



Roope Tapionlinna

Energiaoptimointi varastokiinteis- tössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

23.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Roope Tapionlinna
Otsikko:	Energiaoptimointi varastokiinteistössä
Sivumäärä:	50 sivua + 2 liitettä
Aika:	23.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Kiinteistöjohtaminen
Ohjaajat:	Maajohtaja Markus Pentikäinen, Pelican Self Storage Finland Lehtori Sergio Rossi

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää varastokiinteistön energiaoptimoinnin mahdollisuuksia käyttäen hyväksi olemassa olevaa dataa ja ehdottaa konkreettisia toimenpiteitä kaukolämmön ja sähkön kulutuksen vähentämiseksi. Opinnäytetyön tilaajana toimi Pelican Self Storage Finland.

Tutkimusaineisto kerättiin kiinteistön historiatiedoista, rakennusautomaation seurannasta ja sisäilman lämpötila- ja kosteusantureiden tuottamasta datasta. Lisäksi kustannustietoja hankittiin eri toimittajien tarjousaineistoista.

Lähtötilanteen analyysissä arvioitiin taloteknisten järjestelmien nykytilaa, energian kulutusta eri käyttötarkoituksissa ja mahdollisia energiansäästökohteita. Näiden pohjalta tutkittiin realistisia energiaoptimointitoimenpiteitä, jotka soveltuvat esimerkkikiinteistöön, ja niiden vaikutuksia kaukolämmön ja sähkön kulutukseen.

Lisäksi arvioitiin esitettyjen toimenpiteiden taloudellista kannattavuutta, takaisinmaksuaikoja, elinkaarikustannuksia ja toimenpiteisiin liittyviä riskejä.

Opinnäytetyössä laadittiin selvitystyön pohjalta kohdekiinteistölle soveltuvat, käytännönläheiset energiaoptimoinnin toimenpiteet ja suositukset, sekä selkeästi esitetyt laskelmat toimenpiteiden kannattavuudesta Pelican Self Storagen kiinteistöstrategia huomioiden. Opinnäytetyössä esitettyjä toimenpiteitä voidaan soveltaa myös useisiin muihin Pelican Self Storage Finlandin kiinteistöihin.

Avainsanat: varastokiinteistö, optimointi, energiatehokkuus, investoinnin kannattavuus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Roope Tapionlinna
Title: Energy Optimization in Warehouse
Number of Pages: 50 pages + 2 appendices
Date: 23 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: Property Management
Supervisors: Markus Pentikäinen, Country Manager, Pelican Self Storage Finland
Sergio Rossi, Senior Lecturer

The aim of the final year project was to examine the possibilities of energy optimization in a warehouse property utilizing existing data and to propose concrete measures to reduce the consumption of district heating and electricity.

The research data was collected from the property's historical records, building automation monitoring, and data produced by indoor temperature and humidity sensors. Additionally, cost information was obtained from various suppliers' quotation materials.

In the initial situation analysis, the current state of building technical systems, energy consumption in different uses, and potential energy-saving targets were evaluated. Based on these, realistic energy optimization measures suitable for the property were studied, along with their effects on the consumption of district heating and electricity. Furthermore, the economic feasibility, payback periods, life cycle costs, and associated risks of the proposed measures were assessed.

As a result of the final year project, practical energy optimization measures and recommendations tailored to the property were developed, along with clearly presented calculations of the profitability of the measures, considering the client's property strategy. The measures proposed in the bachelor's thesis can also be applied to several other of the client's warehouses.

Keywords: warehouse property, optimization, energy efficiency, investment profitability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esimerkkikiinteistön perustiedot	2
2.1	Kiinteistön esittely	2
3	Lähtötilanteen analyysi	4
3.1	Varastokiinteistön energiakulutus- ja tehokkuus	4
3.2	Kiinteistön energiatehokkuuden analyysi	5
3.3	Järjestelmät	9
3.3.1	Lämmitys	9
3.3.2	Ilmanvaihto	10
3.3.3	Rakennusautomaatio	12
3.3.4	Valaistus	15
4	Energiaoptimoinnin toimenpide-ehdotukset	16
4.1.1	Sisävalaistuksen päivittäminen	16
4.1.2	Lämpötilan laskeminen	19
4.1.3	Lämmityksen tehojousto	23
4.1.4	Ilmanvaihdon optimointi	26
4.1.5	Aurinkosähköjärjestelmä	29
5	Toimenpiteiden kannattavuus	33
5.1	Investointien kannattavuuslaskelmat ja herkkyystarkastelut	33
5.1.1	Sisävalaistuksen päivittämisen kannattavuus	33
5.1.2	Sisälämpötilan alentamisen kannattavuus	36
5.1.3	Lämmityksen tehojouston hyödyntämisen kannattavuus	38
5.1.4	Ilmanvaihdon optimoinnin kannattavuus	40
5.1.5	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus	41
5.2	Toimenpiteiden riskit	44
5.2.1	Sisävalaistuksen päivittämisen riskit	44
5.2.2	Lämpötilan laskemisen riskit	45

5.2.3	Lämmityksen tehojoustop riskit	45
5.2.4	Ilmanvaihdon optimoinnin riskit	46
5.2.5	Aurinkosähköjärjestelmän riskit	47
6	Yhteenveto	49
	Lähteet	51

Liitteet

Liite 1: Pelican Tammisto - Energiatodistus

Liite 2: Toimenpiteiden LCC-laskelma ja herkkyysanalyysi

Lyhenteet

DKV: Diskontattu kassavirta.

E-luku: Rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku.

KV: Kassavirta.

LCC: *Life Cycle Costing*. Elinkaarikustannuslaskelma.

LP: Lämpöpatteri.

LTO: Lämmöntalteenotto.

ROI: *Return on Investment*. Sijoitetun pääoman tuotto.

1 Johdanto

Ympäristöystävälliset ja energiataloudelliset ratkaisut ovat nousemassa keskeiseksi tekijöiksi modernissa yhteiskunnassa. Tämä opinnäytetyö keskittyy näihin teemoihin varastokiinteistön energiaoptimoinnin kontekstissa, ja työssä tarkastellaan erityisesti Pelican Self Storage Finlandin tarpeita ja käytäntöjä. Opinnäytetyön esimerkkikohteena toimii Pelican Self Storagen Tammiston toimipiste.

Energiaoptimoinnin tutkimukselle varastokiinteistössä on tarve, jotta voidaan sopeutua ilmastonmuutokseen, vähentää ympäristövaikutuksia sekä leikata kiinteistöjen ylläpitokustannuksia. Yleisen arvion mukaan rakennuksissa käytetään lähes 40 % kokonaisenergian kulutuksesta, ja rakentaminen, rakennusten lämmitys ja sähkönkäyttö aiheuttavat yli 30 % kasvihuonekaasupäästöistä [1]. Varastokiinteistöjen tehokkailla energiaratkaisuilla voidaan osaltaan vaikuttaa näihin päästöihin. Energiakustannukset muodostavat lisäksi merkittävän osan kiinteistöjen kokonaiskustannuksista, joten energiaoptimointi tuo huomattavaa taloudellista hyötyä [2].

Energiaoptimoinnin käsittely opinnäytetyön aiheena kumpusi mielenkiinnosta opinnäytetyön tekijän vastaamien kiinteistöjen energiankulutukseen sekä työn tilaajan, Pelican Self Storage Finlandin, tarpeesta leikata kiinteistön ylläpitokustannuksia. Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa käytännönläheisiä suosituksia ja ratkaisuja Pelican Self Storagen omistajille ja sijoittajille energiatehokkuuden parantamiseksi. Tutkimusten kautta pyritään tarjoamaan konkreettisia käytäntöjä, joita voidaan soveltaa esimerkkikiinteistössä. Opinnäytetyöstä on rajattu pois energiansäästötoimenpiteet, joita ei ole mahdollista tai järkevää suorittaa esimerkkikiinteistössä. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi lisälämmöneristämisen ja maalämpöjärjestelmän asentaminen.

Tuloksien asianmukainen tulkinta vaatii rajoitusten tunnistamista. Opinnäytetyössä keskitytään tiettyihin teknologisiin ratkaisuihin ja liiketoimintamalleihin,

eikä näiden rajojen puitteissa syntynyttä tietoa voida välttämättä yleistää kaikkiin varastokiinteistöihin.

Pelican Self Storage on kansainvälinen yritys, joka tarjoaa asiakkailleen lämmitettyjä itsepalveluvarastoja useissa maissa. Pelican Self Storage Finland on osa tätä laajempaa verkostoa ja toimii Suomessa 16 toimipisteessä. Pelican Self Storage Finland on toiminut Suomessa vuodesta 2009 lähtien. [3.] Työssä on hyödynnetty opinnäytetyön tekijän kohdetuntemusta.

2 Esimerkkikiinteistön perustiedot

2.1 Kiinteistön esittely

Energiatehokkuuden näkökulmasta kiinnostavaksi opinnäytetyön kohteeksi valikoitui vuonna 2015 valmistunut Pelicanin itsepalveluvarasto, joka sijaitsee Vantaan Tammistossa. Tämä moderneilla ratkaisuilla suunniteltu rakennus tarjoaa esimerkin siitä, miten energiatehokkuutta voidaan parantaa myös itsepalveluvarastojen kaltaisissa, yksinkertaisissa kiinteistöissä. Pelican Tammiston varastokiinteistön kautta pyritään osoittamaan, miten energiatehokkuutta voidaan tarkastella ja soveltaa myös tällaisissa rakennuksissa. Tämä opinnäytetyö osoittaa, että energiatehokkuuden parantaminen ei ole sidottu rakennuksen kokoon tai järjestelmien monimutkaisuuteen, vaan se voi olla saavutettavissa myös yksinkertaisimmissa rakennustyypeissä. Kuvassa 1 on Pelican Tammiston sisäänkäynnin puoleinen julkisivu.



Kuva 1. Pelican Self Storage, Tammiston toimipisteen sisäänkäynnin puoleinen julkisivu.

Pelican Tammiston lämmitetty nettoala on 5191 neliometriä jakautuen viiteen kerrokseen, joita yhdistää kaksi tavarahissiä. Rakennuksen välipohjat on toteutettu teräsbetonista, ja ulkoseinät koostuvat sandwich-elementeistä, jotka tarjoavat riittävän tehokkaan eristyksen ja rakenteellisen vahvuuden varastokäyttöön. Rakennuksen kattoratkaisuna on kumibitumikermillä päällystetty tasakatto, joka sekä suojaa rakennusta säältä että mahdollistaa aurinkopaneelien asentamisen tulevaisuudessa. [4.]

Rakennuksen lämmönlähteenä toimii kaukolämpö. Myymälätilaan on asennettu erillinen ilmalämpöpumppu vuonna 2023 tarkoituksena optimoida myymälän työntekijöiden työolosuhteet mahdollisimman energiatehokkaasti sekä kesällä että talvella.

Rakennuksessa on tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Pääilmanvaihtokone palvelee varastotiloja ja pienempi kone myymälätilaa. Kiinteistö on liitetty kunnan vesi- ja viemäriverkkoon. Kaikki kiinteistön vesipisteet sijaitsevat

ensimmäisessä kerroksessa. Lämpimän veden kulutus on hyvin vähäistä, joten lämpimän käyttöveden tuotanto on päätetty toteuttaa vesipistekohtaisilla lämminvesivaraajilla.

Rakennuksen maatasossa sijaitsee 20 käsikäyttöisillä nosto-ovilla varustettua, autotallityylistä Drive-Up-varastoa.

3 Lähtötilanteen analyysi

3.1 Varastokiinteistön energiakulutus- ja tehokkuus

Varastokiinteistöjen energiakulutuksen ja -tehokkuuden tarkastelu on tärkeä osa nykyaikaista rakennusten hallintaa ja ympäristövastuullista suunnittelua. Tämä pätee erityisesti tiloihin, joissa energiatehokkuudella on suora vaikutus niin liiketoiminnan kustannuksiin kuin hiilijalanjälkeenkin. Tutkimalla kiinteistön energiakulutuksen ja -tehokkuuden piirteitä voidaan saada arvokasta tietoa siitä, miten tämänkaltaisissa tiloissa on mahdollista optimoida energiankäyttöä ja samalla edistää kestävä kehityksen periaatteita. Tässä luvussa tarkastellaan Pelican Tammiston varastokiinteistön energiakulutuksen haasteita, ratkaisuja ja niiden vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen.

Rakennukselle on vuonna 2023 laadittu energiatodistus Rejlers Rakentaminen Oy:n toimesta. Energiatodistuksen mukaan rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, E-luku, on $43 \text{ kWh}_E / (\text{m}^2 \text{ vuosi})$. Rakennuksen E-luku, ilmaistuna yksikössä $\text{kWh}_E / (\text{m}^2/\text{vuosi})$, määritellään laskemalla rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergian kulutus, joka on painotettu energiamuotojen kertoimilla, jaettuna rakennuksen lämmitetyn nettoalan (A_{netto}) vuotuisella määrällä [5, s.4].

Itsepalveluvarasto on luokiteltu käyttötarkoitukseluokkaan 9, joka kuuluu luokkaan ”muut rakennukset”. Tähän samaan luokkaan kuuluvat esimerkiksi uimahallit, jäähallit ja alle 2000 m^2 :n kokoiset päivittäistavara-kaupat. [5, s.26.] Luokitustiedot osoittavat, että kyseinen rakennus on energiatehokkuusluokassa A

(taulukko 1). Energiatehokkuusluokitus antaa yleiskuvan rakennuksen kokonaisenergiatehokkuudesta.

Taulukko 1. Energiatehokkuuden luokitteluasteikko: Muut rakennukset (käyttötarkoitukseluokka 9) [5, s.26].

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh_E/(m²vuosi))
A	E-luku ≤ 90
B	91 ≤ E-luku ≤ 130
C	131 ≤ E-luku ≤ 170
D	171 ≤ E-luku ≤ 190
E	191 ≤ E-luku ≤ 240
F	241 ≤ E-luku ≤ 280
G	281 ≤ E-luku

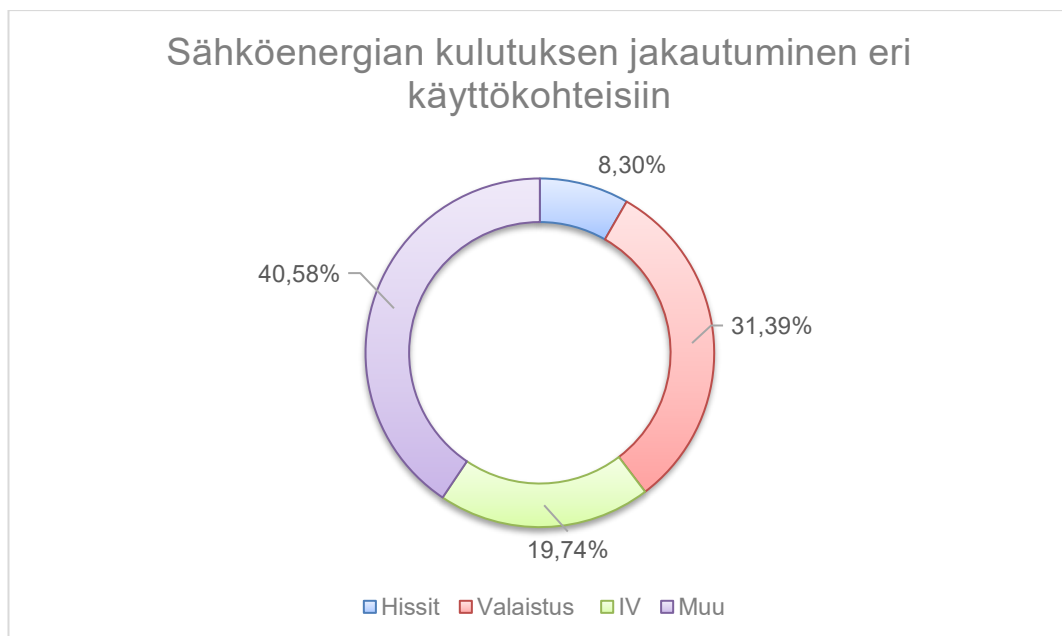
3.2 Kiinteistön energiatehokkuuden analyysi

Kiinteistön energiatehokkuuden analyysi on olennainen osa kestävän ja taloudellisen rakennuksen ylläpitoa. Analyysi tarjoaa mahdollisuuden tarkastella kiinteistön nykyistä energiankulutusta, tunnistaa tehokkuuden parantamisen mahdollisuuksia ja kehittää strategioita energiatehokkuuden optimoimiseksi. Järjestelmien ja laitteiden tarkastelulla pyritään paitsi vähentämään ympäristövaikutuksia myös säästämään kustannuksia energiankäytössä.

Energiatodistuksessa on esitetty toteutuneet ostoenergian kulutukset seuraavasti: kaukolämmön ostoenergia 58 820 kWh/vuosi ja sähkön ostoenergia 58 590 kWh/vuosi. Tätä raporttia laadittaessa on ollut saatavilla luotettavat kulutustiedot vuodesta 2017 alkaen, joten näitä tietoja hyödynnetään energiankulutuksen kehittymisen seurannassa. Todelliset vuosikulutukset sähkö- ja kaukolämpöenergialle on esitetty kuvissa 2 ja 3. Sähköenergian kulutustiedot on kerätty Vantaan Energian sähköverkot Oy:n, kiinteistöjen omistajille tarjoamasta

raportointipalvelusta, ja kaukolämmön kulutustiedot on haettu Vantaan Energian tarjoamasta, kiinteistönomistajan raportointikansio.fi -verkkopalvelusta [6; 7].

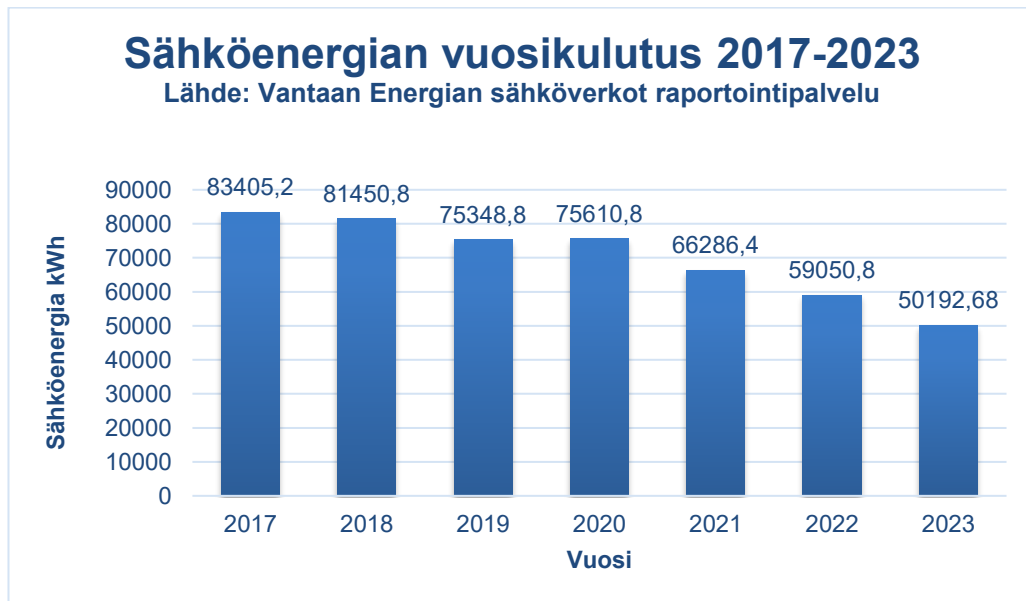
Kiinteistön sähkön päämittauksen lisäksi kiinteistöön on asennettu sähkön alamittaus hisseille, ilmanvaihdolle sekä valaistukselle. Helmikuuhun 2024 mennessä kokonaissähkötulutus on ollut 629,92 MWh. Kohteen alamittareista on kerätty tieto sähkön jakautumisesta eri käyttökohteisiin seuraavasti: Hissit ovat kuluttaneet 52,25 MWh, valaistus 197,70 MWh, ilmanvaihto 124,33 MWh ja muut sähkölaitteet, kuten sähköiset ajoportit, valvontakamerat ja kulunvalvonta, ovat yhteensä kuluttaneet 255,64 MWh kiinteistön kokonaissähköstä.



Kuva 2. Ympyrädiagrammi kiinteistön sähköenergian jakautumisesta eri käyttökohteisiin.

Tämän tiedon perusteella pystytään kartoittamaan sähköenergian säästökohteita kiinteistöllä. Koska hissien käyttöä, kulunvalvontaa, ajoporttien toimintaa tai valvontakameroiden käyttöä ei voida rajoittaa, keskittyvät sähköenergian

säästötoimenpiteet valaistukseen ja ilmanvaihtoon. Kuvassa 3 on esitetty sähköenergian vuosikulutukset vuosina 2017–2023.



Kuva 3. Pelican Tammiston sähköenergian vuosikulutus 2017–2023 [6].

Vuonna 2017 neliökohtainen vuosittainen sähköenergian kulutus oli 16,07 kWh/m²/vuosi. Vuoteen 2023 mennessä sähköenergian kulutusta on onnistuttu vähentämään 39,8 % vuoden 2017 tasosta neliökohtaisen vuosikulutuksen ollessa 9,66 kWh/m²/vuosi.

Kuvassa 4 on esitetty kiinteistön kaukolämmön vuosikulutukset sekä ulkoilman keskilämpötilat vuosina 2017–2023.



Kuva 4. Kiinteistön kaukolämpöenergian vuosikulutus ja keskilämpötila 2017–2023 [7].

Vuonna 2017 kaukolämmön kulutus oli 31,35 kWh/m². Vuoteen 2023 mennessä kaukolämmön kulutusta on onnistuttu vähentämään 69,8 % vuoden 2017 tasta neliökohtaisen vuosikulutuksen ollessa 9,54 kWh.

Kuvassa 5 on esitetty opinnäytetyön liitteenä olevan energiatodistuksen arvio energian nettotarpeesta.

Energian nettotarve		
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Tilojen lämmitys ²	32740	6
Ilmanvaihdon lämmitys ³	41649	8
Lämpimän käyttöveden valmistus	575	0
Jäähdytys		
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa		
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa		

Kuva 5. Kohdekiinteistön arvioitu energian nettotarve. Kuva on ote kohteen energiatodistuksesta, joka on opinnäytetyön liitteessä 1.

Kuvassa 6 on esitetty opinnäytetyön liitteessä 1 olevan energiatodistuksen arvio rakennuksen teknisten järjestelmien lämpö- ja sähköenergian kulutuksesta.

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus			
	Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä			
Tilojen lämmitys ¹	2,6	7,7	-
Tuloilman lämmitys		8,0	-
Lämpimän käyttöveden valmistus	0,2		-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	6,7	-	-
Jäähdytysjärjestelmä			
Kuluttajalaitteet ja valaistus	19,3	-	-
YHTEENSÄ	28,8	15,7	0,0

¹ Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Kuva 6. Rakennuksen teknisten järjestelmien arvioitu kulutus. Kuva on ote kohteen energiatodistuksesta, joka on opinnäytetyön liitteenä.

3.3 Järjestelmät

3.3.1 Lämmitys

Varastokiinteistön lämmitysjärjestelmän lähtötilanteen kartoitus on keskeinen tekijä, kun tarkastellaan kiinteistön kokonaistehokkuutta ja energiaoptimointia. Lämmitysjärjestelmän toimivuus vaikuttaa suoraan tilojen käyttömukavuuteen sekä energiakustannuksiin. Jotta voidaan ymmärtää paremmin lämmitysjärjestelmän nykytilaa ja sen haasteita, on tarve kartoittaa lämmitysjärjestelmän lähtötilanne. Tämä tarjoaa mahdollisuuden arvioida nykyisten ratkaisujen tehokkuutta ja hahmottaa potentiaalisia parannuskohteita, jotka voivat edistää energiatehokkuutta ja kestäväää lämmitystä varastokiinteistössä.

Rakennuksen lämmönlähteenä käytetään kaukolämpöä, jonka alajakokeskus on alkuperäisasennus vuodelta 2015. Lämmönjako on toteutettu kaikki tilat kattavalla vesikiertoisella lattialämmityksellä. Sisätiloja lämmitetään lisäksi esilämmitetyillä tuloilmalla. Kaukolämmön alajakokeskuksessa on kaksi lämmönsiirrintä, joista toinen palvelee vesikiertoista lattialämmitystä (LS1, 47 kW) ja toinen ilmanvaihdon lämmityspatteria (LS2, 41 kW). Lämmönsiirrinten tehokkuus on

osoittautunut erinomaiseksi varastokäytössä olevan rakennuksen lämmittämiseen.

Lämmitystä on ohjattu Leanheat-järjestelmällä joulukuusta 2023 lähtien. Myymälätiloihin on asennettu lisäksi ilmalämpöpumppu tarkoituksena laskea varastotilojen lämpötilaa energian säästämiseksi samalla kuitenkin vaikuttamatta myymälän henkilökunnan ja asiakkaiden olosuhteisiin.

3.3.2 Ilmanvaihto

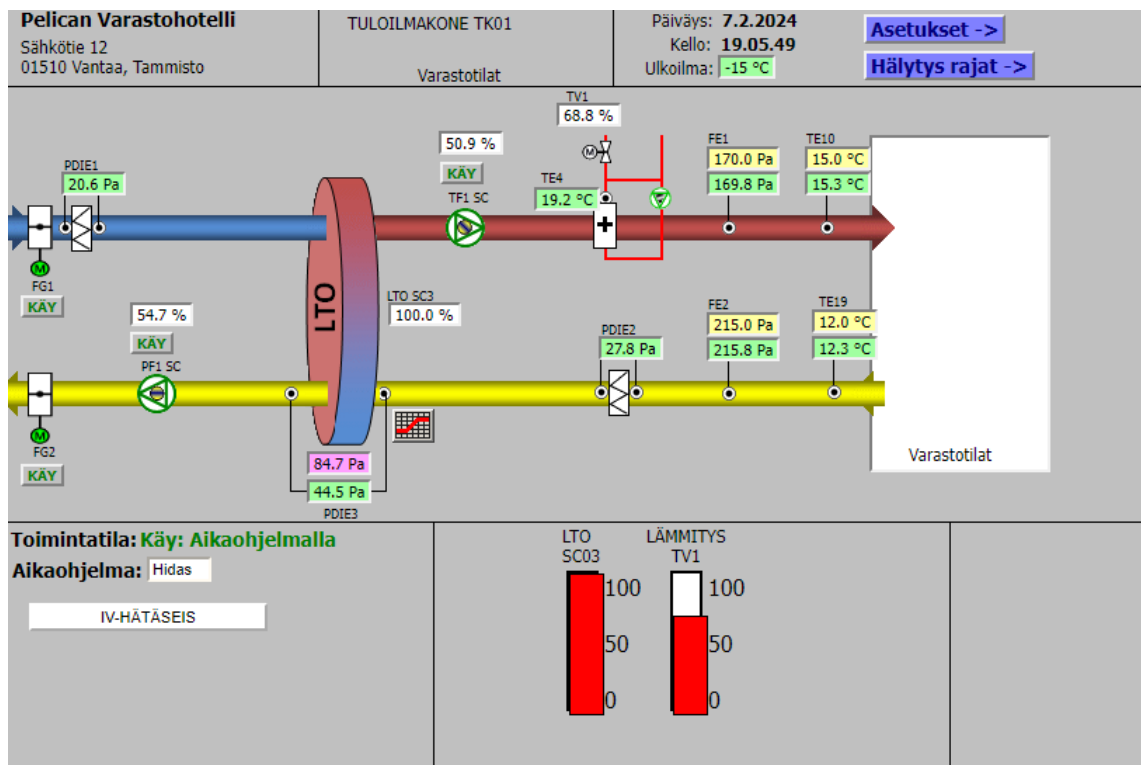
Varastokiinteistön ilmanvaihtojärjestelmä muodostaa olennaisen osan tilojen toimivuutta ja energiatehokkuutta. Ilmanvaihdon lähtötilanne vaikuttaa suoraan varastotilan ilman laatuun sekä kokonaisenergiakustannuksiin. Ilmanvaihdon nykytilanteen selvityksellä on mahdollista saada arvokasta tietoa järjestelmän tehokkuudesta ja tunnistaa mahdollisia kehityskohteita. Tämä antaa mahdollisuuden parantaa energiatehokkuutta ja samalla luoda terveellisemmän sisäilman varastokiinteistössä.

Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla. Tiloja palvelee kaksi ilmanvaihtokonetta. Suurempi taajuusmuuttajaohjattu ilmanvaihtokone (TK01), jonka ilmavirta on 1,5 m³/s, palvelee varastotiloja. Kyseinen ilmanvaihtokone on varustettu lämmöntalteenotolla (kiekko) sekä vesikiertoisella lämmityspatterilla. Suuremman ilmanvaihtokoneen toimintoja ohjataan rakennusautomaation avulla. Tarkasteluhetkellä suuremman ilmanvaihtokoneen käyntiaikoja säädetään aikaohjelmalla. Nopeassa ohjelmassa taajuusmuuttaja säättää puhallinta 85–95 %:iin puhaltimen maksiminopeudesta, mikä tuottaa ilmavirran välillä 1,28–1,43 m³/s. Hitaassa ohjelmassa taajuusmuuttaja säättää puhallinta välillä 45–67 %, ja ilmavirta vaihtelee välillä 0,68–1 m³/s. [8.]

Pienemmällä ns. pakettikoneella (TK02), jonka ilmavirta on 0,5 m³/s, huolehditaan myymälätilan ilmanvaihdosta. Kyseisessä ilmanvaihtokoneessa on levylämmöntalteenotto sekä lämmityspatterit. Etulämmitysyksikkönä, LP1, toimii sähköinen lämmityspatteri ja jälkilämmitysyksikkönä, LP2, toimii vesikiertoinen

jälkilämmityspatteri. Tämän ilmanvaihtokoneen ohjausta ei ole integroitu rakennusautomaatiojärjestelmään, vaan sitä ohjataan myymälätilassa sijaitsevalla ohjauspaneelilla. Tarkasteluhetkellä ohjauspaneelissa ilmanvaihdon nopeudeksi oli asetettu 2/8, mikä vastaa noin 27,5–37,2 %:a maksimitehosta. Lisäksi tuloilman tavoitelämpötilaksi oli määritetty +18 °C.

Kuvassa 7 on esitetty ilmanvaihtokoneen TK01 lähtötilanteen graafinen näkymä rakennusautomaatiossa.



Kuva 7. Ilmanvaihtokoneen TK01 graafinen näkymä rakennusautomaatiossa [8].

Ilmanvaihtokoneen ohjauksen lähtötilanteen aikaohjelmat rakennusautomaatiossa on esitetty kuvassa 8.

Aikaohjelma PELICAN_TAMMISTO_211.01_G3.301_T						
	Peruuta	Tallenna	Kopioi tapahtumat	Kopioi pisteestä		
Ma	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Ti	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Ke	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
To	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Pe	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
La	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Su	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		

Aikaohjelman tilat

0 - Seis

1 - Hidas

2 - Nopea

Kuva 8. Ilmanvaihtokoneen aikaohjelmat – lähtötilanne [8].

3.3.3 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatio on olennainen osa modernia kiinteistöjen hallintaa. Rakennusautomaatio tarjoaa älykkään ja automatisoidun lähestymistavan erilaisien järjestelmien ohjaukseen ja seurantaan. Rakennusautomaation avulla voidaan optimoida kiinteistön energiatehokkuutta, parantaa käyttömukavuutta ja vastata tehokkaasti erilaisiin ympäristöhaasteisiin. Käymällä läpi järjestelmän nykytilaa voidaan tunnistaa sen vahvuudet ja mahdolliset kehityskohteet, joilla voidaan parantaa rakennuksen kokonaistehokkuutta ja tuoda esiin rakennusautomaation merkitys nykyaikaisessa kiinteistöjen hallinnassa.

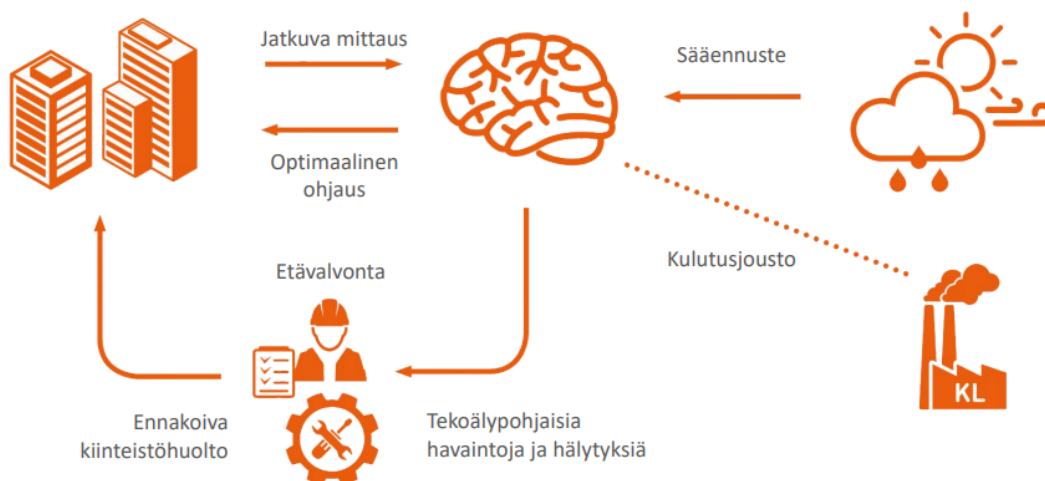
Kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmänä toimii Fidelix FX2030A, joka on alkuperäisasennus rakennusvuodelta 2015. Rakennusautomaatiolla ohjataan kiinteistön ilmanvaihtoa, valaistusta, saattolämmityksiä, sekä sisätilojen lämmitystä.

Joulukuussa 2023, kiinteistöön on asennettu Danfossin valmistama Leanheat-järjestelmä. Järjestelmä sisältää 35 paristokäyttöistä huoneanturia, jotka on strategisesti sijoitettu rakennuksen sisätiloihin. Nämä huoneanturit ovat

integroitu Leanheat-pilvipalveluun, ja ne suorittavat jatkuvaa mittausta sisätilojen lämpötilasta ja ilmankosteudesta.

Järjestelmä kerää reaaliaikaista dataa huoneantureiden avulla, ja tämä tieto siirretään Leanheat-pilvipalveluun analysoitavaksi. Analyysin perusteella järjestelmä hyödyntää tekoälyä ja algoritmeja ennustaakseen tulevaa lämmitystarvetta. Tämän tiedon avulla pyritään optimoimaan lämmitysjärjestelmä vastamaan tarkasti rakennuksen todellista lämmitystarvetta. [9.]

Leanheatin lämmityksen ohjauksen ja ennakoivan ylläpidon prosessikaavio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Leanheatin älykään lämmityksen ohjauksen ja ennakoivan ylläpidon prosessikaavio [9].

Leanheat-järjestelmä antaa toimintasuosituksia rakennuksen automaatiojärjestelmälle tai muille ohjauslaitteille. Lisäksi se mahdollistaa ennakoivan lämmityksen säädön, joka varmistaa sisäilman tasaisen lämpötilan välttämällä samalla energiahukkaa. Esimerkkikohteessa Leanheat-järjestelmä on integroitu olemassa olevaan rakennusautomaatiojärjestelmään (Fidelix). Käyttäjälle on tarjolla pääsy Leanheatin pilvipalveluun, jossa oman kiinteistön dataa voi seurata ja hallita.

Kuvissa 10 ja 11 on esitetty kohteen reaaliaikainen anturikohtainen lämpötilan ja kosteuden mittaus Leanheatin pilvipalvelusta [10].



Kuva 10. Ote Leanheatin hetkellisestä lämpötilamittauksesta [10].



Kuva 11. Ote Leanheatin hetkellisestä kosteusmittauksesta [10].

Leanheatin pilvipalvelun talokartasta saa nopean kokonaiskuvan kiinteistön lämpö- ja kosteustilanteesta. Varasto 1 -anturi sijaitsee rakennuksen myymälätallassa, jota lämmitetään ilmalämpöpumpulla. Varasto 7 -anturi on sijoitettu kylmimpään, rakennuksen kulmassa sijaitsevaan drive-up-varastoon. Varasto 32 -anturi on pudonnut pois verkosta (kuvat 10 ja 11).

3.3.4 Valaistus

Valaistus on keskeinen tekijä kiinteistöjen toiminnallisessa suunnittelussa ja energiatehokkuudessa. Älykkäät valaistusjärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden optimoida valaistuksen tasoa, vähentää energiankulutusta ja luoda miellyttävän ympäristön tilojen käyttäjille [11]. Tarkastelemalla nykyisen valaistusjärjestelmän ominaisuuksia voidaan arvioida sen tehokkuutta ja hahmottaa mahdollisia parannuskohteita, jotka voivat tukea energiatehokkuutta ja samalla luoda optimaalisen valaistusympäristön varastotilassa.

Kiinteistön sisätilojen valaistuksessa oli alun perin käytössä 150 kpl T5-loisteputkia teholtaan 49 wattia. Vuoden 2023 alussa päätettiin suorittaa loisteputkien vaihto LED-putkiin. Päätös perustui osittain T8- ja T5-loisteputkien myyntikieltoon, joka astui voimaan EU-alueella 24.8.2023, sekä energiansäästötoimenpiteisiin [12]. Varastotilojen valaistusta ohjataan tilakohtaisilla liiketunnistimilla. Ulkovalaistusta ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmän kautta säädettävillä aikaohjelmilla.

4 Energiaoptimoinnin toimenpide-ehdotukset

4.1.1 Sisävalaistuksen päivittäminen

Energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys ovat keskeisiä näkökohtia modernissa rakennustekniikassa. Yksi tärkeä askel kohti kestävämpää energiaa on valaistusjärjestelmien päivittäminen perinteisistä loisteputkista LED-loisteputkiin. Tämä muutos ei ainoastaan vaikuta valaistuksen laatuun ja käyttömukavuuteen, vaan sillä on myös merkittävä vaikutus kiinteistön energiankulutukseen [11]. Tässä luvussa käsitellään loisteputkien päivittämistä LED-teknologiaan ja sitä, miten toimenpide voi tuoda konkreettisia etuja energiatehokkuuden näkökulmasta.

Vuoden 2023 elokuussa astui voimaan EU:n laajuinen, elohopeaa sisältävien loisteputkien maahantuonti- ja myyntikielto. Kielto perustuu tavoitteeseen luopua elohopean käytöstä Euroopan Unionin alueella. Käytöstä luopuminen on alkanut asteittain jo vuodesta 2006 [12]. Loisteputkien maahantuonti- ja myyntikielto oli yksi loisteputkien päivittämiseen johtaneista syistä, energiataloudellisuuden lisäksi.

Kiinteistön sisätilojen alkuperäisenä valonlähteenä on toiminut 150 kappaletta 49W T5-loisteputkia. Valojen arvioidaan olevan päällä noin 33,8 tuntia viikossa. Tuntiarvio perustuu läpikäytyyn valvontakameramateriaaliin ja arviota käytetään, myös kannattavuuslaskelmassa luvussa 5.1.1. Loisteputkien

käyttöikäodotus on valmistajan mukaan noin 24 000 tuntia. Loisteputkien uusimistaajuus laskettiin kaavalla 1.

$$E/(T * vko) = U \quad (1)$$

E on loisteputkien elinikäodote (tunneina)
T on valaisimien päälläoloaika viikossa (tunteina)
vko on viikot vuodessa (viikkoina)
U on loisteputkien uusimistaajuus (vuosina)

Kaavasta 1 saadaan alkuperäisten loisteputkien uusimistaajuudeksi

$$U = 24000h/(33,8h * 52vko) = 13,65 \text{ vuotta}$$

Varastotilojen valaistusta ohjataan liiketunnistimin, jotta valaistus olisi käytössä vain alueilla, jossa sitä tarvitaan. Alkuperäisten loisteputkien vuosikulutus saatiin laskukaavalla 2.

$$(P * N * T * vko)/1000 = C \quad (2)$$

P on alkuperäisten loisteputkien teho (watteina)
N on loisteputkien määrä
T on valaisimien päälläoloaika viikossa (tunteina)
vko on viikot vuodessa (viikkoina)
C on alkuperäisten loisteputkien vuosikulutus (kWh)

$$C = (49W * 150kpl * 33,8h * 52vko)/1000 = 12918,36 \text{ kWh}$$

Alkuperäisten loisteputkien laskelmaan (kaava 2) perustuva vuosikulutus on 12 918,36 kWh.

Alkuperäisille loisteputkille kartoitettiin vaihtoehto, joka on asennukseltaan mahdollisimman yksinkertainen ja päädyttiin Philips T5 instafit 26W -LED-putkeen. Kyseinen LED-putki käy suoraan alkuperäisen loisteputken tilalle ilman min-käänlaisia valaisinmuutoksia, joten asennuskustannukset pysyvät maltillisina. Uusien LED-putkien elinikäodote on valmistajan mukaan 50 000 tuntia.

Tuntimäärä vastaa noin 28,45 vuotta varastokäytössä. LED-putkien uusimistajuus laskettiin kaavalla 1.

$$U = 50000h / (33,8h * 52vko) \approx 28,45 \text{ vuotta}$$

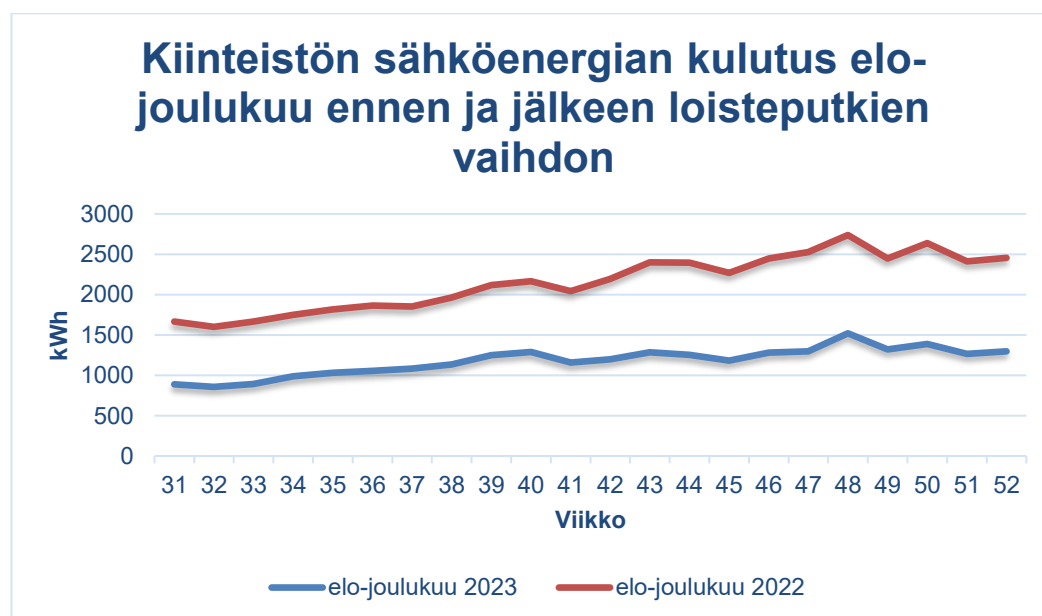
LED-putkien vuosikulutus lasketaan kaavalla 2

$$C = (26W * 150kpl * 33,8h * 52vko) / 1000 = 6855 \text{ kWh}$$

LED-putkien vuosikulutus on 6855 kWh. Valonlähteiden uusimisella energiataloudellisempaan LED-vaihtoehtoon saadaan laskettua kiinteistön vuosittaista sähköenergian kulutusta 6063 kWh.

Toimenpiteen kannattavuuslaskelmat on esitetty luvussa 5.1.

Kiinteistössä uusittiin alkuperäiset loisteputket LED-putkiin 1.8.2023. Kuvassa 12 on esitetty sähköenergian kulutus samana ajankohtana (viikot 31–52) ennen siirtymistä LED-loisteputkiin vuonna 2022, jota käytetään verrokkivuonna, ja LED-loisteputkiin siirtymisen jälkeen vuonna 2023.



Kuva 12. Valonlähteiden päivittämisen vaikutus sähköenergian kulutukseen [6].

4.1.2 Lämpötilan laskeminen

Vuonna 2021, yli neljäsosa kaikesta Suomessa käytetystä energiasta kului rakennusten lämmitykseen [2]. Tästä syystä sisälämpötilojen hallinnalla on merkittävä rooli energiatehokkuuden optimoinnissa. Sisälämpötilojen alentaminen on tehokas toimenpide, joka vaikuttaa suoraan kiinteistön energiankulutukseen. Tässä luvussa tarkastellaan, miten sisälämpötilojen pudotus vaikuttaa kiinteistön energiankulutukseen ja millaisia konkreettisia hyötyjä tällainen toimenpide voi tuoda. Sisälämpötilojen säätelyn vaikutusten ymmärtäminen on tärkeää kestävän ja energiatehokkaan rakennuskannan tavoittelussa.

Kiinteistön sisälämpötilan hallinnalla on merkittävä vaikutus energiatehokkuuteen ja tämä tarjoaa huomattavan potentiaalin energiansäästöön. Mahdollisuus säätää sisälämpötiloja voi johtaa kiinteistön lämmitystarpeen vähenemiseen erityisesti talvikuukausina, jolloin kaukolämpöenergian hinta on korkeimmillaan. Vähentynyt lämmitystarve puolestaan johtaa suoraan alhaisempiin käyttökustannuksiin.

Energiansäästön lisäksi alhaisempi energiankulutus vaikuttaa myönteisesti ympäristöön. Pienempi energiankulutus vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja pienentää kiinteistön hiilijalanjälkeä [13]. Lisäksi alhaisempi energiankulutus voi parantaa kiinteistön energialuokitusta, mikä voi olla merkittävä etu hankittaessa esimerkiksi energiatehokkuustodistuksia tai muita ympäristösertifikaatteja. Myönnettyillä sertifikaateilla on positiivinen vaikutus kiinteistön omistajan imagoon, ja nämä lisäävät kiinteistön houkuttelevuutta markkinoilla.

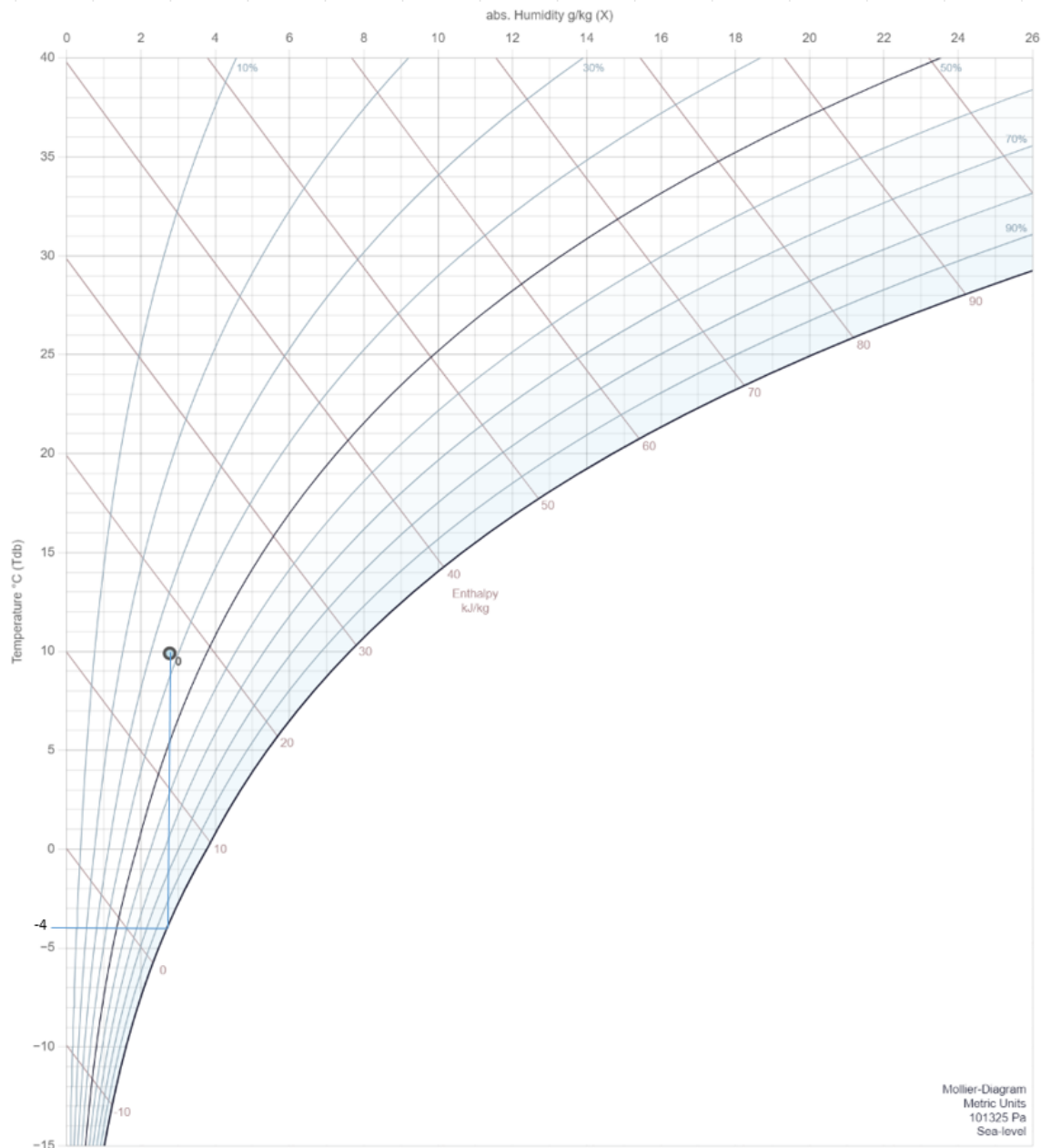
Tähänastisessa toiminnassa kohdekiinteistön sisälämpötilat ovat perinteisesti pidetty noin 20 lämpöasteessa. Historiaan peilaten Pelican Self Storage on hyödyntänyt korkeahkoa sisälämpötilaa myös markkinoinnissa. Kuitenkin vuonna 2022 tehtiin päätös sisälämpötilojen laskemisesta energiansäästötoimenpiteenä.

Suomen lainsäädäntö tai säännökset eivät rajoita lämpötilan laskemista tiloissa, joissa ei olekella. Ainoat lämpötilan laskemista rajoittavat tekijät ovat

asiakkaiden varastoitavien tavaroiden säilyvyys ja laatu, asiakastyytyväisyys sekä itse rakennuksen ja tekniikan kunnon takaaminen. Koska itsepalveluvarastossa ei olekella pitkiä aikoja eikä sisätiloissa mikään nosta ilman suhteellista kosteutta, päätettiin sisätilojen tavoitelämpötila laskea 12 asteeseen.

Mikäli lämpötilaa halutaan laskea vielä alemmas, tulee määrittää, kuinka alas sisälämpötilaa on turvallista laskea. Varastotilan suhteellinen ilmakosteus pysyy alhaisena, koska tiloissa ei ole ilmankosteutta sisäisesti nostavia tekijöitä. Ulkoilman kosteus vaikuttaa kuitenkin myös sisäilman kosteuteen, joten sisäolosuhteita tulee monitoroida. Lämpötilaa laskettaessa riskiksi muodostuu sisätilojen ilmankosteuden kondensoituminen kylmille pinnoille aiheuttaen homeriskin.

Jotta voidaan selvittää turvallinen lämpötila kiinteistöä ajatellen, määritetään kastepiste kiinteistön viileimmän tilan mukaan. Käytössä olevan Leanheat -anturoroinnin avulla pystytään määrittämään tilan keskilämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Keskiarvojen mittausjaksoksi valittiin lämmityskauden jakso 1.1. – 15.2.2024. Mitattavan sisätilan keskilämpötila mittausjaksolla 9,9 °C ja suhteellisen ilmankosteuden (RH) keskiarvo 36,9 %. Karkea kastepiste saadaan Mollier-diagrammin avulla (kuva 13).



Kuva 13. Mollier-diagrammissa esitetty kastepiste [14].

Vaihtoehtoisesti tarkempi kastepisteen arvo saadaan laskettua Magnus-Teten-sin kaavalla (kaava 3 ja 4).

$$Td = (b * \gamma * (T, RH)) / (a - \gamma * (T, RH)) \quad (3)$$

$$\gamma * (T, RH) = (a * T) / (b + T) + \ln RH \quad (4)$$

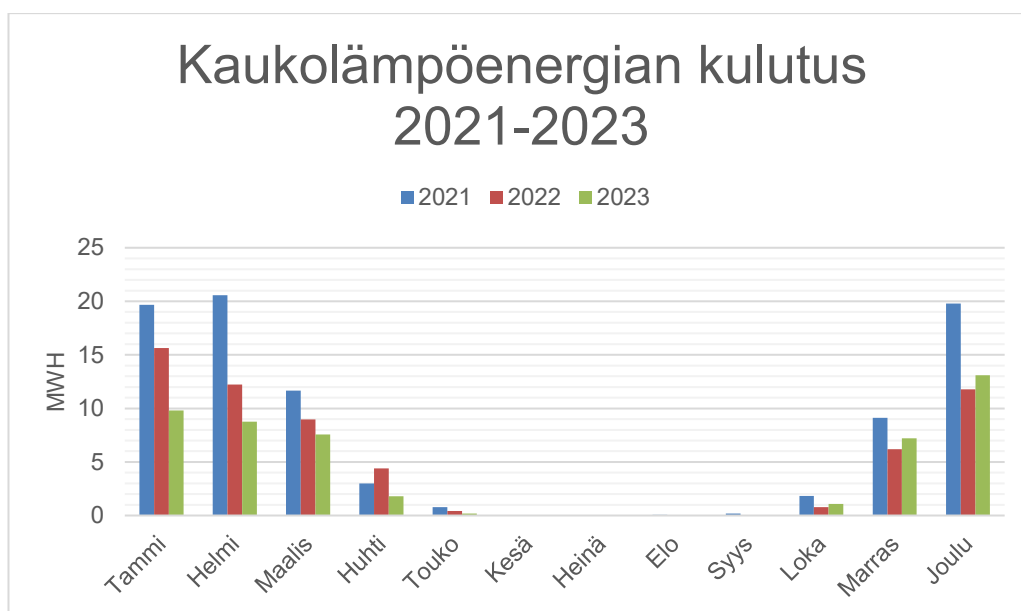
T on lämpötila (°C)
 RH on Suhteellinen ilmankosteus (desimaalilukuna)
 Td on Kastepistelämpötila
 a on vakio (17,27 °C)
 b on vakio (237,7 °C)
 \ln on luonnollinen logaritmi

$$Td = (237,7^{\circ}\text{C} * (\ln (0,369) + ((17,27^{\circ}\text{C} * 9,9^{\circ}\text{C})/(237,7^{\circ}\text{C} + 9,9^{\circ}\text{C}))))/(17,27^{\circ}\text{C} - (\ln (0,369) + ((17,27^{\circ}\text{C} * 9,9^{\circ}\text{C})/(237,7^{\circ}\text{C} + 9,9^{\circ}\text{C})))) = -4,99^{\circ}\text{C}$$

Laskukaavalla laskettu kastepiste on $-4,99$ celsiusastetta. Tässä lämpötilassa kosteus alkaa tiivistyä ja saattaa aiheuttaa kosteusvaurioita rakenteisiin sekä muodostaa pinnoille mikrobikasvustoa. Vuokrasopimukseen on kirjattu, ettei varaston lämpötila laske pakkasrajan alapuolelle, joten teoriassa varastotilojen lämpötilaa olisi mahdollista laskea turvallisesti 12 lämpöasteen alapuolelle ja saada näin lisää energiasäästöjä, mutta sisälämpötilan alentaminen vaikuttaisi asiakastytyväisyyteen negatiivisesti, joten tavoitelämpötila jätettiin toistaiseksi 12 asteeseen.

Nyrkkisääntönä on pidetty, että yhden asteen lasku lämpötilassa vähentää lämmityskuluja 5 % [15]. Kiinteistön lämpötilaa laskettiin alkuperäiseltä tasolta 8 celsiusastetta. Tavoitelämpötilan laskeminen suoritettiin vuonna 2022. Tavoitelämpötilan ollessa 20 asteessa vuonna 2021 kaukolämpöenergian kulutus oli 86,69 MWh. Vuonna 2023, kun tavoitelämpötila sisätiloissa oli 12 celsiusastetta, kaukolämpöenergian kulutus oli enää 49,53 MWh. Lämmitysenergian kulutus on laskenut 42,86 % tavoitelämpötilan pudotuksen jälkeen. Voidaan todeta, että nyrkkisääntönä pidetty lämpötilan laskemisen suhde lämmityskustannuksiin pitää paikkansa.

Kuvassa 14 on esitetty kaukolämpöenergian kulutus vuosina 2021–2023.



Kuva 14. Kaukolämpöenergian kulutus 2021–2023 [7].

4.1.3 Lämmityksen tehojousto

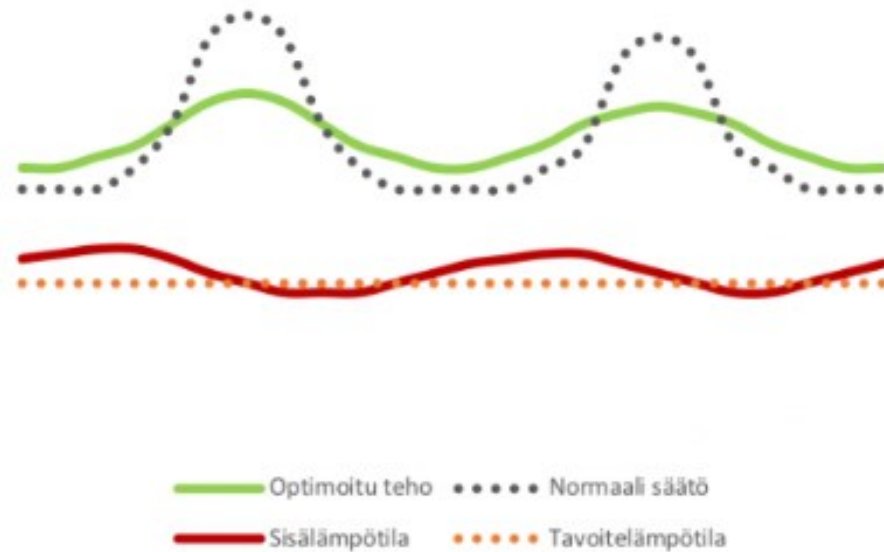
Kaukolämmön tehojousto ei varsinaisesti ole energiansäästötoimenpide, mutta sillä saadaan leikattua kaukolämmön perusmaksun kustannuksia. Tehojoustop avulla siirretään energiankulutusta pois ajoista, jolloin verkossa on suurin kysyntä ja energian hinta on korkeimmillaan. Tämä vähentää hetkellistä tehontarvetta ja pienentää kulutushuippuja, mikä vaikuttaa myönteisesti kaukolämmön kustannuksiin. Tämä on mahdollista toteuttaa älykkäiden automaatiojärjestelmien, kuten kiinteistön käytössä olevan Leanheatin avulla, jotka reagoivat muuttuviin olosuhteisiin ja optimoivat lämmitystä kiinteistön tarpeiden mukaan.

Yksi kaukolämmön tehojoustop peruseriaatteista on ajoituksen ja lämpötilan säädön hallinta. Tämä tarkoittaa, että lämmitysjärjestelmä voi automaattisesti vähentää lämmitystehoa tai siirtää lämmitystä huipputehojaksojen ulkopuolelle, kuten lämpimien päivien tai vähäisen käytön aikoihin. Lisäksi järjestelmä voi sopeutua ulkoilman lämpötilan muutoksiin, säätämällä lämmitystehoa tehokkaammin ja estämällä ylivoimittua lämmitystä. [16.]

Kaukolämmön tehojouston integrointi mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen. Kun lämmitysresurssit optimoidaan vastaamaan todellisia tarpeita, kiinteistöissä voidaan välttää ylimääräistä energiankulutusta ja samalla varmistaa, että asiakkaat ja henkilökunta ovat tyytyväisiä sisälämpötilaan. Toimenpiteen kustannussäästö muodostuu huipputehon kautta perusmaksun kustannusten pienenemisenä.

Vastaavaa lämmityksen tehojoustoja on hyödynnetty jo jonkin aikaa asuinkiinteistöissä ja kouluissa, mutta aikaisempaa kokemusta varastokiinteistön tehojouston hyödyntämisestä ei ole, joten hyödynnetään olemassa olevaa dataa mahdollisimman samankaltaisen käyttöprofiilin omaavista kiinteistöistä, joissa ei ole toimintaa yöaikaan. Laskelmissa käytetään koulurakennuksien tehohuippuja leikkaamalla saavutettua keskimääräistä säästöä perusmaksusta (10 %). Varastokiinteistöissä lämpötilojen vaihtelu ei vaikuta yhtä voimakkaasti käyttökokemukseen, kuin asuin- tai koulu kiinteistöissä, mikä mahdollistaa radikaalimman tehojouston hyödyntämisen. Tämä tarkoittaa käytännössä rakennuksen yllämittämistä ennen ennustettua kulutuspiikkiä sekä kulutuspiikin jälkeen. Varastotilojen lähtölämpötila on toisaalta huomattavasti alhaisempi kuin asuin- ja koulu kiinteistöillä, mikä osin rajoittaa tehojouston hyödyntämistä.

Ennakoiva Leanheat-ohjaus



Kuva 15. Leanheatin teho-optimoinnin perusajatus [17].

Kohdekiinteistön kaukolämmön perusmaksu koostuu vakio-osasta, sekä muuttuvasta osasta. Vakio-osa maksaa 50,18 €/vuosi, ja perusmaksun muuttuva osa maksaa 60,07 €/kW/vuosi. Muuttuvaan osaan vaikuttaa kiinteistön laskutusteho, joka on Pelican Tammistossa 68 kW. Kaukolämmön vuotuisen perusmaksun osuus saadaan laskettua seuraavasti:

$$\text{Kaukolämmön vuotuinen perusmaksu} = \text{vakio - osa} + \text{muuttuva osa} * \text{laskutusteho} \quad (5)$$

$$\text{Kaukolämmön vuotuinen perusmaksu} = 50,18\text{€} + 60,07\text{€} * 68\text{kW} = 4134,94\text{€/vuosi}$$

Laskelman perusteella kaukolämmön vuotuinen perusmaksu on 4134,94 €. Mikäli kulutushuippuja saadaan leikattua 10 %, kuten koulurakennuksissa, saadaan toimenpiteellä saavutettu säästö laskettua seuraavasti:

$$\text{Saavutettu säästö} = \text{Kiinteistön kaukolämmön vuotuinen perusmaksu} * 0,1 \quad (6)$$

$$\text{Toimenpiteellä saavutettu säästö} = 4134,94\text{€} * 0,1 = 408,48\text{€/vuosi}$$

Toimenpiteellä saavutettu säästö on 408,48 €/vuosi. 30 vuoden tarkastelujaksolla toimenpide säästää kaukolämmön perusmaksuissa 12 254,28 €.

Kaukolämmön tehojousto ei ainoastaan paranna energiatehokkuutta ja vähennä ympäristövaikutuksia, vaan se tarjoaa myös kiinteistön omistajille käytännöllisen keinon säästää kustannuksissa.

4.1.4 Ilmanvaihdon optimointi

Ilmanvaihdon tehokas hallinta voi vaikuttaa merkittävästi kiinteistön kokonaisenergiankulutukseen. Tämän luvussa syvennyttään ilmanvaihdon optimoinnin vaikutuksiin erimerkkikiinteistössä ja selvitetään, miten tämä toimenpide vaikuttaa kiinteistön energiatehokkuuteen.

Ilmanvaihdon optimointi voi tuoda useita etuja kiinteistön energiankulutukselle. Huolellisesti suunniteltu ilmanvaihtojärjestelmä voi vähentää tarpeetonta energiankulutusta ja siten pienentää käyttökustannuksia.

Lähtötilanteen ilmanvaihdon ilmamäärät, ohjaus ja aikaohjelmat on käyty läpi luvussa 3.3.2. Ilmanvaihto. Kyseessä on itsepalveluvarasto, jonka käyttö on rajoitettu kello 05.00–00.00 välille, ja jonka käyttäjämäärät ovat hyvin vähäisiä. Itsepalveluvarasto on luokiteltu käyttötarkoitukseluokkaan 9, muut rakennukset. Tälle käyttöluokalle ei ole asetettu vaatimusta ulkoilmavirrälle. Kiinteistössä noudatetaan tarpeenmukaista olosuhdemittaukseen perustuvaa ilmanvaihtoa. [18.] Olosuhdemittauksessa hyödynnetään Leanheat-antureiden ilmankosteuden

mittausta. Sisätilojenilmankosteuden tilakohtaiset, 30 päivän keskiarvot, alkuperäisellä ilmanvaihdon säädöllä, esitetty kuvassa 16.

26.01.2024 - 24.02.2024 -3.5 °C

Sähkötie 12 Talo 1							
A							
5	varasto 29 34.7	varasto 30 35.4	varasto 31 34.5	varasto 32	varasto 33 35.4	varasto 34 35.7	varasto 35 34.9
4	varasto 22 32.8	varasto 23 32.7	varasto 24 32.4	varasto 25 33.5	varasto 26 33.4	varasto 27 33.1	varasto 28 33.1
3	varasto 15 32.7	varasto 16 33.1	varasto 17 32.8	varasto 18 32.9	varasto 19 33.8	varasto 20 33.3	varasto 21 33.6
2	varasto 8 33.9	varasto 9 33.8	varasto 10 32.6	varasto 11 32.4	varasto 12 34.2	varasto 13 33.7	varasto 14 34.2
1	varasto 1 19.4	varasto 2 31.6	varasto 3 32.7	varasto 4 33.3	varasto 5 32.6	varasto 6 33.7	varasto 7 36.4

Kuva 16. Sisäilman kosteuden tilakohtaiset 30vrk keskiarvot ennen toimenpidettä [10].

Ilmanvaihdon kulutus alkuperäisellä aikaohjelmalla on noin 6865 kWh/vuosi. Koska tilojen käyttö on vähäistä, rakennukselle ei ole määritetty vaatimuksia ulkoilmavirralle ja tilojen suhteellinen kosteus on pysynyt maltillisena alkuperäisellä aikaohjauksella, muutetaan aikaohjelmaa seuraavasti: päivittäinen ilmanvaihdon käyntiaika hitaalla ohjelmalla klo 6.00–23.00, yöaikaan ilmanvaihto on kokonaan pois päältä [18]. Hitaan ohjelman ilmavirta vaihtelee välillä 0,68–1 m³/s. Sisätilojen pinta-alan ollessa 5191m², tämä vastaa ulkoilmavirtaa 0,13–0,19dm³/s m². Muutoksen jälkeen on syytä seurata sisätilan ilmankosteuden kehitystä, sillä tämä vaikuttaa oleellisesti luvun 4.1.2. tavoitelämpötilan säätöön.

Suuremman ilmanvaihtokoneen aikaohjelman muutoksen yhteydessä pudotettiin myymälää palvelevan pienen ilmanvaihtokoneen tuloilman

lämpötilatavoitetta 18 asteesta 12 asteeseen. Pienemmässä ilmanvaihtokoneessa on sähköinen esilämmityspatteri, joka kuluttaa paljon sähköä korkean tuloilman lämpötilatavoitteen saavuttamiseksi. Myymälätilassa on ilmalämpöpumppu, jolla tilan olosuhteet saadaan pidettynä optimaalisena tuloilman lämpötilamuutoksesta huolimatta.

Ilmanvaihdon optimoinnin jälkeen ilmanvaihdon vuotuinen sähköenergiankulutus on 4857,84 kWh. Optimoinnilla saadaan ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutusta laskettua 2008,24 kWh alkuperäisestä. Säästetty energiamäärä ei vaikuta suurelta, mutta prosentuaalisesti vaikutus on 29,2 %

📅 27.02.2024 - 27.03.2024 🌡️ 0.3 °C

Sähkötie 12 Talo 1							
A							
5	varasto 29 40.3	varasto 30 41.0	varasto 31 40.4	varasto 32 ----	varasto 33 41.2	varasto 34 41.2	varasto 35 40.6
4	varasto 22 37.7	varasto 23 37.8	varasto 24 37.3	varasto 25 38.0	varasto 26 38.0	varasto 27 37.6	varasto 28 38.2
3	varasto 15 37.4	varasto 16 37.8	varasto 17 37.4	varasto 18 37.1	varasto 19 37.7	varasto 20 37.3	varasto 21 38.2
2	varasto 8 38.5	varasto 9 38.8	varasto 10 37.7	varasto 11 37.1	varasto 12 38.5	varasto 13 38.8	varasto 14 39.0
1	varasto 1 23.4	varasto 2 37.7	varasto 3 38.5	varasto 4 39.7	varasto 5 39.0	varasto 6 39.7	varasto 7 42.7

Kuva 17. Sisäilman kosteuden tilakohtaiset 30vrk keskiarvot toimenpiteen jälkeen [10].

Sisätilan suhteellinen ilmankosteus ei ole merkittävästi noussut ilmanvaihdon optimoinnin jälkeen, kun otetaan huomioon ulkolämpötilan nousu tarkastelujaksolla. Sisäilman suhteellinen kosteus 30 vuorokauden (27.2.–27.3.2024)

keskiarvolla pysyy noin 40 prosentin tuntumassa. Talviajan suositukset sisäilman suhteelliselle kosteudelle vaihtelevat 20 %:n ja 45 %:n välillä [19].

Aikaohjelma PELICAN_TAMMISTO_211.01_G3.301_T						
	Peruuta	Tallenna	Kopioi tapahtumat	Kopioi pisteestä		
Ma	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Ti	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Ke	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
To	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Pe	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
La	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		
Su	07:00 Hidas	10:00 Nopea	16:00 Hidas	22:00 Seis		

Aikaohjelman tilat

0 - Seis
1 - Hidas
2 - Nopea

Kuva 18. Ilmanvaihdon aikaohjelman lähtötilanne [8].

Aikaohjelma PELICAN_TAMMISTO_211.01_G3.301_T						
	Peruuta	Tallenna	Kopioi tapahtumat	Kopioi pisteestä		
Ma	06:00 Hidas	23:00 Seis				
Ti	06:00 Hidas	23:00 Seis				
Ke	06:00 Hidas	23:00 Seis				
To	06:00 Hidas	23:00 Seis				
Pe	06:00 Hidas	23:00 Seis				
La	06:00 Hidas	23:00 Seis				
Su	06:00 Hidas	23:00 Seis				

Aikaohjelman tilat

0 - Seis
1 - Hidas
2 - Nopea

Kuva 19. Ilmanvaihdon aikaohjelma muutoksen jälkeen [8].

4.1.5 Aurinkosähköjärjestelmä

Energiaoptimoinnin yksi aspekti on pyrkiä tehokkaaseen energiankäyttöön ja vähentämään riippuvuutta ostoenergiasta. Yksi keskeinen keino tähän

tavoitteeseen on vähentää ostoenergian määrää ja samalla harkita omien energiantuotantomenetelmien käyttöönottoa. Aurinkopaneelijärjestelmä tarjoaa yhden vaihtoehdon omien sähköntuotantomahdollisuuksien kehittämisessä.

Aurinkopaneelijärjestelmän mitoituksen lähtötietona tarkastellaan kulutuskäyttäytymistä vuodelta 2023. Tämä tiedonhankinta on keskeinen tekijä aurinkopaneelien optimaalisen määrän selvittämisessä. Tätä varten hyödynnetään Vantaan Energian tarjoamaa sähköverkon raportointipalvelua, joka mahdollistaa tarkat tiedot sähkön kulutuksesta tuntikohtaisesti [6]. Tämä taustatieto luo vahvan pohjan päätöksentekoprosessille ja auttaa asiantuntijoita suunnittelemaan aurinkosähköjärjestelmän, joka vastaa kiinteistön tarpeita.

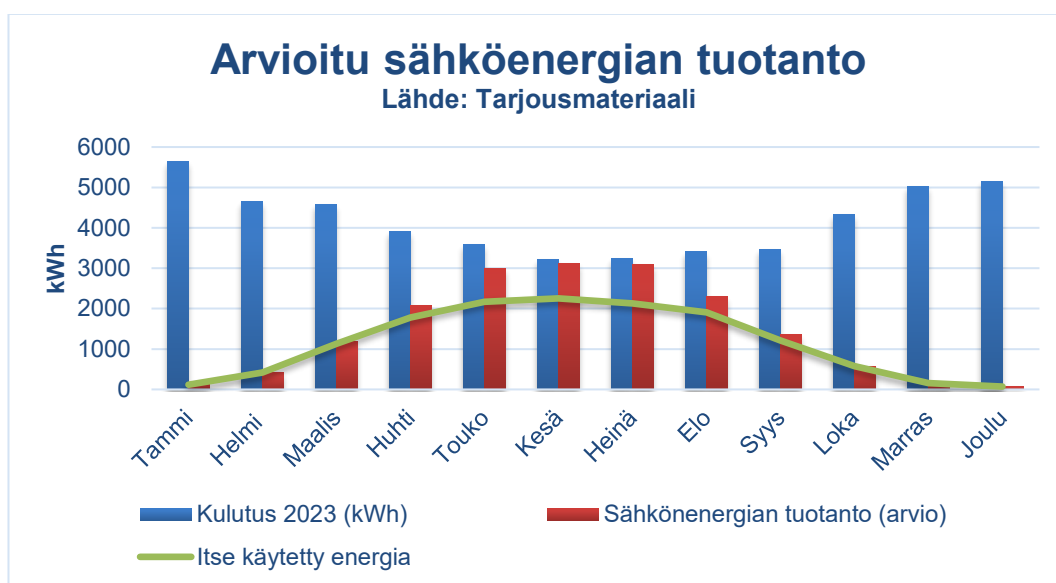
Suurelta suomalaiselta aurinkovoimaloiden asennuksiin erikoistuneelta yritykseltä pyydettiin lähtötietoihin perustuen tarjoutua aurinkosähköjärjestelmästä. Yritys suoritti huolelliset laskelmat lähtötietojen ja kiinteistön profiilin perusteella. Tarkoituksena oli mitoittaa aurinkosähköjärjestelmä niin, että tuotetusta sähköstä päätyisi mahdollisimman paljon omaan käyttöön. Aurinkopaneelien määrä optimoitiin kulutuskäyttäytymisen ja rakennuksen sijainnin perusteella, ja lopulliseksi suositukseksi muodostui 48 aurinkopaneelia. Aurinkopaneelien suunniteltu sijoittelu rakennuksen vesikatolle kuvassa 20. [20.]



Kuva 20. Aurinkopaneelien sijoittelu vesikatolle [20].

Järjestelmän nimellisteho 48 paneelilla on 20,4 kilowattia (kWp), mikä kuvaa suunnitellun määrän mahdollista tehotuottoa optimaalisissa olosuhteissa. Lisäksi korkein saavutettu vaihtovirtateho on 12,5 kW, ottamalla huomioon mahdolliset häviöt, kuten muunnokset, sekä invertterin tehonkeruuyksikkö. Tämä antaa realistisen kuvan aurinkosähköjärjestelmän käytännön sähköntuotannosta. [20.]

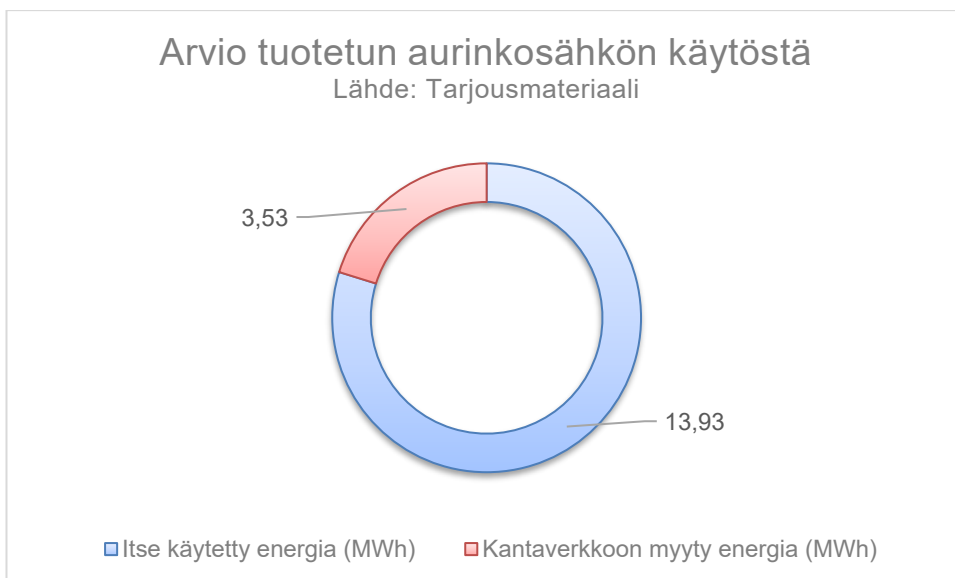
Kuvassa 21 on esitetty arvio sähköenergian tuotannosta ja itse käytetyn energian määrästä



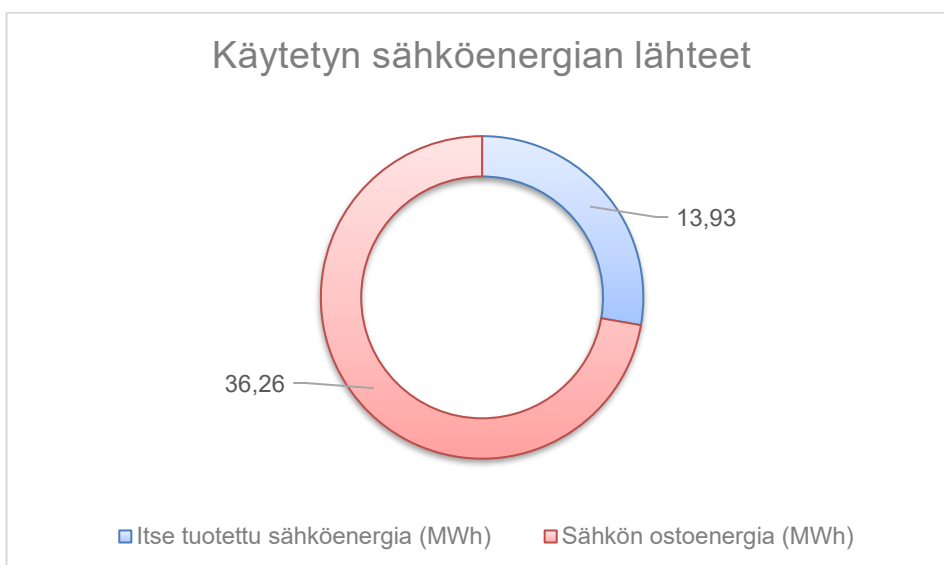
Kuva 21. Arvioitu sähköenergian tuotanto ja kulutus [20].

Sähköenergian kulutus vuonna 2023 oli 50,19 MWh. Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa vuodessa arviolta noin 17,47 MWh, josta kiinteistön käyttöön jää 13,93 MWh (80 %) ja myyntiin menevä osuus on 3,53 MWh (20 %). Kiinteistösähkön ostoenergian osuudeksi jää 36,26 MWh. [20.]

Kuvissa 22 ja 23 on esitetty arvio tuotetun sähköenergian käytöstä sekä käytetyn sähköenergian lähteet.



Kuva 22. Tuotetun aurinkosähkön käyttö [20].



Kuva 23. Kiinteistössä käytetyn sähköenergian lähteet

Business Finland on aikaisemmin tukenut yritysten aurinkosähköjärjestelmän hankintaa 15 % hankintahinnasta. Vuoden 2024 tukien saamisen ehtoja on kiristetty. Linjauksissa esimerkiksi uusiutuvien energian uuden teknologian investoinnin tulee kustantaa yritykselle vähintään 30 000 €, jotta tukea kannattaa hakea. Tästä syystä aurinkosähköjärjestelmän hankinta esimerkkitilanteessa ei täytä kriteerejä tuen saamiselle. [21.]

5 Toimenpiteiden kannattavuus

5.1 Investointien kannattavuuslaskelmat ja herkkyystarkastelut

Investointien kannattavuuslaskelmat ovat keskeinen osa päätöksentekoa liikelämässä. Ennen kuin organisaatio sitoutuu uuteen hankkeeseen, laajennukseen tai investointiin, on välttämätöntä arvioida, miten se vaikuttaa taloudelliseen tulokseen ja pitkän aikavälin kannattavuuteen. Kannattavuuslaskelmat tarjoavat perustan päätöksentekoon tuoden esiin investoinnin tuottopotentialin, takaisinmaksuajan ja nettovarallisuuden. Seuraavissa luvuissa käsitellään aikaisemmin kartoitettujen toimenpiteiden kannattavuutta taloudellisesta näkökulmasta.

5.1.1 Sisävalaistuksen päivittämisen kannattavuus

Sisävalaistuksen päivittäminen on merkittävä investointi, joka paitsi parantaa tilojen visuaalista ilmettä myös vaikuttaa kiinteistön energiatehokkuuteen ja tätä kautta kustannussäästöihin. Sisävalaistuksen päivittäminen nykyaikaisemmalla ja energiatehokkaammalla ratkaisulla tuo mukanaan useita etuja, kuten pienemmät energiakustannukset, pidemmät valonlähteiden käyttöiät ja mahdolliset ympäristövaikutukset. [11.] Tämän investoinnin kannattavuuslaskelman tarkoituksena on arvioida päivityksen taloudellista vaikutusta, ottaen huomioon kustannukset ja energiansäästöt. Laskelma tarjoaa näkemyksen siitä, kuinka investointi voi maksaa itsensä takaisin ajan myötä ja luoda lisäarvoa sekä käyttäjille, että kiinteistön omistajille.

Päivityksen yhteydessä vaihdettiin yhteensä 150 loisteputkea teholtaan 49 W, Philips T5 Instafit 26 W LED-loisteputkiin. Valaisimia käytetään viikossa keskimäärin 33,8 tuntia. Laskelmat osoittavat, että alkuperäiset loisteputket kuluttivat vuosittain 12 920 kWh, kun taas uudet LED-putket kuluttavat ainoastaan 6 855 kWh. Kulutuksen erotus on 6 064 kWh, ja säästöä syntyy 0,15 €/kWh sähköenergian hinnalla laskettuna yhteensä 909,64 € / vuosi.

Investoinnin kokonaiskustannukset muodostuvat uusien LED-loisteputkien hankintahinnasta ja asennustyöstä. Uuden valonlähteen hankintahinta on 16,13 € (alv 0 %) kappaleelta, yhteensä 2 419,50 €. Asennustyön osalta kustannukset ovat 828 € (alv 0 %). Näin ollen investoinnin kokonaiskustannukset ovat 3 247,5 €.

Investoinnin kannattavuutta arvioitaessa takaisinmaksuaika muodostuu vuosittaisten säästöjen ja investoinnin kokonaiskustannusten suhteesta. Vuosittaisten säästöjen ollessa 909,64 €, investoinnin arvonlisäveroton yksinkertainen takaisinmaksuaika on laskelman perusteella 3,57 vuotta. Tämä osoittaa, että sisävalaistuksen päivitysinvestointi LED-teknologiaan on taloudellisesti kannattava ja tuo merkittäviä säästöjä kiinteistön energiakustannuksiin.

Edellä esitetyn yksinkertaisen takaisinmaksuajan lisäksi suoritettiin tarkempi laskelma, joka ottaa huomioon kummankin vaihtoehdon, eli loisteputkien ja LED-loisteputkien, loisteputkikohtaiset hankintakustannukset sekä uusimistajuuden.

Toimenpiteen säästetyistä kustannuksista muodostuu yhteensä 909,64 € / vuosi. Investoinnin ROI (Return on Investment) saadaan laskettua kaavalla 7.

$$ROI = \frac{\text{Investoinnin tuotot} - \text{Investoinnin kulut} - \text{Poistot}}{\text{Investoinnin hankintameno}} * 100 \quad (7)$$

Investoinnin tuotot ovat toimenpiteellä saavutetut vuosisäästöt

Investoinnin kulut, ei ole

Poistot ovat uusimiskustannukset jaettuna tarkastelujaksolla (vuosina)

Investoinnin hankintameno on investoinnin hankintakustannus (tarjous)

$$ROI = \frac{909,67\text{€}/v - 0\text{€} - \left(\frac{3247,5\text{€}}{30v}\right)}{3247,5\text{€}} = 24,68\%$$

Sijoitetun pääoman vuosituotoksi muodostuu 24,68 %.

Sähkön hinta €/kWh					
-22180	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0 %	-26131	-28640	-31150	-33660	-36169
2 %	-18541	-20360	-22180	-23999	-25819
4 %	-13424	-14789	-16155	-17521	-18886
6 %	-9882	-10941	-11999	-13058	-14117
8 %	-7367	-8212	-9058	-9903	-10749

Kuva 24. Sisävalaistuksen uusimisen herkkyystarkastelu reaalikoron ja sähkön hinnan vaikutuksista

LCC-laskennan perusteella investointi säästää 30 vuoden tarkastelujaksolla 22 180 € verrattuna alkuperäiseen loisteputkivalaistukseen.

Laskennassa on huomioitu:

- reaalikorko 2 %
- sähköenergian ostohinta kustannuksineen 0,15 €/kWh
- kustannukset tarkastelujaksolla
- energian hinnan eskalaatio 2 %.

Laskelmat esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Alkuperäisillä loisteputkilla uusimistarve on noin 13,65 vuoden välein, ja näiden putkien hankintakustannus on 7 € (alv 0 %) kappaleelta. LED-loisteputkilla vastaavat luvut ovat noin 28,45 vuotta ja 16,13 € (alv 0 %) kappaleelta.

Loisteputkien vertailukelpoiset vuosikustannukset lasketaan kaavalla 8.

$$YC = CC * PEC + \left(\frac{ICC*Q}{RI}\right) \quad (8)$$

YC on vuosikustannukset

CC on loisteputkien vuosittainen kulutus (kWh)

PEC on sähkön ostoenergian kustannukset (€)

ICC on loisteputkien hankintakustannus (€)

Q on loisteputkien määrä (kpl)

RI on uusimistaajuus vuosina

Alkuperäisten loisteputkien vertailukelpoiset vuosikustannukset:

$$YC = 12920kWh * 0,15€ + \left(\frac{7€ * 150kpl}{13,65vuotta} \right) = 2014,92€$$

LED-loisteputkien vuosikustannukset:

$$YC = 6855kWh * 0,15€ + \left(\frac{16,13€ * 150kpl}{28,45vuotta} \right) = 1113,29€$$

Alkuperäisten loisteputkien vuosikustannukset ovat 2014,92 € ja uusien LED-loisteputkien vuosikustannukset ovat 1113,29 €. Vuosittaisella säästöllä, joka on 901,63 €, tarkempi takaisinmaksuaika on 3,6 vuotta.

Tämä tarkemmalla laskennalla investoinnin ROI (Return On Investment) on 24,43 %. Laskelma vahvistaa, että vaikka takaisinmaksuaika on hieman pidempi, säästöt ovat merkittäviä ja investointia voidaan pitää hyvin kannattavana pitkällä aikavälillä.

5.1.2 Sisälämpötilan alentamisen kannattavuus

Yksi merkittävä energiankulutuksen osa-alue on kiinteistön lämmitys, joka muodostaa huomattavan osan energiakustannuksista [2]. Tässä luvussa selvitetään, kuinka lämpötilan alentaminen voi vaikuttaa kiinteistön kokonaisenergiankulutukseen, ja millaiset taloudelliset hyödyt tällä voi olla.

Kiinteistön lämpötilan laskeminen osoittautui merkittäväksi toimenpiteeksi energiansäästön ja taloudellisen tehokkuuden näkökulmasta. Laskelmissa käytetään esimerkikiinteistön vuoden 2023 kaukolämmön keskihintaa 101,41 €/MWh.

Tavoitelämpötilan alentaminen 20 asteesta 12 asteeseen toteutettiin vuonna 2022. Vuonna 2021, kun tavoitelämpötila oli vielä 20 astetta, kaukolämpöenergian kulutus oli 86,69 MWh. Vuonna 2023 kaukolämpöenergian kulutus oli ainoastaan 49,53 MWh, tavoitelämpötilan ollessa 12 astetta. Kaukolämpöenergian

kulusta on saatu energiaoptimoinnin toimenpiteellä laskettua 37,15 MWh vuodessa. Käyttämällä kaukolämmön keskihintaa (101,41 €/MWh) saadaan laskettua vertailukelpoisen lähtötilanteen vuosikustannuksen. Lämmitysenergian kustannukset ennen lämpötilan pudotusta oli 8791,23 € vuodessa. Lämpötilan laskemisen jälkeen vuosikustannukset olivat 5022,83 €. Lämmityskustannukset laskivat 42,87 %, eli 3768,4 € alkuperäisistä lämmityksen vuosikustannuksista.

Näiden tulosten perusteella voidaan vahvistaa, että nyrkkisääntö, joka liittyy yhden asteen lämpötilan laskemisen vaikutuksesta 5 %:n säästöön lämmityskuluissa, osoittautuu sovellettavaksi myös tässä tapauksessa [15]. Kun huomioidaan, että toimenpiteen suorittamisen investoinnit ovat hyvin pieniä, on lämpötilojen laskeminen ehdottomasti kannattava toimenpide.

Tarkempana laskentamallina sisälämpötilojen pudottamiselle toimii elinkaarikustannuslaskenta (LCC). Se on taloudellinen menetelmä, joka arvioi toimenpiteen kustannuksia/säästöjä koko tarkastelujakson (30 vuoden) aikana.

Kaukolämpöenergian hinta €/MWh					
-110682	90	95	100	105	110
0 %	-135252	-142938	-150625	-158311	-165997
2 %	-97965	-103538	-109110	-114683	-120255
4 %	-73459	-77641	-81824	-86007	-90189
6 %	-56894	-60137	-63380	-66622	-69865
8 %	-45382	-47971	-50561	-53150	-55739

Kuva 25. Sisälämpötilojen alentamisen herkkyyštarkastelu reaalikoron ja kaukolämpöenergian hinnan vaikutuksista tarkastelujakson tuottoon.

LCC-laskennan perusteella toimenpide säästää 30 vuoden tarkastelujaksolla 110 682 € verrattuna tilanteeseen ennen sisälämpötilojen laskemista.

Laskennassa on huomioitu:

- investointikustannukset 400 €
- monitorointi 100 €/vuosi
- reaalikorko 2 %
- kaukolämpöenergian ostohinta 101,41 €/MWh

- energian hinnan eskalaatio 2 %.

Laskelmat esitetty tarkemmin liitteessä 2.

5.1.3 Lämmityksen tehojouston hyödyntämisen kannattavuus

Kaukolämmön tehojouston käyttöönotolla on mahdollista saavuttaa taloudellisia säästöjä kiinteistön kaukolämmön perusmaksujen kautta. Älykkäässä kaukolämmön tehojoustossa hyödynnetään Leanheat-järjestelmää. Leanheat järjestelmä asennettiin kiinteistölle joulukuussa 2023. Järjestelmään kuuluu 35 anturia sekä säädin/integraatio rakennusautomaatioon. Järjestelmän kertaluonteiset kustannukset ovat 3500 € (alv. 0 %) ja nämä pitävät sisällään edellä mainittujen antureiden ja säätimen lisäksi asennuksen. Aloituskustannusten lisäksi järjestelmän palvelumaksut ovat 50 €/kk, eli 600 €/vuosi. Leanheat-järjestelmää käytetään kiinteistössä tehojouston lisäksi myös muuhun lämmönsäätöön ja sisäolosuhteiden seurantaan, mutta Leanheatin kustannukset huomioidaan kaukolämmön tehojouston kannattavuuslaskelmissa.

Tarkkaa dataa tehojouston hyödyistä varastokiinteistöistä ei ole, koska vastaavaa älykästä tehojouston hyödyntämistä ei ole aikaisemmin käytetty varastokiinteistöissä. Leanheatin tekemän analyysin pohjalta koulurakennukset ovat lähimpänä varastokiinteistön käyttöprofiilia. Koulurakennuksissa huipputehon säästö on ollut noin 10 %, joten laskelmissa käytettiin tätä samaa lukua.

Laskutusteho ennen tehojouston käyttöönottoa on 68 kW. Mikäli tehojouston käyttöönotto vähentää huipputehoa 10 %, niin tehojouston käyttöönoton jälkeen laskutusteho on 61,2 kW. Kaukolämmön perusmaksuosuus koostuu vakiosasta (50,18 €/vuosi) ja muuttuvasta osasta (60,07 €/kW, vuosi).

Perusmaksuosuuden kustannukset ennen tehojouston käyttöönottoa ovat 4134,94 €/vuosi. Vastaavat kustannukset tehojouston käyttöönoton jälkeen olisivat 3726,46 €/vuosi. Toimenpiteellä saavutetut säästöt ovat siis 408,48 €/vuosi. Investoinnin ROI (Return on Investment) saadaan laskettua kaavalla 7.

$$ROI = \frac{408,48\text{€} - 600\text{€}}{3500\text{€}} * 100 \approx -5,47\%$$

Sijoitetun pääoman vuotuiseksi tuotoksi muodostuu $-5,47\%$.

Investoinnin kannattavuutta arvioitaessa takaisinmaksuaika muodostuu vuosittaisten säästöjen ja investoinnin kokonaiskustannusten suhteesta. Vuosittaisten säästöjen ollessa 408,48 €, investoinnin arvonlisäveroton yksinkertainen takaisinmaksuaika on laskelman perusteella noin 8,57 vuotta.

Kaukolämpöenergian hinta €/MWh					
4875	90,00	95,00	100,00	105,00	110,00
0 %	-3836	-5277	-6718	-8159	-9600
2 %	-1434	-2488	-3542	-4596	-5650
4 %	82	-717	-1517	-2316	-3116
6 %	1063	435	-192	-820	-1447
8 %	1712	1204	696	188	-320

Kuva 26. Tehojoustop herkkyytstarkastelu reaalikoron ja kaukolämpöenergian perusmaksun säästöosuuden vaikutuksista tarkastelujakson tuottoon

LCC-laskennan perusteella tehojoustop käyttöönnotto ei tule säästämään, vaan toimenpide kustantaa 30 vuoden tarkastelujaksolla 4875 €.

Laskennassa on huomioitu:

- investointikustannukset 3500 € (alv 0 %)
- palvelumaksut 600 €/vuosi
- reaalikorko 2 %
- huipputehotarpeen pienentäminen 10 %
- energian hinnan eskalaatio 2 %.

Laskelmat esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Tämä osoittaa, että mikäli Leanheat-järjestelmä hankitaan ainoastaan silmällä pitäen tehojoustop säästöpotentiaalia ja seurataan ainoastaan tämän toimenpiteen vaikutusta investointiin, niin investointi ei ole kannattava.

Todellisuudessa Leanheatin hankintakustannukset voidaan allokoida useamman energiaoptimoinnin toimenpiteen alle. Mikäli Leanheat hankitaan kiinteistölle jostain muusta syystä, niin järjestelmää kannattaa ehdottomasti hyödyntää tehojoustossa. Mikäli Leanheatin kustannuksia ei huomioida tehojouston laskelmissa, niin tehojouston käyttöönotto säästää kaukolämmön peruskustannuksissa 30 vuoden tarkastelujaksolla 12 063 €

5.1.4 Ilmanvaihdon optimoinnin kannattavuus

Ilmanvaihdon optimoinnilla voidaan saavuttaa useita etuja. Energiatehokkaampi ilmanvaihtojärjestelmän käyttö vähentää sähkönkulutusta ja siten alentaa energiakustannuksia. Tämä voi olla erityisen tärkeää pitkällä aikavälillä, kun kiinteistön omistaja haluaa säästää kustannuksissa ja samalla vähentää ympäristövaikutuksia.

Ilmanvaihdon kulutus vuonna 2023 oli noin 6865 kWh. Tämä vastaa noin 17,2 % kiinteistön saman vuoden sähköenergian kulutuksesta. Ilmanvaihdon optimoinnilla saatiin ilmanvaihtokohtaista kulutusta laskettua 2008,24 kWh/vuosi. Kiinteistön sähköenergian kulutusta saatiin toimenpiteellä vähennettyä noin 5 %. Toimenpide säästää vuosittain 301,24 €.

Sähkön hinta €/kWh					
-6397	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0 %	-7403	-8234	-9065	-9896	-10727
2 %	-5192	-5795	-6397	-7000	-7602
4 %	-3749	-4202	-4654	-5106	-5558
6 %	-2781	-3132	-3482	-3833	-4184
8 %	-2113	-2393	-2673	-2953	-3233

Kuva 27. Ilmanvaihdon optimoinnin herkkyy tarkastelu reaalikoron ja sähkön ostohinnan vaikutuksista tarkastelujakson tuottoon

LCC-laskennan perusteella toimenpide säästää 30 vuoden tarkastelujaksolla 6397 €.

Laskennassa on huomioitu:

- investointikustannukset 400 €
- monitorointi 100 €/vuosi
- reaalikorko 2 %
- sähköenergian ostohinta kustannuksineen 0,15 €/kWh
- energian hinnan eskalaatio 2 %.

Laskelmat on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Investointikustannukset koostuvat käytännössä toimenpiteen selvitystyöstä. Lisäksi tilojen lämpötilaa ja kosteutta tulee tarkkailla, jotta voidaan varmistua, ettei toimenpiteestä koidu haittaa vuokralaisten omaisuudelle tai kiinteistölle. Investointi maksaa itsensä takaisin alle 1,5 vuodessa, jonka jälkeen toimenpide tuottaa säästöjä. Toimenpide on ehdottomasti kannattava, ja tätä voidaan suositella myös muiden Pelicanin kiinteistöjen osalta.

5.1.5 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Sähköenergian hintojen noustessa aurinkosähköjärjestelmään investointi on noussut merkittäväksi, harkinnan arvoiseksi ratkaisuksi, kun tavoitellaan kestävämpää ja taloudellisesti kannattavampaa energiantuotantoa. Tässä luvussa tarkastellaan aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuutta.

Vuonna 2023 kiinteistön vuosikulutus oli 50,19 MWh. Aurinkosähköjärjestelmä arvioidaan tuottavan noin 17,47 MWh vuodessa, josta kiinteistön omaan käyttöön jää noin 13,93 MWh (80 %) ja myytäväksi menevä osuus on 3,53 MWh (20 %). Tämä tarkoittaa merkittävää vähennystä kiinteistön ostosähkön tarpeeseen, joka järjestelmän asentamisen jälkeen olisi arviolta 36,26 MWh/vuosi. [20.]

Aurinkosähköjärjestelmän vuosittain säästetyt kustannukset lasketaan seuraavasti (laskelmissa käytettävät arvot löytyvät liitteestä 2):

Kiinteistössä hyödynnettävä osuus aurinkoenergian tuotannosta 80 %:

$$\text{Kiinteistöön jäävä osuus } 17470\text{kWh} * 0,80 = 13976\text{kWh}$$

Säästö kiinteistöön jäävästä osuudesta:

$$13\,976\text{kWh} * 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 2096,4\text{€}$$

Sähköverkkoon myyty osuus aurinkoenergian tuotannosta 20 %:

$$\text{Tuotannon ylijäämäosuus } 17470\text{kWh} * 0,2 = 3494\text{kWh}$$

Tuotto myydystä sähköenergiasta:

$$3494\text{kWh} * 0,0666 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 232,7\text{€}$$

Vuoden 2023 toteutunut sähköpörssin spot-keskihinta oli 6,66 c/kWh, sähköverkkoon mydyssä sähkössä ei huomioida sähkönsiirtoa, eikä marginaalia [22].

Näin säästetyistä kustannuksista muodostuu yhteensä 2329 € / vuosi. Investoinnin ROI (Return on Investment) saadaan laskettua kaavalla 7.

$$ROI = \frac{2329\text{€} - \left(\frac{1361,52\text{€} + 600\text{€}}{30\text{vuotta}} \right)}{24400\text{€}} * 100 \approx 9,28\%$$

Sijoitetun pääoman vuotuiseksi tuotoksi muodostuu 9,28 %.

Investoinnin yksinkertainen takaisinmaksuaika on helppo laskentamalli, mutta se ei ota huomioon inflaatiota eikä koron vaikutuksia investointiin. Tästä syystä

laskentamallilla voidaan laskea vain karkeita arvioita. Yksinkertainen takaisinmaksuaika lasketaan seuraavasti:

$$\frac{\text{Sijoitettu summa } 24400\text{€}}{\text{vuosittainen tuotto } 2329\text{€}} \approx 10,48\text{vuotta}$$

Tarkempana laskentamallina aurinkoenergiajärjestelmälle toimii elinkaarikustannuslaskenta (LCC). Se on taloudellinen menetelmä, joka arvioi tuotteen kustannuksia koko sen elinkaaren aikana, aina hankinnasta hävittämiseen saakka.

LCC-laskelmassa huomioidaan kaikki kustannukset, kuten hankintakustannukset, käyttökustannukset, ylläpitokustannukset, energiakustannukset, pääomakustannukset, sekä loppukäsittelykustannukset. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 2.

Sähkön hinta €/kWh					
-44326	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0 %	-58712	-64496	-70279	-76062	-81845
2 %	-35940	-40133	-44326	-48519	-52711
4 %	-20957	-24104	-27251	-30398	-33545
6 %	-10819	-13259	-15698	-18138	-20578
8 %	-3765	-5713	-7661	-9610	-11558

Kuva 28. Aurinkosähköjärjestelmän hankinnan herkkyytarkastelu reaalikoron ja sähkön ostohinnan vaikutuksista järjestelmän elinkaaren tuottoon

Elinkaarilaskelman perusteella Järjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 11 vuodessa, jonka jälkeen järjestelmä tuottaa elinkaarensa aikana omistajalle voittoa arviolta 44 326 €.

Laskennassa on huomioitu:

- investointikustannukset 24400 € (alv 0 %)
- korjaukset ja jäännösarvo 1698 €
- reaalikorko 2 %
- sähköenergian ostohinta kustannuksineen 0,15 €/kWh
- sähköenergian myyntihinta 0,0666 €/kWh

- energian hinnan eskalaatio 2 %.

Investoinnin kannattavuus riippuu omistajien kiinteistöstrategiasta. Mikäli strategiana on myydä kiinteistö lähitulevaisuudessa, ei investointi ole kannattava. Pitkän tähtäimen investointina aurinkosähköjärjestelmä on ehdottomasti kannattava. Taloudellisen hyödyn lisäksi aurinkosähköjärjestelmä nostaa kiinteistön arvoa, edistää mahdollista vastuullisuusstrategiaa ja ympäristöystävällisyyttä, sekä kirkastaa yrityksen brändiä.

5.2 Toimenpiteiden riskit

Energiaoptimoinnin toimenpiteet ovat olennainen osa kestäväää rakennusten hallintaa, mutta niiden toteutuksessa liittyy myös riskejä. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan lyhyesti näitä riskejä ja niiden vaikutuksia. Teksti keskittyy aiemmin esitettyihin energiaoptimointitoimenpiteisiin. Toimenpiteitä tarkastellaan niiden potentiaalisten riskien näkökulmasta.

5.2.1 Sisävalaistuksen päivittämisen riskit

Sisävalaistuksen uusiminen voi tuoda mukanaan riskejä ja haasteita. Yhdeksi valaistuksen uusimisen riskitekijäksi muodostuu kustannusriski, joka voi nousta esiin lisäkustannusten muodossa, kuten odottamattomien ongelmien tai suunnitellusta poikkeavien muutosten vuoksi. Tämä voi vaarantaa alkuperäisen investointikannattavuuden.

Tekniset ongelmat, kuten uusien valaisimien toimintahäiriöt tai yhteensopimattomuudet valaistuksen ohjausjärjestelmien kanssa voivat johtaa epävakaaseen valaistukseen tai jopa valaistuksen kokonaisuuden tehottomuuteen. Projektin aikataulurisktiin liittyy viivästysten mahdollisuus, joka voi johtua esimerkiksi toimitusvaikeuksista tai asennusongelmista.

Turvallisuusriskit voivat ilmetä asennusvaiheessa. Turvallisuusriskin hallinta vaatii ammattitaitoisen asennuspalvelun käyttöä ja asianmukaisten turvatoimien noudattamista.

Varautuminen riskeihin edellyttää suunnittelua, realististen aikataulujen asettamista, säännöllistä viestintää kaikkien sidosryhmien kanssa ja ammattitaitoista asennusta. Näin varmistetaan, että riskejä hallitaan tehokkaasti ja että sisäva-
laistuksen uusimisprojekti etenee sujuvasti.

5.2.2 Lämpötilan laskemisen riskit

Rakennuksen sisälämpötilojen laskemiseen liittyy useita riskejä, jotka vaativat jatkuvaa seuranta. Yksi merkittävä riski on tekniset ongelmat lämmitysjärjestelmässä. Esimerkiksi lämmityslaitteiston vikaantuminen tai automaatiojärjestelmän toimintahäiriöt voivat vaikuttaa merkittävästi sisälämpötilan hallintaan. Tämä voi johtaa epämukavuuteen, heikentyneeseen käyttäjäkokemukseen tai pahimmassa tapauksessa rakennuksen ja järjestelmien vaurioitumiseen. Vastaavia ongelmia saattaa ilmetä myös ilman sisälämpötilan laskemisesta.

Virheelliset säädöt tai huonosti kalibroidut anturit voivat aiheuttaa epätarkkoja lämpötilamittauksia ja vaikuttaa siten koko lämmitysjärjestelmän suorituskykyyn. Tämä voi johtaa energiankulutuksen tehottomuuteen ja kustannusten nousuun.

Äkilliset säämuutokset voivat vaikuttaa lämmitystarpeeseen, ja ennustevirheet voivat johtaa liialliseen tai riittämättömään lämmitykseen. Tällainen epäoptimaalinen lämpötilan hallinta ei vain lisää energiankulutusta vaan myös vaikuttaa negatiivisesti kiinteistön käyttäjien mukavuuteen.

Riskien ehkäisemiseksi on ensiarvoisen tärkeää toteuttaa laadukkaat ja säännölliset huoltotoimenpiteet, jotta voidaan varmistua, että laitteisto toimii optimaalisesti. Säätolaitteiden kalibrointi ja mittausanturien tarkkuus on tarkistettava säännöllisesti.

5.2.3 Lämmityksen tehojouston riskit

Tekniset ongelmat voivat vaikuttaa lämmitysjärjestelmän suorituskykyyn ja aiheuttaa odottamattomia häiriöitä. Esimerkiksi automaatiojärjestelmän

toimintahäiriöt tai säätöventtiilien ongelmat voivat vaikuttaa lämmitysjärjestelmän kykyyn reagoida jouston tarpeisiin.

Energian hintavaihtelut muodostavat taloudellisen riskin. Lämmityksen tehojouston tarkoituksena on hyödyntää edullisempia hintoja, mutta markkinahintojen muutokset voivat vaikuttaa säästöjen ennustettavuuteen ja investoinnin kannattavuuteen. Lisäksi pitkäaikaiset sopimukset energian toimittajien kanssa voivat vaatia sitoutumista hintoihin, mikä lisää taloudellista epävarmuutta.

Riskien vaikutukset energiatehokkuuteen voivat olla merkittäviä. Tekniset ongelmat voivat johtaa alentuneeseen lämmitysjärjestelmän suorituskykyyn ja siten vähentää säästöjä. Energian hintavaihtelut voivat vaikuttaa lämmityksen taloudelliseen houkuttelevuuteen ja investoinnin kannattavuuteen. Käyttöhäiriöt voivat vaikuttaa lämmityksen luotettavuuteen ja siten energiatehokkuuteen.

Riskienhallintatoimenpiteisiin kuuluu varasuunnitelmien laatiminen teknisten ongelmien varalle, kuten häiriöiden nopea diagnosointi ja korjaus, sekä sopimusneuvottelut energian toimittajien kanssa hintavaihteluiden hallitsemiseksi. Lisäksi järjestelmän säännöllinen ylläpito ja seuranta voivat vähentää teknisiä riskejä.

5.2.4 Ilmanvaihdon optimoinnin riskit

Ilmanvaihdon tekniset ongelmat voivat muodostaa riskin. Esimerkiksi automaatiojärjestelmän toimintahäiriöt tai laitteiston vikaantuminen voivat vaikuttaa ilmanvaihdon tehokkuuteen ja sisäilman laatuun.

Suunnitteluvirheet tai virheelliset ilmanvaihdon säädöt voivat vaikuttaa järjestelmän toimintaan. Huonosti suunnitellut ilmanvaihtojärjestelmät eivät välttämättä täytä tilojen tarpeita, mikä voi johtaa liialliseen energiankulutukseen ja heikentyneeseen sisäilman laatuun.

Sääolosuhteet voivat vaikuttaa ilmanvaihdon optimointiin. Esimerkiksi äkilliset säämuutokset tai äärimmäiset sääolosuhteet voivat vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän suorituskykyyn ja vaatia nopeaa sopeutumista.

Riskien vaikutukset energiatehokkuuteen voivat olla merkittäviä. Tekniset ongelmat voivat johtaa energiankulutuksen kasvuun tai vähentää toimenpiteen mahdollista säästöpotentiaalia. Suunnitteluvirheet voivat johtaa alentuneeseen tehokkuuteen, kun taas sääolosuhteiden vaikutukset voivat vaihdella tilanteen mukaan.

Riskienhallintatoimenpiteisiin sisältyy laadukas suunnittelu ja asennus varmistamaan järjestelmän oikea toiminta. Lisäksi varasuunnitelmat teknisten ongelmien varalle, kuten varajärjestelmät tai hätätoimenpiteet, voivat auttaa minimoimaan riskien vaikutuksia.

5.2.5 Aurinkosähköjärjestelmän riskit

Aurinkosähköjärjestelmän asentamiseen liittyy useita riskejä, jotka voivat vaikuttaa investoinnin onnistumiseen. Teknologian käyttöönottoon liittyvät tekniset ongelmat voivat aiheuttaa merkittäviä haasteita. Esimerkiksi aurinkopaneelien toimintahäiriöt tai invertteriongelmat voivat vaarantaa järjestelmän tehokkuuden ja tuotantokapasiteetin. Tällaiset tekniset häiriöt voivat vaikuttaa suoraan energiatehokkuuteen ja mahdollisiin säästöihin.

Yllättävät muutokset energian hinnoissa muodostavat riskin. Energian hintavaihtelut voivat vaikuttaa aurinkosähkön taloudelliseen houkuttelevuuteen ja investoinnin kannattavuuteen. Markkinahintojen epävakaas voi heikentää säästöjen ennustettavuutta ja lisätä taloudellista epävarmuutta. Kuvan 29 taulukossa esitetään sähkön hinnan (vaakarivi) ja tuotetun aurinkoenergian itsekäytetyn osuuden (pystysarake, osuus %) vaikutusta investoinnin yksinkertaiseen takaisinmaksu-aikaan. Taulukosta voidaan havaita, että mikäli ostosähkön hinta ja tuotetun aurinkosähkön itsekäytetty osuus laskevat, niin investoinnin

takaisinmaksuaika pitenee huomattavasti. Taulukon takaisinmaksuaika on esitetty vuosina.

10,48	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
20 %	19,1	18,1	17,2	16,4	15,6	15,0
40 %	17,5	15,9	14,6	13,4	12,5	11,6
60 %	16,1	14,2	12,6	11,4	10,4	9,5
80 %	15,0	12,8	11,1	9,9	8,9	8,1
100 %	14,0	11,6	10,0	8,7	7,8	7,0

Kuva 29. Energian hinnan ja tuotetun energian itse käytetyn osuuden vaikutukset investoinnin takaisinmaksu-aikaan.

Mahdolliset käyttökatkokset muodostavat kolmannen riskin. Esimerkiksi sähköverkon häiriöt tai aurinkopaneelien tekniset ongelmat voivat aiheuttaa käyttökatkoksia, mikä heikentää järjestelmän jatkuvuutta ja voi vaikuttaa energiatehokkuuteen.

Riskeihin vaikuttavat tekijät kattavat tekniset, taloudelliset, toiminnalliset ja ympäristötekijät. Tekniset tekijät sisältävät laitteiston suunnitteluun ja toimintaan liittyvät näkökohdat. Taloudelliset tekijät käsittävät energian hintavaihtelut ja investointikustannukset. Toiminnalliset tekijät voivat liittyä esimerkiksi asennusprosessiin ja ylläpitoon. Ympäristötekijät voivat sisältää äärimmäiset sääolosuhteet, kuten myrskyt tai rankkasateet.

Riskienhallintatoimenpiteisiin kuuluvat varasuunnitelmien laatiminen teknisten ongelmien varalta, esimerkiksi suunnitelma varapaneelien asentamisesta ja energiasopimusten harkitseminen hintavaihteluiden varalta. Lisäksi tarkka suunnittelu, laadukkaat laitteistot ja säännöllinen ylläpito voivat vähentää teknisiä riskejä. Ympäristövaikutusten arvioiminen ja huomioiminen suunnittelussa voi auttaa ehkäisemään luonnonilmiöiden aiheuttamia riskejä.

6 Yhteenveto

Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena oli selvittää energioptimoinnin mahdollisuuksia varastokiinteistössä ja kehittää toimenpidesuunnitelma kaukolämmön ja sähkön kulutuksen vähentämiseksi. Aineisto käsitti kiinteistön kulutushistoriatiedot, rakennusautomaation seurannan tulokset sekä sisäilman lämpötilan ja kosteuden mittausdatan. Näiden tietojen avulla analysoitiin energiankulutusta ja tunnistettiin potentiaaliset energiansäästökohteet sekä arvioitiin toimenpiteiden taloudellista kannattavuutta.

Tutkimuksessa suoritettiin lähtötilanteen analyysi, jossa tarkasteltiin taloteknisten järjestelmien nykytilaa ja energiankulutusta eri käyttötarkoituksissa. Tämän pohjalta selvitettiin realistisia energioptimointitoimenpiteitä ja niiden vaikutuksia kiinteistön energiankulutukseen. Lisäksi arvioitiin esitettyjen toimenpiteiden taloudellista kannattavuutta, takaisinmaksuaikoja ja niihin liittyviä riskejä.

Tutkimuksen perusteella tehtyjen toimenpiteiden ansiosta saavutettiin merkittäviä energiansäästöjä: sähköenergian kulutus väheni 43,84 % ja kaukolämmön kulutus 42,86 %. Lisäksi kaukolämmön peruskustannuksissa saatiin noin 9,9 %:n säästö hyödyntämällä kaukolämmön tehojousto.

Varastokiinteistön sisäolosuhteille ei ole määritetty tiukkoja vaatimuksia, joten energioptimoinnin toimenpiteillä ei ollut kovin paljon rajoittavia tekijöitä. Ylläpitäen suurimpana energiansäästöä rajoittavana tekijänä nousi esiin asiakastytyväisyyden ylläpitäminen, mikä vaikutti varastotilojen sisälämpötilojen mahdolliseen laskuun.

Opinnäytetyössä luotiin kohdekiinteistölle soveltuvat, käytännönläheiset energioptimoinnin toimenpiteet ja suositukset, joilla voidaan merkittävästi vähentää energiankulutusta ja saavuttaa taloudellisia säästöjä. Työ avasi myös näkymän siihen, miten energiatehokkuutta voidaan edistää varastokiinteistöissä ja miten investointeja voidaan suunnitella ja arvioida tehokkaasti.

Tutkimuksen myötä saatiin syvempää ymmärrystä energiatehokkuuden roolista kiinteistöjen ylläpidossa ja kestäväen kehityksen edistämisessä. Jatkotutkimuksessa voitaisiin keskittyä energiatehokkuuden mittareiden ja seurannan tarkempaan analysointiin sekä selvittää erilaisten energiansäästötoimenpiteiden pitkäaikaista vaikutusta kiinteistön energiankulutukseen. Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää vastaavien varastokiinteistöjen energiaoptimointitoimenpiteitä suunniteltaessa ja toteutettaessa.

Lähteet

- 1 Kangas, Hanna-Liisa; Sankelo, Paula; Kautto, Petrus; Ruokamo, Enni; Lazarevic, David; Mattinen-Yuryev, Maija; Turunen, Topi & Nissinen, Ari. 2019. Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa: TALO-hankkeen loppuraportti. Verkkoaineisto. Valtioneuvoston julkaisuarkisto Valto. <<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-039-2>>. 4.12.2019. Luettu 11.2.2024.
- 2 Energian loppukulutus sektoreittain. Muuttujina osuus energian loppukulutuksesta, 2021, kaikki. 2023. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vk.px/>. 20.12.2023. Luettu 3.3.2024.
- 3 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Pelican Finland Holding Oy. <<https://pelican.fi/tietoa-meista>>. Luettu 11.2.2024.
- 4 Kohteen huoltokirja. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. FIMX Oy.
- 5 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Liite 1–5. 2017. 1048/20.12.2017
- 6 Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n Online-palvelu. 2024. Vantaan Energia Sähköverkot Oy
- 7 Raportointikansio.fi. Versio 1.4.4. 2024. Vantaan Energia Oy.
- 8 Webvision. Versio 9.05 Beta. Fidelix Oy.
- 9 Tarjous lämmönohjauksesta. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Oy Danfoss Ab.
- 10 Leanheat by Danfoss -pilvipalvelu. 2024. Oy Danfoss Ab.
- 11 Valaistustieto 2023. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/valaistustieto>. 14.12.2023 Luettu 5.4.2024
- 12 Tiettyjen vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. 2011. Direktiivi 2011/65/EU. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 8.6.2011 <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1517921526945&uri=CELEX:32011L0065>>. Luettu 24.2.2024.

- 13 Suomi täyttänyt kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteen. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2022-03-17_tie_001_fi.html>. 17.3.2022. Luettu 5.4.2024.
- 14 Mollier diagram. 2024. Verkkoaineisto. SimCalc Development <<https://www.mollier-diagram.com/>>. Luettu 23.3.2024.
- 15 Hallitse huonelämpötiloja 2024. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_arki/hallitse_huonelampotiloja>. 18.1.2024 Luettu 5.4.2024.
- 16 Kulutusjoustoon osallistuminen ja huipputehon vähentäminen. 2023. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/taloautomaatio/kulutusjoustoon_osallistuminen_ja_huipputehon_vahentaminen>. Päivitetty 17.1.2023. Luettu 9.3.2024.
- 17 Paaskunta, Pekka. 2018. Kaukolämmön kysyntäjousto – mistä on kyse ja millaista kehitystä luvassa? Verkkoaineisto. Oy Danfoss Ab. <<https://lean-heat.fi/2018/06/20/kaukolammon-kysyntajousto-mista-on-kyse-ja-millaista-kehitysta-luvassa/>>. 20.6.2018. Luettu 9.3.2024.
- 18 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.
- 19 Juulia, Mikkola. Kuinka paljon ilmaa kannattaa vaihtaa. Verkkoaineisto. Rakennustarkastusyhdistys. <<https://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/kuinka-paljon-ilmaa-kannattaa-vaihtaa/>>. Luettu 23.3.2024.
- 20 Aurinkovoimalan tarjousmateriaali. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Solnet Finland Oy.
- 21 Energiatuki. Verkkoaineisto. Business Finland Oy <<https://www.business-finland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>>. Luettu 23.3.2024.
- 22 Pörssisähkö – aina markkinahintainen. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/sahko/sahkosopimus/porssisahko>> Luettu 9.3.2024.

Pelican Tammisto - Energiatodistus

ENERGIATODISTUS 2018









Rakennuksen nimi ja osoite: Pelican Self Storage Tammisto
Sähkötie 12
01510 VANTAA

Pysyvä rakennustunnus: 100763681A
Rakennuksen valmistumisvuosi: 2015
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka: Varastorakennukset

Todistustunnus: 368409

Energiatodistus on laadittu

- Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa
 Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa
 Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä: 05.07.2023

	Energiatehokkuusluokka
	
	
	
	
	
	
	

Rakennuksen laskennallinen
energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus

kWh_e/(m²vuosi)

43

≤

Todistuksen laatija:
Pietiläinen, Joonas

Yritys:
Rejlers Rakentaminen Oy

Sähköinen allekirjoitus:
Pietiläinen, Joonas
21.07.2023 11:34:04

Todistuksen laatimispäivä:

21.07.2023

Viimeinen voimassaolopäivä:

21.07.2033

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHDOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala	5191,0 m ²												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Kaukolämpö Vesikiertoinen lattialämmitys												
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla												
Käytettävä energiamuoto	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia	Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus										
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	kWh _e /(m ² vuosi)										
kaukolämpö	84094	16	0,5	8									
sähkö	148982	29	1,2	34									
uusiutuva polttoaine			0,5										
fossiilinen polttoaine			1										
kaukojäähdytys			0,28										
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				43									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokitteluasteikko	9. Muut rakennukset												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A: ... 90</td> <td>B: 91 ... 130</td> <td>C: 131 ... 170</td> </tr> <tr> <td>D: 171 ... 190</td> <td>E: 191 ... 240</td> <td>F: 241 ... 280</td> </tr> <tr> <td>G: 281 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 90	B: 91 ... 130	C: 131 ... 170	D: 171 ... 190	E: 191 ... 240	F: 241 ... 280	G: 281 ...		
A: ... 90	B: 91 ... 130	C: 131 ... 170											
D: 171 ... 190	E: 191 ... 240	F: 241 ... 280											
G: 281 ...													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	A												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohti, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.</p>													
TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI													
Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)													
Ei toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.													
Suositukset on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".													

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Varastorakennukset			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015	Lämmitetty nettoala	5191,0	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q ₅₀	4,0	m ³ /(h m ²)		
	A m ²	U W/(m ² K)	U×A W/K	Osuus lämpöhäviöistä %
Ulkoseinät	1652,0	0,17	280,8	36 %
Yläpohja	1039,0	0,09	93,5	12 %
Alapohja	1039,0	0,16	166,2	21 %
Ikkunat	72,0	1,00	72,0	9 %
Ulko-ovet	118,0	1,10	129,8	16 %
Kylmäsiilat	-	-	44,6	6 %
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A m ²	U W/(m ² K)	g _{ikkunat} -arvo -	
Pohjoinen	18,0	1,00	0,75	
Koillinen	36,0	1,00	0,75	
Itä	18,0	1,00	0,75	
Kaakko				
Etelä				
Lounas				
Länsi				
Luode				
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla			
Pääilmanvaihtokoneet	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW / (m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto °C
	2,035 / 1,935	1,83	76 %	0,00
Erillispoistot	0,000 / 0,140	1,00	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	2,035 / 2,075	1,90	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:	68 %			
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Kaukolämpö Vesikiertoinen lattialämmitys			
Tilojen ja iv:n lämmitys Lämpimän käyttöveden valmistus	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin ¹	Apulaitteiden sähkönkäyttö ² kWh/(m ² vuosi)
	97 % 100 %	82 % 91 %	-	2,5
¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle ² lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen				
Varaava tulisija Ilmalämpöpumppu	Määrä kpl	Tuotto kWh/vuosi		
Jäähdytysjärjestelmä				
Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin				
-				
Jäähdytysjärjestelmä				
Lämmin käyttövesi				
Lämmin käyttövesi	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
	2	0		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
	10 % 30 %	0,5	1,0	7,0

F-I UVUN I ASKFNAN TUI OKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Varastorakennukset			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2015			
Lämmitetty nettoala, m ²	5191,0			
E-luku, kWh _e / (m ² vuosi)	43			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWh _e /vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
kaukolämpö	84094	0,5	42047	8
sähkö	148982	1,2	178778	34
uusiutuva polttoaine		0,5		
fossiilinen polttoaine		1		
kaukojäähdytys		0,28		
YHTEENSÄ	233076		220825	43
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinkosähkö				
Aurinkolämpö				
Tuulisähkö				
Lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia				
Muu ympäristöstä otettu energia, sähkö				
Muu ympäristöstä otettu energia, lämpö				
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys ¹		2,6	7,7	-
Tuloilman lämmitys			8,0	-
Lämpimän käyttöveden valmistus		0,2		-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		6,7	-	-
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		19,3	-	-
YHTEENSÄ		28,8	15,7	0,0
¹ ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys ²		32740	6	
Ilmanvaihdon lämmitys ²		41649	8	
Lämpimän käyttöveden valmistus		575	0	
Jäähdytys				
² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa				
³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Auninko		16033	3	
Henkilöt		2274	0	
Kuluttajalaitteet		4547	1	
Valaistus		95494	18	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä		220	0	
Laskentatyökalun nimi ja versionumero				
Laskentatyökalun nimi ja versionumero	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4			

TOTEUTUNUT ENERGIANKULUTUS					
Saatavilla olevat ostoenergian määrät ilmoitetaan sellaisenaan ilman lämmitystarvelukukorjausta. Ostoenergian määrät ilmoitetaan energiatodistuksen laatimista edeltävältä täydeltä kalenterivuodelta.					
Toteutunut ostoenergiankulutus					
Lämmitetty nettoala 5191,0 m ²					
Energiaverkoista ostettu energia				kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Kaukolämpö				58820	11
Kokonaissähkö				58590	11
Kiinteistö sähkö					
Käyttäjäsähkö					
Kaukojäähdytys					
Ostetut polttoaineet¹	polttoaineen määrä vuodessa	yksikkö	muunnos- kerroin kWh:ksi	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Kevyt polttoöljy		litra	10		
Pilkkeet (havu- ja sekapuu)		pino-m ³	1300		
Pilkkeet (koivu)		pino-m ³	1700		
Puupelletit		kg	4.7		
¹ Selostus ostettujen polttoaineiden määrän arvioinnista (yksikköä vuodessa) tulee esittää kohdassa "Lisämerkintöjä".					
Toteutunut ostoenergia yhteensä				kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)
Sähkö yhteensä				58590	11
Kaukolämpö yhteensä				58820	11
Polttoaineet yhteensä					
Kaukojäähdytys					
YHTEENSÄ				117410	23
Toteutunut energiankulutus riippuu mm. rakennuksen käyttäjien lukumäärästä ja käyttötottumuksista, käyttöajoista, sisäisistä kuormista, rakennuksen sijainnista ja vuotuisista sääolosuhteista. Todistusta laadittaessa energiankulutus lasketaan Etelä-Suomen sää tiedoilla ja siten, että rakennuksen käyttö on vakioitu.					
Yllä olevassa taulukossa ilmoitetut luvut saattavat sisältää kulutusta, joka ei sisälly laskennalliseen ostoenergiankulutukseen. Taulukosta voi myös puuttua energiankulutuksia, joiden kulutustietoja ei ollut saatavilla todistusta laadittaessa. Näiden syiden vuoksi toteutunut ostoenergiankulutus ei ole verrattavissa laskennalliseen ostoenergian kulutukseen.					

TOIMENPIDE-EHDOTUKSET E-LUVUN PARANTAMISEKSI				
Toimenpide-ehdotukset tähtäävät E-luvun parantamiseen, joten ne arvioidaan rakennuksen vakioidulla käytöllä. Osio ei koske uusia rakennuksia.				
Huomiot - ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat				
Ei toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.				
Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut ostoenergian muutokset				
1				
2				
3				
	Lämpö, ostoenergian muutos	Sähkö, ostoenergian muutos	Jäähdytys, ostoenergian muutos	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
1				
2				
3				
Huomiot ylä- ja alapohja				
Ei toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.				
Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut ostoenergian muutokset				
1				
2				
3				
	Lämpö, ostoenergian muutos	Sähkö, ostoenergian muutos	Jäähdytys, ostoenergian muutos	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
1				
2				
3				
Huomiot - tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät				
Ei toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.				
Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut ostoenergian muutokset				
1				
2				
3				
	Lämpö, ostoenergian muutos	Sähkö, ostoenergian muutos	Jäähdytys, ostoenergian muutos	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
1				
2				
3				

Huomiot - ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät				
Ei toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.				
Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut ostoenergian muutokset				
1				
2				
3				
	Lämpö, ostoenergian muutos	Sähkö, ostoenergian muutos	Jäähdytys, ostoenergian muutos	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
1				
2				
3				
Huomiot - valaistus, jäähdytysjärjestelmät, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät				
Ei toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi.				
Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut ostoenergian muutokset				
1				
2				
3				
	Lämpö, ostoenergian muutos	Sähkö, ostoenergian muutos	Jäähdytys, ostoenergian muutos	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
1				
2				
3				
Suosituksia rakennuksen käyttöön ja ylläpitoon (eivät vaikuta E-lukuun)				
Lähivuosina suositellaan ilmanvaihdon nuohousta ja säätöä.				
Lisätietoja energiatehokkuudesta				
Motiva Oy - Asiantuntija energian ja materiaalien tehokkaassa käytössä, www.motiva.fi				

LISÄMERKINTÖJÄ

Myymäälä on varustettu ilma-ilmalämpöpumpulla.

Energiatodistuksen laatimisessa käytettyjä lähtötietoja

Lämpökapasiteetti C_{rak} ominaisarvo $C_{rak, omin}$, Wh/m^2K	110,0
Rakennuksen ilmatilavuus V , m^3	14533,0
Tuloilman sisäänpuhaluslämpötila T_{sp} , $^{\circ}C$	13,0
Lämpöpumpun tuotto-osuus tilojen lämpöenergian tarpeesta $Q_{LHV}/Q_{lämpöenergia, tilat}$	
Lämpöpumpun tuotto-osuus käyttöveden lämpöenergian tarpeesta $Q_{LHV}/Q_{lämpöenergia, ilva}$	
Lämmönjakelujärjestelmän lämpöhäviöt lämmittämättömään tilaan $Q_{pohjat, uloin}$, kWh/a	0,0

Toimenpiteiden LCC-laskelma ja herkkyyshanalyysi

Toimenpide: Sisävalaistuksen uusiminen

Hankintakustannukset		
Hankintakustannukset (tarjous)	3247,5	€
Väilliset kustannukset	0,00	%
YHT alv 0%	3247,5	€
YHT	3247,5	€
Vuotuiset kustannukset	0	€/v
Tarkastelujakso	30	v
Energiantuotto		
Vuotuinen sähköenergian säästö toimenpiteen jälkeen	6065	kWh/v
Sähköenergian kulutus ennen toimenpidettä	12920,0	kWh/v
Sähköenergian kulutus toimenpiteen jälkeen	6855,0	kWh/v
Kiinteistösähkön kulutus	50190	kWh/v
Kiinteistösähkön hinta	0,15	€/kWh
Itsekäytetyn energian määrä	6065	kWh/v
Itsekäytetyn energian arvo	910	€/v
YHT	909,8	€/v
Reaalikorko	2,00	%
Vuonna 28, korjaukset	100,0	%
Vuonna 28, korjaukset ALV 0%	3247,5	€
Jännösarvo: purkun ja kierrätyksen kustannukset	0	€
Energian hinnan eskalaatio	2	%

Kuva 1. Laskennan lähtötiedot

Simple pay back time		
Hankinta	3247,5	€
Vuotuinen säästö	910	€/v
Takaisinmaksuaika	3,57	v

Kuva 2. Investoinnin yksinkertainen takaisinmaksuaika

LCC												
vuosi	H	Vuotuiset kustannukset	Jäänösarvo	Energian säästö	e	eskalaation kerroin	Korostettu energiansäästö	KV	i	Diskontto kerroin	Diskontattu KV	Kumuloitu DKV
v	€	€	€	€	%	-	€	€	%	-	€	€
0	3247,5							3247,5	2,00 %	1,00	3248	3248
1				910	2,0 %	1,02	928	-927,9	2,00 %	0,98	-910	2338
2				910	2,0 %	1,04	947	-946,5	2,00 %	0,96	-910	1428
3				910	2,0 %	1,06	965	-965,4	2,00 %	0,94	-910	518
4				910	2,0 %	1,08	985	-984,7	2,00 %	0,92	-910	-392
5				910	2,0 %	1,10	1004	-1004,4	2,00 %	0,91	-910	-1301
6				910	2,0 %	1,13	1025	-1024,5	2,00 %	0,89	-910	-2211
7				910	2,0 %	1,15	1045	-1045,0	2,00 %	0,87	-910	-3121
8				910	2,0 %	1,17	1066	-1065,9	2,00 %	0,85	-910	-4031
9				910	2,0 %	1,20	1087	-1087,2	2,00 %	0,84	-910	-4940
10				910	2,0 %	1,22	1109	-1109,0	2,00 %	0,82	-910	-5850
11				910	2,0 %	1,24	1131	-1131,2	2,00 %	0,80	-910	-6760
12				910	2,0 %	1,27	1154	-1153,8	2,00 %	0,79	-910	-7670
13				910	2,0 %	1,29	1177	-1176,9	2,00 %	0,77	-910	-8579
14				910	2,0 %	1,32	1200	-1200,4	2,00 %	0,76	-910	-9489
15				910	2,0 %	1,35	1224	-1224,4	2,00 %	0,74	-910	-10399
16				910	2,0 %	1,37	1249	-1248,9	2,00 %	0,73	-910	-11309
17				910	2,0 %	1,40	1274	-1273,9	2,00 %	0,71	-910	-12218
18				910	2,0 %	1,43	1299	-1299,3	2,00 %	0,70	-910	-13128
19				910	2,0 %	1,46	1325	-1325,3	2,00 %	0,69	-910	-14038
20				910	2,0 %	1,49	1352	-1351,8	2,00 %	0,67	-910	-14948
21				910	2,0 %	1,52	1379	-1378,9	2,00 %	0,66	-910	-15857
22				910	2,0 %	1,55	1406	-1406,5	2,00 %	0,65	-910	-16767
23				910	2,0 %	1,58	1435	-1434,6	2,00 %	0,63	-910	-17677
24				910	2,0 %	1,61	1463	-1463,3	2,00 %	0,62	-910	-18587
25				910	2,0 %	1,64	1493	-1492,5	2,00 %	0,61	-910	-19496
26				910	2,0 %	1,67	1522	-1522,4	2,00 %	0,60	-910	-20406
27				910	2,0 %	1,71	1553	-1552,8	2,00 %	0,59	-910	-21316
28		3247,5		910	2,0 %	1,74	1584	1663,6	2,00 %	0,57	956	-20360
29				910	2,0 %	1,78	1616	-1615,6	2,00 %	0,56	-910	-21270
30			0	910	2,0 %	1,81	1648	-1647,9	2,00 %	0,55	-910	-22180

Kuva 3. LCC-laskelma

Sähkön hinta €/kWh					
-22180	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0 %	-26131	-28640	-31150	-33660	-36169
2 %	-18541	-20360	-22180	-23999	-25819
4 %	-13424	-14789	-16155	-17521	-18886
6 %	-9882	-10941	-11999	-13058	-14117
8 %	-7367	-8212	-9058	-9903	-10749

Kuva 4. Sähköenergian ostohinnan ja reaalkoron vaikutusten herkkyyshanalyysi

Toimenpide – Sisälämpötilan laskeminen

Toimenpiteen kustannukset		
Selvitystyön kustannukset	400	€
Väiilliset kustannukset	0,00	%
YHT alv 0%	400	€
YHT	400	€
Monitoroinnin kustannukset	100	€/v
Tarkastelujakso	30	v
Energiansäästö		
Kaukolämpöenergian vuotuinen säästö	37,15	MWh/v
Kiinteistön kaukolämpöenergian kulutus ennen toimenpidettä	86,7	MWh/v
Kiinteistön kaukolämpöenergian kulutus toimenpiteen jälkeen	49,5	MWh/v
Kaukolämpöenergian hinta	101,41	€/MWh
Säästetty kaukolämpöenergia	37,15	MWh/v
Säästetyn kaukolämpöenergian arvo	3767	€/v
YHT.	3767	€/v
Reaalikorko	2,00	%
Energian hinnan eskalaatio	2	%

Kuva 5. Laskennan lähtötiedot

Simple pay back time		
Hankinta	400	€
Vuotuinen säästö	3767	€/v
Takaisinmaksuaika	0,106	v
Takaisinmaksuaika	1,274	kk

Kuva 6. Investoinnin yksinkertainen takaisinmaksuaika

LCC												
vuosi	H	Vuotuiset kustannukset	Jäänösarvo	Energian säästö	e	eskalaation kerroin	Korostettu energiansäästö	KV	i	Diskontto kerroin	Diskontattu KV	Kumuloitu DKV
	€	€	€	€	%	-	€	€	%	-	€	€
0		100						100,0	2,00 %	1,00	100	100
1		100		3767	2,0 %	1,02	3843	-3742,7	2,00 %	0,98	-3669	-3569
2		100		3767	2,0 %	1,04	3920	-3819,6	2,00 %	0,96	-3671	-7241
3		100		3767	2,0 %	1,06	3998	-3898,0	2,00 %	0,94	-3673	-10914
4		100		3767	2,0 %	1,08	4078	-3977,9	2,00 %	0,92	-3675	-14589
5		100		3767	2,0 %	1,10	4159	-4059,5	2,00 %	0,91	-3677	-18266
6		100		3767	2,0 %	1,13	4243	-4142,7	2,00 %	0,89	-3679	-21944
7		100		3767	2,0 %	1,15	4328	-4227,5	2,00 %	0,87	-3680	-25624
8		100		3767	2,0 %	1,17	4414	-4314,1	2,00 %	0,85	-3682	-29307
9		100		3767	2,0 %	1,20	4502	-4402,4	2,00 %	0,84	-3684	-32990
10		100		3767	2,0 %	1,22	4592	-4492,4	2,00 %	0,82	-3685	-36676
11		100		3767	2,0 %	1,24	4684	-4584,3	2,00 %	0,80	-3687	-40363
12		100		3767	2,0 %	1,27	4778	-4678,0	2,00 %	0,79	-3689	-44051
13		100		3767	2,0 %	1,29	4874	-4773,5	2,00 %	0,77	-3690	-47741
14		100		3767	2,0 %	1,32	4971	-4871,0	2,00 %	0,76	-3692	-51433
15		100		3767	2,0 %	1,35	5070	-4970,4	2,00 %	0,74	-3693	-55126
16		100		3767	2,0 %	1,37	5172	-5071,8	2,00 %	0,73	-3695	-58820
17		100		3767	2,0 %	1,40	5275	-5175,2	2,00 %	0,71	-3696	-62516
18		100		3767	2,0 %	1,43	5381	-5280,7	2,00 %	0,70	-3697	-66214
19		100		3767	2,0 %	1,46	5488	-5388,4	2,00 %	0,69	-3699	-69912
20		100		3767	2,0 %	1,49	5598	-5498,1	2,00 %	0,67	-3700	-73612
21		100		3767	2,0 %	1,52	5710	-5610,1	2,00 %	0,66	-3701	-77314
22		100		3767	2,0 %	1,55	5824	-5724,3	2,00 %	0,65	-3703	-81017
23		100		3767	2,0 %	1,58	5941	-5840,8	2,00 %	0,63	-3704	-84721
24		100		3767	2,0 %	1,61	6060	-5959,6	2,00 %	0,62	-3705	-88426
25		100		3767	2,0 %	1,64	6181	-6080,8	2,00 %	0,61	-3706	-92132
26		100		3767	2,0 %	1,67	6304	-6204,4	2,00 %	0,60	-3708	-95840
27		100		3767	2,0 %	1,71	6430	-6330,5	2,00 %	0,59	-3709	-99549
28		100		3767	2,0 %	1,74	6559	-6459,1	2,00 %	0,57	-3710	-103259
29		100		3767	2,0 %	1,78	6690	-6590,3	2,00 %	0,56	-3711	-106970
30		100	0	3767	2,0 %	1,81	6824	-6724,1	2,00 %	0,55	-3712	-110682

Kuva 7. LCC-laskelma

Kaukolämpöenergian hinta €/MWh					
-110682	90	95	100	105	110
0 %	-135252	-142938	-150625	-158311	-165997
2 %	-97965	-103538	-109110	-114683	-120255
4 %	-73459	-77641	-81824	-86007	-90189
6 %	-56894	-60137	-63380	-66622	-69865
8 %	-45382	-47971	-50561	-53150	-55739

Kuva 8. Kaukolämpöenergian ostohinnan ja reaalikoron vaikutusten herkkyyssanalyysi

Toimenpide – Lämmityksen tehojousto

Toimenpiteen kustannukset		
Hankintakustannukset (tarjous)	3500	€
Väiilliset kustannukset	0,00	%
YHT alv 0%	3500	€
ALV 0%	0,00	%
YHT.	3500	€
Palvelumaksu	600	€/v
Tarkastelujakso	30	v
Energiansäästö		
Säästetty laskutusteho	6,80	kW
Laskutusteho ennen toimenpidettä	68,00	kW
Laskutusteho toimenpiteen jälkeen	61,2	kW
Muuttuva osa	60,07	€/kW, vuosi
Säästetty laskutusteho	10	%
Toimenpiteellä säästetty laskutusteho	6,80	kW
Perusmaksussa säästetyn osuuden arvo	408,48	€/v
YHT.	408,48	€/v
Reaalikorko	2,00	%
Energian hinnan eskalaatio	2	%

Kuva 9. Laskennan lähtötiedot

Simple pay back time		
Hankinta	3500	€
Vuotuinen säästö	408,48	€/v
Takaisinmaksuaika	8,568	v

Kuva 10. Investoinnin yksinkertainen takaisinmaksuaika

LCC												
vuosi	H	Vuotuiset kustannukset	Jäänösarvo	Energiansäästö	e	eskalaation kerroin	Korostettu energiansäästö	KV	i	Diskontto kerroin	Diskontattu KV	Kumuloitu DKV
v	€	€	€	€	%	-	€	€	%	-	€	€
0	3500	600		408		1	408,48	3691,5	2,00 %	1,00	3692	3692
1		600		408	2,0 %	1,02	417	183,4	2,00 %	0,98	180	3871
2		600		408	2,0 %	1,04	425	175,0	2,00 %	0,96	168	4040
3		600		408	2,0 %	1,06	433	166,5	2,00 %	0,94	157	4196
4		600		408	2,0 %	1,08	442	157,9	2,00 %	0,92	146	4342
5		600		408	2,0 %	1,10	451	149,0	2,00 %	0,91	135	4477
6		600		408	2,0 %	1,13	460	140,0	2,00 %	0,89	124	4602
7		600		408	2,0 %	1,15	469	130,8	2,00 %	0,87	114	4715
8		600		408	2,0 %	1,17	479	121,4	2,00 %	0,85	104	4819
9		600		408	2,0 %	1,20	488	111,8	2,00 %	0,84	94	4913
10		600		408	2,0 %	1,22	498	102,1	2,00 %	0,82	84	4996
11		600		408	2,0 %	1,24	508	92,1	2,00 %	0,80	74	5070
12		600		408	2,0 %	1,27	518	82,0	2,00 %	0,79	65	5135
13		600		408	2,0 %	1,29	528	71,6	2,00 %	0,77	55	5190
14		600		408	2,0 %	1,32	539	61,0	2,00 %	0,76	46	5237
15		600		408	2,0 %	1,35	550	50,2	2,00 %	0,74	37	5274
16		600		408	2,0 %	1,37	561	39,2	2,00 %	0,73	29	5303
17		600		408	2,0 %	1,40	572	28,0	2,00 %	0,71	20	5323
18		600		408	2,0 %	1,43	583	16,6	2,00 %	0,70	12	5334
19		600		408	2,0 %	1,46	595	4,9	2,00 %	0,69	3	5338
20		600		408	2,0 %	1,49	607	-7,0	2,00 %	0,67	-5	5333
21		600		408	2,0 %	1,52	619	-19,1	2,00 %	0,66	-13	5320
22		600		408	2,0 %	1,55	631	-31,5	2,00 %	0,65	-20	5300
23		600		408	2,0 %	1,58	644	-44,1	2,00 %	0,63	-28	5272
24		600		408	2,0 %	1,61	657	-57,0	2,00 %	0,62	-35	5236
25		600		408	2,0 %	1,64	670	-70,1	2,00 %	0,61	-43	5194
26		600		408	2,0 %	1,67	684	-83,6	2,00 %	0,60	-50	5144
27		600		408	2,0 %	1,71	697	-97,2	2,00 %	0,59	-57	5087
28		600		408	2,0 %	1,74	711	-111,2	2,00 %	0,57	-64	5023
29		600		408	2,0 %	1,78	725	-125,4	2,00 %	0,56	-71	4952
30		600	0	408	2,0 %	1,81	740	-139,9	2,00 %	0,55	-77	4875

Kuva 11. LCC-laskelma

4875,16	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	13445	4789	-3866	-12522	-21177	-29833
2 %	11207	4875	-1456	-7788	-14119	-20450
4 %	9672	4869	66	-4738	-9541	-14344
6 %	8589	4819	1050	-2720	-6490	-10260
8 %	7804	4752	1701	-1350	-4402	-7453

Kuva 12. Toimenpiteen kaukolämpöenergian perusmaksun säästön ja reaali-
ron vaikutusten herkkyyshanalyysi

Toimenpide – Ilmanvaihdon optimointi

Toimenpiteen kustannukset		
Selvitystyön kustannukset	400	€
Väiilliset kustannukset	0,00 %	
YHT alv 0%	400	€
ALV 0%	0,00 %	
YHT.	400	€
Monitoroinnin kustannukset	100	€/v
Tarkastelujakso	30	v
Energiansäästö		
Vuotuinen sähköenergian säästö toimenpiteen jälkeen	2008,24	kWh/v
Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus toimenpiteen jälkeen	4857,8	kWh/v
Ilmanvaihdon sähköenergiankulutus ennen toimenpidettä	6866,1	kWh/v
Kiinteistösähkön kulutus	50190	kWh/v
Kiinteistösähkön hinta	0,15	€/kWh
Toimenpiteellä säästetty sähköenergia	2008	kWh/v
Toimenpiteellä säästetyn sähköenergian arvo	301	€/v
YHT.	301,2	€/v
Reaalikorko	2,00 %	
Energian hinnan eskalaatio	2 %	

Kuva 13. Laskennan lähtötiedot

Simple pay back time		
Hankinta	400	€
Vuotuinen säästö	301	€/v
Takaisinmaksuaika	1,33	v

Kuva 14. Investoinnin yksinkertainen takaisinmaksuaika

LCC													
		Vuotuiset kustannukset	Jäänösarvo	Energians äästö	e	eskalaatio kerroin	Korostettu energiansäästö	KV	i	Diskonnto kerroin	Diskonntattu KV	Kumuloitu DKV	
			€	€	%	-	€	€	%	-	€	€	
								400,0	2,00 %	1,00	400	400	
		100		301	2,0 %	1,02	307	-207,3	2,00 %	0,98	-203	197	
		100		301	2,0 %	1,04	313	-213,4	2,00 %	0,96	-205	-8	
		100		301	2,0 %	1,06	320	-219,7	2,00 %	0,94	-207	-215	
		100		301	2,0 %	1,08	326	-226,1	2,00 %	0,92	-209	-424	
		100		301	2,0 %	1,10	333	-232,6	2,00 %	0,91	-211	-635	
		100		301	2,0 %	1,13	339	-239,2	2,00 %	0,89	-212	-847	
		100		301	2,0 %	1,15	346	-246,0	2,00 %	0,87	-214	-1061	
		100		301	2,0 %	1,17	353	-252,9	2,00 %	0,85	-216	-1277	
		100		301	2,0 %	1,20	360	-260,0	2,00 %	0,84	-218	-1495	
		100		301	2,0 %	1,22	367	-267,2	2,00 %	0,82	-219	-1714	
		100		301	2,0 %	1,24	375	-274,5	2,00 %	0,80	-221	-1935	
		100		301	2,0 %	1,27	382	-282,0	2,00 %	0,79	-222	-2157	
		100		301	2,0 %	1,29	390	-289,7	2,00 %	0,77	-224	-2381	
		100		301	2,0 %	1,32	397	-297,5	2,00 %	0,76	-225	-2607	
		100		301	2,0 %	1,35	405	-305,4	2,00 %	0,74	-227	-2834	
		100		301	2,0 %	1,37	414	-313,5	2,00 %	0,73	-228	-3062	
		100		301	2,0 %	1,40	422	-321,8	2,00 %	0,71	-230	-3292	
		100		301	2,0 %	1,43	430	-330,2	2,00 %	0,70	-231	-3523	
		100		301	2,0 %	1,46	439	-338,8	2,00 %	0,69	-233	-3756	
		100		301	2,0 %	1,49	448	-347,6	2,00 %	0,67	-234	-3990	
		100		301	2,0 %	1,52	457	-356,6	2,00 %	0,66	-235	-4225	
		100		301	2,0 %	1,55	466	-365,7	2,00 %	0,65	-237	-4461	
		100		301	2,0 %	1,58	475	-375,0	2,00 %	0,63	-238	-4699	
		100		301	2,0 %	1,61	485	-384,5	2,00 %	0,62	-239	-4938	
		100		301	2,0 %	1,64	494	-394,2	2,00 %	0,61	-240	-5179	
		100		301	2,0 %	1,67	504	-404,1	2,00 %	0,60	-241	-5420	
		100		301	2,0 %	1,71	514	-414,2	2,00 %	0,59	-243	-5663	
		100		301	2,0 %	1,74	524	-424,5	2,00 %	0,57	-244	-5906	
		100		301	2,0 %	1,78	535	-434,9	2,00 %	0,56	-245	-6151	
		100	0	301	2,0 %	1,81	546	-445,6	2,00 %	0,55	-246	-6397	

Kuva 15. LCC-laskelma

Sähkön hinta €/kWh					
-6397	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0 %	-7403	-8234	-9065	-9896	-10727
2 %	-5192	-5795	-6397	-7000	-7602
4 %	-3749	-4202	-4654	-5106	-5558
6 %	-2781	-3132	-3482	-3833	-4184
8 %	-2113	-2393	-2673	-2953	-3233

Kuva 16. Sähkön ostohinnan ja reaalikoron vaikutusten herkkyyksianalyysi

Toimenpide – Aurinkosähköjärjestelmän asentaminen

Järjestelmä ja hankintakustannukset		
Nimellisteho	20,4	kWp
Hankintakustannukset (tarjous)	24400	€
Väiilliset kustannukset	0,00	%
YHT alv 0%	24400	€
Vuotuiset kustannukset	0	€/v
Käyttöikä	30	v
Energiantuotto		
Aurinkosähkön vuotuinen tuotanto	17470	kWh/v
Aurinkosähkön tuotanto	856,4	kWh/(v.kWp)
Kiinteistösähkön kulutus	50190	kWh/v
Kiinteistösähkön hinta	0,15	€/kWh
Itsekäytetyn energian osuus (arvio)	80	% tuotannosta
Itsekäytetyn energian määrä	13976	kWh/v
Itsekäytetyn energian arvo	2096	€/v
Myydyn energian osuus	20	% tuotannosta
Myydyn energian hinta	0,067	€/kWh
Myydyn energian osuus (ylijäämä)	20	% tuotannosta
Myydyn energian määrä (ylijäämä)	3494	kWh/v
Myydyn energian arvo	233	€/v
YHT.	2329	€/v
Reaalikorko	2,00	%
Vuonna 15, korjaukset	4,5	%
Vuonna 15, korjaukset ALV 0%	1098	€
Vuonna 15, korjaukset yht.	1098	€
Jännösarvo: purkun ja kierrätyksen kustannukset	600	€
Energian hinnan eskalaatio	2	%

Kuva 17. Laskennan lähtötiedot

Simple pay back time		
Hankinta	24400	€
Vuotuinen säästö	2329	€/v
Takaisinmaksuaika	10,5	v

Kuva 18. Investoinnin yksinkertainen takaisinmaksuaika

LCC												
osi	H	Vuotuiset kustannukset	Jäänösarvo	Energiantuotto	e	eskalaation kerroin	Korostettu energian tuotto	KV	i	Diskontto kerroin	Diskontattu KV	Kumuloitu DKV
r	€	€	€	€	%	-	€	€	%	-	€	€
0	24400							24400,0	2,00 %	1,00	24400	24400
1				2329	2,0 %	1,02	2376	-2375,7	2,00 %	0,98	-2329	22071
2				2329	2,0 %	1,04	2423	-2423,2	2,00 %	0,96	-2329	19742
3				2329	2,0 %	1,06	2472	-2471,7	2,00 %	0,94	-2329	17413
4				2329	2,0 %	1,08	2521	-2521,1	2,00 %	0,92	-2329	15084
5				2329	2,0 %	1,10	2572	-2571,5	2,00 %	0,91	-2329	12754
6				2329	2,0 %	1,13	2623	-2622,9	2,00 %	0,89	-2329	10425
7				2329	2,0 %	1,15	2675	-2675,4	2,00 %	0,87	-2329	8096
8				2329	2,0 %	1,17	2729	-2728,9	2,00 %	0,85	-2329	5767
9				2329	2,0 %	1,20	2783	-2783,5	2,00 %	0,84	-2329	3438
10				2329	2,0 %	1,22	2839	-2839,2	2,00 %	0,82	-2329	1109
11				2329	2,0 %	1,24	2896	-2895,9	2,00 %	0,80	-2329	-1220
12				2329	2,0 %	1,27	2954	-2953,9	2,00 %	0,79	-2329	-3549
13				2329	2,0 %	1,29	3013	-3012,9	2,00 %	0,77	-2329	-5878
14				2329	2,0 %	1,32	3073	-3073,2	2,00 %	0,76	-2329	-8207
15		1098		2329	2,0 %	1,35	3135	-2036,7	2,00 %	0,74	-1513	-9721
16				2329	2,0 %	1,37	3197	-3197,4	2,00 %	0,73	-2329	-12050
17				2329	2,0 %	1,40	3261	-3261,3	2,00 %	0,71	-2329	-14379
18				2329	2,0 %	1,43	3327	-3326,5	2,00 %	0,70	-2329	-16708
19				2329	2,0 %	1,46	3393	-3393,1	2,00 %	0,69	-2329	-19037
20				2329	2,0 %	1,49	3461	-3460,9	2,00 %	0,67	-2329	-21366
21				2329	2,0 %	1,52	3530	-3530,1	2,00 %	0,66	-2329	-23695
22				2329	2,0 %	1,55	3601	-3600,7	2,00 %	0,65	-2329	-26024
23				2329	2,0 %	1,58	3673	-3672,8	2,00 %	0,63	-2329	-28353
24				2329	2,0 %	1,61	3746	-3746,2	2,00 %	0,62	-2329	-30683
25				2329	2,0 %	1,64	3821	-3821,1	2,00 %	0,61	-2329	-33012
26				2329	2,0 %	1,67	3898	-3897,6	2,00 %	0,60	-2329	-35341
27				2329	2,0 %	1,71	3976	-3975,5	2,00 %	0,59	-2329	-37670
28				2329	2,0 %	1,74	4055	-4055,0	2,00 %	0,57	-2329	-39999
29				2329	2,0 %	1,78	4136	-4136,1	2,00 %	0,56	-2329	-42328
30			600	2329	2,0 %	1,81	4219	-3618,8	2,00 %	0,55	-1998	-44326

Kuva 19. LCC-laskelma

Sähkön hinta €/kWh					
-44326	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0 %	-58712	-64496	-70279	-76062	-81845
2 %	-35940	-40133	-44326	-48519	-52711
4 %	-20957	-24104	-27251	-30398	-33545
6 %	-10819	-13259	-15698	-18138	-20578
8 %	-3765	-5713	-7661	-9610	-11558

Kuva 20. Sähkön ostohinnan ja reaalikoron vaikutusten herkkyysanalyysi