



Valentin Chepelev

Kiinteistöjen olosuhteiden ja prosessien optimointi huoltopalveluja soveltamalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

22.9.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Valentin Chepelev
Otsikko:	Kiinteistöjen olosuhteiden ja prosessien optimointi huoltopalveluja soveltamalla
Sivumäärä:	34 sivua
Aika:	22.9.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja Erkki Räsänen ePalvelun osastopäällikkö Ville Markkanen

Tässä insinööriyössä tarkastellaan, miten kiinteistöjen olosuhteita ja prosesseja voidaan optimoida huoltopalvelujen avulla, keskittyen erityisesti liikekiinteistöihin. Työ tehtiin yhteistyössä Schneider Electric Finland Oy:n kanssa. Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa myynnille ja markkinoinnille lisämateriaalia, sekä tutkia kiinteistöjen olosuhteiden optimoinnin mahdollisuuksia ja niiden ylläpidon kustannustehokkuutta. Työssä käsiteltiin rakennusautomaatiojärjestelmiä, energiatehokkuutta ja älykkäiden kiinteistöjen ominaisuuksia, sekä tutkittiin erilaisia kunnossapitomenetelmiä, kuten reaktiivista ja ennaltaehkäisevää kunnossapitoa. Case-tutkimuksissa analysoitiin kolmea eri kiinteistökohdetta, joissa käytettiin erilaisia optimointi- ja huoltostrategioita. Tulosten perusteella energiatehokkuus ja optimointi ovat avainasemassa kiinteistöjen kustannusten hallinnassa ja ympäristövaikutusten vähentämisessä.

Johtopäätöksenä todetaan, että kiinteistöjen optimointi vaatii jatkuvaa seurantaa ja analytiikkaa, sekä räätälöityjä ratkaisuja, jotka huomioivat kiinteistökohtaiset tarpeet. Energiatehokkuus ja asianmukainen huolto voivat merkittävästi parantaa kiinteistön suorituskykyä ja vähentää kustannuksia.

Avainsanat:	Energiatehokkuus, Anturit, Rakennusautomaatio, Älykkäät kiinteistöt, Etäpalvelut, Kiinteistön optimointi
-------------	--

Abstract

Author: Valentin Chepelev
Title: Optimization of Building Performance and Processes with the Help of Maintenance Services
Number of Pages: 34 pages
Date: 22 September 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation Engineering
Supervisors: Erkki Räsänen, Principal Lecturer
Ville Markkanen, FS Manager

This bachelor's thesis explores how building conditions and processes can be optimized using maintenance services. Focus of this study is on commercial properties. The work was conducted in collaboration with Schneider Electric Finland Oy. The goal was to provide additional material for sales and marketing, as well as to investigate how to reduce maintenance costs by optimizing building operations.

The thesis covers topics such as building automation systems, energy efficiency, and the characteristics of smart buildings. It also examines various maintenance methods, including reactive and preventative maintenance. The case studies analyze three different properties with varying optimization strategies. The results show that energy efficiency and optimization are crucial for managing costs and reducing environmental impact in buildings. The optimization of building operations requires continuous monitoring and analysis, along with tailored solutions that address the specific needs of each property. Proper energy management and maintenance can significantly improve building performance and reduce costs.

Keywords: Energy Efficiency, Sensors, Building Automation, Smart Buildings, Remote Services, Building Optimization

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	6
2	Älykkäät kiinteistöt	7
2.1	Rakennusautomaatio	7
2.2	Rakennusautomaatiojärjestelmät	8
2.3	Kustannustehokkaat kiinteistöt	12
2.4	Energiatehokkuus nyt ja tulevaisuudessa	14
2.5	Kiinteistöjen energiatehokkuus	16
2.6	Kiinteistöjen ja ympäristön optimointi	18
3	Kunnossapito	21
3.1	Reaktiivinen eli korjaava kunnossapito	21
3.2	Ennaltaehkäisevä kunnossapito	21
3.3	Muut kunnossapitomenetelmät	23
4	Menetelmävalinnat ja aineiston keruu	24
4.1	Menetelmävalinnat	24
4.2	Aineiston keruu	24
5	Case Schneider Electric	25
6	Johtopäätökset	29
7	Yhteenveto	31
	Lähteet	32

Lyhenteet

LVI: Lämpö-, vesi- ja ilmastointitekniikka

IV: Ilmanvaihto

1 Johdanto

Työ toteutetaan yhteistyössä Schneider Electric Finland Oy:n kanssa, joka on myös työn toimeksiantaja. Insinööriyön tarkoituksena on saada hyödyllistä lisämateriaalia myynnille ja markkinoinnille. Työssä tullaan käymään läpi, mistä kiinteistöjen olosuhteet koostuvat ja mitkä järjestelmät niistä vastaavat. Pohjustettua järjestelmät siirrymme käsittelemään millaiset olosuhteet ovat suotuisimmat ja miten ne saavutetaan sekä ylläpidetään.

Kiinteistöjen käyttötarkoituksesta riippuen suotuisat olosuhteet voivat vaihdella suuresti. Työssä tullaan pääsääntöisesti käsittelemään liikekiinteistöjä ja kuinka niiden ylläpidokustannuksiin voidaan vaikuttaa. Liikekiinteistöissä on useita ylläpidollisia kustannuksia. Osaa voidaan lievittää esimerkiksi laskemalla turhaa energiankulutusta rakennusautomaation avulla optimoiden talotekniset prosessit. Toisinaan toimintavarmuuden ylläpito sekä nopea reagointi vikaantumiseen on tärkeämpi tekijä kustannusten alentamisessa, jos kriittisten toimintojen alasajo aiheuttaa mittavia kustannuksia. Toimintavarmuutta näihin tilanteisiin tuovat ennakoivat huoltotoimenpiteet ja asianmukainen etähallinta, joka vastaa kiinteistön kunnosta sekä toimivuudesta.

Työn lopuksi tutustutaan Schneider Electric Finland Oy:n tarjoamiin palveluihin ja palvelutasoihin, ja pohditaan valintakriteerejä, jotka takaavat kustannustehokkaimman ratkaisun asiakkaalle sekä mietitään, miten näitä asioita voitaisiin kehittää jatkossa entistä paremmin palvelemaan käyttötarkoitusta.

2 Älykkäät kiinteistöt

Tässä luvussa perehdytään älykkäisiin kiinteistöihin teoreettisen katselmoinnin avulla. Älykkäät kiinteistöt koostuvat energiatehokkaista ja optimoiduista ratkaisuista, joita puolestaan valvoo rakennusautomaatiojärjestelmä. Erilaiset mittaukset sekä ennakointi ovat osa rakennusautomaatiojärjestelmää, ja näiden avulla pyritään optimoimaan ennakkoon kiinteistön energiatehokkuutta tinkimättä olosuhteista kiinteistön sisällä.

2.1 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan esimerkiksi kiinteistöä ohjaavaa järjestelmää, joka säätää ennalta ohjelmoitujen funktioiden avulla kiinteistön toimintaa eri tilanteissa käyttäen apuna erilaisten mittausten tuloksia. Kiinteistön lämmitys, ilmanvaihto ja viilennys vastaavat noin 50 % kiinteistön koko energian kulutuksesta Yhdysvalloissa, jossa kulutus on noin 172 kilowattituntia per neliometri (Aftab ym. 2017). Euroopassa puolestaan kiinteistöt ovat vastuussa noin 40 % kaikesta energiankulutuksesta sekä 36 % kasvihuonekaasupäästöistä Euroopan Unionin mukaan (Desideri & Asdrubali 2019). Nagarathinam ym. (2017) julkaistun artikkelin mukaan rakennukset ja kiinteistöt kuluttavat noin 40 % globaalista energiasta vuosittain, ja tästä lämmityksen, ilmastoinnin ja ilmanvaihdon osuus on 40–70 % välillä. Rakennusautomaatiojärjestelmien avulla pyritään vastaamaan tehokkaasti ja nopeasti dynaamisesti muuttuviin olosuhteisiin. Päätoiminnot, joita rakennusautomaatiojärjestelmästä löytyy, voidaan jakaa kahteen eri tehtävään:

- Ympäristön ja kiinteistön mittaaminen eri tavoin
- Ohjausstrategian optimointi perustuen kiinteistön nykytilaan, käyttöasteeseen sekä tulevaisuuden ennakointiin.

Näiden päätoimintojen avulla muodostetaan yhteneväinen prosessi, joka sisältää tunnistamisen, laskennan ja ohjauksen (Aftab ym. 2017.)

Viime vuosina rakennusten energiankulutuksen vähentäminen on herättänyt yhä enemmän kiinnostusta tutkijoiden keskuudessa pääasiassa käytännöllisistä syistä, kuten taloudellisista eduista ja pitkän aikavälin ympäristökestävyydestä. Maailmassa tapahtuva energian kulutus ei ole enää kestäväällä tasolla, ja uusia ratkaisuja kulutuksen hillitsemiseksi on tarve keksiä. On arvioitu, että koko maapallon energian kulutuksesta noin 20 % menee erilaisten kiinteistöjen kulutukseen. Yksi suurimmista ongelmista kulutuksen vähentämiseen on se, että yhteneväisiä ratkaisuja ja standardeja ei ole pystytty luomaan, vaan eri organisaatiot käyttävät erilaisia ratkaisuja (De Paola ym. 2014.)

2.2 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Kiinteistöihin kuuluvat rakennusautomaatiojärjestelmät koostuvat erilaisista laitteista ja sensoreista, jotka toimivat yhden tai useamman järjestelmän alla, yhdessä tai erikseen. Rakennusautomaatiojärjestelmät säätelevät laitteiden toimintaa ennalta määritetyllä tavalla, jotta saavutetaan esimerkiksi haluttu ilman lämpötila vuorokauden ympäri rakennuksen sisällä ohjaamalla niin sähköisesti kuin mekaanisesti laitteistoa. Rakennusautomaatiojärjestelmät ovat saaneet viime vuosina entistä enemmän huomiota, ja niiden tärkeyttä on korostettu tärkeänä osana energiatehokkuutta. Yleisimpiä väylätekniikoita, joiden avulla rakennusautomaatiojärjestelmät tällä hetkellä käyttävät tiedonsiirtoon ja keskusteluun eri laitteiden välillä, ovat esimerkiksi KNX ja Modbus (Domingues ym. 2016.)

Rakennusautomaatiojärjestelmien avulla kiinteistön kulut laskevat, mutta niiden arvo nousee käyttäjien keskuudessa perustuen erilaisiin älykkäisiin ratkaisuihin. Rakennusautomaatiojärjestelmien toiminta pohjautuu datan keräämiseen, lajitteluun, analysointiin sekä datan käyttämiseen. Datan avulla voidaan visualisoida käyttäjälle järjestelmän ja rakennuksen tilaa, sen avulla voidaan tarkastella mennyttä ja ennustaa tulevaisuutta. Datan avulla voidaan myös ohjelmoida erilaisia sääntöjä sekä toimintoja, jotka puolestaan edesauttavat kiinteistöjä reagoimaan ennakoidusti tulevaan. Alla olevassa taulukossa 1 on

listattu muutamia yksinkertaisia ydinpiirteitä rakennusautomaatiojärjestelmistä, jotka auttavat vähentämään energiankulutusta (Capehart ym. 2007: 2–23.)

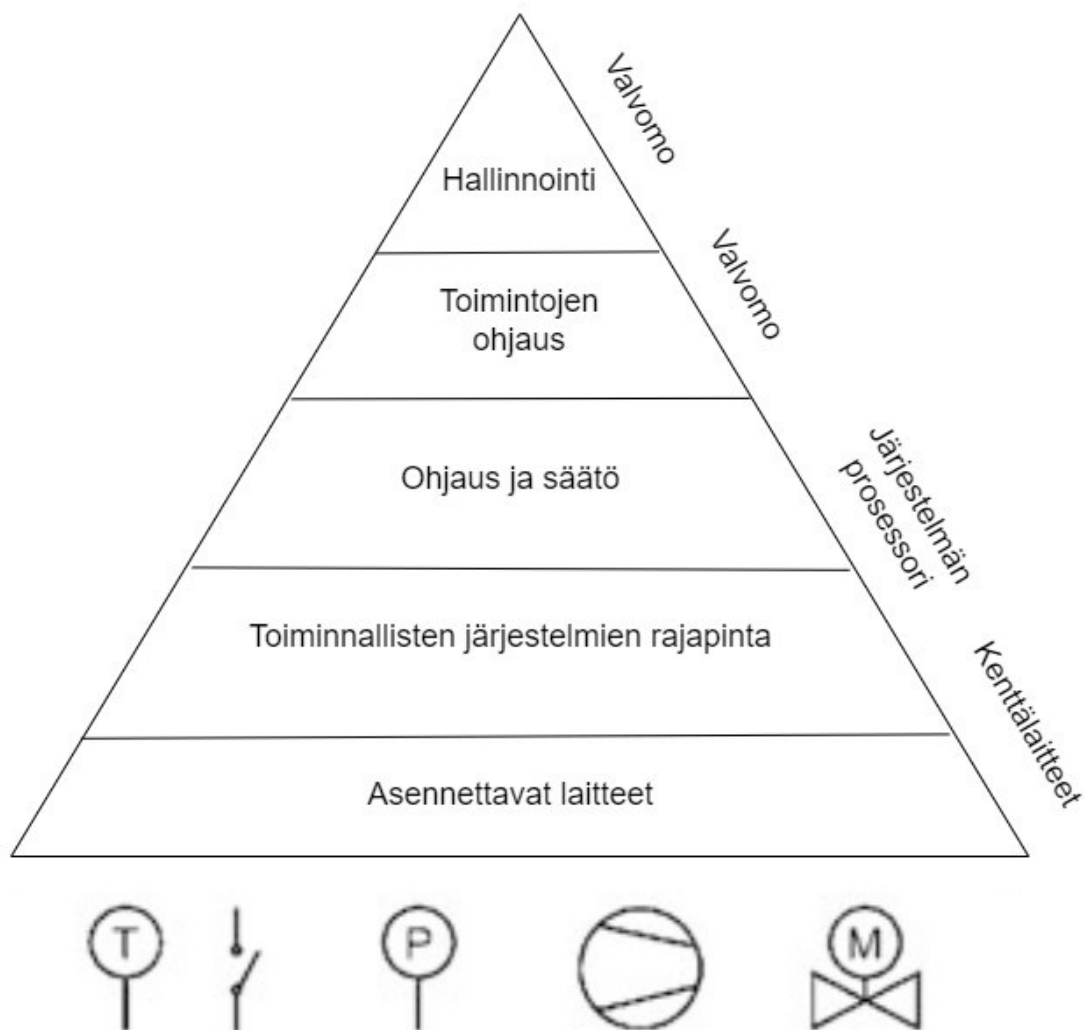
Taulukko 1. Yksinkertaisia rakennusautomaatiojärjestelmän toimintoja. (Capehart ym. 2007: 19.)

Ominaisuus	Hyöty
Himmennettävä loisteputkivalaistus, joka on yhdistetty kaihdinohjaukseen	Optimaalinen valaistus, voidaan määrittää ennalta
Liiketunnistimella varustettu valaistuksen ohjaus	Valaistus menee päälle vain tarvittaessa. Vähentää energiankulutusta
Lämmön talteenotto ilmanvaihdossa	Vähentää energiankulutusta
Yksilöllinen lämpötilan ja valaistuksen säätö	Voidaan sammuttaa tai säätää tarpeen tullen, vähentää energiankulutusta
Lämmityksen ja jäähdytyksen säteily	Parantaa mukavuutta ja vähentää energiankulutusta
Valaistuksen ja ilmanvaihdon ajastus	Vähentää energiankulutusta
Sisäilman laadun ja epäpuhtauksien seuranta	Parantaa mukavuutta ja kasvattaa tuottavuutta.

Rakennusautomaatiojärjestelmää suunniteltaessa osaksi kiinteistöä tulisi ottaa huomioon monia asioita etukäteen. Näitä asioita ovat esimerkiksi kiinteistön

sijainti, ekologiset tavoitteet, budjetti, rakennusautomaatiojärjestelmän tarkoitus sekä automatisoitavien asioiden laajuus (Capehart ym. 2007: 5–25.)

Rakennusautomaatiojärjestelmien ongelmaksi muodostuu yhteneväisten standardien puute ja eri väyläteknologioiden yhteensopimattomuus. Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty rakennusautomaatiojärjestelmän yksinkertaistettu hierarkia.



Kuva 1. Rakennusautomaatiojärjestelmän hierarkia (Mukaiillen Merz ym. 2018: 9.)

Rakennusautomaatiojärjestelmien tulevaisuuden rooli tulee varmasti kasvamaan, ja luomalla standardit, joita kaikki käyttävät voitaisiin vähentää

energiankulutusta vielä entisestään, mutta samalla alentaa kustannuksia. Eri valmistajat, erilaiset väylätekniikat ja ratkaisut eivät pidemmän päälle palvele globaalia, kestäväää kehitystä. Käyttämällä valmiiksi standardoituja väylätekniikoita voitaisiin uusia ominaisuuksia ja järjestelmiä kehittäessä aloittaa kehitystyö paljon myöhemmin. Tällä hetkellä kehitystyö alkaa useasti alusta joka kerta, mikä lisää kehitykseen kuluvaä aikaa sekä siihen sidottavia resursseja niin ajallisesti mutta myös rahallisesti (Domingues ym. 2016.)

Rakennusautomaatiojärjestelmän täytyy toimiakseen pystyä mittaamaan erilaisia ympärillä tapahtuvia asioita sekä luonnonilmiöitä, kuten lämpötilaa, auringonvaloa ja esimerkiksi lumisadetta. Rakennusautomaatiojärjestelmään kuuluu useasti erilaisia antureita, esimerkiksi erilaisia lämpötila-antureita, ilmanpaineantureita, liiketunnistimia, nestepaineantureita, ilmavirtausantureita, valoisuusantureita ja kosteusantureita. Anturit voivat mitata tietoja niin nesteestä kuin ilmasta, ja niitä on käytännössä olemassa kaikelle, mitä tulee pystyä mittaamaan. Usein antureista kerätty data säilötään ja siitä voidaan piirtää trendejä hallintasovellukseen, josta voidaan tarkastella graafisessa muodossa helposti ja ymmärrettävästi historiatietoja (Sinopoli 2010: 32–49.)

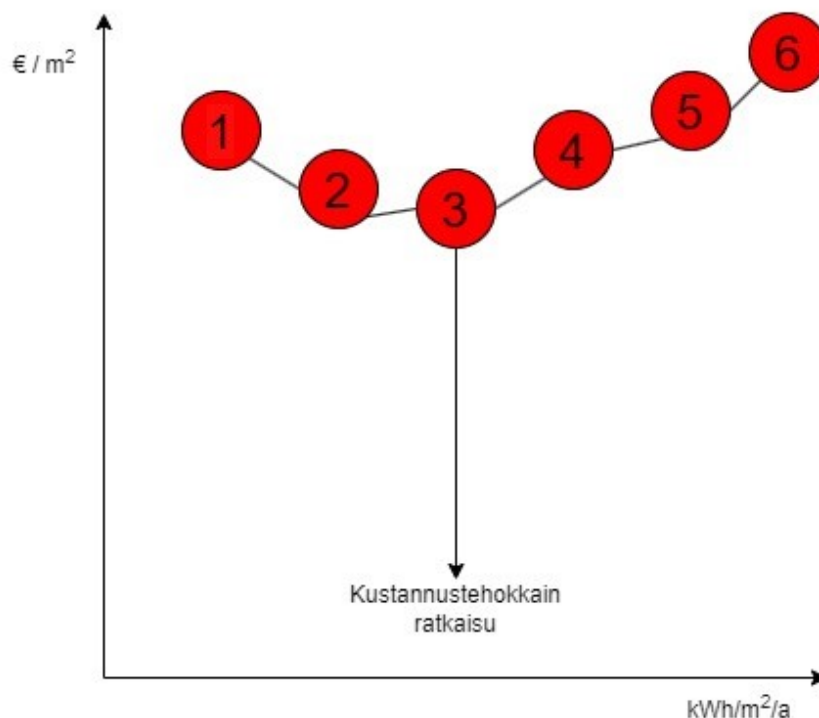
2017 tehdyssä tutkimuksessa todettiin, että suurissa tiloissa, kuten liikekiinteistöissä, antureiden määrän tulisi kasvaa, jos halutaan tarkempia arvoja esimerkiksi jäähdytyksen tai ilmanvaihdon tarpeen ennakointiin. Ihmisten määrää on vaikeampi havainnoida kuin lämpötilaa, ja tämä vaikuttaa suoraan ylimääräiseen energiantarpeeseen. Kuitenkin tulisi huomioida myös se, että antureiden virheellisellä tiedolla tai alimitoitettulla määrällä antureita on suuri vaikutus kulutettuun energiaan. Mitä tarkemmin tilan käyttäjämäärästä saadaan tieto, voidaan ennakkoon maltillisemmalla energiankulutuksella vastata tarpeisiin (Nagarathinam ym. 2017.)

Rakennusautomaatiojärjestelmän anturit ovat kriittisiä palasia, ja niiden käytössä sekä eliniässä korostuu laatu sekä ennakoiva huolto. Erityisesti ilmanvaihto, -jäähdytys sekä -lämmityslaitteiden oikeanlainen toiminta perustuu laadukkaisiin ja luotettavaa dataa antaviin antureihin. Yksi uusimmista tavoista

kehittää rakennusautomaatiojärjestelmiä pidemmälle on ollut langattomat anturit, jotka toimivat pilvipalvelussa suoraan. Haasteeksi näissä muodostuu se, että varsinkin teollisuudessa käytettävät anturit ovat useasti paikassa, jossa langatonta verkkoyhteyttä ei ole saatavilla. Voidaan kuitenkin todeta, että oikealla tavalla toimivat anturit luovat tietoa erilaisille järjestelmille, joiden avulla voidaan kiinteistöä tai rakennusta hallinnoida oikealla tavalla. Suurimmat energiansäästöt tapahtuvat ennakkoinnin, sekä optimaalisten käyttöolosuhteiden kautta (Wen 2018: 7–40.)

2.3 Kustannustehokkaat kiinteistöt

EU:ssa on käytössä energiatehokkuusdirektiivi EPBD 2002 ja tämän uudelleenlaadinta vuodelta 2010. Nämä direktiivit käsittelevät esimerkiksi kustannustehokasta metodologiaa osana nykyaikaista rakentamista. Yksi suurimmista syistä kiinteistöjen energiatehokkuuteen ja siihen pyrkimiseen tulee suurista kulutus- ja päästöluvuista, mutta myös kustannustehokkuus ja ekologisuus painostavat yrityksiä kehittelemään uusia teknologioita sekä tapoja pienentää kulutusta. Kustannusoptimaalinen metodologia on kehitetty EU:ssa auttamaan jäsenvaltioita määrittelemään energiatehokkuusvaatimukset rakennuksille tavalla, joka on kustannustehokas yhteiskunnan näkökulmasta. Tämä tarkoittaa, että rakennusten energiatehokkuustoimet valitaan siten, että niiden kokonaiskustannukset (alkuperäiset investointikustannukset plus käyttö- ja ylläpitokustannukset energiansäästöjen aikana) ovat mahdollisimman pienet. Jäsenvaltioiden on määritettävä referenssirakennukset ja arvioitava erilaisia energiatehokkuustoimien yhdistelmiä löytääkseen kustannusoptimaaliset tasot, jotka ohjaavat kansallisten energiatehokkuusvaatimusten asettamista. Kuvassa 1 on nähtävillä kustannustehokkaan metodologian havainnointi graafisesti, missä kiinteistölle valitaan energiaa säästävää ja samalla kustannustehokas ratkaisu (Desideri ym. 2019: 13–24.)



Kuva 2. Kustannustehokas metodologia osana kiinteistöjen energiankulutuksen arviointia (Mukaillen Desideri ym. 2019: 17.)

EPBD:n 2010 uudelleenlaadinta toi käsitteen lähes nollaenergiarakennukset, jotka ovat rakennuksia, joilla on erittäin korkea energiatehokkuus. Lähes nollaenergiarakennuksen määritelmä on jäsenvaltioittain erilainen, mutta yleisesti ottaen rakennukset tuottavat suuren osan tarvitsemastaan energiasta uusiutuvista lähteistä, joko paikan päällä tai lähellä sijaitsevista. Vuoteen 2020 mennessä kaikkien uusien rakennusten on oltava nollaenergia-tasolla, ja julkisten rakennusten on täytynyt saavuttaa tämä taso jo vuoden 2018 loppuun mennessä (Desideri & Asdrubali 2019: 13–20.)

Yksi suosituimmista tavoista tehdä kiinteistöistä energiatehokkaita on niiden tiivistämisen sekä siinä käytettävien materiaalien jatkuva kehitys. Sopivilla materiaaleilla kiinteistöt saadaan säilyttämään sisäilma tietyssä lämpötilassa ja vähentämään ilmavuotoja, jolloin lämmityksen tai jäähdytyksen tarve vähenee. Muita mainitsemisen arvoisia seikkoja on kiinteistöjen ikkunoiden sijainti, koko, muoto sekä esimerkiksi vesikäyttöisillä pattereilla tapahtuvan

lämmitysjärjestelmän tehokkuus. Lopullista energiatehokkuutta avitetaan yleisesti erilaisilla rakennusautomaatiojärjestelmillä, jotka puolestaan ohjaavat esimerkiksi kiinteistössä olevia lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtolaitteistoa. Näiden oikeanlaisella ohjelmoinnilla voidaan saavuttaa isoja säästöjä ja pienentää kiinteistön energiankulutusta. (Desideri & Asdrubali 2019: 8–25.) Tushar ym. (2022) tekivät tutkimuksen kiinteistöjen energiatehokkuudesta, siitä miten tehokkuutta voidaan parantaa yksinkertaisilla toimilla, miten tehokkuutta arvioidaan ja missä kohtaa kulut nousevat liian korkeaksi tuloksiin verrattuna. Tutkimuksessa todettiin, että yksinkertaisia toimia ovat useamman kerroksen sisältävät ulkoikkunat sekä erilaiset eristeet kiinteistössä, kuten ulkoseinissä, lattiassa ja katossa. Näiden menetelmien tehokkuutta arvioitiin monelta eri kantilta kuten nettonykyarvon, hyöty-kustannussuhteen ja sisäisen korkokannan avulla. Tutkimuksessa todettiin myös, että elinkaaren aikana tehtävät lisäinvestoinnit menettävät merkityksensä jossain kohdassa, missä kulut nousevat siitä saatavaa hyötyä korkeammaksi. Tutkimuksessa myös mainittiin inflaation noususta johtuva, kasvava tarve energiatehokkuudelle säästöjen muodossa. Voidaankin siis todeta, että energiatehokkuus tulisi ottaa huomioon jo suunnitelmia tehtäessä, tehdä tarvekartoitus sopiville rakennusmateriaaleille sekä mahdollisesti suunnitella kiinteistölle jatkotoimenpiteitä tulevaisuutta varten.

2.4 Energiatehokkuus nyt ja tulevaisuudessa

Euroopan unioni on pitkään koettanut parantaa energiatehokkuutta sekä kehittää pitkän aikavälin strategisia suunnitelmia sitä varten. Vuonna 1997 asetettu Kyoton protokolla, joka otettiin käyttöön vuonna 2005, on kansainvälinen sopimus, jonka avulla asetetaan pitäviä tavoitteita päästöjen vähentämiseksi. Protokollan ensimmäisessä jaksossa, joka päättyi vuonna 2013, erilaisia kasvihuonekaasupäästöjä yritettiin laskea noin 5 %, mutta joka maalla on omat tavoitteet. Vuoteen 2020 mennessä tavoitteena oli laskea päästöjä entisestään vähintään 18 %. Vuonna 2015 suurin osa maista allekirjoitti Pariisin sopimuksen, joka oli ensimmäinen pitävä sopimus päästöjen vähentämiseksi. Pariisin sopimuksen tavoitteena on laskea päästöjä 60 %

vuoteen 2050 mennessä. Pariisin sopimuksessa G20-maat ovat velvoitettuja yrittämään vähentää päästöjä jopa 75 %:lla vuodesta 2020 alkaen. Päästöjä tarkastellaan 5 vuoden välein ja korjaavia liikkeitä tehdään tämän perusteella. Euroopan unioni asetti oman tavoitteen, joka on päästöjen vähentäminen 40 %:lla vuoteen 2030 mennessä (Lamb & Bollet 2020: 1–12.)

Myös Kiina on sitoutunut vähentämään päästöjä, ja tavoitteena on olla hiilineutraali maa vuoteen 2060 mennessä. Yhtenä suurimpana keinona onnistua tässä mainitaan ekologiset, energiatehokkaat kiinteistöt. Kiinan suunnitelmissa on vähentää rakennusvaiheessa syntyviä hiilidioksidipäästöjä, ottaa käyttöön vihreitä rakennusstandardeja, edistää energiatehokkaiden materiaalien käyttöä ja asettaa kannustimia uusiutuvien energian käytölle. Kiinteistön käyttövaiheessa tapahtuvan energiankulutuksen on arvioitu aiheuttavan 60–80 % koko rakennuksen elinkaaren aikana tapahtuvista hiilidioksidipäästöistä. Voidaan siis todeta, että monet eri maat sekä muut tahot ajavat energiatehokkuutta ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistä jatkuvasti hidastaakseen ilmastonmuutosta ja samalla täyttääkseen globaalit ilmastotavoitteet (Zhou 2023: 10–48.)

2.5 Kiinteistöjen energiatehokkuus

Kiinteistöt ja erilaiset rakennukset ovat energiatehokkuuden keskipisteessä tällä hetkellä. Rakennusautomaatiojärjestelmien rooli on luokiteltu standardin EN 15232 kautta erilaisiin luokkiin, jotka ovat nähtävillä taulukossa 2 (Lamb & Bollet 2020: 70–90.)

Taulukko 2. Automaation eri tasot kiinteistössä standardin EN 15232 mukaan (Lamb & Bollet 2020: 79–80.)

Automaation taso	Ominaisuudet
D	Ei automaatiota
C	Standardi automaatiotaso, sisältää rakennusautomaatiojärjestelmän
B	Edistyksellinen automaatiotaso, sisältää rakennusautomaatiojärjestelmän sekä teknisen kiinteistönhallinnan
A	Tehokas automaatiotaso, sisältää edistyksellisen rakennusautomaatiojärjestelmän sekä edistyksellisen teknisen kiinteistönhallinnan. Energiatehokkain ratkaisu.

Suomessa voidaan säästää jopa 60 % kerrostalojen energiasta oikein suunnitellulla ja ohjelmoidulla rakennusautomaatiojärjestelmällä, kun siirrytään tasolta D tasolle C, B tai A. Myös toimistorakennuksien energian käyttöä on mahdollista vähentää Euroopassa noin 10–45 % verran samalla tavalla, tai

vastaavasti omakotitalojen energiatehokkuutta voidaan parantaa 18–21 % siirtymällä tasolta D ylemmälle tasolle. Nämä laskelmat eivät ota huomioon käyttäjän tekemiä muutoksia, eli pelkästään esimerkiksi ikkunan avaamisella on negatiivisia vaikutuksia energiatehokkuuteen selvästi, ja tämä heijastuu suoraan kasvaneeseen energiankulutukseen sekä kuluihin (Lamb & Bollet 2020: 78–89.)

Tulevaisuuden haasteita ja tärkeitä kehityskohteita ovat esimerkiksi energiatehokkuuden parantaminen käyttäen älykkäitä ratkaisuja kuormituksen välttämiseksi. Kysyntä ja tarjonta määräävät sähkön hinnan, ja välttämällä korkeimman kysynnän ajanjakson voidaan säästää selkeästi kuluissa. Myös uusiutuvan energian käyttöä tulisi pohtia ja jatkokehittää nykyisiä ratkaisuja sen hyödyntämiseksi osana päivittäistä energiankulutusta (Lamb & Bollet 2020: 82–84.)

Euroopan unionin direktiivi 2010/31/EU on asetus, joka käsittelee asumis- ja tertiäärin sektorin rakennusten energiatehokkuutta (Euroopan Unioni 2010). Rakennusten energiatehokkuudessa priorisoidaan tämän direktiivin mukaan kolmea eri asiaa:

- Energiatehokkuuden kasvattaminen parantamalla rakennusten eristyksiä
- Energiatehokkuuden lisääminen parantamalla rakennusten järjestelmiä ja laitteita
- Uusiutuvien energialähteiden käyttö (Bertoldi 2020: 22–30.)

Näiden yllä mainitun kolmen priorisoidun asian lisäksi voidaan mainita kolme tärkeintä kulutusluokkaa, joka liittyvät rakennusten tai kiinteistöjen energiatehokkuuteen:

- Rakennuksen energiantarve (säästöt), joka on suoraan yhteydessä sisä- ja ulkoilman ilmasto-olosuhteisiin työskentelyä ja asumista varten

rakennuksissa. Huomioitavia asioita ovat esimerkiksi lämpötilan, ilmanlaadun ja valaistuksen mukavuustaso.

- Rakennuksen järjestelmien kuluttama energia. Tehokkaasti yhdistämällä järjestelmät ja laitteistot lämmitykseen, viilennykseen, ilmanvaihtoon, lämpimään veteen ja sähköön, on merkittävä tekijä loppukäytön energiankulutuksessa. Asumisen energiankulutus kattaa kaiken näiden ulkopuolelle jäävän energiankulutuksen.
- Uusiutuvan energian käyttö, jota pääasiassa kattaa aurinkoenergia, bioenergia ja pienemmässä määrin maalämpö ja ilmalämpöenergia, tulee olemaan merkittävä osa lopullisessa energiansaannissa.

Voidaan siis todeta, että energiatehokkuus on moniosainen ja -mutkainen yhdistelmä ennakoitua, suunnittelua, järkevää toteutusta sekä jälkiseurantaa optimoinnin osalta kohti kestävämpää tulevaisuutta energiatehokkaasti (Bertoldi 2020: 22–37.)

2.6 Kiinteistöjen ja ympäristön optimointi

Kiinteistöjen ja rakennusten optimoinnin kannalta ympäristöllä on suuri merkitys energiankulutuksessa, -tehokkuudessa sekä materiaalivalinnoissa. Eri ilmastovyöhykkeillä on omat erityispiirteet, kuten ulkolämpötilat ja auringonvalon määrä. Nämä vaikuttavat suoraan jäähdytys- ja lämmitystarpeeseen. Sijainnin huomioon ottaminen on keskeistä huomioida, kun suunnitellaan uusia rakennuksia ja niiden energiatehokkuutta, mutta sama pätee myös jo olemassa oleviin rakennuksiin. Rakennuksien ja kiinteistöjen geometrialla on olennainen merkitys lämmön ja auringonvalon saantiin. Huolellinen suunnittelu saattaa vähentää tarvetta sisällä olevalle valaistukselle, joka puolestaan voi vähentää jäähdytystarvetta, kun valaistus ei nosta sisälämpötilaa niin paljoa.

Ulkoikkunoiden optimaalinen sijainti voidaan varmistaa seinäpinta-alasta laskettuna, jotta maksimoidaan luonnonvalo ja vähennetään lämmön tuottoa sisätiloissa. Myös erilaiset pintamateriaalit tulisi ottaa huomioon

energiatehokkuutta suunnitellessa. Materiaalivalinnoilla on suuri ero siinä, kuinka hyvin materiaalit pitävät lämmintä tai kylmää ilmaa sisällään. Oikeanlaisilla materiaalivalinnoilla voidaan siis vaikuttaa kiinteistön energiatehokkuuteen. Sisäinen lämpökuorma, kuten valaistus, ihmiset ja laitteet vaikuttavat suoraan energiatehokkuuteen. Myös ulkoinen lämpökuorma kuten auringonpaisto vaikuttaa energiatehokkuuteen. Sisäistä lämpökuormaa voidaan hallita energiatehokkaalla valaistuksella, osittain tapahtuvalla virtojen katkaisulla ja ulkoista lämpökuormaa voidaan hallita esimerkiksi aurinkosuojilla tai markiiseilla (Rubio-Bellido ym. 2018.)

Ilmanvaihdolla, -jäähdytyksellä sekä -lämmittämisellä on oma roolinsa optimaalisessa ympäristössä. Oikeinmitoitettu ja tarpeeksi tehokas järjestelmä auttaa kiinteistöä säilyttämään optimaalisen lämpötilan ollen samalla energiatehokas. Kiinteistöjen optimointia voidaan suorittaa eri tavoin, kuten simuloimalla käyttöympäristöä, kiinteistöä ja käyttäjäkuntaa. Tällä tavalla voidaan mallintaa mahdollisimman realistinen tilanne, kun tiedetään kaikki kiinteistöön vaikuttavat asiat kuten henkilömäärä, käyttöaika ja -aste vuorokaudessa, rakennuksen malli ja muoto. Toisena optimointikeinona voidaan käyttää monimuuttujaregressioanalyysiä. Analyysin avulla voidaan toteuttaa tilastollista katselmointia, jossa regressioanalyysin muuttujina käytetään rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä kuten ulkolämpötilaa, vuoden aikaa, valaistusta, henkilömäärää ja lämmitystarvetta. Tämä menetelmä toimii parhaiten yksinkertaisemmissa ennusteissa tai kun halutaan tunnistaa pääasialliset, eli suurimmat energiankulutukseen vaikuttavat tekijät ja lähestyä optimointia tästä näkökulmasta. Kolmantena optimointitapana voidaan käyttää tekoälyä ja koneoppimista, kuten keinotekoista neuroverkkoa, päättelypuumalleja tai syväoppimista. Nämä tavat sopivat huomattavasti monimutkaisimmille tapauksille, joissa opetetaan malleja historiatiedoista ja pyritään ennustamaan tulevaa. Voidaankin siis todeta, että optimaalinen ympäristö koostuu monesta eri asiasta, mutta sitä voidaan myös koettaa ennustaa sekä mallintaa etukäteen myös monella eri tavalla (Rubio-Bellido ym. 2018.)

Kiinteistöjen elinkaaren suorituskykyä voidaan arvioida dynaamisesti, minkä avulla voidaan arvioida vaikutuksia ilmastoon ja ilmastonmuutokseen. Jokaisella rakennuskomponentilla on oma hiilijalanjälkensä, ja vuosien 2030–2050 välillä ilmastotavoitteet tulevat nousemaan entistä kovemmiksi. Dynaamisten indikaattoreiden avulla voidaan ennustaa kiinteistöjen ja rakennusten hiilidioksidipäästöjä, sekä ennakoida lämpötila huomioiden simuloimalla toimivia vastatoimia jo ennen koko projektin alkamista. Rakennusalalla on selvä vastuu energiatehokkuuden parantamisessa sekä ilmastonmuutoksen pysäyttämässä tulevina vuosina. Ennakkoon tehdyt toimet energiatehokkuuden parantamiseksi helpottavat varautumaan päästörajoituksiin tulevaisuudessa (Negishi ym. 2019.)

Kiinteistön elinkaaren eri vaiheissa voidaan tarkkailla eri arvoja siitä, millä tavalla kiinteistö suoriutuu eri osa-alueilla. Vuonna 2004 julkaistun tutkimuksen mukaan kiinteistöihin voidaan soveltaa BEMAC-mallia, joka tarkoittaa kiinteistön energian seurantaa, analysointia ja kontrollointia erilaisten suorituskykymittareiden avulla. Tämän mallin tarkoituksena on parantaa erilaisten rakennusprojektien suorituskykyä sekä energiatehokkuutta sen eri vaiheissa; suunnittelussa, toteutuksen aikana ja käytössä sekä ylläpidossa. Tutkimus korostaa integraatioiden tärkeyttä riippumatta siitä, mitä järjestelmiä tai työkaluja on käytössä. Eri järjestelmien keräämä tieto on arvokasta ja siitä voidaan hyötyä toisaalla. Suorituskykymittareita suunniteltaessa tulisi huomioida kriittisimmät tarpeet ensin ja tällä tavalla aloittaa eniten huomiota vaativista epäkohdista (O'Sullivan ym. 2004.)

3 Kunnossapito

Tässä luvussa perehdytään erilaisiin kunnossapitomalleihin ja siihen, millä tavalla niitä voidaan hyödyntää kiinteistöissä tai rakennusautomaatiojärjestelmissä, kuten ilmanvaihdossa ja lämmityksessä.

3.1 Reaktiivinen eli korjaava kunnossapito

Reaktiivinen eli korjaava kunnossapito tarkoittaa yksinkertaisesti sitä, että laitteita tai koneita käytetään niin pitkään, kunnes ne hajoavat. Hajoamisen jälkeen rikkiäiset osat vaihdetaan ja toiminta jatkuu entisellään. Korjaavalla kunnossapidolla on niin positiivisia kuin negatiivisia vaikutuksia. Positiivisiksi vaikutuksiksi voidaan lukea:

- Kustannustehokkaat, säännölliset huoltokulut
- Vähäinen huoltohenkilökunnan tarve.

Negatiiviksi puoliksi voidaan puolestaan luetella:

- Tulojenmenetykset ajalta, kun korjaukset ovat kesken tai laitteisto on epäkunnossa
- Ylityökorvaukset ja korjaussummat voivat nousta korkeiksi koska tarkkaa ennakkointia hajoavista osista ei ole (Howell & Alshakshir 2020: 17–25.)

3.2 Ennaltaehkäisevä kunnossapito

Ennaltaehkäisevän kunnossapidon tarkoituksena on korjata tai vaihtaa kulunut osa tai laitteisto ennen suurempien ongelmien ilmenemistä, kuten hajoamista ja

epäkunnossa olevaa laitteistoa. Tehtäviä ajastetaan ja niitä voidaan suorittaa myös erilaisten tarkastuksien perusteella. Ennaltaehkäisevän huollon hyödyksi koetaan nopea reagointi, joiden avulla voidaan varmistaa laitteiston toiminta. Laitteiston ja osien elinkaaren tai käyttömäärän perusteella lasketut huoltovälit voivat olla toimivia, mutta ne eivät läheskään aina perustu tilastolliseen tietoon. Ilman tilastollista tietoa päätetyt huoltovälit johtavat siihen, että laitteistoa yli- tai alihuolletaan. Joka tapauksessa ennakoivalla huollolla on niin positiivisia kuin negatiivisia vaikutuksia. Positiivisia vaikutuksia ovat esimerkiksi:

- Kustannustehokkuus, jonka avulla voidaan säästää keskimäärin 12–18 % verrattuna reaktiivisen huoltoon
- Joustava huoltosykli
- Laitteistovikojen vähentyminen.

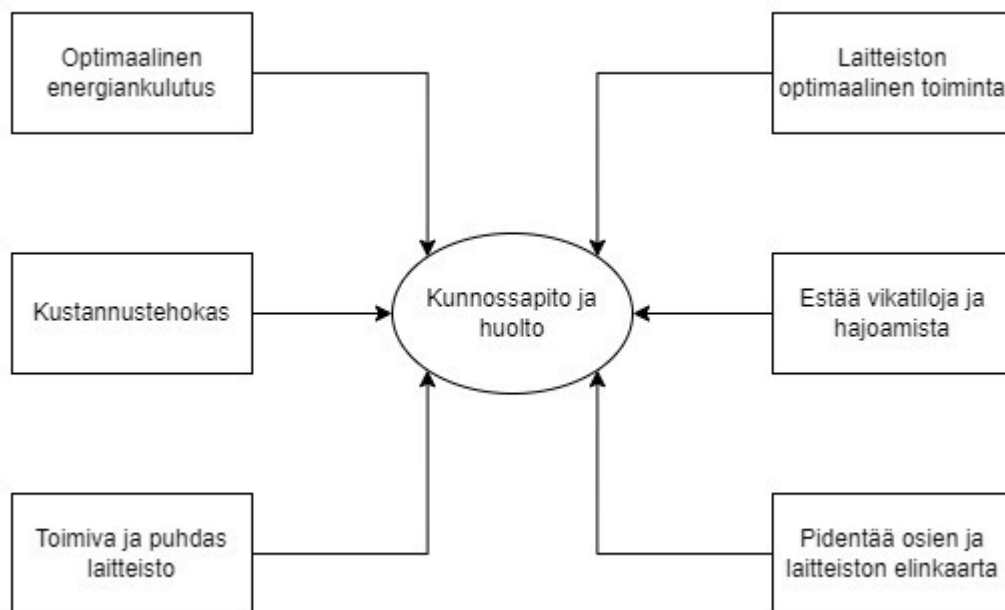
Ennakoivalla huollolla on myös negatiivisia vaikutuksia, kuten:

- Kriittisten vikojen esiintyminen ennakoivasta huollosta riippumatta, ja näistä aiheutuvat kustannukset
- Korkeat huoltohenkilökunnan kustannukset
- Tarpeettomat huollot.

Voidaan siis todeta, että käyttämällä kumpaa tahansa kunnossapitomenetelmää voidaan saada säästöjä, mutta yllättäviä kustannuksia voi esiintyä. Tärkeintä olisi löytää koneen tai laitteiston käyttötarkoituksella sopiva kunnossapitomenetelmä, kerätä dataa huoltotoimenpiteistä, vikatiloista ja koneen vikaantumisesta johtuvista käyttökatkoksista. Näitä analysoimalla voidaan löytää mahdollisimman ideaalimalli kunnossapitomenetelmistä (Howell & Alshakshir 2020: 19–29.)

3.3 Muut kunnossapitomenetelmät

Kunnossapitomenetelmiä on olemassa myös yleisemmin käytettyjen ennakoivan- sekä reaktiivisen kunnossapidon ulkopuolelta. Esimerkiksi ennustettava kunnossapito, jossa kunnossapito tarpeet määritellään ajastetusti tai kunnan perusteella. Tämä kunnossapitomenetelmä hyödyntää historiatietoon perustuvaa dataa, jonka avulla löydetään ideaali vaihtoväli erilaisille osille tai tarkastuksille kuten kuvassa 3 voidaan nähdä.



Kuva 3. Kunnossapidon hyödyt (Howell & Alshakshir 2020: 36.)

Ennustettavan kunnossapitomallin tarkoituksena on tuoda yleisemmin käytetyistä kunnossapitomalleista hyvät ja kustannustehokkaat keinot samaan menetelmään. Ennakoivassa kunnossapitomallissa luotetaan siihen, että osien vaihtoväli on optimissa, laitteisto ei todennäköisesti hajoa sekä siihen, että laitteisto pysyy todennäköisesti näiden huoltotoimenpiteiden avulla toiminnassa. Oikeanlaiset huoltotoimenpiteet vähentävät myös laitteiston energiankulutusta verrattuna elinkaaren päässä olevaan laitteistoon, jota ei ole huollettu (Howell & Alshakshir 2020: 24–32.)

4 Menetelmävalinnat ja aineiston keruu

Tässä luvussa perehdytään empiirisen tutkimukseen ja sen toteutukseen, menetelmävalintoihin sekä tapoihin, joilla aineistoa kerättiin tässä tutkimuksessa.

4.1 Menetelmävalinnat

Tutkimusmenetelminä valittiin kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus sekä tapaustutkimus. Näiden avulla voidaan syvällisesti ymmärtää tutkimuskohdetta, kuten ilmiötä tai organisaatiota. Laadullisessa tutkimuksessa keskitytään tarkasti analysoimaan vain muutamia tapauksia, ja aineisto kerätään tarkoituksenmukaisesti ja huolella. Tämä tutkimusmenetelmä soveltuu erityisen hyvin toiminnan kehittämiseen sekä eri vaihtoehtojen kartoittamiseen, mikä tekee siitä parhaan valinnan tämän tutkimuksen lähestymistavaksi. Laadullisessa tutkimuksessa aineiston kerääminen on vähemmän strukturoitua kuin määrällisessä tutkimuksessa, ja aineisto on usein tekstimuotoista. Onkin tärkeää, että empiirisen vaiheen aikana aineistoa kerätään tarkoituksenmukaisilla menetelmillä tarpeen mukaan (Heikkilä 2014: 15–17.)

4.2 Aineiston keruu

Aineisto tätä työtä varten on kerätty kohdeyrityksen dokumenttien sekä satunnaisesti eri kollegoiden sekä asiakkaiden kanssa käytyjen keskustelujen pohjalta. Osana työtä käytetään yrityksen sisäisiä dokumentteja, jotka ovat salattuja sekä eri järjestelmätoimittajien dokumentteja.

5 Case Schneider Electric

Tässä luvussa vertaillaan kolmea eri esimerkkiä, jotka eroavat toisistaan niin kiinteistöjen käyttötarkoitusten, koon kuin kiinteistöautomaatiotasojen sekä automaatiojärjestelmien puolesta. Vertailun lopputuloksen tarkoituksena on antaa kattava sekä tilastoihin perustuva analyysi, jota puolestaan kirjallisuuskatsaus tukee. Lopputuloksen avulla voidaan perehtyä tämän työn aiheeseen ja sitä kautta jatkojalostaa ideoita, jotka koskevat optimointia, huollon tärkeyttä osana rakennusautomaatiojärjestelmiä sekä yleisesti energiatehokkuutta osana kiinteistöjä. Luvussa mainittu Building Advisor on Schneiderin tarjoama palvelukonseptikonaisuus, joka sisältää etäasiantuntijapalvelun, kenttähuoltopalvelun ja analytiikkapalvelun. Näitä palveluja tuetaan Building Advisor – Asset Health -työkalulla, jonka avulla kiinteistöjä ja rakennuksia voidaan optimoida energiatehokkuuden näkökulmasta. Analytiikkapalveluun kuuluu viikoittaisia palavereja, joissa käsitellään uusia havaintoja ja sovitaan jatkotoimenpiteistä. Kuukausittaisissa palavereissa tarkastellaan lisäksi raportteja ja syvennyttään talotekniikkaan liittyviin kysymyksiin. Analytiikkapalveluihin kuuluu myös perinteinen etätuki sekä energian seuranta ja raportointi.

Esimerkit ovat nimetty Case 1A, 1B ja 1C. Case-esimerkkien lähtötiedot tullaan kertomaan siltä osin mitä voidaan kertoa, mutta joitain tietoja on jätetty pois tarkoituksella anonymiteetin säilyttämiseksi yhteisten sopimusten nojalla. Lähtötiedot vertailtaville kohteille esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Case-esimerkkien lähtötiedot.

Kohde	1A	1B	1C
Koko	Pieni toimistorakennus (useita)	Keskisuuri kauppakeskus	Keskisuuri kauppakeskus
Käyttöönotto	2018, uudelleen 2022	2017	2022
Rakennusautomaatiojärjestelmä kohdeyritykseltä	Osittain	Ei	Kyllä
Building Advisor	Ei, käytössä perinteinen etäasiantuntijapalvelu (ilman analytiikkaa)	Kyllä	Kyllä
Arvioidut säästöt verrattuna palvelusopimuksen hintaan vuosittain	20 %	69 %	212 %
Arvioitu vuosittainen huollon tarve	2 kertaa vuodessa	12 kertaa vuodessa	12 kertaa vuodessa.

Case 1A

Tähän kohteeseen kuuluu useita eri toimistorakennuksia, jotka ovat optimoitu energiatehokkaiksi mahdollisten säästöjen vuoksi. Näissä kiinteistöissä on käytössä Schneider Electricin perinteinen Etäasiantuntijapalvelu, jossa ei käytetä työkaluna automaattista analytiikkaa (Building Advisor – Asset Health). Poiketen seuraavista esimerkeistä näiden kiinteistöjen optimointi toteutettiin käsin. Käyttöönotto tapahtui ensimmäisen kerran vuonna 2018, jonka avulla kiinteistöt pystyivät kasvattamaan energiatehokkuutta ja vähentämään sen kulutusta noin 20 %:lla. Osa kohteen kiinteistöistä lopetti optimoinnin käytön ja tämän seurauksena saavutettu energiatehokkuus katosi seuraavina vuosina. Kulut olivat nousseet sinne, missä ne olivat ennen kiinteistön optimointia, ja tästä syystä kaikki kohteen kiinteistöt palasivat uudelleen vuonna 2022 optimoinnin piiriin. Tästä lähtien vuosittaiset säästöt ovat pysyneet noin 20 %:ssa, vaikka energian hinta on kohonnut viime vuosina, joka puolestaan indikoi selvästi optimoinnin kannattavuudesta sekä energiatehokkuudesta. Kohteen tarkkaa huoltohälytyksien määrää ei ole saatavilla vertailua varten.

Case 1B

Tähän kohteeseen kuuluu keskisuuri kauppakeskus, joka on ollut vuodesta 2017 asti optimoinnin piirissä, mutta kiinteistössä ei ole kohdeyrityksen omaa rakennusautomaatiojärjestelmää, vaan toisen toimijan laitteisto. Kiinteistössä on käytössä Schneider Electricin analytiikkapalvelu, jonka avulla pystytään seuraamaan ja analysoimaan rakennusautomaation dataa 24/7/365. Kauppakeskuksen kaukolämmönkulutusta sekä sähkönkulutusta on saatu laskettua alas yhteensä noin 20 %:lla ennen optimointia tapahtuneesta kulutuksesta, joka vastaa puolestaan vuositasolla huomattavaa summaa rahaa. Kohteessa on ollut noin 100 huoltohälytystä per vuosi.

Case 1C

Tähän kohteeseen kuuluu keskisuuri kauppakeskus, joka on ollut vuodesta 2022 asti optimoinnin piirissä sekä kiinteistössä on kohdeyrityksen oma rakennusautomaatiojärjestelmä. Kiinteistössä on käytössä Schneider Electricin analytiikkapalvelu, jonka avulla pystytään seuraamaan ja analysoimaan rakennusautomaation dataa 24/7/365. Kauppakeskuksen kaukolämmön kulutuksesta tai sähkön kulutuksesta ei ole tarkkaa lukemaa, mutta tällä kohteella on kaikista kolmesta kohteesta (1A, 1B ja 1C) korkein hyötysuhde palvelun hinnan ja säästöjen suhteen laskettuna. Tässä kohteessa on myös ollut noin 100 huoltohälytystä per vuosi.

6 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksen oli selvittää, miten kiinteistöjä ja niiden prosesseja voitaisiin optimoida huoltopalveluiden kautta. Teoriaosuuden perusteella voidaan todeta suoraan, että energiankulutusta on tai ollaan rajoittamassa jopa kansainvälisellä tasolla tulevaisuutta varten. Nyt jo olemassa olevat energiatehokkuutta parantavat ratkaisut tulevat olemaan vielä isommassa roolissa tulevaisuudessa.

Pohtiessa sitä, miten kiinteistöjä ja niiden olosuhteita voidaan optimoida huoltopalveluiden avulla, tulisi kiinnittää huomioita seuraaviin asioihin: kiinteistön käyttötarkoitus, käyttäjämäärä, kiinteistön ominaisuudet kuten ikä, rakennusmateriaali ja sijainti sekä kuinka ennakoitavaa käyttö on. Analytiikkapalvelu soveltuu erityisen hyvin suuriin kiinteistöihin, joissa on paljon prosesseja. Kiinteistön koolla ja sen sisältämien prosessien määrällä on merkittävä vaikutus. Analytiikka tutkii prosesseja automaattisesti, säästäen näin ihmisten käyttämää aikaa, jolloin kiinteistöhuollon osaamista voidaan hyödyntää muihin tehtäviin. Teoriaosuudessa tuli esille se, että lähes kaikkea mitä kiinteistössä tapahtuu, voidaan seurata analytiikan kautta. Kiinteistöjen optimointi voidaan ajatella kaksiteräisenä miekkana; missä menee oikea suhde seurannan ja analytiikan osalta verrattuna syntyviin kustannuksiin? Tarkemmalla seurannalla ja analytiikalla saadaan huomattavasti nopeammin tietoa useammasta eri asiasta, mutta samalla kustannukset kasvavat. Kuten huomattiin, on ennakoiva huolto erittäin tärkeää toimivuuden kannalta. Isoissa järjestelmissä pienikin virhe laitteistossa voi kasvattaa energian kulutusta huomattavasti, mikä puolestaan syö jo saavutetut säästöt nopeasti. Toisaalta myöskään olosuhteet eivät pysy optimaalisena, joka puolestaan heijastuu suoraan todennäköisesti käyttökokemuksen laskuun.

Johtopäätöksinä voidaan todeta, että oikeaa tai väärää tapaa kiinteistöjen optimoinnille ei ole. Olisi kuitenkin hyvä pitää selkeä linja siinä, mitä kannattaa kokeilla ensimmäisenä vaihtoehtona tietynlaisille kiinteistöille. Optimointi, seuranta ja analytiikan käyttö energiatehokkuudessa sekä olosuhteiden optimoinnissa vaatii useita kokeiluita, joiden pohjalta tulisi rohkeasti tehdä yhdessä päätöksiä muutoksista, jos haluttua lopputulosta ei synny. Esimerkiksi kiinteistössä, jossa käyttäjämäärä on vaihtelevaa, mutta ei ole varaa virheisiin tulisi käyttää laajaa seurantaa ja kattavaa analytiikkapalvelua. Tämän avulla voidaan seurata historiaa, ennakoida sekä reagoida nopeasti. Puolestaan kiinteistöissä missä käyttäjämäärä on oletettavasti useasti sama, voidaan tyytyä yksinkertaisempaan ratkaisuun. Tällaisissa tapauksissa optimointi voidaan suorittaa oletettujen arvojen mukaan ja sitä tulisi tarkastella myöhemmin, mutta välittömälle reagoinnille ja seurannalle pienien muutosten osalta ei tulisi olla tarvetta.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää erilaisia vaihtoehtoja kiinteistöjen olosuhteiden sekä prosessien optimointiin huoltopalveluiden avulla. Työn alussa käytiin läpi kohdeyrityksen tarjoamat palvelut sekä työn tarkoitus. Tämän jälkeen siirryttiin kattavan teoriaosuuden kautta rakennusautomaatiojärjestelmiin, analytiikan tärkeyttä osana kiinteistöjä, huollon tarvetta sekä näihin liittyviä asioita vielä yksityiskohtaisemmin.

Itse työssä tarkasteltiin kolmea eri kiinteistökohdetta, jotka erosivat toisistaan toteutukseltaan. Kiinteistöissä oli käytössä erilaiset käyttäjäryhmät, käyttäjämäärät sekä rakennusautomaatiojärjestelmän toimittaja. Kahdessa esimerkki kiinteistöissä oli käytössä kattavat analytiikkapalvelut ja yhdessä esimerkissä oli käytössä suppeampi analytiikkapalvelu perustuen ennakoitavaan käyttöön sekä olosuhteisiin.

Lopputuloksena havaittiin, että kiinteistöille ei välttämättä sovellu aina sama rakennusautomaatiojärjestelmä tai optimointiprosessi, vaikka ne vaikuttaisivat samalta lähtökohtaisesti. Kiinteistöille voidaan valita prosesseja, jotka todennäköisesti toimivat pienillä eroilla, mutta nämä ovat silti lähes tulkoon kohdekohtaisia ratkaisuja. Kiinteistöjen olosuhteita ja prosesseja optimoidessa tulisi ottaa huomioon kaikki kiinteistöön vaikuttavat asiat kuten olosuhteet, ominaisuudet, käyttötarkoitus sekä käyttäjämäärä, mutta myös jatkuvaa tarkastelua tulisi tehdä kriittisesti. Muutoksia pitäisi uskaltaa tehdä, jos olemassa oleva ratkaisu tai palvelu ei tarjoa suoraan sitä, mitä optimoinnin avulla yritetään saavuttaa.

Lähteet

Aftab, Muhammad; Chen, Chien; Chau, Chi-Kin & Rahwan, Talal. 2017. *Automatic HVAC control with real-time occupancy recognition and simulation-guided model predictive control in low-cost embedded system*. Energy and buildings. Vol. 154.141–156. (Viitattu 20.3.2024.)

Bertoldi, Paolo. 2020. *Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings and Smart Communities Proceedings of the 10th International Conference IEECB&SC'18*. 1st ed. 2020. Cham: Springer International Publishing.

De Paola, Alessandra; Ortolani, Marco; Lo Re, Giuseppe; Anastasi, Giuseppe & Das, Sajal. 2014. *Intelligent Management Systems for Energy Efficiency in Buildings: A Survey*. ACM computing surveys. 47 (1), 1–38. (Viitattu 18.2.240.)

Desideri, Umberto & Asdrubali, Francesco. 2019. *Handbook of Energy Efficiency in Buildings - A Life Cycle Approach*. 1st edition. San Diego: Elsevier.

Domingues, Pedro; Carreira, Paulo; Vieira, Renato & Kastner, Wolfgang. 2016. *Building automation systems: Concepts and technology review*. Computer standards and interfaces. Vol. 45, 1–12. (Viitattu 26.3.2024.)

Heikkilä, Tarja. 2014. *Tilastollinen tutkimus*. Helsinki, Suomi: Edita Publishing Oy.

Howell, Martin & Alshakshir, Fadi. 2020. *Energy centered maintenance: a green maintenance system*. First edition. Gistrup, Denmark: River Publishers.

Lamb, Jacob & Pollet, Bruno. 2020. *Energy-smart buildings: design, construction and monitoring of buildings for improved energy efficiency*. Bristol England (Temple Circus, Temple Way, Bristol BS1 6HG, UK): IOP Publishing.

Merz, Hermann; Hansemann, Thomas & Hübner, Christof. 2018. *Building Automation Communication systems with EIB/KNX, LON and BACnet*. 2nd ed. 2018. Cham: Springer International Publishing.

Nagarathinam, Srinarayana; Padullaparthi, Venkata; Vasana, Arunchandar; Sarangan, Venkatesh & Sivasubramaniam, Anand. 2017. *Sense and sensibility – The utility of HVAC sensors for large zones*. *Energy and buildings*. Vol. 138. 104–117. (Viitattu 1.4.2024.)

Negishi, Koji; Lebert, Alexandra; Almeida, Denise; Chevalier, Jacques & Tiruta-Barna, Ligia. 2019. *Evaluating climate change pathways through a building's lifecycle based on Dynamic Life Cycle Assessment*. *Building and environment*. Vol. 164. p.106377. (Viitattu 2.4.2024.)

O'Sullivan, Dominic; Keane, Marcus; Kelliher, Denis & Hitchcock, R.J. 2004. *Improving building operation by tracking performance metrics throughout the building lifecycle (BLC)*. *Energy and buildings*. Vol. 36 (11), 1075–1090. (Viitattu 4.4.2024.)

Official Journal of the European Union. 2010. *DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*. (Viitattu 28.3.2024.) Verkkoaineisto: <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>>

Rubio-Bellido, Carlos; Pérez-Fargallo, Alexis & Pulido-Arcas, Jesús. 2018. *Energy Optimization and Prediction in Office Buildings A Case Study of Office Building Design in Chile*. Cham: Springer International Publishing.

Sinopoli, James. 2010. *Smart building systems for architects, owners, and builders*. Amsterdam; Elsevier/Butterworth-Heinemann.

Tushar, Quddus; Zhang, Guomin; Bhuiyan, Muhammed A; Giustozzi, Filippo; Navaratnam, Satheeskumar & Hou, Lei. 2022 *An optimized solution for retrofitting building façades: Energy efficiency and cost-benefit analysis from a life cycle perspective*. Journal of cleaner production. Vol. 376. 134257. (Viitattu 22.3.2024.)

Wen, John & Mishra, Sandipan. 2018. *Architectures and Algorithms for Building Automation---An Industry View in Intelligent Building Control Systems*. Switzerland: Springer. pp. 11–43.

Zhou, Tongyu. 2023. *Smart Buildings and Technologies for Sustainable Cities in China*. First edition. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd.

