-Värri and TkT, docent Aki Grönman

Keywords: life cycle costs, energy efficiency, energy simulation, solar PV, heat pump, ventilation.

The aim of this thesis was to study alternative energy efficiency improvement systems alongside the current energy system for a 5,500 m² furniture factory. The aim was to find the most energy-efficient and cost-effective solution from the various options. In addition to the current system, a heat pump, ventilation, solar PV and hybrid system were selected as alternative energy systems. Ventilation has an additional supply air and exhaust air system with heat recovery to replace the current exhaust air system. The hybrid system included two energy systems, a heat pump and a solar PV system.

Energy calculations were performed using CAD design software and the Riuska simulation program. Current and alternative energy systems were simulated and the results compared to current energy use. This identified the most energy-efficient systems. Life-cycle costs were calculated for the schemes, which determine the repayment period, net present values and internal interest rates of the schemes. Ready-made Excel templates were used in the life cycle costing.

The hybrid system is the most energy-efficient system, which reduces the total energy consumption by 96.9 MWh per year. The second most efficient system is heat pump-system, which reduce the total energy consumption by 71.3 MWh per year. Due to the dimensioning of solar PVs, the total energy consumption reduces by 25.6 MWh per year. The ventilation system with heat recovy can reduce total energy consumption by 21.5 MWh per year. According to life cycle cost calculations the best system is heat pumps due to its small initial investment and good energy efficiency. The repayment period is less than 5 years. The payback period for a hybrid system is less than 8 years, for solar PVs just under 16 years. The most expensive is the ventilation system due to the large initial investment and relatively small energy savings, practically never pays for itself.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	Energiankulutus.....	7
2.1	Energiankulutus Suomessa.....	7
2.1.1	Teollisuus.....	10
2.2	Energiankulutus Euroopassa.....	12
3	RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	15
3.1	Tilojen energiantarpeet.....	16
3.1.1	Rakenteet.....	16
3.1.2	Vuotoilma.....	19
3.1.3	Sisäilma ja ilmanvaihto.....	22
3.1.4	Lämpöpumput.....	26
3.1.5	Käyttöveden energiakulutus.....	27
3.1.6	Valaistus ja sähkölaitteet.....	28
4	ENERGIATEHOKKUUS.....	29
4.1	Energiatehokkuusdirektiivi ja energiatehokkuuslaki.....	30
4.2	Energiatehokkuussopimus Suomessa.....	32
4.3	Energiatuki.....	34
5	ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAT.....	36
6	KOHDE.....	37
6.1	Huonekalutehtaan nykyinen energiankulutus ja järjestelmät.....	38
6.1.1	Rakenteet.....	40
6.1.2	Tilojen energiajärjestelmät.....	42
6.1.3	Ilmanvaihto.....	45
6.1.4	Valaistus.....	46
6.1.5	Laitteet.....	47
7	HUONEKALUTEHTAAN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN.....	48
7.1	Käytetyt ohjelmat.....	49
7.2	Lähtötaso.....	50
7.3	CASE 1: Aurinkopaneelit.....	52
7.4	CASE 2: Ilmanvaihto.....	54
7.5	CASE 3: Ilmalämpöpumput.....	55
7.6	CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput.....	56
7.7	Elinkaarikustannuslaskentojen tunnusluvut.....	57
7.7.1	CASE 1: Aurinkopaneelit.....	57

7.7.2 CASE 2: Ilmanvaihto	58
7.7.3 CASE 3: Ilmalämpöpumput.....	58
7.7.4 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput.....	59
8 TULOKSET	59
8.1 Energiankulutus.....	59
8.1.1 CASE 1: Aurinkopaneelit.....	61
8.1.2 CASE 2: Ilmanvaihto	64
8.1.3 CASE 3: Ilmalämpöpumput.....	66
8.1.4 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput.....	70
8.2 Elinkaarikustannukset.....	71
8.2.1 CASE 1: Aurinkopaneelit.....	71
8.2.2 CASE 2: Ilmanvaihto	72
8.2.3 CASE 3: Ilmalämpöpumput.....	72
8.2.4 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput.....	72
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUKIMUKSET	73
10 YHTEENVETO.....	76
LÄHTEET	78

LIITTEET

- Liite 1. Nykyisien ja uusien ilmalämpöpumppujen sijainnit rakennuksessa
- Liite 2. Huonekalutehtaan ilmanvaihtosuunnitelmat
- Liite 3. Elinkaarikustannuslaskentataulukot

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen torjuminen ja hiilineutraaliuuteen pääseminen on ajanut ihmiskunnan siihen, että nykyisiä energiajärjestelmiä pyritään saamaan ja muuttamaan enemmän energiatehokkaammaksi. Suomi on sitoutunut toimimaan hiilineutraalina vuoteen 2035 mennessä. Tämä vaatii suuria investointeja, jotta päästöjä saadaan pienennettyä ja tavoitteet saavutetaan.

”Yritykset, kunnat ja tavalliset kansalaiset tekevät jatkuvasti omaehtoisia ilmastotoimia. Teknologian kehitys tekee vähäpäästöisistä ratkaisuista yhä kilpailukykyisempiä. On tärkeää tukea tätä yritysten, kuntien ja kansalaisten omaehtoista kehitystä.” (Valtioneuvosto, 2020) Nykyteknologian kehityksellä ja valtion tuilla kansalaisilla on mahdollista rakentaa itselleen uusiutuvalla energialla toimiva energiajärjestelmä kotiinsa. Vuoden 2021 alussa on energiatehokkuustavoitteisiin sitoutunut 602 yritystä, 5941 toimipaikkaa ja 116 kuntaa ja kuntayhtymää (Energiatehokkuussopimukset, 2021). Myös tasainen sähkön hinnan nousu viime vuosina on ajanut kunnat, yritykset ja varsinkin yksityishenkilöiden miettimään uusiutuvien energioiden käyttöä ja kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamista.

Investoinneille ja hankkeille, jotka liittyvät uusiutuvaan energiaan, energiansäästöön tai energiankäytön tehostamiseen, voidaan myöntää energiatukea. Energiatuen määrä riippuu hankkeesta, mutta tuen määrä voi olla 10–50 % investointihankkeesta (Business Finland, 2021). Mahdollinen energiatuki voi auttaa siihen, että investointi on esimerkiksi yritykselle tai kunnalle kannattavuuden kannalta järkevä. Energiatukien tehtävänä on muuttaa energiajärjestelmiä vähähiilisemmiksi ja siten osaltaan edesauttaa Suomea toimimaan tulevaisuudessa hiilineutraalina maana.

Tässä työssä on tarkoitus perehtyä huonekalutehtaan energiankulutukseen sekä tehtaan energiatehokkuuden parantamiseen simulointityökaluilla. Energiatehokkuuden parantamista tutkitaan lisäämällä nykyiseen järjestelmään energiatehokkuutta parantavia menetelmiä. Tällä hetkellä huonekalutehtaan energiankulutus muodostuu tehtaan valaistuksesta, sähkölaitteista sekä pääosin sähköisestä säteilylämmitykseen. Huonekalutehtaan myymälään ja tehtaaseen on viime vuosina lisätty ilmalämpöpumppuja pienentämään energiakulutusta. Tarkoituksena

on tulevaisuudessa panostaa enemmän kiinteistön energiatehokkuuteen. Tällä työllä saadaan potentiaalisimmat vaihtoehdot esille, joilla kiinteistön energiatehokkuutta voitaisiin tulevaisuudessa parantaa.

Menetelmät rajoittuvat neljään erilaiseen laskentatapaukseen. Tarkasteltavat energiajärjestelmät ovat; aurinkovoimala, ilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla, ilmalämpöpumput sekä aurinkovoimalan ja ilmalämpöpumpujen yhtenäinen hybridijärjestelmän vaikutus. Ilmanvaihtojärjestelmällä on tarkoitus uudistaa nykyinen poistoilmajärjestelmä ilmanvaihtokoneilla, joissa on tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenottoyksiköllä.

Osana tätä työtä on energiajärjestelmien elinkaarikustannuslaskennat, jotka sanelevat pitkälle investoinnin mahdollisuuksista tulevaisuudessa. Elinkaarikustannuslaskelmilla saadaan selville investointien kannattavuus ja taloudellisuus. Laskelmissa käytetään simuloituja tuntidatoja sekä mahdollisimman tarkkaan arvioituja investointeja. Laskentamenetelminä käytetään takaisinmaksu- sekä nykyarvomenetelmiä.

2 Energiankulutus

Seuraavissa kappaleissa esitetään Suomen ja Euroopan energiankulutuslukemia vuosilta 2018 ja 2019. Pääosin lukemat ovat vuodelta 2019, mutta osa Euroopan tilastoista kuitenkin löytyi tuoreimpana vasta vuodelta 2018. Vuoden 2019 lukemat on valittu sen vuoksi, koska tilastot ovat tuoreimmat niin sanotusta normaalista energiankäytöstä, eikä Covid-19 pandemia ollut kerennyt vaikuttamaan suuresti Suomen tai Euroopan tilanteeseen.

2.1 Energiankulutus Suomessa

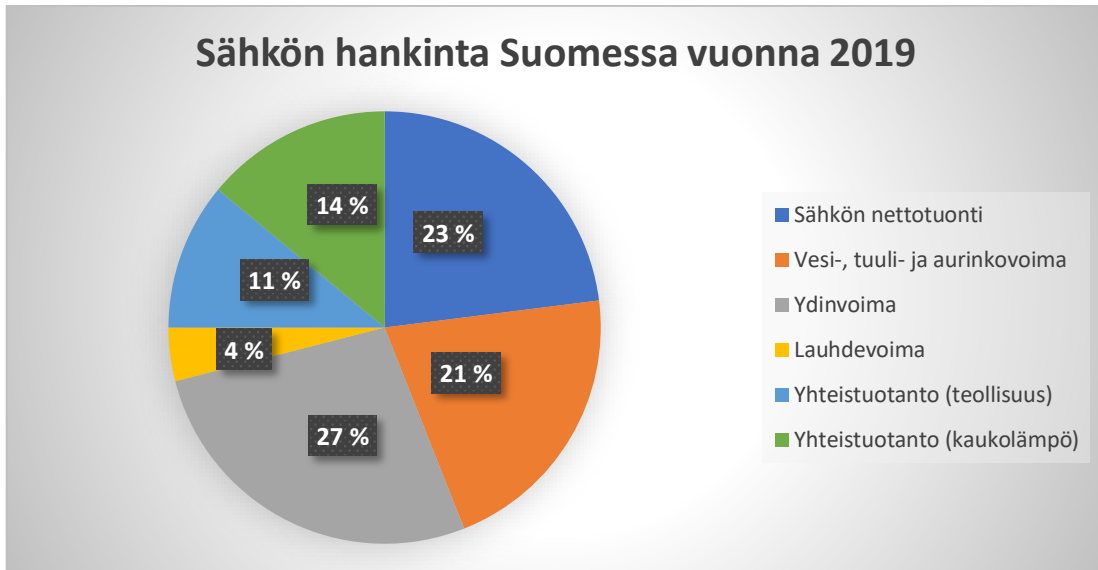
Energiankulutus Suomessa jakautuu neljään sektoriin. Teollisuuteen, liikenteeseen, rakennusten lämmitykseen sekä muuhun energiankulutukseen. Energiankulutus tarkoittaa energian kokonaiskäyttöä kuten sähköä, kaukolämpöä ja polttoaineiden kulutusta. Kun tästä otetaan pois sähkön- ja lämmöntuotannon häviöt sekä polttoaineiden jalostuksen häviöt, saadaan energian loppukulutus. Vuonna 2019 Suomen kokonaiskulutus oli 378 TWh ja loppukulutus 300 TWh, joten tuotannon ja jalostuksen häviöitä tapahtui kokonaisuudessaan 78 TWh (20,5%) verran. (Tilastokeskus, 2021a)

Kuvassa 1 on jakauma energialähteittäin osuutena kokonaiskulutuksesta Suomessa 2019. Uusiutuvan energian osuus Suomen kokonaiskulutuksesta oli suurin, 142 TWh (38 %). Seuraavaksi suurin osuus oli fossiilisilla polttoaineilla, 129 TWh (34 %). Ydinenergiansuus oli 69 TWh (18 %). Muiden osuus, kuten turpeen, teollisuuden reaktorilämmön ja vedyn ja sähkön nettotuonnin osuus kokonaiskulutuksesta oli 38 TWh (10 %). Viime vuosien trendinä on ollut uusiutuvan energian kasvu ja fossiilisten polttoaineiden vähentyminen. Turpeen, ydinenergian, reaktiolämmön, vedyn ja sähkön nettotuonnin yhteinen osuus kokonaiskulutuksesta on pysynyt vakiona viime vuosina. (Tilastokeskus, 2021a)



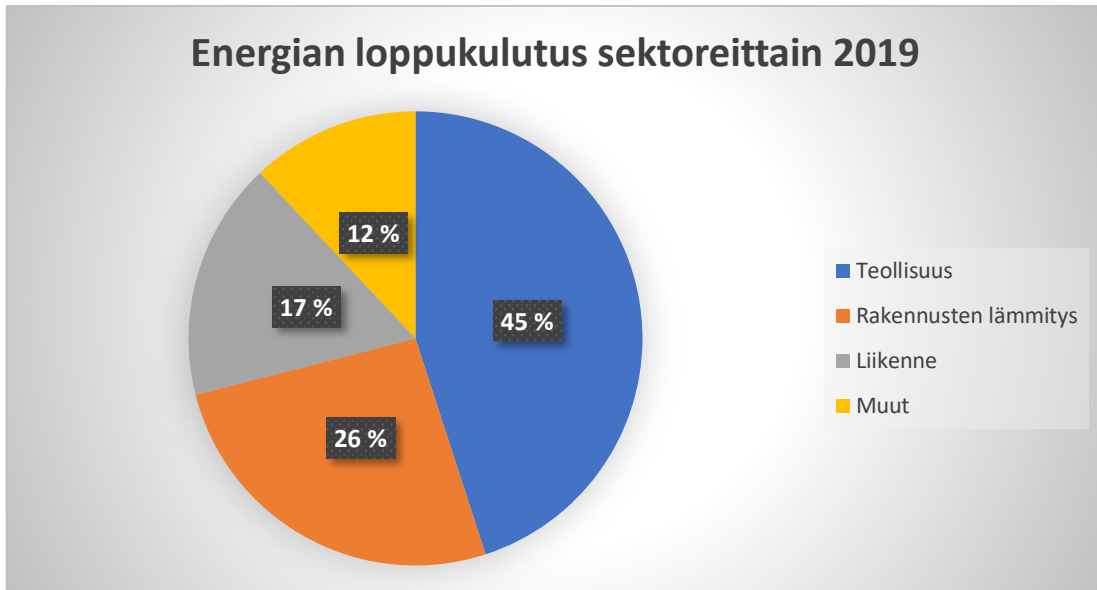
Kuva 1. Fossiilisen ja uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta vuonna 2019. (Tilastokeskus, 2021a)

Kuvassa 2 on jakauma sähkön hankinnasta Suomessa, joka oli kokonaisuudessaan 86 TWh vuonna 2019. Omaa tuotantoa oli 66 TWh ja loput nettotuontia 20 TWh. Kokonaiskulutuksesta sähkötuotannon ydinvoiman osuus oli 23 TWh (27%) ja uusiutuvan tuotannon osuus 18 TWh (21%). Kaukolämmön ja teollisuuden yhteistuotannon sekä lauhdevoiman osuus oli yhteensä 25 TWh (29 %). Nettotuonnin osuus oli 20 TWh (23%). (Tilastokeskus, 2021a)



Kuva 2. Sähkön hankinta Suomessa vuonna 2019. (Tilastokeskus, 2021a)

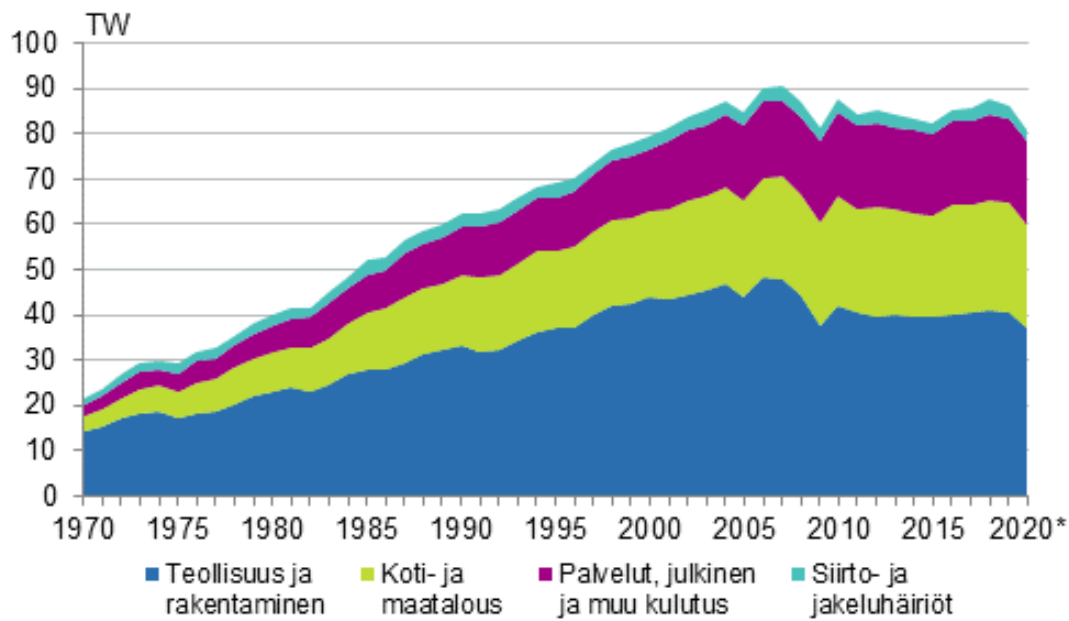
Kokonaisuudessaan vuonna 2019 Suomessa energian loppukulutus oli siis noin 302 TWh. Tästä osasta teollisuus kulutti noin 136 TWh (45 %). Rakennusten lämmityksen osuus oli yhteensä 79 TWh (26 %) ja kotimaan liikenteen energiankulutuksen osuus oli 50 TWh (17 %) vuonna 2019. Muut energiankäyttäjät, joihin sisältyvät palvelut sekä maatalous, kuluttivat energiaa 37 TWh (12%). Energian loppukulutuksen jakaumat on esitetty kuvassa 3. Teollisuuden ja rakennusten lämmityksen osuus loppuenergiasta oli siis vuonna 2019 varsin suuri, noin 214,5 TWh (71 %). Joten huomion kiinnittäminen näiden kahden energiakulutukseen kannattaa, sillä näissä on potentiaalia miettiessä energiantehostamista ja kustannussäästöjä. (Tilastokeskus, 2021a)



Kuva 3. Energian loppukulutus sektoreittain vuonna 2019. (Tilastokeskus, 2021a)

2.1.1 Teollisuus

Suomessa sektoreiden sähkönkulutus on pysynyt 2010 -luvulla tasaisena, mutta vuosikymmenen lopulla on havaittavissa sähkönkulutuksen laskua. Kuvassa 4 on esitetty jakaumat sähkönkulutuksen kehityksestä sektoreittain vuosilta 1970-2020. Teollisuuden ja rakentamisen sähköenergiankulutukset sektoreittain on esitetty kuvassa 5. Kokonaisuudessaan teollisuus ja rakentaminen kulutti sähköä vuonna 2019 noin 40 TWh. Tämä 40 TWh jakautui teollisuudessa metsäteollisuuteen 19 TWh (48 %), metalliteollisuuteen 9 TWh (22 %), kemian teollisuuteen 7 TWh (17 %) sekä muihin teollisuuden aloihin 5 TWh (13 %). (Tilastokeskus, 2021a)



Kuva 4. Sähkönkulutus sektoreittain 1970-2020. (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2021)



Kuva 5. Teollisuuden ja rakentamisen sähkön kulutus sektoreittain vuonna 2019. (Tilastokeskus, 2021a)

Kun katsotaan tarkemmin teollisuuden polttoaineiden ja energialähteiden kulutusta, on metsäteollisuuden jäteliemi eniten käytetty energianlähde, 47 TWh (44 %). Seuraavaksi eniten teollisuudessa käytetään puupolttoainetta 15 TWh (14%), jalostamokaasuja 9 TWh (9 %) ja maakaasua 9 TWh (9 %). Loppu 25 TWh (24%) jakautuu usealle polttoaineelle ja energialähteelle, kuten polttoöljyille, kivihieille, turpeelle, kierrätyspolttoaineille ja reaktiolämmölle. (Tilastokeskus, 2021b)

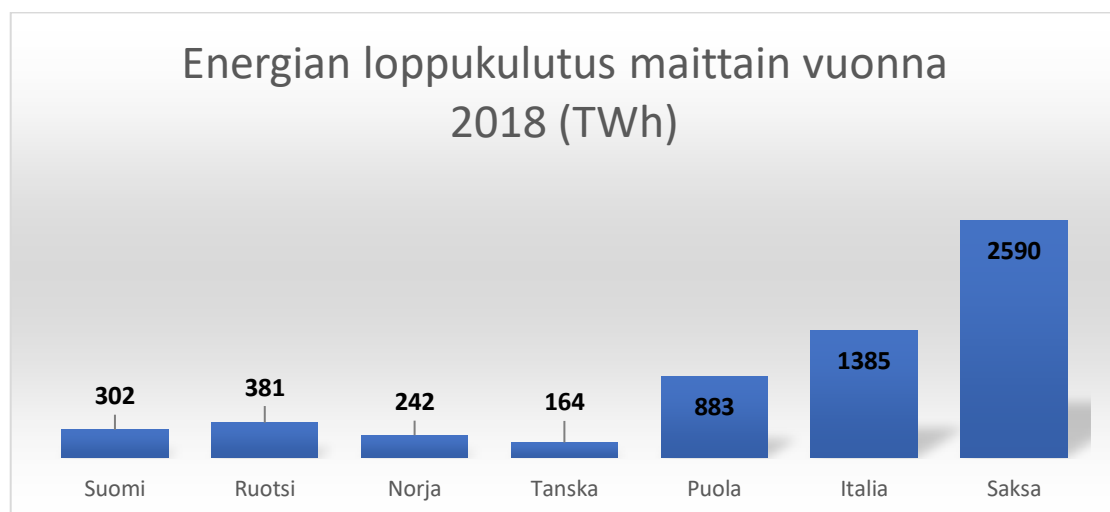
Teollisuudessa huonekalujen valmistukseen käytettiin energiaa vuonna 2019 taulukon 1 mukaisesti. Kun teollisuuden energiankäyttö kokonaisuudessaan oli 144 000 GWh, on huonekalujen valmistukseen käytetty energiaa varsin pieni, 132 GWh. (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2020)

Taulukko 1. Huonekalujen valmistuksen energiankäyttö vuonna 2019. (Suomen virallinen tilasto (SVT), 2020)

Polttoaineet GWh	Sähkö (netto), GWh	Lämpö (netto), GWh	Yhteensä, GWh
39	66	27	132

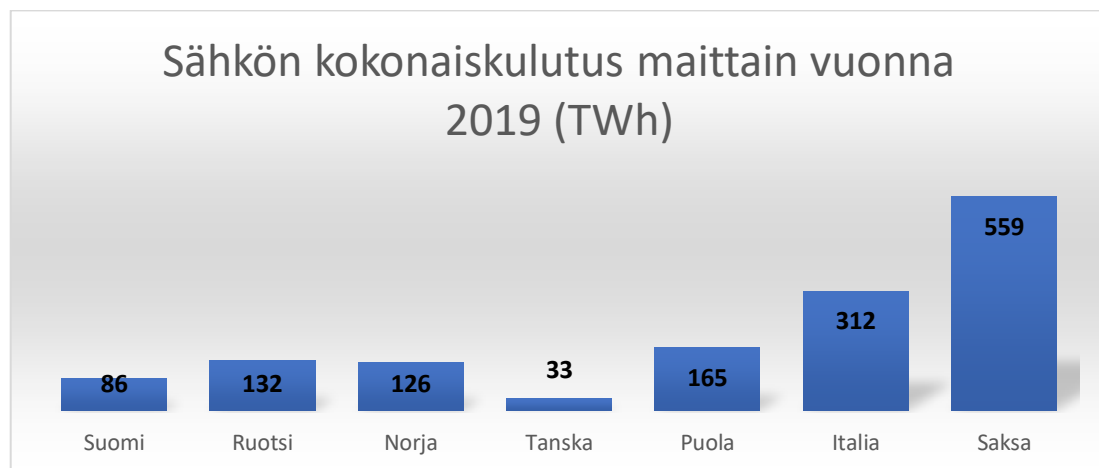
2.2 Energiankulutus Euroopassa

Kuvissa 6.-10. on esitetty Pohjoismaiden sekä muutaman Keski-Euroopan maan energiankulutuksia vuodelta 2019. Pohjoismaat on valittu vertailuun, koska sääolosuhteet näillä mailla ovat lähellä Suomen sääoloja. Keski-Euroopan maiksi valikoitui muutama suuri teollisuusmaa, Saksa, Puola sekä Italia. Pohjoismaissa energianloppukulutus vuonna 2019 oli muutamia satoja terawattitunteja (TWh). Ruotsilla oli pohjoismaiden suurin loppukulutus (381 TWh) ja Tanskalla pienin (164 TWh). Vertailussa olevista Keski-Euroopan maista, Saksalla oli suurin loppukulutus, noin 2600 TWh. Vuoden 2019 energian loppukulutukset on esitetty kuvassa 6. (International Energy Agency, 2021)



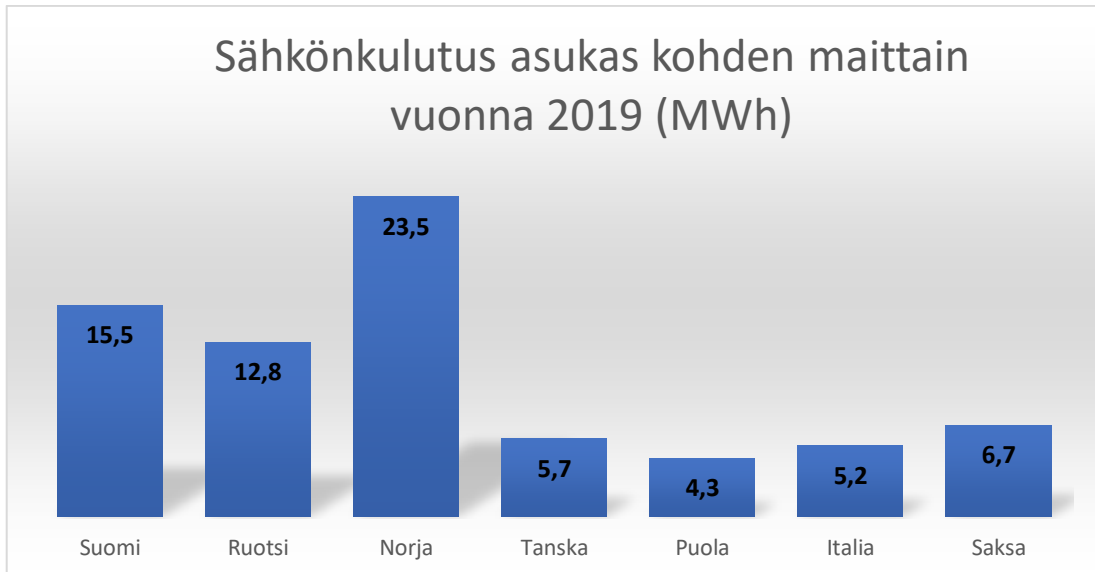
Kuva 6. Energian loppukulutus maittain vuonna 2019. (International Energy Agency, 2021)

Euroopan unionin alueelle vuonna 2019 sähkön kokonaiskulutus oli noin 3050 TWh. Kuvasessa 7 on esitetty valikoitujen maiden sähkön kokonaiskulutukset vuodelta 2019. Tanskalla oli pohjoismaiden pienin sähkön kokonaiskulutus (33 TWh), Ruotsilla suurin (132 TWh). Suomen sähkön kokonaiskulutus on varsin maltillinen, noin 86 TWh. Vertailussa olevista Keski-Euroopan maista taas Saksalla oli isona teollisuusmaana myös suuri sähkönkulutus (559 TWh). (International Energy Agency, 2021)



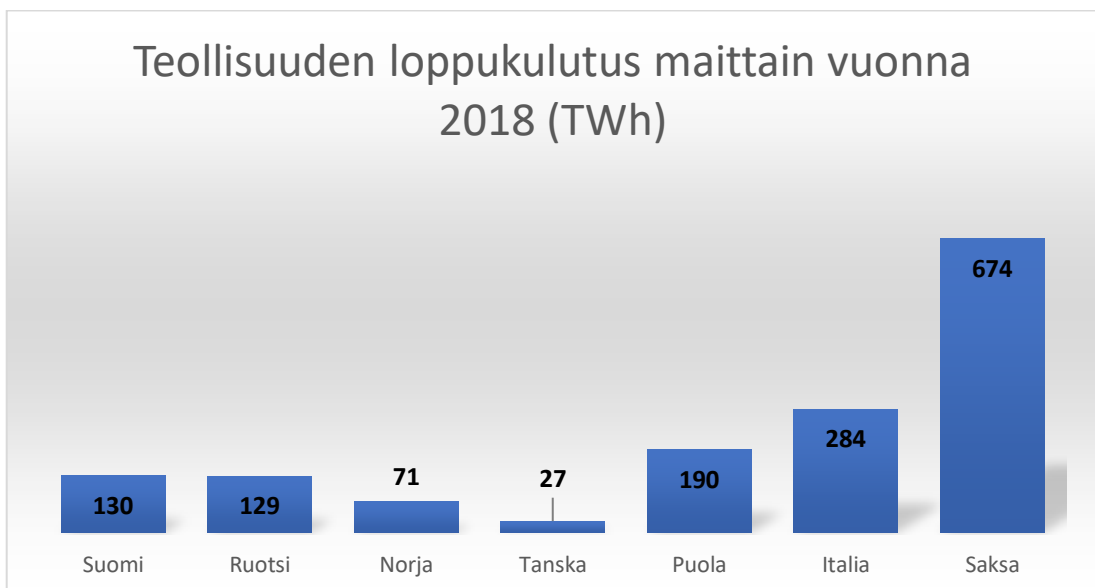
Kuva 7. Sähkön kokonaiskulutus maittain vuonna 2019. (International Energy Agency, 2021)

Kun sähkön kokonaiskulutusta verrataan asukasluvun mukaan, ovat luvut ihan toisenlaiset. Kuvaan 8 on koottu valikoitujen maiden sähkönkulutus asukasta kohden vuodelta 2019. Pohjoismaissa luvut ovat paljon korkeammalla Keski-Euroopan maihin verrattuna Tanskaa lukuun ottamatta. Pohjoismaissa Norjassa sähkönkulutus asukasta kohden oli suurin, 23,5 MWh. Tanskalla taas vastaava luku oli 5,7 MWh. Suomessa luku on kohtuullisen korkea, 15,5 MWh. Keski-Euroopassa lukemat ovat varsin tasaisia ja lähellä Euroopan unionin keskiarvoa, joka on 6 MWh per asukas. (International Energy Agency, 2021)



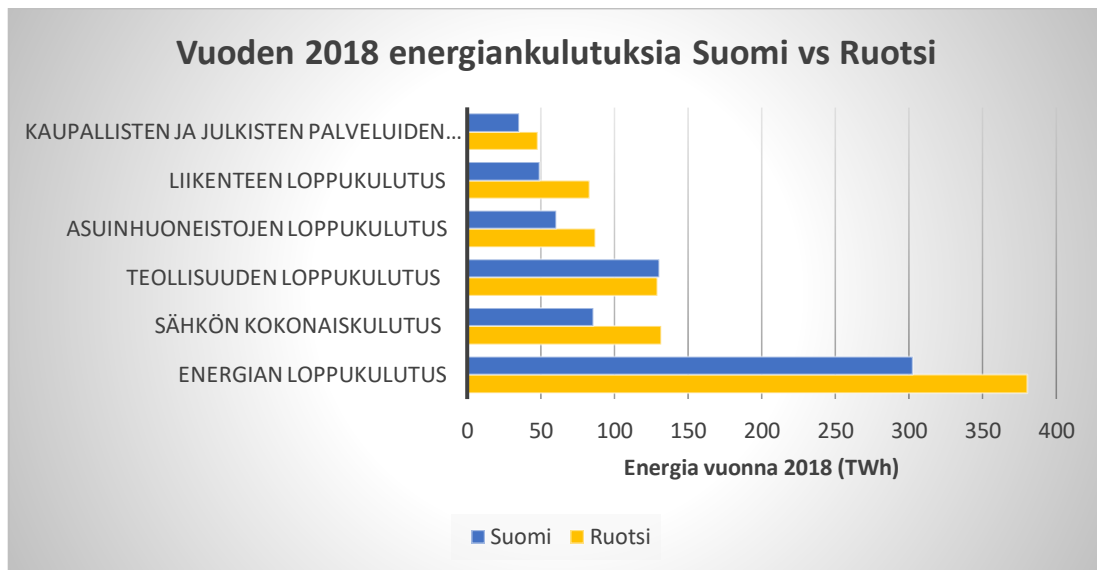
Kuva 8. Sähkön kulutus asukasta kohden maittain vuonna 2019. (International Energy Agency, 2021)

Teollisuuden energiankulutus Euroopan mittakaavalla vuonna 2018 näytti kuvan 9 mukaiselta. Saksalla isona maana myös teollisuuden energian loppukulutus oli suuri muihin verrattuna, 674 TWh. Pohjoismaista Tanskalla on teollisuuden loppukulutus pienin, 27 TWh. Suomella ja Ruotsilla teollisuuden loppukulutus on lähes sama, noin 130 TWh. Puolalla ja Italialla luvut ovat Pohjoismaita suuremmat. (International Energy Agency, 2021)



Kuva 9. Teollisuuden energian loppukulutus maittain vuonna 2018 (International Energy Agency, 2021)

Suomen energiankulutuksen vertailua on hyvä tehdä naapurimaahamme Ruotsiin. Molemissa maissa on paljon metsä- ja metalliteollisuutta. Molemmissa maissa on myös malmia ja vesivoimaa, joiden varaan nämä teollisuuden alat ovat nojautuneet. Ruotsin asukasluku on suurempi, joka voi olla osasy s siihen, että Ruotsin energiankulutus on lähes sektoreittain suurempaa. Vuoden 2018 energiankulutuksen vertailut on esitetty kuvassa 10. (Helen Oy, 2017)



Kuva 10. Vuoden 2018 Suomen ja Ruotsin energiankulutusvertailu. (International Energy Agency, 2021)

3 RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat monet tekijät. Kaikki ratkaisut lähtevät jo suunnittelupöydältä liikkeelle. Ratkaisuihin vaikuttavat rakennusaikaiset standardit ja määräykset sekä budjetti. Standardit ja rakennusmääräykset tiukentuvat jatkuvasti. Muun muassa rakenteet ja niiden eristävyyskyky ovat parantuneet kovasti 1920-luvulta saakka ja kehitys on ollut huomattavaa aina 2010 -luvulle saakka. (Ympäristöministeriö, 2018a) Lämmöntalteenottoratkaisut ovat kehittyneet huomasti vuosien saatossa. Myös lämpöhäviöihin ja rakennuksen ilmanvuotoon kiinnitetään jatkuvasti huomiota. Suunnittelijoilla on iso vastuu siinä, kuinka energiatehokas tai kuinka hyviä ratkaisuja taloudellisesti voidaan toteuttaa. Tässäkin kokemuksesta, uusimmasta ja viimeisimmästä tiedosta sekä innovaatioista on

suurta kilpailuetua. Energiatehokkuuteen ja energiankulutukseen panostetaan entistä enemmän ja ala kehittyy kovaa tahtia. Tämä vaatii suunnittelijoilta ja rakennuttajilta ajan tasalla, sekä kehityksen mukana pysymistä.

Energiakulutuksellisesti Suomessa tilojen lämmittäminen vaatii suurimman energiamäärän rakennuksen kokonaisenergiakulutuksesta. Tähän vaikuttavat arktiset ja vaihtelevat sääolosuhteet. Rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan, myös lämpimän käyttöveden, valaistuksen ja tilalaitteiden sähkönkulutus ovat rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Esimerkiksi toimistorakennuksissa, joissa pääsääntöisesti tehdään istumatyötä, on valaistuksen ja tilalaitteiden sähkönkulutus suurempi kuin lämpimän käyttöveden tarve. Toimistojen vedenkulutus perustuukin pääosin kylmän veden kulutukseen, kuten WC-kalusteiden käyttöön ja juomaveteen. Kun taas ammattiravintolassa veden kulutus on huomattavasti suurempaa keittiölaitteiden ja pesulinjastojen takia. Tehtaat, joissa on paljon isoja teollisuuslaitteita, kuluttavat taas huomattavasti enemmän sähköä kuin toimistorakennukset.

3.1 Tilojen energiantarpeet

Tilojen lämmitysenergian nettotarve koostuu rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä sekä korvausilman tai tuloilman lämmittämisestä huonelämpötilaan. Tilojen energiankulutus koostuu myös valaistuksesta sekä sisäisiä lämpökuormista. Valaistus ja sisäiset lämpökuormat vaikuttavat lämmitysenergiantarpeeseen positiivisesti, sillä niiden vaikutus voidaan vähentää lämmityksen nettotarpeista. (Ympäristöministeriö, 1010/2017) Energiakulutuksen määrä riippuu myös paljon maantieteellisestä sijainnista. Esimerkiksi Suomessa on eroa, asutko Helsingissä vai Inarissa. Täysin samanlainen omakotitalo, samantlaisilla rakenne- ja lämmitysratkaisulla, kuluttaa Helsingissä lämmitykseen vähemmän energiaa kuin Inarissa sijaitseva talo. Tämän vuoksi rakennuksien energiatodistukset laaditaan Helsingin säädäntä mukaan, vaikka rakennus fyysisesti sijaitsisikin Inarissa. Näin rakennuksien energiatodistukset ovat vertailukelpoisia toisiinsa nähden ympäri maata.

3.1.1 Rakenteet

Rakennuksen johtumislämpöhäviöt ovat iso osa rakennuksen tilojen lämmitysenergiakulutuksesta. Rakennuksen vaipan lämpöhäviöt koostuvat alapohjan, yläpohjan, ulkoseinien sekä ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöistä. Näiden rakenneosien lämpöhäviöön vaikuttaa

rakenteiden pinta-alat sekä materiaalien lämmönläpäisykertoimet. Johtumislämpöhäviöt rakennuksesta lasketaan seuraavalla yhtälöllä (1). (Ympäristöministeriö, 2018b)

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} \quad (1)$$

missä:

$$Q_{\text{joht}} = \text{rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviö, } W/K$$

$$Q_{\text{ulkoseinä}} = \text{johtumislämpöhäviöt ulkoseinän läpi, } W/K$$

$$Q_{\text{yläpohja}} = \text{johtumislämpöhäviöt yläpohjan läpi, } W/K$$

$$Q_{\text{alapohja}} = \text{johtumislämpöhäviöt alapohjan läpi, } W/K$$

$$Q_{\text{ikkuna}} = \text{johtumislämpöhäviöt ikkunan läpi, } W/K$$

$$Q_{\text{ovi}} = \text{johtumislämpöhäviöt oven läpi, } W/K$$

Rakennusosan johtumislämpöhäviö lasketaan yhtälöllä (2). (Ympäristöministeriö, 2018b)

$$Q_{\text{rakennusosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (2)$$

missä:

$$Q_{\text{rakennusosa}} = \text{johtumislämpöhäviöt rakennusosan läpi läpi, kWh}$$

$$U_i = \text{rakennusosan } i \text{ lämmönläpäisykerroin, } W/(m^2K)$$

$$A_i = \text{rakennusosan } i \text{ pinta - ala, } m^2$$

$$T_s = \text{sisälämpötila, } ^\circ C$$

$$T_u = \text{ulkolämpötila, } ^\circ C$$

$$\Delta t = \text{ajanjakson pituus}$$

$$1000 = \text{kerroin, jolla tulos muutetaan kilowattitunneiksi}$$

Lämmönläpäisykerroimeen eli U-arvoon vaikuttaa suuresti rakenteiden eristyspaksuus. Mitä suurempi eristyspaksuus on, sitä pienempi lämmönläpäisykerroin on ja sitä parempi eristyskyky rakenteella on. Taulukossa 2 on esitetty eri rakenteiden U-arvoja rakennusluvan vireilletulovuoden mukaan. Arvoissa on nähtävissä rakenteiden U-arvojen kehitys ja se, kuinka rakennepaksuuksiin ja materiaaleihin on vuosien saatossa keskitytty. Taulukon arvoja voidaan myös käyttää, jos olemassa olevien rakennuksien rakenteiden ominaisuuksia ei voida muuten selvittää rakennuksesta. (Ympäristöministeriö, 2018a)

Taulukko 2. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet rakennusluvan vireilletulovuoden mukaan 60-luvulta aina nykypäivään saakka. (Ympäristöministeriö, 1048/2017)

Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,20	2,20	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,00	1,00
Ikkuna	2,80	2,80	2,10	2,10	2,10	1,40	1,40	1,00	1,00
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,20	2,20	2,00	2,00	2,00	1,80	1,80	1,40	1,40
Ikkuna	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	1,80	1,80	1,40	1,40

Rakennuksen johtumislämpöhäviöiden mukaan luetaan myös rakenteiden välisten liitosten kylmäsillat. Yksittäisen kylmäsillan rakennukseen voi muodostaa esimerkiksi rakenteeseen sijoitettu talotekniikan komponentti, kuten ilmanvaihtosäleikkö. (Ympäristöministeriö, 2017). Kylmäsilta voi olla myös hormi. Liitosten kylmäsillat lasketaan määrittelemällä kylmäsillojen lisäkondukstanssit ja pituudet, joiden määrät kerrotaan sisä- ja ulkolämpötilojen erotuksella sekä ajanjaksolla. Kylmäsillat lasketaan seuraavalla yhtälöllä (3). (Ympäristöministeriö, 2018b)

$$Q_{\text{kylmäsillat}} = \sum l_k \Psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

missä:

$Q_{\text{kylmäsillat}}$ = johtumislämpöhäviöt kylmäsiltojen läpi, kWh

l_k = viivamaisen kylmäsillan pituus, m

Ψ_k = viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, W/(m K)

T_s = sisälämpötila, °C

T_u = ulkolämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus

1000 = kerroin, jolla tulos muutetaan kilowattitunneiksi

Välillä rakenteiden liitokset eivät ole tiedossa, ellei rakenteita pureta. Jos rakenteiden liitoksista ei ole tarkempaa tietoa, voidaan kylmäsiltojen laskemisessa käyttää rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskentaohjetta. Eritoten ohjeen taulukoiden 3.1.–3.3. annettuja taulukkoarvoja. (Ympäristöministeriö, 2018b)

Rakennuksessa on aina kylmäsiltoja, jotka aiheuttavat lämpöhäviöitä. Lämpöhäviöt on syytä ottaa huomioon laskiessa energiahäviöitä. Jos kylmäsiltoja ei voida sen tarkemmin määrittää, voidaan olettaa kylmäsiltojen vaikutuksen olevan 10 % ulkovaipan johtumislämpöhäviöistä, joka lisätään rakennuksen johtumislämpöhäviöihin. (Ympäristöministeriö, 1048/2017)

3.1.2 Vuotoilma

Rakennuksen vuotoilmaan on vuosien saatossa alettu kiinnittämään enemmän huomiota. Energiatohokkuuden parantaminen ja ylimääräisen lämmöntuotannon minimointi on monella kiinteistöjen tai rakennuksen omistajille herättänyt kiinnostusta. Vuotoilma ja siitä aiheutuva lisälämmityksen tarve kiinteistössä tuo lisäkuluja rakennuksen omistajalle. Vuotoilma ja sen pääsy rakennukseen johtuu epätiivyydestä rakentamisen aikana. Vuotoilmana tiloihin päässyt raaka ilma on lämmitettävä huonelämpöön, joka rasittaa lämmitysjärjestelmiä. Vuotoilmaan tarvitseva lämpöenergia lasketaan yhtälöllä (4). (Ympäristöministeriö, 2018b)

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

missä:

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilmaan tarvitsema lämpöenergia, kWh

ρ_i = ilman tiheys, kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg K)

$q_{v,vuotoilma}$ = vuotoilman tilavuusvirta, m³/s

T_s = sisälämpötila, °C

T_u = ulkolämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus

1000 = kerroin, jolla tulos muutetaan kilowattitunneiksi

Jotta vuotoilman tarvitseman lämpöenergian voi laskea, täytyy vuotoilmavirta $q_{v,vuotoilma}$ laskea yhtälöllä (5). Vuotoilmavirran laskemiseen tarvitsee määrittää rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} . Rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} taas voidaan määrittää ilmanvuotoluvun n_{50} avulla yhtälöllä (6). (Ympäristöministeriö, 2018b.) n_{50} -luku kertoo rakennuksen ilmavuotoluvun 50 Pa:n paine-erolla, tulokseksi saadaan 1/h eli kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa. Kun taas q_{50} -luku tarkoittaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla kokonaissämittojen (ilmatilavuus) mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Ennen määritettiin rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50} , mutta nykyään puhutaan rakennusvaipan ilmanvuotoluvusta q_{50} .

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad (5)$$

missä:

$q_{v,vuotoilma}$ = vuotoilmavirta, m³/s

q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m³ / (h m²)

A_{vaippa} = rakennusvaipan pinta – ala (alapohja mukaan luettuna), m²

x = kerroin kerroksien mukaan, yksikerroksinen 35, kaksikerroksinen 24, kolme ja neljäkerroksinen 20 ja viisikerroksinen ja sitä korkeammat 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m.

Vain maanpinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon.

3600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m³ /h yksikköön m³ /s

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (6)$$

missä:

q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $m^3 / (h m^2)$

n_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa: n paine – erolla, 1/h

V = rakennuksen tilavuus, m^3

A_{vaippa} = rakennusvaipan pinta – ala (alapohja mukaan luettuna), m^2

Rakentamisessa siis kiinnitetään entistä enemmän rakennuksen tiiveyteen ja siihen, ettei turhia aukkoja ja vuotoja jäisi rakennuksen vaippaan. Myös energiatehokkuusvaatimukset ovat ottaneet tämän huomioon ja uuden rakennuksen suunnitteluvaiheessa rakennusvaipan ilmanvuotoluvun viitearvona käytetään $4,0 m^3 / (h m^2)$. Jos suunnitteluvaiheessa käytetään pienempää ilmanvuotolukua kuin $4,0 m^3 / (h m^2)$, on ilmanvuotoluku mitattava. (Ympäristöministeriö, 1010/2017) Olemassa oleville rakennuksille ilmanvuotoluku selvitetään suunnitelmista, rakennuksen asiakirjoista tai mittaamalla. Jos näillä tavoilla ei voida ilmanvuotolukua selvittää, voidaan se määrittää taulukon 3 arvojen perusteella.

Taulukko 3. Rakennuksen sekä rakennusvaipan ilmanvuotolukuja rakennusluvan vireilletulovuoden mukaan. (Ympäristöministeriö, 1048/2017)

Rakennusluvan vireilletulovuosi	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50}	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	4,0	4,0	
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}									4,0

Rakennukset ovat nykypäivänä tiiviitä. Enää ei ole mahdollisuus, jos rakennusvaipan ilmanvuotoluku on alle $1,0 m^3 / (h m^2)$. Tiiviiden talojen lisääntyessä riittävän ilmanvaihdon merkitys ja epäpuhtaiden lähteiden pois siirtäminen on entistä tärkeämpää. Täysin tiiviitä rakennukset ei ole, eivätkä pidäkään olla. Kosteudensiirron kannalta on tärkeää, että ilma kulkee rakenteessa ulkoa sisälle. Kylmässä ilmassa kosteus tiivistyy herkästi rakenteessa. Tämä saadaan pysäytettyä tiiviillä höyrösululla rakentamisvaiheessa. (Sisäilmayhdistys ry, 2020b) Yhä useammin uudisrakentamisen yhteyteen kuuluukin rakennuksen ilmatiiveyden mittausta, jolla osoitetaan riittävä ilmapitävyys rakennuksessa. Taulukossa 4 on esitetty

tyypillisiä rakennuksien ilmanvuotolukuja sekä rakennusvaipan ilmanvuotolukuja erilaisille rakennuksille. (Ympäristöministeriö, 2018b)

Taulukko 4. Tyypillisiä rakennusten ilmanvuotolukuja sekä vaipan ilmanvuotolukuja erilaisille rakennuksille. (Ympäristöministeriö, 2018b)

Tavoite ilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset n_{50} -luvut, 1/h	Tyypilliset q_{50} -luvut, $m^3/(h m^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0-3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5-1,5	Pientalo 1,0-3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0-4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0-5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5-3,0	Pientalo 3,0-5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0-8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0-10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0-7,0	Pientalo 5,0-10,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0-20,0

3.1.3 Sisäilma ja ilmanvaihto

Ihminen viettää suurimman osan ajastaan sisätiloissa kuten töissä sekä kotona. Vireyden, jaksamisen ja hyvinvoinnin takia on tärkeää, että sisäilma on hyvää. Hyvä sisäilma on rai-kasta ja hajutonta. Se on myös lämpötilaltaan miellyttävää, eikä liian kosteaa tai kuivaa. Huono sisäilma ilmenee erilaisina sisäilmaongelmina, kuten hajuina. Sisäilmaongelmat ilmenevät ihmisten erilaisina oireina, kuten päänsärkinä. Sisäilmaa voidaan mitata erilaisin mittarein ja se koostuu monesta osasta. Siihen kuuluu käyttäjäkokemukset, rakennuksen kunto ja olosuhdemittaukset. Sisäilman olosuhdemittaukset ovat yleisimmin lämpötila, kos-teus ja hiilidioksidin määrän mittaaminen. Tämän lisäksi voidaan mitata myös VOC-yhdis-teitä, jotka ovat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita sisäilmaan pääsee muun muassa huonekaluista ja rakennusmateriaaleista. Sisäilmaongelmat voivat johtua monesta seikasta, ku-ten riskirakenteista tai puutteellisesta ilmanvaihdosta. Onkin tärkeää, että rakentamisessa ja kiinteistön ylläpidossa osataan ottaa ennakoivasti huomioon sisäilmaan liittyvät osatekijät. (Työterveyslaitos, 2020)

Hyvän sisäilman merkitys rakentamisessa korostuu entistä enemmän niin saneeraus- kuin uudisrakentamisessa. Hyvinvoinnin kannalta on tärkeää, että sisäilma rakennuksessa on laadukasta ja viihtyisää, sillä työkäiset ihmiset viettävät ajastaan jopa noin 90 % sisätiloissa. Vanhukset ja lapset vieläkin enemmän. On siis tärkeää, että sisätiloissa on puhdasta ja rai-kasta sisäilmaa. Myös juuri oikeanlainen sisälämpötila ja valaistus on viihtyvyyden takia tärkeitä elementtejä. (Terveyden ja hyvinvoinninlaitos, 2020a)

Sisäilma saattaa sisältää paljon epäpuhtauksia, jolloin riittävän ilmanvaihdon merkitys rakennuksissa on tärkeää. Riittämätön ilmanvaihto on yleisin sisäilmaongelmien aiheuttaja. Huono ilmanvaihto pahentaa sisäilman epäpuhtauksia ja aiheuttaa ihmisissä yleisoreita kuten väsymystä ja päänsärkyä. (Terveyden ja hyvinvoinninlaitos, 2020b) Myös erityispuhtaiden sisätilojen käyttö voi lisätä oireilua. Kuten terveyden ja hyvinvoinninlaitoksen artikkelissa sanotaankin, ettei erityispuhtaita tiloja tulisi käyttää ennen kuin niiden vaikutukset terveyteen ja hyvinvointiin on selvitetty. Tämän sijasta pitäisi keskittyä sisäilmaympäristössä oireleviin ja tukea heitä monipuolisesti ja ennaltaehkäisevästi. (Terveyden ja hyvinvoinninlaitos, 2021)

Ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa sisäilman laatuun ja samalla energiatalouteen. Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin ja se voi olla painovoimaista tai koneellista. Ilmanvaihdolla tuodaan oleskelutiloihin puhdasta ilmaa ja poistetaan samalla epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia ovat esimerkiksi ihmisten aineenvaihdunnasta vapautuvia partikkeleita kuten hiilidioksidia hengityksestä. Myös rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ulkoilmasta ja radonista pääsee sisäilmaan epäpuhtauksia, jotka saadaan ilmanvaihdolla poistettua sisätiloista. Toimivalla ilmanvaihdolla luodaan viihtyisiä ja terveellinen sisäilma ja se onkin hyvän sisäilman perusta. (Sisäilmayhdistys ry, 2020a) Kaikkea sisäilmaongelmia ei voida hyvällä ilmanvaihdollakaan pelastaa, jos rakenteissa on ongelmia. Hyvä sisäilma ei ole vain yhden tekijän ansiota, vaan se on monen tekijän summa (Sisäilmautiset, 2021).

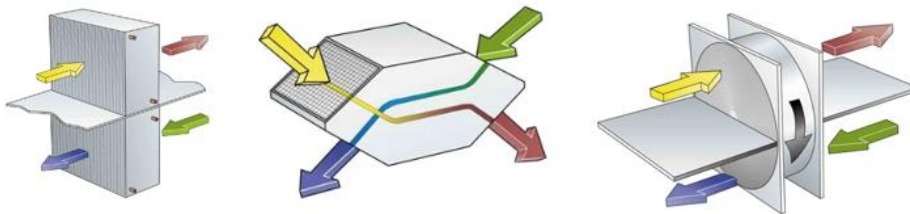
Hyvän ilmanvaihtojärjestelmä vaatii ammattitaitoiset ja huolelliset suunnittelijat ja urakoitsijat. Hyvä ilmanvaihtojärjestelmä on tehokas, äänetön, ei aiheuta vedon tunnetta sekä on hyvin huollettavissa ja säädettävissä suunnitelmien mukaisiin ilmavirtoihin. Jotta kaikki nämä onnistuvat, vaatii se suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa työryhmältä paneutumista ja

perehtymistä ilmanvaihdon perusteisiin. Ilmanvaihdon ja sisäilman vaatimuksia uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta asettaa ympäristöministeriö asetuksessaan 1009/2017. Asetuksessa on määritetty muun muassa huonelämpötilat lämmityskaudella sekä sisäilman enimmäismäärä hiilidioksidin pitoisuudessa sekä ulkoilmavirtojen vähimmäisvaatimukset. (Ympäristöministeriö, 1009/2017) Koska hankkeita on erilaisia, joihin asetuksen vaatimuksia on hankala suoraan soveltaa, on asetuksen rinnalle luotu tarkemmat mitoitusoppaat FINVAC:n laatimana. Oppaat ovat kohdennettu erikseen asuinrakennuksien ja muiden kuin asuinrakennuksien ilmanvaihdon mitoitukseen. Oppaissa on määritetty erilaisten rakennusten tyypillisimmät huonetilat ja niiden ilmanvaihdon tarpeet laitemitoituksen ja tilan käytön kannalta. (FINVAC, 2021) Myös talotekniikkainfon sivustoille on koottu kattavat oppaat asetuksen 1009/2017 tueksi. Talotekniikkainfon sivuilta löytyy ilmanvaihdon lisäksi oppaita muun muassa vesi- ja viemäri-laitteille sekä paloturvallisuudesta. Oppaat koostuvat opastavista teksteistä, jotka on luotu yhteistyössä alan toimijoiden kanssa asetusten tueksi. Tarkoituksena oppailla on selventää määräykset ohjeista sekä varmistaa muuttuvassa sää-döstilanteessa rakentamisen laadunhallinnan edellytykset. (Talotekniikkainfo, 2020)

Sisäilman laadun ja lämpötilan hallinnan tueksi on luotu sisäilmastoluokitukset, joilla asetetaan vaatimukset yksilölliseen (S1 -luokan), hyvään (S2 -luokan) tai tyydyttävään (S3 -luokan) sisäilmaan. Sisäilmastoluokitukset on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja talotekniikan suunnittelun ja urakoinnin apuna, kun tavoitteena on rakentaa terveitä, turvallisia ja viihtyisiä rakennuksia. Rakennushankkeeseen ryhtyvä valitsee tavoitetasot yhdessä suunnittelijoiden kanssa. Suunnittelijat esittävät asiakirjoissaan suunnitteluratkaisut, jotka vaikuttavat osaltaan sisäilmaluokitusten vaatimustasoon. (Sisäilmastoluokitus 2018) Sisäilmauutisten artikkelissa Jorma Säteri mainitseekin nykyajan rakentamisessa lähes jokaisessa hankkeessa tavoitetasona olevan S2 -luokan sisäilma, lukuun ottamatta asuntorakentamista. (Sisäilmauutiset, 2018) Tavoitetasoina S1 eli yksilöllinen sisäilmasto tarkoittaa laadultaan erittäin hyvää sisäilmaa niin, ettei hajuhaittoja esiinny. Lämpöolovaatimukset ovat tiukat, mikä tarkoittaa kiinteistöön jäädytystä. S1 -luokassa on myös pystyttävä yksilöllisesti säätämään valaistusta ja lämpöoloja. S1 -luokan tavoitetaso onkin yleensä varsin kallis toteutettava. Yleisin tavoitetaso on S2 -luokka, joka tarkoittaa hyvää sisäilman laatua, niin ettei hajuhaittoja esiinny. S2 -luokka antaa lämpöolosuhteissa hieman anteeksi. S2 -luokassa kesäpäivinä sallitaan hetkellinen sisätilojen ylikäynnistyminen. Tyydyttävä taso S3 -luokka tarkoittaa tasoa,

jossa maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset säädökset ja lait tulevat täytetyksi. Toisin sanoen S3 -luokka täyttää vähimmäisvaatimukset. Rakentamisessa otetaan myös sisäilmaston lisäksi huomioon rakennusmateriaalien luokitukset sekä puhtausluokitukset. (Sisäilmasto- luokitus 2018)

Energiatohokkuuden näkökulmasta ilmanvaihdossa lämmöntalteenotto on yksi tärkeimmistä asioista, jolla energiaa saadaan sisäilmasta otettua talteen ennen kuin se johdetaan rakennuksesta ulos. Lämmöntalteenottotapoja on monia, mutta periaate kaikissa on sama. Lämmöntalteenotto perustuu termodynamiikkaan ja lämmön siirtymiseen lämpimästä kylmään. Kooneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa lämmöntalteenottotapoja on kolme erilaista, jotka on esitetty kuvassa 11. Lämmöntalteenottotekniikoita ovat nestekiertoiset, levylämmönsiirtimet sekä pyörivät lämmönsiirtimet. Vuonna 2018 voimaan tulleet Euroopan komission ekosuunnitteluvaatimukset vaativat ilmanvaihdon nestekiertoisen lämmöntalteenottojärjestelmän lämpötilahyötysuhteelta vähintään 68 % sekä levy- ja pyöriväsiirtimissä vähintään 73 %. (Build Up, 2014)



Kuva 11. Vasemmalta oikealle: nestekiertoinen, levy ja pyörivä lämmönsiirrin. (Swegon, 2021)

Lämpötilahyötysuhde kertoo sen, kuinka paljon lämmöntalteenotto pystyy hyödyntämään standardin mukaisissa oloissa poistoilman lämpöä tuloilman lämmittämiseen. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde taas kertoo sen, kuinka paljon lämmöntalteenotto pystyy hyödyntämään vuodessa poistoilman lämpöä tuloilman lämmittämiseen. Vuosihyötysuhteeseen vaikuttaa sääolosuhteet sekä lämmöntalteenoton jäätymiseneston toiminta, joten

vuosihyötysuhde on aina pienempi kuin lämpötilahyötysuhde. Taulukossa 5 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteiden arvoja vuosien saatossa. (Vallox, 2021)

Taulukko 5. Lämmöntalteenottojen vuosihyötysuhteet rakennusluvan vireilletulon mukaan. (Ympäristöministeriö, 1048/2017)

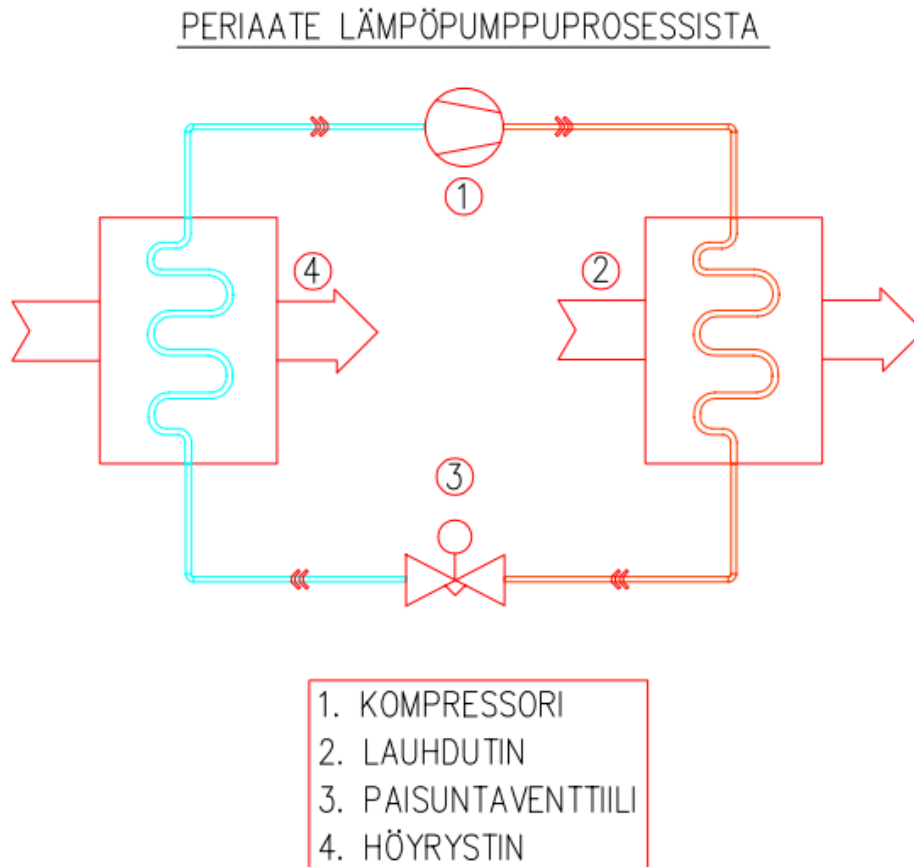
<i>Rakennusluvan vireilletulovuosi</i>	<i>-1969</i>	<i>1969-</i>	<i>1976-</i>	<i>1978-</i>	<i>1985-</i>	<i>10/2003-</i>	<i>2008-</i>	<i>2010-</i>	<i>2012-</i>	<i>2018-</i>
Vuosihyötysuhde	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %

Ilmanvaihtokanavien eristyksellä saadaan myös energiansäästöä aikaan. Ilman lämpeneminen kanavistossa kesällä tai ilman viileneminen kanavistossa talvella aiheuttaa sen, että lämmöntuotanto- tai viilennyskapasiteetti käy kovemmalla kuin optimaalisessa tilanteessa. Halutut sisälämpötilat sekä ympäristön lämpötilat vaikuttavat siihen, millainen eristyskyky riittää ilmanvaihtokanavistossa pitämään ulkopuolisen lämpötilan vaikutuksen poissa järjestelmästä.

3.1.4 Lämpöpumput

Lämpöpumpputekniikka on yleistynyt talotekniikassa ja lämpöpumppuja löytyykin kiinteistössä lämmityksestä, jäähdytyksestä, käyttöveden tuotannossa sekä ilmanvaihtokoneissa. Lämpöpumput ovat kasvattaneet suosiotaan hyvän hyötysuhteen ja pienten käyttökustannusten ansiosta. Lämpöpumppujen tehokerroin eli COP-arvo (Coefficient Of Performance) tarkoittaa sitä, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa suhteessa siihen, kuinka paljon se käyttää sähköenergiaa. Eli COP -arvo 3 tarkoittaa sitä, että 1 kW ottoteholla saadaan 3 kW lämpötehoa. COP-arvo vaihtelee ja se riippuu olosuhteista ja käyttötarkoituksesta. Pienemmällä lämpötilaerolla päästään parempaan hyötysuhteeseen. Lämpöä voidaan ottaa talteen ulkoilmasta, rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta tai maaperästä. Toimintaperiaate lämpöpumpuissa on sama (kuva 12). Ilmasta tai maasta talteen otettu lämpö siirretään höyrystimen avulla lämpöpumpun väliaineeseen. Kompressorilla väliaineen paine ja lämpötila nostetaan, jossa väliaine muuttuu kuumaksi kaasuksi. Korkealämpöisestä väliaineesta saadaan lämpöä, joka siirretään lauhduttimen avulla lämmityksen nesteeseen tai ilmaan. Kohde voi olla esimerkiksi lattialämmityspiiri tai ilmalämpöpumpun sisäyksikön puhallusilmaa.

Korkealämpöinen väliaine lämpöpumpussa jatkaa matkaa paisuntaventtiilille, jossa väliaineen paine laskee ja lämpötila viilenee, josta se matkaa takaisin höyrystimeen. Lämpöpumpulla voidaan kattaa suurin osa esimerkiksi asunnon ja veden lämmityksen tarpeesta. Suomessa kovimmilla pakkasilla osa lämmityksen tarpeesta joudutaan kattamaan muulla energialähteellä, kuten suoralla sähköllä tai kaukolämmöllä. (VattenFall, 2021)



Kuva 12. Periaatepiirustus lämpöpumpunprosessista ja pääkomponenteista.

3.1.5 Käyttöveden energiakulutus

Lämminkäyttövesi täytyy tuottaa kylmästä vesijohto vedestä lämpimäksi. Asetukset ja määräykset asettavat lämpötilarajat Legionella -bakteerin vuoksi. Legionella on bakteeri, jota esiintyy luonnon vesissä ja maaperissä. Se voi lisääntyä vesijärjestelmissä, jos olosuhteet ovat otolliset. Ihmisen elimistöön bakteeri voi päätyä vesijärjestelmästä sekä aerosolina hengitysilman kautta. Määräysten mukaan kylmä vesi ei saisi ylittää +20 °C astetta, sillä sitä lämpimämpi vesi mahdollistaa mikrobikasvun leviämisen ja voi näin altistaa infektiolle. On

todettu myös, että yli 50 °C asteinen vesi tappaa Legionella -bakteereista 90 % muutamassa tunnissa ja yli 60 °C asteinen vesi vain muutamassa minuutissa. Määräyksissä ja asetuksissa onkin asetettu lämpimän käyttöveden lämpötiloiksi vähintään 50 °C ja enintään 65 °C palovammariskien takia. Lämpimän käyttöveden ylimääräistä viilentymistä voidaan rajoittaa vesijohtoringoissa eristemateriaaleilla ja eristepaksuudella. (Talotekniikkainfo, 2019; Työ- ja hyvinvointilaitos, 2019)

Lämpimän käyttöveden tuottamiseen viileästä vesijohtovedestä on monia. Kiinteistön ollessa liitettynä kaukolämpöverkkoon, voidaan lämmin käyttövesi tuottaa kaukolämmön avulla lisäämällä oma lämmityssiirrin lämpimään käyttöveteen. Jos kaukolämpöä ei ole käytettävissä, voidaan lämminkäyttövesi tuottaa suoralla sähköllä sähkövaraajassa tai lämpöpumpulla kompressiotekniikkaa hyödyntämällä. Myös aurinkolämpöä hyödyntämällä voidaan tuottaa lämmintä käyttövettä.

Riippuen kiinteistöstä, voi käyttöveden ja lämpimän käyttöveden siirtymät olla pitkiäkin vesipisteille. Riskinä silloin on lämpimän veden viilentyminen, jolloin lämpimän veden kiertojohdon käyttö on välttämätöntä. Lämpimän veden kiertojohdon tehtävänä on estää lämpötilan laskua, sekä sitä, ettei myöskään vesipisteelle tulevan lämpimän veden odotusaika pitene kohtuuttoman pitkäksi. Vaikka lämpimän veden kiertojohdo ja lämpimän käyttöveden vesijohto eristetään, syntyy tästä lämpöhäviöitä. Tämä taas vaikuttaa kiinteistön energiankulutukseen. Kiertojohdon pumppu kuluttaa sähköä ja näin myös vaikuttaa kiinteistön energiankulutukseen.

3.1.6 Valaistus ja sähkölaitteet

Suomessa energiankulutuksesta noin kymmenen prosenttia kuluu valaistukseen. Riippuen rakennuksien käyttötarkoituksesta, voi osuus olla suurempikin. Esimerkiksi koulut, joissa valaistus täytyy olla päällä koko päivän, voi valaistuksen osuus olla jopa kaksikymmentä prosenttia. Sairaalat, joissa toimintaa on ympäri vuorokauden, valaistuksen osuus energiankulutuksesta voi olla jopa kolmannes. (Motiva Oy, 2017)

Valaistuksen valinta ja niiden energiankulutus on monen asian summa. Tänä päivänä valaistukseen on kiinnitetty paljon huomiota, jotta energiankulutus olisi energiatehokasta ja

ympäristöystävällistä. Valaisimet itsessään ovat muuttunut energiatehokkaimmaksi ja niiden sijoitteluun ja ohjaustekniikkaan on kiinnitetty huomiota. Suurin osa valaisimista on LED-valaisimia, jotka kuluttavat huomattavasti vähemmän energiaa ja niiden toimintakyky on paljon pitempi verrattuna aikaisempiin halogeenivalaisimiin. Älykkäät valaisimet auttavat käyttäjiä käyttämään valaisimia puhelimen tai aikaohjelman mukaisesti niin, että valot toimivat juuri käyttäjien tarpeiden mukaisesti ja näin parantavat käyttäjän valaisimen käyttö-mukavuutta ja ovat käyttökustannus tehokkaita. Muun muassa liiketoiminnassa käytössä ovat valaistuksen ohjaukset, joissa ne tukevat tilojen käyttötarkoitusta ja voivat auttaa sää-vuttamaan jopa 10–50 % lisäsäästöt energiankulutuksessa. Älykäs valaistus tukee liiketoi-minnan toimintoja ja työtehtäviä. Hyviä esimerkkejä ovat neuvotteluhuoneiden valaistuksen teho sekä värilämpötila saadaan muutettua huoneessa olevien painikkeiden avulla. Varaston valaistus syttyy ja sammuu käytön mukaan. Liikkeen tai myymälän valot kirkastuvat liik-keiden auetessa tai tuotannon työpisteiden valoteho pienenee taukojen ajaksi. Kaikilla näillä saadaan helppoutta automatisoinnilla ja valaistuksen ohjaus pidentää valaisimien elinkaarta ja on samalla energiatehokasta energiankäyttöä. (Greenled, 2021)

Työlaitteiden ja muiden kiinteistön sähkölaitteiden energiankäyttö riippuu paljon yritysten toiminnasta ja yrityssektorista. Teollisuudessa voi sähkölaitteiden osuus olla iso kiinteistöjen kokonaisenergiankulutuksesta. Toimistorakennuksissa toimistolaitteet voivat viedä jopa kolmanneksen toimistoissa käytettävästä energiasta. Teollisuudessa käytetäänkin paljon jä-telämmön talteenottoja, jolla jätelämpö saadaan hyödynnettyä muihin prosesseihin tai käyt-tämällä tätä lämpöä kiinteistöjen lämmitykseen. Tehdastyössä laitteiden käyttö on välttämä-töntä ja energiankulutus pysyykin vakiona vuodenajasta riippumatta. Käyttämällä energia-tehokkaita ja pitämällä laitteet toimintakykyisinä ja parhaassa mahdollisessa kunnossa, voi-daan säästyä ylimääräisiltä kuluilta (Motiva Oy, 2018). Työasemien, näyttöjen, kopiokonei-den ja datakeskuksien sähkönkulutusta voidaan säätää hankkimalla energiatehokkaita ja ny-kyaikaisia laitteita sekä käyttämällä virransäästöjärjestelmiä. Käyttäjät voivat joissakin ti-lanteissa omalla toiminnallaan säästää energiaa esimerkiksi sulkemalla laitteita yönajaksi.

4 ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuuden kehittämiseen voi olla monia syytä. Energiatehokkuuden parantami-sella pyritään pienentämään energiakulutusta sekä hiilidioksidipäästöjä. Pienentämällä

energiankulutusta saadaan aikaan myös kustannussäästöjä. Tämän avulla pystytään parantamaan yritysten kilpailukykyä ja vihreillä valinnoilla voidaan saada joissakin tilanteissa kilpailuetua muihin vastaaviin yrityksiin nähden. Syitä energiatehokkuuden parantamiseen voi olla myös energian saannin turvaaminen, tuontien energiantarpeen vähentäminen ja korvaaminen omalla tuotannolla. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021a)

Energiansäästö ja energiatehokkuus edistää uusiutuvien energialähteiden lisäämistä, joka taas laskee kasvihuonepäästöjä. Syynä energiansäästöön voi olla pelkästään myös halu ympäristön- ja ilmansuojeluun. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021a) Suomessa yrityksillä, kunnilla ja kuntayhtymillä on mahdollisuus liittyä energiatehokkuussopimukseen, jonka avulla jokainen voi osoittaa vastuullisuutensa ja samalla auttaa rakentamaan myönteistä julkisuuskuvaansa (Energiatehokkuussopimukset, 2021).

Energiatehokkuuden parantamiseen löytyy monia keinoja. Yksinkertaisuudessaan se voi olla eristeen lisäämistä kiinteistöön rakenteisiin, esimerkiksi puhallusvillan lisääminen yläpohjaan ullakolle. Toinen ääripää voi olla monimutkaisempi uusiutuvalla energialla toimiva hybridijärjestelmä, jonka avulla voidaan ottaa yhtä aikaa energiaa talteen auringosta, maaperästä sekä tuulesta. Tällainen järjestelmä vaatii isompia teknisiä tiloja sekä teknisiä järjestelmiä, kuten automatiikalta vaaditaan paljon. On tärkeää, että uusituvasta energiasta saadaan optimaalisin ja suurin energia talteen.

4.1 Energiatehokkuusdirektiivi ja energiatehokkuuslaki

Pariisin ilmastopöytäkirja astui voimaan vuonna 2016, jonka tavoitteena on saada hillittyä maapallon keskilämpötilan nousu alle 1,5 asteeseen suhteessa esiteolliseen aikaan. Sopimukseen osallistuneet maat määrittelevät itse päästövähennystavoitteensa ja laativat sen mukaan omat poliittiset toimensa. Suomi on tässä sopimuksessa mukana, joka on omalta osaltaan linjannut toimiaan vähentääkseen kasvihuonekaasuja johdonmukaisesti aina 2050 asti. Tavoitteena on muun muassa vahvistaa hiilinielujä, lisätä uusiutuvan energian osuutta loppukulutuksessa sekä luopua kivihilestä kokonaan. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017; WWF, 2021)

Työ- ja elinkeinoministeriö nimesi vuonna 2018 ryhmän, joka koostui energiatehokkuuden, teollisuuden, kuluttajien, palveluiden ja liikenteen asiantuntijaryhmistä. Heidän tehtävänänsä oli laatia esitykset siitä, kuinka Suomi saavuttaisi energiatehokkuusdirektiivin edellyttämän 7 artiklan sitovan tavoitteen vuoteen 2030 asti. Tästä syntyi energiatehokkuustyöryhmän loppuraportti, joka muodostuu 53 toimenpidekortista. Loppuraportti liitteineen julkaistiin 30.9.2019. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021a)

Pääpaino loppuraportin toimenpiteissä on energiakatselmoinnissa, energiatuissa ja -palveluissa sekä viestinnän ja raportoinnin tärkeydessä. Toimenpiteet on jaettu sektoreittain teollisuuden, palveluiden, kuluttajien, maatalouden, liikenteen sekä horisontaalisiin sektoreihin. Toimenpiteistä osa on jo nykyisiä toimia, joita jatketaan ja kehitetään. Mukana on myös kokonaan uusia toimenpiteitä. Esimerkkejä nykyisistä toimenpiteistä, joita jatketaan ovat energiatehokkuussopimukset, olemassa olevien rakennuskantojen energiakorjauksien ja korjauskonseptien kehitys, liikenteen energiatehokkuuden parantaminen sekä täyssähköautojen tuki ja romutuspalkkiokampanjat. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021a)

Uusina toimenpiteinä ovat esimerkiksi teollisuuden ylijäämälämpöjen laajamittainen hyödyntäminen ja energiatehokkuuden innovointiympäristön kehittäminen. Älykkäiden ratkaisujen sekä teknologian ja datan hyödyntämisen lisääminen on energiatehokkuusryhmän laatima uusi toimenpide. Energiatehokkuustyöryhmän raportin teettämän selvityksen mukaan ylijäämälämmön potentiaalinen suuruusluokka on 16 TWh, joka on merkittävä. Kulutusseurannassa sekä teknologian ja älykkäiden ratkaisujen hyödyntämisessä on energian säästön kannalta myös suuret potentiaalit. Niiden avulla voidaan vaikuttaa sisäolosuhteisiin, turvallisuuteen ja terveellisyteen. Uudet teknologiat ovat myös vientituotteita, joten niiden kehityksellä on positiivinen vaikutus tulevaisuuteen. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019)

Energiatehokkuusdirektiivi (2012/27/EU), lyhemmältä nimeltään EED, tuli voimaan 2012 loppuvuodesta. Direktiivi velvoittaa laatimaan kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman kolmen vuoden välein (NEEAP, National Energy Efficiency Action Plan). Viimeisin NEEAP-4 on Suomen neljäs Euroopan komissiolle vuonna 2017 toimitettu toimintasuunnitelma. Raportointi velvoite on vuodesta 2014 ollut Energiavirastolla. Myös Motivalla on keskeinen rooli Energiaviraston yhteistyössä. Motiva on kokonaan valtion

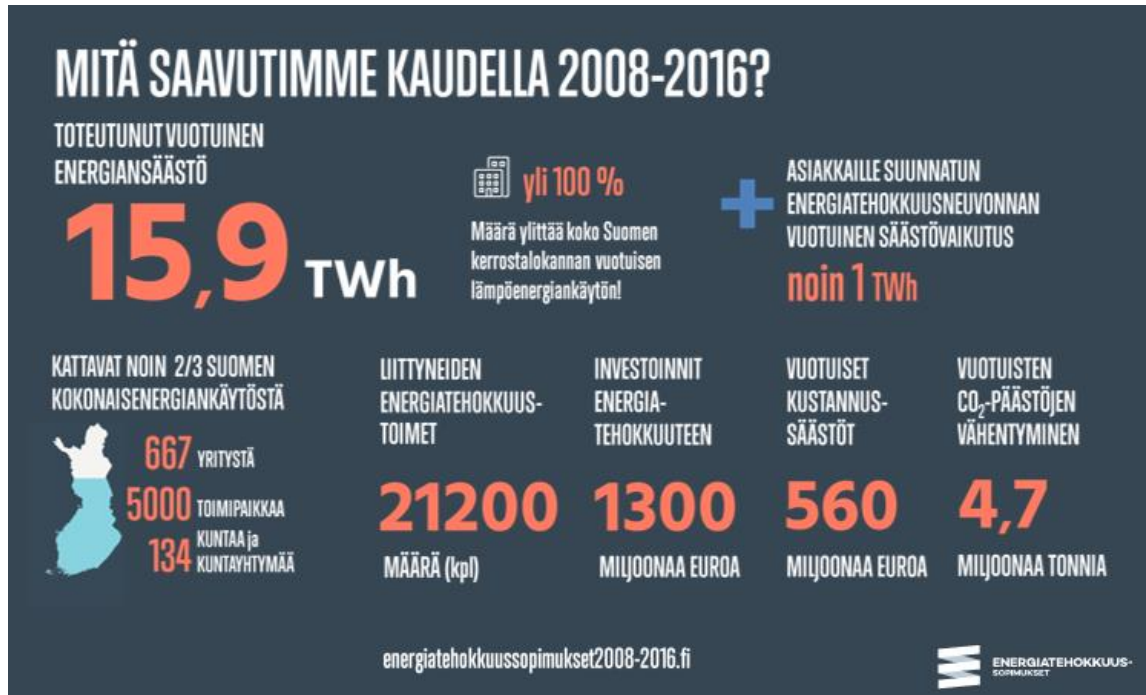
omistama yhtiö, joka on paneutunut kestäväan kehitykseen. Motiva tarjoaa julkishallinnolle, yritykselle, kunnille ja kuluttajille palveluita, ratkaisuja ja tietoa kestäväan kehityksen valintoihin. NEEAP-4 energiatehokkuuden toimintasuunnitelmassa paneudutaan Suomen energiankäytön tehokkuuteen sektoreittain aina julkiselta sektorilta maatalouteen saakka. Raportissa paneudutaan toimenpiteisiin ja täytäntöönpanoon siitä, kuinka kokonaisuudessaan saadaan Suomen tavoitteet energiansäästötavoitteista täytettyä. Hallitusohjelmassa Suomi on asettanut tavoitteeksi vuoteen 2035 mennessä saavuttavansa hiilineutraalin tilanteen ja vuoteen 2050 mennessä kasvihuonepäästöjen vähentämisen 80–95 prosentilla vuoteen 1990 verrattuna. (Motiva, 2020; Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017)

Energiatehokkuuslaki on julkaistu vuonna 2014. Lain tarkoitus on säätää energiatehokkuuden edistämistä. Laki säätää energiakatselmuksia, sähkön ja lämmön yhteistuotannon ja ylijäämälämmön hyödyntämisen energiatehokkuutta. Lakia sovelletaan yrityksiin, jotka tekevät energiakatselmuksia, myyvät tai jakavat sähköä, kaukolämpöä, kaukojäähdytystä tai polttoainetta. Piiriin kuuluvat myös kaukolämpö- ja kaukojäähdytysverkot. Lakia sovelletaan myös lauhdetuotantolaitoksiin sekä laitoksiin, joissa syntyy käyttökelpoista ylijäämälämpöä. Laissa on määritetty muun muassa energiakatselmoinnin menettelyt ja siihen pätevyneiden henkilöiden määrittely. Energiatehokkuuslaissa on asetettu omat lakipykälät kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen mittaamiseen ja laskutukseen. (Finlex, 1429/2014)

4.2 Energiatehokkuussopimus Suomessa

Energiatehokkuussopimukseen on Suomessa liittynyt 2021 tammikuuhun mennessä jo 602 yritystä, noin 5941 toimipaikkaa ja 116 kuntaa ja kuntayhtymää, joiden yhteenlaskettu energian käyttö on lähes 60 % Suomen energiankäytöstä. Energiatehokkuussopimukseen liittyessä liittynyt sitoutuu energiamääräiseen (MWh) tehostamistavoitteeseen vuoteen 2025 saakka, joka lasketaan liittymishetkellä olevasta normaalista toimintaa vastaavasta kalenterivuoden energiankäytöstä. Tavoite vuoteen 2025 mennessä olisi tehostaa energiankäyttöä 7,5 % liittynyt energiankäytöstä. Tämä tarkoittaa sopimukseen liittyjän 1000 MWh kokonaisenergiakulutuksesta 75 MWh energiansäästöä. Samalla liittynyt sitoutuu kouluttamaan henkilökuntansa ja vuosittaiseen raportointiin energiankäytöstä ja siihen liittyvistä tehostamistoimista. (Energiatehokkuussopimukset, 2021)

Kaiken kaikkiaan yrityksen ja kunnat ovat vuodesta 2008 vuoteen 2016 säästäneet vuosittain energiaa lähes 15,9 TWh. Kuvassa 13 on esitetty numeroina vuoden 2008-2016 saavutetut tulokset. Nähtävissä on isot säästöt niin kustannuksissa kuin päästöissä.



Kuva 13. Energiatehokkuussopimusten saavutukset vuosilta 2008–2016. (Energiatehokkuussopimukset, 2021)

Vuosina 2017–2019 energiaterhokkuussopimukseen liittyneet säästivät energiaa 7 TWh verran vuodessa, joka vastaa yli 350 000 sähkölämmitteisen omakotitalon energiakulutusta. Eli kolmessa vuodessa energiasäästöä on saatu melkein puolet vuosien 2008–2016 saadusta energiasäästöstä. Osa syynä on rakennusmääräysten tiukentuminen energiaterhokkaamiksi. Kuvasta 14 on kuitenkin havaittavissa, että säästöjä kustannuksissa ja päästöissä ei saada enää niin paljoa kuin 2010-luvun alkupuolella. Kokonaisuudessaan 2000-luvulta alkaen teknisten ratkaisujen ja teknologian kehitys on ollut nopeaa ja investointeihin on satsattu kovasti. Tahti kohti 2020-lukua on kiihtymään päin ja energiaa on saatu enemmän ja enemmän säästettyä. Viime vuosina hiilidioksidipäästöjen vuotuinen säästö (1,6 milj. tonnia) on jäänyt pienemmäksi kuin 2010-luvulla (4,7 milj. tonnia), vaikka investointeja energiaterhokkuuteen on tehty paljon. (Energiaterhokkuussopimukset, 2021) Tämä osoittaa sen, kuinka vaikeaa hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on ja kuinka kallista uuden teknologian

kehittäminen on. Uusia innovaatioita ja teknisiä järjestelmiä on pakko kehittää, jotta päästöjä voidaan leikata. Myös fossiilisten polttoaineiden käyttöä on vähennettävä ja korjattava uusiutuvilla energialähteillä. Myös tukemalla ja lisäämällä joukkoliikennettä voidaan merkittävästi vähentää päästöjä.



Kuva 14. Energiatehokkuussopimusten saavutukset vuosilta 2017–2019. (Energiatehokkuussopimukset, 2021)

4.3 Energiatuki

Energian tehokas käyttö tuo kustannussäästöjä ja on vastuullista toimintaa tulevaisuutta ajatellen. Se auttaa myös turhien kustannuksien karsinnassa, sillä ylimääräinen energian käyttö on hukkaan heitettyä rahaa. Energiatehokkuus kiinnostaa monia yrityksen sidosryhmiä ja se luo positiivisia mielikuvia vastuullisuudesta monille toimijoille. Vaikkakin energiatehokkuustoimet ja -investoinnit ovat Suomessa vapaaehtoisin, tukee valtio tapauskohtaisesti yrityksiä energiatehokkuusinvestointeja. (Energiatehokkuussopimukset, 2021)

Energiatuen rahoituksen määrä riippuu energiantuen hakijasta ja investoinnista. Työ ja elinkeinoministeriö myöntää vuosittain määrärahojen puitteissa energiatukea investointi- ja

selvitysenergiaprojekteihin Business Finlandin kanssa. Business Finland on Suomessa pääasiassa avustusta jakava taho, joka vastaa toiminnastaan työ- ja elinkeinoministeriölle. Business Finland on suomalainen julkinen toimija, joka on osa Team Finland -verkostoa. Team Finlandin tehtävänä on tarjota yrityksille sujuvaa palvelua neuvonnasta rahoitukseen. Business Finlandin käsittelee pääsääntöisesti kaikki tukihakemukset. Suurimmat hankkeet, joiden kustannukset hankkeen mukaan ovat yli miljoona euroa, käsittelee suoraan työ- ja elinkeinoministeriö. Energiatukea haettavan yrityksen on hyvä ottaa huomioon käsittelyaika tukihakemusta tehdessä. Hakemusten käsittelyaika hankkeen mukaan voi olla jopa 12 kuukautta. Hakemukset tehdään ja käsitellään sähköisesti. (Business Finland, 2021; Team Finland, 2021; Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021b)

Energiatukea hakeville hankkeille vaatimuksena on joko uusiutuvan energian tuotanto ja käyttö, energiansäästö tai energiajärjestelmän muuttaminen vähähiiliseksi. Uusiutuvan energian käyttöön liittyviä hankkeita ovat esimerkiksi pienet sähkö- ja lämmöntuotannon hankkeet kuten aurinkolämpö- ja lämpöpumppuhankkeet. Liikenteen biopolttoaineiden ja uusien teknologioiden demonstraatiohankkeet ovat uusiutuviin energioihin liittyviä tuettavia hankkeita. Esimerkkejä energiansäästöön ja energiankäytön tehostamiseen liittyviä hankkeita ovat energiatehokkuussopimusjärjestelmään liittyvät investoinnit sekä ESCO-hankkeet. ESCO-hankkeilla (Energy Service Company) tarkoitetaan hanketta, jossa erillinen ESCO-yritys ottaa toiminnallisen vastuun asiakkaalle tehtävästä investoinnista niin, että investointi voidaan kokonaan tai osittain rahoittaa ESCO -hankkeen tuottamalla säästöillä. Myös energiakatselmuksien ja energia-analyysit oikeuttavat energiatukiin. Hankkeiden vähimmäisinvestointikustannusten on oltava kuitenkin vähintään 10 000 €, jotta tukea on mahdollista saada. (Motiva, 2021; Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021b; Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021c)

Tyypillisesti uusiutuvien energia investointien tuen määrä vuonna 2021 on 10 % - 50 %, riippuen hankkeista. Lämpöpumppuhankkeilla tuen määrä on 15 %, aurinkolämpöhankkeilla 20 % ja kuntasektorin uusiutuvan energian katselmuksien tuen määrä on jopa 50 %. Tuki myönnetään yleisimmin olemassa oleviin rakennuskohteisiin pl. uudet teknologia-, pientuotanto- ja aurinkosähköhankkeet. Energiansäästö ja energiatehokkuutta edistävät hankkeiden tukien määrä on selvityshankkeissa, kuten energiakatselmuksissa 40–50 % ja

investointihankkeissa 15–25 %. Suurien yritysten enimmäistukitaso on kuitenkin 30 %. Tukea ei myönnetä kuitenkaan hankkeisiin, joissa parannetaan rakenteita eristämällä tai muhin vastaaviin ratkaisuihin. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021c)

Suomessa Energiavirasto valvoo ja edistää energiamarkkinoiden ja ilmastotavoitteiden toteutumista. Tehtävänä on seurata päästöjen vähentämistä, energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian käyttöä. Energiavirasto muun muassa hallinoin ja ohjaa energiatehokkuustoimia sekä uusiutuvan energian tukien syöttötariffijärjestelmää. Energiavirasto myös kerää julkaisuja, tilastoja sekä tunnuslukuja. Energiaviraston sivuilta löydän esimerkiksi sähkön ja maakaasun hintatilastoja sekä päästökaupan julkaisuja. Työ- ja elinkeinoministeriön sekä Energiaviraston välillä on tulossopimus toiminnallisista tavoitteista myönnettävien määrärahojen puitteissa. Energiavirasto raportoi seurantatietojen avulla, kuten tilinpäätöksien ja toimintakertomuksien avulla. (Energiavirasto, 2021)

5 ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAT

Elinkaarikustannuslaskenta, LCC (Life Cycle Costing) avulla voidaan laskea mitä hanke tulee maksamaan investointihetkestä aina järjestelmän elinkaaren loppuun saakka. Tämä sisältää käyttöajan aikana tapahtuvat käyttö- ja huoltokustannukset. Laskelmat tehdään yrityksille kannattavuus mielessä. Hankkeen elinkaari eli laskentajakso riippuu investoinnin luonteesta, järjestelmistä ja niiden käyttöiästä.

Hankkeen eri vaiheissa tehdään usein päätöksiä, jotka vaikuttavat hankkeen elinkaarikustannuksiin. Nämä on hyvä ottaa huomioon jo alkuvaiheessa, jotta kustannukset elinkaaren aikana tulevat hankkeen eri osapuolille selviksi. Suureksi osaksi muodostuu myös riskien kartoitus, oikea suunnitteluratkaisun valinta sekä tarjousten vertailu.

Elinkaarikustannuslaskennassa lähtökohtana on selvittää, millä ratkaisuilla saadaan kohtuullisin kustannuksin hankkeen asetetut tavoitteet toteutettua. Laskelmat muodostuvat hankintakustannuksista sekä mahdollisista rahoituskustannuksista. Hankintakustannukset muodostuvat laitteiden hankinta- ja asennuskustannuksista. Tämän lisäksi kustannuksiin lasketaan huolto- ja kunnossapitoajan kustannukset, jotka yleisimmin on laskettu koko käyttöajan ajaksi. Hyvällä ja laadullisella huolto- ja kunnossapidolla saadaan pitkitettyä laitteiden ja

järjestelmien elinkaarta monella vuodella. Myös koulutukset ja siihen arvioidut käytettävät kustannukset tuovat oman osansa elinkaaren ajanjakson laskelmiin. Elinkaaren energiakustannukset voivat hankkeen mukaan olla suuressakin osassa, sillä energiaa säästävillä investoinnilla voidaan saada vertailuissa isoja eroja aikaan. Energiahinnan muutokset on hyvä ottaa laskelmissa huomioon, koska kyse on pitkän ajanjakson laskelmista. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, 2007)

Elinkaarikustannusten laskentajakson kannattavuutta voidaan laskea erilaisin menetelmin, jotka ovat:

- Nykyarvomenetelmä
- Annuiteettimenetelmä
- Takaisinmaksumenetelmä
- Pääoman tuottoaste-menetelmä
- Sisäinen korkokannan menetelmä

Näistä käytetyimpiä menetelmiä ovat takaisinmaksuajan sekä sisäisen korkokannan menetelmät. Myös nykyarvomenetelmä on hyvin yleisesti käytetty menetelmä investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmissa.

Herkkyysanalyysi on hyvä tehdä aina investoinnille. Herkkyysanalyysin avulla tutkitaan, kuinka kannattavuudelle käy, kun muutetaan eri tekijöitä, jotka vaikuttavat hankkeeseen. Näin saadaan selville epäedullisimmat sekä epävarmuustekijät, joiden avulla voidaan arvioida uudestaan investoinnin kannattavuutta.

6 KOHDE

Kohde, mihin energiatehokkuusjärjestelmiä suunnitellaan, on huonekalutehdas Sepon Kaluste Oy, Rautalammilla Pohjois-Savossa (kuva 15). Sepon Kaluste on perustettu vuonna 1961. Nykyinen kiinteistö on rakennettu vaiheittain vuodesta 1982 alkaen, jonka viimeisin kokonainen laajennusosa on valmistunut vuonna 2002. Vuonna 2019 on tehty korjaustöitä sortuneen katon jälkikorjauksena, jolloin muun muassa korotettiin sortuneen osan katon korkeutta.

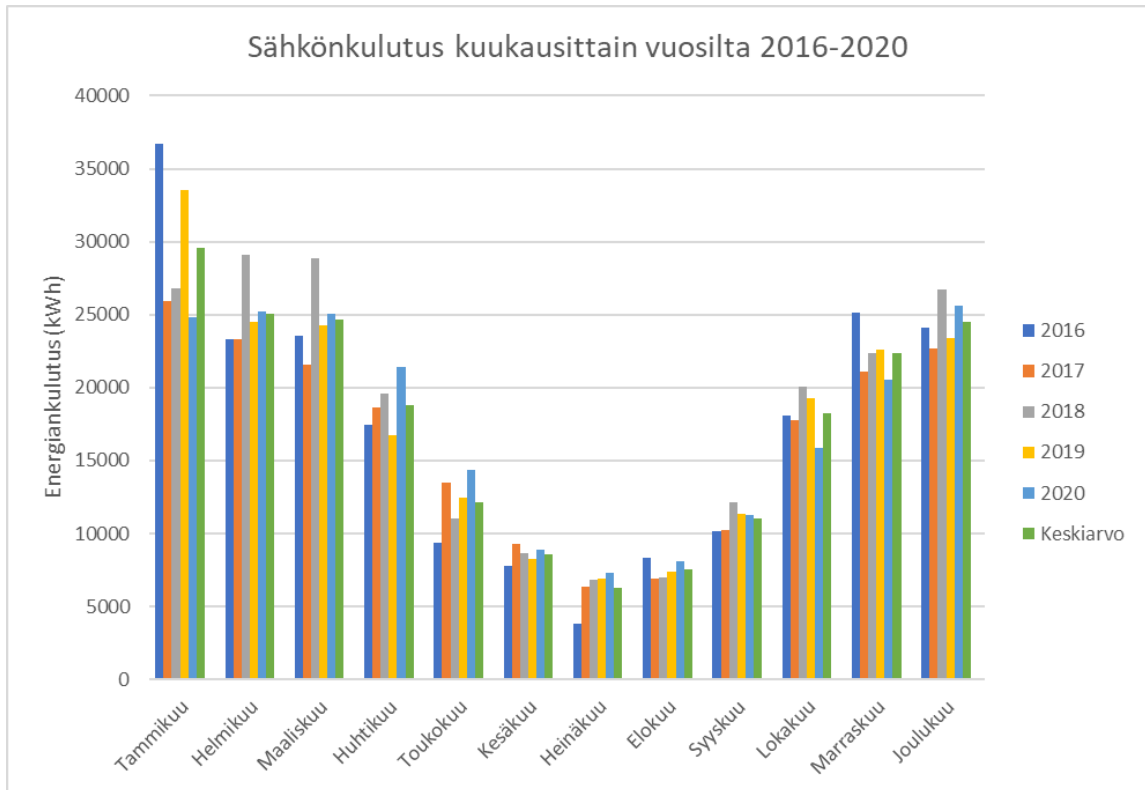
Sepon Kaluste Oy:n tehdas koostuu tehtaanmyymälästä ja toimistotiloista sekä tehdastiloista. Lämmitettyjä tiloja on yhteensä noin 5500 m², josta noin 1000 m² on tehtaanmyymälää ja loput tehdastiloja. Tehdastilat on jaettu ompelimoon, liimaamoon ja verhoilutiloihin. Kylmää varastoa noin 1000 m². Yritykseen kuuluu myös puutyötehdas, joka sijaitsee 500 metrin päässä omana kiinteistönä eri osoitteessa. Tässä työssä ei kohdenneta energiatehokkuusparannuksia puutyötehtaaseen.



Kuva 15. Ilmakuva huonekalutehtaasta vuodelta 2019.

6.1 Huonekalutehtaan nykyinen energiankulutus ja järjestelmät

Sähkönkulutuksen keskiarvo vuosina 2016–2020 on ollut noin 208 MWh vuodessa. Tästä lämmitykseen kului 119 MWh vuodessa ja 89 MWh laitesähköön sekä valaistukseen. Sähkönkulutus jakautuu kuvan 16 mukaisesti kuukausittain vuosille 2016-2020. Taulukkoon 6 on koottu keskiarvot toteutuneista kulutuksista. Kesäkuukausien (kesä-elokuu) sähkönkulutuksen keskiarvo on noin 7500 kWh kuukaudessa. Tämä tarkoittaa tehtaan sähkönkulutusta laitteista, valaistuksesta ja LVI-laitteista, jotka ovat energiankulutuksen peruskuormana koko vuoden.



Kuva 16. Toteutuneet sähkönkulutukset kuukausittain vuosilta 2016-2020.

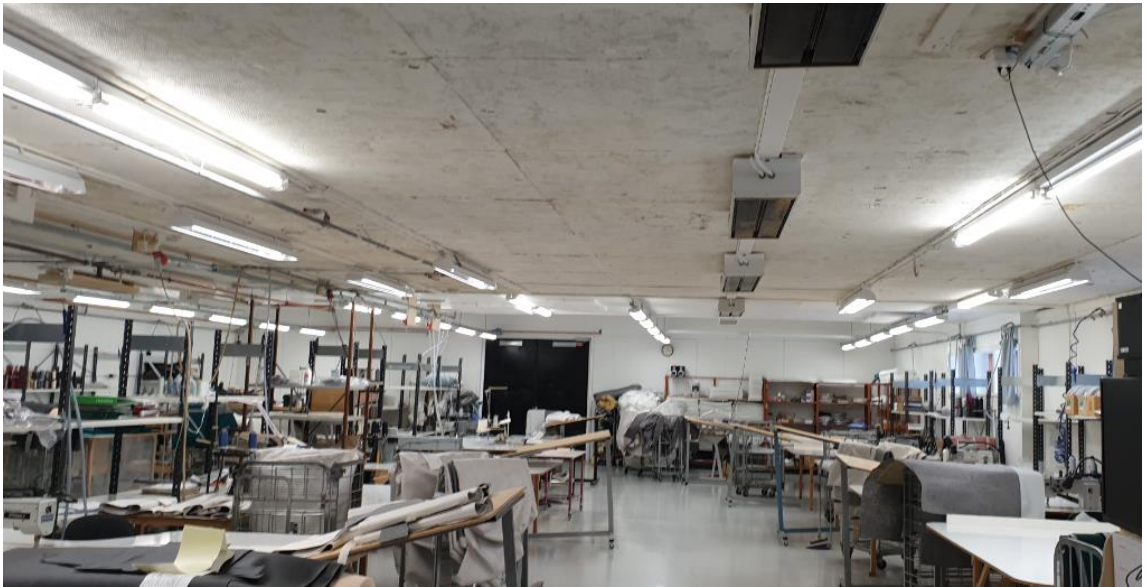
Taulukko 6. Toteutuneet sähkönkulutuksen keskiarvot kuukausittain vuosilta 2016-2020.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
kWh	29557	25088	24650	18772	12161	8571	6242	7548	11027	18217	22343	24502	208677

Tilojen lämmitys on järjestetty sähköisillä säteilylämmittimillä. Lämmin käyttövesi lämmitetään sähköisillä varaajilla. Näiden lisäksi isoimmat sähköä kuluttavat laitteet ovat kompressori ja kangasleikkuri. Muita sähköä kuluttavia laitteita ovat muun muassa tietokoneet, ompelukoneet, näyttöpäätteet sekä datakeskus. Valaistus kokonaisuudessaan on iso osa kokonaisenergiakulutusta vaikkakin osa valoista on muutettukin jo LED-valoiksi. Kun tehdasta on rakennettu vaiheittain eri aikoina, myös kattojen sisäkattokorot ovat eri tehtaan osissa. Tämä vaikuttaa lämmitettävien tilojen ilmakehän tiloihin ja säteilijöiden määrään. Ompelimoissa lämpötila on +21 °C ja muualla tehtaalla lämpötila on matalampi, noin +17– +19 °C seisoma- ja tehdastyön takia. Kuvissa 17 ja 18 on esitetty tehtaan tämänhetkistä tekniikkaa.



Kuva 17. Verhoomo, joissa valaisimia ja lämmittämiä katonrajassa.



Kuva 18. Ompelimon työpisteet sekä valaistusta ja säteilylämmittämiä.

6.1.1 Rakenteet

Ulkoseinät kiinteistössä ovat pääsääntöisesti pelti-villa-pelti tai pelti-villa-kipsilevy-elementeistä. Osa ulkoseinistä on jätetty väliseiniksi laajennuksien aikana. Ikkunat ovat pääsääntöisesti kolmelevyisiä, joiden välissä on kaasua. Ulko-ovet ovat eristettyjä ulko-ovia ja nosto-ovet ovat eristettyjä lamelliovia. Kuvissa 19 ja 20 on esitetty tehtaan rakenteita.



Kuva 19. Ikkunat ovat pääsääntöisesti kolmelevyisiä. Ulkoseinän sisälevytys on kipsilevyä useassa sisäseinässä.



Kuva 20. Ulkoseiniä on laajennuksien yhteydessä jätetty tuotantotiloissa väliseiniksi. Kuva verhoonon tiloista kuvattuna.

Alapohja rakennuksessa on maanvarainen kauttaaltaan ja lattiavalun paksuus on pääsääntöisesti 100 mm. Eristettä alapohjassa on käytetty ulkoseinällä 100 mm ja sisemmällä tilassa

50 mm. Myymälässä lattiamateriaalina on lattiamatto, toimistotiloissa laminaatti ja tehdastiloissa materiaali on jätetty betonivalulle kovan kulutuksen takia.

Yläpohjassa on käytetty koko kiinteistössä puhallusvillaa, jonka paksuus vaihtelee tällä hetkellä 300 - 400 mm välillä. Vuonna 2019 yläpohjaan on lisätty eristettä painautuneen eristeen vuoksi.

Kylmäsiltoja rakenteissa on ovien ja ikkunoiden karmit. Ylä- ja alapohjien liitokset ulkoseiniin sekä sisä- ja ulkonurkat.

6.1.2 Tilojen energiajärjestelmät

Tilojen lämmitys on järjestetty pääsääntöisesti kattoon asennetuilla säteilylämmittimillä (kuva 21). Toimisto-, sosiaali- ja keittiötiloissa on osaksi myös seinään asennettuja sähköpattereita (kuva 22). Näiden lisäksi on vuonna 2019 lisätty tiloihin yhteensä kolme ilmalämpöpumpua, joiden nimellisjäähdytystehot ovat 3,5 ja 7,5 kW. Ilmalämpöpumput on sijoitettu kiinteistöön niin, että 7,5 kW ilmalämpöpumput sijaitsevat myymälässä (kuva 23 ja 24) sekä liimaamossa ja 3,5 kW yksikkö verhoomossa. Ilmalämpöpumppujen tarkemmat sijainnit näkyvät liitteenä olevasta pohjakuvasta. (Liite 1.)



Kuva 21. Tehtaan sähköisiä säteilylämmittimiä.



Kuva 22. Toimistotiloissa seinällä oleva sähköinen patteri.



Kuva 23. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö (7,5 kW) ja säädin myymälässä. Valmistaja Innova.



Kuva 24. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö (7,5 kW) myymälän seinällä. Valmistaja Innova.

Käyttövesipisteet kiinteistössä on jaettu kolmeen lohkoon. Myymälässä on kaksi vessaa, siivouskomero ja ruokailutila. Ompelimossa sekä verhoomossa on omat sosiaali- ja ruokailutilat. Kaikissa kolmessa lohkossa on omat sähköiset lämpimän käyttöveden varaajat, joiden tehot ovat 2–3 kW (kuva 25). Käyttöveden kulutus tehtaassa on pientä. Tehtaan huonekalujen valmistusprosesseissa ei käytetä vettä, joten suurin veden kulutus koostuu vessojen käytöstä sekä ruoka- ja juomavedestä. Lämpimän veden kulutus koostuu pääsääntöisesti käsien pesusta.



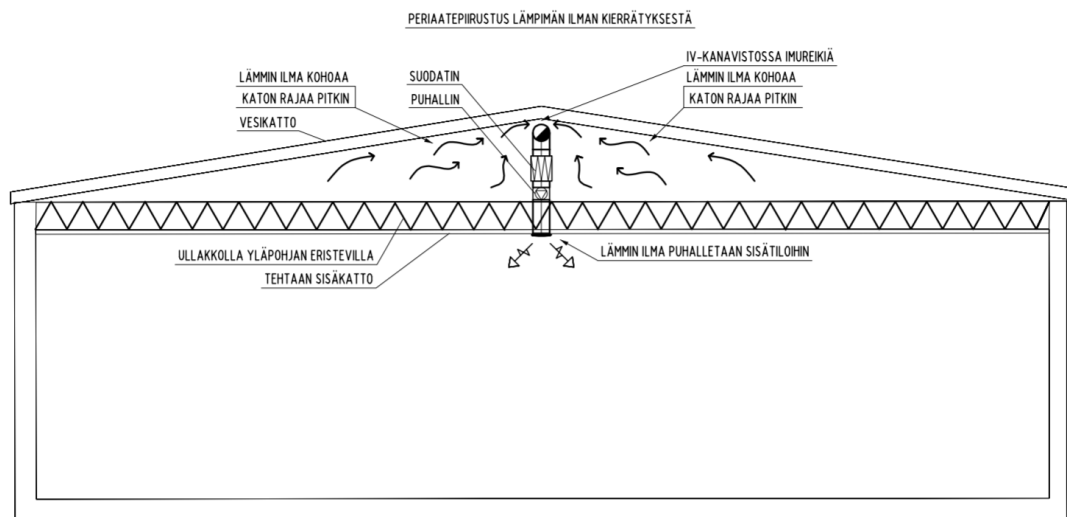
Kuva 25. Lämpimän käyttöveden varaajia tehtaalla.

6.1.3 Ilmanvaihto

Kiinteistössä on omat poistoilmapuhaltimet vesikatolla, jotka palvelevat sosiaali-tiloja. Tehtaassa on koneellinen poistoilma ja korvausilma kiinteistöön on toteutettu ulkoa raitisilmasäleikköjen kautta. Liimaamossa on erikseen omat kohdepoistohuuvut (kuva 26). Varsinaista lämmöntalteenottojärjestelmää ilmanvaihdossa ei ole, mutta hukkalämpöä on osaltaan hyödynnetty. Liimaamon poistoilmasta osa ilmasta puhalletaan kylmään vanuvarastoon, joka osittain lämmittää tilaa. Loput poistoilmasta puhalletaan jäteilmana seinästä pihalle. Syksystä kevääseen, kun lämmitystarvetta on, otetaan lämpöä talteen ullakkotilasta. Rakenteet vuotavat lämpöä ullakkotilaan, jossa harjalle on rakennettu ilmanvaihtokanava puhaltimiseen, joka puhaltaa harjalle nousevan lämpimän ilman takaisin tehdastiloihin suodatuksen kautta. Kuvassa 27 on esitetty periaatepiirustus ullakkotilan lämpimän ilman hyödyntämisestä.



Kuva 26. Liimaamon poistoilmahuuvut ja kanavointia.



Kuva 27. CAD-periaatepiirustus lämpimän ilman hyödyntämisestä ullakolta.

6.1.4 Valaistus

Valaistus kiinteistössä on ollut alun perin halogeenivalaisimilla, mutta nyt osa on jo muutettu nykyteknologian mukaisesti led -valoiksi sitä mukaan, kun halogeenivalot ovat tulleet tiensä päähän (kuva 28). Alkuperäiseen halogeenivalaistukseen verrattuna led -valaistuksella saadaan suuri hyöty energiatehokkuudessa sen pitkän päivittäisen vakiokäytön takia. Valaistukseen on myös kiinnitetty toisarvoisissa tiloissa huomiota, joihin on lisätty liiketunnistimia parantamaan energiatehokkuutta. Tällaisia tiloja on varastot, joissa ei työskennellä täysipäiväisesti.



Kuva 28. Tehtaan työpisteiden valaistus. Vasemmalla kuvassa vaihdettu uusi led -valo ja oikealla vanha halogeenivalaisin. Tehokkaampi valaistus parantaa myös työtehokkuutta.

6.1.5 Laitteet

Valaistuksen lisäksi suurimmat sähköä kuluttavat laitteet ovat paineilmakompressori (kuva 29), kangasleikkuri, vaahtomuovileikkuri sekä 15 kpl ompelukoneita. Myös datakeskus toimistotiloissa kuluttaa sähköä servereiden ylläpidon takia. Paineilmakompressorin tuottama lämpö myös hyödynnetään varaston lämmittämiseen lämmityskaudella.



Kuva 29. Paineilmakompressori, josta jaetaan paineilma koko tehtaaseen. Talvella kompressorin tuottama ilma hyödynnetään kylmän lähettämön lämmittämiseen säätöpeltejä säätämällä.

7 HUONEKALUTEHTAAN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Energiatehokkuuden parantamista lähdetään käymään läpi neljällä eri järjestelmälisäyksellä. Ensiksi nykyinen energiankulutus mallinnetaan vastaamaan nykyistä energiankäyttöä. Sen jälkeen mallia ja energiajärjestelmää muutetaan energiatehokkaammaksi neljällä eri järjestelmällä. Järjestelmät valittiin niin, että ne toimivat nykyisen sähkölämmityksen rinnalla, sillä kokonaan uuden lämmitysjärjestelmän investoinnin kustannukset voisi nousta liian suureksi. Tämä olisi voinut tulla kyseeseen, jos kiinteistössä olisi ollut valmiina lämmitysvesiverkosto.

Ensimmäinen toimenpide on lisätä kiinteistöön ja järjestelmään aurinkovoimala, jonka teho on 30,2 kW. Järjestelmän koko määräytyi siten, että ylituotantoa pyrittiin välttämään, jotta kaikki energia, joka järjestelmällä saadaan, saataisiin kiinteistölle. 30,2 kW aurinkovoimala

on optimaalinen koko tehtaalle, sillä tehopiikki tehtaalla sähkökulutustietojen mukaan on 30,2 kW. Aurinkopaneelilaskelmat sekä tarjouksen on toimittanut tilaajalle Väre Oy.

Toinen toimenpide on suunnitella kiinteistöön ilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihto lämmöntalteenotolla säästää energiaa ottamalla lämpöä talteen lämpimästä poistoilmasta ennen kuin poistoilma puhalletaan pihalle. Toisaalta raitisilma on myös lämmitettävä, joka tässä tapauksessa tehdään lämmöntalteenoton lisäksi suoralla sähköllä.

Kolmantena toimenpiteenä lisätään kiinteistöön ilmalämpöpumppujärjestelmiä 4 kpl. Ilmalämpöpumput verrattuna suoraan sähkölämmitykseen on energiatehokkaampi vaihtoehto sillä nykYTEknologialla ja kompressoriteknikalla lämmityksen tuotto on lähes neljä kertaa tehokkaampaa kuin suoralla sähkölämmityksellä.

Neljäntenä toimenpiteenä lisätään aikaisemmat laskennat aurinkopaneelien ja ilmalämpöpumppujen järjestelmistä kiinteistöön. Järjestelmät eivät ole toisiaan poissulkevia, voidaan molempia järjestelmiä hyödyntää nykyisen järjestelmien rinnalla.

Vaihtoehtoja energiatehokkuuden parantamiseen olisi monia. Vaihtoehtoja voisi olla vielä ilma-vesilämpöpumppujen, maalämpöpumppujen ja aurinkokeräimien hyödyntäminen. Yleisesti nämä vaativat kiinteistöltä vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän, johon energia saataisiin siirrettyä. Koska kiinteistössä ei vesikiertoisia lämmitysverkostoja ole, päädyttiin nämä vaihtoehdot jättämään pois vaihtoehdoista. Yksi vaihtoehto olisi voinut olla tuulivoimala, mutta tehdas sijaitsee sisämaassa metsien ympäröimänä, niin päädyttiin jättämään myös tämä vaihtoehto pois.

7.1 Käytetyt ohjelmat

Kohde tietomallinnetaan digitaaliseen 3D -muotoon. Tietomallintamisella tarkoitetaan BIM-tietomallia (Building Information Model), joka sisältää rakennuksen geometriamallin sekä informaatiota, joka auttaa rakentamisprosessissa. Tässä työssä nykyisten vanhojen paperipiirustuksien pohjalta luodaan geometriamalli käyttämällä MagiCAD Groupin ohjelmistoa MagiCAD Room:a. Luotua mallia käytetään olosuhde- ja energiankulutuslaskentaan. MagiCAD Groupin MagiCAD -ohjelmistot ovat maailmanlaajuisesti tunnettu ja ohjelmistot on

suunnattu pääsääntöisesti LVIS-suunnitteluun ja suunnittelijoille. MagiCAD Room -ohjelmalla luotu 3D -tilamalli voidaan muuttaa IFC-formaattiin, jolloin mallia voidaan käyttää kolmannen osapuolen ohjelmistossa. IFC-malli on tallennusmuoto, joka toimii useimpien CAD-ohjelmien kanssa. (MagiCAD, 2021a; Rakennustieto Oy, 2010)

Kun BIM -tietomalli on luotu ja käännetty IFC-malliksi, voidaan tätä mallia hyödyntää Riuska-ohjelmassa, jolla tehdään energiasimulaatiot. Riuska-ohjelmisto on Olof Granlund Oy:n kehittämä olosuhde- ja energiasimulointiohjelma. Riuskan avulla voidaan simuloida rakennusten energiankäyttöä ja lämpötilakäyttäytymistä erilaisissa kuormitus- ja sääolosuhteissa sekä vertailla eri energiajärjestelmiä ja niiden mitoituksia. Ohjelmalla voidaan tehdä myös muun muassa E-lukulaskentaa sekä energiatodistuksia. (MagiCAD, 2021b)

Energiakustannuslaskelmissa käytetään Granlund Oy:n laskentapohjia. Laskentapohjat ovat excel -tiedostoja. Laskentapohjilla lasketaan investointien takaisinmaksulaskennat ja nykyarvot valituilla lähtöarvoilla.

Laittevalmistajia sekä järjestelmien tarjoajia on paljon. Tässä työssä käytetään muutamaa laitevalmistajaa sekä energiantuottajan tekemää tarjousta ja laskelmia. Ilmalämpöpumppuina käytetään Toshiba laitteita, ilmanvaihtokoneissa Kojaa sekä aurinkopaneelilaskelmissa käytetään Väre Oy:n laskelmia. Näin saadaan järjestelmille oikeat budjettihinnat, joita voidaan käyttää energiakustannuslaskelmissa.

7.2 Lähtötaso

Lähtötaso eli nykytilanne mallinnetaan Riuskalla. Ohjelma tarvitsee IFC -mallin, sekä rakenteiden ja ikkunoiden U-arvot sekä valaistuksen ja laitteiden sähkötarpeet. Nykyinen sähkökulutus on hyvin tiedossa kuukausitasolla sekä tiedetään valaistuksen ja laitteiden sähkötarpeet. Näillä tiedoilla mallintaminen saadaan edustamaan nykytilannetta. Tehtaassa käytetään talvella lämmityksessä syklittäistä lämmitystä, jolloin tehtaalla lohko kerrallaan lämmitetään 20 minuutin ajan. Tehdas on jaettu kolmeen lohkoksi: myymälään, verhoomoon ja ompelimoon. Hyötyä syklittäisestä lämmityksestä on sähkökulutuksen tehopiikkiin, joka pysyy alhaisempana, kuin tilanteessa, jossa kaikki tilat lämmitetään yhtä aikaa. Syklitystä ei voida Riuska ohjelmalla suoraan simuloida, joten tämä kompensoidaan paremmilla

rakenteilla, jolloin myös energiantarve pienenee vastaamaan nykytilannetta. Nykytilanne simuloidaan, koska tuntidataa on enemmän käytettävissä ja tulokset ovat vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Simuloinneista saadaan tuntidataa, jolloin laskelmat ovat tarkemmat kuin käytettäessä kuukausidataa.

Säädätänä energiankäytön simuloinnissa käytetään tuntitasoista, Jyväskylän TRY2012 -säädataa. Rautalampi ja Jyväskylä kuuluvat samaan säävyöhykkeeseen, joten Jyväskylän vuosisäädataa käytetään tämän takia pohjana energiasimuloinnissa. Säädatan säätiedot perustuvat ilmatieteenlaitoksen säähavaintomittauksiin Jyväskylän lentoasemalta. Säädataa käytetään energialaskennassa, joka mukailee standardia SFS EN ISO 15927-4:2005. Jyväskylän TRY2012 testivuosi koostuu tyyppikuukausista ja pitkäaikaisesta seurannasta säähavaintoasemalta. TRY2012 säädata koostuu vuosien 1980-2008 tyyppikuukausista. Laskelmien aikana päivitys säädataan on tulossa, mutta käytössä olevat ohjelmat eivät vielä tue päivitettyä TRY2020 -versiota. (Ilmatieteen laitos, 2012)

Rakenteiden U-arvoista ja ikkunoista ei ole tarkempaa tietoa, joten aluksi rakenteiden ja ikkunoiden U-arvoina käytetään vuoden 1985 rakentamismääräyksien vähimmäisvaatimuksia. Kuten aiemmin mainittiin syklityksen kompensoimista, on rakenteiden U-arvoja muokattava, jotta energiankulutus saadaan vastaamaan nykytilannetta. Rakenteiden, ikkunoiden ja ovien U-arvoina käytetään taulukon 7 mukaisia arvoja. Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään $q_{50} = 1,0 \text{ m}^3 / (\text{h m}^2)$.

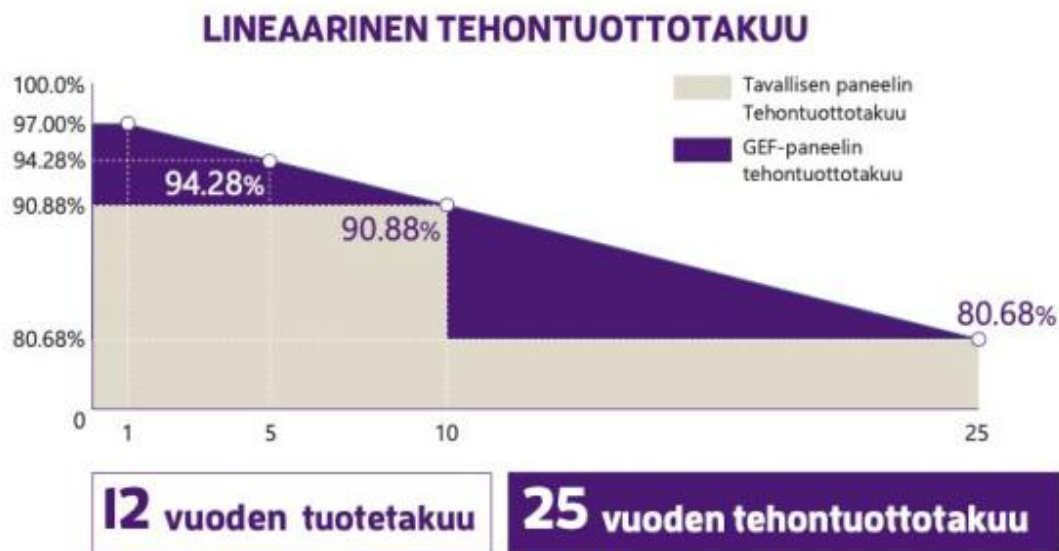
Taulukko 7. Tehtaan rakenteiden U-arvot, rakennusajan vähimmäisvaatimukset sekä simuloinnin kompensointi arvot.

Rakennusosa	Ulkoseinä	Maanvarainen alapohja	Yläpohja	Ovi	Ikkuna
Vuoden 1985-2002 vähimmäisvaatimus U-arvot, $W/(m^2 K)$	0,28	0,36	0,22	1,40	2,10
Kompensoitu U-arvo, $W/(m^2 K)$	0,07	0,08	0,08	0,60	0,60

7.3 CASE 1: Aurinkopaneelit

Aurinkovoimalan tarjouslaskelmat tulevat energiantoimittajalta, Väre Oy:ltä. Aurinkopaneeleista saadun energian on tarkoitus kattaa tehtaan peruskuorma niin, että kaikki energia, mikä aurinkopaneeleista saadaan, voitaisiin käyttää tehtaan omaan käyttöön. Ylituotantoa syntyy hieman, joka ajoittuu viikonloppuun, kun tehtaassa ei ole toimintaa. Aurinkoenergia on hyvä vaihtoehto, sillä se on uusiutuvaa energiaa, joka on kestävä ja pienentää hiilijalanjälkeä.

Tarjouslaskennan aurinkopaneelit ovat merkiltään GreenEnergy Finlandin ja malliltaan GEF 360 Wp Mono HalfCut. Paneelit on suunniteltu pohjoismaiden olosuhteisiin ja toimii niin matalissa kuin korkeissa lämpötiloissa. Paneeleille luvataan 12 vuoden tuotetakuuta sekä 25 vuoden tehontuottotakuuta (kuva 30). Tehtaan kattomuotoilun vuoksi, paras paikka sijoittaa aurinkopaneelit, on koillissiiven katolle, tarkka suuntakulma on $-28,9^\circ$. Ratkaisu on paras mahdollinen tähän rakennukseen, jolloin auringosta saadaan energiaa mahdollisimman paljon ja sijainti sähköpääkeskuksesta nähden ei kasva liian suureksi. Paneelien kallistuskulma on $18,4^\circ$.



Kuva 30. Aurinkopaneelien lineaarinen tehontuottotakuu. Kuva poimittu energiantoimittajan tarjouksesta.

Aurinkovoimala tarjous on avaimet käteen sopimus asiakkaan tarpeiden mukaan, joka sisältää järjestelmän tarvittavat komponentit, kuten aurinkopaneelit, invertterin, kiinnitysjärjestelmän, turvakytkimet sekä virtalähteen. Lisäksi tarjous sisältää laskelmat, käyttöönoton sekä valvomo- ja huoltopalvelut. Aurinkopaneeleita on yhteensä 84 kpl ja kokonaisteho on 30,2 kWp. Arvioitu energiantuotto on 847 kWh/kWp, joka vastaa vuodessa 25,6 MWh. Energiatoimittajan mitoitus perustuu vuoden 2020 säädataan sekä tehtaan sähkönkulutukseen, joka vastaavana vuonna oli 207,6 MWh. Aurinkosähköjärjestelmän on tarkoitus kattaa tehtaan peruskuorma. Koska sähkönkulutus ja auringosta saadun energiantuotanto ei ole tasaista, voi hetkittäin sähköntuotantoa olla yli tarpeen. Kuten myös esimerkiksi pyhäpäivinä, voidaan sähköä myydä takaisin verkkoon energiatoimittajalle. Kokonaisuudessaan aurinkopaneelit vievä katolta noin 155 m² verran pinta-alaa (kuva 31). Sähköpääkeskukselle jää matkaa noin 100m, joka joudutaan kaapeloimaan erikseen. Oletuksena ja lähtötietona laskelmissa on ollut, ettei sähköliittymään tai rakenteisiin tarvitse tehdä muutoksia.



Kuva 31. Aurinkopaneelien mahdollinen sijainti kiinteistössä.

7.4 CASE 2: Ilmanvaihto

Ilmanvaihto suunnitellaan lämmöntalteenottoyksiköllä varustetulla tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Lämmöntalteenoton tyyppi suunnitelmissa on pyörivä lämmöntalteenotto. Energiatehokkaat ilmanvaihtokoneet saavat hyödynnettyä tehokkaasti poistoilmasta olevan lämpöenergian ja siirrettyä sen osaksi tuloilman lämmittämiseen.

Ilmanvaihto suunnitellaan neljällä erillisellä ilmanvaihtokoneella, jotka palvelevat omia lohkojaan, jotka ovat myymälä, verhoomo, liimaamo ja ompelimo. Ilmanvaihtokoneet on suunniteltu Kojan IV-koneilla. Liitteessä 2 on esitetty tarkemmin ilmanvaihtosuunnitelmat. Ilmavirroilla painotettu kokonaislämpötilahyötysuhde IV-koneilla on 76,2 % ja jäteilman lämpötila on -15 °C. Ilmanjakotapa on sekoittava ilmanjako, joka toteutetaan pyörrehajoittimin. Erillisiä kohdepoistoja ei suunnitella. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereina toimivat sähköpatterit, koska erillistä lämmitysvesiverkostoa ei ole. Ilmamäärämitoituksessa on käytetty FINVAC:n IV-suunnittelun opasta; opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa, 2017 (FINVAC, 2021). Taulukkoon 8 on koottu mitoitus tiedot ja taulukkoon 9 ilmamäärämitoitukset, konekoot ja konetiedot.

Taulukko 8. Mitoitustiedot

Mitoitustiedot	
Paikkakunta	Pohjois-Savo, Rautalampi
Lämpötila ja kosteus talvella	- 32 °C / 90 %
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³
Lämmityspatterin tyyppi	Sähkö
Tuloilman lämpötila tehdas/myymälä	18 / 19 °C

Taulukko 9. Tehtaan ilmanvaihdon suunnittelun ilmamäärät ja IV-koneiden tiedot

Alue	IV-palvelualue	Pinta-ala, m ²	Ilmamäärämitoitus, l/s, m ²	Kokonaisilmämäärä, l/s	IV-kone, Koja	Lämmöntalteenotto	Lämpötilahyötysuhde, %	Lämmityspatterin sähköteho, kW
Myymälä	TK1	1050	1,5	1600	S1800	Pyörivä	75	44
Verhoomo	TK2	700	2,0	1400	S1800	Pyörivä	76,4	38
Liimaamo	TK3	700	2,0	1400	S1800	Pyörivä	76,4	38
Ompelimo	TK4	650	2,0	1300	S1800	Pyörivä	77,2	35

Ilmanvaihtokoneiden SFP- luku (Specific Fan Power) on $1,5 \text{ kW/m}^3 \text{ /s}$. SFP-luku tarkoittaa ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien ominaissähkötehoa, joka tarvitaan rakennuksen ilmanvaihdolta yhden ilmakeuution kuljettamiseen sekunnissa. Luku sisältää sekä tulo- ja poistopuhaltimien sekä LTO:n tarvitseman yhteenlasketun sähköverkosta otetun tehon. (Rakennustieto Oy, 2013) Ilmanvaihtokoneet pitävät ääntä, joten olisi ne suotavaa koteloida ääntä eristäviksi siellä missä ne sijaitsevat työtiloissa. Raitis- ja jäteilmakanavoinnit olisivat suotavaa toteuttaa mahdollisimman suoralla ja lyhyellä kanavoinnilla, sillä se pienentää puhaltimelta vaadittavaa paineennousua ja näin myös sähkönkulutusta.

Simuloinnissa käytetään ilmanvaihdon aikatauluna luotua aikataulua, joka vastaa tehtaan käyttöä. Tehdas toimii ma-pe klo 7-15 ja myymälä ma-pe klo 9-17 sekä la 9-14. Ilmanvaihtokoneet käynnistyvät tuntia ennen kuin tehdas ja myymälä aukeavat sekä sammuvat tunnin toiminnan loputtua. Lisäksi käytössä on yötuuletus kesäaikana kesäkuun ja elokuun klo 20-06 välisenä aikana. Yötuuletus toimii 50% teholla verrattuna päiväkäyttöön ja käynnistyy kun ulko- ja sisälämpötilaero on vähintään $3 \text{ }^\circ\text{C}$ ja katkeaa kun alin huonelämpötila on $+19 \text{ }^\circ\text{C}$ Toiminnot ehkäisevät tunkkaisuuden tuntua ja poistavat epäpuhtauksia sekä mahdollistaa raikkaan sisäilman heti aamusta työvuoron loppuun saakka.

7.5 CASE 3: Ilmalämpöpumput

Suunnitellut ilmalämpöpumput ovat Toshiba -merkkisiä ja niiden tekniset tiedot on esitetty taulukossa 10. Laskelmissa kuormituksena pidetty 80%, jolloin laitteisto ei käy maksimikuormalla ja käyttöikä pitenee. Kohteeseen suunnitellaan neljä tällaista pakettia, jolloin sisäyksiköiden määrä on kahdeksan kappaletta ja ulkoyksiköiden määrä neljä kappaletta. Kun sisäyksiköitä on useampi, saadaan lämmitystä kiinteistöön myös tasaisemmin ja vedon tunnetta on vähemmän pienempien ilmannopeuksien myötä. Ilmalämpöpumppuja voidaan tarvittaessa käyttää myös viilennykseen, joka mahdollistaa hyvät työskentelylämpötilat tehdas-tiloissa myös kesäaikana. Laskelmissa jäähdytystä ei oteta huomioon, koska jäähdytystarvetta ei ole.

Taulukko 10. Ilmalämpöpumppujen tekniset tiedot. Ulkoyksikköön voidaan liittää kaksi erillistä sisäyksikköä.

<i>Ilmalämpöpumput Toshiba</i>	<i>Sisäyksikkö</i>	<i>Ulkoyksikkö</i>
<i>Malli</i>	RAV-RM561SDT-E/TR	RAV-GM1101ATP-E/TR
<i>Kylmäaine</i>	R32	R32
<i>Lämmitysteho</i>	5,6 kW	11,2 kW
<i>Jäähdytysteho</i>	5,0 kW	10,0 kW
<i>Ulkomitat (LxSxK)</i>	845x645x210 mm	1340x900x32 mm

Uusien ilmalämpöpumppujen sijainnit suunnitellaan niin, että lämmitystä saataisiin kauttaaltaan koko tehtaaseen. Ilmalämpöpumppuja lisätään myymälään, liimaamoon, nahan käsittelyyn sekä ompelimoon. Uusien ilmalämpöpumppujen suunnitellut sijainnit näkyvät tarkemmin liitteessä 1. Rakenteellisia muutoksia lisäykset eivät aiheuta. Ulko- ja sisäyksiköt tarvitsevat ulkoseiniin ja sisäkattoon erilliset kiinnitystelineet. Laitteiden säädöt toimivat ohjaussäätimillä, jotka tulevat laitteiden mukana. Kylmäaineena laitteissa toimii ympäristöystävällinen R32 -kylmäaine. Toimintalämpötila laitteita on lämmityskaudella -15 °C ja viilennyksen osalta kesällä toimintalämpötila voi olla jopa +40 °C. Tehokertoimet (COP-arvot) lämpötilasta riippuen ovat laitteilla 2,97 - 5,78.

Ilmalämpöpumppujen energiat on laskettu Jyväskylän TRY2012 säätuntidatan sekä valmistajan ilmoitettujen lämpökapasiteettien ja sähköenergiankulutuksien mukaan. Ilmalämpöpumput toimivat talvella -15°C saakka, joten energiat on laskettu lämmityskauden lämpötilojen -15...+15°C. Lämpötilojen mukaan on laskettu myös ilmalämpöpumppujen tehokertoimet, COP -arvot.

7.6 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput

Tässä tapauksessa katsotaan, kuinka aikaisemmin suunnitellut aurinkopaneelit ja ilmalämpöpumput yhdessä vaikuttavat tehtaan energiatehokkuuteen. Aurinkopaneelien määrä, 84 kpl ja teho 30,2 kWp ovat saman kuin aikaisemmassa yksittäisessä tapauksessa. Aurinkopaneelien määrä päätettiin pitää samana, sillä ilmalämpöpumpuilla ei tuoteta jäähdytystä kesällä. Näin ollen kesäaikana sähkötehotarve ei nouse aikaisempaa suuremmaksi. Jos ilmalämpöpumpuilla olisi tuotettu kesäaikana myös jäähdytystä, olisi aurinkopaneelien määrä ja

teho ollut myös suurempi. Myös sijainti ja energialaskelmat pysyvät samana. Ilmalämpöpumppujen määrä ja sijainnit pysyvät samana. Ilmalämpöpumppu paketteja on neljä, jolloin sisäyksiköiden määrä on kahdeksan ja ulkoyksiköiden määrä neljä kappaletta.

7.7 Elinkaarikustannuslaskentojen tunnusluvut

Elinkaarikustannuslaskelmissa näkyvät hinnat ovat esitetty ilman arvonlisäveroa (alv. 0%). Asiakkaan arvioitu sähkönhinta on 87 € / MWh ja vuotuisena sähkönhinnan nousuna pidetään 2,0 %. Investointien korkokanta laskelmissa on 3,0 %. Elinkaarikustannuksien vuosikulutukset ja tuntidata on poimittu simuloinneista, joita käytetään elinkaarikustannuslaskennoissa.

Elinkaarilaskelmien vertailussa käytetään 20 vuoden ajanjaksoa. Ajanjaksona 20 vuotta on sellainen, jonka aikana järjestelmien oletetaan kestävän ilman suurempia saneerauksia. Aurinkopaneelilaskelmissa on esitetty 20 vuoden lisäksi 30 vuoden ajanjakso. 30 vuoden jälkeen paneelien oletettu tehokapasiteetti on hiipunut sen verran, että paneelit ovat käyttökänsä lopussa.

Investointien kustannukset on arvioitu yhdessä Granlundin pitkän linjan LVI-asiantuntijan, teknikko Pertti Kurosen kanssa. Kokemusta Pertiltä löytyy LVI-asiantuntijatehtävistä yli 40 vuoden ajalta.

7.7.1 CASE 1: Aurinkopaneelit

Suunnitellun aurinkovoimalan kokonaishinnaksi ilman tukia muodostuu 31 000 €. Hinta sisältää laitteet, asennukset ja kytkennät sekä käyttöönoton. Koska investointi on tarpeeksi suuri, yli 10 000 €, saisi hanke hyvin todennäköisesti investointitukea. Investointituki on maksimissaan 20 % hankkeen investoinnista, joka tarkoittaa tässä hankkeessa 6 200 € etua. Näin ollen investoinnin hinnaksi muodostuu 24 800 €.

Huoltokustannukset vuodessa ovat 310 € ja laskennassa on otettu myös mahdollinen invertterin vaihto huomioon, joka laskelmissa tapahtuu 15 vuoden kohdalla. Invertterin vaihdon

kustannuksena pidetään 10 % alkuinvestoinnista, eli 3 100 €. Laskennassa otetaan huomioon myös aurinkopaneelien tehontuoton alenema, joka ensimmäisenä vuonna on 2,0 % ja seuraavana 2-30 vuonna 0,6 % per vuosi. Aurinkosähkön myyntihintana verkkoon pidetään väre Oy:n vuoden 2020 spot -hinnan keskiarvoa, joka oli 3,73 snt / kWh. Tästä vähennetään marginaali 0,25 snt / kWh, jolloin myyntihinnaksi saamme 3,48 snt / kWh.

7.7.2 CASE 2: Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän investoinnin kokonaiskustannukseksi muodostuu 255 000 €. Ilmanvaihtokoneet sähköistysineen ja automaatioineen kustantaa 95 000 €. Kanavat ja laitteet asennuksineen kustantavat 150 000 €. Rakennustekniset työt, kuten läpiviennit, äänieristetyt kotelot, kustantavat 10 000 €. Koska järjestelmä ei ole energiatuen myönnettävien keskeisimpien tavoiteratkaisujen joukossa, jolloin hanke ei todennäköisesti saa energiatukipäättöstä. Energiatukipäättökseen puuttumisella on vaikutusta elinkaarikustannuslaskentaan.

Vuosihuollon hinta vuodessa on 1500 €, joka sisältää muun muassa suodattimien vaihdot sekä järjestelmän tarkastukset ja toimivuudet kaksi kertaa vuodessa. Kertakorjaukseksi on arvioitu 15 000 €, joka sisältää IV-koneiden puhaltimien uusimiset sekä kanavien nuohouksen. Tämä tapahtuu 10 vuoden kohdalla.

7.7.3 CASE 3: Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumppujen kokonaiskustannukseksi muodostuu ilma tukia 35 050€. Eriteltyinä ilmalämpöpumput kustantavat 18 000 €. Niiden arvioitu sähköistys ja asennukset kustantavat 9 000 €. Rakenteelliset kustannukset ovat arviolta 8 000 €. Kokonaisinvestointi todennäköisesti saisi investointitukea. Investointituki on 15 % hankkeen investoinnista, joka tarkoittaa tässä hankkeessa 5 250 €. Näin ollen kokonaisinvestoinnin hinnaksi muodostuu 29 800 €.

Vuosihuolloiksi on arvioitu 500 € vuodessa, joka sisältää suodattimien vaihdot kaksi kertaa vuodessa sekä yhden perusteellisen huollon sisältäen pesun. Kertakorjaukseksi on arvioitu 10 000 € summa, joka sisältää huoltojen lisäksi kompressorien vaihdot, joka tapahtuu laskelmissa 10 vuoden kohdalla.

7.7.4 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput

Kun aurinkovoimalan ja ilmalämpöpumppujen kokonaiskustannukset laskee yhteen, saadaan 66 050€. Kun investointituet otetaan huomioon, saadaan kokonaisinvestoinnin kustannukseksi 54 600 €.

Vuosihuolloiksi saadaan molempien järjestelmän yhteenlaskettu huoltohintaa, 810 € vuodessa. Kertakorjaukseksi saadaan vastaavasti 13 100 €, joka laskelmissa on esitetty 10 vuoden kohdalla. Kertakorjaus sisältää ilmalämpöpumppujen kompressorien vaihdot sekä aurinkovoimalan invertterin vaihdon.

8 TULOKSET

8.1 Energiankulutus

Nykyisessä järjestelmässä lämmityksen energiankulutus vuodessa on noin 119 MWh. Simuloinnissa energiankulutus jakautuu Jyväskylän vuoden 2012 säädatan mukaisesti.

Kesällä lämmitystarvetta ei ole, mutta koneet sekä laitteet käyttävät sähköä samaan tapaan kuin talvella. Valaistuksen on oltava päällä tarkan työn ja pienien ikkunoiden vuoksi myös kesäkuukausina. Sähkölaitteiden, valaistuksen ja talotekniikan energiankulutus pohjautuu kesäkuukausien toteutuneeseen energiankulutukseen. Vuosien 2016-2020 kesäkuukausien energiakulutuksen keskiarvo on noin 7450 kWh kuukaudessa. Tästä arvioidaan sähkölaitteiden ja valaistuksen osuudeksi noin 90 % eli noin 6750 kWh kuukaudessa. Loput 700 kWh jakautuu talotekniikan energiankulutukseen. Kokonaisvuosikulutukseksi sähkölaitteille ja valaistukselle saadaan noin 89,4 MWh.

Talotekniikan sähköntarve sisältää puhaltimien ja käyttöveden lämmityksen energiankulutuksen, joka vuodessa arvioidaan olevan noin 8,5 MWh vuodessa. Tämä vastaa noin 700 kWh kuukaudessa. Lämmintä käyttövettä tai puhaltimien energiankulutusta ei erikseen mitata, jolloin arvio perustuu kylmän käyttöveden kulutukseen ja arvioihin puhaltimien ja muiden LVI-laitteiden energiankulutukseen. Kylmän käyttöveden kulutus tehtaalla on vuodessa noin 124 m³. Koska lämpimän käyttöveden kulutusta ei mitata erikseen, oletetaan sen olevan

noin 30 % kokonaiskulutuksesta, joka tässä tapauksessa on 37 m³ vuodessa. Lämpimän käyttöveden energiankulutus kulutuksen mukaan voidaan laskea yhtälöllä (7). (Motiva Oy, 2019)

$$Q_{lkv} = 58 * V_{lkv} \quad (7)$$

missä:

Q_{lkv} = lämpimän käyttöveden energiakulutus, kWh / vuosi

58 = veden lämmitykseen kulunut energiamäärä vesikuutiota kohden, kWh / m³

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus vuodessa, m³ / vuosi

Näin ollen lämpimän käyttöveden energiakulutukseksi vuodessa saadaan

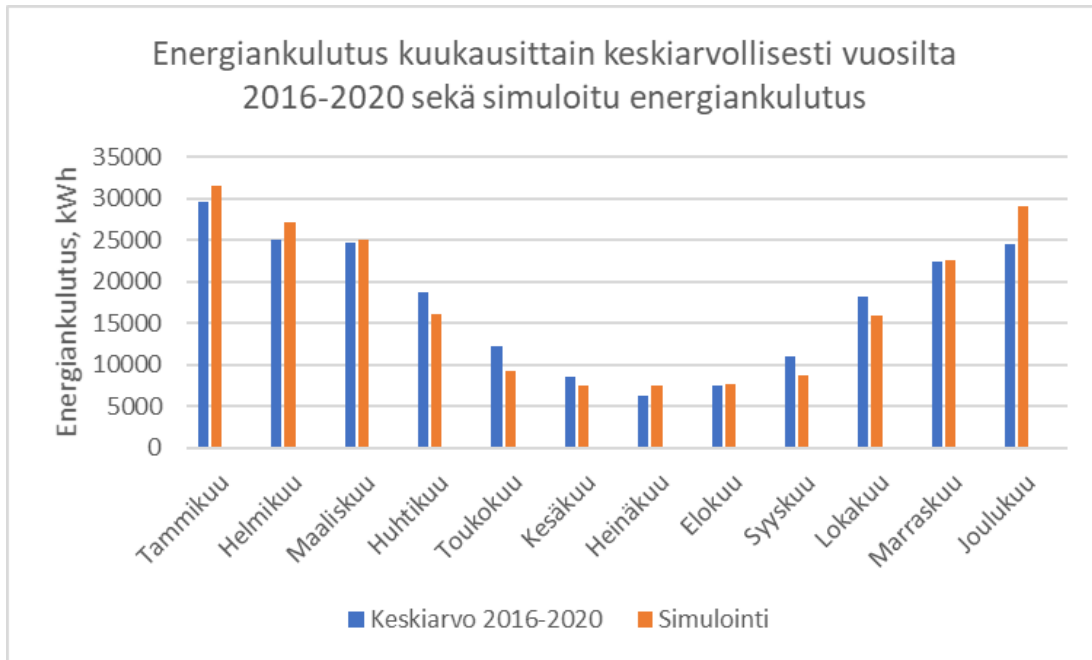
$$Q_{lkv} = 58 \text{ kWh/m}^3 * 37 \text{ m}^3 = 2146 \text{ kWh/a} = 179 \text{ kWh/kk}$$

Loput talotekniikan energiankulutuksesta, noin 520 kWh kuukaudessa kuluu muihin LVI-laitteiden energiankulutukseen, kuten puhaltimien energiankulutukseen.

Kun koko tehtaan energiankulutukset lasketaan yhteen, saadaan vuoden keskiarvon kokonaiskulutukseksi noin 208,4 MWh vuodessa. Lähtötason simulointi vastaa myös toteutunutta lähtötasoa. Taulukossa 11 sekä kuvassa 32 on esitetty nykyinen keskiarvoinen ja simuloitu energiankulutus kuukausittain. Toteutuneessa ja simuloitussa energiankulutuksessa on eroja, mutta vuoden yhteenlasketut energiankulutukset ovat lähellä toisiaan.

Taulukko 11. Toteutuneet energiankulutukset kuukausittain keskiarvallisesti vuosilta 2016-2020 sekä simuloitu energiankulutus Jyväskylän TRY2012 säädätällä.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Keskiarvo 2016-2020 (kWh)	29557	25088	24650	18772	12161	8571	6242	7548	11027	18217	22343	24502	208677
Simulointi (kWh)	31544	27113	25108	16071	9267	7497	7422	7687	8690	15971	22657	29096	208123



Kuva 32. Toteutunut energiankulutus kuukausittain keskiarvallisesti vuosilta 2016-2020 sekä simuloitu energiankulutus Jyväskylän TRY2012 säädätällä.

Kaikkien suunniteltujen järjestelmien energiankulutuksia simuloidaan ja verrataan simuloituun energiankulutukseen. Laskelmissa käytetään simuloitua energiankulutusta, tarkemman tuntidatan vuoksi. Kaikki tulokset simuloidaan ja verrataan simuloituun energiankulutukseen, voidaan tuloksia käsitellä yhdenvertaisesti.

8.1.1 CASE 1: Aurinkopaneelit

Väre Oy:n tarjouslaskennan tuotannon vuosiennuste on 25,6 MWh. Aurinkovoimala vähentää hiilidioksidipäästöjä 7400 kg vuodessa, joka on laskettu vuoden 2018 sähköntuotannon jäännösjakauman mukaisilla keskimääräisillä hiilidioksidipäästöillä 289,67 g/kWh. Tulokset on simuloitu käyttäen keskimääräistä säteilydataa, joka ei ota huomioon lumikerroksen vaikutuksia. Vaikutus tällä voi olla tuloksiin $\pm 5\%$.

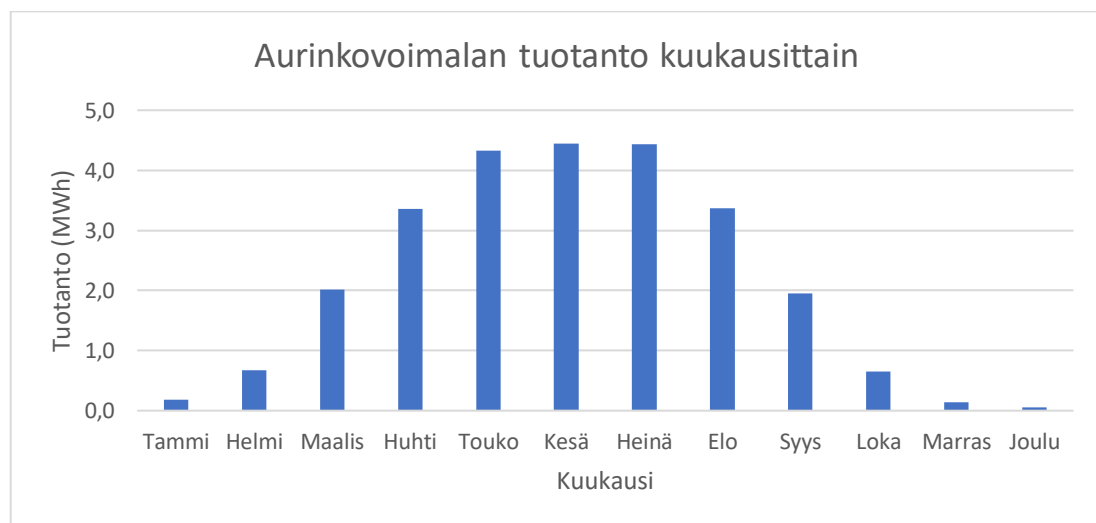
Aurinkovoimalan lisäyksellä päästään tehtaan kokonaisenergiankulutuksessa 182,5 MWh vuodessa. Aurinkovoimalan tuotantokausi on käytännössä maaliskuusta syyskuuhun, jonka aikana aurinkopaneeleista saadaan energiaa 93 % koko vuoden tuotantoennusteesta. Vuosiennusteessa kesäkuukausina (toukokuu-heinäkuu) saadaan noin 58 %

kokonaistuotannosta. Touko- ja heinäkuun aikana tuotanto on parhaimmillaan, 4,3-4,5 MWh kuukaudessa. Tuloksia on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Simuloitu nykytilanne kokonaisenergiankulutuksesta sekä aurinkovoimalan tuotanto ja vaikutus kokonaiskulutukseen.

Kuukausi	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Kokonaisenergiankulutus simuloitu nykytilanne (MWh)	31,5	27,1	25,1	16,1	9,3	7,5	7,4	7,7	8,7	16,0	22,7	29,1	208,1
Aurinkovoimalan tuotanto (MWh)	0,2	0,7	2,0	3,4	4,3	4,5	4,4	3,4	2,0	0,7	0,1	0,1	25,6
Kokonaisenergiankulutus aurinkovoimalalla (MWh)	31,4	26,4	23,1	12,7	4,9	3,0	3,0	4,3	6,7	15,3	22,5	29,0	182,5

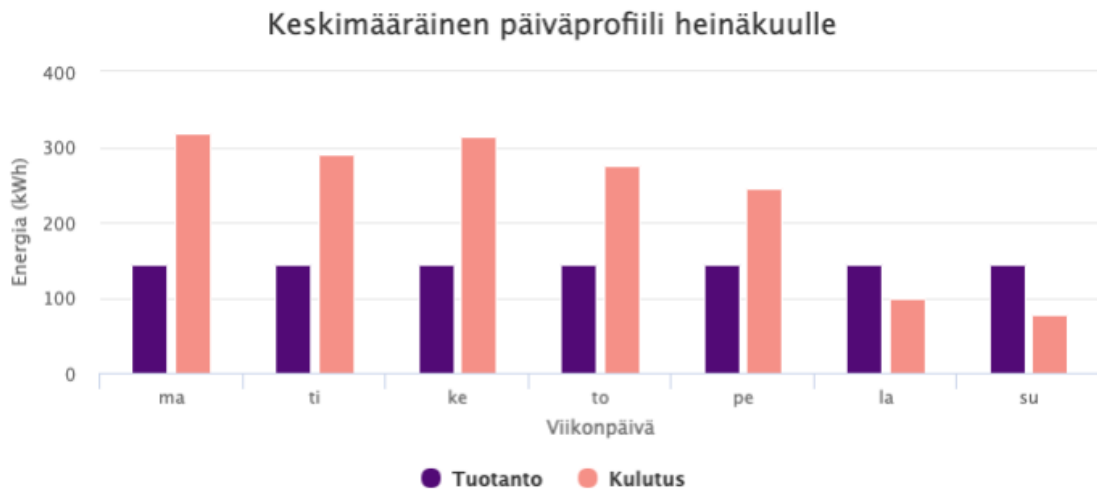
Kuvassa 33 nähdään visuaalisesti, kuinka kohteen aurinkovoimala tuottaa kuukausittain vuodessa energiaa 84 paneelilla (30,2 kWp). Järjestelmän mitoituksella lähes kaikki tuotanto saadaan kulutettua kiinteistön energiankulutukseen. Vain 2,7 MWh vuodessa myydään verkkoon, tämä koostuu viikonlopun ylituotannosta, jolloin tehtaalla ei ole toimintaa. Oma-käyttöasteeksi saadaan 89,3 %.



Kuva 33. Suunnitellun aurinkovoimalan kuukausittainen tuotanto.

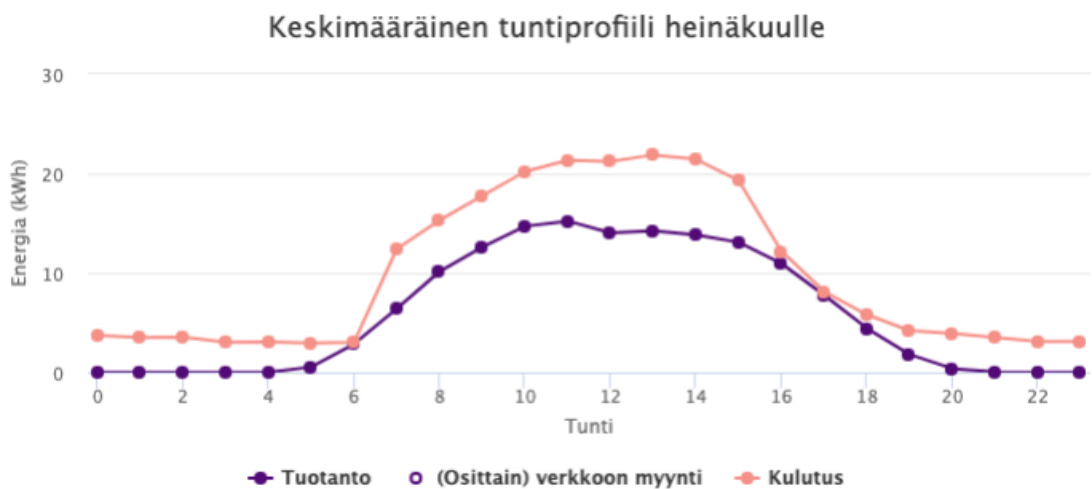
Kuvassa 34 on esitetty Väre Oy:n tarjouksen simulaatio keskimääräisestä päiväprofiilista heinäkuussa. Päiväprofiilissa arkipäivänä aurinkopaneelien tuotanto saadaan suoraan kohdennettua tehtaan kulutukseen. Viikonloppuna ylituotantoa on kulutukseen nähden, jolloin

ylimääräinen sähköenergia myydään sähköverkkoon. Päiväprofiilin energiankulutuksen datana on käytetty vuoden 2020 toteutunutta sähkönkulutusta.



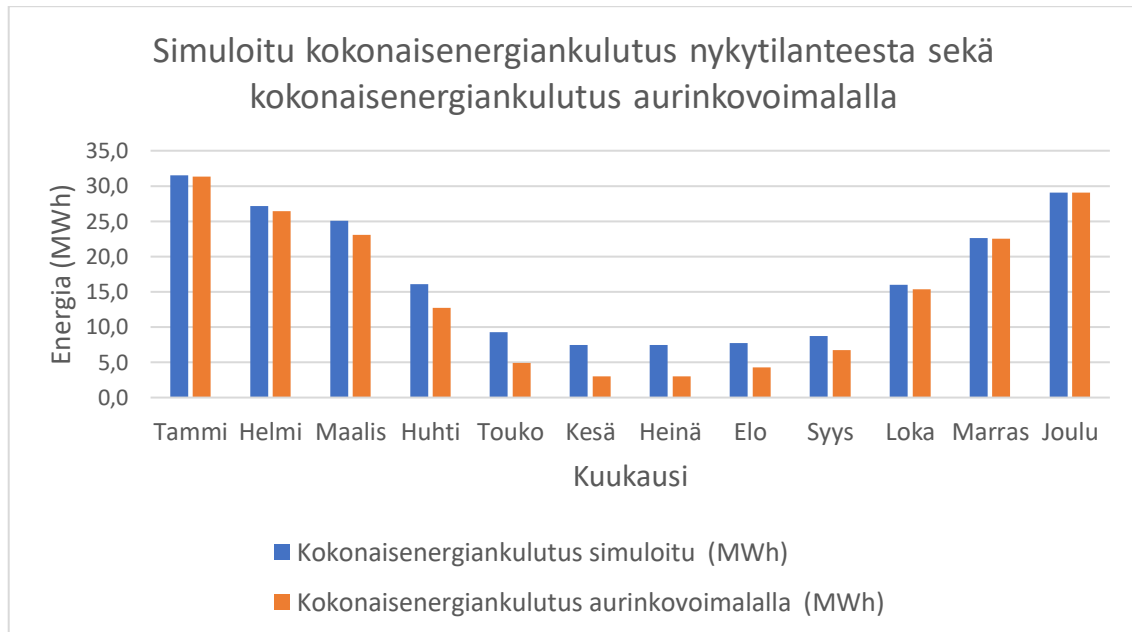
Kuva 34. Keskimääräinen energiankulutuksen ja -tuotannon päiväprofiili heinäkuulle. (Väre Oy:n aurinkovoimalan tarjous)

Kuvassa 35 on esitetty Väre Oy:n tarjouksen simulaatio keskimääräisestä tuntiprofiilista heinäkuussa. Tuntiprofiilit on esitetty arkipäivälle, jolloin tehtaassa on myös kulutusta. Keskimääräinen profiili näyttää sen, että aurinkopaneelien tuotanto saadaan kokonaan kohdennettua tehtaaseen kulutukseen. Näin ei synny ylituotantoa vaan kaikki tuotanto arkipäivinä saadaan tehtaaseen omaan käyttöön.



Kuva 35. Keskimääräinen energiankulutuksen ja -tuotannon tuntiprofiili heinäkuulle. (Väre Oy:n aurinkovoimalan tarjous)

Kuvassa 36 on vertailtu simuloitu nykytilanteen kokonaisenergiankulutus sekä aurinkovoimalan kanssa saatu kokonaisenergiankulutus. Isoin hyöty aurinkovoimalla on kesäkuukausina, jolloin tehtaan kokonaiskulutus kuukaudessa saadaan tiputettua alle 5 MWh, parhaimmillaan jopa 3 MWh kuukaudessa. Talvikuukausina eroa ei energiankulutuksessa ole aurinkonsäteilyn ja siitä saadun energian jäädessä vähäiseksi.



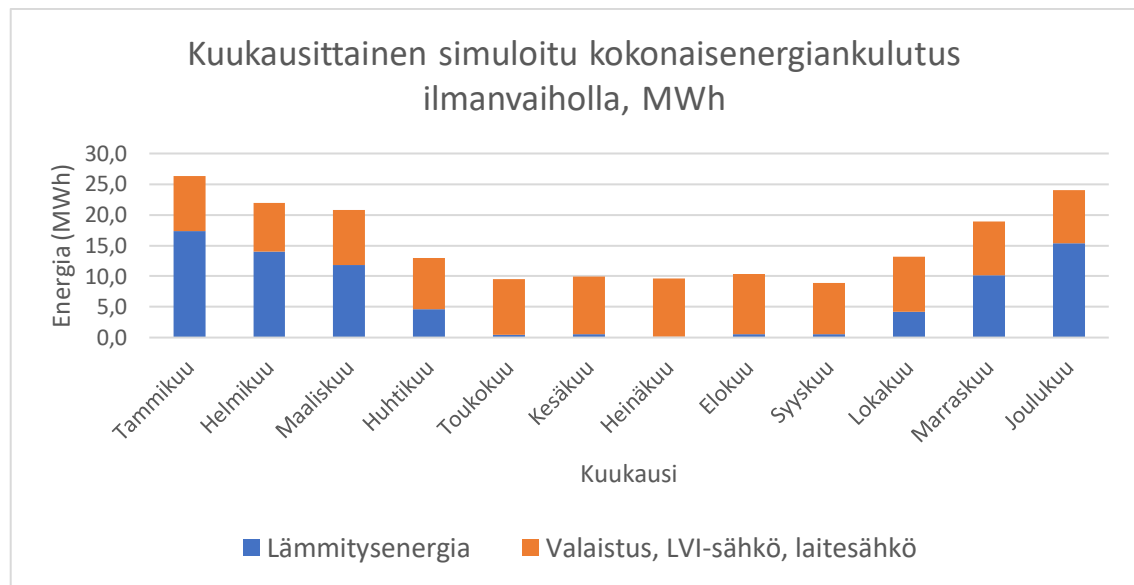
Kuva 36. Simuloitu nykytilanne kokonaisenergiankulutuksesta sekä simuloitu kokonaisenergiankulutus aurinkovoimalalla.

8.1.2 CASE 2: Ilmanvaihto

Ilmanvaihto lisätään simuloituun energiankulutukseen, saadaan tehtaan kokonaisenergiakulutukseksi 186,5 MWh vuodessa, joka on 21,5 MWh vähemmän kuin nykytilanne. Lämmityksen kokonaisenergiakulutus pienenee 119,0 MWh:sta noin 80,0 MWh:iin, joka jakautuu tuloilman lämmitykseen 49,0 MWh sekä tilojen lämmitykseen 31,0 MWh. Laitesähkön, valaistuksen sekä talotekniikan energiankulutus nousee lähtötilanteen 89,0 MWh:sta 106,5 MWh:iin. Energiakulutuksen nousu johtuu ilmanvaihtokoneiden kulutuksesta. Kuukausitasolla energiankulutus jakautuvat taulukon 13 ja kuvan 37 mukaisesti.

Taulukko 13. Nykytilanteen simuloitu kokonaisenergiakulutus sekä energiankulutus ilmanvaihdolla.

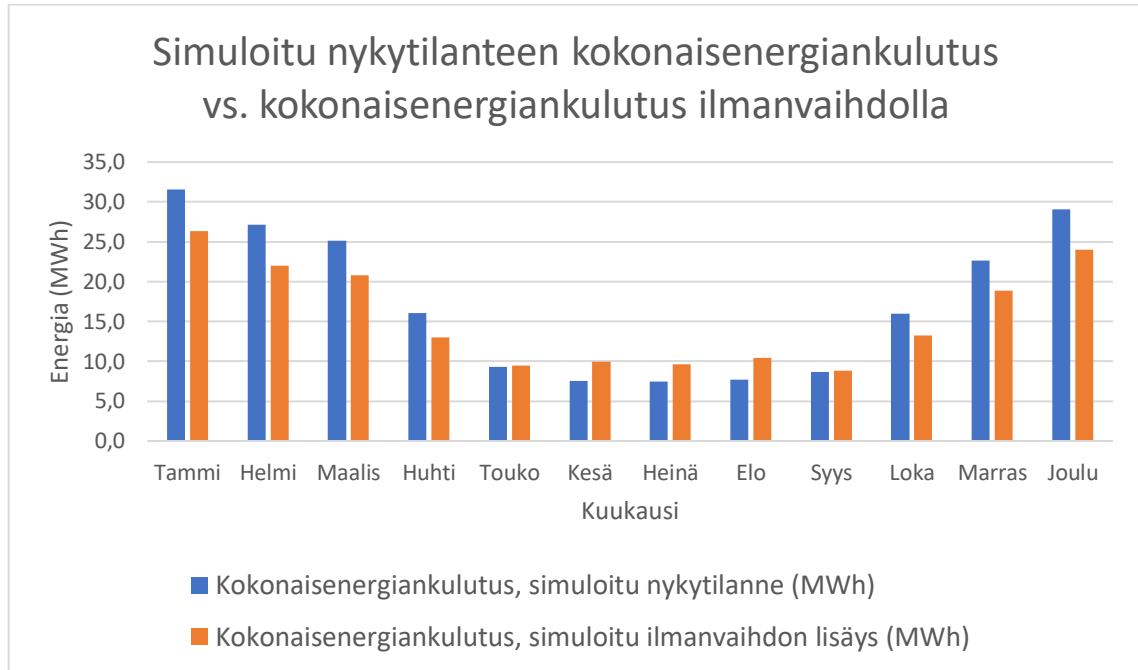
Kuukausi	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Kokonaisenergiakulutus, simuloitu nykytilanne (MWh)	31,5	27,1	25,1	16,1	9,3	7,5	7,4	7,7	8,7	16,0	22,7	29,1	208,1
Simuloitu lämmitysenergia ilmanvaihdolla (MWh)	17,3	14,0	11,9	4,6	0,5	0,6	0,1	0,5	0,6	4,2	10,2	15,4	79,9
Simuloitus valaistuksen, LVI-sähkön, laitesähkön energiankulutus (MWh)	9,0	8,0	8,9	8,3	9,0	9,4	9,5	9,9	8,3	9,0	8,7	8,6	106,6
Kokonaisenergiakulutus, simuloitu ilmanvaihdolla (MWh)	26,4	22,0	20,8	13,0	9,5	9,9	9,6	10,4	8,8	13,2	18,9	24,0	186,5



Kuva 37. Kuukausittainen energiankulutus, kun simulaatioon on lisätty ilmanvaihto. Energiankulutus jakautuu lämmitykseen sekä valaistuksen, LVI-sähkön ja laitesähkön kulutukseen.

Kun simuloituja tuloksia verrataan simuloituun nykytilanteeseen, on energiankulutus pääsääntöisesti nykytilanteeseen nähden pienempää. Vertailussa nykytilanteeseen, suurin muutos on talvikuukausina, jolloin lämpöä saadaan nykytilanteeseen nähden hyödynnettyä hyvien ilmanvaihtokoneiden hyötysuhteiden takia. Ilmanvaihtokoneet toimivat ympäri vuoden ulkoilman lämpötilasta riippumatta, jolloin lämpöenergiaa saadaan talteen myös keskitalvella. Tämä pienentää lämmityskaudella lämmityksen osuutta ja tätä kautta kokonaisenergiakulutusta. Eroa nykytilanteeseen on parhaimmillaan talvella jopa 5 MWh kuukaudessa. Lisäkustannuksia tuovat IV-koneiden lisäämä sähköntarve, joka näkyy suurempana energiankulutuksena nykytilanteeseen nähden. Ero on nähtävissä varsinkin kesäkuukausina (kesä-

elokuu), jolloin suunniteltu yötuuletus lisää sähkönkulutusta. Simuloitujen energiankulutuksien erot näkyvät kuvassa 38.



Kuva 38. Energiankulutuksen vertailu simuloitulla nykytilanteella (suoralla sähköllä) sekä ilmanvaihdon lisäyksellä.

8.1.3 CASE 3: Ilmalämpöpumput

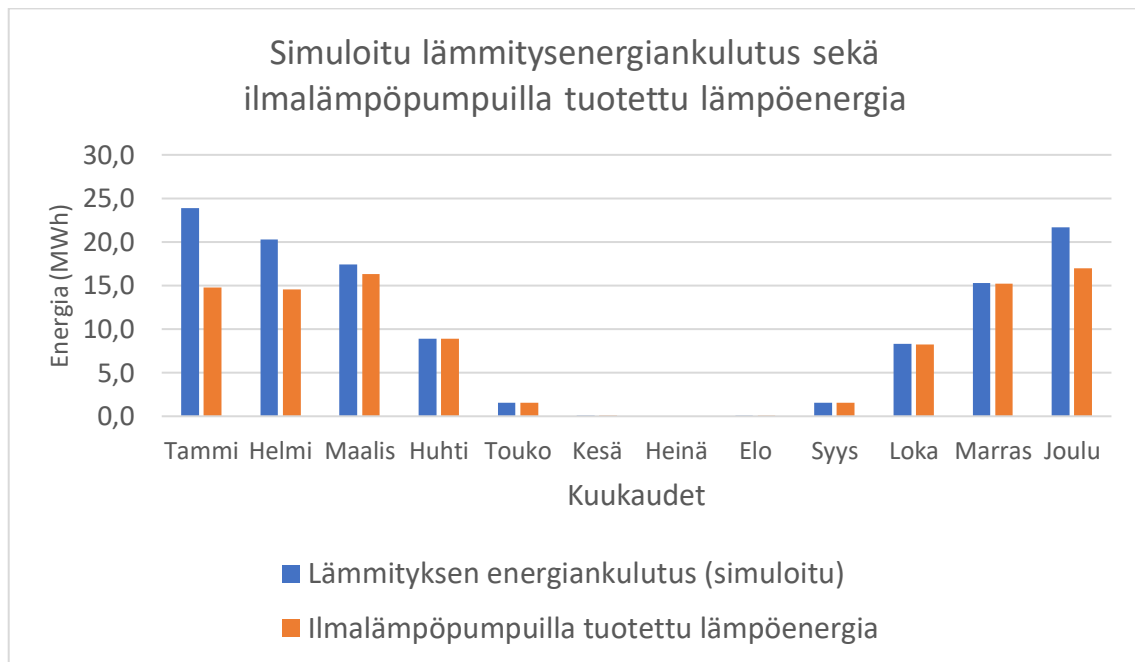
Ilmalämpöpumput toimivat -15 °C saakka, joten kylmemmät tunnit kuin -15 °C , lämmitetään suoralla sähköllä. Simuloinnin ja Jyväskylän säädatan TRY2012 mukaan näin tapahtuu tammi-, helmi-, maaliskuu- ja joulukuussa. Yhteensä näinä kuukausina suoran sähkölämmityksen tarve on yhteensä 17,1 MWh. Taulukossa 14 on esitetty suoran sähkölämmityksen tarve kuukausittain, kun ulkolämpötila on kylmempi kuin -15 °C .

Taulukko 14. Suoran sähkölämmityksen tarve (MWh), kun lämpötila viileämpi kuin -15 °C .

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Lämmityksen tarve, kun pakkasen yli -15 °C (simuloitu, MWh)	7,7	4,4	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3,9	17,1

Kun nykyisen lämmitysjärjestelmän ohelle lisätään suunnitellut ilmalämpöpumput, saadaan näillä lämmitystarve katettua kokonaan huhti- ja marraskuun välisenä aikana. Koko vuonna lämmitysenergiaa saadaan ilmalämpöpumpuilla tuotettua 98,2 MWh. Tämä jää 20,8 MWh

vajaaksi simuloituun lämmityksen energiankulutukseen nähden. Vajaaksi jäänyt osa täytyy kattaa suoralla sähkölämmityksellä. Kuvassa 39 on esitetty simuloitun lämmitysenergiankulutuksen ja ilmalämpöpumpuilla saadun lämpöenergian erot. Taulukkoon 15 on koottu luekat kuukausittain. Erot lämmitysenergioissa tammi-, helmi-, maaliskuu- ja joulukuussa tekevät kovat pakkaset sekä ilmalämpöpumppujen määrä. Suuremmalla määrällä ilmalämpöpumppuja eroa saataisiin teoriassa pienemmäksi, mutta ei silti katettua kokonaan.



Kuva 39. Simuloitu nykytilanteen lämmitysenergiankulutus sekä ilmalämpöpumpuilla tuotettu lämpöenergia.

Taulukko 15. Lämmityksen simuloitu energiankulutus sekä ilmalämpöpumpuilla tuotettu lämpöenergia.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Lämmityksen energiankulutus (simuloitu, MWh)	23,9	20,3	17,4	8,9	1,6	0,1	0,0	0,0	1,6	8,3	15,3	21,7	119,0
Ilmalämpöpumpuilla tuotettu lämpöenergia (MWh)	14,8	14,5	16,3	8,9	1,6	0,1	0,0	0,0	1,6	8,2	15,2	17,0	98,2

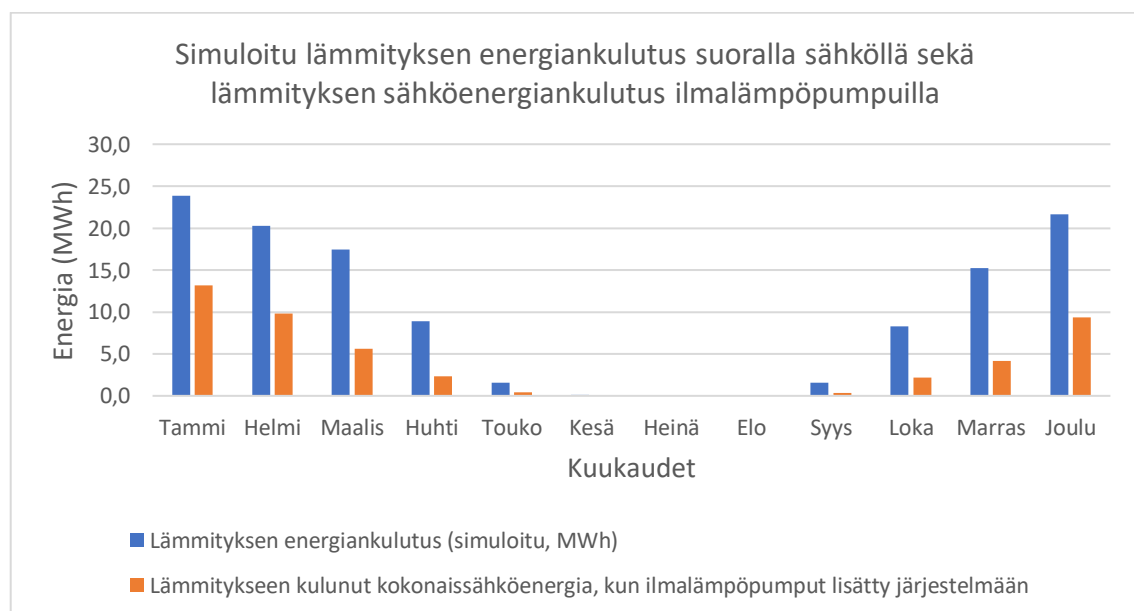
Katsottaessa ilmalämpöpumppujen tuotetun lämpöenergian ja kulutetun sähköenergian suhdetta, saadaan kokovuoden tehokertoimeksi 3,66. Ottaen huomioon kohteen sijainnin ja ulkolämpötilat, niin kokovuoden tehokertoimeksi tämä on kohtuullinen luku. Taulukossa 16

on esitetty lukemat tuotetuista lämpöenergioista, kulutetusta sähköenergiasta ja lasketuista tehokertoimista kuukausittain.

Taulukko 16. Ilmalämpöpumppujen tuottama lämpöenergia, kulutettu sähköenergia sekä tehokertoimet kuukausittain.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Ilmalämpöpumpuilla tuotettu lämpöenergia (MWh)	14,8	14,5	16,3	8,9	1,6	0,1	0,0	0,0	1,6	8,2	15,2	17,0	98,2
Ilmalämpöpumppujen sähkönkulutus (MWh)	4,1	4,1	4,5	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	2,1	4,2	4,7	26,8
Tehokerroin, COP-luku	3,6	3,6	3,6	3,8	4,0	4,2	0,0	4,2	4,2	3,8	3,7	3,6	-

Verrattaessa nykyistä lämmityksen energiankulutusta suoralla sähkölämmityksellä sekä ilmalämpöpumpuilla kulutettua sähköenergiankulutusta, saadaan kuvan 40 ja taulukon 17 mukaiset tulokset. Ilmalämpöpumpuilla kulutettu sähköenergia sisältää ilmalämpöpumppujen kulutetun sähköenergian sekä vajaaksi jääneen energiantarpeen, joka katetaan suoralla sähkölämmityksellä. Koko vuonna sähköenergian kulutus lämmityksessä pienenee huomattavasti 119 MWh:sta 47,4 MWh:iin. Sähköenergiankulutus pienenee siis noin 60 % nykytilanteesta.



Kuva 40. Simuloitu nykytilanteen lämmityksen energiankulutus sekä lämmityksen kokonaissähköenergiankulutus ilmalämpöpumpuilla kuukausittain.

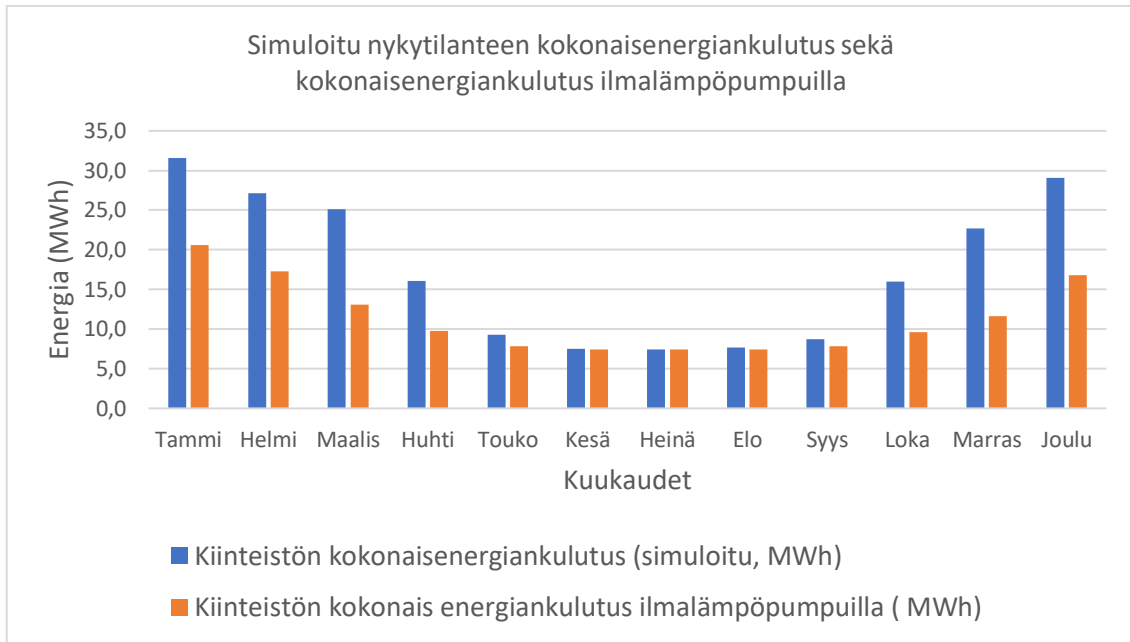
Taulukko 17. Simuloitu nykytilanteen lämmityksen energiankulutus sekä lämmityksen energiankulutus ilmalämpöpumpuilla kuukausittain.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Lämmityksen energiankulutus (simuloitu, MWh)	23,9	20,3	17,4	8,9	1,6	0,1	0,0	0,0	1,6	8,3	15,3	21,7	119,0
Lämmitykseen kulunut kokonaissähköenergia, kun ilmalämpöpumput lisätty järjestelmään (MWh)	13,2	9,8	5,6	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	2,1	4,2	9,4	47,4

Verrattaessa kiinteistön nykyistä simuloitua kokonaisenergiankulutusta sekä ilmalämpöpumpuilla varustettua kokonaisenergiankulutusta, joissa huomioon on otettu myös laite- ja valaistussähköt, on kokonaisenergiankulutus enää vain 136,8 MWh vuodessa (kuva 41). Tämä on noin 35% vähemmän verrattaessa simuloituun nykytilanteeseen. Taulukossa 18 on esitetty kokonaisenergiankulutukset kuukausittain.

Taulukko 18. Simuloitu nykytilanteen kokonaisenergiankulutus sekä kokonaisenergiankulutus ilmalämpöpumpuilla kuukausittain.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Kiinteistön energiankulutus (simuloitu, MWh)	31,5	27,1	25,1	16,1	9,3	7,5	7,4	7,7	8,7	16,0	22,7	29,1	208,1
Lämmitykseen kulunut kokonaissähköenergia, kun ilmalämpöpumput lisätty järjestelmään (MWh)	13,2	9,8	5,6	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	2,1	4,2	9,4	47,4
Kiinteistön laitesähkön ja valaistuksen energiankulutus (simuloitu, MWh)	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	7,45	89,4
Kiinteistön kokonais energiankulutus ilmalämpöpumpuilla (MWh)	20,6	17,3	13,1	9,8	7,9	7,5	7,5	7,5	7,8	9,6	11,6	16,8	136,8



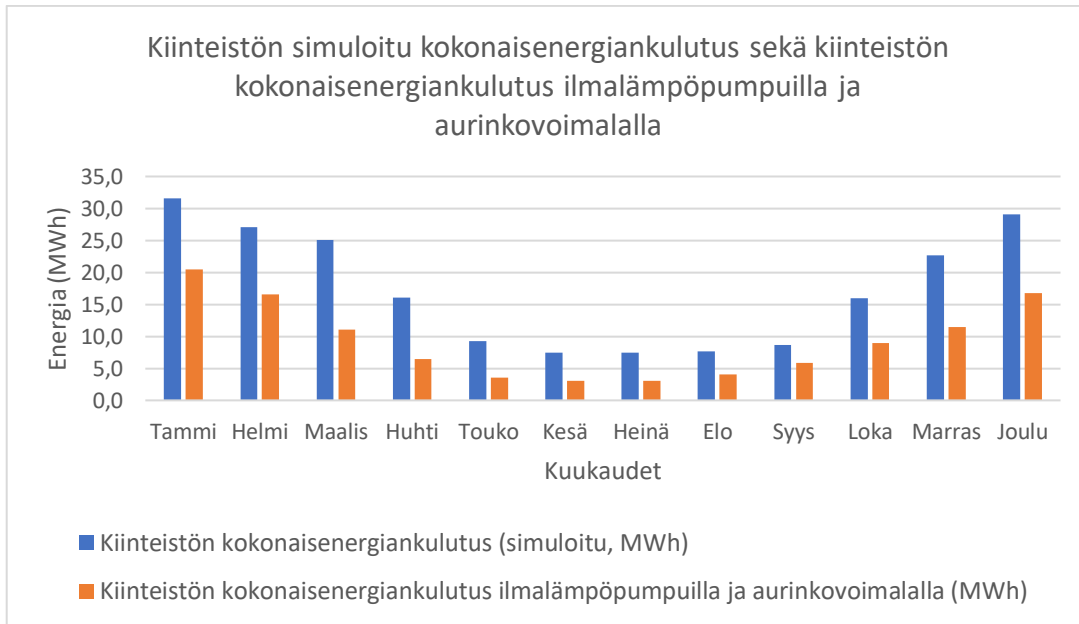
Kuva 41. Simuloitu nykytilanteen kokonaisenergiankulutus sekä kokonaisenergiankulutus ilmalämpöpumpuilla kuukausittain. Kokonaisenergiankulutukset sisältävät lämmityksen, valaistuksen ja laitesähkön kulutukset.

8.1.4 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput

Aurinkopaneelien ja ilmalämpöpumppujen laskelmissa kokonaisenergiankulutukseksi saadaan vuodessa 111,2 MWh. Tämä on noin 47 % pienempi kokonaisenergiankulutus verrattuna simuloituun nykytilanteeseen. Taulukossa 19 ja kuvassa 42 on esitetty kokonaisenergiankulutukset kuukausittain.

Taulukko 19. Kiinteistön simuloitu nykytilanteen kokonaisenergiankulutus sekä kiinteistön kokonaisenergiankulutus ilmalämpöpumpuilla sekä aurinkovoimalla kuukausittain.

Kuukaudet	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu	Yhteensä
Kiinteistön kokonaisenergiankulutus (simuloitu, MWh)	31,5	27,1	25,1	16,1	9,3	7,5	7,4	7,7	8,7	16,0	22,7	29,1	208,1
Kiinteistön kokonais energiankulutus ilmalämpöpumpuilla (MWh)	20,6	17,3	13,1	9,8	7,9	7,5	7,5	7,5	7,8	9,6	11,6	16,8	136,8
Aurinkovoimalan tuotanto (MWh)	0,2	0,7	2,0	3,4	4,3	4,5	4,4	3,4	2,0	0,7	0,1	0,1	25,6
Kiinteistön kokonaisenergiankulutus ilmalämpöpumpuilla ja aurinkovoimalla (MWh)	20,4	16,6	11,0	6,4	3,5	3,0	3,0	4,1	5,9	8,9	11,5	16,8	111,2



Kuva 42. Kiinteistön simuloitu kokonaisenergiankulutus sekä kiinteistön kokonaisenergiankulutus ilmalämpöpumpuilla sekä aurinkovoimalla.

Ilmalämpöpumpujen ja aurinkovoimalan yhteisvaikutus kokonaisenergiankulutukseen on paras kaikista vaihtoehtoisista järjestelmistä, sillä ilmalämpöpumpuilla voidaan vaikuttaa lämmitysenergiantarpeeseen ja aurinkovoimalalla kiinteistön muuhun sähköenergiankulutukseen. Näin ollen kumpikaan ei pois sulje toisen järjestelmän energiatehokkuutta.

8.2 Elinkaarikustannukset

Vertailukohteen eli nykyisen simuloitun sähköenergiakustannukset vuodessa ovat 18 100 €. Tämän lisäksi huoltokustannukset vuodessa ovat 500 €. Kun laskentakorko 3,0 %, sähkön hinnan nousu sekä arvioitu kertakorjaus 5 000 € 10 vuoden kuluttua otetaan huomioon, saadaan elinkaarikustannuksiksi 20 vuoden ajalta 327 000 €.

Vaihtoehtoisten järjestelmien elinkaarikustannuslaskennoissa lasketaan sisäinen korkokanta, takaisinmaksuaika sekä nykyarvo. Yritys ei ole todennut tuottotavoitettaan, joka sisäisen korkokannan olisi hyvä ylittää, siksi laskentakorkona on käytetty korkotasoa 3,0 %.

8.2.1 CASE 1: Aurinkopaneelit

Aurinkovoimalan eliniän katsotaan olevan pitempi kuin muiden vaihtoehtoisten järjestelmien. Muiden 20 vuoden sijaan aurinkovoimalan 30 vuoden ajanjaksolla investoinnin

sisäisen korkokanta on 7,3 %. Investoinnin nettonykyarvo 3,0 % laskentakorolla on 16 530 €. Laskentakorolla takaisinmaksuaika on 16 vuotta. Jos laskentakorko olisi 0,0 %, niin takaisinmaksu aika olisi 12 vuotta ja kumulatiivinen tuotto tässä tapauksessa 41 450 €.

Jos elinkaarikustannuslaskennat laitetaan samalle viivalle, jolloin elinkaari olisi 20 vuotta, olisi investoinnin sisäinen korkokanta 4,8 % ja nettonykyarvo 8 000 €.

Kun huomioon otetaan aurinkovoimalan sähkötuotannon vähenemä sekä sähköhinnan nousu, niin arvio keskimääräisestä sähkön ostohinnasta 30 vuoden aikana on 12 snt / kWh. Omakustannushinta aurinkosähkölle 30 vuoden pitoajalla on arviolta 5,0 snt / kWh.

8.2.2 CASE 2: Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän investoinnin sisäinen korko on 30 vuoden ajalta -16,1 %. Suuren alkuinvestoinnin takia elinkaarikustannusten nettonykyarvo ovat 30 vuoden ajalta 581 800 €, jolloin tappiota nykytilanteeseen nähden syntyy arviolta -242 400 €. Järjestelmä ei maksa itseään takaisin käytännössä koskaan. Vaikkakin sähköenergian kustannukset jäävätkin nykytilannetta pienemmiksi, niin suuri alkuinvestointi, vuosihuollot ja kertakorjaukset vaikuttavat suuresti siihen, ettei investointi maksa itseään takaisin.

8.2.3 CASE 3: Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumppujen investoinnin sisäiseksi koroksi muodostuu 22,2 %. Investoinnin elinkaarikustannusten nettonykyarvo 3,0 % laskentakorolla on 83 700 €. Laskentakorolla takaisinmaksuajaksi saadaan juuri alle 5 vuotta. Investoinnin kannattavuus tulee pienestä alkuinvestoinnista ja suuresta hyödystä energiakustannusten kannalta. Energiakustannusten säästöä 20 vuodessa syntyy noin 78 700 € verran.

8.2.4 CASE 4: Aurinkopaneelit + ilmalämpöpumput

Aurinkovoimalan ja ilmalämpöpumppujen investoinnin sisäiseksi koroksi muodostuu 13,8 %. Investoinnin nettonykyarvo 3,0 % laskentakorolla on 80 147 €. Laskentakorolla takaisinmaksuajaksi saadaan 7,8 vuotta. Vaikkakin energiakustannuksissa hybridijärjestelmällä saadaan 20 vuoden säästöä 73 900 €, niin takaisinmaksuaika jää 7,8 vuoteen suuremman alkuinvestoinnin takia kuin pelkällä ilmalämpöpumppujärjestelmällä.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUKIMUKSET

Tässä työssä tarkasteltiin huonekalutehtaan nykyistä energiankulutusta sekä vaihtoehtoisia energijärjestelmiä, joilla parannettaisiin tehtaan energiatehokkuutta. Kaikki energiankulutukset simuloitiin, jotta tulokset olisivat vertailtavissa keskenään. Tuloksien avulla tilaaja voi hyödyntää hankkeiden kannattavuutta ja investointeja. Kaikki tulokset on koottu taulukkoon 20. Jatkotutkimuksia löytyisi paljon tähän työhön liittyen. Energiatehokkuutta parantavia järjestelmiä on monia, joista vastaavia laskelmia voisi tehdä. Lämmitysjärjestelmään ja sähköenergiakulutukseen vaihtoehtoisia laskelmia voisi tehdä esimerkiksi maalämmöstä, hakelämpölaitoksesta ja tuulivoimasta.

Kaikilla tämän työn vaihtoehtoisilla järjestelmillä saadaan kokonaisenergiankulutusta nykyisestä pienennettyä. Isoin ero energiassa on hybridijärjestelmällä, jolloin kokonaisenergiankulutus pienenee lähes 97 MWh vuodessa. Tämä on lähes 47 % kokonaisenergiasta. Pienin hyöty saadaan ilmanvaihtojärjestelmällä, joka pienentää kokonaisenergiakulutusta 21,6 MWh vuodessa, joka on noin 10 % kokonaisenergiankulutuksesta. Ilmanvaihtojärjestelmällä saadaankin enemmän aikaa viihtyvyyttä ja raikasta ilmaa oleskeluvyöhykkeelle, kuin suurta energiatehokkuutta. Ilmanvaihtojärjestelmän yksi tärkein tehtävä onkin siirtää materiaaleista, ja toiminnasta syntyvää epäpuhtautta pois tiloista. Ilmanvaihtojärjestelmän suuri alkuinvestointi syö hankkeen kannattavuuden kokonaan.

Parhaimmiksi järjestelmiksi valikoituivat ilmalämpöpumppujärjestelmä sekä hybridijärjestelmä. Hybridijärjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa suuresti osin ilmalämpöpumput. Ilmalämpöpumppujen pienen alkuinvestoinnin ja suuren energiatehokkuuden vuoksi takaisinmaksuajaksi saatiin laskelmien mukaan alle 5 vuotta. Myös hybridijärjestelmän, hyvän energiansäästön vuoksi takaisinmaksuajaksi jää vain hieman alle 8 vuotta. Molemmissa investoinneissa myös sisäinen korkokanta on korkea, hybridissä vajaa 14 % ja ilmalämpöpumpuissa yli 22 %. Itsessään aurinkopaneelijärjestelmä ei ole järin kannattava, mutta hyvä ilmalämpöpumppuinvestointi kompensoi hybridijärjestelmän kannattavuutta.

Aurinkovoimalajärjestelmän paras tuotantajakso on kesällä, jolloin perustason energiakuorma tehtaalla jää kuukausikohtaisissa kulutuksissa verrattaen pieneksi. Tämän vuoksi parasta hyötyä ei aurinkovoimasta saada ajatellen tehtaan kokonaisenergiankulutusta.

Vaikkakin järjestelmä itsessään on vähäisen huollon takia huoltovapaampi kohde, on laskelmissa kuitenkin otettava huomioon mahdollinen invertterin vaihto, joka pidentää takaisinmaksu aikaa. Takaisinmaksuajaksi muodostuukin vajaa 16 vuotta, joka ilmalämpöpumppu- sekä hybridijärjestelmään verraten tuntuu pitkältä.

Jos kaikki investoinnit laitetaan samalle viivalle ja katsotaan investoinnin energiakustannussäästöjen osalta 20 vuoden ajanjaksoa niin, aurinkovoimalan elinkaarikustannussäästöt ovat kokonaisuudessaan vain 4 300 €. Hyödyt järjestelmästä tulevat vasta 16 vuoden jälkeen, kun järjestelmä on maksanut itsensä takaisin ja mahdollinen invertterin vaihto on takana päin. Järkevämpi elinkaarilaskenta aurinkovoima järjestelmälle onkin pitempi aikajakso, esimerkiksi 30 vuotta. Suurimman säästön saa aikaiseksi ilmalämpöpumput, jonka elinkaarikustannussäästö 20 vuodessa on lähes 78 700 €. Hybridijärjestelmäkin päästään 73 400 € elinkaarikustannussäästöihin samassa ajassa. Eron tekee vuosihuoltokustannukset sekä ajateltu isompi kertakorjaus hybridijärjestelmälle. Pidemmässä aikajaksossa hybridijärjestelmä säästää enemmän euroja kuin pelkkä ilmalämpöpumppujärjestelmä. Ilmanvaihtojärjestelmällä ei saada säästöjä aikaan suuren investoinnin takia sillä 20 vuoden jälkeen tappiota on lähes 243 400 € eli lähes vielä alkuinvestoinnin verran.

Katsottaessa nettonykyarvoja 20 vuoden ajalta, jotka sisältävät investoinnit, huollot ja energiakustannukset, on ilmalämpöpumppujärjestelmän nettonykyarvo paras, ollessaan 83 000 €. Hybridijärjestelmän nettonykyarvo on 80 200 €, joka jää ilmalämpöpumppujärjestelmästä vain 2 800 € verran. Aurinkopaneelien vastaava luku on 8 000 €. Ilmanvaihtojärjestelmän luku on aivan omassa luokassa, ollessaan -242 400 €.

Taulukko 20. Yhteenvetotaulukko järjestelmien tuloksista.

Yhteenvetotaulukko	Ilmanvaihto	Aurinkopaneelit	Aurinkopaneelit+ Ilmalämpöpumput	Ilmalämpöpumput
Investointikustannus [€]	255 000	24 800	54 600	29 800
Säästetty kokonaisenergia [MWh]	21,5	25,6	96,9	71,6
Säästö [€]	-243 364	4 324	73 924	78 689
Sisäinen korkokanta [%]	-16,1	5,5	13,8	22,2
Takaisinmaksuaika [a]	yli 20	15,4	7,8	4,9
Nettonykyarvo [€]	-242 371	8 024	80 147	83 745

Lisäksi, että ilmalämpöpumppujärjestelmällä saadaan tuotettua lämpöä, saataisiin valinnalla tuotettua myös jäädytystä kiinteistöön. Jos jäädytystä käytettäisiin, olisi tällä vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen, elinkaarikustannuslaskelmiin sekä takaisinmaksuaikaan. Suurentuneen kokonaisenergiankulutuksen vuoksi, myös aurinkopaneelien määrän ja tehon tulisi mitoittaa uudestaan. Lähtökohdana hankkeella oli se, että aurinkovoimalan koon haluttiin olevan sellainen, että lähes kaikki energia saataisiin kiinteistön omaan käyttöön. Kiinteistössä ei tällä hetkellä ole tarvetta jäädytykseen, joten jäädytyksen tuoma energiantarve jätettiin pois laskelmista. Vaihtoehtoisia järjestelmälaskelmia piti rajata työn laajuuden vuoksi.

Mielenkiintoista olisi myös laskea, kuinka tuloksiin vaikuttaisi suurempi aurinkovoimala, jolloin myös tässä tapauksessa verkkoon myyntiä tapahtuisi enemmän. Reaaliaikaisen sähköntuotannon ja -käytön lisäksi vaihtoehdoksi voisi laskea akkujärjestelmällä, jossa energia ladattaisiinkin suoraan akkuvarastoihin. Elinkaarikustannuslaskelmat muuttuisivat myös samalla, kun akku tai akut sisällytettäisiin investointiin.

Laskelmat voisi tehdä myös toisenlaisilla ilmalämpöpumpuilla ja verrata tuloksia tämän työn tuloksiin. Markkinoilla on monenlaisia ilmalämpöpumppuja ja eri valinnoilla saisi tuloksistakin toisen näköiset. Ilmalämpöpumppujen tehokertoimet ja lämpötilatoimivuus ovat isossa roolissa laskelmissa ja käyttämällä aikaa laitteiden toimintoihin sekä toimijoihin, voisi löytää juuri optimaaliset laitteet kiinteistön tarpeisiin. Koska ilmalämpöpumppujärjestelmällä joudutaan suoralla sähköllä lämmittämään kiinteistöä kovien pakkasien aikaan, ei järjestelmällä voi kokonaan kattaa lämmitysenergian tarvetta. Toisaalta laskelmiin vaikuttaisi, jos järjestelmään lisättäisiin vielä useampi ilmalämpöpumppu kuin suunnitelmissa on. Tämä vaikuttaisi laskelmiin, mutta olisiko investoinnista enemmän hyötyä kuin haittaa, jos halutaan kaikki mahdollinen energia kattaa ilmalämpöpumpuilla? Tämä voisi kääntyä toisin päin, jolloin järjestelmä olisi ylimitoitettu ja ilmalämpöpumppujen kokonaiskapasiteettiä tarvitsisi harvoin käyttää täysillä.

Työtä voisi lähestyä myös enemmän hiilijalanjälki, vähähiilisyys ja päästövähennysrajoitusten kannalta, jolloin eri lähtökohdat veisivät työtä toiseen suuntaan. Osittain työssä on jo otettu huomioon vähähiilisyys aurinkovoimalan energiantuotannon näkökulmassa. Ottaessa

huomioon vähähiilisyys muissa järjestelmissä, tulokset voisivat näyttää erilaisilta. Nämä vaikuttaisivat elinkaarikustannuslaskelmiin, sillä investointien hinnat todennäköisesti myös nousisivat.

10 YHTEENVETO

Työn tavoite oli miettiä vaihtoehtoisia järjestelmiä huonekalutehtaaseen, joilla saataisiin aikaan kokonaisenergiankulutuksen kannalta energiatehokkaampia ratkaisuja. Energiatehokkuusratkaisut kohdistettiin lämmitysjärjestelmään ja sähkönkulutukseen. Tehtaan nykyisenä lämmitysjärjestelmänä toimii suora sähkölämmitys säteilylämmittimin. Tehtaan laitteista, lämpimästä käyttövedestä ja valaistuksesta syntyy peruskuorma, joka on jopa 40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Vaihtoehtoiset lämmitysjärjestelmät valittiin nykyistä järjestelmää silmällä pitäen ja uudet järjestelmät suunniteltiin toimimaan nykyisen järjestelmän rinnalle. Koska tehtaalla ei ole lämmitysvesiverkostoa ennestään, nähtiin järkeväksi suunnitella järjestelmät nykyisen lämmityksen rinnalle.

Vaihtoehtoisiksi ratkaisuksi nykyisen rinnalle valikoitui ilmanvaihtojärjestelmä, aurinkovoimajärjestelmä sekä ilmalämpöpumppujärjestelmä. Neljänneksi ratkaisuksi katsottiin yhdistää aurinkovoima sekä ilmalämpöpumppu -hybridijärjestelmäksi. Kaikki järjestelmät ja niiden energiankäyttö simuloitiin. Myös nykyinen energiankulutus simuloitiin, jonka taustana käytettiin toteutuneita energiankulutuksia viimeisen viiden vuoden ajalta. Koska nykyinen järjestelmä sekä uudet järjestelmät simuloitiin, oli tulosten vertailu kaikille vaihtoehtoisille järjestelmille samanarvoista, koska lähtökohtana pidettiin simuloitua nykytilannetta.

Jokaisella järjestelmällä saatiin nykyistä energiankulutusta pienennettyä, joka oli tarkoituskin. Paras järjestelmä vaihtoehtoista olisi lisätä ilmalämpöpumput nykyisen sähkölämmityksen rinnalle pienien investointikustannusten sekä huoltokustannusten vuoksi. Ilmalämpöpumpuilla voisi mahdollisesti tuottaa myös jäähdytystä kiinteistöön, jos tarvetta ilmenisi. Laskelmien perusteella ilmanvaihtojärjestelmä pienentää myös energiankulutusta, mutta ei suurten huoltokulujen sekä alkuinvestoinnin vuoksi ole järkevä investointi. Aurinkopaneelit ovat myös hyvä vaihtoehto, vaikkei kuitenkaan ilmalämpöpumppujen veroinen kokonaisenergioiden ja takaisinmaksun valossa. Hybridijärjestelmä olisi varteenotettava vaihtoehto,

koska ilmalämpöpumpuilla voidaan tuottaa lämpöä ja aurinkopaneeleilla saadaan kesäkuukausien energiankulutusta pienennettyä. Jos energiankulutus nousisi kesäkuukausina, olisi aurinkovoimalaan myös mahdollista jättää laajentumisvaraa tulevaisuutta varten.

Elinkaarikustannusten avulla saatiin järjestelmille laskettua takaisinmaksuajat sekä nettonykyarvot. Paras takaisinmaksuaika on ilmalämpöpumpuilla, joka maksaa investoinnin takaisin nopeasti, alle 5 vuodessa. Hybridijärjestelmällä saadaan myös takaisinmaksuaika alle 8 vuoteen, joka myös on kannattava investointi. Pelkkä aurinkovoimala ei näihin kahteen ratkaisuun verraten ole paras investointi, sillä järjestelmän koon, huoltokustannusten ja alkuinvestoinnin takia takaisinmaksuajaksi muodostui noin 15,5 vuotta.

Simuloinnin ja tulosten osalta yrittäjä voi miettiä mahdollisia investointeja energiatehokkuuden parantamiseen. Lopullisten laitevalintojen pohjalta laskelmia on syytä päivittää, jotta energialaskelmat sekä elinkaarikustannukset olisivat todenmukaiset ja näin myös yritys voisi tehdä valinnat oikeiden laskelmien pohjalta.

LÄHTEET

Build Up, The European Portal For Energy Efficiency in Buildings. 2014. Commission Regulation (EU) No 1253/2014 of 7 July 2014 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for ventilation units. [Verkkosivu] [Viitattu 10.6.2021]. Saatavissa: <https://www.buildup.eu/en/node/43393>

Business Finland. 2021. Energiatuki. [Verkkosivu] [Viitattu 8.5.2021]. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Energiatehokkuussopimukset. 2021. [Verkkosivu] [Viitattu 30.1.2021]. Saatavissa: <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/>

Energiavirasto. 2021. Suunnittelu ja seuranta. [Verkkosivu] [Viitattu 25.1.2021]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/suunnittelu-ja-seuranta>

Finlex. 1429/2014. Energiatehokkuuslaki. [Verkkosivu] [Viitattu 4.5.2021]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141429#L6>

FINVAC. 2021. IV-suunnittelun oppaat. [Verkkosivu] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: <https://finvac.org/iv-oppaat/>

Greenled. 2021. Älykäs valaistus. [Verkkosivu] [Viitattu 20.4.2021]. Saatavissa: <https://greenled.fi/alykas-valaistus/>

Helen Oy. 2017. Pohjoismaiden energiantuotanto pähkinänkuoressa. [Verkkosivu] [Viitattu 22.6.2021]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankoh-taista/blogi/2017/pohjoismaiden-energiantuotanto>

Ilmatieteen laitos. 2012. Rakennusten energialaskennan testivuodet. [Verkkoaineisto] [Viitattu 10.7.2021]. Saatavissa: https://www.ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/359229/Testivuosien_kuvaus.pdf/3b0cb383-0c9a-4682-80d9-ef492ae4e955

International Energy Agency, IEA. 2021. Data and statistics. [Verkkosivu] [Viitattu 22.6.2021]. Saatavissa: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=FIN-LAND&fuel=Energy%20consumption&indicator=TotElecCons>

MagiCAD. 2021a. MagiCAD Room. [Verkkosivu] [Viitattu 8.5.2021]. Saatavissa: https://www.magicad.com/fi/mc_software/magicad-room/#ominaisuudet-autocadille

MagiCAD. 2021b. MagiCAD Comfort & Energy. [Verkkosivu] [Viitattu 8.5.2021]. Saatavissa: https://www.magicad.com/fi/mc_software/magicad-comfort-energy/#ominaisuudet-autocadille

Motiva Oy. 2017. Valaistus. [Verkkosivu] [Viitattu 20.4.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/valaistus

Motiva Oy. 2018. Toimistolaitteet. [Verkkosivu] [Viitattu 20.4.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/toimistolaitteet

Motiva Oy. 2019. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. [Verkkosivu] [Viitattu 10.7.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Motiva Oy. 2020. Energiatohokkuusdirektiivi. [Verkkosivu] [Viitattu 30.1.2021]. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/direktiivit/energiatohokkuusdirektiivi>

Motiva Oy. 2021. ESCO-hankkeiden tuki. [Verkkosivu] [Viitattu 3.6.2021]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/katselmus-_ja_investointituet/esco-hankkeiden_tuki

Rakennustieto Oy. 2010. Tietomallinnettava rakennushanke; Ohjeita rakennuttajalle. RT 10-10992. [Verkkoaineisto] [Viitattu 1.7.2021].

Rakennustieto Oy. 2013. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. LVI 30-10529. [Verkkoaineisto] [Viitattu 1.8.2021]

Retermia. 2021. Lämmön talteenotto. [Verkkosivu] [Viitattu 7.4.2021]. Saatavissa: <https://www.retermia.fi/fi/teknologia/lammontalteenotto/>

Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. [Verkkoaineisto] [Viitattu 19.9.2021]

Sisäilmautiset. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018 on julkaistu entistä kattavampana – pienhiukkaset ja kalusteet mukana. [Verkkosivu] [Viitattu 7.4.2021]. Saatavissa: <https://www.sisailmautiset.fi/sisailmayhdistys/sisailmastoluokitus-2018-on-julkaistu-entista-kattavampana-pienhiukkaset-ja-kalusteet-mukana/>

Sisäilmautiset. 2021. Hyvin toimiva ilmanvaihto ylläpitää hyvää sisäilman laatua. [Verkkosivu] [Viitattu 7.4.2021]. Saatavissa: <https://www.sisailmautiset.fi/toimintamallit/hyvin-toimiva-ilmanvaihto-yllapitaa-hyvaa-sisailman-laatua/>

Sisäilmayhdistys ry. 2020a. Ilmanvaihdon merkitys. [Verkkosivu] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Ilmanvaihdon-vaikutus>

Sisäilmayhdistys ry. 2020b. Ilmanvaihdon perusteet. [Verkkosivu] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Teollisuuden energiankäyttö.

ISSN=1798-775X. 2019, Liitetaulukko 2. Teollisuuden energiankäyttö toimialoittain vuonna 2019. Helsinki: Tilastokeskus. 2020. [Verkkajulkaisu] [Viitattu: 22.6.2021]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/tene/2019/tene_2019_2020-11-12_tau_002_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus.

ISSN=1799-795X. 4. Vuosineljännes 2020, Liitekuvio 6. Sähkönkulutus sektoreittain

1970–2020*. Helsinki: Tilastokeskus. 2021. [Verkojulkaisu] [Viitattu: 22.6.2021].
Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2020/04/ehk_2020_04_2021-04-16_kuv_006_fi.html

Swegon. 2021. Hyvä tietää lämmönsiirtimistä. [Verkkosivu] [Viitattu 8.4.2021]. Saata-
vissa:
<https://www.swegon.com/fi/opaat/erilaiset-lammonsiirintyytit/>

Talotekniikkainfo. 2019. Käyttöveden lämpötila ja laatu. [Verkkosivu] [Viitattu
15.4.2021]. Saatavissa: [https://www.talotekniikkainfo.fi/esimerkki-kayttoveden-lamportila-
ja-laatu](https://www.talotekniikkainfo.fi/esimerkki-kayttoveden-lamportila-ja-laatu)

Talotekniikkainfo. 2020. Sisäilmasto ja ilmanvaihto – opas, päivitetty 10.6.2020. [Verkko-
sivu] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: [https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilman-
vaihto-opas](https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas)

Team Finland. 2021. Tietoa Team Finlandista. [Verkkosivu] [Viitattu 8.5.2021]. Saata-
vissa: <https://www.team-finland.fi/tietoa-team-finlandista>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2007. VTT tiedote. Talotekniikan elinkaarikustan-
nukset. [Verkkoaineisto] [Viitattu 19.9.2021]. Saatavissa:
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2019. Legionella. [Verkkosivu] [Viitattu 27.4.2021].
Saatavissa: [https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-tau-
dinaiheuttajat-a-o/legionella](https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit-ja-rokotukset/taudit-ja-torjunta/taudit-ja-tau-
dinaiheuttajat-a-o/legionella)

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2020a. Sisäilma. [Verkkosivu] [Viitattu 2.4.2021]. Saa-
tavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2020b. Miten sisäilma vaikuttaa ihmisen terveyteen.
[Verkkosivu] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: [https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/si-
sailma/miten-sisailma-vaikuttaa-ihmisten-terveyteen-](https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/si-
sailma/miten-sisailma-vaikuttaa-ihmisten-terveyteen-)

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2021. Erityispuhtaiden sisätilojen käyttö voi voimistaa oireiluerkkyyttä - pitkittyneesti oireilevia tuettava monipuolisesti ja tietoon perustuen. [Verkkosivu] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/-/erityispuhtaiden-sisatilojen-kaytto-voi-voimistaa-oireiluerkkyytta-pitkittyneesti-oireilevia-tuettava-monipuolisesti-ja-tietoon-perustuen?redirect=%2Ffi%2Fweb%2Fymparistoterveys%2Fajankohtaista>

Tilastokeskus. 2021a. Energiavuosi 2019. Avainluvut -Excel. [Verkkoaineisto] [Viitattu 22.6.2021]. Saatavissa: https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2020/html/suom0016.htm

Tilastokeskus. 2021b. Energiavuosi 2019. 6.1.Teollisuuden polttoaineiden ja energialähteiden kulutus -Excel. [Verkkoaineisto] [Viitattu 22.6.2021]. Saatavissa: https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2020/html/suom0005.htm

Työterveyslaitos. 2020. Mitä on hyvä sisäilma? [Verkkoaineisto] [Viitattu 30.4.2021]. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/oppimateriaalit/wp-content/uploads/sites/3/2020/09/1.-Mit%C3%A4-on-hyv%C3%A4-sis%C3%A4ilma-FIN-2.9.2020.pdf>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2021a. Energiatehokkuus. [Verkkosivu] [Viitattu 25.1.2021]. Saatavissa: <https://tem.fi/energiatehokkuus>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2021b. Energiatuki. [Verkkosivu] [Viitattu 25.1.2021]. Saatavissa: <https://tem.fi/energiatuki>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2021c. Tuettavat hankkeet ja tuen enimmäismäärät. [Verkkosivu] [Viitattu 5.5.2021]. Saatavissa: <https://tem.fi/tuettavat-hankkeet>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Energia. Energiatehokkuustyöryhmän raportin erillinen liite. Toimenpidekortit. [Verkkosivu] [Viitattu 3.5.2021]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161811/Toimenpiteiden%20yksityiskohtaiset%20kuvaukset_Liite_53_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. [Verkkosivu] [Viitattu 30.1.2021]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1

Vattenfall. 2021. Lämpöpumput. [Verkkosivu] [Viitattu 21.4.2021]. Saatavissa: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvoonta/sahkonkulutus/talotekniikka/lammitysjarjestelmat/lampopumput/>

Vallox. 2021. Energiatehokas ilmanvaihto. [Verkkoaineisto] [Viitattu 7.4.2021]. Saatavissa: https://www.vallox.com/tietoa_ilmanvaihdosta/energiatehokas_ilmanvaihto.html

Valtioneuvosto. 2020. Reilulla siirtymällä kohti hiilineutraalia Suomea. [Verkkoaineisto] [Viitattu 27.1.2021]. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/documents/10616/20764082/hiilineutraaliuden%2Btiekartta%2B03022020.pdf/1f1dfbea-f623-9197-5352-23a7f1b83703/hiilineutraaliuden%2Btiekartta%2B03022020.pdf>

Ympäristöministeriö. 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. [Verkkoaineisto] [Viitattu 6.4.2021]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>

Ympäristöministeriö. 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. [Verkkoaineisto] [Viitattu 7.3.2021]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1010%2F2017>

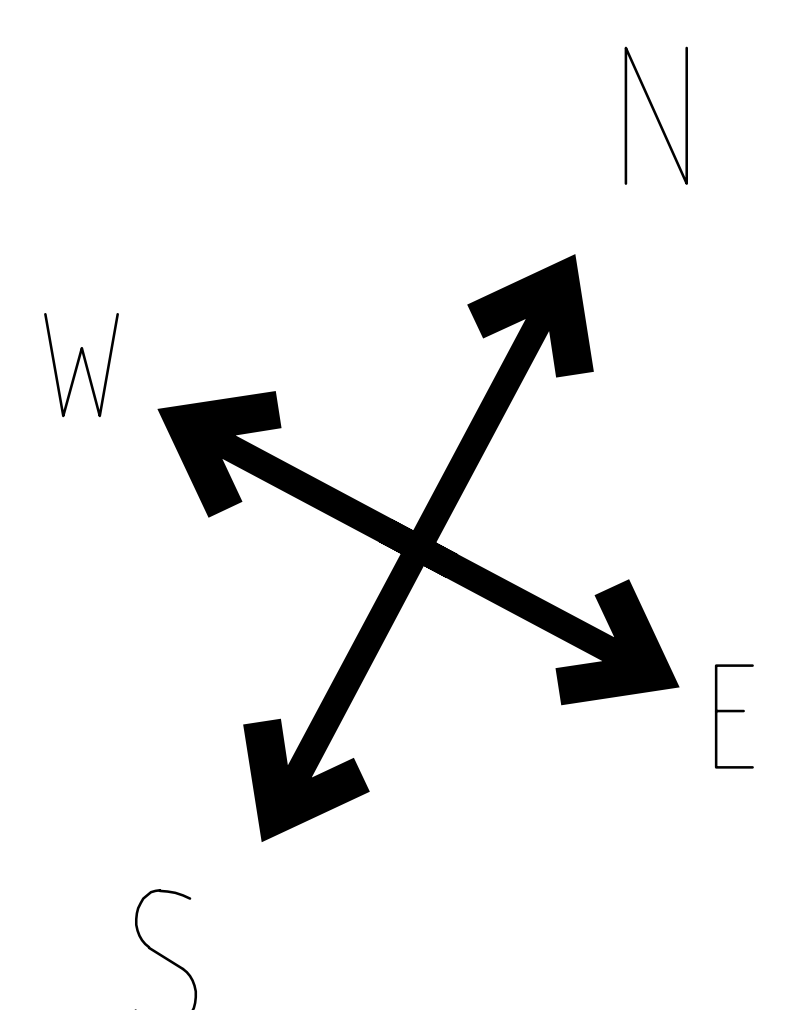
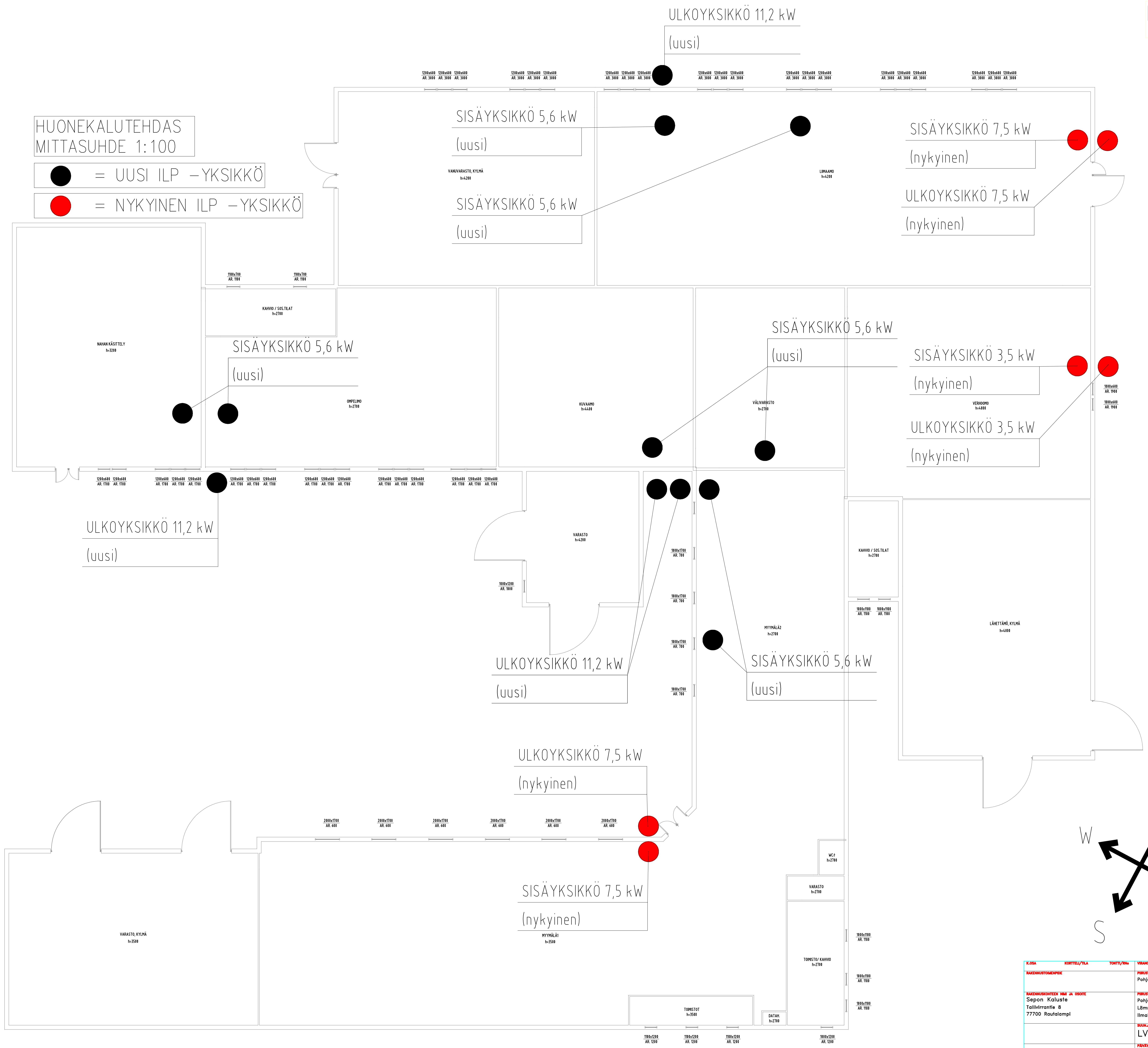
Ympäristöministeriö. 1048/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Liitteet 1-5. [Verkkoaineisto] [Viitattu 25.3.2021]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048>

Ympäristöministeriö. 2017. Tasauslaskentaopas 2018. [Verkkoaineisto] [Viitattu 25.3.2021]. Saatavissa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564)

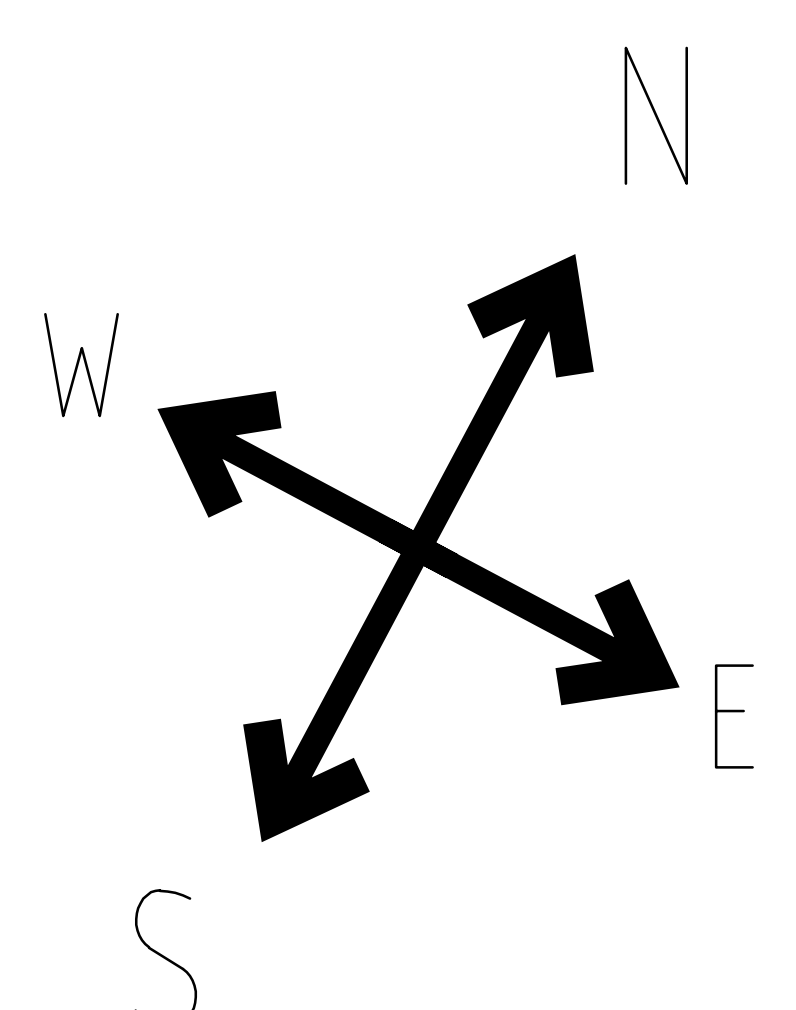
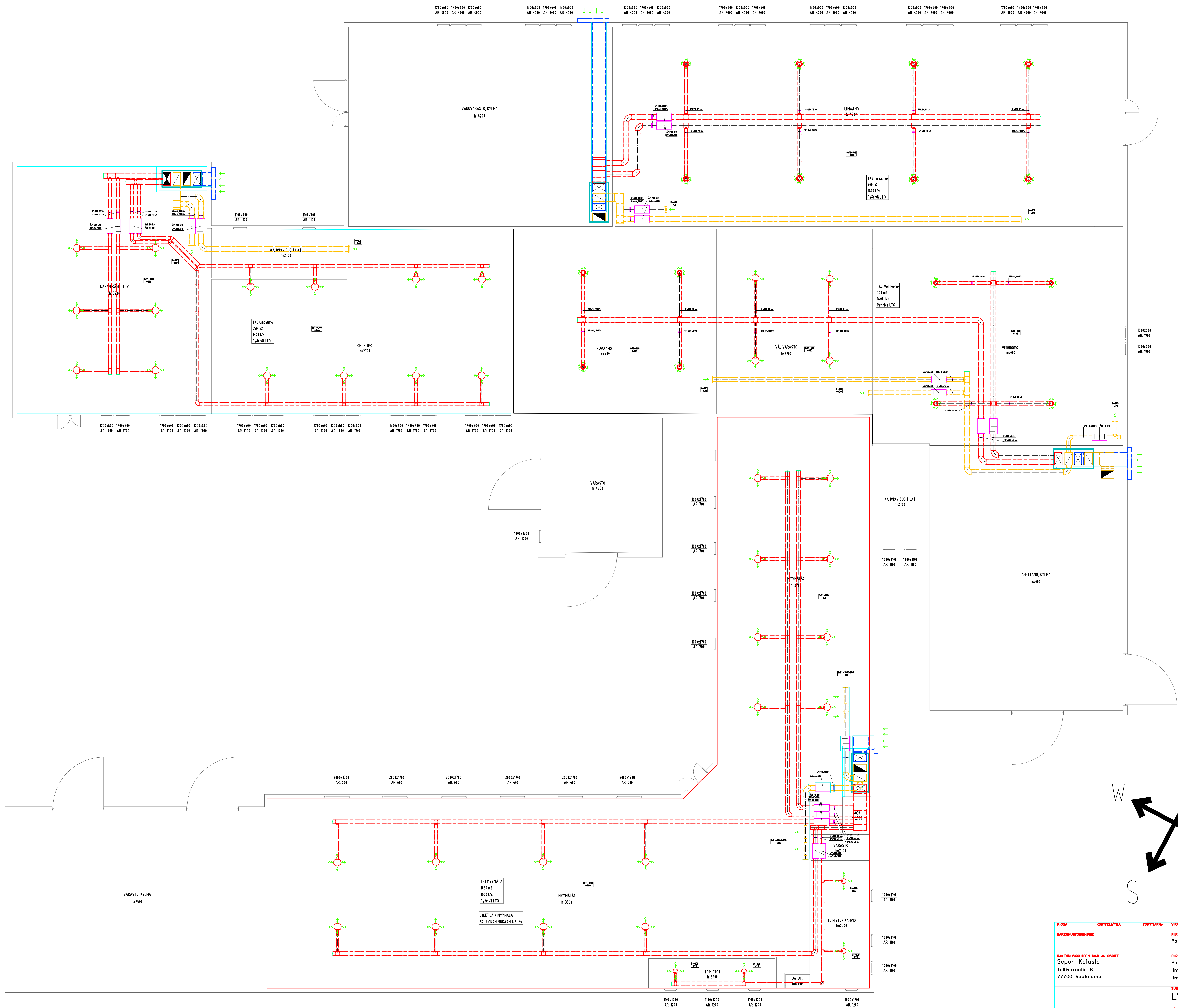
Ympäristöministeriö. 2018a. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluarvoja. Energiatodistusoppaan 2018 liite. [Verkkoaineisto] [Viitattu 23.3.2021]. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA6558C5F-9B2E-40E5-B261-605118163F03%7D/141252>

Ympäristöministeriö. 2018b. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [Verkkoaineisto] [Viitattu 23.3.2021]. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf/277c79e7-2a12-5052-ba33-cb2e2c8709ab/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf?t=1603260201597

WWF. 2021. Pariisin ilmastopimus. [Verkkosivu] [Viitattu 4.2.2021]. Saatavissa: <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/pariisin-ilmastopimus/>



K.O.S.A	KORTTELI/TILA	TONTTI/PIN	VIRANOMASTEN MERKINTÄ	JÄSKE.No
RAKENNUSLUPA			PURKUTYÖ	1
RAKENNUSKORTIN NIMI JA OSIO	Sepän Kaluste Tallivirranie 8 77700 Rautalampi		PURKUTYÖN SISÄLTÖ Pohjajärjestys Lämmitys & jäähdytys Ilmalämpöpumput	MITTAKAAVA 1:100 . .
			SIUNNITTELIJA LVI	TYÖ No 1
			PÄIVÄYS 1.9.2021	PIIR. No 101
			YHJ.HENK. Toni Noronen, LVI-suunnittelija	MUUTOS .



K.Osa	KORTTELI/TILA	TONTTI/Pih	VIKKOMÄSTIN MERKINTÄ	JUOKSE No
RAKENTAMISOHJE			PIIRUSTUSLAJ	1
RAKENTAMISOHJEEN NIMI JA Osoite	Sepän Kaluste Tallivirran tie 8 77700 Rautalamppi		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ	MITTAKAAVA
			Pohjapiirustus	1:100
			Ilmanvaihto	.
			Ilmanvaihtojärjestelmät	.
			SIUNNITTELA	TYÖ No
			LVI	301
			PÄIVÄYS	TYÖJHEIK.
			1.9.2021	Toni Noronen, LVI-suunnittelija

Aurinkovoimala	
Laitteiden investointi	
Laitteet+asennus	31 000 €
investointituki	20 %
Yhteensä	24800
Tunnusluvut	
Asiakkaan arvioitu sähkön hinta kWh	8,7 snt
Tuotantoennuste, vuosi 1. (MWh)	25,63
Huollot vuodessa	310 €
Invertterin vaihto (15v)	3100
Tehon tuoton alenemaa, vuosi 1	2,00 %
Tehon tuoton alenema vuodet 2-30	0,60 %
Vuotuinen sähkön hinnan nousu	2,00 %

Ilmalämpöpumput	
Laitteiden investointi	
Ilmalämpöpumput	18 000 €
Investointituki	15 %
Sähköistys	4 000 €
Asennus	5 000 €
Rakennustyöt	8 000 €
Yhteensä	29 750 €
Tunnusluvut	
Asiakkaan arvioitu sähkön hinta kWh	8,7 snt
Tuotantoennuste, vuosi 1. (MWh)	71,4
Huollot	500 €
Ilmalämpöpumppujen iso huolto (15v)	10 000 €
Vuotuinen sähkön hinnan nousu	2,00 %

Ilmanvaihto	
Laitteiden investointi [€]	
Ilmanvaihtokoneet	75 000 €
Kanavat ja laitteet	150 000 €
Sähköistys	10 000 €
Automaatio	10 000 €
Rakennustyöt	10 000 €
Yhteensä	255 000 €
Tunnusluvut	
Asiakkaan arvioitu sähkön hinta kWh	8,7 snt
Huollot vuodessa	1 500 €
IV-koneiden iso huolto (15v)	15 000 €
Vuotuinen sähkön hinnan nousu	2,00 %

Aurinkovoimala+ilmalämpöpumput	
Laitteiden investointi aurinkovoimala	
Laitteet+asennus	31 000 €
investointituki	20 %
Laitteiden investointi ilmalämpöpumput	
Ilmalämpöpumput	18 000 €
Investointituki	15 %
Sähköistys	4 000 €
ILP asennus	5 000 €
Rakennustyöt	8 000 €
Yhteensä	54 550 €
Tunnusluvut	
Asiakkaan arvioitu sähkön hinta kWh	8,7 snt
Aurinkovoimalan tuotantoennuste,vuosi 1. MWh	25,63
Huollot vuodessa	810 €
Invertterin vaihto (15v)	3100
Ilmalämpöpumppujen iso huolto (15v)	10000
Tehon tuoton alenemaa, vuosi 1	2,00 %
Tehon tuoton alenema vuodet 2-30	0,60 %
Vuotuinen sähkön hinnan nousu	2,00 %

Nykytilanne	
Korkokanta	3 %
Sähkön eskalaatio:	2 %
Sähköenergian kustannus	18 104 €
Vuosihuolto	500 €
Kertakorjaus	5 000 €
Vuonna	10
Ajanjakso	20
Sähkön kustannus	18 104 €
Vuosikustannukset	18 604 €
Huoltokustannukset yhteensä	11 159 €
Energiakustannukset yhteensä	327 334 €
Elinkaarikustannussäästöt	-
Takaisinmaksuaika (vuotta)	-
Sisäinen korko	-

Ilmanvaihto	
Korkokanta	3 %
Sähkön eskalaatio:	2 %
Sähköenergian kustannus	16 226 €
Vuosihuolto	1 500 €
Kertakorjaus	15 000 €
Vuonna	10
Ajanjakso	20
Sähkön kustannus	16 226 €
Vuosikustannukset	17 726 €
Huoltokustannukset yhteensä	33 478 €
Energiakustannukset yhteensä	293 380 €
Elinkaarikustannussäästöt	-243 364 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)	yli 20
Sisäinen korko	-16,1 %

Ilmalämpöpumput	
Korkokanta	3 %
Sähkön eskalaatio:	2 %
Sähköenergian kustannus	11 898 €
Vuosihuolto	500 €
Kertakorjaus	10 000 €
Vuonna	10
Ajanjakso	20
Sähkön kustannus	11 898 €
Vuosikustannukset	12 398 €
Huoltokustannukset yhteensä	14 880 €
Energiakustannukset yhteensä	215 125 €
Elinkaarikustannussäästöt	78 689 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)	4,9
Sisäinen korko	22,2 %

Aurinkovoimala	
Korkokanta	3 %
Sähkön eskalaatio:	2 %
Sähköenergian kustannus	15 880 €
Vuosihuolto	310 €
Kertakorjaus	3 100 €
Vuonna	15
Ajanjakso	20
Sähkön kustannus	15 880 €
Vuosikustannukset	17 088 €
Huoltokustannukset yhteensä	19 962 €
Energiakustannukset yhteensä	287 138 €
Elinkaarikustannussäästöt	4 324 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)	15,4
Sisäinen korko	5,5 %

Ilmalämpöpumput ja aurinkovoimala	
Korkokanta	3 %
Sähkön eskalaatio:	2 %
Sähköenergian kustannus	9 668 €
Vuosihuolto	810 €
Kertakorjaus	13 100 €
Vuonna	10
Ajanjakso	20
Sähkön kustannus	9 668 €
Vuosikustannukset	10 478 €
Huoltokustannukset yhteensä	21 798 €
Energiakustannukset yhteensä	174 811 €
Elinkaarikustannussäästöt	73 924 €
Takaisinmaksuaika (vuotta)	7,8
Sisäinen korko	13,8 %

