



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Jami Nieminen

## **Lämpöenergian käytön optimointi varastotilassa**

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö 2021

Diplomityö

Energiatekniikka

Vaasa 2021

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Jami Nieminen		
<b>Tutkielman nimi:</b>	Lämpöenergian käytön optimointi varastotilassa		
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööritutkinto		
<b>Oppiaine:</b>	Energiatekniikka		
<b>Työn ohjaajat:</b>	Seppo Niemi ja Anne Mäkiranta		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2021	<b>Sivumäärä:</b>	52

---

**TIIVISTELMÄ:**

Tutkimuspaperi koostuu teoria-osuudesta ja empiriasta. Teoria keskittyy lämpöenergian tuotantoon, kulutukseen ja optimointiin. Empiria osuus taas keskittyy Yritys X:n lämpöenergian käytön kartoittamiseen ja sen mahdollisiin optimointi toimenpiteisiin sekä tulevaisuuden näkymiin.

Empiriaosuuden ensimmäisessä tavoitteessa keskityttiin ilmalämpöpumppujen ja ilmanvaihdon optimointiin ja ongelmien kartoittamiseen. Tutkimuksessa arvioitiin tämänhetkinen lämpöenergian kulutus yritykseltä saadun datan perusteella. Tämän jälkeen data käsiteltiin tarvittavien laskelmien avulla hyödylliseen muotoon, sitten luotiin teoriapohjan avulla optimointimalli. Toisessa tavoitteessa mietittiin teknologian, Suomen ilmaston ja saatavien resurssien vaikutusta tulevaisuuden mahdollisuuksiin lämpöenergian käytön optimoimiseksi. Pääpainon muodostivat digitaaliset ratkaisut, aurinkoenergia ja maalämpö sekä mahdollisten vastaan tulevien ongelmien ratkaiseminen.

Tutkimuksen tulokset kertovat datan puutteellisuudesta ja ammattilaisen tekemien mittauksien tarpeesta. Tarkkoja optimointitoimenpiteitä ei voitu tämän takia tehdä, mutta teorian ja saatavilla olevan tiedon perusteella voi laatia listan toimenpiteistä, jotka voidaan tehdä. Saatiin tietoa myös siitä, mistä optimointi voidaan aloittaa.

---

**AVAINSANAT: Kiinteistön lämmöntuotanto, lämmön käytön optimointi, kiinteistöjen lämmöntuotanto tulevaisuudessa**

---

**UNIVERSITY OF VAASA****School of Technology and Innovation**

**Author:** Jami Nieminen  
**Title of the thesis:** Optimization of thermal energy use in storage space  
**Degree:** Master of Science  
**Discipline:** Energy technology  
**Supervisor:** Seppo Niemi ja Anne Mäkiranta  
**Year:** 2021                      **Pages:** 52

---

**ABSTRACT :**

The research paper includes theory part and empirical part. The theory focuses on the production, consumption, and optimization of thermal energy. Empirical part, on the other hand, focuses on mapping Company X's thermal energy use and its possible optimization measures, as well as future possibilities.

The first objective of the empirical part focused on optimizing air source heat pumps, ventilation, and mapping problems. The study assessed the current thermal energy consumption based on data received from the company. The data were then processed into a useful format using the necessary calculations. After that an optimization model was created using the theory. The second objective considered the impact of technology, Finland's climate, and available resources on future opportunities to optimize the use of thermal energy. The focus was on digital solutions, solar energy, and geothermal energy, as well as solving potential problems.

The results of the study indicate the lack of data and the need for measurements made by a professional. Precise optimization measures could not be made because of this, but based on theory and available information, a list of potential actions could be made. Information was also obtained on where to start the optimization.

---

**KEYWORDS:** Property heat production, heat use optimization, property heat production in the future

## Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Taustatiedot	7
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	7
1.3	Tutkimusrako	8
1.4	Pääkonseptien kuvaus	8
1.5	Tutkimustyön rakenne	8
2	Rakennuksen lämmöntuotanto	10
2.1	Kaukolämpö	13
2.2	Sähkölämmitys	14
2.3	Kattilalaitokset	15
2.4	Lämpöpumppu	15
2.5	Aurinkoenergia	16
2.6	Maalämpö	17
2.7	Ilmastointi	17
3	Lämmitysenergian kulutus	19
4	Lämmöntuotannon optimointi	24
4.1	Optimointimalli	24
4.2	Rakennuksen lämpöhäviöiden vähentäminen	25
4.2.1	Rakennuksen tiivistys	25
4.2.2	Uudet ikkunat	26
4.2.3	Muut eristykset	27
4.3	Lämmöntalteenotto ja hyödyntäminen	27
4.3.1	Lämmitysjärjestelmän energiatehokkuus	28

4.3.2 Lämpöenergiakulutuksen hallinta	30
5 Case: Yritys X	32
5.1 Tutkimuksen lähtötiedot ja toteutus	32
5.2 Energiankäytön nykytilanne	35
5.3 Energialaskelmat ja optimointi	38
6 Tulevaisuuden näkymä	41
6.1 Lyhyen ajan näkymä	41
6.2 Pitkän ajan näkymä	42
7 Johtopäätökset	43
8 Yhteenveto	44
Lähteet	46
Liitteet	51
Liite 1. Energiankulutus	51
Liite 2. Päivä ja yö kulutus	51
Liite 3. Ilmastoinnin data	52

## Kuvat

<b>Kuva 1.</b> Tutkimustyön rakenne	9
<b>Kuva 2.</b> Asumisen energiankulutus 2010–2015 (Ilmasto-opas 2018)	10
<b>Kuva 3.</b> Rakennuksen energiatase (Ympäristöministeriö 2012)	11
<b>Kuva 4.</b> Kaukolämmön sähköntuotantoon käytettävät polttoaineet (Ilmasto-opas 2018)	13
<b>Kuva 5.</b> Havainnointi kuva kuinka rakennuksessa lämpö kehittyy ja kuluu (Suomen rankentamismääräyskokoelma 2018)	19
<b>Kuva 6.</b> Yksikerroksisen rakennuksen lämpöhäviöt (Kattohukka 2021)	20
<b>Kuva 7.</b> Rakennuksen pohjapiirustus	34

## Kuviot

<b>Kuvio 1.</b> Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönkulutus	35
<b>Kuvio 2.</b> Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönkulutuksen hinta	36
<b>Kuvio 3.</b> Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönsiirto päivä ja yö	36

## Taulukot

<b>Taulukko 1.</b> Toshiba pumppu	37
-----------------------------------	----

## Lyhenteet

W watti

kW kilowatti

kWh kilowattitunti

MWh megawattitunti

m<sup>2</sup> neliometri

m<sup>3</sup> kuutiometri

dm<sup>3</sup>/s kuutiodesimetriä sekunnissa

kWh/m<sup>3</sup>a kilowattituntia kuutiometriä kohden vuodessa

COP Coefficient of Performance (lämpöpumpun tehokerroin)

# 1 Johdanto

Johdannossa käydään läpi tutkimuksen taustatiedot, tavoitteet ja tutkimuskysymykset, tutkimusrako, pääkonseptien kuvaus ja työn rakenne.

## 1.1 Taustatiedot

Yritys X, jonka nimeä ei mainita työn yhteydessä, on halunnut heidän varastotilan lämpöenergian käytön optimointia. Varastotilasta saadaan tarpeellinen data ja siihen liitetään teoreettinen osuus, jotta optimointi saadaan onnistumaan parhaalla mahdollisella tavalla. Tutkimustyö auttaa energian kulutuksen säästämässä, ja samalla se avaa tulevaisuuden mahdollisuuksia energian käytön optimointiin lyhyellä ja pidemmällä aikavälillä.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa Yritys X:n varastotilan optimointi mahdollisuuksista ja energian käytön tulevaisuuden näkymästä. Yritys X antoi tarvittavan numeraalisen datan, varastotilan pohjapiirustuksen tai sen hahmotelman ja komponentit, joiden avulla laskettiin energian käytön lukuja. Näiden laskelmien perusteelta tehtiin optimointi ehdotuksia.

Tutkimuskysymykset 1–3:

- 1) Mikä on yritys X:n rakennuksen nykyinen lämpöenergian käyttö?
- 2) Minkälaista optimointia voidaan tehdä?
  - a) Ongelma: uudet lämpöpumput eivät ole vaikuttaneet kulutukseen.
  - b) Onko muita ongelmia havaittavissa?
- 3) Mitä tulevaisuuden optimointisuunnitelmia voidaan ehdottaa?

### 1.3 Tutkimus rako

Yritys X ei ole optimoinut omaa energian käyttöä varastotilaan. Yritys oli nyt kiinnostunut sen tekemiseen tämän tutkimustyön avulla. Yritys X halusi myös saavuttaa mahdollisia taloudellisia säästöjä nyt ja tulevaisuudessa varastotilan energian käytössä. Tutkimustyö auttoi yrityksen johtohenkilöstöä ymmärtämään energian optimointia ja siihen olevia mahdollisuuksia.

### 1.4 Pääkonseptien kuvaus

Pääkonseptien kuvaus on määritelty tässä kappaleessa. Pää konsepteja ovat: 1. Rakennuksen lämpöenergian tuotanto; 2. Lämpöenergian kulutus ja 3. Lämpöenergian optimointi.

Rakennuksen lämpöenergia koostuu ostoenergiasta, joka tuotetaan polttoaineilla tai uusiutuvalla energialla. Ostoenergia sisältää sähköenergian, kaukolämmön, kaukojäähdytyksen ja muut polttoaineet.

Lämpöenergian kulutus koostuu siitä, mihin tarpeisiin energiaa käytetään. Energiatarpeet koostuvat sähkö-, lämmitys- sekä jäähdytyslaitteista, valaistuksesta, ilmanvaihdosta ja käyttöveden lämmittämisestä. (Lämmitysenergiankulutus Motiva Oy 2020).

Lämpöenergian optimointi tarkoittaa lämmityksessä tapahtuvien häviöiden minimoimista koko lämmitysprosessissa, laitteiden tasaista ja oikeaa toimintaa ja lämpöenergian talteenottoa ja uudelleen käyttämistä. Optimoinnissa käytiin läpi eristäminen, ilmanvaihto, lämpölaitteiden toiminta ja koko lämmitysjärjestelmän hallinta.

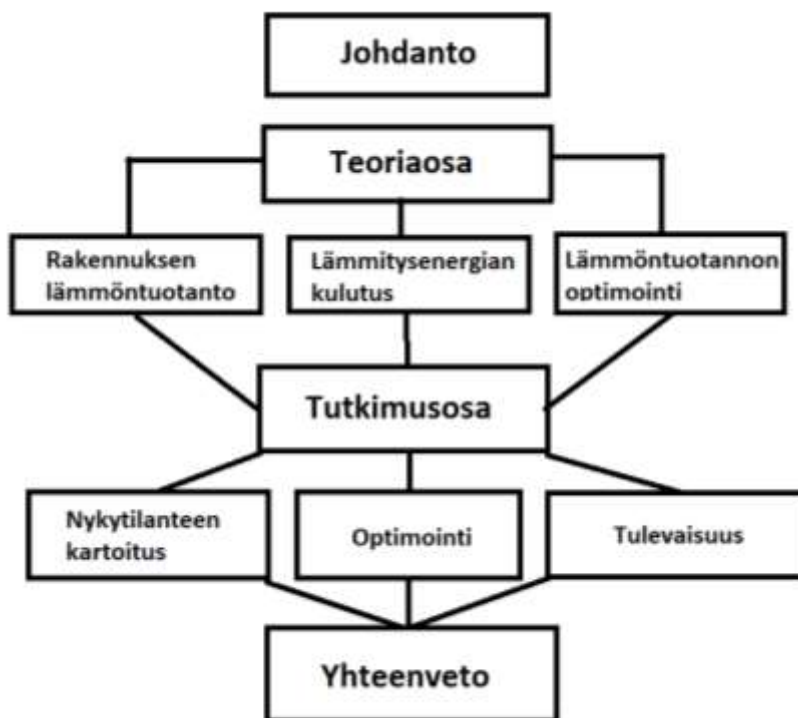
### 1.5 Tutkimustyön rakenne

Tutkimustyö on jaettu seitsemään osioon. Johdannon jälkeen toinen osio kertoo lämmöntuotannosta tarvittavan teorian ymmärtämiseksi. Kolmas osa sisältää kiinteistöjen lämmitysenergian kulutuksen. Neljäs osa keskittyy lämmöntuotannon optimointiin ja siinä määritellään ne asiat, jotka käytiin läpi tutkimusosuudessa. Viides osa sisältää yrityksen

antamat lähtötiedot, joiden perusteella tarvittavat laskelmat tehtiin ja optimoitiin. Kuudes osa käsittelee tulevaisuuden kehitysehdotukset lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.

Johtopäätökset ovat seitsemännessä osassa, ja sen jälkeen työ kiteytetään yhteenvedossa.

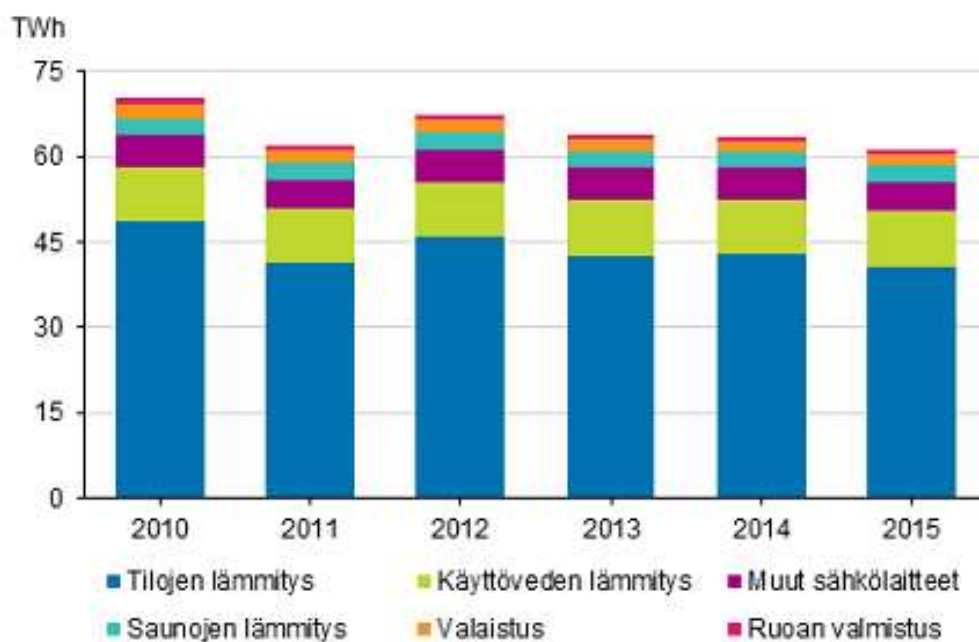
Tutkimuksen rakenteen havainnoillistamiseen on alla kuva 1.



**Kuva 1.** Tutkimustyön rakenne

## 2 Rakennuksen lämmöntuotanto

Tutkimustyö käsittelee yritys X:n varistorakennuksen lämpöenergiankäyttöä ja sen mahdollista optimointia. Tämä toteutetaan siinä uskossa, että rakennuksessa on optimointi varaa, sillä rakennuskannassa ja rakennusten lämmöntuotantoprosessien optimoinnissa yleensä on teorian tasolla suuria parantamismahdollisuuksia energiatehokkuuden säätämisen näkökulmasta, ja uusiutuvan energian lisäämismahdollisuuksien kannalta. Kuva 2. Rakennusten energiankulutus 2010–2015 havainnollistaa kuinka paljon Suomessa käytetystä energiasta kuluu lämmitykseen. Energiatehokkuuden parantamisella voidaan vaikuttaa kiinteistöjen kasvihuonepäästöjen määrään esimerkiksi tasapainottamalla kaukolämmön tarvittavaa kulutusta ja vähentämällä huipputehon vaihtelu tarpeita. (Ilmasto-opas 2018).

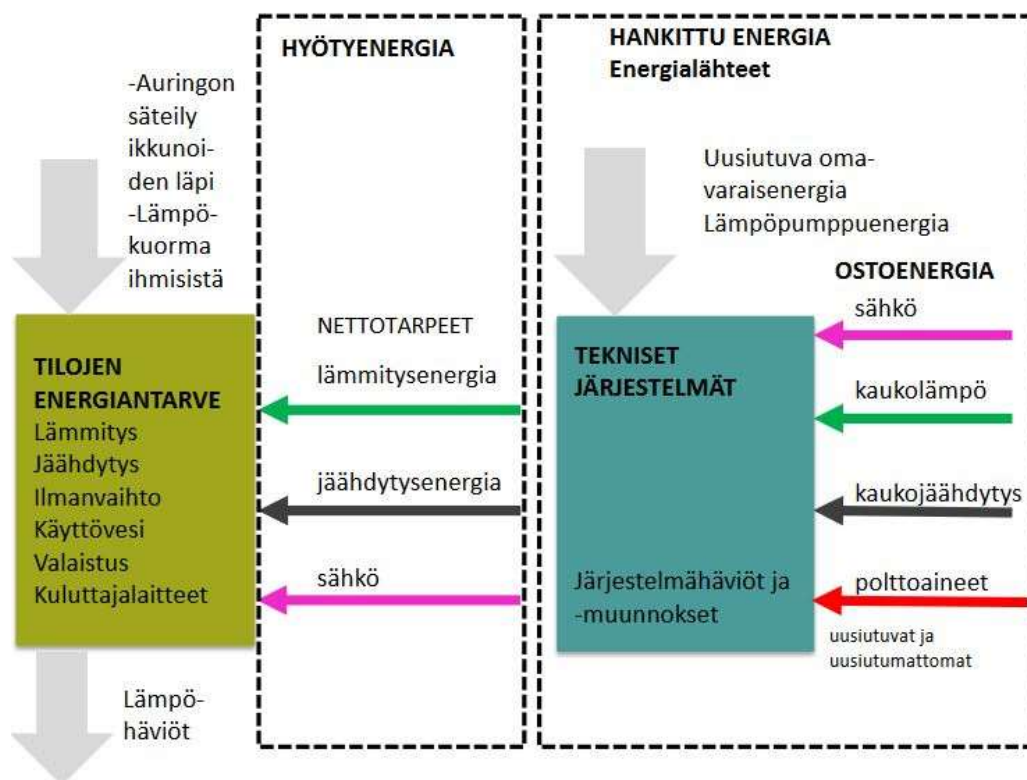


**Kuva 2.** Rakennusten energiankulutus 2010–2015 (Ilmasto-opas 2018)

Lämmitysprosessi ja sen optimointi koostuu erilaisista käsitteistä, joita täytyy ymmärtää järjestelmän kokonaiskuvan saamiseksi. Jos ymmärrys käsitteistä uupuu, niin saattaa

tuloksien ja prosessien tulkinta olla virheellistä, mikä aiheuttaa lopulta vääränlaisia optimointi toimenpiteitä.

Energiatase tarkoittaa lämmitysenergiatasetta, sähköenergiatasetta ja jäähdytysenergiatasetta, ja niiden vaikutuksia toisiinsa. Alla olevassa kuvassa 3. Rakennuksen energiatase havainnollistaa rakennuksen lämmön kulutuksen ja tarpeen. Rakennuksen johtumislämpöhäviöt, ilmanvaihto ja ilmavuodot määräävät lämmitystehontarpeen. Kun summataan yhteen huoneiden lämmitystehontarve, niin saadaan koko rakennuksen lämmittämiseen tarvittava teho. Kun mitoitetaan lämmitystehontarvetta, niin vähäiset lämmönlähteet jätetään huomioitta. Näitä ovat yleensä sisäiset lämmönlähteet, auringonsäteilylämpö ja rakenteiden lämpökapasiteetti. (Tilastokeskus 2021).



**Kuva 3.** Rakennuksen energiatase (Ympäristöministeriö 2012)

Rakennuksen hyötyenergia eli energiankulutus koostuu lämmitysenergiasta, jäähdytysenergiasta ja kiinteistösähköstä. Lämmitysenergia jakautuu tilan lämmitykseen, ilmanvaihtoon, lämpimään käyttöveteen, ja näistä kolmesta voi ottaa lämmön talteen poistoilmasta järjestelmien häviöihin. Jäähdytysenergia jakautuu lv-koneiden jäähdytykseen, tilan jäähdytykseen ja kylmähäviöihin. Kiinteistösähkö jakautuu kiinteään ja ulkoiseen valaistukseen, LVI-sähkö pumppuihin, puhaltimiin ja automatiikkaan sekä muihin, kuten saunat, hissi, erilliset lämmitykset. (Suomen rankentamismääräyskokoelma 2018).

Ominaiskulutustieto kertoo, miltä energiankulutus näyttää samankaltaisissa kiinteistöissä. Yksikkönä on vuotuinen energiankulutus kilowattitunteina pinta-alayksikköä kohti ( $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ) tai tilavuusyksikköä kohti ( $\text{kWh}/\text{m}^3\text{a}$ ). Esimerkiksi Motivan sivuilta löytyy heidän koostama energiakatselmustietokanta, josta voi nähdä eri rakennustyypeille arvioituja lämpöenergian vuosittaisia ominaiskulutuksia. (Suomen rankentamismääräyskokoelma 2018).

Energiansäästöllä tarkoitetaan jostakin rakennuksen energiaa kuluttavasta systeemistä tai yksittäisestä toimesta luopumista ja vähemmän energiaa kuluttavaan ratkaisuun tyytymistä. Joissakin tapauksissa energian säästö voi vaikuttaa negatiivisesti rakennuksen prosessien toimintaan tai viihtyvyyttä. Energiatehokkuus tarkoittaa sitä, että energiaa vievät systeemit tai prosessit eivät vie tarpeettomasti energiaa ja niiden käyttöä tehostetaan. Termi voidaan jakaa kahteen eri luokkaan teknologisiin ratkaisuihin ja teknisiin ratkaisuihin. (Suomen rankentamismääräyskokoelma 2018).

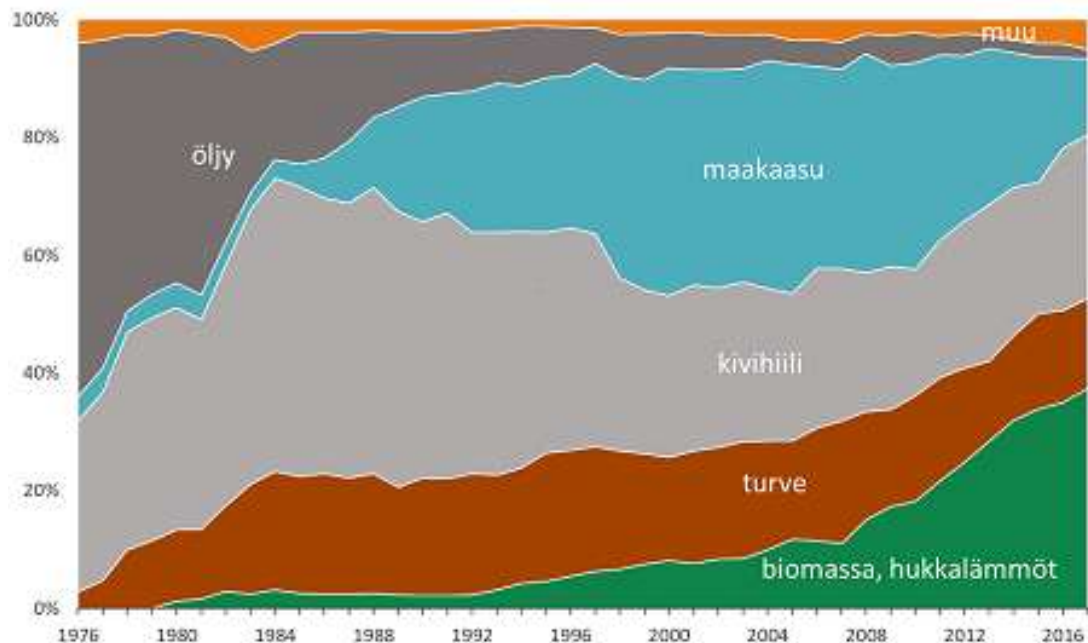
Lämmitysenergian kulutus tarkoittaa mitatun ajan aikana kulutettua energiaa kiinteistön lämmitykseen. Rakennuksen käyttöaste vaikuttaa energiankulutukseen, ja muita seikkoja ovat tila, ilmanvaihto ja lämmin käyttövesi lämmityksessä. Kun lämmitystä analysoidaan, niin yksikkönä käytetään kilowattituntia ( $\text{kWh}$ ) tai megawattituntia ( $\text{MWh}$ ). Rakennuksen tilan sekä käyttöveden lämmittämiseen vaadittavaa väliaikaista tehoa kutsutaan lämmitystehoksi, ja sen yksikkö on kilowatti ( $\text{kW}$ ). (Energiateollisuus ry 2021).

Lämmitystavat ja -tarve määrittelee millaisella teholla lämmitysenergiaa kannattaa käyttää, jotta rakennus pysyy terveenä ja siellä on viihtyisää. Tämä saavutetaan mittaamalla lämmitysjärjestelmää lämmitystarpeen mukaan. Lämmitystarve koostuu ilmanvaihto- ja rakennustekniikasta, sääoloista ja tavoitelämpötilasta. Lämmöntarpeen määrittäminen

alkaa ensin huoneista ja sen jälkeen otetaan huomioon koko rakennus. Rakennuksen lämmitys tapahtuu lämmityslaitteilla, jotka lämmittävät tiloja, käyttövettä ja ilmanvaihdon tuloilmaa. Näitä lämmitysjärjestelmiä valitessa täytyy ottaa huomioon, mikä on energiantarve, minkä kokoinen on rakennus, mihin rakennusta käytetään ja mikä on rakennuksen sijainti. Suomessa lämmitykseen käytetään pääasiassa kaukolämmitystä, öljylämmitystä, sähkölämmitystä, maakaasulämmitystä, kotimaisia ja ulkomaisia kiinteitä polttoaineita, lämpöpumppua ja aurinkoenergiaa. (Motiva 2021a)

## 2.1 Kaukolämpö

Kuva 4. Kaukolämmön sähköntuotantoon käytettävät polttoaineet, näyttää Suomessa kaukolämmön tuottamiseen käytetyt polttoaineet. Siitä voidaan huomata selvästi biomassan lisääntyminen tuotannossa ja öljyn poistuminen tuotannosta. Myös hukkalämpöjen talteenotto on parantunut ja sitä pystytään käyttämään hyödyksi koko ajan tehokkaammin.



**Kuva 4.** Kaukolämmön sähköntuotantoon käytettävät polttoaineet (Ilmasto-opas 2018)

Kaukolämmöllä tarkoitetaan lämpöenergiaa, joka tuotetaan sähköä ja lämpöä valmistavissa voimalaitoksissa. Toimintaperiaate on se, että lämmitetty kaukolämpövesi johdetaan tietyn kiinteistön lämmönjakokeskukseen, jossa lämpöä luovutetaan lämpimän käyttöveden luomiseksi ja asiakkaiden lämmitysverkkoon lämmönsiirtimiä käyttäen. Rakennuksissa lämpöä käytetään käyttöveden ja huoneiden lämmittämiseen, ja ilmanvaihtoon. Lämmön luovutuksen jälkeen viilentynyt vesi siirtyy takaisin tuotantolaitokseen lämmitettäväksi paluujohtojen kautta. Kaukolämpöveden lämpötila on yleensä 65–120 °C.

Kaukolämpötekniikkaa käytetään kaupungeissa ja taajamissa, ja se on Suomen yleisin lämmitysmuoto. (Energiamailma 2020). Lämpömittareiden avulla voidaan mitata asiakkaalle viety lämpöenergian määrä, mikä tarkoittaa kulutuksen ja asiakkaan rakennuksen kautta kulkevan kaukolämpöveden suuruutta. Kaukolämpövedestä voidaan myös mitata laatua, mikä tarkoittaa menoveden ja paluuveden lämpötilavaihtelua. Asiakkaat voivat pyytää dataa omista energian käytön mittauksista seuranta- ja ohjausjärjestelmiin. (Motiva 2021a).

Kun kaukolämpö avataan asiakkaalle, peritään siitä liittymismaksu, jotta voidaan maksaa tuotantokustannukset ja muut verkkoihin investoidut pääomakustannukset. Itse asiakkaan kaukolämpö sisältää tehomaksun ja energiamaksun. Tehomaksu tarkoittaa tehoa tai vesivirtaa. Energiamaksu taas tarkoittaa energiakäyttöä ja lämmityksen tuotantoon käytettäviä polttoaineita sekä muuttuvia kustannuksia, jotka vaikuttavat yksikköhintaan. Yleisimmät polttoaineet ovat maakaasu, kivihiili, öljy, turve, puu ja uusiutuvat energialähteet, esimerkiksi biokaasu. (Motiva 2021a). Maksuperusteena on mahdollista käyttää vesivirtaa eikä tehoa, jolloin veden paluulämpötila on alhaisempi. Kaukolämpöveden virtaukseen käytetään mittayksikköä kuutiota tunnissa ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ja lämmitystehon yksikkö on kilowatti (kW). (Energiateollisuus ry 2021)

## 2.2 Sähkölämmitys

Sähkölämmityksessä sähköenergia muutetaan lämpöenergiaksi tietyn järjestelmän avulla. Vaihtoehtoina voi käyttää suoraa sähkölämmitystä tai varaavaa sähkölämmitystä. Suoria lämmityksiä ovat sähköpatterit, lämmityskelmut ja säteilylämmitys. Varaavia lämmityksiä ovat lattialämmitys, sähkökattilat ja -varaajat sekä massavaraajat. Hyviä puolia ovat nopea

tehon säätäminen ja alhaiset hankintakustannukset. Sähkölämmityksen käyttäjällä on vaihtoehtoina eri sähkötuotteita, joita voidaan valita sähkön määrän ja käyttöajan mukaan. Esimerkiksi vuodenaikaan tai kellonaikaan sidotut tuotteet. (Motiva 2021a).

### **2.3 Kattilalaitokset**

Kattilalaitoksella on tarkoituksena tuottaa lämpöenergiaa järjestelmällä, joka sisältää kattilan, varastointisäiliön polttoaineelle, savun poisto hormin, syöttöjärjestelmän polttoaineelle ja varaajat. Nämä kattilat voidaan jakaa tehon mukaan pientaloihin, maatiloille ja kiinteistöihin tarkoitettuihin kattiloihin. Näissä on mahdollista käyttää polttoaineena öljyä, maakaasua ja muita kiinteitä polttoaineita, kuten puuta ja haketta. Toiminta perustuu siis kattilan lämmittämiseen ja sen tuottaman lämpöenergian tuomiseen rakennuksen tiloihin. (Motiva 2021a).

### **2.4 Lämpöpumppu**

Ilmalämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen käyttö on koko ajan kasvussa. Lämpöpumpputyyppejä on monia ja ne ottavat lämpöenergiaa eri paikoista, kuten ulkoilmasta, maasta, vedestä, kalliosta tai talon ilmanvaihtoputkiston poistoilmasta. Lämpöpumput ovat energiatehokas ratkaisu, ne tuovat taloudellisia säästöjä sekä ilmastohyötyjä. (Lämpöpumput Motiva Oy 2020). Lämpöpumpun hankinnassa täytyy ottaa huomioon tarve ja kannattavuus, suunnittelu, urakan valvonta ja toimivuuden varmistaminen eli käytön opastus, käytön seuranta ja optimointi. Hankkiessa tulee aina käyttää asiantuntijan apua parhaan mahdollisen tuloksen saamiseksi ja riskien välttämiseksi. Lämpöpumpun hankinnassa säästöä voidaan saada, kun hankinta ajoitetaan korjaustyön ohelle esimerkiksi putkiremontin, ilmanvaihdon huoltotöiden tai lämmönjakojärjestelmän huoltamisen yhteyteen. Asennuksessa tärkeimmät asiat ovat huomioida ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmönjakojärjestelmän korjaustarpeet sekä uusimistarpeet, kuten korvausilma, ilmanvaihdon puhaltimet ja kaukolämpölaitteet. (Lämpöpumput opas Motiva Oy 2020).

Lämpöpumpun toiminta perustuu siihen, että pumpussa on kiertävää kylmää ainetta, joka höyrystyy ilmasta kaapatun tai muusta lähteestä saadun lämpöenergian auttamana höyrystinosassa. Lämpöenergia siis sitoutuu kylmäaineeseen, joka kulkeutuu kompressoriin. Kompressori nostaa painetta ja lämpötilaa, ja siirtää kuuman ja kaasumaisen kylmäaineen lauhduttimeen. Lauhduttimessa kylmäaine jäädytetään huoneessa olevan ilman tai lämmitysverkoston nesteen avulla. Lämpötilaa voidaan säätää ja nostaa jopa 40°C asteeseen lauhduttimessa. Tämä on mahdollista lämmön käytön kanavoinnilla myös muuhunkin kuin vaihtoilmaan. Kun kuuma ja kaasumainen kylmäaine muuttuu muotoaan takaisin nesteeksi, niin vapautuu lämpöenergiaa lämmitysverkostoon. Lauhduttimesta aine siirtyy nestemäisenä takaisin höyrystimeen. (Lämpöpumput opas Motiva Oy 2020 ja Yubo Wang, Zhenhua Quan, Heran Jing, Lincheng Wang, Yaohua Zhao 2021).

Lämpöpumppua voidaan käyttää rakennuksissa, johon ei ole asennettu koneellista tuloilmajärjestelmää. Kompressorin ja lauhduttimen pystyy sijoittamaan ullakolle, lämmönjakotilaan tai jopa kattilatilaan. Hyötysuhde näytetään lämpökertoimen avulla. Lämpökerroin eli COP näyttää sen, että kuinka suuren määrän pumppu on tuottanut lämpötehoa verrattuna sen käyttämään sähköön. Lämpökertoimeen vaikuttaa vuoden aika vaihtuva lämpötila. Hetkellisesti voidaan tuottaa suuria ja pieniä lämpökerroin arvoja, mutta vuotuinen keskimäärä on normaaleissa oloissa 2-2,5 COP yksikköä. (Lämpöpumput opas Motiva Oy 2020 ja Yubo Wang ja muut 2021).

## 2.5 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia perustuu auringon säteilyenergian käyttöön sähköenergian tai lämpöenergian muodossa. Rakennuksissa säteilyä hyödynnetään aurinkokeräimillä ja -kennolla passiivisesti tai aktiivisesti. Keräimet voidaan lajitella erilaisiin keräintyyppeihin: ilmakeräimet ja vesikeräimet, tasokeräimet ja tyhjiökeräimet. Passiivisessa systeemissä valoa ja lämpöä hyödynnetään suoraan. Esimerkkeinä ikkunoista saatava auringonsäteily ja ilmanvaihdossa hyödynnettävä suora auringonsäteily. Aktiivisessa systeemissä taas auringonsäteily muutetaan lämpöenergiaksi aurinkokeräimillä tai sähköenergiaksi aurinkopaneeleilla. Energian varastointi on osa aurinkoenergian hyödyntämistä. Passiivisesti lämpöä voidaan säilöä rakenteisiin ja aktiivisesti käyttövedenvaraajaan tai

suurempaan vesivaraajaan. Aurinkokennojen tai keräimien asennuksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon säädökset. (Aurinkolämpö Motiva Oy 2020).

## 2.6 Maalämpö

Maalämpö tarkoittaa veteen tai maahan sitoutuneen aurinkoenergian käyttöä ja geoterminen energia on maan sisäistä lämpöä tai energiaa. Molempia näitä uusiutuvia energialähteitä voidaan käyttää rakennuksien lämmittämiseen. Maalämpöä voidaan kerätä vaakaputkiston avulla, joka asennetaan maahan routarajan alapuolella, vesistöön tai kallioon. Putkiston sisällä on lämmönkeruunestettä, jotta lämpöä voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Geotermistä energiaa voidaan pumpata kalliokaivosta maalämpöpumpulla. (Motiva Maalämpöpumput 2020b ja Motiva 2021a)

## 2.7 Ilmastointi

Ilmastointi on osa lämmöntuotantoa, koska sen avulla voidaan hallita lämmön määrää tilassa. Kun ilmastointiin tehdään säätöjä, niin täytyy ottaa huomioon rakennuksen käyttötarkoitus, jotta voidaan varmistaa ilmastoinnin oikeanlainen toiminta. Toimintaa on pystyttävä valvomaan mittauslaitteiden ja -antureiden toiminta-arvoilla. Lämpöä talteen ottavissa järjestelmissä täytyy seurata tulo-, ulko-, jäte-, ja pintavirran lämpötilaa sekä paine-eroja. Ohjearvoja on annettu ilmajirroille ja niiden avulla määritetään sopiva ilmanvaihto käytettävän tilan perusteella. Ilman on oltava terveellistä, turvallista ja viihtyisää. Toimintaperiaate on se, että tuloilmaa kuljetetaan tiloihin ilman vetoa poistaen epäpuhtaudet ilmasta. Tuloilmaa suodatetaan asetettujen laatu standardien ja ulkoilman mukaan. Jäteilma kuljetetaan ulos rakennuksesta turvallisesti ilman haitta vaikutuksia ihmisille tai ympäristölle. Kierrätys- ja palautusilmaa voidaan käyttää vain, jos se on yhtä puhdasta tai puhtaampaa ilmaa kuin rakennuksen tiloissa. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas 2020).

Ilmanvaihtojärjestelmät voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto ja painovoima ilmanvaihto. Vaikka kaikki kolme ilmanvaihto järjestelmää ovat eri lailla toteutettuja, ovat niiden toimintaperiaatteet

samanlaisia. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon toiminta perustuu tasaiseen koneelliseen imuun ulos- ja sisääntulo ilmanvaihtojärjestelmissä. Koneellinen poistoilmanvaihto perustuu ilmanvaihdon tehostamiseen laitteella. Ilman ulos viennissä käytetään puhallinta, jonka avulla tehostetaan ilmanvaihdon nopeutta ja pidetään ilmanvaihto tasapainossa painovoima ilmanvaihtoa helpommin. Painovoima ilmanvaihdon toiminta perustuu sisä- ja ulkolämpötilan tiheuserojen ja paine-erojen muodostumiseen. Ilmanvaihtuminen tapahtuu hitaammin ja se käyttää paljon energiaa, koska poistoilmaa ei voida hyödyntää. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas 2020).

### 3 Lämmitysenergiankulutus

Rakennuksien kokonaisenergiasta reilusti yli puolet kuluu lämmitykseen kuten kuva 2.

Rakennusten energiankulutus 2010–2015 (Ilmasto-opas 2018) havainnollistaa.

Lämmitysenergiankulutuksella viitataan lämpimän käyttöveden ja sisätilojen

lämmitysenergian yhteiskulutukseen. Lämmitysenergiankulutus rakennuksien tiloissa ottaa

huomioon johtumislämpöhäviöt, lämmitysjärjestelmän häviöt, vuotoilman ja ilmanvaihdon

energiaa. Kulutusmittauksissa täytyy ottaa huomioon lämmityksen ajoittuminen

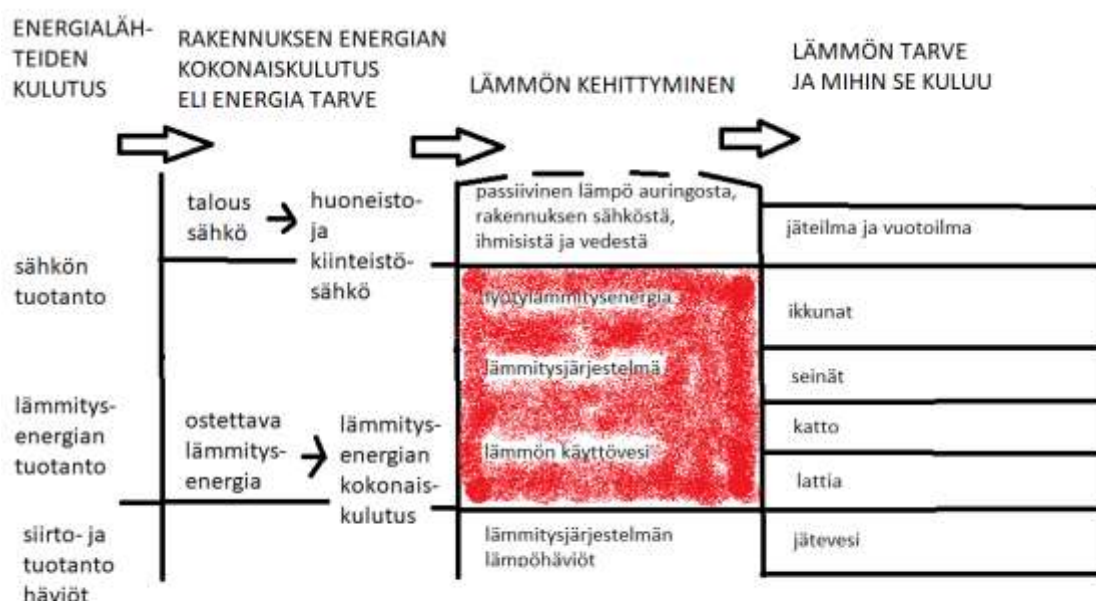
lämmityskaudelle. Tämä tarkoittaa talvella suurta lämmitysmäärää ja kesällä kevyttä.

Käyttövedenlämmitys ei taas muutu vuodenajan mukaan. Kaikki nämä asiat otetaan

huomioon, kun mietitään, kuinka paljon ostoenergiaa tarvitaan rakennuksessa.

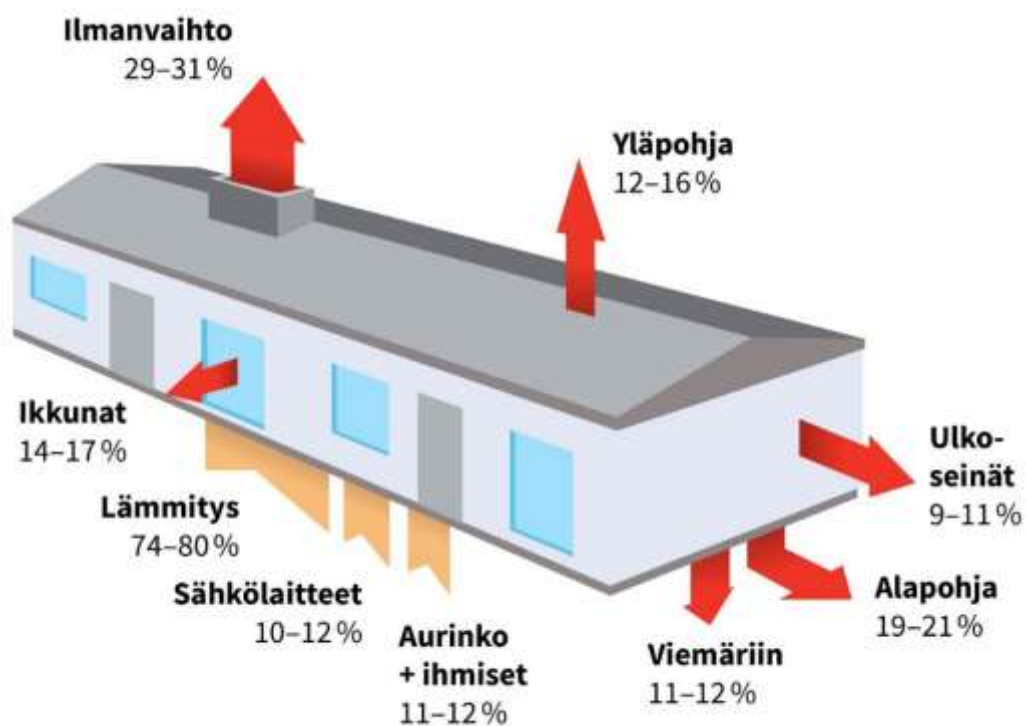
(Lämmitysenergiankulutus Motiva Oy 2020). Alla kuva 5. Havainnointi kuva kuinka

rakennuksessa lämpö kehittyy ja kuluu havainnollistaa tämän asian paremmin.



**Kuva 5.** Havainnointi kuva, kuinka rakennuksessa lämpö kehittyy ja kuluu (Suomen rankentamismääräyskokoelma 2018)

Kuva 5. Havainnointi kuva, kuinka rakennuksessa lämpö kehittyy ja kuluu, kertoo kuinka rakennus kehittää ja kuluttaa tarvittavan lämpöenergian. Vasemmalta oikealle mentäessä tilanne alkaa lämmöntuotannolla ja sen kulutuksella sekä kokonaisenergiakulutuksella rakennuksessa. Keskikohdassa punaisella värillä on merkattu lämmön kehittyminen edellä olevasta kokonaisenergiasta. Viimeisessä sarakkeessa on asiat mihin lämpö kuluu eli mihin lämpöä tarvitaan rakennuksen lämmityksessä. Tämä tarkoittaa lämmitystehon koostuvan huoneiden lämmitystehontarpeiden summasta, siihen lisättyä tuloilman lämmitystehon tarpeesta ja lämmitetyn käyttöveden lämmityksen tehontarpeesta, ja riippuen ilmanvaihdosta, ilmavuodoista ja johtumislämpöhäviöistä. Näistä havainnointi kuva 6. Yksikerroksisen rakennuksen lämpöhäviöt ja kaavat alempana. (Ympäristöministeriö 2012).



**Kuva 6.** Yksikerroksisen rakennuksen lämpöhäviöt (Kattohukka 2021)

Kuva 6. näyttää kaikki yksikerroksisen rakennuksen lämpöhäviöt, jotka täytyy ottaa huomioon ostoenergiaa hankkiessa. Ostoenergia eli ostettava lämmitysenergia

rakennukseen voi olla kuvan 4 mukaisesti näitä polttoaineita, kaukolämpöä tai sähköenergiaa. Lämmitystavan mukaisesti valitaan mitä energiaa ostetaan. Myös rakennuksen tarkoitus määrää ostoenergian muodon. (Ympäristöministeriö 2012).

Ilmaisenergialla tarkoitetaan auringon säteilyn aiheuttamaa lämpöä, sähkölaitteiden aiheuttamaa lämpöä ja ihmisistä lähtevää lämpöä. Nämä vaihtelevat riippuen rakennuksesta ja sen käyttöön liittyvistä tarkoituksista. Säästöjen avulla ilmaisenergioilla on mahdollista saada jopa 30 % lämpöenergian kulutukseen liittyviä säästöjä. Auringon energia on näistä suurin lähde ja Suomen olosuhteissa sitä saa vain kesäisin tarpeeksi. (Ympäristöministeriö 2012).

Käyttövettä täytyy lämmittää ja tämän takia se muodostaa energiankulutusta. Kulutus määräytyy veden käytön ja sen määrän lämpötilan mukaan. Varastorakennuksissa tämä ei ole kovinkaan merkittävä kulu, sillä vettä ei käytetä juuri mihinkään.

Johtumislämpöhäviöt tarkoittavat ulko- ja sisäilman lämpötilaerojen aiheuttamia virtoja rakennuksen ulkovaipan läpi. Tämä lämpövirta on sitä suurempi mitä suurempi lämpötilojen ero on ulkona ja sisällä. Ikkunoilla on kaikista suurin lämpöenergian kulutus. Ulkoseinät ovat suurin pinta-alaltaan ja vaikuttaa näin ollen eniten johtumislämpöhäviöihin. Alapohja aiheuttaa häviöitä, mutta täytyy ottaa huomioon, että ryömintä pohjaisen rakennuksen lämpöhäviöt ovat pienimmät. Yläosa on Suomessa avoin yläpohjarakenne, mikä mahdollistaa kustannustehokkaan eristämisen. (Tasauslaskentaopas 2018).

Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin aiheuttama lämpöenergian kulutuksen osuus on suuri rakennuksissa. Energiakulutuksessa lasketaan erikseen tuloilmaan lämmityksen käyttämä energia ja ilmastointiin käytettyjen koneiden sähköenergia ja jäähdytysenergia. Tuloilma täytyy lämmittää lämmitettävän tilan lämpöiseksi. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas 2020).

Vuotoilmanvaihdossa kuluva energia tarkoittaa rakennuksen epätiivien kohtien kautta kulkevaa ilmaa. Tämä ilman määrä riippuu sääolosuhteista ja rakennuksen painejakaumasta. Esimerkiksi tuulen kasvaessa epätiivissä rakennuksessa kasvaa vuotoilman-virtaus. (Tasauslaskentaopas 2018).

Lämmitysjärjestelmässä tapahtuu lämpöhäviöitä putkissa, laitteissa ja säiliöissä. Häviöt määräytyvät lämmitysjärjestelmän lämpöhäviökohdan ja sen ympäröivän tilan

lämpötilaeroon sekä pintojen pinta-alaan. Näiden häviöiden suuruus on noin 5 % luokkaa ja ne ovat suuremmat, mitä korkeammalla lämpötilaa käytetään lämmitysjärjestelmässä. (Tasauslaskentaopas 2018).

Rakennuksen lämmitystehontarve, huoneen lämmitys ja lämmönkulutus saadaan Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta. Tässä energiankulutus on laskettuna kuukausittain ja vuosikulutus on kuukausien yhteenlaskettu tulos. Energiatasemenetelmän mukaan sisään tullut energia on yhtä suuri kuin poismenevä energia. Energiatohokkuusluku eli ET-luku lasketaan jakamalla vuosittainen energiankulutus bruttopinta-alalla. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018). Laskut lasketaan seuraavasti ja ne ovat Suomen rakentamismääräyskokoelmasta vuodelta 2018:

Lämmitystehontarve:

$$\phi_{\text{lämmitys}} = \frac{\phi_{\text{tila}}}{\eta_{\text{tilalämmitys}}} + \frac{\phi_{\text{iv}}}{\eta_{\text{iv}}} + \frac{\phi_{\text{ikv}}}{\eta_{\text{ikv}}}$$

$\phi_{\text{lämmitys}}$	rakennuksen lämmitystehon tarve, W
$\phi_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\phi_{\text{iv}}$	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\phi_{\text{ikv}}$	käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpötehon tarve, W
$\eta_{\text{tilalämmitys}}$	tilalämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
$\eta_{\text{iv}}$	ilmanvaihdon tuloilman lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -
$\eta_{\text{ikv}}$	käyttöveden lämmitysjärjestelmän hyötysuhde mitoitusolosuhteissa, -

Huoneen lämmitys:

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}}$$

jossa	
$Q_{\text{tila}}$	tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$Q_{\text{joht}}$	johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{iv, tuloilma}}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$Q_{\text{iv, korvausilma}}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh.

Lämpöenergian kulutus Lämmitysjärjestelmässä:

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{lämmitys, iv}} + Q_{\text{lämmitys, lkv}} - Q_{\text{aurinko, lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}}$$

jossa	
$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys, iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve (kohta 6.2.2), kWh/a
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kohta 6.3), kWh/a
$Q_{\text{aurinko, lkv}}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen (kohta 6.5), kWh/a
$Q_{\text{muu tuotto}}$	muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia, kWh/a
$\eta_{\text{tuotto}}$	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä (taulukot 6.6 ja 6.7), -.

## 4 Lämpöenergian optimointi

Kun rakennuksissa halutaan optimoida energiankulutusta tai sitten hiilijalanjälkeä pyritään vähentämään mahdollisimman paljon taloudellisen hyödyn saamiseksi, niin energiatehokkuutta täytyy optimoida (NollaE 2020). Puhuttaessa lämmöntuotannon optimoinnista, täytyy keskittyä lämpöenergiankulutukseen ja sen tehokkuuden optimoinnista. Optimoinnin tavoitteena on saada paras ja suurin energian säästö. Prosessi alkaa simuloinnilla, jossa kartoitetaan kaikki lämpöenergiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät ja ominaisuudet. Tässä vaiheessa selviää kuinka paljon ja mihin aikaan rakennus kuluttaa lämpöenergiaa. Simulointioperaation jälkeen lämpöenergiatehokkuus optimoidaan parhaaseen mitattuun kohtaan sekä lämmitystehon ja viilennystehon tarve minimoidaan. Tällä optimointiprosessilla saadaan vaihtoehtoja siihen, mitä lämpöenergiatehokkuustoimenpiteitä ja taloudellisesti järkeviä lämpöenergiaratkaisuja kannattaa tehdä, ja tehdään vertailua vaihtoehtoisin ratkaisuihin. (NollaE 2020).

### 4.1 Optimointimalli

Optimoinnissa otetaan huomioon kulutus ja sen seuranta, lämmitysverkon säätö, ilmastointijärjestelmät ja kiinteistöä käyttävien henkilöiden opastus. Kulutus ja sen seuranta luo edellytykset hyödylliselle ja tehokkaalle lämpöenergian hallinnalle. Kulutus ja sen seuranta mahdollistaa hyödyllisen tiedon saannin lämpöenergiankäytön jakautumisesta, energian hukkapisteistä ja ajallisista vaihteluista. Tällainen kulutusseuranta kehittää tiedon lämpöenergiankulutuksen tasosta, mitä voidaan käyttää kulutuksen vertailussa. Se tuo myös esille ongelmakohtia, antaa tietoa tehostamistoimenpiteiden vaikutuksesta kulutukseen ja auttaa budjetoinnissa. (Motiva kulutusseuranta 2016b).

Lämmitysverkon säätöä tarvitaan, jos rakennuksessa on lämpötilaerojen vaihteluja ja epätasapainoa, mikä aiheuttaa turhaa kulutusta sekä huonontaa sisäolosuhteita. Rakennuksen lämmitysverkostossa rakennuksen patterit voidaan säätää siten, että lämmitysjärjestelmä toimii halutulla eli optimoidulla tavalla. Optimoidussa järjestelmässä vesi kiertää kaikissa pattereissa ja lämmitys pysyy tasaisena rakennuksessa ja sen eri osissa.

Lämmitysverkko sisältää myös ilmalämpöpumput ja niiden säädöt, jotka tapahtuvat samankaltaisesti, kun pattereiden optimointi. (Motiva lämmitysverkosto 2017).

Ilmastointijärjestelmät sisältävät jäähdytykseen ja viilennykseen käytettävät ilmanvaihtojärjestelmät. Ilmastointijärjestelmän optimointi tapahtuu hyvällä suunnittelulla, tarkalla käytöllä sekä oikealla ylläpidolla ja käytöllä, jolloin varmistetaan, että energiaa ei kulu turhaan ja sisäilman olosuhteet paranevat. Tähän voidaan käyttää apuna kuntotutkimusta ja energia katselmusta, jotta voidaan kerätä tietoa toiminnasta ja sen tehostamisesta. (Motiva ilmastointijärjestelmät 2020a). Lämpöhäviöt ja lämmöntalteenotto ja sen hyödyntäminen on otettu myös huomioon ilmastointijärjestelmien optimoinnissa.

## **4.2 Rakennuksen lämpöhäviöiden vähentäminen**

Edellisen kappaleen optimointimallin pohjalta on kerätty optimointiongelmia ja niihin on selitetty tarvittavat toimenpiteet eli ratkaisut. Lämpöhäviöitä voidaan vähentää optimoimalla eli parantamalla rakennuksen tiiviyttä ja tekemällä tarvittavia remontteja, joissa vaihdetaan hajonneita ja kuluneita osia. Nämä hajonneet ja kuluneet osat vaihdetaan yleensä uudemman teknologian malliin, mikä tarkoittaa lämpöenergiesäästöä.

### **4.2.1 Rakennuksen tiivistys**

Rakennuksessa lämmöneristetyn tilan muodostavat ulkoseinät, yläpohja ja alapohja. Näiden tiiviyys vaikuttaa suoraan lämpöenergian kulutukseen merkittävästi, koska ilmanvuotokohdat päästävät paljon lämpöä pois rakennuksesta viilentäen sisäilmaa. Tätä kylmää ilmaa lämmitetään huoneen lämpöiseksi, mikä aiheuttaa lämpöenergian ylimääräistä kulutusta. Yleisimpiä paikkoja tällaisille ilmanvuotokohdille ovat rakenteiden yhtymäkohdat, ovien luukkujen ja ikkunoiden karmit sekä seinien välit. Tämän lisäksi epätiivit tilat aiheuttavat vesihöyryn diffuusiota, joka tapahtuu seinien rakenteissa. (Tasauslaskentaopas 2018).

Rakenteiden tiivistäminen tapahtuu rakennuksen perusteiden korjauksilla ja perustiivistyskorjauksilla. Nämä voivat tuottaa suuria lämpöenergian säästöjä, mutta niitä on vaikea laskea tarkasti, jolloin laskelmat ovat vain suuntaa antavia.

Ilmanvuotokohdat aiheuttavat paine-erojen takia ilmavirtausta, jossa lämpövuoto viilentää rakennusta ja samalla se kasvattaa lämpötilaeroa seinän ja sisäilman kesken. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöä karkaa viilentyneeseen rakenteeseen sisäilmasta ja edelleen ulos rakennuksesta, jolloin lämpöenergiaa kuluu tämän viilentyneen ilman lämmittämiseen huoneen lämpöiseksi. Tällaiset ilmanvuotokohdat löydetään lämpökameran tai lämpötilamittauksen avulla. Kun ilmavuotokohdat ovat löydetty, niin ne tukitaan rakennuksen rakenteista riippuen sopivalla materiaalilla, joita ovat esimerkiksi polyuretaani-vahto, mineraalivilla tai pellava. (Tasauslaskentaopas 2018 ja Rakennusten lämmöneristys 2008).

Diffuusiossa vesihöyry aiheuttaa kosteuden liikkumista rakenteissa. Vesihöyry pääsee rakennuksen sisälle ilmanvuotokohdasta paine-erojen takia, se tiivistyy ja muuttuu vedeksi, kun vesihöyryn osapaine ylittää kyllästymispaineen. Tällainen kosteuden joutuminen sisä rakenteisiin vaikuttaa homeen kehitykseen ja lämpöeristeiden toimintaan heikentävästi. Kosteus voi kulkea myös kapillaari-imun avulla tai ilmavirtauksen mukana. Ehkäisy menetelmillä tarkoitetaan tiiviiden rakenteiden valmistamista. (Tasauslaskentaopas 2018 ja Rakennusten lämmöneristys 2008).

#### **4.2.2 Uudet ikkunat**

Rakennuksissa ikkunat ovat lämpöeristetyn tilan vähiten lämpöä erisivät komponentit. Ikkunat aiheuttavat johtumishäviöitä ja energiatehokkuuteen vaikuttavat lasi/lasit, karmit ja muiden osien ilmatiivistys. Nämä osat kuluvat käytössä ja kärsivät huonosta hoidosta, ja tällöin korjauksen tarve voidaan määrittellä kyselyllä tai ammattilaisen kuntotutkimuksella. Kuluminen aiheutuu ympäristövaikutuksista, kuten ilmassa olevista saasteista, sateesta ja auringon säteilystä. Se kuinka kauan ikkunat kestävät riippuu rakenteesta ja materiaalista, jotka vaikuttavat myös huoltotoimenpiteisiin. Rakennuksen omistaja voi kuitenkin pidentää käyttöikää pitämällä ikkunat puhtaana, tekemällä korjauskittausta ja huoltomaalaamalla ulkopuolen käsiteltyjä pintoja. Huomioitavana on se, kun uusia ikkunoita vaihdetaan, niin tuloilman määrä vähenee, ellei seinissä ole raitisilmaventtileitä. Lämmityksen tarve pienenee, kun ikkunat päästävät vähemmän ilmaa sisään, mikä tarkoittaa

korvausilmanventtiilien mahdollista hankkimista ja lämmitysjärjestelmän mukauttamista uusiin ikkunoihin. (Tasauslaskentaopas 2018 ja Rakennusten lämmöneristys 2008).

#### **4.2.3 Muut eristykset**

Muita eristyksiä eli lisäeristyksiä voidaan tehdä mahdollisuuksien mukaan. Yleensä tilanne vaatii helpon toteutettavuuden ja rakennuksen soveltuvuuden tarvittavaan lisäeristykseen. Tavoitteena eristämisessä ja lisäeristämisessä on johtumislämmönhäviöiden vähentäminen. Lisäeristys voidaan toteuttaa ulkoseinän sisä- ja/tai ulko-osaan, yläpohjaan ja alapohjaan. (Tasauslaskentaopas 2018).

### **4.3 Lämmöntalteenotto ja hyödyntäminen**

Lämmöntalteenotossa ja sen hyödyntämisessä puhutaan lämpöenergiavirtojen uudelleenkäytöstä eli kierrättämisestä rakennuksessa. Tilanne tarkoittaa siis rakennuksesta karkaavaa tai lähtevää lämpöenergiavirtaa eli poistoilmaa, jota on mahdollista hyödyntää.

Poistoilma sisältää lämpöpumppujen ja pattereiden tuottaman lämpöenergian, mikä tekee poistoilman hyödyntämisestä tärkeimmän yksittäisen energiansäästökäytön. Kun poistoilmaa otetaan talteen, niin sitä hyödynnetään tuloilman, käyttöveden ja tilojen lämmitykseen. Tähän prosessiin tarvitaan lämmöntalteenottolaitteita, joista pääasiassa käytetään poistoilmalämpöpumppua, regeneraattoria tai rekuperaattoria. (Tomallen 2021).

Poistoilmapumput toimivat pakotetun faasimunnoksen avulla eli höyrystyessä kylmäaine alkaa sitomaan poistettavan ilman lämpöenergiaa ja lauhtuessa se siirtyy tulevaan ilmaan, itse tilaan tai käytettävään veteen. Pienemmissä tiloissa tällaista pumppua voidaan käyttää päälämmöntuottajana ja tämä sopii myös maalämmön hyödyntämiseen.

Poistoilmapumpuilla hyötysuhde on noin 50 %. (Tomallen 2021).

Regeneraattorit varaavat lämpöä ja siirtävät kosteutta sekä kaikkea muuta mahdollista ilmavirran avulla. Erilaiset regeneraattorit toimivat joko pyörimällä tai vaihtamalla virtausta. Näillä laitteilla voidaan saavuttaa noin 80 % hyötysuhde. Pyörivän regeneraattorin toiminta perustuu siihen, että tuleva ilmavirta on jäähdyttävä ja poistuva ilma on lämmittävä. Nämä

ilmavirrat jäähdyttävät tai lämmittävät ilmassa, jolloin voidaan vaikuttaa tilan lämpötilaan. Mahdollisimman tehokkaassa versiossa mahdolliset ilmanvirtauksen aukot ovat pieniä ja materiaali mahdollisimman ohutta. Valittu materiaali tekee regeneraattorin ominaisuuksista erilaista. Esimerkiksi jos pyörivä osa on kosteutta sitova, niin kosteutta pystytään sitoa kaikissa olosuhteissa, ja taas ei sitova osa toimii vain lauhtuneen poistoilman kosteuden siirtämisessä. Virtausta muuttavan systeemin toiminta perustuu systeemissä olevan kahden eri kiinteän massan vuorottelevaan lämpövaihteluun. Tämä tarkoittaa sitä, että kun toinen jäähtyy, niin toinen lämpenee. Nämä kiinteät massat ovat samassa tilassa tai eri tilassa, ja jos ne ovat samassa tilassa, niin ilmaa täytyy ohjata pelleillä. Päinvastaisessa tilanteessa eli eri tiloissa olevien massojen toimintaa muunnellaan puhaltimien pyörimissuunnalla. (Aalto-yliopisto 2011).

Rekuperattorit jaetaan suoriin ja epäsuoriin lämmönsiirron kategorioihin. Tästä rekuperattorit jaetaan vielä suorissa lämmönsiirtopinnan, materiaalin ja virtausgeometrian mukaan. Epäsuorissa jaetaan nestekiertoiset, lämpöpumput ja lämpöputkipatterit. Suorien rekuperattorien toiminta perustuu kahden virtauksen kulkuun, jotka ovat myötä virtaus, vastavirtaus tai ristiin menevä virtaus. Lämmityksen talteenotossa vastavirtaus on tehokkain. Tehoon vaikuttaa lämmönsiirtoon käytettävä pinta-ala ja huomioitavia asioita ovat materiaali puhdistuksen ja korroosion keston takia, mahdollinen jäätymisen kylmissä oloissa ja viemärit ongelmien eli tukkeutumisen ja jäätymisen takia. Epäsuorien nestekiertoisen systeemi käyttää noin 30–40 %:sta vesietyleeniglykoliseosta, ja systeemin sisällä olevan patterin pituus vaikuttaa hyötysuhteeseen, joka on 40–60 %. Lämpöpumput toimintansa mukaisesti ja lämpöputkipatterit, jotka sisältävät lauhtuvan ja höyrystyvän kylmän aineen lämpöputket. Kapillaarivoimaa hyödyntäen lauhtuva aine imeytyy putkeen ja hyötysuhde on noin 50–80 %. (Aalto-yliopisto 2011 ja Yubo Wang ja muut 2021).

#### **4.3.1 Lämmitysjärjestelmän energiatehokkuus**

Lämmitystavat vaikuttavat suuresti lämmöntuotantomäärään ja sitä kautta kustannuksiin. Eroavaisuudet ovat ostetun energian hyödynnetyssä lämmön määrässä. Valittavat vaihtoehdot ovat keskuslämmitys ja suora lämmitys. Keskuslämmitys tarkoittaa sitä, että ostettu energia muutetaan hallitusti lämpöenergiaksi lämmöntuottojärjestelmissä, jonka

jälkeen lämpöenergia tuodaan tilojen lämmitykseen väliaineiden avulla. Suora lämmitys tarkoittaa sitä, että ostettu energia viedään rakennuksen lämmönluovuttamiin, jossa se muutetaan lämpöenergiaksi. Tätä energiaa voidaan varastoida veteen tai rakenteisiin käytettäväksi. Varastointi on hyödyllistä, kun hinnat ja lämmityksen tarve vaihtelee, vaikka hankinta hinta on korkeampi. Lämmitystavan valintaan vaikuttavat: rakennuksen suuruus ja ominaisuudet, sijainti, vaikutukset ympäristöön ja taloudellisuus. Kuitenkin vähän kuluttavassa rakennuksessa valinnan merkitys on pienempi kuin suuren kulutuksen rakennuksessa. Kustannukset määräytyvät järjestelmään investoinnista ja sen käytöstä. Yleisesti korkean hankintahinnan laite on käytössä edullisempi ja päinvastoin halvemmassa järjestelmässä on energialla kalliimpi hinta yksiköissä. Kustannuksiin vaikuttavat asiat: millä hinnalla järjestelmä on hankittu, käyttö hinta eli energian yksikköhinta, kiinteät kustannukset eli perusmaksut ja huolto. Tällaisissa rakennuksissa, joita tämä tutkimustyö käsittelee, on mahdollista käyttää sähkölämmitystä, kattilalaitoslämmitystä, kaukolämmitystä ja lämpöpumppuja. (Asuntotuotanto 2019).

Lämmitystavan vaihtaminen tarkoittaa lämmitystavan muuttamista, jolloin voidaan vaikuttaa ostoenergian kulutuksen määrään. On mahdollista vaihtaa koko lämmitysverkostoa tai vain lämmityslaitteita. Verkoston vaihtaminen tehdään yleensä remonttien yhteydessä ja lämmityslaitteiden vaihtoja nopeisiin energiansäästöratkaisuihin. Esimerkkinä lämpöpumppujen käyttöönotto korvaamaan patterilämmityks. Vaihtotilanteissa tulee ongelmia lämmönjakeluun ja lämmönluovutukseen, jotka täytyy muuttaa optimaalisen toiminnan saavuttamiseksi.

Patterit voivat toimia epätehokkaasti epäpuhtauksien, heikkojen huoltojen ja säätöjen takia. Tällöin pattereita kannattaa säätää ammattilaisen avustuksella. Pattereiden sääntöön sisältyy patteriventtiilien säädöt. Patterin säätö on kannattava toimenpide, jos on seuraavanlainen tilanne (Motiva patterit 2021b):

- Eri huoneiden lämpötilat eroavat 5°C astetta
- Pattereiden venttileistä tulee normaalia kovempaa ääntä
- Huonokuntoiset patteriventtiilit eli ei voida käyttää ja ne jopa vuotavat

- Lämpöenergiaa kuluu liian paljon
- Viime säätökerrasta on yli 15 vuotta aikaa
- Sulkuventtiilit ja säätöventtiilit ovat liian huonossa kunnossa

#### **4.3.2 Lämpöenergiakulutuksen hallinta**

Hyvän ohjeistuksen ja ylläpidon sekä kehittyvän digitalisaation avulla voidaan hallita lämmitysjärjestelmiä paremmin ja vaikuttaa kulutukseen. Ohjeistus koskee koko lämmitysjärjestelmän rakennusprosessin henkilöitä toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla energian kulutuksen optimoinnin kannalta. Digitalisaatio keskittyy tulevaisuuden älykkääseen, kilpailukykyiseen ja joustavaan energiajärjestelmään lämpöenergian optimoinnin osalta.

Suunnittelijan täytyy huolehtia, että huollettavuus on helppoa, automaatio ei ole turhan monimutkaista, ohjaus ja automatiikka varmistaa toiminnan, tarvittava tieto on saatava teknologia laitteista.

Ylläpitäjän täytyy huolehtia, että lämpötilat ovat suunnitelluilla eli oikeilla tasoilla sääolosuhteista riippuen. Hänen täytyy seurata mittaus arvoja ja käyttöaikoja, jotta kaikki pysyy kunnossa, selvittää korjaustoimenpiteet ja niiden syyt tarvittaessa.

Omistajan täytyy huolehtia, että ammattilainen hoitaa järjestelmää tarvittaessa, huoltosopimukset ovat kunnossa ja energiankulutusta seurataan.

Käyttäjän täytyy selvittää, miten voi käyttää ilmastointijärjestelmää oikein ja tehokkaasti. Heidän tulisi myös kaikesta normaalista poikkeavasta ilmoittaa heti vastuu-henkilölle.

Kiinteistöä käyttävien henkilöiden opastus tarkoittaa seuraavien energiatehokkuuteen liittyvien asioiden kertomista: valaistuksen käyttöajat ja ohjeet, ilmanvaihdon käyttöajat ja käyttöohjeet, rakennuksen halutut lämpötilat, ongelmatilanteissa toimiminen ja vedenkäytön mahdolliset rajoitukset. (Motiva käyttäjien opas 2016a)

Digitalisaatio tarjoaa rakennuksille nyt ja tulevaisuudessa paljon teknologia-ratkaisuja kuten esimerkiksi laittamalla RAU-järjestelmään digitaalisia teknologioita ja mahdollistamalla tehostettua rakennuksen seurantaa pilvipalveluustoilla. Hyödyntämällä ICT-alaa pystytään

kehittämään energiatehokas ja nykyaikainen järjestelmä, ja uusilla palveluilla pystytään käsittelemään ja hyödyntämään suuria datamääriä tiedonsiirron ja tallennustilan kasvattamisen avulla. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014 ja Mika Raatikainen 2016)

Kulutuksen seuraaminen ja mallintaminen kehittyy koko ajan älykkään energian tuottamisen sekä kulutuksen seuraamisen, tiedonsiirron nopeuttamisen, tehokkaamman datan analysoinnin ja välittömien muutoksiin reagoimisen avulla. Myös tietokone-simuloinnit reaali-ilanteesta avaavat uusia mahdollisuuksia säätöjen osalle ilman, että täytyy tehdä säätöjä ja sen jälkeen odottaa tuloksia. Kulutuksen optimointia pystytään tehdä digitalisoinnin avulla koko ajan tehokkaammin, mikä tarkoittaa mahdollisimman hyvää energian tasapainotilaa jatkuvasti. Monimutkaisten kokonaisuuksien, kuten rakennuksen energiajärjestelmän, optimointi paranee merkittävästi uudella teknologialla ja innovaatioilla, koska digitaaliset ratkaisut, lämpövarastot, akut ja automatisoitu älykäs ohjaus parantaa järjestelmien hallintaa. Tämän tyylisellä reaaliajassa olevalla seuraamisella ja ohjaamisella pystytään varmistamaan halvin saatava energia ja suurimmat hyödyt. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014 ja Mika Raatikainen 2016).

## 5 Case: Yritys X

Yritys X haluaa pysyä anonyyminä tässä tutkimusraportissa. Yritys X:n liiketoiminta perustuu osittain tuotteiden myymiseen ja näitä tuotteita säilytetään yksikerroksisessa varastorakennuksessa. Yritys on hankkinut kaksi ilmalämpöpumppua ja haluaisi optimoida niiden käyttöä, koska he eivät ole huomanneet muutosta lämmityskustannuksissa. Pääpainona ovat lämpöpumput ja niiden toiminnan parantaminen, mutta samalla katsotaan muitakin asioita teorian pohjalta. Tutkimusosa koostuu perustietojen hankkimisesta, tarvittavista laskelmista ja optimointi toimenpiteistä. Tämän jälkeen katsotaan yritys X:n kasvun mukaisesti laajennuksiin sopivia mahdollisia lyhyen ja pitkän aikavälin mahdollisuuksia lämpöenergian tuotossa ja käytön tehokkuudessa.

### 5.1 Tutkimuksen lähtötiedot ja toteutus

Tutkimuksen lähtötiedot saadaan tekemällä selvitys kohteesta. Selvitys on seuraavanlainen: Todetaan rakennusosien ja teknisten järjestelmien energiatekninen kunto. Tämän jälkeen selvitetään energiansäästömahdollisuudet, joiden avulla rakennuksen lämpöenergiatehokkuutta voidaan parantaa kustannustehokkaasti ja huonontamatta sisäilman laatua. Kaikki tämä tehdään rakennuksen asiakirjojen perusteella, havainnoimalla ja käyttäjiä haastatteleamalla. Tarkastuksessa kiinnitetään huomiota seuraaviin rakennuksen osiin ja järjestelmiin:

#### 1) Rakenteet kuten ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat, yläpohja, alapohja

Rakenteet kunnossa, mutta lastausaukosta, joka on noin 3x3 metriä, on talvella pientä vetoa eli lämmintä ilmaa pääsee karkaamaan sieltä. Ilman lämpötila on 20°C tienoilla.

#### 2) Lämmitysjärjestelmä

Sähköinen lämmitys ja ilmanvaihto, jotka käydään läpi myöhemmin.

### 3) Käyttöveden lämmitysjärjestelmä

Ei oteta huomioon, sillä rakennuksessa ei käytetä vettä muuhun, kun kahvin keittämiseen ja juomiseen.

### 4) Valaistus

Valaistuksena on 1,5 metriä pitkiä Aura Lightin Aura T8 Ultimate Long Life lamppuja, jotka ovat päällä kello 8–16 aikana. Lamppuja on yhteensä 32 kappaletta.

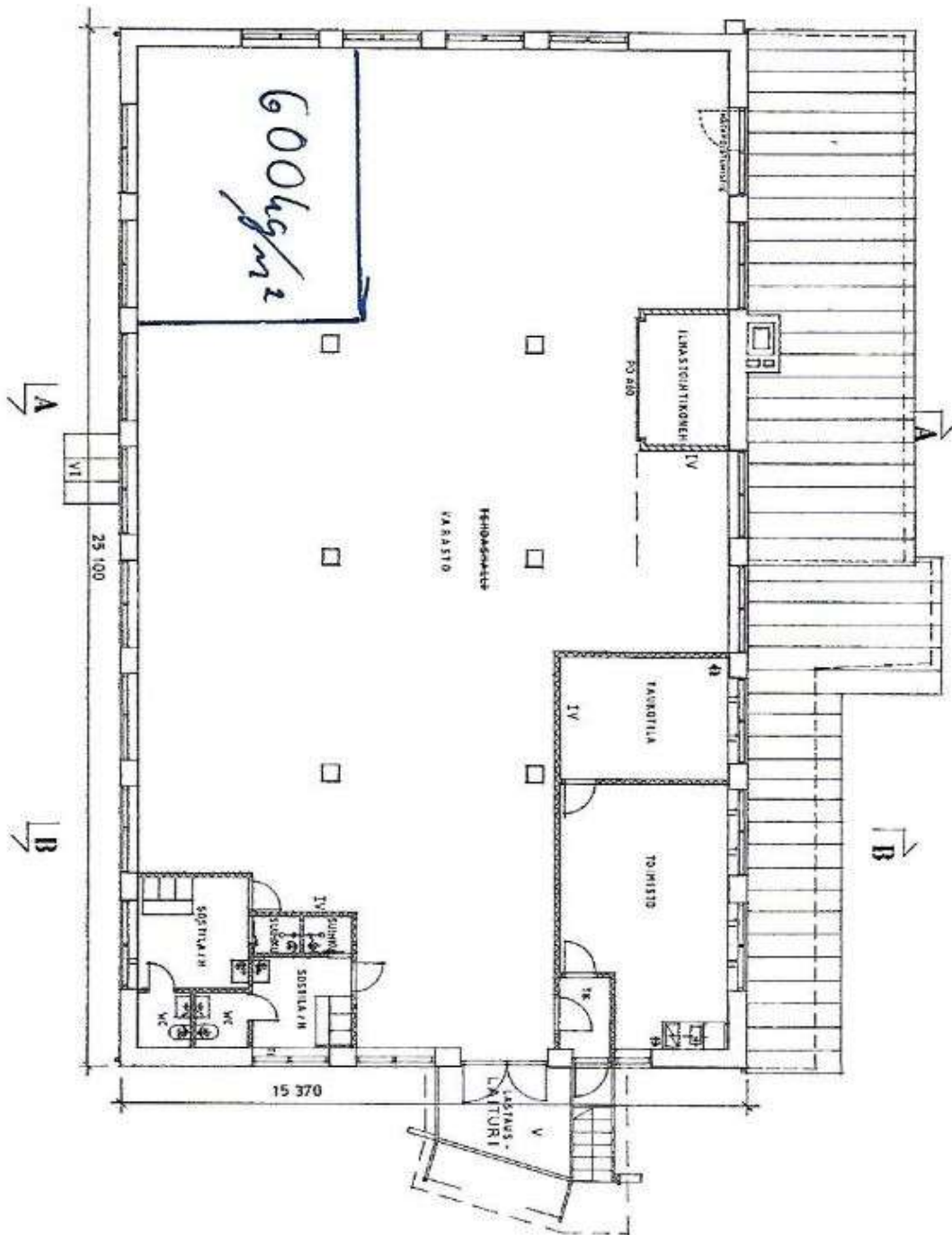
### 5) Sähköiset erillislämmitykset

Lämmitysjärjestelmä on täysin sähköllä toimiva ja se koostuu kahdesta lämpöpatterista ja viidestä lämpöpumpusta sekä lattialämmityksestä WC-tiloissa. Patterit ja ilmalämpöpumpuista kaksi on päällä lokakuusta maaliskuuhun eli 7 kuukautta vuodessa. Kaksi muuta ilmalämpöpumppua toimivat varajärjestelmänä, jos ilmanlämpötila tippuu 15°C, niin ne aktivoituvat. Kaksi päällä olevaa lämpöpumppua ovat Toshiba RAS-35PKVPG-ND malleja ja kolme varalämpöpumppua ovat Frico 1009M33 mallia. Fricot kuluttavat sähkötä melkein kaksi kertaa enemmän kuin Toshiba mallit. Patterit ovat Glamox TED102 mallia. Lattialämmitys on EBERLE eletronicin Termostaatti 525 31-E.

6) Muut järjestelmät, joilla on vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen, on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, joka on päällä koko ajan minimiteholla 590 dm<sup>3</sup>/s tuloilma ja 620 dm<sup>3</sup>/s poistoilma virroilla.

### 6) Pohjapiirustus

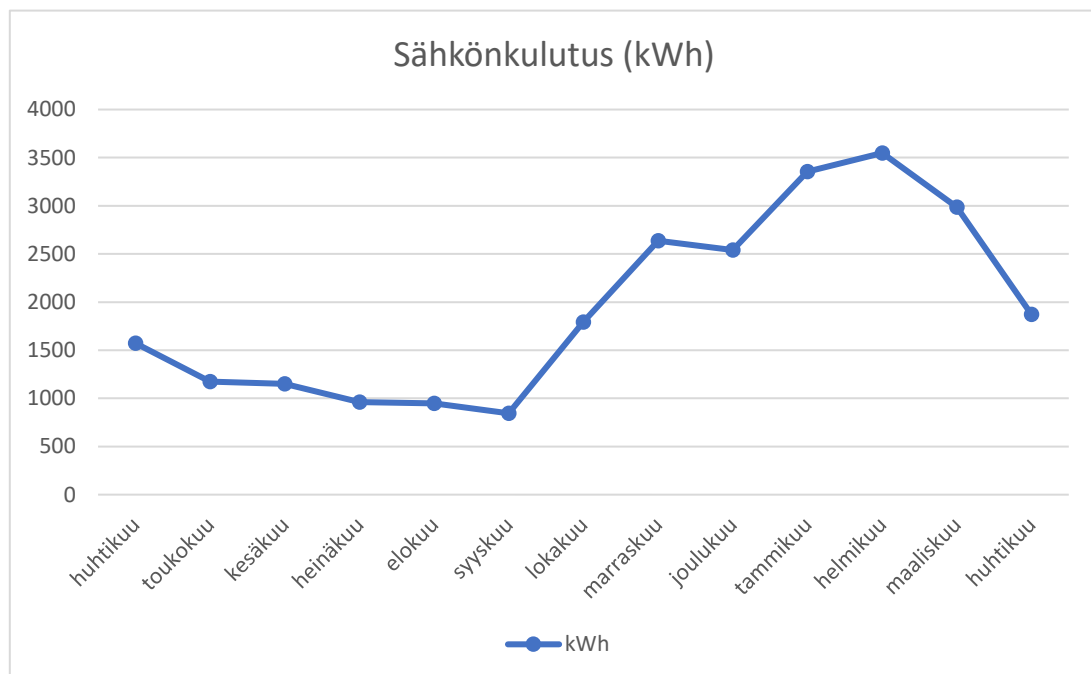
Rakennuksen pinta-ala on 350 m<sup>2</sup> ja se sisältää pienen toimiston ja taukotilan, wc-tilat ja itse varaston. Ilmastointikone on varastotilassa, mikä tarkoittaa koneellista ilmastointia rakennuksessa. Rakennusvuotta ei ole tiedoissa mainittu, mutta vuonna 1999 rakennetun ilmanvaihdon perusteella voidaan sanoa, että ainakin sitä ennen. Alla havainnoillistamiseen Kuva 7. Rakennuksen pohjapiirustus.



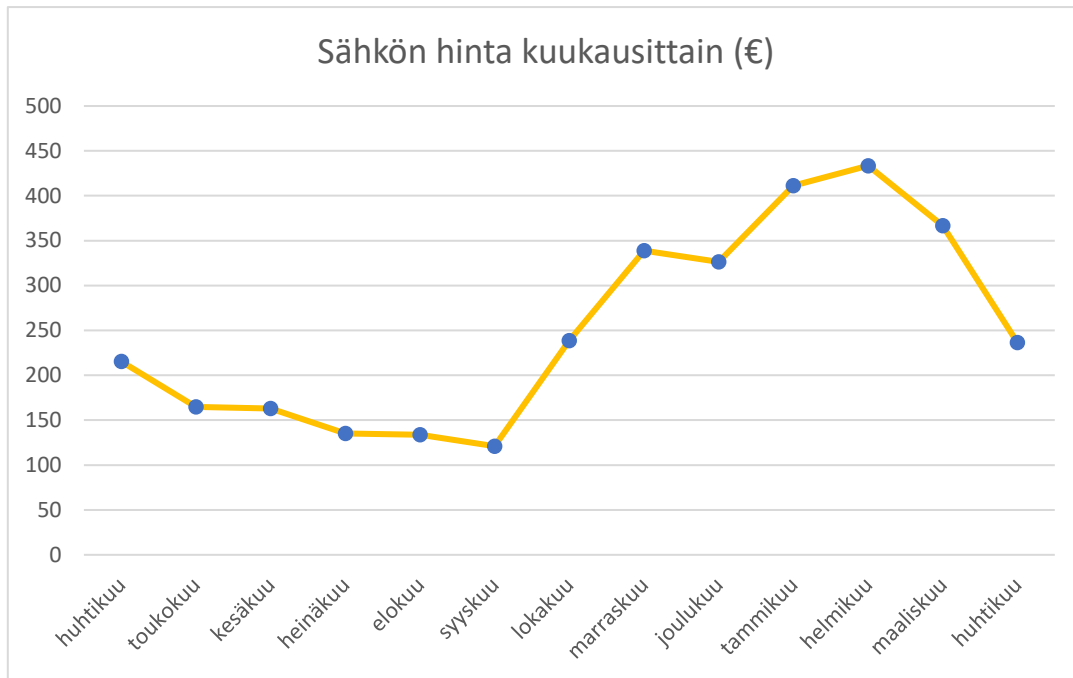
Kuva 7. Rakennuksen pohjapiirustus

## 5.2 Energiankäytön nykytilanne

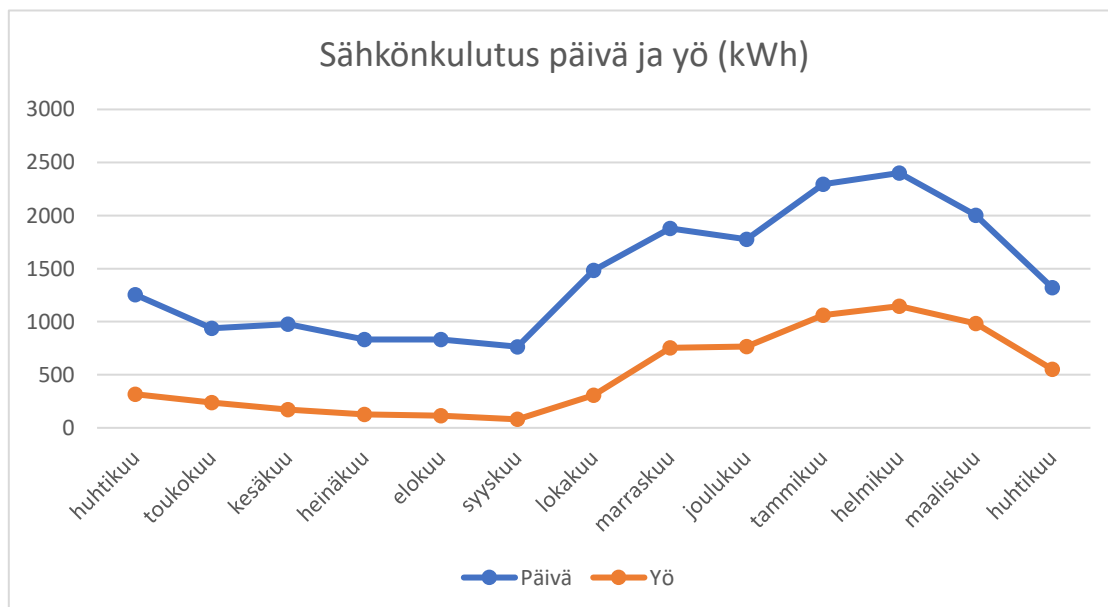
Rakennuksessa käytetty energia koostuu sähköenergiasta. Sähköenergialla pidetään päällä koneellista ilmanvaihtoa, lämpöpumppuja, valaistusta, pattereita ja lattialämmitystä. Alla olevista kuvista Kuvio 1. Rakennuksen energiakatselmuksissa havaittu sähkönkulutus, Kuvio 2. Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönkulutuksen hinta ja Kuvio 3. Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönsiirto päivä ja yö näkyy, kuinka paljon sähköenergiaa kuluu kilowattitunteina vuoden aikana sekä mikä sähkön hinta on.



**Kuvio 1.** Rakennuksen energiakatselmuksissa havaittu sähkönkulutus



**Kuvio 2.** Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönkulutuksen hinta



**Kuvio 3.** Rakennuksen energiakatselmuksissa toteutunut sähkönsiirto päivä ja yö

Kuvio 1. ja 2. näyttää vuodessa kuluneen sähkön määrän ja hinnan yhden vuoden aikana mitatusta aikavälistä eli huhtikuusta-maaliskuuhun. Kiinteistön oma sähkön vuosikäyttöarvio on 28 372 kWh ja todellinen arvo 23 510,72 kWh. Sähkön vuotuinen hinta on tällä kulutuksella todellisella arvolla 3048,8 euroa. Sähköä käytetään ilmastointiin, lämpöpumppuihin, pattereihin, lattialämmitykseen ja valaistukseen. Kuvio 3. näyttää sähkönsiirron määrän kilowattitunteina vuoden aikana päivällä ja yöllä. Taulukot näistä arvoista on liitteissä.

Ilmanvaihto tuo ilmaa 590 dm<sup>3</sup>/s ja poistaa ilmaa 620dm<sup>3</sup>/s sekä hyötysuhde on 53 %.

Lämpöpumput ovat mallia Toshiba RAS-35PKVPG-ND ja Frico 1009M33. Näiden kulutuksen selvittämiseen tarvitaan mallikohtaista tietoa ja laitteiden päällä oloaika, joka on klo 8–20 eli 12h/päivä Toshiba laitteilla.

Toshiba:

**Taulukko 1.** Toshiba pumppu

Jäähdytys		Lämmitys	
Teho (kW)	3.5	Teho (kW)	4.0
Nimellinen ottoteho (kW)	0.77	Nimellinen ottoteho (kW)	0.8
EER	4.55	COP	5.00
Teho [min-maks] (kW)	0.9 - 4.1	Teho [min-maks] (kW)	0.7 - 0.17
Ottoteho [min-maks] (kW)	0.18 - 0.98	Ottoteho [min-maks] (kW)	7.7 - 2.4

Tämä tarkoittaa, että Toshiba pumppu käyttää 0.8 kW \* 12 h = **9,6 kWh sähköenergiaa** päivässä. Tällöin COP arvolla 5 tuotetaan 9,6 kWh \* 5 = **48 kWh lämpöenergiaa**. Fricon vanhemmat ilmalämpöpumput kuluttavat noin tuplasti enemmän eli **19,2 kWh sähköenergiaa** samaan määrään lämpöenergiaa.

Pattereita on kaksi kappaletta toimisto/taukotilassa ja ne ovat Glamox TED102 mallia. Ne ovat vanhoja malleja, joista ei löydy tietoa. Paras tieto Glamoxilta on se, että uusimmat patterit säästävät 50 % enemmän kuin nämä vanhat TED102 mallit. (Glamox 2021)

Lattialämmitys on EBERLE eletronicin Termostaatti 525 31-E millia. Lattialämmitys järjestelmä käyttää 3,6 kW kytkentätehoa. (Eberle 2021).

Valaistus kuluttaa noin 0,02kwh tunnissa per lamppu ja rakennuksessa on 38 lamppua eli 0,76 kWh tunnissa. Tämä tekee päivän aikana 6,08 kWh/päivä ja 133,76 kWh/viikko. Mutta lamputa saatava lämpö on niin pientä, että sitä ei oteta huomioon optimoinnissa. Kuitenkin nämä Aura Lightin Aura T8 Ultimate Long Life lamput ovat hyviä lamppuja Aura Lightin sivuilla olevien teknisten tietojen perusteella, mikä tarkoittaa, että niitä ei tarvitse vaihtaa. (Aura Light 2021).

### **5.3 Energialaskelmat ja optimointi**

Energialaskemia tehdessä täytyy ottaa huomioon tilan koko ja lämmityksen tarve, jonka jälkeen voidaan katsoa, onko lämmityslaitteet sopivia tilaan. Tämän avulla jälkeen optimointi mahdollisuuksia laitteiston puolesta. Ilmastoinnin arvionti otetaan huomioon, jotta voidaan tehdä tarvittavia muutoksia lämmöntuotannon optimointiin.

Ilmanvaihto:

Ilmanvaihtoa optimoidaan säätämällä koneellisen ilmanvaihdon virtauksien määriä. Tässä vaiheessa voidaan todeta, että ilmanvaihtoa ei ole optimoitu toimimaan lämpöpumppujen kanssa. Data, joka saatiin, on vuoden 1999 ilmanvaihto katselmusta. Tämän datan perusteella ei pysty laskemaan nykytilanteen toimintaa järkevästi ilman tarkkoja mittauksia. Mittauksia täytyy tehdä ilmanvaihdon määrästä, lämmön- ja sähkönkulutuksesta. Tämän jälkeen ilmanlämpöpumput voidaan kalibroida parempaan toimintaan, jos se on mahdollista.

Patterit:

Patterit on mahdollista pitää samassa tilassa kuin nykyään tai vaihtaa kokonaan lämpöpumppuun, joka toimii ulko-oven edessä olevissa tiloissa. Tämän kannattavuudesta

tarvittaisiin uudet ja tarkat mittarit. Myös uudet versiot patterista on mahdollista vaihtaa. Niillä voi säästää 50 % enemmän kuin vanhoilla pattereilla.

#### Lattialämmitys:

Lattialämmitys voidaan pitää ja kannattaa pitää entisellään, koska sillä ei ole niin suurta vaikutusta. Tämä johtuu pienestä wc-tilasta, lämmityksen epäsäännöllisestä käytöstä ja suhteellisen uudesta sekä laadukkaasta järjestelmästä. (Eberle 2021). Optimoinnissa suositellaan, että lattialämmitystä ei tarvitse käyttää ollenkaan.

#### Ilmalämpöpumput:

Ilmalämpöpumpuista voidaan laskea lämmitystehoa ja määrää, mutta optimointia tai edes lämpötehontarvetta ei voida tai kannata laskea puutteellisella ja vanhalla datalla. Tämä tarkoittaa ammattilaisen mittauksien toteuttamista, jotta optimointi voidaan toteuttaa. Tähän voidaan luetella huomioitavia asioita tilojen tehonkulutukseen ja sen pienentämiseen ilmalämpöpumpuilla:

- Älä käytä sopimattomia puhallinliityntöjä kanavakokoon verrattuna
- Kannattaa valita tilaan sopiva ja energiatehokkain puhallin tai siipityyppi
- Säätele pyörimisnopeutta muuttuvissa kuormituksissa
- Minimoi prosessiohjauksessa kuristukset
- Minimoi imupuolella heikot virtausolosuhteet
- Ota huomioon painehäviöt kanavasunnittelussa ja vältä niitä
- Kanavien vuodot minimoitava
- Suodattimet huollettava sopivin väliajoin
- Hihnojen kireys kannattaa varmistaa välillä

Toinen huomioitava asia on klo 8–20 välillä toimivat ilmalämpöpumput, jotka sulkeutuvat talvella yöksi. Jos rakennuksen lämpötila putoaa 15°C alkaa varapumput toimimaan, mikä kuluttaa enemmän energiaa kuin uudet pumput. Ilman mittauksia voidaan siis optimoida

uusien ilmalämpöpumppujen puhallus öisin 16°C ylläpitopuhallukseen, jolloin varapumput eivät mene päälle ja vältetään energiankäyttöpiikkejä öisin. Tämä toimenpide on kannattava, jos syyskuu-huhtikuu välillä joudutaan käyttämään yli puolet tunneista varapumpuilla lämmittämiseen. 240 päivää sisältää 2880 tuntia eli jos varapumppu joutuu olemaan puolet ajasta päällä (1440 tuntia) se vastaa samaa kulutusmäärää kuin pääpumppu olisi päällä koko ajan. Toinen vaihtoehto on vaihtaa varapumput näihin uusiin pääpumppuihin.

## 6 Tulevaisuuden näkymät

Tulevaisuuden näkymät tarkoittavat lyhyen aikavälin ja pidemmän aikavälin parannuksia energiatehokkuuteen ja ne eroavat optimointi tarpeista. Nämä tulevaisuuden näkymät koskevat parannuksia tai vaihtoehtoisia ratkaisuja tai selvityksiä, jotka voisivat auttaa parantamaan energiatehokkuutta ja myös pelkästään lämmön optimointia eri kantilta kuin tämänhetkisen lämpöjärjestelmän laitteiden toiminnan parantaminen.

### 6.1 Lyhyen aikavälin näkymä

Lyhyen aikavälin näkymässä käydään läpi, mitä parannuksia voitaisiin tehdä tämänhetkiseen varastorakennukseen nyt ja lähitulevaisuudessa. Datan perusteella ja tilassa vieraillessa sekä muutaman kartoituskysymyksen perusteella lastauslaituri päästä turhaan paljon lämpöä talvisin ja sen eristäminen jo olemassa olevilla ratkaisuilla on mahdollista. Tuulikaappi on myös koettu hyvänä varastorakennuksissa lastauslaitureiden yhteydessä.

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää aurinkokennoilla, jolloin kesällä sähkönkulutus pienenee. Lämmintä ilmaa tai viilennystä ei käytetä kesäisin. Ainoastaan koneellinen ilmanvaihto vaihtaa ilmaa minimi teholla.

Rakennukseen voidaan tehdä eristys- ja kuntotarkastus, jonka perusteella voidaan tehdä eristystoimenpiteitä rakennukseen. Tämä on suositeltavaa siinä vaiheessa, jos huomataan jotain heikentymiä tai vetoa sisätiloissa. Tai vuorostaan, jos halutaan olla perillä mikä rakennuksen kunto on tällä hetkellä. Ikkunoiden suuren määrän takia voisi olla kannattavaa tehdä ikkunoiden ja ovien tiivistystarkastus. Tämä auttaisi selvittämään onko ikkunat tarpeeksi eristettyjä ja tarvitseeko niihin tehdä pieniä toimenpiteitä.

Digitaaliset ratkaisut tarjoavat myös käyttöön otettavia kiinteistön ylläpito järjestelmiä, joihin voidaan kytkeä kaikki laitteet. Tällä voidaan seurata ja hallinnoida kulutusta ja tehdä pieniä optimoinnin hienosäätöjä helpoiten. Tällaisella järjestelmällä voidaan suoraan katsoa toteutuneet kulutukset normitetuina kulutuksina ja takautuvasti vuosien takaa lämmitysenergialle, sähköenergialle ja veden kulutukselle.

Ilmanvaihdon vaihtaminen on mahdollisuus lyhyellä, mutta myöskin pitkällä ajalla. Esimerkiksi Cervi ilmanvaihtojärjestelmillä voidaan saavuttaa parempaa hyötysuhdetta ja optimointikykyisempää järjestelmää. Vikana voi olla siis huonot talviasetukset ilmanvaihdossa, jolloin lämpöilmaa ei kierrätetä tarpeeksi tehokkaasti. (Cervi 2021).

Aurinkoenergiaa on mahdollista käyttää nykyisessä rakennuksessa, jos katon suuntaus on hyvä. Mitoitus on tehtävä oikein, jotta kaikki energia tulee itse kulutettua.

## 6.2 Pitkän aikavälin näkymä

Pitkällä aikavälillä katsotaan varaston remontointia, laajennusta, siirtoa uusiin tiloihin tai uuden varastorakennuksen hankkimista tässä tutkimustyössä käytetyn rakennuksen rinnalle. Silloin ratkaisuita voi olla maalämmön käyttö, aurinkoenergian käyttö, ikkunoiden määrän vähentäminen ja eristyksen varmistaminen.

Maalämpöä voidaan käyttää uudessa rakennuksessa, jos rakennus rakennetaan alusta asti, remontoidaan tai päätetään vaihtaa nykyinen systeemi ennen rakennuksen käyttöönottoa.

Aurinkopaneeleja voidaan asentaa uuteen rakennukseen energian säästämiseen kesällä. Energiaa ei olla aikaisemmin käytetty ilmalämpöpumppeihin, mutta niitä voitaisiin käyttää aurinkoenergialla. Muita vaihtoehtoja ovat aurinkoenergian käyttäminen ilmastoinnin tai sähkön yleiseen käyttöön.

Ikkunoiden määrän vähentäminen ja eristäminen auttaa ikkunoiden hukkalämmön vähentämiseen. Ikkunat päästävät enemmän lämpöä kuin eristetyt seinät, mikä on Suomen kaltaisissa talviolosuhteissa epäoptimaalista.

Pitkällä aikavälillä kannattaa tietyin väliajoin seurata markkinoiden tarjoamia ratkaisuita ja uusia innovaatioita, joilla voidaan parantaa lämpöenergian optimointia, mutta myös sähköenergian optimointia.

## 7 Johtopäätökset

Tutkitun teorian ja tehtyjen laskelmien perusteella voitiin vetää seuraavat johtopäätökset:

1. Puuttellisen ja vanhojen tietojen takia ilmastoinnista tarvitaan ammattilasten tekemät mittaukset.
2. Pattereita on niin vähän käytössä, että niiden energian optimointi on toissijaista tässä kokonaiskuvassa. Ammattilaisen mittauksen yhteydessä yritys voi kysyä onko niitä järkevää pitää päällä.
3. Lattialämmitystä kannattaa käyttää vain, jos siihen nähdään tarvetta. Tällöin se ei kuluta turhaan sähköenergiaa.
4. Ilmalämpöpumput ovat uusia ja energiatehokkaita, mutta ei välttämättä sovi rakennuksen kokoon. Tämä saadaan selville ammattilasten mittauksien avulla.
5. Lämpöenergian optimointilaskelmia ei pystytty suorittamaan, koska ilmastoinnista ei ollut riittävää tietoa saatavilla.
6. Lämpötehontarvetta ei voida laskea puutteellisten tietojen takia. Ammattilaisen avulla suoritettut ilmastoinnin ja ilmalämpöpumpun mittaukset mahdollistavat lämpöenergian optimoinnin suorittamisen loppuun.
7. Tutkimuksessa muita esiintyviä optimointi ehdotuksia voidaan toteuttaa investointi halukkuuden mukaan, jolloin täytyy kilpailuttaa tarvittavaa tuotetta ja palvelua tarjoavat yritykset.
8. Tulevaisuudessa pystytään toteuttamaan lämpöenergian optimointia monella eri keinolla lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Lyhyen aikavälin ratkaisuja voidaan suorittaa nykyiselle rakennuksella, ja niitä on syytä harkita lämpöenergian optimoinnin parantamisessa. Pitkän aikavälin ratkaisut tulevat vastaan laajennus vaiheessa, joten niitä kannattaa katsoa vasta silloin.

## 8 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli kartoittaa erään yrityksen lämpöenergian käyttö, optimoida sitä sekä luoda katsaus lämmityksen tulevaisuuden näkyymiin. Teoriaosuudessa käsiteltiin rakennuksen lämmöntuotantoon vaikuttavat energialähteet, lämpöenergiakulutukseen liittyvät asiat ja lämmöntuotannon optimointi. Mahdollisiksi energialähteiksi todettiin kaukolämpö, sähkölämmitys, kattilalaitokset, lämpöpumppu, aurinkoenergia, maalämpö ja ilmaston tehostaminen.

Optimoinnissa käytiin läpi tutkimukseen sopiva optimointimalli ja optimoinnissa huomioitavat asiat eli rakennuksen lämpöhäviöiden vähentäminen sisältäen rakennuksen tiivistyksen, uudet ikkunat, muut eristykset sekä lämmöntalteenotto ja hyödyntäminen sisältäen lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden ja lämpöenergiakulutuksen hallinnan.

Pohjana käytettiin suomalaisissa rakennuksissa käytettäviä energiaohjeita ja -säännöksiä. Taustoituksen pohjalta pyrittiin optimoimaan varaston lämpöenergian käyttö. Lähtötiedot olivat hyvät sähkönkulutuksen ja laitetietojen puolelta, mutta ilmastoinnista ei ollut muuta kuin vuodelta 1999 oleva tieto. Tämän takia energian käytön nykytilasta saatiin vain osittainen käsitys. Pääkohtina optimoinnissa ja ongelmien löytämisessä olivat ilmalämpöpumppujen mahdollinen optimointi, muiden ongelmakohtien löytäminen ja tulevaisuuden lämpöenergian optimointi ratkaisut.

Ilmalämpöpumppujen optimointia ei voitu toteuttaa, koska ilmastoinnista ei ollut tarpeeksi dataa eikä lämpöenergiantarvetta voitu puutteellisella datalla laskea. Ilmalämpöpumput toimivat huonosti ilmaston takia, tai ne ovat väärän malliset varastotilaan.

Ilmalämpöpumpuille ja ilmanvaihdolle täytyy tehdä uudet mittaukset ammattilaisen kanssa ja optimoida ilmalämpöpumput toimimaan sen mukaan. Muita ongelmakohtia löytyi eristyksistä. Tulevaisuuden vaihtoehtoja energiatehokkuuden parantamiseen löytyi lyhyellä ja pitkällä aikavälillä, mutta nämä toimenpiteet vaativat mittavia investointeja, joita yritys X tarkastelee tarpeidensa mukaan.

Ratkaisuna löydettiin se, että lastausoven eristäminen on kannattavaa. Tulevaisuudessa voidaan toteuttaa lyhyen aikavälin ratkaisuja. Pitkän aikavälin muutokset ovat sen verran suuria, että niitä ei kannata lähteä tekemään nykyiseen rakennukseen kustannussyistä.

Lyhyellä aikavälillä on mahdollista asentaa aurinkopaneeleita, mutta tämä sisältyy pääasiassa sähkönkulutuksen optimointiin, sillä kesällä ei käytetä kuin ilmastointia. Toinen asia on rakennuksen kunnon tarkastaminen varsinkin ikkunoiden eristyksen, koska suuri ikkunoiden määrä aiheuttaa paljon hukkalämpöä. Digitalisen energian seurantamittariston avulla pystyttäisiin pitämään lämpöenergia optimitilassa koko ajan. Pitkällä aikavälillä katsotaan remontointia, laajennusta, siirtoa uusiin tiloihin tai uuden varastorakennuksen hankkimista. Silloin mahdollisia energiankäytön ratkaisuja ovat maalämmön käyttö, aurinkoenergian käyttö, ikkunoiden määrän vähentäminen ja eristyksen varmistaminen

## Lähteet

Aalto-yliopisto (2011). Teollisuuden energiatekniikka, Peruskaavat ja –käsitteet.

Saatavilla:

[https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/188122/mod\\_resource/content/1/Enne-59\\_4101\\_peruskaavat\\_ja\\_-kasitteet.pdf](https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/188122/mod_resource/content/1/Enne-59_4101_peruskaavat_ja_-kasitteet.pdf)

Asuntotuotanto (2019). Energiatehokkuusohje. Helsingin kaupungin asuntotuotannon ohje. Saatavilla:

<https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kymp/Att/Energiatehokkuusohje.pdf>

Aura Light (2021). Aura T8 Ultimate Long Life. Saatavilla:

<https://www.auralight.com/en/light-sources/aura-t8-ultimate-long-life>

Aurinkolämpö Motiva Oy (2020). Aurinkolämpö. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo)

Cervi (2021). Koneellinen ilmanvaihto. 10.6.2021 Puhdas sisäilma. Saatavilla:

<https://www.cervi.fi/koneellinen-ilmanvaihto>

Eberle (2021). Lattiatermostaatti Eberle 525 31-E/i40 16A. Saatavilla:

[https://pistesarjat.fi/fi/eberle-525-31-e-16a?gclid=CjwKCAjwtfqKBhBoEiwAZuesiDf6PfSAUIZ3IM8NtLM797nGC6SBZLo4TLA75wwC6d\\_Um0vjNqgLtBoCkWcQAvD\\_BwE](https://pistesarjat.fi/fi/eberle-525-31-e-16a?gclid=CjwKCAjwtfqKBhBoEiwAZuesiDf6PfSAUIZ3IM8NtLM797nGC6SBZLo4TLA75wwC6d_Um0vjNqgLtBoCkWcQAvD_BwE)

Energiamaailma (2020). Kaukolämpö. Suomi on kaukolämmön edelläkävijä. Saatavilla:

<https://energiamaailma.fi/mista-virtaa/kaukolampo/>

Energiateollisuus ry (2021). Palvelut ja tuotteet. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku.

Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Glamox (2021). GLAMOX LÄMMITYS — SILLÄ SE KANNATTAA. Saatavilla:

[https://glamox.com/upload/2011/04/27/varmebrosjyre\\_august10\\_fi\\_web.pdf](https://glamox.com/upload/2011/04/27/varmebrosjyre_august10_fi_web.pdf)

Ilmasto-opas (2018). Rakennusten lämmitys kuluttaa runsaasti energiaa. Saatavilla:

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1->

[4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html](https://www.kattohukka.fi/4fd7-a757-175aca58b441/rakennusten-lammitys-kuluttaa-runsaasti-energiaa.html)

Kattohukka (2021). Lue lisää lämpöhulasta. Saatavilla: <https://www.kattohukka.fi/lue-lisaa-lampohukasta/>

Lämmitysenergiankulutus Motiva Oy (2020). Lämmitysenergiankulutus. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa\\_ energian- ja\\_ vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_ energian- ja_ vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus)

Lämpöpumput Motiva Oy (2020). Lämpöpumput. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_ energia/lampopumput](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_ energia/lampopumput)

Lämpöpumput opas Motiva Oy (2020). Lämpöpumppujen hankintaopas kunnille ja taloyhtiöille. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_ energia/lampopumput/lampopumppujen\\_hankintaopas\\_kunnille\\_ ja\\_ taloyhtiöille](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_ energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ ja_ taloyhtiöille)

Mika Raatikainen (2016). INTELLIGENT KNOWLEDGE DISCOVERY ON BUILDING ENERGY AND INDOOR CLIMATE DATA. Väitöskirja. Saatavilla: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526213804.pdf>

Motiva käyttäjien opas (2016a). Kiinteistön energiankäyttö. Kiinteistöjen käyttäjien opastus. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_ energian kaytto/kiinteistojen\\_kayttajien\\_opastus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_ energian kaytto/kiinteistojen_kayttajien_opastus)

Motiva kulutusseuranta (2016b). Kiinteistön energiankäyttö. Kulutusseuranta. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_ energian kaytto/kulutusseuranta](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_ energian kaytto/kulutusseuranta)

Motiva lämmitysverkosto (2017). Kiinteistön energiankäyttö. Lämmitysverkoston perussäätö. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_ energian kaytto/lammitysverkoston\\_perussaato](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_ energian kaytto/lammitysverkoston_perussaato)

Motiva ilmastointijärjestelmät (2020a). Kiinteistön energiankäyttö. Ilmastointijärjestelmät. Saatavilla:

[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian\\_kaytto/ilmastointijarjestelmat](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/ilmastointijarjestelmat)

Motiva Maalämpöpumput (2020b). Maalämpöpumppu, MLP. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelma\\_n\\_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu\\_mlp](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelma_n_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp)

Motiva (2021a). Pientalon lämmitysjärjestelmät. Saatavilla: <http://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>

Motiva patterit (2021b). Huonelämpötilat, patterit ja termostaatit. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/remontoi\\_ja\\_huolla/energiatehokas\\_sahkolammitys/huonelampotilat\\_patterit\\_ja\\_thermostaatit](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatehokas_sahkolammitys/huonelampotilat_patterit_ja_thermostaatit)

NollaE (2020). Energiatehokkuuden optimointi on taloudellisen nollahiilirakentamisen edellytys. Saatavilla: <https://www.nollae.fi/energiatehokkuuden-optimointi-on-taloudellisen-nollahiilirakentamisen-edellytys/>

Rakennusten lämmöneristys (2008). Ympäristöministeriön asetusrakennusten lämmöneristyksestä. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavilla: [file:///C:/Users/OWNER/AppData/Local/Temp/34163-C3-2010\\_suomi\\_221208.pdf](file:///C:/Users/OWNER/AppData/Local/Temp/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf)

Sisäilmasto ja ilmanvaihto- opas (2020). Talotekniikkainfo julkaistu (<https://www.talotekniikkainfo.fi>). Saatavilla: [file:///C:/Users/OWNER/AppData/Local/Temp/talotekniikkainfo\\_sis%C3%A4ilmasto\\_ja\\_ilmanvaihto\\_opas\\_p%C3%A4ivitetty\\_10.6.2020.pdf](file:///C:/Users/OWNER/AppData/Local/Temp/talotekniikkainfo_sis%C3%A4ilmasto_ja_ilmanvaihto_opas_p%C3%A4ivitetty_10.6.2020.pdf)

Suomen rakentamismääräyskokoelma (2018). Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Saatavilla: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81\\_75E1\\_4CA0\\_B208\\_B0ACB60A267F-133692.pdf/277c79e7-2a12-](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](https://www.ymparisto.fi/FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/5052-ba33-cb2e2c8709ab/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf?t=1603260201597)

Tasauslaskentaopas (2018). Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Saatavilla:

[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)

Tilastokeskus (2021). Käsitteet. Energiatase. Saatavilla: [https://www.ymparisto.fi/FI/Rakentaminen/Rakennuksen energia ja ekotehokkuus](https://www.ymparisto.fi/FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus)

Tomallen (2021). Poistoilman lämmön talteenotto-opas. Saatavilla: <https://www.tomallensenera.fi/lataa-poistoilman-lammon-talteenotto-opas?hsCtaTracking=e88919b4-eb5f-49f7-9de7-422574de4a1c%7Cf0e9814b-4c64-4202-8936-b9aba1885558>

Työ- ja elinkeinoministeriö (2014). Pienimuotoisen energiantuotannon edistämistyöryhmän loppuraportti. 6 Tekniset, hallinnolliset ja tiedon saatavuuteen liittyvät esteet ja niiden poistaminen viime vuosina. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/2859687/Pienimuotoisen+energiatuotannon+edist%C3%A4misty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+16122014.pdf/a6de0acf-3a12-4eb2-9022-5d7756ac820b/Pienimuotoisen+energiatuotannon+edist%C3%A4misty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+16122014.pdf?version=1.0&t=1465460851000>

Ympäristöministeriö (2012). D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. s. 11-76. Saatavilla: <file:///C:/Users/OWNER/AppData/Local/Temp/D5-2012-Rakennuksen%20energiankulutuksen%20ja%20%C3%A4mmitystehontarpeen%20laskenta,%20luonnos%2014-3-2012.pdf>

Yubo Wang, Zhenhua Quan, Heran Jing, Lincheng Wang, Yaohua Zhao (2021).  
Performance and operation strategy optimization of a new dual-source  
building energy supply system with heat pumps and energy storage. Saatavilla:  
[https://www.sciencedirect-  
com.proxy.uwasa.fi/science/article/pii/S0196890421003800](https://www.sciencedirect.com.proxy.uwasa.fi/science/article/pii/S0196890421003800)

## Liitteet

### Liite 1. Energiankulutus

laskutuspäivä	kuukausi 2020-2021	Kulutus (kWh)	Hinta sis. alv (euroa)
11.5.2020	huhtikuu	1571,61	215,6
9.6.2020	toukokuu	1174,97	164,96
9.7.2020	kesäkuu	1151,33	163,08
13.8.2020	heinäkuu	961,05	135,07
8.9.2020	elokuu	948,45	133,7
13.10.2020	syyskuu	844,93	121,04
12.11.2020	lokakuu	1791,7	238,64
8.12.2020	marraskuu	2635,64	338,77
13.1.2021	joulukuu	2541,5	326,47
15.2.2021	tammikuu	3356,31	411,28
10.3.2021	helmikuu	3548,39	433,51
9.4.2021	maaliskuu	2984,84	366,68
11.5.2021	huhtikuu	1871,87	236,63

### Liite 2. Päivä ja yö kulutus

	päivä siirto (kWh)	euroa	yö siirto (kWh)
huhtikuu	1253,8	38,37 €	317,72
toukokuu	937,76	28,70 €	236,77
kesäkuu	978,32	29,94 €	172,71
heinäkuu	832,93	25,49 €	127,75
elokuu	833,02	25,49 €	115,13
syyskuu	764,51	23,39 €	80,08
lokakuu	1485,16	45,45 €	306,14

marraskuu	1879,9	57,52 €	755,48
joulukuu	1776,54	54,36 €	764,56
tammikuu	2295,2	70,23 €	1060,82
helmikuu	2401,23	73,48 €	1146,86
maaliskuu	2002,49	61,28 €	982,12
huhtikuu	1319,79	40,39 €	551,86

### Liite 3. Ilmastoinnin data

1 LAITETUNNUS	2 LAITETYYPPI VAIKUTUSALUE	3 SIJAINTI HUONE n:o TOINITTAA	4 LAITTEEN TOIMINTA		
			ILMAVIRTA dm <sup>3</sup> /s	ALUE °C/(h)	PUHE-ERO KPS
			NESTEVIRTA dm <sup>3</sup> /s	ALUE °C	PUHE-ERO KPS
1 TK-1.1	Tuloilmapuhallin 1 ja 2 kerros	2k. kapeh IU	590/295		55
2 PO-1.2	Poistopuhallin 1 ja 2 kerros	2k. kapeh IU	620/310		50
3 LP-1.3	Lämpöpöytä sähk. sähk. TK-1.1	TK-1.1 IU	590	-2 ... +20	
4 LT-1.4	Levykylmälämpösiirtin TK-1.1 / PO-1.2	2k. kapeh. IU	+590/-620	( $\eta = 53\%$ )	
5 F2-1.5	Raajoittamattomasti TK-1.1	2k. kapeh. IU			
5 F2-1.6	Poistoilmapuhallin PO-1.2	2k. kapeh. IU			
PD 1-1.2	Suodatuspaineimittori Tuloilmapuhallin	Tulosuod. IU			