



Anssi Miettinen

Rakennusautomaatiojärjestelmän kannattavuus ja vaikutus energiate- hokkuuteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

23.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Anssi Miettinen
Otsikko:	Rakennusautomaatiojärjestelmän kannattavuus ja vaikutus energiatehokkuuteen
Sivumäärä:	60 sivua + 2 liitettä
Aika:	23.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Sähköinen talotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Jarmo Tapio Tekninen johtaja Johannes Helander

Työssä tutkittiin rakennusautomaatiojärjestelmän vaikutusta energiatehokkuuteen ja määritettiin investointilaskelmilla rakennusautomaatiojärjestelmän taloudellinen kannattavuus esimerkkirakennusten avulla. Esimerkkirakennuksina työssä käytettiin toimisto- ja asuinrakennuksia.

Investointilaskelmia toteutettiin vertailemalla rakennusautomaatiojärjestelmän eri tasojen vaikutusta rakennusten energiankulutukseen. Laskelmia tehtiin sekä rakennuksiin, jonka vertailutasolla ei hyödynnetty rakennusautomaatiojärjestelmää ollenkaan, että rakennuksiin, jossa automaatiotasoa korotettiin korkeammille tasoille.

Rakennusautomaation tasolla on merkittävä vaikutus rakennuksen energian kulutukseen. Rakennuksen energian käyttökustannukset ovat sitä vähäisemmät, mitä korkeampi on automaation taso, mutta taloudellisesta näkökulmasta rakennusautomaatiojärjestelmää investointina on järkevää tarkastella eri laskentamenetelmillä.

Tämän tutkimuksen mukaan rakennusautomaation saneeraus on investointina pääsääntöisesti kannattava, mutta energian hinnoilla ja rakennuksen käyttötarkoituksella on merkittävä rooli investoinnin kannattavuuteen. Mikäli rakennuksessa ei ole automaatiojärjestelmää, saadaan rakennuksen energiankulutusta vähennettyä merkittävästi automaatiojärjestelmän avulla. Laskelmien perusteella toimistorakennuksen vuosittaiset energiankustannusäästöt olivat noin 20 000–40 000 €/vuosi, ja asuinrakennuksen 2 000–6 000 €/vuosi automaatiotason mukaan. Automaation eri tasojen ominaisuuksia, kuten tarpeenmukaisuutta ja muita energiankulutusta tehostavia keinoja, voidaan hyödyntää rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella eri tavoin. Automaatiotason korottamista investointina on syytä tarkastella eri investointilaskentamenetelmillä, mikäli automaatiotason korottamisen lähtökohtana on saada investoinnista taloudellista hyötyä. Rakennusautomaatiojärjestelmän takaisinmaksuaika ei pelkästään kuvaa investoinnin taloudellista kannattavuutta koko rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöajalta.

Avainsanat: rakennusautomaatio, energiatehokkuus, SRI, kulutusjousto, takaisinmaksuaika, investointilaskenta

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Anssi Miettinen
Title: Building Automation System - Profitability and Impact on Energy Efficiency
Number of Pages: 60 pages + 2 appendices
Date: 23 May 2024

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: Electrical Building Services
Supervisors: Jarmo Tapio, Senior Lecturer
Johannes Helander, Technical Director

The thesis aimed at calculating the impact of building automation systems (BAS) on the energy efficiency of case office and residential buildings, and thus determining the economic viability of BAS with investment calculations. The calculations made both for buildings without any BAS at the comparison level and for buildings with a higher level BAS, compared the impact of various levels of BAS on the energy consumption of the buildings.

The thesis showed that the level of BAS had a significant impact on the energy consumption of the buildings: a higher level of automation decreased the energy operating costs. Thus, BAS retrofitting is a profitable investment, but the profitability depends heavily on energy prices and the purpose of the building. The calculations indicated annual savings for the case office building of €20,000-40,000 and for the case residential building of €2,000-6,000, depending on the level of automation.

No investment should be done without using various calculation methods if the enhanced BAS is to yield financial benefit from the investment. The purpose of the building impacts the use of energy saving measures, and the payback period calculations do not alone reveal the economic viability of BAS over its entire operational lifespan.

Keywords: building automation, energy efficiency, SRI, smart readiness indicator, demand flexibility, payback period, investment calculation

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Energiatehokkuusmääräykset	3
2.1	Euroopan unionin ”fit for 55” -lainsäädäntöpaketti	3
2.2	Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/199 säännös 117 g §	6
2.3	Rakennusautomaatiojärjestelmää koskeva ympäristöministeriön asetus 718/2020	7
2.4	Rakennusautomaatiojärjestelmää koskeva laki 733/2020	8
3	Rakennusautomaatiojärjestelmä	10
3.1	Kenttätaso	12
3.2	Automaatiotaso	13
3.3	Hallintotaso	15
4	Rakennusautomaatio ja energiatehokkuus	17
4.1	Rakennusautomaation energiatehokas käyttäminen	17
4.2	RAU-järjestelmän energiatehokkuutta parantavat ohjelmat	18
4.3	Tekoäly rakennusautomaatiossa	20
5	Standardi SFS-EN ISO 52120-1:2022 (SFS-EN15232)	21
6	Rakennusten älyvalmiusindikaattori – Smart Readiness Indicator (SRI)	24
7	Kulutusjousto	27
8	Investointilaskelmat	29
8.1	Investointipäätös	29
8.2	Investointilaskelmien lähtöarvot	30
8.2.1	Hankintameno	31
8.2.2	Vuotuiset nettotuotot	31
8.2.3	Jäännösarvo	32
8.2.4	Laskentakorkokanta	32
8.2.5	Investointiaika	32
8.2.6	Herkkyysanalyysi	32

8.3	Investointilaskelmamenetelmät	33
8.3.1	Takaisinmaksuaika	33
8.3.2	Nykyarvomenetelmä	34
8.3.3	Sisäisen korkokannan menetelmä	35
8.3.4	Annuiteettimenetelmä	36
8.3.5	Pääoman tuottomenetelmä	37
9	Rakennusautomaatiojärjestelmän investointilaskelmat	38
9.1	Investointilaskelmissa käytetyt lähtöarvot	38
9.2	Automaatiotasojen D-A vaatimukset	40
10	Tulokset	45
10.1	Eri automaatiotasojen vaikutus energiatehokkuuteen	45
10.2	Automaatiojärjestelmän saneerauksen vaikutus energiatehokkuuteen	48
10.2.1	Automaatiotasojen korotuksen vaikutus C-tasolta B- ja A-tasolle	48
10.2.2	Automaatiotasojen korotuksen vaikutus B-tasolta A-tasolle	51
11	Johtopäätökset ja pohdinta	55
12	Työn mahdollisia jatkokehitystoimenpiteitä	57
	Lähteet	58
	Liitteet	
	Liite 1: Valintatyökalun energiankulutuslukemat toimistorakennukselle	
	Liite 2: Valintatyökalun energiankulutuslukemat asuinrakennukselle	

Lyhenteet ja käsitteet

- Bacnet: Väyläprotokolla, mikä on yleisesti käytössä talotekniikan järjestelmien eri laitteiden välillä.
- BAS: *Building automation system*, rakennusautomaatiojärjestelmä
- Data: Tietoa, mitä kerätään ja käsitellään erilaisten teknologisten sovellusten avulla. Data voi olla esimerkiksi mittausarvoja, anturien lähettämiä tietoja.
- Energia-pääosasto: Euroopan komission pääosasto, joka vastaa Euroopan unionin energiapolitiikasta.
- EPBD: *Energy Performance of Buildings Directive*, Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi
- EU: *Euroopan unioni*
- IRR: *Internal rate of return*, sisäinen korkokanta
- KNX: Väyläprotokolla, mikä erityisesti tarkoitettu rakennuksen sähkö- ja valaistusjärjestelmien ohjaukseen ja säätämiseen.
- LTO: *Lämmöntalteenotto*
- LVIJAS: Talotekniikasta käytetty yleisnimitys, mikä muodostuu talotekniikan eri osa-alueista. Näihin kuuluvat *lämpö, vesi, ilmanvaihto, jäähdytys, automaatio ja sähkö*.
- M-Bus: *Meter-Bus* on väyläprotokolla, mitä käytetään erityisen paljon kulu- tus- ja määramittareiden kommunikointiin.

- Modbus: Väyläprotokolla, avoin ja yleinen protokolla, minkä avulla eri talotekniikan järjestelmien laitteet kommunikoivat keskenään.
- PMT: Tasaerä investointilaskelmissa
- RAU: *Rakennusautomaatio*, rakennuksen LVIJAS-järjestelmien ohjaus, säätö ja valvonta automaattisesti, minkä tavoitteena parantaa käyttömukavuutta, energiatehokkuutta ja turvallisuutta.
- ROI: *Return on investment*, pääoman nettotuottoaste
- SRI: *Smart Readiness Indicator*, Euroopan tasolla valmisteltu indikaattori, minkä tarkoituksena antaa kuvaus siitä, miten rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa, miten rakennus vastaa käyttäjän tarpeisiin ja miten se pystyy reagoimaan energiaverkon toimintaan.
- TATE: *Talotekniikasta* käytetty yleisnimitys.
- VAK: Rakennusautomaatiojärjestelmän *valvonta-alakeskus*

1 Johdanto

Työn tilaajana toimii Sitowise Oy, joka on yksi Suomen suurimpia konsultti- ja suunnittelutoimistoja. Sitowisellä työskentelee laidasta laitaan asiantuntijoita, esimerkiksi ympäristön, rakentamisen ja digitaalisten palveluiden saralla.

Työn aiheeksi valikoitui rakennusautomaatiojärjestelmän kannattavuus ja vaikutus energiatehokkuuteen. Työssä on tarkoitus selvittää rakennusautomaatiojärjestelmän saneerauksen vaikutuksia rakennuksen energiankäytön kustannuksiin. Työn aihe on lähtöisin asiakkailta, jotka haluavat tietää, mitkä ovat rakennuksen mahdolliset energian- ja tätä kautta käyttökustannusten säästöt, mikäli kiinteistöön lisätään rakennusautomaatiojärjestelmä tai saneerataan pelkästään kiinteistön nykyinen rakennusautomaatiojärjestelmä. Työhön ei sisällytetä muita talotekniikan osa-alueiden saneerauksia.

Työssä on tarkoitus selvittää rakennuksen automaatiotason vaikutusta energiansäästöön ja laskea kannattavuudet investointilaskentamenetelmiä käyttäen eri automaatiotasojille. Teoreettisten laskelmien avulla vertaillaan automaatiotasojen vaikutusta energiankäyttökustannuksiin toisiinsa nähden. Tarkastelun kohteina työssä käytetään toimistorakennusta (3500 m²) ja asuinrakennusta (1300 m²).

Työssä rakennuksen automaatiotasoja vertaillaan investointilaskelmilla tasoon ilman älykästä säätöjärjestelmää. Laskennallisesti saadaan vertailun avulla selville, mikä vaikutus eri automaatiotasojilla on rakennuksen energiankulutukseen ja sitä kautta energiakustannuksiin verrattuna rakennukseen, jossa ei hyödynnetä älykästä rakennusautomaatiojärjestelmää.

Työssä tarkastellaan myös rakennusautomaatiojärjestelmän tason korottamisen vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Laskelmissa automaation lähtöta-
soa muutetaan korkeammille tasoille ja vertaillaan energiakustannuksia lähtöta-
soon verrattuna. Näiden laskelmien avulla voidaan teoreettisesti tarkastella

automaatiojärjestelmän saneerauksen vaikutusta rakennuksen energiakustannuksiin.

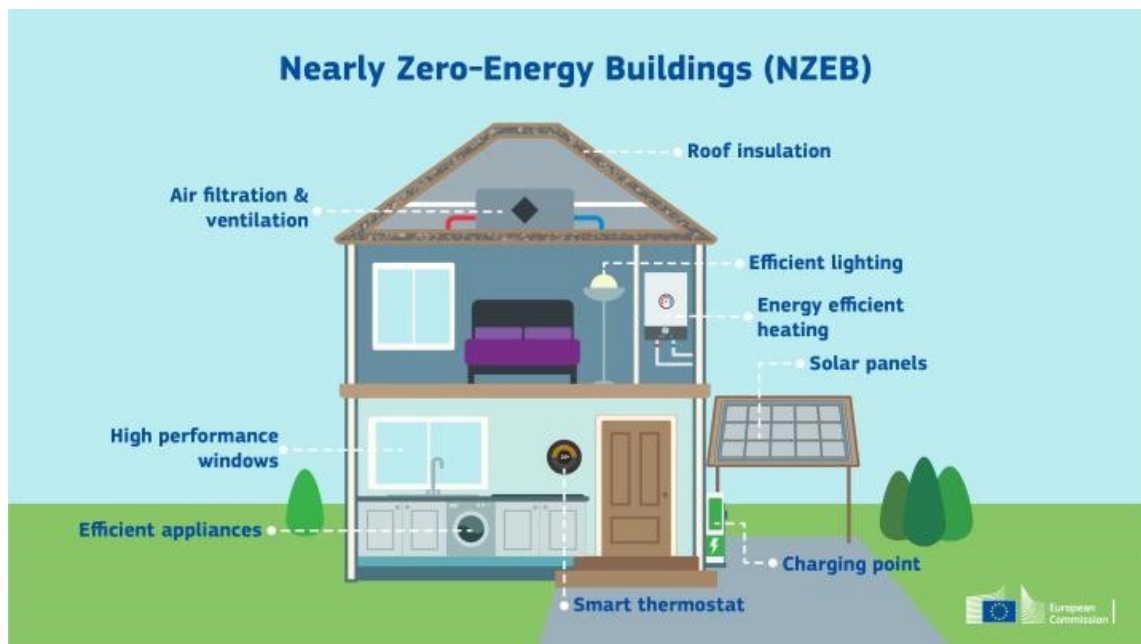
Työssä selvitetään investointilaskelmien lisäksi, voidaanko tuloksia käyttää hyödyksi suoraan, kun tiedetään rakennuksen energiankulutuslukemat, käyttötarkoitus ja rakennusautomaatiojärjestelmän taso. Voidaanko toteuttaa esimerkiksi Excel-laskentataulukko, jota voisi hyödyntää jatkossa kiinteistöjen eri tasoisten automaatiojärjestelmien investointilaskentaan ja tasojen vertailuun, syöttämällä vain kiinteistön tiedot laskentataulukkoon.

Työn ulkopuolelle jätetään talotekniikan saneerauksen myötä syntyvän energiansäästön tarkastelu, eli työssä ei oteta kantaa LVIJS-laitteiden uusimisella saavutettavaan energiansäästöön.

Työn kirjallisuustutkimuksessa käsitellään Euroopan ja Suomen energiatehokkuusmääräyksiä, joilla on vaikutusta rakennusautomaatiojärjestelmiin sekä selvitetään rakennusautomaatiojärjestelmän rakennetta ja järjestelmän vaikutusta energiatehokkuuteen. Investointilaskelmamenetelmiä avataan myös kirjallisuuskatsauksessa. Investointimenetelmien avulla työssä lasketaan valituille esimerkkirakennuksille kannattavuudet eri automaatiotasojen välillä. Laskelmat perustuvat teoreettiseen tietoon perustuviin lähtöarvoihin, eli lähtöarvoja ei ole saatu todellisten mittausten perusteella.

2 Energiatehokkuusmääräykset

Rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi EU on luonut lainsäädäntökehityksen, johon kuuluvat rakennusten energiatehokkuudesta annettu direktiivi EU/2010/31 ja energiatehokkuusdirektiivi EU/2023/1791, jotka molemmat uudistettiin vuonna 2023 [1]. Suomessa rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavia määräyksiä on esitetty esimerkiksi maankäyttö- ja rakennuslain pykälässä 117 g §, ympäristöministeriön asetuksessa 718/2020 ja laissa 733/2020. Sekä Euroopan että Suomen energiatehokkuusmääräyksissä on suoria vaikutuksia myös rakennusautomaatiojärjestelmiin. Kuvassa 1 on esitetty Euroopan komission näkemys lähes nollaenergiarakennuksesta ja energian käytön tehostamisen keinoista.

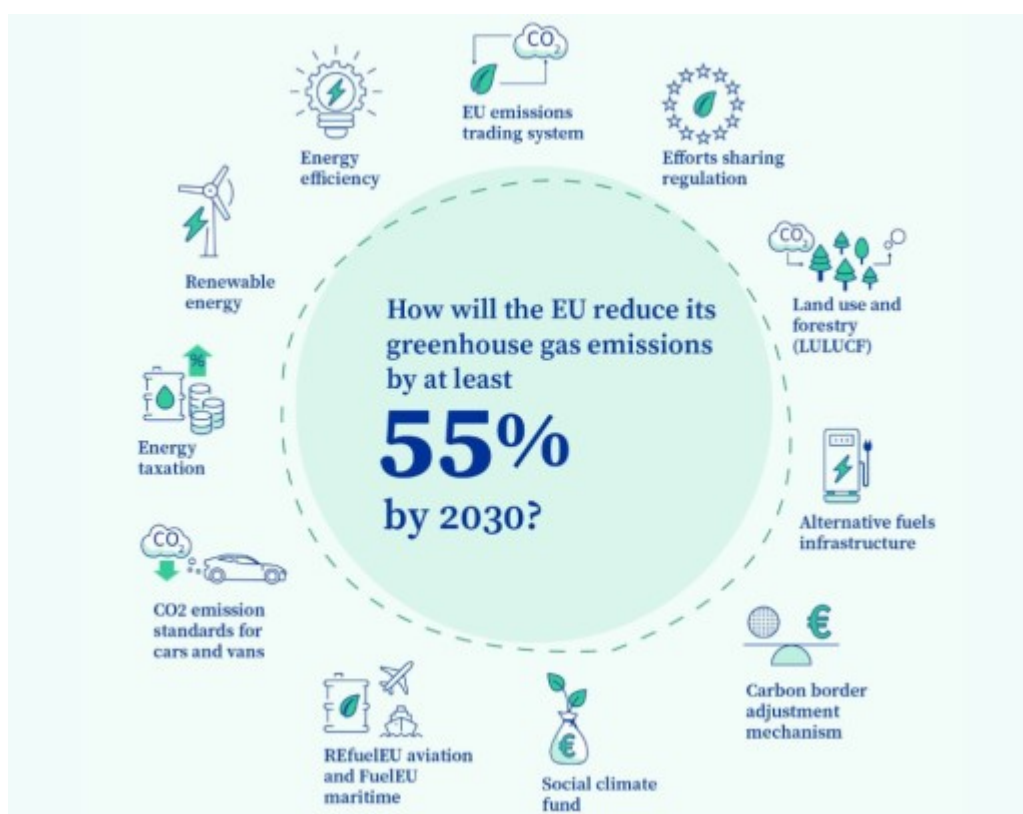


Kuva 1. Lähes nollaenergiarakennus [2].

2.1 Euroopan unionin "fit for 55" -lainsäädäntöpaketti

Euroopan unionin "fit for 55" -lainsäädäntöpaketti, jota kutsutaan myös nimellä 55-valmiuspaketti, koostuu useista ehdotuksista, joiden tarkoituksena on varmistaa, että EU:n politiikka tukee unionin neuvoston ja Euroopan parlamentin

sopimia ilmastotavoitteita. Euroopan komissio esitteli 55-valmiuspaketin osana vihreän kehityksen ohjelmaa heinäkuussa 2021. Lisäksi EU pyrkii saavuttamaan hiilipäästöttömyyden vuoteen 2050 mennessä. Neuvosto hyväksyi ehdotusten pohjalta huhtikuussa 2023 viisi säädöstä, joiden avulla EU:ssa voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Näiden toimenpiteiden avulla pyritään vähentämään päästöjä keskeisillä talouden aloilla samalla kun varmistetaan, että ilmastosiirtymä tukee heikoimmassa asemassa olevia kansalaisia, mikroyrityksiä ja aloja, jotka ovat alttiita hiilivuodoille, eli tilanteelle, jossa tuotanto siirtyy maihin, joissa päästörajoitukset ovat löyhemmät. Kuvassa 2 on esitetty Euroopan unionin ”fit for 55” -lainsäädännön piiriin kuuluvat osa-alueet. [3.]

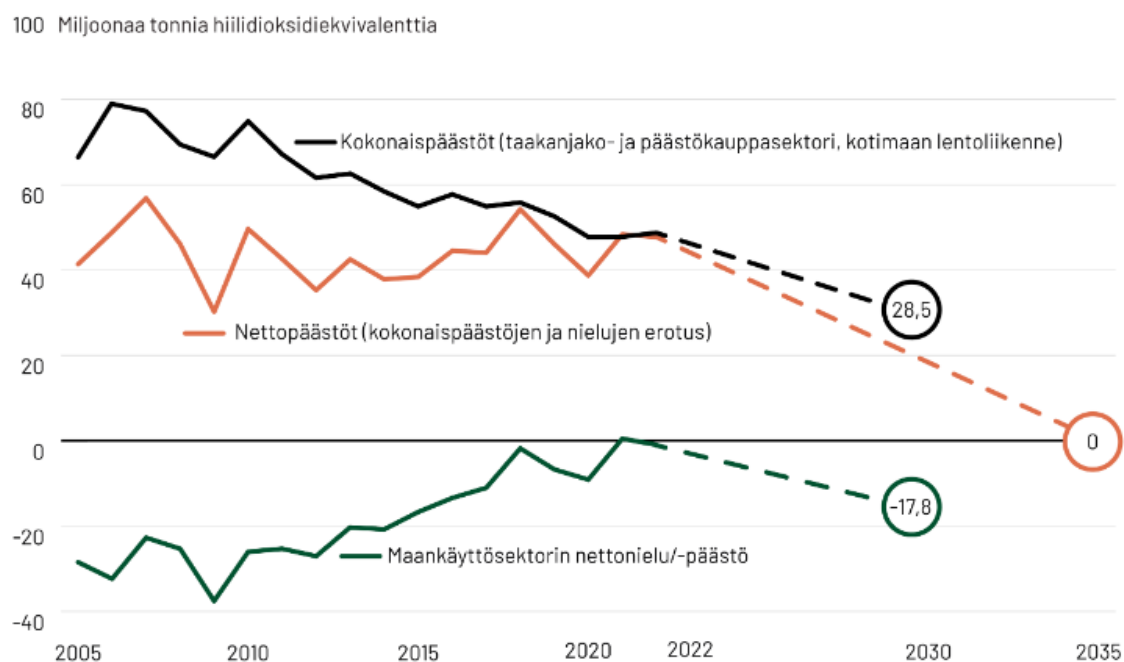


Kuva 2. Euroopan unionin fit for 55 [3].

Osana 55-valmiuspakettia Euroopan unioni on asettanut tavoitteen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vuoteen 1990 verrattuna vähintään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Tämän lisäksi tavoitteisiin kuuluvat uusiutuvan energian osuuden lisääminen, energiansäästö sekä Euroopan energiaturvallisuuden

parantaminen. Rakennettu ympäristö on keskeinen alue näiden tavoitteiden saavuttamisessa, sillä tällä hetkellä Suomen energiankulutuksesta ja kasvihuonekaasupäästöistä huomattava osa syntyy rakennuksista. Rakennusten osuus energiankulutuksesta on noin 40 % ja kasvihuonekaasupäästöistä noin 36 %. [4, s. 6.]

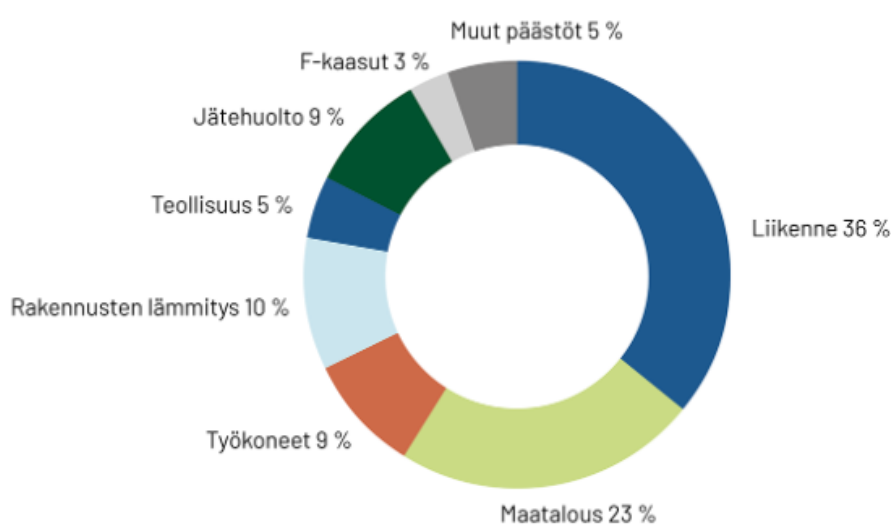
Kuvassa 3 on esitetty Suomen päästöt sektoreittain vuosilta 2005–2021 sekä päästöennusteet vuosiin 2030 sekä 2035 asti.



Kuva 3. Päästöt Suomessa [5].

Vuonna 2018 muutettiin vuoden 2010 rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä (EPBD), jonka tarkoituksena on edistää vähähiilistä rakennuskantaa ja energiatehokkaampia rakennuksia. Uudistuksen myötä korostettiin teknisten järjestelmien ja automaation roolia energiatehokkuuden ja käyttömukavuuden tavoittelussa. Kansallinen lainsäädäntö liittyen direktiivimuutokseen astui voimaan vuonna 2020, ja siinä säädetään muun muassa suurehkojen rakennuksien energianhallinnasta, sähköajoneuvojen latauspisteistä sekä rakennusten automaatio- ja ohjausjärjestelmistä. [4, s. 6.]

Euroopan ensimmäinen kattavasti rakennusten automaation vaikutusta energiatehokkuuteen käsittelevä standardi on SFS-EN 15232. Standardi tarjoaa luettelon toiminnoista, jotka määrittelevät automaatiotason ja mahdollistavat keskustelun automaation energiatehokkuusvaikutuksista eri osapuolten välillä. Se myös tarjoaa keinot automaation hyötyjen tarkasteluun. Vuonna 2017 päivitetty standardi on ensimmäinen eurooppalainen standardi, joka käsittelee tätä teemaa laajasti. [4, s. 6] Standardi kumottiin ja korvattiin uudella standardilla kokonaisuudessaan vuonna 2022. Kuvassa 4 on esitetty Suomen päästölähteiden osuudet vuodelta 2021.



Kuva 4. Vuoden 2021 päästölähteet Suomessa [5].

2.2 Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/199 säännös 117 g §

Maankäyttö- ja rakennuslain 132/199 säännöksessä 117 g § on annettu rakennuksen energiatehokkuuteen liittyviä määritelmiä. Rakennushankkeessa on varmistettava, että rakennus on sen käyttötarkoituksen vaatimalla tavalla suunniteltu ja rakennettu siten, että kulutetaan luonnonvaroja ja energiaa säästäväisesti. Laskelmilla osoitetaan vähimmäisvaatimuksien täytyminen energiatehokkuuden osalta. Energiamuotojen kertoimien avulla muunnetaan eri energiamäärät yhteenlaskettavaan muotoon, kun määritetään kohteen energiatehokkuutta. Jokaisen energiamuodon kerroin annetaan arvioimalla lämmitystapaa

energiantuotannon yleisen tehokkuuden kannalta sekä uusiutuvan energian käytön edistämistä ja jalostamattoman luonnonenergian kulutusta arvioimalla. Rakentamisessa käytettävien tuotteiden ja rakennuksen taloteknisten järjestelmien ja rakennuksen säätö- ja mittausjärjestelmien on kulutettava vähän energiaa ja niiden tehontarpeen on oltava pieni, kun rakennusta sekä rakennuksen järjestelmiä käytetään tarkoituksen mukaisesti, ja rakennuksen energiankulutusta on kyettävä seuraamaan. [6.]

Uusi rakennus on sekä suunniteltava ja rakennettava melkein nollaenergiarakennukseksi, mikäli rakennus on umpinainen ja rakennuksen olosuhteiden ylläpitämiseksi käytetään energiaa. Rakennuksen saneerauksen tai rakennuksen käyttötarkoitusta muutettaessa on energiatehokkuutta parannettava, mikäli se on taloudellisesti, teknisesti ja toiminnallisesti mahdollista. Tietyissä tapauksissa vaatimuksia ei tarvitse toteuttaa, esimerkiksi mikäli kyseessä on erittäin pieni rakennus, tai rakennus on tarkoitettu loma-asumiseen. [6.]

Valtioneuvoston asetuksella tarkennetaan säännöksiä energiamuotojen kertomien lukuarvoista. Ympäristöministeriön asetuksella tarkennetaan uuden rakennuksen rakentamista, rakennuksen saneerausta sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muuttamista varten tarvittavia säännöksiä, esimerkiksi energiatehokkuuden vähimmäisvaatimuksista ja energiankulutuksen mittaamisesta. [6.]

2.3 Rakennusautomaatiojärjestelmää koskeva ympäristöministeriön asetus 718/2020

Asetuksessa 718/2020 on määritelty säädökset liittyen itsesäätyvien laitteiden, rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmien sekä paikallisen sähköntuotantojärjestelmän energiatehokkuusvaatimukseen. Asetus velvoittaa itsesäätyvien laitteiden asentamisen uusiin rakennuksiin siten, että ne kykenevät säätämään huonekohtaista lämpötilaa. Lisäksi asetus edellyttää itsesäätyvien laitteiden asentamista silloin, kun rakennuksen lämmönkehitin tai lämmönjakokeskus vaihdetaan, tai niihin tehdään lisäyksiä. [7.]

Mikäli tällaista järjestelmää suunnitellaan ja rakennetaan rakennukseen, sen on täytettävä energiatehokkuuden vaatimukset kokonaisenergiatehokkuuden, mitoituksen, asennuksen, käyttöönoton ja ohjauksen osalta. Erytysuunnittelijan vastuulla on suunnitella järjestelmä siten, että se optimoi rakennuksen energiankulutusta ohjaamalla ja valvomalla rakennuksen tärkeimpiä teknisiä laitteita ja järjestelmiä. Ohjauksen on taattava, että rakennuksen järjestelmät ja laitteet toimivat tarkoitetulla tavalla, ja automaatiojärjestelmän on tehokkaasti edistettävä hyvää, terveellistä ja turvallista sisäilmastoa. [7.]

Erytysuunnittelijoiden tulee huolehtia siitä, että rakennuksen ohjaus- ja automaatiojärjestelmät mitoitetaan ja suunnitellaan yhteensopiviksi energiankäytön optimoimiseksi rakennuksen teknisten järjestelmien kanssa. Sisäolosuhteiden tavoitetasot, rakennustyyppi ja energiansäästömahdollisuudet on huomioitava suunnittelussa ja mitoituksessa. [7.]

Erytysuunnittelijoiden on myös varmistettava, että ohjaus- ja automaatiojärjestelmässä on eri käyttäjille sopivat käyttöliittymät käytön varmistamiseksi tietyille käyttäjäryhmille sopiviksi. Lisäksi huolehditaan, että järjestelmän toiminnoissa saadaan selville rakennuksen energiatehokkuus ja mahdolliset poikkeamat tavoiteltavista olosuhteista. Kun automaatio- ja ohjausjärjestelmä asennetaan, korvataan tai parannetaan, vastuuhenkilön tulee tehdä kirjaukset tarkastusdokumentteihin sekä yhteenveto-osaan rakennuksen järjestelmien suunnitelmanmukaisuudesta. [7.]

2.4 Rakennusautomaatiojärjestelmää koskeva laki 733/2020

Lailla 733/2020 pannaan osaltaan täytäntöön Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/844, joka muuttaa rakennusten energiatehokkuudesta annettua direktiiviä 2010/31/EU sekä energiatehokkuudesta annettua direktiiviä 2012/27/EU. Tämä laki käsittelee rakennusten varustamista sähköajoneuvojen latauspisteillä, latauspistevalmiuksilla, ja automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. [8.]

Rakennushankkeen toteuttajan on varmistettava, että rakennukseen suunnitellaan ja asennetaan automaatio- ja ohjausjärjestelmä, mikäli kyseessä on muu uusi rakennus kuin asuinrakennus, johon edellytetään maankäyttö- ja rakennuslain mukaista rakennuslupaa. Automaatio- ja ohjausjärjestelmä tulee asentaa myös sellaiseen rakennukseen, jonka lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmän nimellisteho ylittää 290 kilowattia. [8.]

Mikäli haetaan rakennuslupaa tai toimenpidelupaa ilmastointi- tai lämmitysjärjestelmän korjaus- ja muutostöihin muussa kuin asuinrakennuksessa, on rakennushankkeeseen ryhtyvän varmistettava automaatio- ja ohjausjärjestelmän suunnittelu ja asennus. Laki velvoittaa myös rakennuksen omistajaa huolehtimaan siitä, että käytössä oleva muu kuin asuinrakennus, jonka lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmän nimellisteho ylittää 290 kilowattia, on varustettu automaatio- ja ohjausjärjestelmällä viimeistään 31. joulukuuta 2024. Sama vaatimus koskee myös ilmastointijärjestelmän nimellisteholtaan yli 290 kilowattia olevia rakennuksia. [8.]

Vaadittavan automaatio- ja ohjausjärjestelmän tulee mahdollistaa jatkuva seuranta, kirjaus ja analysointi energian käytöstä sekä tarjota mahdollisuus käytön mukauttamiseen. Lisäksi sen tulee tehdä vertailevaa analyysiä rakennuksen energiatehokkuudesta, havaita teknisten järjestelmien tehokkuuden heikkeneminen, ja ilmoittaa mahdollisuuksista energiatehokkuuden parantamiseen. Järjestelmän on myös mahdollistettava viestintä eri teknisten järjestelmien ja laitteiden välillä riippumatta valmistajasta ja teknologiasta. On kuitenkin poikkeustapauksia, joissa näitä vaatimuksia ei sovelleta, kuten silloin kun automaatiojärjestelmän asentaminen ei ole taloudellisesti tai teknisesti toteutettavissa tai kun ilmastointi- tai lämmitysjärjestelmä ei ole automaatiolla ohjattavissa. [8.]

3 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Rakennusautomaation avulla ohjataan ja säädetään rakennuksen LVIJS-järjestelmiä, ja muodostetaan järjestelmien vikatilanteista hälytyksiä. Rakennusautomaatiojärjestelmät myös keräävät rakennuksen kulutus- ja mittaustietoja. [9, s. 21.] Tyypillinen RAU-järjestelmä kiinteistössä koostuu yleisesti ala-asemista, valvomosta, kenttälaitteista ja itsenäisistä säätimistä kentällä. Kenttälaitteisiin kuuluvat anturit ja toimilaitteet, kuten huonesäätimet ja pakettikoneisiin integroidut säätimet. Järjestelmään sisältyvät lisäksi kaapelointi ja tiedonsiirtolaitteet, jotka mahdollistavat eri järjestelmäkomponenttien välistä viestintää. [9, s. 62.]

Rakennusautomaatiojärjestelmän älykkyyden ydin on hajautetussa ohjelmistossa, joka jakautuu eri tasoille ja laitteisiin. Valvomossa sijaitsevat käyttöliittymät, joita tarvitaan järjestelmän ohjaukseen, analysointiin ja raportointiin. Ala-asemilla ovat omat ohjelmistonsa, jotka mahdollistavat prosessien itsenäisen säätämisen, ohjauksen ja valvonnan. Kenttätasolla on säätimiä, joiden ohjelmit hallitsevat ja säätävät itsenäisesti erillisiä laitteita tai koneita, kuten lämmönvaihtimia, ilmanvaihtokoneita tai taajuusmuuttajia. Huonesäätimet ovat myös esimerkiksi kenttätasolla, jotka ohjaavat tilaan liittyviä puhaltimia ja venttiilejä. Hajautettu älykkyys vaatii, että eri järjestelmän osat kykenevät kommunikimaan keskenään, minkä varmistamiseksi tiedonsiirto-ohjelmia ja väyläprotokollia tarvitaan. Tiedonsiirtoväylissä pyritään käyttämään mahdollisimman yleisiä ja avoimia standardiprotokollia. Hajautettu älykkyys parantaa järjestelmän luotettavuutta, sillä sen avulla eri osat toimivat itsenäisesti tilanteissa, joissa esimerkiksi tietoliikenne järjestelmän eri osien välillä häiriintyy tai keskeytyy. Esimerkiksi PC-valvomon vikaantuessa, alakeskukset ja säätimet jatkavat itsenäisesti toimintaa varmistaen rakennuksen olosuhteiden säilymisen ennallaan. [9, s. 62.]

Uusien määräysten mukaan kiinteistöihin on liitettävä myös älykkäitä energianhallintajärjestelmiä. Energianhallintajärjestelmän avulla hallitaan älykkäästi rakennuksen energiankulutusta ja -käyttöä. [7.] Energianhallinta ja -mittausjärjestelmiä on jo monissa rakennusautomaatiojärjestelmissä integroituna

ominaisuutena, tai sitten ne ovat erillisiä järjestelmiä, jotka hyödyntävät rakennusautomaatiojärjestelmään kertyvää dataa [10, s. 24].

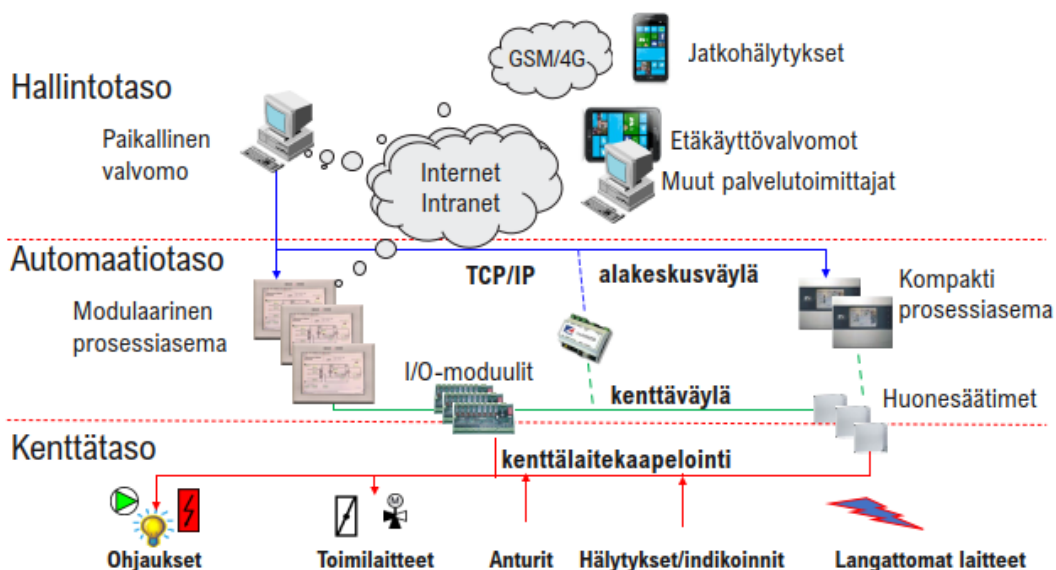
Rakennuksen energiatehokkuuden ylläpito on jatkuva prosessi, joka edellyttää oikean tiedon perusteella toimimista. Tämä tieto kattaa rakennuksen olosuhteet, laitteiden kunnon ja mahdolliset häiriö- ja vikatilanteet. Tavoitteena on vähentää turhaa energiankulutusta samalla kun varmistetaan, että sisäolosuhteet pysyvät suunnitellulla tasolla eri osa-alueilla. [9, s. 21.]

Keskeistä rakennuksen tilan ja olosuhteiden kannalta on oikean tiedon saataavuus. Nykyaikainen RAU-järjestelmä mahdollistaa tämän. Oikein valitulla instrumentoinnilla, räätälöidyillä ohjelmistoilla ja asiantuntevan käyttäjän valvonnalla voidaan varmistaa, että rakennuksen monimutkaiset järjestelmät toimivat optimaalisesti. Tällä tavoin voidaan ylläpitää suunniteltuja sisäilman olosuhteita, energiatehokkuutta sekä turvallisuutta. [9, s. 21.]

RAU-järjestelmän osuus koko rakennuksen osalta on vähäinen investointikustannuksena, mutta sen merkitys on ratkaiseva rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin kustannuksiin. [9, s. 21.]

Rakennusautomaation kehitystä ohjaa merkittävästi yleinen IT-tekniikan edistys. Tätä taustaa vasten voidaan tunnistaa internetin, tietotekniikan, elektronikan komponenttien ja akkutekniikan kehityksen vaikutus. Samalla jatkuva pyrkimys kiinteistönhoidon ja -ylläpidon tehostamiseen ja tarve tarjota uusia tuotteita ja palveluita, jotka parantavat viihtyvyyttä, vaikuttavat energiankulutukseen ja ottavat huomioon ympäristötekijät ja ajavat kehitystä eteenpäin. Nämä tarpeet ja teknologisen kehityksen tarjoamat mahdollisuudet ohjaavat rakennusautomaation järjestelmien kehitystä. Lisäksi hintojen lasku on edistänyt kehitystä, koska järjestelmät perustuvat yhä enemmän yleiseen IT-tekniikkaan, mikä pitää niiden hinnat edullisina, vaikka ominaisuudet ja suorituskyky ovat RAU-järjestelmissä lisääntyneet. [9, s. 59.]

Automaatiojärjestelmässä hierarkia koostuu kolmesta eri tasosta, jotka ovat hallintotaso, automaatiotaso ja kenttätaso (kuva 5) [9, s. 59].



Kuva 5. Automaatiojärjestelmän hierarkia [9, s. 60].

3.1 Kenttätaso

Kenttätaso koostuu kenttälaiteista, kuten antureista ja toimilaitteista, sekä itsenäisistä säätimistä, kuten huonesäätimistä. Lisäksi siihen kuuluvat säätimet, jotka on integroitu joihinkin laitteisiin, kuten ilmanvaihtokoneisiin, lämmönvaihtimiin ja jäähdytyskoneisiin. [9, s. 59.]

Kenttätasolla, johon kuuluvat ensisijaisesti anturit ja toimilaitteet, kerätään dataa esimerkiksi tilojen lämpötiloista ja muuta reaaliaikaista tietoa rakennuksen olosuhteista sekä prosessien tiloista. Alakeskuksen ohjelmistot käsittelevät antureiden tietoja automaatiosuunnitelman ja käyttäjän asettelemiin asetusarvoihin perustuen ja ohjaavat toimilaitteita sitten, että asetetut asetusarvot tavoitetaan. Kenttätasolla voi olla myös erillisiä I/O-moduuleita, jotka kommunikoivat alakeskuksen väylän kautta, eli hajautettua I/O:ta. [9, s. 61.]

Alakeskuksen kanssa kommunikoivat taajuusmuuttajat, joilla ohjataan esimerkiksi pumppuja ja puhaltimia, voivat sisältää itsenäisen ohjauslogiikkansa. Kommunikaatio kenttätasolla ala-aseman, taajuusmuuttajan, säätimien ja hajautetun I/O:n välillä tapahtuu usein kenttäväylän kautta. Tunnetuimpia

kenttäväylästandardeja ovat KNX, ModBus, BACnet ja M-bus. Kenttäväylän valinta määräytyy sovelluksesta, asiakkaan valinnoista, valituista laitteista ja urakoitsijan tarjoamista vaihtoehdoista. [9, s. 61.]

Kuvassa 6 on esitetty esimerkkejä RAU-järjestelmän mittalähettimistä.



Kuva 6. Esimerkkejä RAU-järjestelmän mittalähetimistä [11].

3.2 Automaatiotaso

Automaatiotason muodostavat alakeskukset I/O-moduuleineen. Alakeskukset toimivat keskitettynä ohjausyksikkönä, joka vastaanottaa ja lähettää tietoa I/O-moduuleiden kautta. I/O-moduulit ovat laitteita, jotka keräävät tietoa erilaisista lähteistä (input) ja ohjaavat erilaisia toimilaitteita (output). [9, s. 59.]

Keskitetyissä automaatiojärjestelmissä itsenäiset alakeskukset ja näihin liitetyt I/O-moduulit muodostavat automaatiotason. Alakeskus voi myös olla kokonaisuus, joka sisältää kiinteän määrän I/O-pisteitä. Alakeskukset sisältävät ohjelmat, jotka hallitsevat prosesseja I/O-pisteiden kautta, jotka ovat yhteydessä kenttälaitteisiin. Automaatiotason laitteiden välinen kommunikointi toteutetaan usein LAN-verkkoa ja TCP-IP-protokollaa käyttäen. Paikallisverkko perustuu yleensä Ethernetiin, missä käytetään esimerkiksi CAT6-standardin mukaisia kaapeleita. Pidempiä verkkoyhteyksiä varten käytetään optisia kuituja. Lisäksi langatonta WLAN-verkkoa käytetään erityisesti mobiililaitteiden yhteydessä. Verkossa siirretään tietoa, mikä palvelee käyttäjiä valvomossa tai mahdollistaa

alakeskusten välisen tiedonsiirron. Esimerkiksi ulkokosteus, -lämpötila ja -valoisuus voivat olla yksittäisiä mittauksia, joita useammat alakeskukset hyödyntävät. [9, s. 60–61.]

Kuvassa 7 on esitetty esimerkki RAU-järjestelmän alakeskuksesta, ja kuvassa 8 on esitetty esimerkki alakeskuksen kosketusnäytöstä.



Kuva 7. RAU-järjestelmän alakeskus [9, s. 71].



Kuva 8. Alakeskuksen kosketusnäyttö [12].

3.3 Hallintotaso

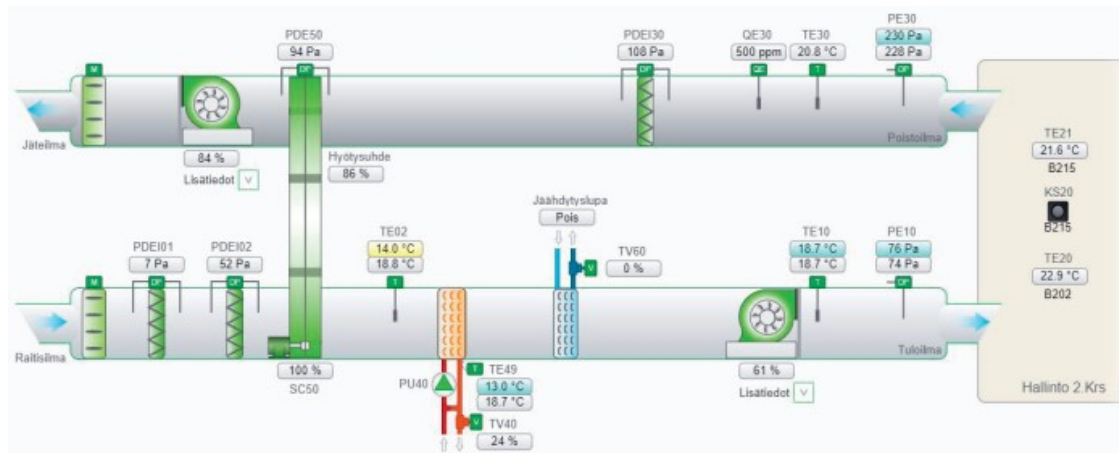
Hallintotasoon kuuluvat paikallisvalvomot ja etävalvomot, joita voidaan kutsua myös keskusvalvomoksi. Paikallisvalvomot ovat pienempiä valvomoita, jotka sijaitsevat lähellä itse prosesseja tai järjestelmiä. Ne ovat vastuussa paikallisesta valvonnasta ja ohjauksesta, ja niiden tehtävänä on varmistaa, että prosessit toimivat suunnitellusti ja turvallisesti. Etävalvomo tai keskusvalvomo toimii usein korkeamman tason valvontakeskuksena, jossa koordinoidaan ja hallitaan useita paikallisvalvomoita. Etävalvomo voi olla fyysisesti erillinen tila tai järjestelmä, joka sijaitsee kauempana valvottavista prosesseista. Sen tehtävänä on kerätä tietoa eri paikallisvalvomoista, analysoida sitä ja tarvittaessa ohjata toimintaa tai hälyttää poikkeavista tilanteista. Valvomo mahdollistaa kokonaisvaltaisen näkömän järjestelmän eri osa-alueiden tilaan ja tehokkaan hallinnan koko järjestelmän osalta. [9, s. 59.]

Hallintotaso toimii käyttäjän yhteytenä automaatiojärjestelmään. Tämä toteutuu yleensä PC-pohjaisilla valvomoilla, joita voi olla joko paikallistasolla (kiinteistön sisällä) tai etävalvomossa (keskusvalvomossa), jossa valvotaan useita kiinteistöjä samanaikaisesti, esimerkiksi kaupunkeja tai kunnallisia kiinteistöjä. Käyttäjä saa valvomosta tiedot erilaisista hälytyksistä, voi tarkastella graafisia prosessikuvia ja tehdä muutoksia esimerkiksi lämpötiloihin tai aikaohjelmiin. Etävalvomossa on yleensä enemmän asiantuntemusta, jota voidaan hyödyntää useamman kiinteistön hallinnassa ja analysoinnissa. Hallintotason toimintoihin kuuluvat myös erilaiset raportointi- ja kunnossapito-ohjelmat. [9, s. 59–60.]

Kommunikaatio hallintatasolla toteutetaan yleensä Ethernet-väylään paikallisesti, kun taas laajakaistapohjaisia internetyhteyksiä käytetään etävalvonnassa. Sekä paikallis- että etävalvomoiden internetyhteydet perustuvat TCP-IP-protokollaan, joka tarjoaa luotettavan ja nopean yhteyden. Vaikka etähallintaan saadaan joustavuutta avoimilla tiedonsiirtoratkaisuilla, voivat ne samalla aiheuttaa tietoturva-asteita. Tiedonsiirto-ongelmat ovat yleensä harvinaisia, ja niiden vaikutus rajoittuu pääasiassa valvomoon. Itsenäisissä ala-asemissa ja

säätimissä itse prosessien ohjaus ja säätö jatkuvat normaalisti, vaikka valvon ja automaatiotason välisessä tiedonsiirrossa olisi ongelmia. [9, s. 59.]

Kuvassa 9 on esitetty esimerkki RAU-valvomon grafiikkakuvasta.



Kuva 9. RAU-valvomo grafiikkakuva [13, s. 4].

4 Rakennusautomaatio ja energiatehokkuus

Rakennuksen sisäolosuhteet pyritään saavuttamaan mahdollisimman pienellä energiankulutuksella RAU-järjestelmän avulla. Energiankulutukseen vaikuttavat rakennuksen talotekniikan eri järjestelmien laitteiden viat havaitaan myös RAU-järjestelmän muodostamien hälytysten perusteella. Energiankulutuksen seurantaan, mittaamiseen sekä raportointiin voidaan hyödyntää rakennuksen automaatiojärjestelmää. [13, s. 2.]

4.1 Rakennusautomaation energiatehokas käyttäminen

Rakennuksen energiatehokkuuden ylläpito vaatii osaamista RAU-järjestelmän käyttöhenkilöiltä, jotka seuraavat ja varmistavat taloteknisten prosessien toimivuuden. Käyttäjä voi muuttaa esimerkiksi aikaohjelmia, mikä on yksinkertainen ja tehokas tapa vaikuttaa järjestelmien energiankulutukseen. [13, s. 2.]

Aikaohjelmia voidaan ohjata helposti nykyaikaisissa RAU-järjestelmissä, mutta niiden muuttaminen vaatii myös tarkkuutta, jotta mahdolliset virheet eivät aiheuta lisääntyntä energiankulutusta. Tyypillisesti virheellinen ohjaus tapahtuu sen seurauksena, että poikkeustilanteen takia muutettu ohjaus jää vahingossa päälle pidemmäksi aikaa voimaan. Aikaohjelmien tulisi seurata rakennuksen käyttötilanteita, jolloin sisäilmanolosuhteet pysyisivät asetetun mukaisina sekä energiankulutus olisi mahdollisimman optimaalinen. Esimerkiksi RAU-järjestelmän kalenteriohjelman olisi syytä voida tunnistaa arkipyhät, jolloin ilmanvaihtoa ja lämmitystä voisi ohjata rakennuksen käytön ulkopuoliseen tilaan silloin, kun rakennus ei ole normaalisti käytössä. [13, s. 5.]

Kaikissa tilanteissa ei ole järkevää käyttää aikaohjelmia energiatehokkuuden kannalta, vaan olisi energiatehokkaampaa käyttää olosuhteiden ja läsnäoloon perustuvia ohjauksia. Esimerkiksi koulujen liikuntasalit eivät ole välttämättä käytössä koko päivän ajan, jolloin läsnäolon ja sisäilmanlaadun mukaan tehtävät ohjaukset toimivat paremmin energiatehokkuuden näkökulmasta. Toimistojen jäähdytyksessä olisi myös hyvä olla läsnäoloon perustuva ohjaus, jolloin

poissaolojen aikana ei turhaan jäähdytetä tilaa. Myös sääennusteiden perusteella tehtävät ohjaukset eri järjestelmiin ovat energiatehokas keino ohjata eri järjestelmiä, kuten lämmitysjärjestelmiä ja erityyppisiä sulanapito- ja saattolämmitysjärjestelmiä. [13, s. 5.]

4.2 RAU-järjestelmän energiatehokkuutta parantavat ohjelmat

RAU-suunnittelijan on tärkeää määrittää rakennuksen suunnitteluvaiheessa prosesseille energiatehokkuutta edistäviä toimintoja, jotta rakennuksen käyttäjällä olisi käytössään tarvittavat keinot prosessien energiatehokkaaseen käyttöön. RAU-järjestelmään voidaan ohjelmoida monia ilmaisenergiaa hyödyntäviä toimintoja [13, s. 5].

Yöjäähdytys-ohjelmalla hyödynnetään viileää ulkoilmaa rakennuksen tilojen ja rakenteiden lämpötilojen laskemiseen [13, s. 5]. Yöjäähdytys-toiminnon ollessa käytössä IV-kojeen omaa jäähdytystä ei käytetä, pelkästään IV-kojeen puhaltimet kuluttavat tällöin energiaa. Yöjäähdytyksen avulla suuren rakennuksen viileät rakenteet säilyttävät tilan lämpötilan hyväksyttävänä jopa tunteja lämpiminä kesäpäivinäkin [13, s. 5]. Vapaajäähdytystä voidaan käyttää ulkolämpötilan lasiessa riittävän matalalle, jos rakennuksessa on jäähdytystarvetta ympäri vuoden [14, s. 9].

Optimointiohjelman avulla voidaan lämmityksen aloitus- ja lopetusaikoja muuttaa tilojen käyttöaikojen mukaan. Optimointiohjelmalla voidaan käyttää esimerkiksi koulu- ja päiväkotirakennuksissa, joissa toimintaa on yleisesti päivisin ja joka on tyhjillään iltaisin ja öisin. Optimointiohjelma laskee optimaalisen ajankohdan lämmityksen aloittamiseen ja lämmityksen lopettamiseen. Optimointiohjelmaa käytettäessä on syytä ohjelmoida myös varotoiminnot vesivahinkojen välttämiseksi. [13, s. 6.]

Tarpeenmukaisilla ohjauksilla ja säädöillä voidaan aikaohjelmia muokata tiukemmiksi. Mikäli tiloissa on käyttöä aikaohjelmien ulkopuolella, saadaan olosuhteet normaaleiksi lisäaikapainikkeiden, läsnäolotietojen tai

ilmanlaadunmittausten perusteella, joiden mukaan ohjataan järjestelmiä oikean käyttötarpeen mukaisesti. [13, s. 6.]

Kesällä voidaan IV-kojeen lämmöntalteenottoa (LTO) hyödyntää viilennykseen, mikäli ulkolämpötila on poistolämpötilaa korkeampi, jolloin muun jäähdytyksen tarve putoaa hieman [13, s. 6].

Sähkön huipputehoa voidaan rajoittaa rajoitusohjelman mukaan. Huipputehon asetusarvoa voidaan muuttaa esimerkiksi pörssisähkön hinnan perusteella. Huipputehon rajoitusohjelma ottaa portaittain järjestelmien eri osa-alueita pois käytöstä. Ohjelman portaat on suunniteltava tarkoin, koska yleensä rakennuksen prosessit suunnitellaan siten, että rakennuksen olosuhteet pysyvät hallinnassa. [13, s. 6.]

Lukitusohjelmien avulla estetään niiden laitteiden ja järjestelmien käyttö, joilla ei ole tarvetta esimerkiksi tietyn ulkolämpötilan ylittyessä tai alittuessa [13, s. 6].

Mittausten avulla toteutetut laitteiden säädöt parantavat energiatehokkuutta. Lämmitysverkostojen pumppujen säätö on järkevää toteuttaa verkoston paine-eromittauksen perusteella, jolloin lämmitysventtiilien ollessa menossa kiinni voidaan pienentää verkoston pumpun kierrosnopeutta, mikä pienentää pumpun energiankulutusta. [13, s. 7.]

Järjestelmien säädöt ovat merkittävä roolissa energiankulutuksen näkökulmasta. On tärkeää valita oikean tyyppinen säätötapa tietyn prosessin säätöön. Mikäli rakennuksessa on tilakohtaiset lämmitys- ja/tai jäähdytyslaitteet, olisi IV-kojeen syytä toimia siten, että tulolämpötila pidetään vakiona, jolloin ei tule tilanetta, missä jäähdytetään ja lämmitetään tilaa yhtä aikaa. Säätöpiirien toimintaa varten mittaukset tulisi aina liittää trendiseurantaan, josta voidaan seurata, että miten prosessi toimii ja on toiminut. Trendiseurannan perusteella havaitaan prosessissa esiintyvät vikatilanteet. [13, s. 8.]

Rakennuksen ylläpitäminen energiatehokkaana edellyttää, että rakennuksen energiankulutusta mitataan riittävästi, ja mittauksista muodostetaan tarvittavat

kulutuksen seurannat. Energiankulutusmittaukset on syytä toteuttaa ryhmittäin, eikä pelkästään päämittausten avulla. Energiankulutuksen mittausta voidaan toteuttaa joko energiankulutusmittarilla tai ohjelmallisesti RAU-järjestelmän avulla. [13, s. 9.]

4.3 Tekoäly rakennusautomaatiossa

RAU-järjestelmien optimointiin voidaan käyttää tekoälypohjaisia sovelluksia. Asetusarvot ja ohjaukset voidaan antaa tekoälyn muutettavaksi, jolloin optimoinnista vastaa käyttöhenkilökunnan sijasta tekoäly. Tekoäly-ohjelmat toimivat yleensä pilvipalveluna, jolloin RAU-järjestelmä on liitettävä kyseiseen pilvisovellukseen. Koska tekoäly toimii puhtaasti sille annettuun dataan, on rakennuksen olosuhteita mitattava kattavasti ja kiinnitettävä huomiota mittausten sijoitteluun. Tekoäly optimoi energiankulutuksen haluttuun olosuhteeseen. Tekoäly hyödyntää myös ulkopuolista dataa kuten sääennusteita, sähkönhintaa ja muita sosiaalisia tietoja. Tekoälyn avulla voidaan siten laajentaa perinteisen RAU-järjestelmän käyttämää dataa energiankulutuksen optimointiin. [13, s. 13.]

5 Standardi SFS-EN ISO 52120-1:2022 (SFS-EN15232)

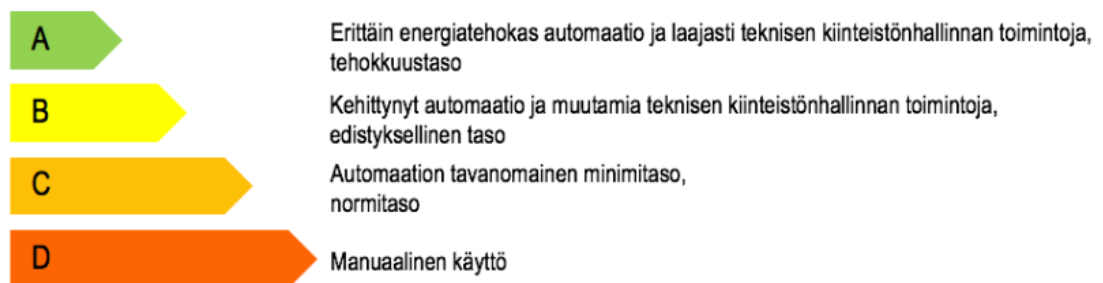
Vuonna 2004 aloitettiin valmistelevaan EU:ssa ensimmäistä standardia rakennusten automaation vaikutuksesta energiatehokkuuteen. Alkuperäistä standardia SFS-EN15232 päivitettiin kaksi kertaa valmistumisvuoden 2007 jälkeen. Viimeisin versio vuodelta 2017 korvattiin kokonaan uudella standardilla SFS-EN ISO 52120-1:2022 vuonna 2022. [15.] Standardi pitää sisällään toimenpiteitä rakennusautomaation energiatehokkuuteen liittyvistä toiminnoista eri automaatiotasolla, jonka pohjalta voidaan keskustella eri osapuolten välillä tietyn aiheen piirissä, joita liitetään RAU-järjestelmään. Standardin avulla voidaan myös selvittää hyötyjä, joita rakennusautomaation avulla voidaan luoda. [4, s. 5.]

Energiatehokkaassa rakennuksessa järjestelmiä hallitaan kokonaisuutena. Kioton pyramidissa esitetään perusteet energiatehokkuuteen vaikuttavista keinoista (kuva 10). Rakennusautomaation avulla saadaan energiatehokkaat talotekniset järjestelmät toimimaan suunnitellun mukaisesti energiatehokkaasti ja luotettavasti. Rakennuksen automaatiotason valinta on tehtävä omana kokonaisuutena rakennusta suunniteltaessa, koska ilman toimivaa automaatiotasoa järjestelmien energiatehokkuutta ei saada kokonaan käytettyä. Automaatiotason valinnassa on energiatehokkuuden lisäksi huomioitava sisäilmalle ja -olosuhteille asetetut vaatimukset. [4, s. 6–7.]



Kuva 10. Kioton pyramidi [4, s. 6].

Rakennuksen automaatiotaso vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Standardissa automaatiotasot on jaettu neljään kategoriaan A – D, A vastaa parasta luokitusta ja D-taso on heikoin (kuva 11). [4, s. 7.]



Kuva 11. Energiatehokkuus eri automaatiotasolla [4, s. 6].

D-tason järjestelmien rakentamista tulisi välttää täysin, koska tällä tasolla automaatiolla ei oteta huomioon rakennuksen energiatehokkuutta. Nykyisiä D-tason järjestelmiä tulisi saneerata korkeamman tason järjestelmiksi

rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi. Tällä tasolla järjestelmien ohjaukset ovat käsikäyttöisiä. [4, s. 7.]

C-tason automaatio vastaa niin sanotusti normitasoa ja minimiratkaisua automaation osalta. Esimerkiksi toimistorakennuksissa toimintoja on voitu toteuttaa C-tasolla erillisillä laitteilla, mutta yleisesti toteutus tällä tasolla toteutetaan keskitetyillä automaatiojärjestelmillä. [4, s. 8.] C-taso vastaa Suomessa hyvin kuvaavasti rakennusautomaatiojärjestelmien minimitasoa, ja näiden energiatehokkuudet vastaavat käytännössä toisiaan. [4, s. 13.]

B-tason edellytyksenä on, että rakennuksen automaatiojärjestelmä toimintoi-neen on C-tasoa paremmin toteutettu. B-tasolla automaatiojärjestelmä on va-rustettu joillain teknisen kiinteistöhallinnan ominaisuuksilla. Tällä tasolla ohjaus voidaan toteuttaa tarpeenmukaisesti optimoiden rakennuksen eri järjestelmiä. Esimerkiksi huonesäätimet ovat B-tasolla liitetty automaatiojärjestelmään tie-donsiirtoyhteydellä eli väylän kautta. [4, s. 8.]

Korkeimmalla, eli A-tasolla, automaatiojärjestelmä on erittäin energiatehokas ja järjestelmässä on kattavasti teknisen kiinteistönhallinnan ominaisuuksia. Järjes-telmä tällä tasolla ottaa huomioon eri järjestelmien keskinäisvaikutukset, ja esi-merkiksi huonesäätimet kykenevät tarpeenmukaisesti ohjaamaan ilmastointia ja lämmitystä. [4, s. 8.]

6 Rakennusten älyvalmiusindikaattori – Smart Readiness Indicator (SRI)

Rakennusten älyvalmiusindikaattorin (SRI) avulla arvioidaan rakennusten älyvalmiuksia yhtenäisen menetelmän kautta ottaen huomioon energiatehokkuuden, rakennuksen käyttäjän ja energian kysyntäjoukon näkökulmat. Rakennusten älyvalmiusindikaattori määrittää rakennusten energiatehokkuusdirektiivin artiklassa 8. [16.]

Kuvassa 12 on esitetty Euroopan komission esimerkkejä odotetuista älyteknologian tuomista hyödyistä rakennuksissa.



Kuva 12. Älyteknologioiden odotetut edut rakennuksissa [17].

Rakennusten älyvalmiusindikaattori lisää tietoisuutta älykkäiden rakennusteknologioiden hyödyistä, kuten rakennusautomaatiosta, jolla mahdollistetaan valvonta rakennusjärjestelmien eri osa-alueisiin, joita ovat esimerkiksi lämmitys-, käyttövesi-, ilmanvaihto- ja valaistusjärjestelmät. SRI-kehityksen toteuttaminen tukee teknologisten innovaatioiden kehitystä rakennusalalla ja luo kannustimen uusien älykkäiden teknologioiden integroimiseen rakennuksiin. [17.]

SRI esiteltiin EU-tason energiatehokkuustoimena vuonna 2016, kun rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutoksesta tehtiin esitys. Indikaattorin kehittämisen keskeisenä tavoitteena oli lisätä tietoisuutta rakennusten omistajien ja käyttäjien keskuudessa rakennusautomaation ja teknisten rakennusjärjestelmien elektronisen seurannan arvosta sekä yleisesti edistää älykkäiden jo olemassa olevien teknologioiden käyttöönottoa rakennusalalla. Euroopan komission Energiapäösaston toimeksiannosta SRI:n tutkimusryhmä vastasi indikaattorin määrittelyn ja laskentamenetelmän kehittämisestä. SRI-tutkimuksen loppuraportti julkaistiin vuonna 2018. [18, s. 3.]

SRI-menetelmäkehys perustuu "älykkäiden valmiiden palvelujen" luetteloon, joka muodostuu erilaisten älykkäiden valmiiden teknologioiden yhdistelmillä. Koko luettelossa on yhteensä 112 palvelua, mutta koska näitä kaikkia palveluita ei voida helposti toteuttaa käytännön kokeissa, SRI-tutkimusryhmä on tarjonnut tiivistetyn joukon palveluita. [18, s. 3.] Älykkäiden valmiiden palvelujen luettelo on jaettu yhdeksään erilliseen osa-alueeseen:

1. Lämmitys
2. Käyttöveden lämmitys
3. Jäähdytys
4. Ohjattu ilmanvaihto
5. Valaistus
6. Dynaaminen ulkovaippa
7. Sähkö
8. Sähköajoneuvojen lataus
9. Seuranta ja ohjaus. [19, s. 13.]

Tiivistetyssä kehyksessä nämä osa-alueet kattavat yhteensä 52 älykästä valmiutta, ja jokainen palvelu voidaan toteuttaa eri älykkyyden asteilla (eli

toiminnallisilla tasoilla). Jokaisella älykkäällä valmiudella on lisäksi potentiaalisia vaikutuksia rakennuksen asukkaisiin, itse rakennukseen ja sähköverkkoon. Vaikutukset on jaoteltu kahdeksaan selkeään kategoriaan, jotka ovat energiansäästö paikan päällä, joustavuus sähköverkolle ja energiavarastoinnille, itse tuotettu energia, mukavuus, kätevyys, hyvinvointi ja terveys, kunnossapito ja vikojen ennustaminen sekä tieto, joka on saatavilla rakennuksen asukkaille.

[18, s. 3.]

Kokonaisuudessaan SRI-pistemäärä on monikriteeriarvioinnin tulos. SRI-pistemäärällä ilmaistaan, kuinka lähellä rakennus on teoreettisesta maksimi älykkyydestään. Laskentamenetelmä perustuu rakennuspalveluiden valintaan, koska jotkut osa-alueet ja palvelut eivät ole merkityksellisiä paikallisten olosuhteiden, kuten esimerkiksi ilmaston vuoksi, jätetään nämä palvelut pois arvioinnista, eivätkä ne siten vaikuta kokonaispistemäärään. Tämän jälkeen arvioinnissa määritetään vain sovellettavien palveluiden toiminnallisuustasot. Jokaisella palvelulla ja niiden toiminnallisuustasoilla on ennalta määritelty vaikuttavuuspistemäärä kussakin kahdeksassa vaikuttavuuskriteerissä. Kun palvelutasovaikutukset ovat tiedossa, lasketaan kunkin yhdeksän erillisen osa-alueen osalta kootut pisteet. Osa-alueen vaikuttavuuspistemäärä lasketaan suhteena osa-alueen palveluiden yksittäisten ja teoreettisten maksimipisteiden välillä.

[18, s. 3–4; 19, s. 13.]

7 Kulutusjousto

Kulutusjouston käyttö rakennuksissa yleistyy automaatiojärjestelmien ja tietotekniikan kehittyessä sekä rakennusten päästövähennys tarpeen myötä. Kulutusjouston avulla kulutushuippujen aikana voidaan vähentää kulutusta, tai kulutusta voidaan lisätä, mikäli energiareserviä on paljon tarjolla. Kulutusjousto voidaan käyttää niin sähkö- kuin lämmitysjärjestelmissä. [20, s. 1–2.]

Sähköä tuotetaan kasvavissa määrin uusiutuvilla tuotantomuodoilla, kuten auringon ja tuulen avulla. Aiemmin sähköverkon tuotannon ja kulutuksen tasapainoa on ylläpidetty fossiilisia polttoaineita polttavilla tuotantolaitoksilla, joilla on pystytty säätämään nopeasti energiatuotannon hetkellistä määrää. Uusiutuvan energian kautta tuotettua sähköä ei voida käyttää samalla tavalla sähköverkon nopeaan säätämiseen sen heikon säädettävyyden takia. Energiajärjestelmien nopeaan säätöön hyödynnetään teollisuuden lisäksi nykyisin rakennusten energiavarastoja sekä kulutusjoustoja sähkönkulutuksen osalta. [20, s. 1–2.]

Ympäristöministeriön asetuksessa 718/2020 on esitetty vaatimus, että rakennuksen paikallisen sähköntuotantojärjestelmän on kyettävä varastoimaan sähköä. Asetuksessa on myös esitetty, että RAU-järjestelmän on kyettävä mittaamaan tuotetun sähkön jakamisesta omaan käyttöön, varastointiin tai sähkön yleiseen jakeluverkkoon. [21, s. 6.]

Kysynnän jouston ohjaaminen toteutetaan suuremmissa kiinteistöissä RAU-järjestelmän avulla. RAU-järjestelmä ohjaa esimerkiksi ilmanvaihtoa ja valaistusta sähkökuormien laskemiseksi. Joustoon osallistuvien kuormien ohjaukset on suunniteltava huolellisesti kiinteistökohtaisesti. Teknisten rakennusten kehittyessä rakennusten omat energiavarastot tulevat yleistymään. Rakennuksen akustoa voidaan ladata automaation ohjaamana edullisen sähkön aikana, ja ottaa akkuun ladattu sähköenergia rakennuksen käyttöön sähkön korkean kulutuksen aikana ja näin ollen myös sähköhinnan ollessa korkealla tasolla.

[21, s. 6.]

Energiajoustoa rakennuksissa voidaan mitata eri tavoin. Ajallisessa mittauksessa voidaan mitata, kuinka kauan rakennuksen energiavarastojen lataus- ja purkuaika kestävät sekä kuinka kauan rakennuksen terminen massa tai energiavarasto voivat vähentää tehontarvetta. [22, s. 5.]

RAU-järjestelmän avulla voidaan toteuttaa kulutusjoustoja käytännössä esimerkiksi lämpötilan asetusarvoja muuttamalla, tehonkulutusta muuttamalla ajallisesti, ohjata rakennuksen lämpövarastoinnin ajankohtaa ja ennustamalla tehontarvetta esimerkiksi sähkönkulutuksen ja sääennusteiden mukaan. [22, s. 11.]

Kulutusjouston avulla saavutetaan energiansäästöjä sitä enemmän, mitä suurempi on rakennuksen lämmityksen tarve. Säästöt ovat kiinteistökohtaisia, ja säästöjen määrään vaikuttaa esimerkiksi rakennustyyppi, rakennuksen lämmönvaraus- ja -eristyskyky, lämmönjakojärjestelmän tyyppi ja ennen kaikkea energianhinta. CO₂-päästöjä voidaan merkittävästi vähentää kulutusjouston avulla energiantuotannon osalta. [22, s. 28.]

8 Investointilaskelmat

Investoinneilla yritysmaailmassa odotetaan tuottoa useamman vuoden ajalta, kun kohteeseen sijoitetaan rahaa. Investoinnin kohteita on monia, kuten laajenusinvestoinnit ja kestävän kehityksen investoinnit. Investoinnit voidaan jakaa sekä aineellisiin että aineettomiin kohteisiin. Aineellisia kohteita ovat esimerkiksi laitteet, ajoneuvot, tuotantolaitokset, koneet ja rakennukset. Aineettomia kohteita taas ovat esimerkiksi työn tehostaminen, henkilöstön koulutus, tutkimukset ja toimintamallien kehittäminen. [24, s. 357.]

Investointilaskelmien avulla punnitaan eri sijoitus vaihtoehtojen kannattavuutta ja ne ovat vaihtoehtolaskelmia, jotka ulottuvat tulevaisuuteen [25, s. 112]. Investointilaskelmien avulla voidaan matemaattisesti vertailla eriaikaisia suorituksia toisiinsa nähden. Diskonttauksen avulla voidaan määrittää pääoman aika-arvoon perustuva nykyarvo. Investoinnin ollessa kannattava sen on tuotettava enemmän kuin siihen on sijoitettu. Arvot ja näkemykset vaikuttavat osaltaan investointien valintaan laskelmien ohella. [24, s. 357.]

8.1 Investointipäätös

Investointipäätös on mietittävä huolellisesti, koska investoinnin väärin tehty päätös, väärin toteutettu ajoitus tai huonosti toteutettu investointi voivat estää tavoitteiden saavuttamisen. Investointipäätöksen aikajärjestys on usein seuraavanlainen:

1. Havaitaan yrityksen kannalta tärkeät kehityskohteet ja tarpeet muutosten tekemiseen.
2. Tarkastellaan mahdolliset vaihtoehdot investoinneille ja hylätään huonoiten soveltuvat. Arvioidaan soveltuvimpia investointeja tarkemmin.
3. Etsitään tietoa kustannuksista ja tuotoista eri vaihtoehtojen osalta. Arvioidaan investointien laadullisia ja määrällisiä vaikutuksia.
4. Tehdään valinta toteutettavista investoinneista. Valintaan vaikuttaa ennakoitu kannattavuus, rahoitusvaihtoehdot, ei-rahamääräiset ja laadulliset

tekijät. Päätöksentekijän kokemus on myös ratkaiseva, koska investointien eri vaikutuksia ei saada yhtenä lukemana.

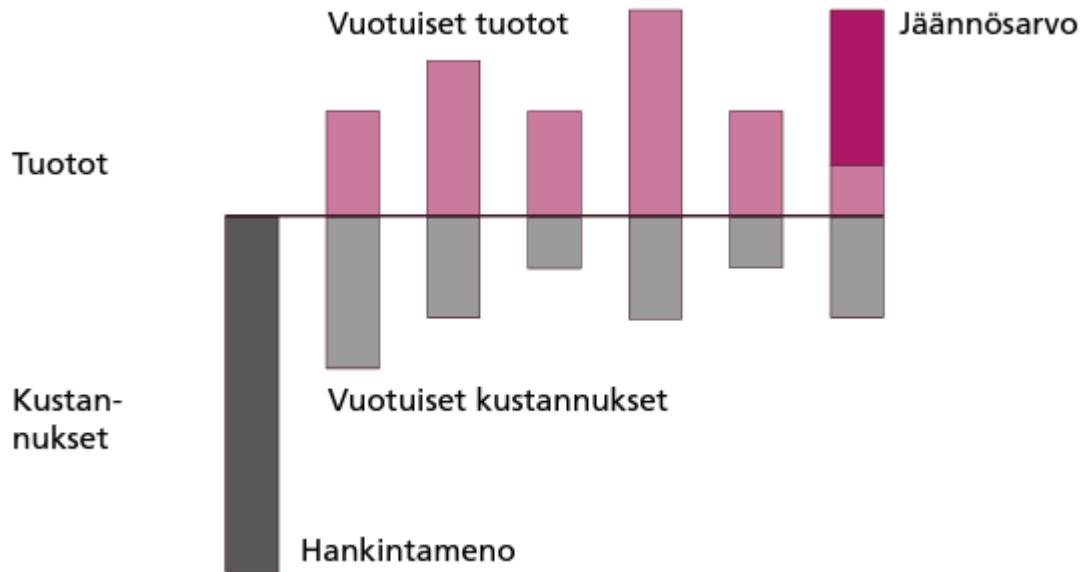
5. Investoinnin rahoituksen suunnittelu ja hankinta.
6. Hanke käynnistetään ja valvotaan hankkeen etenemistä. Hankkeen valmistuttua on tärkeää käydä läpi ja arvioida investoinnin taloudelliset ja muut vaikutukset oppimisen kannalta. [25, s. 112.]

8.2 Investointilaskelmien lähtöarvot

Investointilaskelmien toteuttamiseen tarvitaan tietyt lähtöarvot. Arvot ovat joko mitattavissa tai arvioitavissa olevia suureita. Kannattavuuteen vaikuttavat investoinnin lähtöarvot ovat:

1. Hankintameno, perusinvestointi, perushankintakustannus
2. Vuotuiset nettotuotot, kassavirta
3. Jäännösarvo
4. Laskentakorkokanta
5. Investointiaika, investoinnin pitoaika (kuva 13). [24, s. 358; 25, s. 112.]

Kuvassa 13 on esitetty investointilaskelmien lähtöarvot.



Kuva 13. Investointilaskelmien lähtöarvot [24, s. 358].

8.2.1 Hankintameno

Investoinnin ensimmäinen lähtöarvo hankintameno on helppoiten määriteltävä, ja se koostuu investoitavan kojeen, laitteen tai laajennuksen hankintahinnasta, rakentamiskuluista tai henkilöstön koulutuksen kustannuksista. Hankintameno ajoittuu pääasiallisesti hankkeen tai investointiajankohdan alkuun. [24, s. 359.]

8.2.2 Vuotuiset nettotuotot

Vuotuiset nettotuotot saadaan vähentämällä vuotuiset kustannukset vuotuisista tuotoista. Vuotuiset tuotot ovat investoinnin vuosittain kerryttämät rahalliset tuotot, jotka ovat tulleet esimerkiksi kustannussäästöistä tai kasvaneista myyntituloista. Vuotuiset kustannukset ovat investoinnista aiheutuneita vuosittaisia kustannuksia, joita syntyy esimerkiksi korjaus- ja huoltokustannuksista tai henkilökustannuksista. [24, s. 359.]

8.2.3 Jäännösarvo

Investoinnille annetaan arvo investointiajan lopussa. Sitä kutsutaan jäännösarvoksi. Jäännösarvo voi olla positiivinen, mikäli investoinnilla on jäljellä myyntiarvoa tai negatiivinen, mikäli siitä aiheutuu esimerkiksi hävittämiskustannuksia. Varovaisuusperiaatteen mukaan jäännösarvoksi annetaan yleisimmin nolla. [24, s. 359.]

8.2.4 Laskentakorkokanta

Nettotuotot eri vuosilta saadaan vertailukelpoisiksi laskentakorkokannan avulla. Vuotuiset nettotuotot määrittävät, miten kassavirta ajoittuu investoinnin pitoajalle. Investoinnin sitoman pääoman kustannus otetaan laskentakorkokannan avulla huomioon. Investoinnin vähimmäistuottovaatimuksena voidaan pitää laskentakorkokantaa. Yleensä vuotuiset nettotuotot diskontataan laskentakorkokannan avulla investoinnin pitoajan alkuun. [25, s. 112.]

8.2.5 Investointiaika

Ajanjaksoa, jonka aikana investoinnilta odotetaan syntyvän nettotuottoja ja sen ollessa toiminnassa tuottavasti, sanotaan investoinnin pitoajaksi tai investointiajaksi. Investointiaikaan vaikuttavia asioita on monia, ja ne johtuvat investoinnin monimuotoisuudesta. Esimerkiksi teknisten järjestelmien ja laitteiden käyttöiät vaihtelevat, ja niiden huoltaminen ja varaosien saanti voi tulla rajoittavaksi tekijäksi pitoaikaa määriteltäessä. [26, s. 181.] Investointiajan määrittämiseen käytetään yleisesti arvioita, jotka perustuvat laitteen tai järjestelmän käyttöikänsä [25, s. 112].

8.2.6 Herkkyysanalyysi

Investoinnin kannattavuuden muutosta voidaan tutkia herkkyysanalyysillä muuttamalla joko yhtä tai useita lähtöarvoja. Kriittistä arviointia investoinnin kannattavuudesta voidaan suorittaa vaihtoehtoisilla laskelmilla. Laskelmien lähtöarvojen

valintaan liittyy aina epävarmuutta johtuen niiden ennustettavuudesta tulevaisuudessa. [24, s. 359.]

8.3 Investointilaskelmamenetelmät

Investointien kannattavuuteen on eri laskentamenetelmiä, joista valitaan sopiva investoinnin mukaisesti. Laskentamenetelmiä ovat nykyarvomenetelmä, korollinen ja koroton takaisinmaksuajan menetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä ja annuiteettimenetelmä. [24, s. 358.]

8.3.1 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on aika vuosissa, jolloin investoinnin hankintamenon arvo on kertynyt vuotuisilla nettotuotoilla, eli investoinnin hankintaan sijoitettu pääoma on maksanut itsensä takaisin. Investointi on kannattava, mikäli takaisinmaksuaika on pienempi kuin asetettu tavoiteaika on. Yksinkertaisesti kannattavin investointi on eri vaihtoehdoista se, jonka takaisinmaksu aika on lyhin. Takaisinmaksuajan menetelmässä ei oteta huomioon takaisinmaksuajan jälkeisiä kustannuksia tai tuottoja, eli esimerkiksi jäännösarvoa ei huomioida. Menetelmä suosii näin ollen investointeja, joissa tuottoja saadaan nopeasti. Takaisinmaksuajan laskentaa voidaan toteuttaa joko korottomana tai korollisena takaisinmaksuaikana. [24, s. 361.]

Korottoman takaisinmaksuajan menetelmä ei ota huomioon rahan aika-arvoa, eli siinä ei oteta laskentakorkokantaa huomioon. Vuosittaisten nettotuottojen ollessa samoja takaisinmaksuaika saadaan jakamalla hankintameno vuotuisilla nettotuotoilla (kaava 1). Vuosittaisten nettotuottojen ollessa eri suuruisia nettotuotot summataan, kunnes summa on yhtä suuri kuin investoinnin hankintameno. Saatu aika on tällöin takaisinmaksuaika investoinnille. [24, s. 361.]

$$n = \frac{H}{T} \quad (1)$$

n = takaisinmaksuaika
H = hankintameno
T = vuotuiset nettotuotot

Korollisessa takaisinmaksuaika menetelmässä huomioidaan laskentakorkokanta eli rahan aika-arvo. Laskenta tapahtuu muutoin samoin kuin korottoman takaisinmaksuajan menetelmässä (kaava 2). [24, s. 363.]

$$n = \frac{\ln \frac{T}{T-Hi}}{\ln(1+i)} \quad (2)$$

n = takaisinmaksuaika

H = hankintameno

T = vuotuiset nettotuotot

$i = \frac{\text{korkoprosentti}}{100} = \text{korkokanta}$

8.3.2 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä vuotuiset nettotuotot, kustannukset ja jäännösarvo siirretään investoinnin hankintameno ajankohtaan diskonttauksen avulla (kuva 14). Tuottojen nykyarvon ollessa vähintään sama kuin kustannusten nykyarvo voidaan investointia pitää kannattavana. Nettonykyarvon ollessa negatiivinen investointi ei ole kannattava. Investointeja vertailtaessa nykyarvomenetelmällä kannattavimmalle investoinnille saadaan suurin nettonykyarvo. Mikäli investoinneista ei saada tuottoa, kannattavin investointi saadaan pienimmän kustannusten nykyarvon perusteella. Jos tuotot ovat yhtä suuret kaikissa investointivaihtoehtoissa, riittää tällöin vertailla kustannusten nykyarvoja. [24, s. 365.]

Nykyarvomenetelmän laskentaan voidaan käyttää nykyarvoyhtälöä (kaava 3).

$$N = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} T_t + \frac{1}{(1+i)^t} J - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} M_t - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} U_t - H \quad (3)$$

N = nykyarvo

T = tuotto

M = meno

J = jäännösarvo

U = uusintainvestointi

H = hankintahinta

Diskonttaustekijä saadaan laskettua alla esitetyn yhtälön avulla (kaava 4).

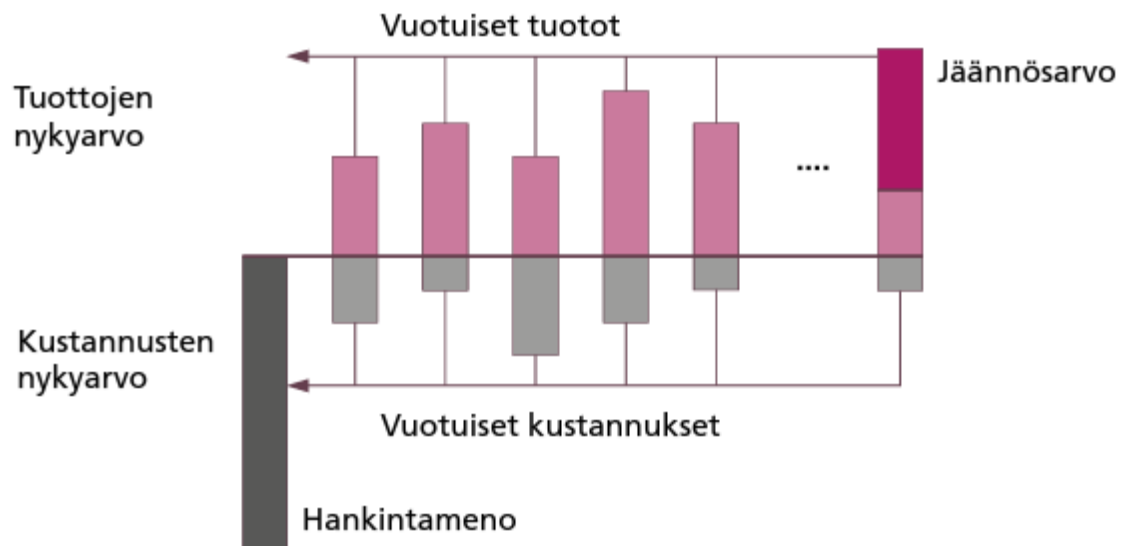
$$d = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (4)$$

Mikäli uusintainvestointeja ei oteta huomioon, ja vuotuiset tuotot ja menot arvioidaan vakioiksi, voidaan laskea nykyarvo yksinkertaisemmalla yhtälöllä (kaava 5).

$$N = \frac{(1+i)^n}{i(1+i)^n} T + \frac{1}{(1+i)^n} J - H \quad (5)$$

N = nykyarvo
 T = vuotuiset vakionettotuotot
 J = jäännösarvo
 H = hankintahinta

Kuvassa 14 on esitetty nykyarvomenetelmän laskennan periaate.



Kuva 14. Nykyarvomenetelmän laskenta [24, s. 365].

8.3.3 Sisäisen korkokannan menetelmä

Korkokanta, jolla nettotuottojen nykyarvo on yhtä suuri kuin hankintameno on investoinnin sisäinen korkokanta. Sijoitetun investoinnin vuotuinen tuotto-prosentti saadaan määritettyä sisäisestä korkokannasta. Mitä suurempi on sisäinen korkokanta, sitä kannattavampi investointi on. Investointia voidaan pitää kannattavana, mikäli sisäinen korkokanta on suurempi tai yhtä suuri kuin tavoitteeksi

asetettu korkokanta. Laskentaan kannattaa hyödyntää taulukkolaskentatyökaluja, koska sisäisen korkokannan laskenta vaatii n :nnen asteen yhtälöiden ratkaisemista. Esimerkiksi Excelistä löytyy funktio "IRR", jonka avulla voidaan laskea eri suuruisien nettotuottojen sisäinen korkokanta. [24, s. 372.]

Sisäinen korkokanta voidaan ratkaista nykyarvoyhtälön mukaan, kun merkitään nettoykyarvo nolaksi (kaava 6).

$$i = \sqrt[n]{\frac{T-Ji}{T-Hi}} - 1 \quad (6)$$

N = nykyarvo
 T = vuotuiset vakionettotuotot
 J = jäännösarvo
 H = hankintahinta

8.3.4 Annuiteettimenetelmä

Tuotot ja kustannukset muutetaan annuiteettimenetelmässä vuosieriksi, jolloin ne ovat vertailukelpoisia (kuva 15). Kustannukset saadaan menoannuiteetiksi, eli yhtä suuriksi vuosikustannuksiksi, muuttamalla kustannukset annuiteettitekiällä eli annuiteetin kaavalla tasaeriksi (kaava 7). Tuotot saadaan tuloannuiteetiksi, eli yhtä suuriksi vuosituloiksi PMT:n, tasaerän avulla. Investointeja vertailtaessa kannattavin investointi on se, jossa tulo- ja menoannuiteettien erotus on suurin. [24, s. 375.]

$$PMT = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \cdot N \quad (7)$$

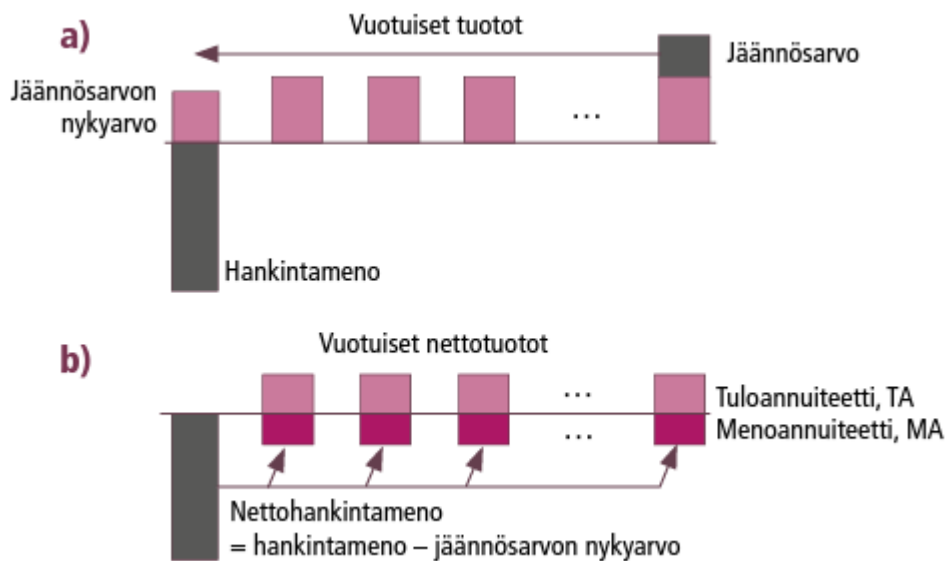
N = nykyarvo
 PMT = Tasaerä

Annuiteetilaskennassa voidaan edetä siten, että ensimmäisenä selvitetään vuotuiset nettotuotot ja diskontataan jäännösarvo. Toiseksi jäännösarvon nykyarvo vähennetään hankintamenoista, eli saadaan nettohankintameno selville. Muutetaan nettohankintameno PMT:llä menoannuiteetiksi (kaava 8). Tuloannuiteetin ollessa suurempi tai yhtä suuri kuin menoannuiteetti, voidaan investointia pitää kannattavana. [24, s. 375.]

$$A = T - (H - dJ)PMT \quad (8)$$

A = investoinnin vuotuinen kulu
 T = vuotuinen nettotulo
 dJ = diskontattu jäännösarvo
 H = hankintahinta
 PMT = annuiteettikerroin

Kuvassa 15 on esitetty annuiteettimenetelmän laskennan periaate.



Kuva 15. Annuiteettimenetelmän laskenta [24, s. 376].

8.3.5 Pääoman tuottomenetelmä

Pääoman tuottoaste, eli ROI (return on investment), lasketaan jakamalla vuoden tulos investointiin keskimäärin sidotulla pääomalla.

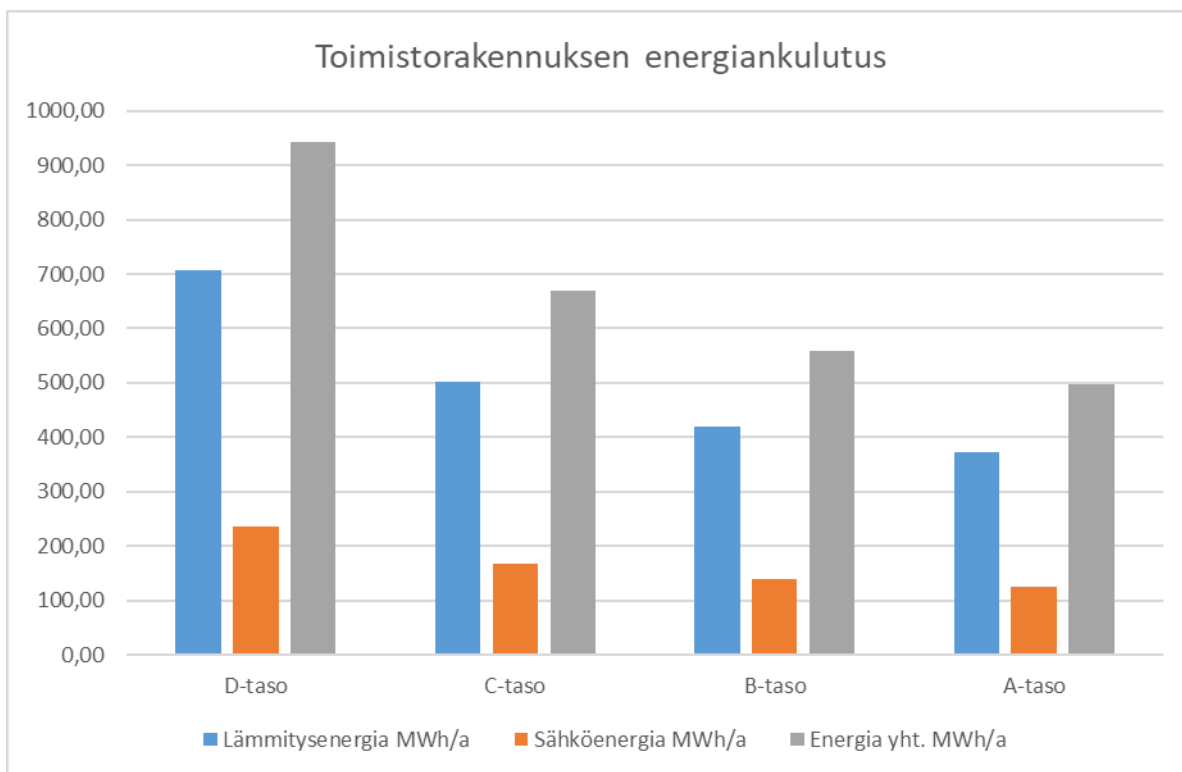
$$ROI = \frac{\text{Vuotuinen nettotulos}}{\text{Investointiin sidottu keskimääräinen pääoma}} \quad (9)$$

9 Rakennusautomaatiojärjestelmän investointilaskelmat

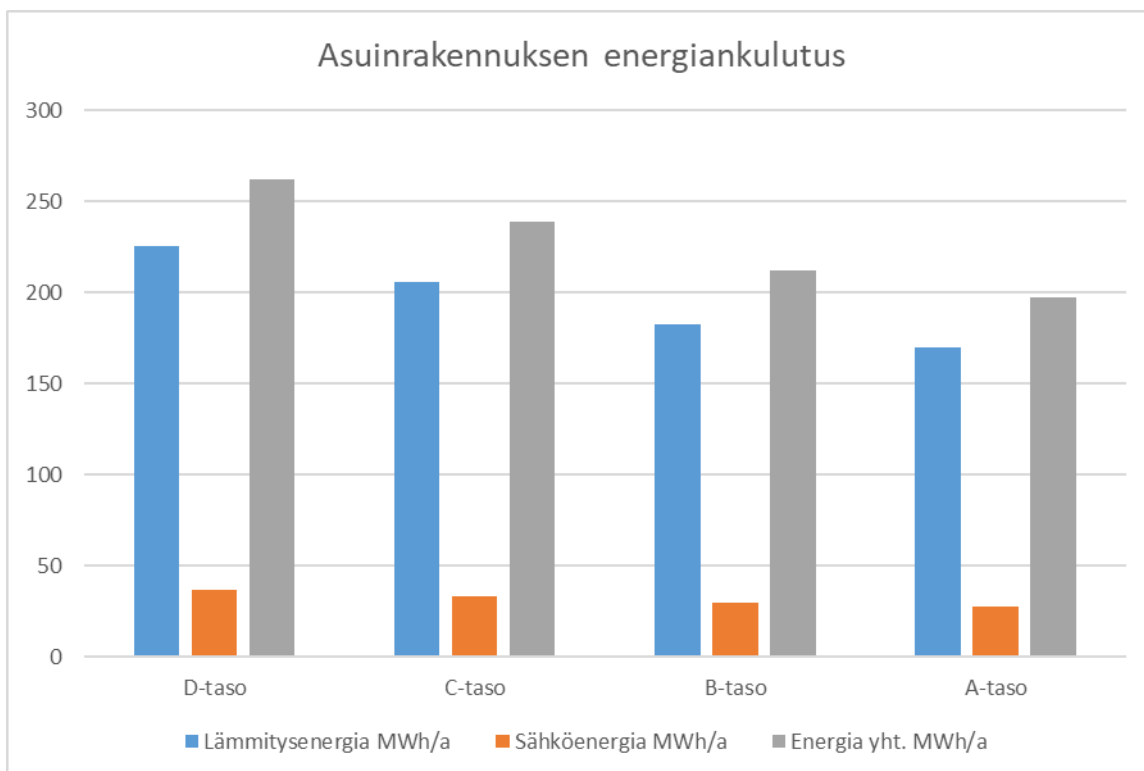
Rakennusautomaatiojärjestelmän investointilaskelmat on tehty teoreettisten laskelmien pohjalta toimistorakennukseen (3500 m²) ja asuinrakennukseen (1300 m²). Laskelmissa on selvitetty, miten eri automaatiotasot sekä automaatiotason korottaminen vaikuttavat rakennuksen energiankulutukseen lämmityksen ja sähkön osalta.

9.1 Investointilaskelmissa käytetyt lähtöarvot

Laskelmissa toimisto- ja asuinrakennuksen eri automaatiotasojen D – A energiankäytön kulutuslukemat on saatu Teknologian tutkimuskeskuksen, VTT:n, toteuttaman automaatiotason valintatyökalun arvioiden perusteella. Valintatyökalun antamia kWh/a-lukemia eri automaatiotasolle on muutettu MWh/a-lukemiksi yhden desimaalin tarkkuudella. Valintatyökalun antamat toimisto- ja asuinrakennusten energiankulutuslukemat on esitetty tämän työn liitteissä (liite 1; liite 2). Rakennusten energiakulutuslukemia, ja miten nämä arvot ovat määritelty, ei tässä työssä analysoida tämän tarkemmin.



Kuva 16. Toimistorakennuksen (3500 m²) arvioitu energiankulutus.



Kuva 17. Asuinrakennuksen (1300 m²) arvioitu energiankulutus.

Laskelmissa laskentakorkokantana on käytetty 6 %, yleiseksi inflaatiotasoksi on valittu 2 % ja energianhinnan eskalaatioksi on valittu 2 %. Näin laskelmiin on saatu reaalikoroksi 3,92 %. Investointilaskelmissa reaalikorko vaihtelee yleisesti 3–6 %:n välillä [26, s. 27].

Rakennusautomaatiojärjestelmien hankintakustannus on selvitetty järjestelmätoimittajilta, joilta on pyydetty karkeat hinta-arviot eritasoisista järjestelmistä. Järjestelmätoimittajien hinta-arvioista on muodostettu keskiarvot, ja näitä keskiarvolukemia on käytetty laskelmissa. Huoltokustannusten osalta on arvioitu, että mitä korkeampi automaatiotasoa, sitä korkeammaksi kasvavat myös vuosittaiset huoltokustannukset. Rakennusautomaatiojärjestelmän pito- eli käyttöajaksi on laskelmissa valittu maltillinen 15 vuoden aika. Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöikä on yleisesti 15–20 vuotta [27, s. 3].

Lämmitys- ja sähköenergiat hinnat on arvioitu nykyisten hintatasojen perusteella kaukolämpötuottajan, sähkönsiirtoyrityksen hinnaston ja energiateollisuuden sähkön hintatilaston perusteella [28; 29; 30].

9.2 Automaatiotasojen D-A vaatimukset

Kuvissa 18–21 on esitetty automaatiotasojen D-A vaadittuja ominaisuuksia. Tasojen eri vaatimukset ovat standardin SFS-EN ISO 52120-1:2022:en:n mukaisia.

Kuvassa 18 on esitetty automaatiojärjestelmän ja kiinteistöhallinnan ominaisuudet automaation eri tasoilla D-A [15].

Automaatiojärjestelmä ja kiinteistönhallinta			
D	Ei rakennusautomaatiojärjestelmää- tai säätöjärjestelmää, ei vikailmaisimia (ei asuinrakennus)		
	C	Keskitetty rakennusautomaatiojärjestelmä, vikailmaisimet ja vikojen diagnostiikka (ei asuinrakennus), ei vikailmaisimia (asuinrakennus), uusiutuvien energialähteiden tuotantoa ei hallita	
		B	Vikailmaisimet ja vikojen diagnostiikka (asuinrakennus), energiankulutusta optimoidaan, huomioidaan järjestelmien ohjauksissa käyttäjän valinnat, lämpötilatasojen ohjauksessa huomioidaan johtumishäviöt
			A

Kuva 18. Automaatiojärjestelmä ja kiinteistönhallinta eri automaatiotasolla.

Kuvassa 19 on esitetty lämmityksen ja jäähdytyksen ohjausten ominaisuudet automaation eri tasoilla D-A [15].

Lämmityksen ja jäähdytyksen ohjaus			
Ei automaattista säätö/ automaattinen keskussäätö			
Huonekohtainen säätö: termostaativenttiileillä/sähköisillä säätimillä, pumppujen päälle/pois ohjaus, vuorottelu perustuu tehontarpeeseen, ulkolämpötila kompensoidut lämpötilan asetusarvot			
Huonekohtainen säätö: säätimien ja RAU-järjestelmän tiedonsiirto väylän kautta, vuorottelu tuottotehojen mukaan, asetusarvojen muutokset aikaohjelmalla, pumppujen moniportainen nopeuden säätö, osittainen lukitus jäähdytys- ja lämmityskäytössä			
Yksittäisen huoneen tarpeenmukainen säätö, läsnäoloilmaismet, pumpun säätö paine-eron mukaan, optimaallinen lämmityksen aloitus ja lopetus, ennusteiden hyödyntäminen, kysynnän mukainen säätö, täydellinen lukitus jäähdytys- ja lämmityskäytössä			
D	C	B	A

Kuva 19. Lämmityksen ja jäähdytyksen ohjausten ominaisuudet eri automaatiotasoilla.

Kuvassa 20 on esitetty ilmanvaihdon ja ilmastoinnin ohjausten ominaisuudet automaation eri tasoilla D-A [15].

Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin ohjaus			
Päälle-pois ohjaus/manuaalinen säätö, ei jäätymis-/lämpösuojaa, ei LTO:n huurteenestoa, ei jäähdytystilanteen LTO:n rajoitusta			
D	Aikaohjaus päälle-pois, LTO:n huurteenesto/sulatus, jäähdytystilanteen LTO:n rajoitus, yöjäähdytys, lämpötilan vakioasetusarvo, tuloilman kosteuden rajoitus tarvittaessa, jäätymis-/lämpösuoja, kastepistesäätö		
	Läsnäolosäätö, ilmamäärään/paine-eroon perustuva säätö, hyödynnetään aina ulkoilma jäähdytystarpeeseen, vuorottelu tuottotehojen mukaan, ulkolämpötila kompensointi		
	Tarpeenmukainen säätö, ilmanlaadun/kosteuden/lämpötilan mukaan, ulkoilman kosteus huomioidaan ilmaisenergian käyttötilanteissa, kosteuden rajoitus ja säätö tarvittaessa, kuorman mukainen kompensointi, virtaus- ja painesäätimien automaattinen nollaus, kosteuden hallinta		
C	B	A	

Kuva 20. Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin ohjausten ominaisuudet eri automaatiotasoilla.

Kuvassa 21 on esitetty valaistuksen ja varjostimien ohjausten ominaisuudet automaation eri tasoilla D-A [15].

Valaistuksen ja varjostimien ohjaus			
D	Ei automaattista ohjausta/manuaalinen ohjaus, varjostimien manuaalinen moottorikäyttö (ei asuintakennus)		
	C	Automaattinen sammutus viiveen kuluttua, varjostimien manuaalinen moottorikäyttö (asuintakennus) varjostimien automaattinen moottorikäyttö (ei asuinrakennus) , aikaohjaus päälle-pois, ulkovaloisuusanturi	
		B	Läsnäolotunnistimet, valaistuksen eri käyttötilanteet varjostimien automaattinen moottorikäyttö (asuinrak.)
			A

Kuva 21. Valaistuksen ja varjostimien ohjausten ominaisuudet eri automaatiotasoilla.

10 Tulokset

Investointilaskelmat rakennusautomaatiojärjestelmään liittyen on tehty eri investointilaskelmamenetelmien sekä kaavojen 1–9 mukaisesti. Saatujen investointilaskelmien tulokset esitetään taulukoissa 1–6. Työssä toteutettiin investointilaskentataulukko, jota voidaan hyödyntää jatkossa osoittamaan rakennusautomaatiojärjestelmän kannattavuutta investointina, kun tiedetään tai arvioidaan rakennuksen energiankulutukset eri automaatiotasolla.

10.1 Eri automaatiotasojen vaikutus energiatehokkuuteen

Investointilaskelmissa käytetään vertailutasona D-tasoa, mikä kuvaa laskelmissa tasoa, jossa ei hyödynnetä rakennusautomaatiojärjestelmää. D-tason energiankulutuksia verrataan C – A tasojen energiankulutuslukemiin, joiden perusteella voidaan laskea eri tasojen energiankulutuksissa saavutettavat kustannussäästöt (liite 1; liite 2).

Toimistorakennuksen osalta saadaan automaation eri tasoilla C-A merkittäviä energiakustannussäästöjä aikaiseksi verrattuna lähtötasoon D, jossa ei ole hyödynnetty rakennusautomaatiojärjestelmää. Laskelmien perusteella toimistorakennuksen automaatioksi olisi järkevintä valita B-tason automaatiojärjestelmä, mikäli tavoitellaan vain taloudellista hyötyä. A-tasolla ei juurikaan saada kustannuksiin nähden hyötyä B-tasoon verrattuna, sekä riski B-tason automaation toimivuudesta on pienempi A-tasoon nähden. C-tason eli perustason automaatiolla saadaan myös merkittäviä energiakustannussäästöjä aikaiseksi, mutta otettaessa huomioon koko automaatiojärjestelmän käyttöaika on B-tason automaatio kannattavampi sijoitus. Toimistorakennuksessa automaatiojärjestelmä maksaa itsensä kohtalaisen nopeasti itsensä takaisin, eli riippuen automaation tasosta korottomat takaisinmaksuajat ovat noin kahden ja neljän vuoden välillä (taulukko 1).

Asuinrakennuksessa korkeammasta automaatiotasosta ei saada niin merkittäviä hyötyjä kuin esimerkiksi toimistorakennuksissa. Taloudellisesta

näkökulmasta järkevin investointi saadaan B-tason automaatiolla. Asuinrakennuksessa automaatiojärjestelmän takaisinmaksuajat ovat noin kaksinkertaiset verrattuna toimistorakennukseen. Asuinrakennuksen automaatiojärjestelmän koroton takaisinmaksuaika vaihtelee eri tasojen mukaan noin viiden ja yhdeksän vuoden välillä (taulukko 2).

Investointilaskelmilla saadut eri rakennusautomaatiotasojen C – A vaikutukset rakennuksen energiatehokkuuteen on annettu taulukoissa 1 ja 2. Taulukossa 1 on esitetty toimistorakennuksen investointilaskelmien tulokset ja taulukossa 2 on esitetty asuinrakennuksen investointilaskelmien tulokset.

Taulukko 1. Automaatiotasojen vaikutus toimistorakennuksen energiatehokkuuteen.

<i>Toimistorakennus 3500m²</i>				
Automaatiotaso	D	C	B	A
Energiankulutus (lämmitys), MWh/a	706,5	502,5	418,5	373,4
Energiankulutus (sähkö), MWh/a	235,5	167,5	139,5	124,5
Energianhinta (lämmitys), €/MWh	90 €			
Energianhinta (sähkö), €/MWh	75 €			
Energiakustannukset, €/a	81 248 €	57 788 €	48 128 €	42 944 €
Energiansäästö, €/a		23 460 €	33 120 €	38 304 €
Hankintahinta, €		40 000 €	80 000 €	120 000 €
Huoltokustannukset (%:a hankintahinnasta)		2,0 %	2,5 %	3,0 %
Huoltokustannus, €/a		800	2000	3600
Jäännösarvo (purkukustannukset %:a hankintahinnasta), €		5,0 %	4,5 %	4,0 %
Jäännösarvo, €		-2000	-3600	-4800
Nimelliskorko, %	6 %			
Pitoaika, a	15			
Inflaatio, %	2 %			
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio), %	2 %			
Reaalikorko, %	3,92 %			
Energian reaalin hintakehitys, %	3,92 %			
Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle	0,56			
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (huolto)	11,18			
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (energia)	11,18			
Vuosittainen nettotuotto, €		22 660 €	31 120 €	34 704 €

Koroton takaisinmaksuaika, a		1,8	2,6	3,5
Korollinen takaisinmaksuaika, a		1,9	2,8	3,8
Huoltokustannusten nykyarvo, €		8943,7	22359,2	40246,6
Energiakustannusten nykyarvo, €		262273,7	370268,8	428223,9
Jäännösarvon nykyarvo, €		-1123,2	-2021,7	-2695,6
Nettonykyarvo, €		212 207 €	265 888 €	265 282 €
Sisäinen korkokanta, %		62,9 %	38,6 %	28,2 %
Menoannuiteetti MA, €		3 757 €	7 478 €	11 163 €
Tuloannuiteetti TA, €		22 660 €	31 120 €	34 704 €
MA-TA, €		18 903 €	23 642 €	23 541 €
Vuotuinen poisto		2 800 €	5 573 €	8 320 €
Sidottu pääoma		19 000 €	38 200 €	57 600 €
Investoinnin tuottoaste ROI		119,3 %	81,5 %	60,3 %

Taulukko 2. Automaatiotason vaikutus asuinrakennuksen energiatehokkuuteen.

<i>Asuinrakennus 1300m²</i>				
Automaatiotaso	D	C	B	A
Energiankulutus (lämmitys), MWh/a	225,5	205,5	182,2	169,6
Energiankulutus (sähkö), MWh/a	36,7	33,5	29,7	27,6
Energianhinta (lämmitys), €/MWh	90 €			
Energianhinta (sähkö), €/MWh	75 €			
Energiakustannukset, €/a	23 047 €	21 008 €	18 626 €	17 334 €
Energiansäästö, €/a		2 039 €	4 421 €	5 714 €
Hankintahinta, €		10 000 €	25 000 €	40 000 €
Huoltokustannukset (%:a hankintahinnasta)		2,0 %	2,50 %	3 %
Huoltokustannus, €/a		200 €	625 €	1 200 €
Jäännösarvo (purkukustannukset %:a hankintahinnasta), €		5,0 %	4,5 %	4,0 %
Jäännösarvo, €		-500	-1125	-1600
Nimelliskorko, %	6 %			
Pitoaika, a	15			
Inflaatio, %	2 %			
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio), %	2 %			
Reaalikorko, %	3,92 %			
Energian reaalin hintakehitys, %	3,92 %			
Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle	0,56			
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (huolto)	11,18			
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (energia)	11,18			

Vuosittainen nettotuotto, €		1 839 €	3 796 €	4 514 €
Koroton takaisinmaksuaika, a		5,4	6,6	8,9
Korollinen takaisinmaksuaika, a		6,2	7,8	11,1
Huoltokustannusten nykyarvo, €		2235,9	6987,3	13415,5
Energiakustannusten nykyarvo, €		22798,4	49429,2	63874,7
Jäännösarvon nykyarvo, €		-280,8	-631,8	-898,5
Nettonykyarvo, €		10 282 €	16 810 €	9 561 €
Sisäinen korkokanta, %		18,3 %	14,2 %	8,8 %
Menoannuiteetti MA, €		939 €	2 337 €	3 721 €
Tuloannuiteetti TA, €		1 839 €	3 796 €	4 514 €
MA-TA, €		900 €	1 460 €	792 €
Vuotuinen poisto		700 €	1 742 €	2 773 €
Sidottu pääoma		4 750 €	11 938 €	19 200 €
Investoinnin tuottoaste ROI		38,7 %	31,8 %	23,5 %

10.2 Automaatiojärjestelmän saneerauksen vaikutus energiatehokkuuteen

Investointilaskentamenetelmien avulla lasketaan rakennusautomaatiojärjestelmän tason korottamisen vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Näin voidaan teoreettisesti tarkastella automaatiojärjestelmän saneerauksen vaikutus energiatehokkuuteen perustasolta korkeampiin tasoihin nähden.

10.2.1 Automaatiotason korotuksen vaikutus C-tasolta B- ja A-tasolle

Laskelmissa on vertailutasona käytetty automaatiotasoa C, ja tätä käytetään vertailutasona tasoihin B ja A nähden. Laskelmissa C-taso kuvaa perustasoista automaatiojärjestelmää, ja laskelmissa selvitetään, miten automaatiotason parantaminen vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen (liite 1; liite 2).

Toimistorakennuksessa automaatiotason korotus on taloudellisesti kannattava toimenpide. Korotus on kannattava C-tasolta sekä B-tasolle että A-tasolle. Nettonykyarvojen ja annuiteettien perusteella B- ja A-tason investoinnilla ei ole juurikaan eroa. Takaisinmaksuaika on lyhyempi B-tason investoinnissa, mutta vuotuiset tuotot ovat korkeammat A-tasolla (taulukko 3).

Asuinrakennuksessa automaatiotason korottamisessa kannattaa punnita vaihtoehtoja tarkasti, koska C-tasolta automaatiojärjestelmän saneeraus A-tasolle, ei ole kovinkaan kannattava taloudellisesti. Automaatiotason korotus C-tasolta B-tasolle on vielä jokseenkin kannattava toimenpide laskelmien perusteella (taulukko 4).

Rakennusautomaatiojärjestelmän saneerauksen investointilaskelmat on esitetty taulukoissa 3 ja 4. Taulukossa 3 on esitetty toimistorakennuksen automaatiotason korotuksen vaikutus energiankulutukseen ja energiansäästöihin. Taulukossa 4 on esitetty asuinrakennuksen automaatiotason korotuksen vaikutus energiankulutukseen ja energiansäästöihin.

Taulukko 3. Automaatiotason korottamisen vaikutus C-tasolta toimistorakennuksen energiatehokkuuteen.

<i>Toimistorakennus 3500m²</i>			
Automaatiotaso	C	C → B	C → A
Energiankulutus (lämmitys), MWh/a	502,5	418,5	373,4
Energiankulutus (sähkö), MWh/a	167,5	139,5	124,5
Energianhinta (lämmitys), €/MWh	90 €		
Energianhinta (sähkö), €/MWh	75 €		
Energiakustannukset, €/a	57 788 €	48 128 €	42 944 €
Energiansäästö, €/a		9 660 €	14 844 €
Hankintahinta, €		40 000 €	80 000 €
Huoltokustannukset (%:a hankintahinnasta)		2,5 %	3,0 %
Huoltokustannus, €/a		1000	2400
Jäännösarvo (purkukustannukset %:a hankintahinnasta), €		4,5 %	4,0 %
Jäännösarvo, €		-1800	-3200
Nimelliskorko, %	6 %		
Pitoaika, a	15		
Inflaatio, %	2,0 %		
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio), %	2,0 %		
Reaalikorko, %	3,92 %		
Energian reaalin hintakehitys, %	3,92 %		
Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle	0,56		
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (huolto)	11,18		
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (energia)	11,18		

Vuosittainen nettotuotto, €		8 660 €	12 444 €
Koroton takaisinmaksuaika, a		4,6	6,4
Korollinen takaisinmaksuaika, a		5,2	7,6
Huoltokustannusten nykyarvo, €		11179,6	26831,1
Energiakustannusten nykyarvo, €		107995,1	165950,2
Jäännösarvon nykyarvo, €		-1010,9	-1797,1
Nettonykyarvo, €		55 805 €	57 322 €
Sisäinen korkokanta, %		20,3 %	13,1 %
Menoannuiteetti MA, €		3 739 €	7 442 €
Tuloannuiteetti TA, €		8 660 €	12 444 €
MA-TA, €		4 921 €	5 002 €
Vuotuinen poisto		2 787 €	5 547 €
Sidottu pääoma		19 100 €	38 400 €
Investoinnin tuottoaste ROI		45,3 %	32,4 %

Taulukko 4. Automaatiotason korottamisen vaikutus C-tasolta asuinrakennuksen energiatehokkuuteen.

<i>Asuinrakennus 1300m²</i>			
Automaatiotaso	C	C → B	C → A
Energiankulutus (lämmitys), MWh/a	205,5	182,2	169,6
Energiankulutus (sähkö), MWh/a	33,5	29,7	27,6
Energianhinta (lämmitys), €/MWh	90 €		
Energianhinta (sähkö), €/MWh	75 €		
Energiakustannukset, €/a	21 008 €	18 626 €	17 334 €
Energiansäästö, €/a		2 382 €	3 674 €
Hankintahinta, €		15 000 €	30 000 €
Huoltokustannukset (%:a hankintahinnasta)		2,5 %	3,0 %
Huoltokustannus, €/a		375	900
Jäännösarvo (purkukustannukset %:a hankintahinnasta), €		4,5 %	4,0 %
Jäännösarvo, €		-675	-1200
Nimelliskorko, %	6 %		
Pitoaika, a	15		
Inflaatio, %	2,0 %		
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio), %	2,0 %		
Reaalikorko, %	3,92 %		
Energian reaalin hintakehitys, %	3,92 %		
Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle	0,56		
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (huolto)	11,18		

Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (energia)	11,18	
Vuosittainen nettotuotto, €	2 007 €	2 774 €
Koroton takaisinmaksuaika, a	7,5	10,8
Korollinen takaisinmaksuaika, a	9,0	14,3
Huoltokustannusten nykyarvo, €	4192,4	10061,7
Energiakustannusten nykyarvo, €	26630,8	41076,4
Jäännösarvon nykyarvo, €	-379,1	-673,9
Nettonykyarvo, €	7 059 €	341 €
Sisäinen korkokanta, %	11,8 %	5,7 %
Menoannuiteetti MA, €	1 402 €	2 791 €
Tuloannuiteetti TA, €	2 007 €	2 774 €
MA-TA, €	605 €	-17 €
Vuotuinen poisto	1 045 €	2 080 €
Sidottu pääoma	7 163 €	14 400 €
Investoinnin tuottoaste ROI	28,0 %	19,3 %

10.2.2 Automaatiotason korotuksen vaikutus B-tasolta A-tasolle

Laskelmissa on vertailutasona käytetty automaatiotasoa B, ja tätä käytetään vertailutasona tasoon A nähden. Laskelmissa B-taso kuvaa nykyistä B-tason automaatiojärjestelmää, ja laskelmissa selvitetään, että miten automaatiotason parantaminen tasolle A vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen. Näin voidaan teoreettisesti tarkastella automaatiojärjestelmän saneerauksen vaikutusta energiatehokkuuteen B-tasolta A-tasolle.

Toimistorakennuksessa automaatiojärjestelmän saneeraus B-tasolta A-tasolle on kohtalaisen kannattava taloudellisesti tarkastettuna, mutta saneerauksella ei saavuteta kuitenkaan merkittäviä taloudellisia hyötyjä (taulukko 5).

Asuinrakennuksen automaatiojärjestelmän korottaminen B-tasolta A-tasolle ei näiden laskelmien perusteella ole suositeltavaa taloudellisesti tarkasteltuna (taulukko 6).

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty automaatiotason nostaminen B-tasolta A-tasolle. Taulukossa 5 on esitetty toimistorakennuksen automaatiotason korotuksen

vaikutus energiankulutukseen ja energiansäästöihin. Taulukossa 6 on esitetty asuinrakennuksen automaatiotason korotuksen vaikutus energiankulutukseen ja energiansäästöihin.

Taulukko 5. Automaatiotason korottamisen vaikutus B-tasolta toimistorakennuksen energiatehokkuuteen.

<i>Toimistorakennus 3500m²</i>		
Automaatiotaso	B	B → A
Energiankulutus (lämmitys), MWh/a	418,5	373,4
Energiankulutus (sähkö), MWh/a	139,5	124,5
Energianhinta (lämmitys), €/MWh	90 €	
Energianhinta (sähkö), €/MWh	75 €	
Energiakustannukset, €/a	48 128 €	42 944 €
Energiansäästö, €/a		5 184 €
Hankintahinta, €		40 000 €
Huoltokustannukset (%:a hankintahinnasta)		3,0 %
Huoltokustannus, €/a		1200
Jäännösarvo (purkukustannukset %:a hankintahinnasta), €		4,5 %
Jäännösarvo, €		-1800
Nimelliskorko, %	6 %	
Pitoaika, a	15	
Inflaatio, %	2,0 %	
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio), %	2,0 %	
Reaalikorko, %	3,92 %	
Energian reaalin hintakehitys, %	3,92 %	
Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle	0,56	
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (huolto)	11,18	
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (energia)	11,18	
Vuosittainen nettotuotto, €		3 984 €
Koroton takaisinmaksuaika, a		10,0
Korollinen takaisinmaksuaika, a		13,0
Huoltokustannusten nykyarvo, €		13415,5
Energiakustannusten nykyarvo, €		57955,1
Jäännösarvon nykyarvo, €		-1010,9
Nettonykyarvo, €		3 529 €
Sisäinen korkokanta, %		5,5 %
Menoannuiteetti MA, €		3 739 €
Tuloannuiteetti TA, €		3 984 €

MA-TA, €		245 €
Vuotuinen poisto		2 787 €
Sidottu pääoma		19 100 €
Investoinnin tuottoaste ROI		20,9 %

Taulukko 6. Automaatiotason korottamisen vaikutus B-tasolta asuinrakennuksen energiatehokkuuteen.

<i>Asuinrakennus 1300m²</i>		
Automaatiotaso	B	B → A
Energiankulutus (lämmitys), MWh/a	182,234	169,592
Energiankulutus (sähkö), MWh/a	29,666	27,608
Energianhinta (lämmitys), €/MWh	90 €	
Energianhinta (sähkö), €/MWh	75 €	
Energiakustannukset, €/a	18 626 €	17 334 €
Energiansäästö, €/a		1 292 €
Hankintahinta, €		15 000 €
Huoltokustannukset (%:a hankintahinnasta)	3,0 %	
Huoltokustannus, €/a		450
Jäännösarvo (purkukustannukset %:a hankintahinnasta), €	4,5 %	
Jäännösarvo, €		-675
Nimelliskorko, %	6 %	
Pitoaika, a	15	
Inflaatio, %	2,0 %	
Energian hinnan inflaatio (eskalaatio), %	2,0 %	
Reaalikorko, %	3,92 %	
Energian reaalin hintakehitys, %	3,92 %	
Diskonttaustekijä yksittäiselle toimenpiteelle	0,56	
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (huolto)	11,18	
Diskonttaustekijä jaksottaiselle toimenpiteelle (energia)	11,18	
Vuosittainen nettotuotto, €		842 €
Koroton takaisinmaksuaika, a		17,8
Korollinen takaisinmaksuaika, a		31,2
Huoltokustannusten nykyarvo, €		5030,8
Energiakustannusten nykyarvo, €		14445,5
Jäännösarvon nykyarvo, €		-379,1
Nettonykyarvo, €		-5 964 €
Sisäinen korkokanta, %		-0,85 %

Menoannuiteetti MA, €		1 402 €
Tuloannuiteetti TA, €		842 €
MA-TA, €		-560 €
Vuotuinen poisto		1 045 €
Sidottu pääoma		7 163 €
Investoinnin tuottoaste ROI		11,8 %

11 Johtopäätökset ja pohdinta

Työssä vertailtiin toimisto- ja asuinrakennusten eri automaatiotasojen vaikutusta energiatehokkuuteen ja kannattavuutta investointina. Valintatyökalun avulla saatiin määriteltyä rakennusten energiankulutukset eri automaatiotasolla (liite 1; liite 2).

Rakennusten energiakulutuskemien perusteella laskettiin energiankustannussäästöt eri tasoille. Energiansäästöjen perusteella investointilaskentamenetelmällä laskettiin eri tasojen kannattavuudet vertailemalla arvoja laskelmakohtaiseen lähtötasoon. Työn tuloksena laadittiin Excel-laskentataulukko, jonka avulla saadaan automaatiotasojen vaikutus investoinnin kannattavuuteen määriteltyä, kun tiedetään rakennuksen energiankulutuslukemat eri automaatiotasolla. Laskentataulukkoa voidaan hyödyntää myös muihin energiainvestointeihin. Näin ollen työssä saavutettiin työlle asetetut tavoitteet.

Rakennusautomaatiojärjestelmällä on erittäin merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen, ja rakennusautomaatiojärjestelmän avulla saavutetaan kiinteistön energiakustannuksissa mittavia säästöjä jo minimitason RAU-järjestelmällä. Rakennuksen käyttötarkoitus määrittää, miten esimerkiksi tarpeenmukaisuutta voidaan hyödyntää taloteknisten järjestelmien ohjauksiin ja säätöihin. RAU-järjestelmän tason valinta kannattaa tehdä rakennuksen käyttötyypin perusteella, koska automaatiotasojen korotus esimerkiksi asuinrakennuksessa ei välttämättä tuo merkittäviä kustannussäästöjä verrattuna esimerkiksi toimistorakennukseen.

Korkeimman tason automaatio vaatii käyttäjältä huomattavasti enemmän osaamista, kuin perustason automaatiojärjestelmä, joten käyttökannan osaamisen taso vaikuttaa myös, että minkä tasoinen RAU-järjestelmä kiinteistöön kannattaa valita. Mitä korkeampi on automaation taso, sitä suurempi on riski, että kiinteistön RAU-järjestelmä ei toimi halutulla ja suunnitellulla tavalla. Riski moninkertaistuu, mikäli käyttökannalla ei ole riittävää asiantuntemusta. RAU-järjestelmän käyttäminen heikolla osaamilla johtaa siihen, että

energiankulutussäästöpotentialista ei saada ulosmitattua kaikkea käyttöön, jolloin investoinnin kannattavuutta ei saavuteta.

RAU-järjestelmän investointia ei kannata tehdä pelkän takaisinmaksuajan perusteella. Lyhimmän takaisinmaksuajan omaava investointivaihtoehto ei välttämättä ole paras vaihtoehto tarkasteltaessa investointia koko arvioidun pitoajan perusteella. Paras investointiratkaisu on myös syytä tehdä rakennuskohtaisesti, koska erityyppisten rakennusten energiankäyttö vaihtelee hyvinkin paljon eri automaatiotasolla. Herkkyysanalyysin avulla on järkevää tarkastella investointia muuttamalla energian hintoja, korkotasoa sekä inflaation ja eskalaation vaikutuksia, joilla on suuri vaikutus varsinkin energiainvestointeihin.

Kulutusjoustolle on annettu suuri painoarvo SRI-luvun määrittämisessä. Tulevaisuuden älyrakennuksissa rakennuksen kulutusjoustokyky on määritelty erittäin arvostetuksi ominaisuudeksi verrattuna muihin osa-alueisiin. Tämän seurauksena RAU-järjestelmien vaatimukset ja merkitys energianhallinnassa tulevat kasvamaan entisestään.

12 Työn mahdollisia jatkokehitystoimenpiteitä

Tässä työssä laskennat perustuvat teoreettisiin lähtöarvoihin, ja tämän tutkimuksen pohjalta olisi mielenkiintoista suorittaa laskelmat oikeaan kiinteistöön ja oikeilla energiankulutuksien mittaustiedoilla. Tarkasteltavina tutkimuskohteina voisivat olla esimerkiksi rakennus, johon olisi tehty rakennusautomaatiojärjestelmän saneeraus, ja rakennus, johon olisi lisätty RAU-järjestelmä, jossa ei vielä ole ollut automaatiota lainkaan. Mikäli tämäntyyppisissä kohteissa olisi vielä eri käyttötarkoituksiin tarkoitettuja rakennuksia, tutkielmaan saisi laajemman katsauksen erilaisista kiinteistöistä, ja rakennusautomaation todellisesta vaikutuksesta energiatehokkuuteen.

Työssä huomioitiin pelkästään automaatiojärjestelmän saneeraus, mutta mikäli työ olisi toteutettu ryhmätyönä, olisi ollut mielenkiintoista yhdistää työhön myös rakennuksen LVIJS-laitteiden ja -järjestelmien saneerauksista syntyvät energiansäästöt, jolloin työhön olisi saanut koko kiinteistön talotekniikan energiansäästöpotentiaalin laskennallisesti selvitettyä.

Kulutusjouston ja SRI-menetelmien kirjallisuuskatsausta voisi laajentaa tämän työn pohjalta, ja perehtyä tarkemmin SRI:n laskentamenetelmään ja kulutusjouston mahdollisuuksiin. SRI:n laskentaa voisi tehdä rakennukselle eri automaatiotasolle, kuten tässä työssä toteutettiin investointilaskelmien osalta. Kulutusjouston potentiaali on erittäin mielenkiintoista. Akkuteknologian kehittyessä sähköautoilun nosteessa, voisin kuvitella, että tulevaisuudessa myös sähkölämmitteiset pientalot voitaisiin varustaa akuilla. Akkujen lataamiseen ja akkuihin varastoituneen sähköenergian hyödyntämistä sähkölämmitykseen voitaisiin käyttää taloudellisesti kulutusjoustoja, varsinkin nykyisin jatkuvasti vaihtelevan sähkön hinnan vuoksi.

Lähteet

- 1 Energy Performance of Building Directive. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en>. Luettu 29.3.2024.
- 2 Nearly zero-energy buildings. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en>. Luettu 29.3.2024.
- 3 55-valmiuspaketti. Verkkoaineisto. Eurooppa-neuvosto. <<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/fit-for-55/>>. Luettu 29.3.2024.
- 4 AUTOMAATION VAIKUTUS RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUTEEN. Opas standardin SFS-EN 15232 käyttöön. 2020. ST-ohjeisto 20. Sähkötieto.
- 5 Ilmastovuosikertomus 2023. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/ilmastovuosikertomus>>. Luettu 29.3.2024.
- 6 Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki). 2016. 5.2.1999/132.
- 7 Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista. 2020. 718/2020.
- 8 Laki rakennusten varustamista sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. 2020. 733/2020.
- 9 RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT TIETOTEKNISET JÄRJESTELMÄT. 2018. ST-käsikirja 17. Sähkötieto.
- 10 Rakennusten energiatehokkuus. 2017. ST-ohjeisto 15. Sähkötieto.
- 11 Mittalähettimet. Verkkoaineisto. Pro dual Oy. <<https://www.pro-dual.com/fi/mittalahettimet.html?page=1>>. Luettu 2.4.2024.
- 12 VISIO-15-X. Verkkoaineisto. Fidelix Oy. <<https://www.fidelix.com/fi/tuotteet/visio-15-x/>>. Luettu 2.4.2024.
- 13 RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT. KÄYTTÖ, YLLÄPITO JA HUOLTO. 2023. ST-kortti 98.61. Sähkötieto.

- 14 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUSVAATIMUSTEN HUOMIOON OTTAMINEN SÄHKÖ- JA TIETOTEKNISTEN JÄRJESTELMIEN SUUNNITTELUSSA. 2020. ST-kortti 21.32. Sähkötieto.
- 15 SFS-EN ISO 52120-1:2022:en. Energy performance of buildings. Contribution of building automation, controls and building management. Part 1: General framework and procedures (ISO 52120-1:2021, Corrected version 2022-09). Suomen Standardisoimisliitto.
- 16 Rakennusten älyindikaattori – Smart Readiness Indicator (SRI). Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjauskeinot/rakennusten_alyindikaattori>. Luettu 2.4.2024.
- 17 About the Smart Readiness Indicator. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <<https://ec.europa.eu/newsroom/ener/items/718195/en>>. Luettu 2.4.2024.
- 18 Janhunen, Eerika; Pulkka, Lauri; Säynäjoki, Antti & Junnila Seppo. 2019. Applicability of the Smart Readiness Indicator for Cold Climate Countries. Verkkoaineisto. MDPI. <<https://www.mdpi.com/2075-5309/9/4/102>>. Luettu 2.4.2024.
- 19 Janhunen, Eerika. 2023. Is smart profitable for real estate? – Evaluating the viability of smart energy management system investments for real estate owners. Väitöskirja. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aalto-doc-tietokanta.
- 20 SÄHKÖN KULUTUSJOUSTO RAKENNUKSISSA. 2024. ST-kortti 55.51. Sähkötieto.
- 21 Näkökulmia kulutusjouston toteuttamiseen Sähkö- ja tietotekniset järjestelmät. 2021. ST-esimerkit 13. Sähkötieto.
- 22 Jokisalo, Juha; Ju, Yuchen; Kosonen, Risto; Lehtonen, Matti & Yuan, Xiaolei. 2023. TALOTEKNIikka 2023 – Rakennusten energiatehokkuus ja kulutusjousto. Loppuraportti. Aalto-yliopisto. <https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2023-10/TH2.%20Energiajoustavat%20rakennukset_loppuraportti.pdf>. Luettu 12.4.2024.
- 23 Saaranen, Pirjo; Koltola, Eliisa & Pösö, Jarmo. 2022. 13., uudistettu painos. Liike-elämän MATEMATIIKKA. Helsinki: Edita.
- 24 Suomala, Petri; Manninen, Olli & Lyly-Yrjänäinen, Jouni. 2018. Laskenta- ja suunnittelun tukena. Helsinki: Edita.
- 25 Ikäheimo, Seppo; Malmi, Teemu & Walden, Risto. 2019. 8., uudistettu painos. YRITYKSEN LASKENTATOIMI. Helsinki: Alma Talent.

- 26 Sirén Kai. 2015. RAKENNUSTEN ENERGIAINVESTOINTIEN KANNATTAVUUDEN LASKENTA. Aalto-yliopisto.
- 27 RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN KUNTOTUTKIMUSOHJE. 2018. ST-kortti 98.17. Sähkötieto.
- 28 Kaukolämmön hinnat. Verkkoinfo. Fortum Oy. <<https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/kaukolammon-hinnat>>. Luettu 13.4.2024.
- 29 Verkkopalveluhinnasto. Verkkoinfo. Caruna Oy. <https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Caruna%20Oy%20verkkopalveluhinnasto%201.10.2023_0.pdf>. Luettu: 13.4.2024.
- 30 Sähkön hintatilasto. Verkkoinfo. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkon-hintatilasto/>>. Luettu 13.4.2024.

Valintatyökalun energiankulutuslukemat toimistorakennukselle

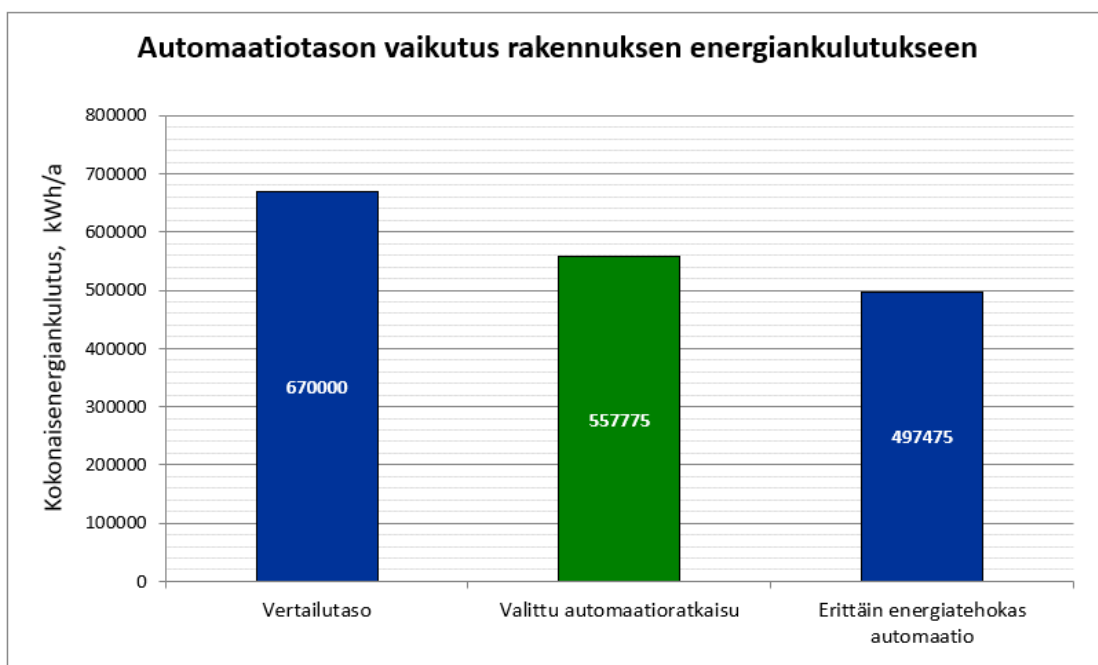
B - Rakennuksen automaatiojärjestelmä, keskitetty järjestelmien hallinta. Suositustason energiatehokkuus ▼

Rakennustyyppi:

Lämpöenergian vertailukulutus: kWh/a

Sähköenergian vertailukulutus: kWh/a

Valintojen mukainen automaation tehokkuusluokka (A, B, C, D):	B
Automaation vaikutuksen huomioivat kertoimet	lämpöenergialle: 0,8
	sähköenergialle: 0,93



D - Ei automaatiojärjestelmää, manuaalinen käyttö. Huono energiatehokkuus.

Rakennustyyppi:

Toimistorakennukset

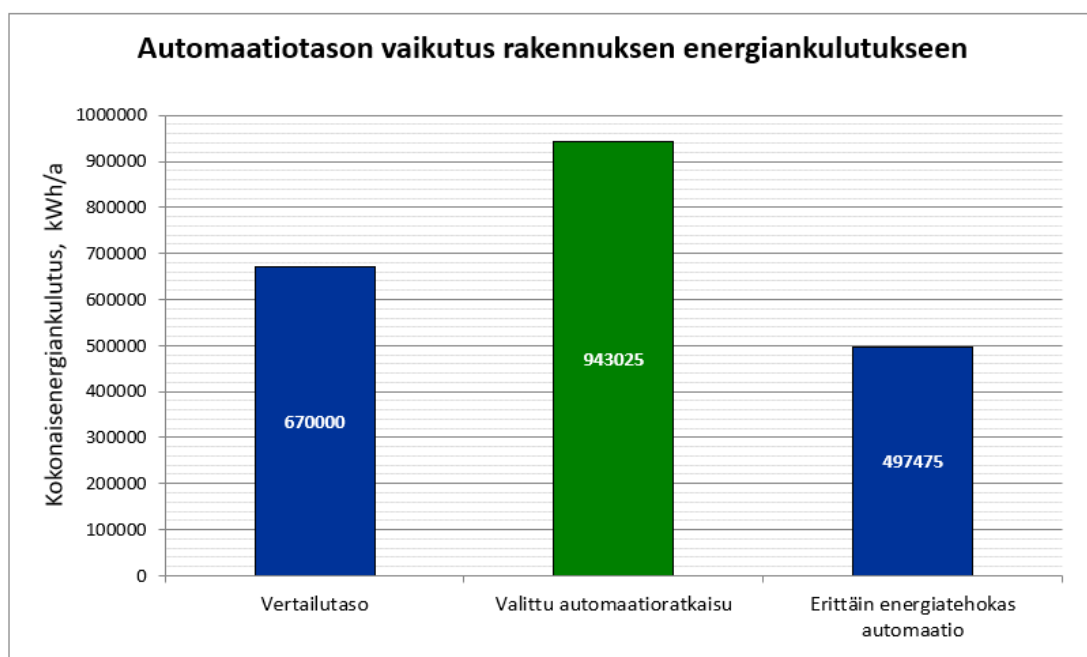
Lämpöenergian vertailukulutus:

502 500 kWh/a

Sähköenergian vertailukulutus:

167500 kWh/a

Valintojen mukainen automaation tehokkuusluokka (A, B, C, D):	D
Automaation vaikutuksen huomioivat kertoimet lämpöenergialle:	1,51
sähköenergialle:	1,1



Valintatyökalun energiankulutuslukemat asuinrakennukselle

B - Rakennuksen automaatiojärjestelmä, keskitetty järjestelmien hallinta. Suositustason energiatehokkuus ▼

Rakennustyyppi:

Asuinrakennukset ▼

Lämpöenergian vertailukulutus:

205 540

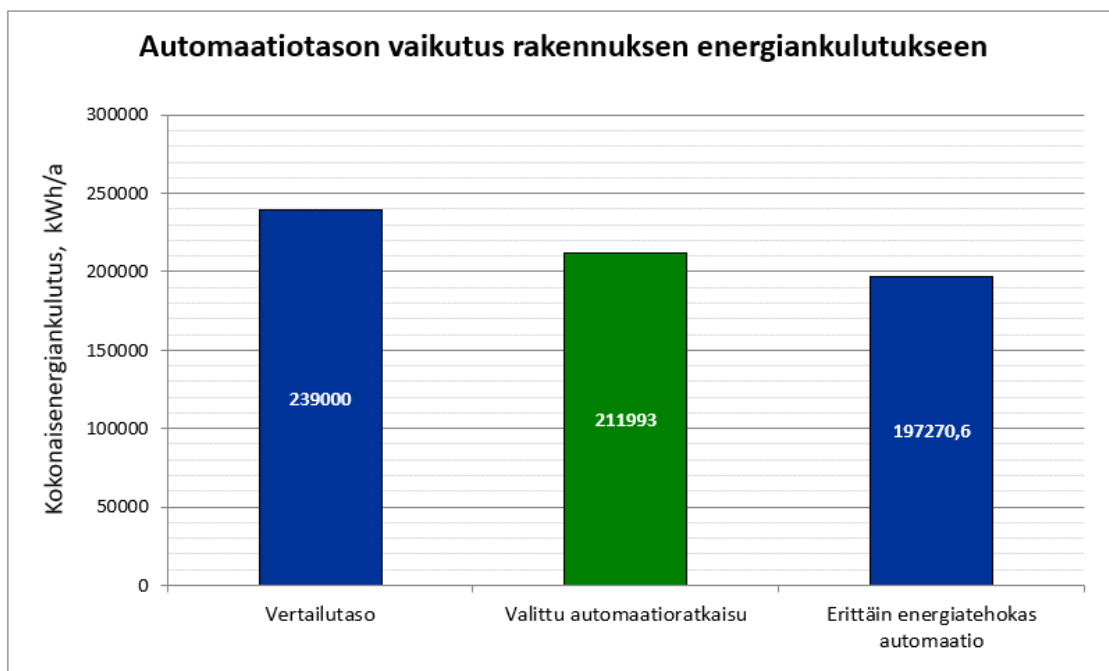
kWh/a

Sähköenergian vertailukulutus:

33460

kWh/a

Valintojen mukainen automaation tehokkuusluokka (A, B, C, D):	B
Automaation vaikutuksen huomioivat kertoimet	lämpöenergialle: 0,88
	sähköenergialle: 0,93



D - Ei automaatiojärjestelmää, manuaalinen käyttö. Huono energiatehokkuus.

Rakennustyyppi: Asuinrakennukset

Lämpöenergian vertailukulutus: 205 540 kWh/a

Sähköenergian vertailukulutus: 33460 kWh/a

Valintojen mukainen automaation tehokkuusluokka (A, B, C, D):	D
Automaation vaikutuksen huomioivat kertoimet	lämpöenergialle: 1,1
	sähköenergialle: 1,08

