



Tuomas Sjöström

Automaatiolla saavutettavien säästöjen tarkastelu Espoon kaupungin kiinteistöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

18.10.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Tuomas Sjöström
Otsikko:	Automaatiolla saavutettavien säästöjen tarkastelu Espoon kaupungin kiinteistöissä
Sivumäärä:	27 sivua + 4 liitettä
Aika:	18.10.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö – ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Automaatioasiantuntija Ari Pekonen Lehtori Jarmo Tapio

Työn tavoitteena oli löytää näyttöä Espoon automaatiohuollon ja -muutostöiden ja lämmitysenergiesäästöjen välillä. Aineistona työssä käytettiin Espoon Tilapalveluiden rakennuskohtaisia energiaraportteja sekä huoltoraportteja.

Työssä käytiin läpi Espoon kaikkien koulujen ja päiväkotien raportit, mutta syy-seuraussuhdetta energiasäästöjen ja automaatiohuollon välillä ei löydetty. Työssä kuitenkin havaittiin monia puutteita niin Espoon raportoinnissa kuin rakennusautomaation kunnossa, ja ne voivat aiheuttaa pahoja ongelmia tulevaisuudessa ellei niitä korjata.

Pahin ongelma on Espoon automaatiokannan vanheneminen, varaosien saatavuusvaikeudet sekä yleistyvät viat niin VAK:ssa kuin valvomo-ohjelmistoissa. Espoon täytyy tulevaisuudessa alkaa uusimaan kiinteistöjensä automaatiota, koska automaation rikkoutuessa rakennus menettää lämmityksen ja ilmanvaihdon. Tämä tekisi rakennuksista käyttökelvottomia, kunnes automaatio saataisiin korjattua, ja lämmityksen puute voi myös vahingoittaa rakennuksia.

Työssä myös tunnistettiin monta teoreettista säästökohdetta automaation alueella sekä tehtiin alustava suunnitelma tarkemmasta kokeilusta energiansäästöjen osalta.

Avainsanat: rakennusautomaatio, säätötekniikka, ilmanvaihto

Abstract

Author: Tuomas Sjöström
Title: Examination of the Savings Achieved by Automation in Espoo City's Buildings
Number of Pages: 27 pages + 4 appendices
Date: 18 October 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Automation Technology
Supervisors: Ari Pekonen, Automation Specialist
Jarmo Tapio, Senior Lecturer

The aim of the work was to find cause-and-effect relationship between Espoo's automation maintenance, automation modifications and heating energy savings. Espoo Tilapalvelu's building-specific energy reports and maintenance reports were used as material in the work.

The reports of all schools and kindergartens in Espoo were reviewed, but no cause-and-effect relationship was found between energy savings and automation maintenance. However, many shortcomings in both Espoo's reporting and the condition of building automation were identified in the work. These could cause serious problems in the future if they are not corrected.

The biggest problem is the obsolescence of Espoo's automation equipment, difficulties in obtaining spare parts and common faults in both automation substations as well as control room software. In the future, Espoo will have to start renewing the automation of its properties because if the automation breaks down the building will lose heating and ventilation. This would make buildings unusable until automation could be repaired, and lack of heating could also damage buildings.

The work also identified many theoretical savings targets in the field of automation and made a preliminary plan for a more detailed experiment regarding energy savings.

Keywords: building automation, control technology, ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennusautomaatio	2
2.1	Rakennusautomaation rakenne	3
2.2	Valvomotaso	4
2.3	Alakeskustaso	4
2.4	Kenttälaitetaso	6
3	Rakennuksen lämmityslaitteiston ja IV-järjestelmän toiminta	7
3.1	Lämmityslaitteisto	7
3.1.1	Lämmityksen säätötavat	8
3.1.2	Säädintyypit	10
3.2	IV-järjestelmä	12
3.2.1	Pyörivä LTO	12
3.2.2	Nestekiertoinen LTO	13
3.2.3	Levylämmönsiirrin	13
4	Espoon Tilapalveluiden tietojärjestelmät ja tietojen vertailu	14
4.1	Granlund Manager	14
4.1.1	Lämpöenergiaraportit	15
4.1.2	Huoltoraportit	17
4.2	Tietojen vertailu	19
4.3	Miksi tarkastelu ei tuottanut haluttuja tuloksia?	20
5	Muita ongelmia Espoon automaatiassa	21
5.1	Mahdolliset lisätoimenpiteet ja – tutkimukset	22
6	Yhteenveto	24
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1: Tarkastetut päiväkodit

Liite 2: Tarkastetut alakoulut

Liite 3: Tarkastetut yläkoulut

Liite 4: Muut tarkastetut kiinteistöt

Lyhenteet

RAU	rakennusautomaatio.
VAK	Valvonta-alakeskus.
IV	Ilmanvaihto.
LVI	Lämpö, vesi, ilmastointi.
LJH	Lämmönjakuhuone.
LTO	Lämmöntalteenotto.
PV	Patteriverkosto.
LKV	Lämmin käyttövesi.
I/O	Input/Output, sisään - ja ulostulo.
AI	Analog inout, analoginen sisääntulo.
AO	Analog output, analoginen ulostulo.
DI	Digital input, digitaalinen sisääntulo.
DO	Digital output, digitaalinen ulostulo.

1 Johdanto

Tässä työssä koottiin ja analysoitiin Espoon Tilapalveluiden keräämää historiatietoa Espoon kaupungin koulujen ja päiväkotien lämmitysenergian kulutuksesta sekä kulutuksen muutoksista eri vuosina. Tätä tietoa verrattiin näiden kiinteistöjen korjaus- ja huoltohistoriaan ja selvitettiin, onko Tilapalveluiden tietojen avulla mahdollista löytää syy-seuraussuhdetta automaatiohuollon sekä -muutosten ja lämmitysenergian muutosten välillä.

Tilapalvelut halusivat suorittaa tämän selvityksen, sillä oikeaoppisesti toimiva rakennusautomaatio säästää rahaa sekä liiallisen lämmityksen eliminoinnin sekä vähentämällä toimilaitteiden kulumista ja täten niiden huollon tarvetta. Lisäksi Tilapalveluille työskentelevät automaatioasiantuntijat sekä sisäilman laatua valvoa tarkastusryhmä ovat omassa selvitystyössään havainneet Espoon kiinteistöissä puutteita sekä automaation ohjelmoinnin että toimilaitteiden kunnan osalta. Näistä syistä Tilapalvelut halusivat saada lisää selvitystietoa Espoon kiinteistöjen nykytilasta sekä aikaisempien huoltotöiden vaikutuksesta energiankulutukseen.

Työ toteutettiin käytännössä kokoamalla Tilapalveluiden tietokannasta kiinteistökohtaiset lämmitysenergiankulutusraportit ja niiden huoltohistoria. Energiankulutusraporteista pyrittiin tunnistamaan mahdolliset ajankohdat, milloin energiankulutuksessa on tapahtunut havaittavaa alenemista. Huoltohistoriasta taas pyrittiin löytämään asiaan mahdollisesti vaikuttaneet huoltotoimenpiteet. Näitä kahta tietolähdettä vertaamalla pyrittiin lopuksi tekemään johtopäätelmiä Tilapalveluiden toimien vaikutuksista Espoon kiinteistöjen energiankulutukseen ja tunnistamaan keinoja saavuttaa rahallisia säästöjä tulevaisuudessa.

Työssä esitellään myös teoreettisia keinoja vähentää kiinteistöjen lämmitysenergiankulutusta sekä tehdään kehitysehdotuksia Tilapalveluille, miten tulevaisuudessa kerätä tarkempaa ja luotettavampaa dataa lämmitysenergian kulutuksesta sekä rakennusautomaation kunnosta.

Työn tavoitteista puhuttiin Espoon Tilapalveluiden automaatioasiantuntija Ari Pekosen sekä automaatioinsinööri Maija Walleniuksen kanssa. Tavoitteeksi muodostui lopulta selvittää, miten Espoon kaupungin kiinteistöjen lämmitysenergian kulutus on muuttunut vuosien aikana ja onko mahdollista näyttää automaatiomuutosten ja -huollon tuoneen Espoon kaupungille säästöjä.

2 Rakennusautomaatio

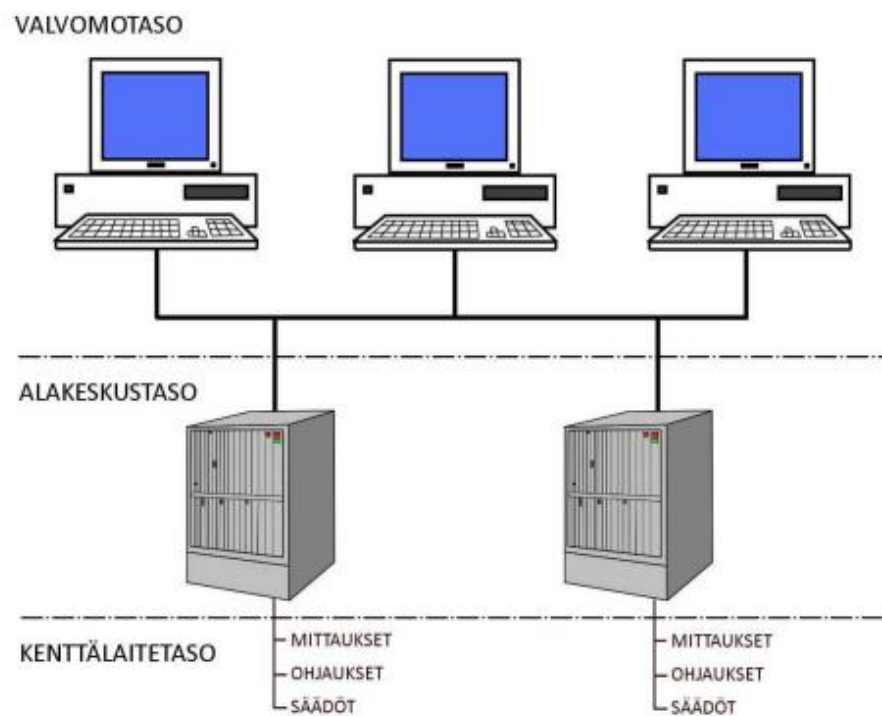
Rakennusautomaatiolla ohjataan ja valvotaan rakennusten toimintoja sekä kerätään siihen liittyvää historiatietoa. Ohjattavia toimintoja ovat esimerkiksi rakennusten lämmitys, valaistus, palo- ja murtohälytykset, palontorjunta, ovien lukitukset sekä ilmanvaihto. Rakennusautomaatio toimii keräämällä tietoa mittalaitteilla ja ohjaamalla tämän tiedon perusteella toimilaitteita.

Yleisiä mittalaitteita ovat esim. lämpötila-anturit, joiden ilmoittaman lämpötilan perusteella rakennusautomaatio ohjaa lämmönvaihtimien venttiilejä. Se, miten venttiilejä ohjataan, riippuu rakennuksesta käytettävästä lämmitysratkaisusta (onko rakennuksessa patteri – vai lattialämmitys, määritetäänkö lämpötilan asetusarvo ulkoilman vai rakennuksen poistoilman mukaan jne.). Toinen esimerkki mittalaitteesta on liikkeentunnistin, jonka havaitseman liikkeen perusteella taloautomaatio kytkee valaistuksen päälle ja taas pois päältä, kun liikettä ei ole havaittu halutun ajanjakson verran.

2.1 Rakennusautomaation rakenne

Rakennusautomaatio voidaan jakaa kolmeen tasoon: valvomotasoon, valvomoalakeskustasoon (VAK) sekä kenttälaitteistotasoon.

Rakennusautomaatio on yleensä kytketty yhteen väylään, jolloin kaikki tieto liikkuu samaa väylää pitkin. Rakenne on nähtävissä kuvassa 1.



Kuva 1 Rakennusautomaation rakenne (1, s. 5)

2.2 Valvomotas

Nykyään useissa isoissa rakennuksissa on valvomo. Valvomotasolla voidaan tarkastella kootusti tietoa monelta tai mahdollisesti jokaiselta rakennuksen alakeskukselta. Tätä tietoa ovat alakeskuksiin kytkettyjen mittalaitteiden mittausravot, toimilaitteiden viritysarvot sekä hälytykset. Valvomokone huolehtii yleensä hälytysten toimittamisesta eteenpäin esim. huoltoyhtiölle.

Valvomo kerää historiatietoa mittaus- ja toimilaitteilta, kuten lämpötila-anturien mittausravoja sekä taajuusmuuttajien toiminta-arvoja. Toimilaitteiden raja-arvoja, viritysarvoja sekä hälytysarvoja voidaan myös muuttaa valvomon kautta. Valvomokoneet on yleensä sijoitettu joko lämmönjakohuoneisiin tai IV-huoneisiin. Valvomot ovat nykyään myös usein yhdistetty intranettiin niin, että niihin voi ottaa etäyhteyden samasta verkosta. Ne voidaan myös yhdistää internetiin, mutta tämä tekee ne alttiiksi tietotekniikkahyökkäyksille.

2.3 Alakeskustaso

Valvonta-alakeskukset eli VAK:t keräävät tietoa mittauslaitteilta ja ohjaavat toimilaitteita. Ne myös valvovat toimilaitteita ja antavat hälytyksiä virhetilanteissa. Ne voivat myös tarvittaessa pysäyttää toimilaitteet (esim. jäätymissuojan lauetessa tai jos IV-koneen taajuusmuuttaja antaa viritysarvojen ulkopuolisia arvoja). VAK:t rakennetaan erillisestä kaapista ja siihen asennettavista moduuleista, joita ovat esim.

- analoginen mittausmoduuli, AI
- indikointi – ja hälytysmoduuli, DI
- digitaalinen ohjausmoduuli, DO
- analoginen säätömoduuli, AO.

2.4 Kenttälaitetaso

Kenttälaitteet koostuvat mittaus- ja toimilaitteista. Rakennusautomaatiossa yleisiä mittauslaitteita ovat erilaiset anturit, kuten lämpötila-, liike- ja paineanturit. Yleisiä toimilaitteita taas ovat esim. peltimoottorit, puhaltimet, venttiilit sekä valaisimet. Mittauslaitteet lähettävät VAK:lle mittaustietoa, jonka perusteella VAK:t ohjaavat toimilaitteita. Toimilaitteet lähettävät tietoa myös omasta olotilastaan, esim. venttiilin asennosta. Kuvassa 3 nähdään IV-koneeseen liitetty paine-eromittari.



Kuva 3. IV-koneen paine-eromittari (3).

3 Rakennuksen lämmityslaitteiston ja IV-järjestelmän toiminta

3.1 Lämmityslaitteisto

Rakennusten lämmityslaitteisto koostuu lämmönlähteestä (Espoossa useimmiten kaukolämpö, joissain rakennuksissa myös sähkölämmitys tai öljylämmitys), lämmönjakoverkostosta (lattia – tai patterilämmitys), lämpimän käyttöveden lämmityspatterista sekä IV-koneen tuloilman lämmityspatterista ja lämmöntalteenotosta (LTO). Lämmityksellä pyritään pitämään sisäilman lämpötila käyttäjien haluamalla tasolla, suositusten mukaisen lämpötilan ollessa kuitenkin 20-22 °C (5). Halutun lämpötilan saavuttamiseksi on tärkeää asettaa lämmityksen toimilaitteiden viritysparametrit ja raja-arvot oikein, koska näin päästään tarkemmin ja nopeammin toivottuun lämpöarvoon ja vältetään turhat lämmityskulut.

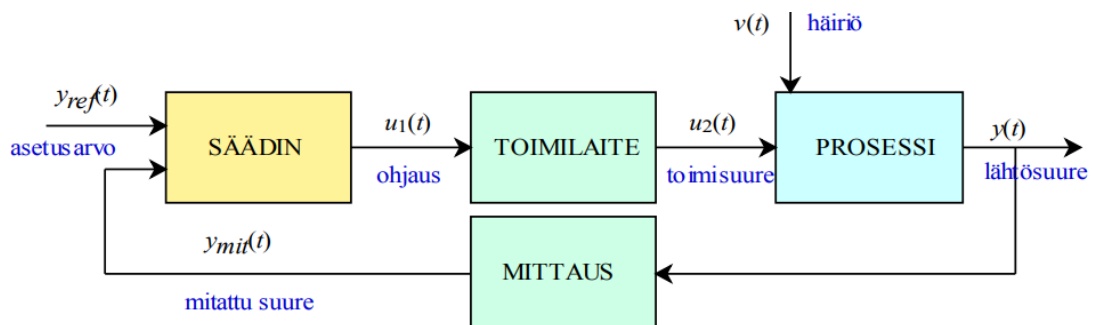
Lämmityksessä käytettäviä toimilaitteita ovat lämmönjakoverkoston, lämpimän käyttöveden lämmityspatterin ja tuloilman lämmityspatterin venttiilit sekä LTO:n peltimoottori. Nämä toimilaitteet täytyy virittää oikein, koska muuten niissä alkaa esiintyä huojuntaa: toimilaitteiden säätö yrittää korjata toimilaitteiden asentoa ja täten lämpötilaa liian voimakkaasti, jolloin lämpötila siirtyy liikaa toiseen suuntaan.

Esimerkiksi jos lämmitetyn sisäilman lämpötila on liian korkea, voi lämmityspatterin venttiilin säätö pyrkiä sulkemaan venttiiliä liian paljon, jolloin lämpötila laskee liikaa, jolloin sitä on taas avattava jne. Vaihtoehtoisesti venttiiliä saatetaan avata aluksi tarpeeksi, mutta säätö ei odota tarpeeksi kauan, että lämpötila tasautuisi halutulle tasolle, jolloin se pyrkii avaamaan venttiiliä lisää. Tällöin lämpötilaa lasketaan taas liikaa, mikä pakottaa avaamaan venttiiliä taas lisää jne.

Huojunta johtaa lämmitysenergian hukkaamiseen turhan lämmityksen takia ja toimilaitteiden ylimääräiseen kulumiseen. Viritysparametrit täytyykin asettaa niin, että venttiiliä avataan ja suljetaan vain niin paljon kuin on tarpeellista ja että säädin odottaa tarpeeksi kauan, että venttiilin asennon muutos ehtii vaikuttaa. Säädön muutoksesta mittausarvon muutokseen kuluvaa aikaa kutsutaan vasteajaksi. Viritysarvojen sopivat arvot täytyy usein etsiä kokeilemalla. Niiden selvittämiseen voidaan käyttää askelvaste – sekä värähtelyrajamenetelmiä (6, s. 48-53).

3.1.1 Lämmityksen säätötavat

Lämmityksen säätö toteutetaan käytännössä aina takaisinkytkennällä, jossa säädin saa säädettävän suureen arvon mittauslaitteelta ja tämän tiedon perusteella muuttaa toimilaitteen arvoa. Takaisinkytkennän toiminta on esitelty kuvassa 4.



Kuva 4. Takaisinkytkentä (4, s. 11).

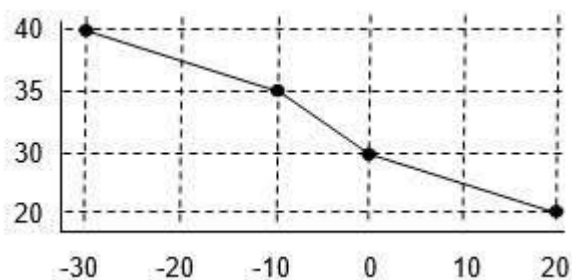
Rakennusten lämmityksessä käytetään yleisesti kolmea erilaista säätötapaa: vakioasetusarvosäätöä, kompensointisäätöä sekä kaskadisäätöä.

Vakioarvolla säädettäessä säädin käyttää aina samaa asetusarvoa. Tällöin säädin pyrkii pitämään mitattavan suureen arvon aina asetusarvossa ja muuttaa toimilaitteen arvoja tämän mukaan. Lämmityksessä lämpimän käyttöveden säätö toimii tällä säätötavalla, sillä se pyritään pitämään aina lämpötilassa 50-65 °C (7). Vakioarvolla säädettäessä ei arvoa yleensä saada juuri haluttuun arvoon vaan se asettuu sallittujen ylä- ja ala-arvojen väliin (8, s. 62).

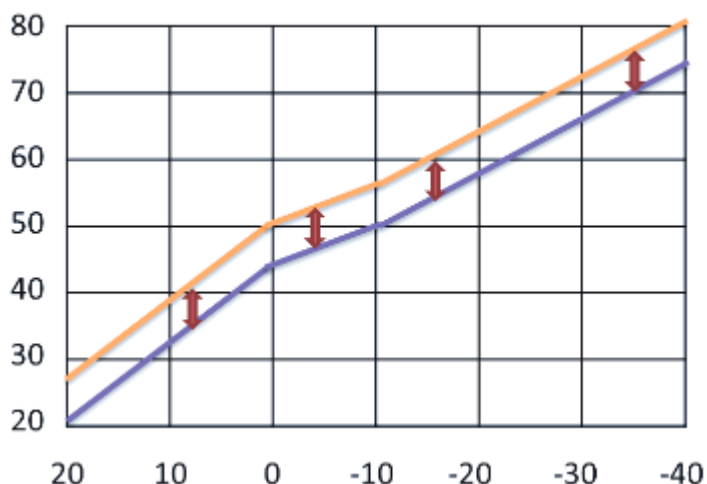
Kompensointisäädössä säädin antaa asetusarvon jonkin prosessin ulkopuolisen mittauslaitteen arvon perusteella valmiiksi asetetun säätökäyrän mukaan. Rakennuslämmityksessä tätä käytetään lattialämmityksen ja patteriverkoston säätämiseen ulkoilman perusteella, sillä näiden lämmitysmenetelmien vasteaika on pitkä ja ulkolämpötila tarpeeksi tasainen suurimman osan ajasta (8, s. 83).

Kuvassa 5 on esitelty tyypillinen ulkoilman kompensointikäyrä.

Kompensointikäyrään voi tehdä korotuksia 0 – 5 °C alueella, jolla voi kompensoida tyypillisesti lisääntyneitä ilmankosteutta. Kuvassa 6 on taas esitelty säätökäyrän suuntaissiirto, jolla voidaan korjata kompensointisäätöä, jos lämpötila on jatkuvasti liian alhainen tai korkea. Kaikkiin kiinteistöihin täytyy säätää omat kompensointikäyränsä rakennuksen lämpötilahistorian mukaan.



Kuva 5. Lämmityksen kompensointikäyrä (9, s. 8)



Kuva 6. Lämmityksen suuntaissiirto (10, s. 64)

Kaskadisäädössä toimilaitteen asetusarvo määräytyy prosessin toisen säätöpiirin asetusarvon mukaan. Rakennuksen lämmityksessä tätä periaatetta voidaan käyttää sisään otettavan ilman lämmitykseen. Säättämällä sisään otettavan ilman lämmitystä poistettavan ilman lämpötilan säädön mukaan voidaan sisäilma pitää tasaisesti halutussa lämpötilassa (11, s. 6).

Tämä käytäntö toimii paremmin kuin sisään otettavan ilman lämmitys ulkoilman lämpötilan mukaan, sillä ilman lämmityksen vasteaika on tarpeeksi lyhyt ja sisätilassa on liikaa lämpökuormaa (ihmiset, koneet) että ilman lämpötilaa voitaisiin säätää kunnolla kompensointi – tai vakioasetussäädöllä.

3.1.2 Säädintyypit

PID-säätimet ovat rakennusautomaatiossa yleisimmin käytetyt säädintyypit. Näissä voidaan käyttää kolmea erilaista viritysarvoa. Näillä viritysarvoilla voidaan tehdä P-, PI-, PD-, tai PID-säätimiä. Näistä PI-säädin on yleisin (12, s. 67).

Näiden säätimien toiminta perustuu mittausarvon ja asetusarvon avulla laskettavaan eroarvoon, jonka perusteella voidaan määrittää säätimen antama arvo säätimen laskentatavan mukaan.

P-osa = vahvistuskerroin. Tämä toimii säätimen erokertoimen suhdetoimena. Mitä suurempi P-arvo on, sitä nopeampi on säädin arvon muutos (12, s. 69).

I-osa = integrointi aika. Tämä kerroin ottaa huomioon aikaisemmin lasketut erosuureet ja muokkaa tämän perusteella säädin arvoja. Mitä suurempi integrointi aika on, sitä hitaammin säädin muuttaa säätöarvoja (12, s. 72).

D-osa = derivointiaika. Ennakoi järjestelmän käyttäytymistä erosuureen muutosnopeuden pohjalta. Ei käytetä yleensä rakennusautomaatiossa (12, s. 73).

Ideaalisen PI-säätimen voi laskea kaavalla 1 (13, s. 21-22).

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (1)$$

jossa

$u(t)$ = säätimen lähtö

K_p = säätimen vahvistuskerroin

$e(t)$ = eroarvo hetkellä t

T_i = säätimen integrointi aika

$\int e(t) dt$ = erosuureen integraali

T_d = säätimen derivointiaika

$\frac{de(t)}{dt}$ = erosuureen derivaatta

3.2 IV-järjestelmä

Ilmanvaihdon tarkoitus on kierrättää sisäilmaa ja varmistaa, että se on aina puhdasta ja happipitoista. Tämän takia ulkoa tuleva tuloilma puhdistetaan suodattimilla ja tuloilman riittävyys on varmistettava.

Ilmanvaihto voidaan varmistaa kahdella tavalla: käyttämällä sekä koneellista tulo- että poistoilmaa tai käyttämällä vain koneellista ilmanpoistoa.

Ensimmäisen vaihtoehdon hyötyjä ovat tuloilman lämmitys, LTO:n mahdollisuus sekä helpompi tuloilman suodatus. Koneelliseen tuloilmaan voidaan myös liittää ilmanviennin. Pelkkä koneellinen poisto taas on halvempi ja sitä on käytetty runsaasti vanhemmissa rakennuksissa.

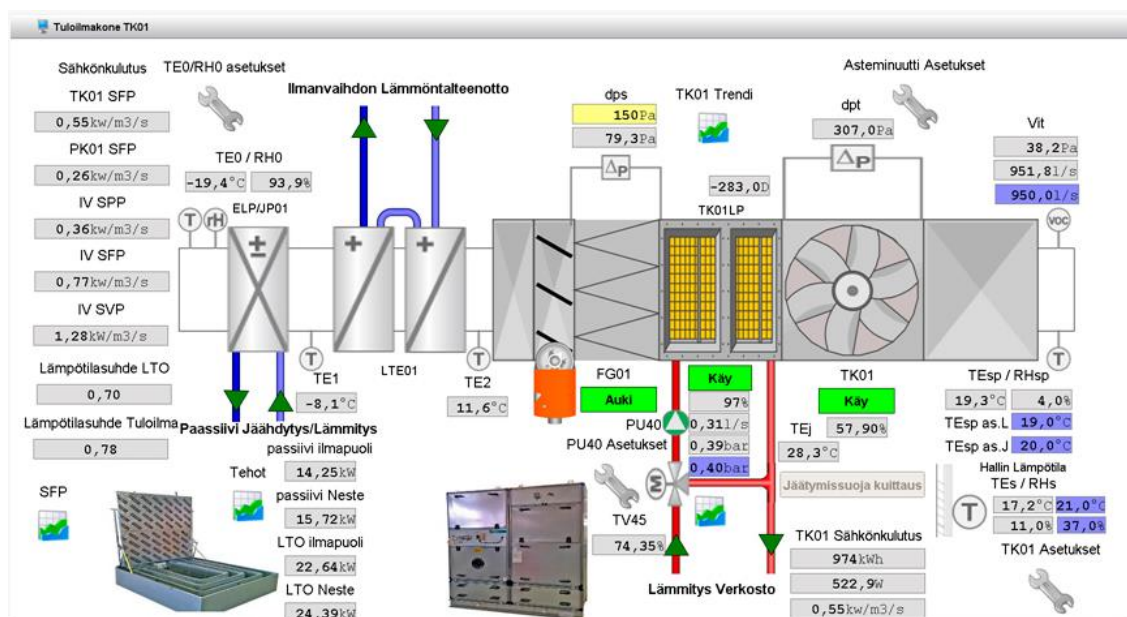
Lämmön talteenotolla voidaan sisäilman lämmitykseen käytettyä energiaa hyödyntää uudelleen siirtämällä se poistoilmasta uuteen tuloilmaan. Tähän on kehitetty useita ratkaisuja.

3.2.1 Pyörivä LTO

Pyörivien lämmönsiirtimien toiminta perustuu siihen, että pyörivän kiekon yläosan lävitse virtaa lämmintä poistoilmaa. Samaan aikaan kiekon alaosan lävitse kulkee kylmää tuloilmaa. Kiekon pyöriessä se sitoo itseensä lämpöenergiaa poistoilmasta ja luovuttaa sen tuloilmalle. Tämän LTO:n heikkous on, että se päästää osan likaisesta poistoilmasta sekoittumaan tuloilman kanssa, joten tämä LTO ei sovellu rakennuksille, joissa on oltava ehdottoman puhdas ilma. Hyötysuhde on n. 75 %. (14)

3.2.2 Nestekiertoinen LTO

Tämä LTO perustuu kahteen patteristoon, joiden välillä virtaa glykoliseos. Lämpimän poistoilman virratessa poistopuolen patteriston lävitse poistoilma luovuttaa lämpöenergiansa patteristolle. Glykoliseos kuljettaa näin saadun lämmön toiselle patteristolle, joka luovuttaa näin saadun lämmön lävitseen kulkevalle tuloilmalle. Kuvassa 7 on nähtävillä IV-kone nestekiertoisella LTO:lla. Hyötysuhde on noin 50 %. (14.)



Kuva 7. Nestekiertoinen LTO. (15)

3.2.3 Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin perustuu ristikkäin virtaaviin tulo- ja poistoilmavirtoihin. Poistoilmasta pääsee hyvin lämpöä johtavien metallilevyjen kautta siirtymään lämpöenergiaa kylmempään tuloilmaan. Hyötysuhde on n. 60 %. (14.)

4 Espoon Tilapalveluiden tietojärjestelmät ja tietojen vertailu

4.1 Granlund Manager

Espoon tilapalvelut kerää tietoa hallinnoimiensa kiinteistöjen energiankulutuksesta sekä suoritetuista korjaus- ja huoltotöistä Granlund Manager -palveluun. Palvelun tiedot yltyvät suurimmassa osassa kohteita vuodelle 2015 asti. Granlund Manager on itsessään vaivalloinen ja kankea palvelu, kun sieltä yrittää löytää ja ladata suurta määrää tietoa. Jokainen raportti täytyi etsiä erikseen ja ladata yksitellen Excel-tiedostoina. Palveluun olisi tulevaisuudessa hyvä saada ominaisuus, jolla voisi ladata useamman kohteen raportit samalla kertaa.

Tässä työssä koottiin energiatiedot ja automaatiohuoltohistoria kaikista saatavilla olevista Espoon Tilapalveluiden alaisista päiväkodeista, kouluista sekä sisäilman tarkastusryhmän vuosina 2018-2020 läpikäymistä kohteista. Näitä energiatietoja ja huoltohistoriaa verrattiin toisiinsa ja yritettiin löytää näyttöä siitä, että tehdyillä huoltotoimenpiteillä olisi syy-seuraussuhdetta saavutettuihin lämpöenergiesäästöihin.

4.1.1 Lämpöenergiaraportit

Kuvassa 8 on näytetty tyypillinen lämpöenergiatietoraportti.

Kulutuslajien koontiraportti

Kohde: 32040 Eestinmalmin päiväkot



Kuva 8. Lämpöenergiaraportti. (16)

Raporttien ilmoittamat energiankulutuksen on normitettu kaavalla 2 (17, s. 3):

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut} \text{ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad (2)$$

jossa

Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{toteutunut}$ = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ =käyttöveden lämmittämiseen kulunut lämpöenergia

$S_N \text{ vpkunta}$ = normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku paikkakunnalla

$S_{toteutunut} \text{ vpkunta}$ = toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

Normitettuja lämpöenergielukuja pystyy vertailemaan eri vuosilta. Ilman normitusta luvut eivät olisi vertailukelpoisia, sillä eri vuosien erilaiset lämpötilat ja sääolosuhteet vaikuttaisivat lukuihin ennakoimattomasti. Normitettuja energiatietoja ei voi myöskään verrata muiden paikkakuntien lukuihin ilman ylimääräisiä korjauskertoimia. Normituksenkin jälkeen energiaportit antavat erittäin kyseenalaistettavaa tietoa Espoon kiinteistöjen energiankäytöstä. Monissa kohteissa lämpöenergiankäyttö vaihtelee huomattavasti sekä kasvavaan että vähenevään suuntaan vuosittain ilman selkeää trendiä muutosten välillä. Vaihtelut ovat olleet runsaita paitsi käyttötarkoitustasolla (koulu, päiväkot), myös sijainnin ja koon mukaan. Mitään selkeää syytä ei ole ollut havaittavissa minkään energiankäytön muutosten ja kohteiden välillä pelkästään energiaporttien perusteella.

Osassa kohteissa näyttäisi olevan lämpömittareita, jotka eivät välitä tietojaan luotettavasti Granlund Manageriin. Lisäksi osassa kohteissa arvot luetaan ihmisen toimesta ja syötetään järjestelmään käsin. Tästä voi koitua virheitä, eikä näitä virheitä voida jälkikäteen systemaattisesti havaita ja oikaista. Näitä ongelmia ei havaittu suurimmassa osasta tarkastetuista kohteista, mutta ne ovat kuitenkin merkittäviä laaja-alaisen energiankäytön tarkastelun kannalta.

4.1.2 Huoltoraportit

Työssä käytiin myös läpi tarkasteltujen kiinteistöjen huoltohistoria. Granlund Manageriin on koottu kiinteistöissä tehdyt huollot vuoteen 2015 asti (ellei rakennus itsessään ole uudempi), ja ne on lajiteltu eri kategorioihin. Kuvissa 8 ja 9 on nähtävissä käytetyn palvelun käyttöliittymää.

LISÄÄ UUSI PALVELUPYYNTÖ | PILOTTI HAKUTOIMINNOT

Palvelupyynnön tarkennettu haku

Valitse ajanjakso
 -

Hae kuvaus kentästä














Valitse vaihe

Palvelupyynnön ID

Valitse palvelualue

- Valitse kaikki
- Kiinteistönhoito
- Sähkökunnossapito
- KH työnjohto
- LV-kunnossapito
- Rakennuskunnossapito
- Vihertuotanto, KAKE Toivo työ
- Siivous
- IV-kunnossapito

Kuva 8. Granlund Managerin palvelupyyntöjen käyttöliittymä. (16)

Tehtävä 2021 Kesäkuu							
<input type="checkbox"/>	118-KH Tilojen ja rakenteiden hoito	Viikottain	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	11.6.2021	11.6.2021 Hallenberg Joacim	
<input type="checkbox"/>	118-KH Tilojen ja rakenteiden hoito	Viikottain	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	18.6.2021		
<input type="checkbox"/>	118-KH Tilojen ja rakenteiden hoito	Viikottain	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	25.6.2021		
<input type="checkbox"/>	123-KH Kulutusseuranta	Mittarihuolto	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	11.6.2021	11.6.2021 Hallenberg Joacim	
<input type="checkbox"/>	127-KH Ilmanvaihtolaitteiden hoito	Konehuonekierrros	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	30.6.2021		
<input type="checkbox"/>	127-KH Ilmanvaihtolaitteiden hoito	Vesikattokierros	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	11.6.2021	11.6.2021 Hallenberg Joacim	
<input type="checkbox"/>	140-KH Merkki- ja turvavalaistuksen hoito	Merkki- ja turvavalojen koestus	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	25.6.2021		
<input type="checkbox"/>	305-T Huippumurit ja erillispuhaltimet	Kevät-/Syyshuolto	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	30.6.2021		
<input type="checkbox"/>	304-T Ilmanvaihtokoneet, LTO-kuutio	Keväthuolto	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	18.6.2021		
<input type="checkbox"/>	304-T Ilmanvaihtokoneet, Perus	Keväthuolto	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	18.6.2021		
<input type="checkbox"/>	304-T Ilmanvaihtokoneet, Kilahihna	Keväthuolto	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	18.6.2021		
<input type="checkbox"/>	144-KH Palovarointijärjestelmän kuukausihuolto	Palovarointijärjestelmän kuukausihuolto	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	18.6.2021		
<input type="checkbox"/>	107-KH Kiinteistön turvallisuus	Koulusalien turvallisuus	Tehtävään liitetyt rakennukset	Kiinteistönhoito huoltosuunnitelma	30.6.2021		

Kuva 9. Granlund Managerin palvelupyyntöjen käyttöliittymä. (16)

Huolloista ja korjauksista on jäänyt merkintöjä kiitettävästi, mutta niiden kommentointi on ollut heikkoa. Suurimmassa osassa töistä on vain merkitty, että työ on tehty, siirretty toiselle osastolle tai myöhemmäksi, tai että työ on annettu urakoitsijalle. Suurimmassa osasta töitä ei ole mainintoja, mitä vialle tai puutteelle on tehty paikan päällä tai mistä viasta oli alun perin kyse.

Nämä puutteet tiedoissa eivät haittaa vain myöhempiä selvitystöitä, mutta se on myös menetetty mahdollisuus kerätä kollektiivista tietoa eri kohteiden mahdollisista uusiutuvista vioista, auttaa tulevia laitehuoltajia löytämään ratkaisu vikaan nopeammin sekä ennakoimaan mahdollisia laiterikkoja tulevaisuudessa muissa samankaltaisissa kohteissa.

Lisäksi monissa huoltopyynnöissä on myöhemmin ilmoitettu, että vika olisi korjattu, mutta samassa kohteessa on samasta viasta tullut tulevaisuudessa monia erillisiä lisäpyyntöjä. Tämä näyttää selvästi, että vikaa ei joko ole korjattu tai kyseessä on jokin syvemmällä oleva vika, mitä ei pysty enää korjaamaan pelkällä huollolla vaan alkaa vaatimaan koko laitteiston vaihtamista.

4.2 Tietojen vertailu

Suurimmassa osasta kohteita oli lähes vuosittain merkittäviä (yli 5 %) nousuja tai laskuja lämmitysenergian käytössä edellisvuoteen nähden. Tämän takia aineiston rajaaminen ei ollut mielekäästä, vaan työssä päädyttiin tarkastamaan kaikki päiväkodit ja koulut sekä sisäilman tarkastusryhmän läpikäymät kohteet. Minkään kohteen suora sivuuttaminen (paitsi muutaman puretun rakennuksen) ei ollut yksinkertaisesti mielekäästä. Tämän johdosta tarkasteluun mukaan otettiin lopulta 107 päiväkotia, 50 alakoulua, 25 yläkoulua sekä 9 sisäilmatarkastusryhmän tarkastamaa kiinteistöä. Tarkastetut kiinteistöt on listattu liitteissä 1-4.

Tarkastelluista kiinteistöistä otettiin ylös niissä tapahtuneet energiankulutuksen muutokset ja niitä verrattiin kiinteistöissä tehtyihin huoltotoimenpiteisiin. Muita energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä koetettiin myös selvittää (esim. kouluissa tehtyjä isoja kiinteistökorjauksia ja kiinteistöjen väliaikaisia sulkemisia), mutta niistä ei löytynyt kattavaa ja vertailukelpoista tietoa Espoon tietokannoista. Tämän takia lopulliseksi menetelmäksi muodostui edellisten vuosien raportoitujen huoltotoimenpiteiden vertailu havaittuihin energiankulutusten muutoksiin.

Laajasta otannasta huolimatta selkeitä syy-seuraussuhteita ei löytynyt energiankäytön ja suoritettujen huoltojen välillä. Samankaltaiset huollot (IV-koneen huolto, lämmitysventtiilien korjaus tai vaihto, VAK:ien ja valvomoiden huolto jne.) toistuivat kohteesta toiseen, sekä niinä vuosina, kun energiankäyttö nousi kuin se laski, ilman mitään selkeää syy-seuraussuhdetta. Ainoa huoltotoimenpide, jonka pystyy sanovan korreloivan jollain tavalla laskevan energiankäytön kanssa, on LTO-huollot. Nämä huollot olivat paljon huomattavasti useammin tehty juuri ennen alentuneen energiankäytön vuotta kuin nousevan. Toisaalta tästäkin on mahdollista päätellä myös, että hajonnut LTO olisi nostanut edellisen vuoden energiankäyttöä ja LTO:n huolto olisi vain palauttanut tilanteen.

4.3 Miksi tarkastelu ei tuottanut haluttuja tuloksia?

Todennäköisin syy tarkastelun tuloksettomuudelle on luultavasti tarkasteluympäristön hallitsemattomuus. Tilapalveluilla ei ole täydellisiä tietoja siitä, kuinka paljon missäkin kohteessa on ollut ihmisiä milloinkin, joten ihmisten aiheuttamaa lämpökuormaa ei voi ottaa huomioon. Ihminen tuottaa istumatyössä keskimäärin noin 120 W lämpötehoa, joten suuremmissa kohteissa ihmisten aiheuttama lämpökuorma on merkittävä. Lisäksi monilla oppilailla on nykyään enenevässä määrin tietokoneita käytössään kouluissa ja myös päiväkodeissa, jotka myös aiheuttavat ennakoimatonta lämpökuormaa.

Kaikki Espoon kohteet eivät ole myöskään ohjelmoitu lämmittämään samalla tavalla. Joissain kohteissa voi patteriverkoston kompensointikäyrä olla suurempi kuin toisessa vastaavassa kohteessa, mikä aiheuttaa näiden kohteiden välille heti eroa. Lisäksi joissain kohteissa voi tuloilmanlämmitys olla kytkettynä poistokaskadiin, kun taas toisissa kohteissa se on asetettu vakioarvoon. Kaskadisäätö on herkempi sisätilojen lämpötilojen muutoksille, kuten ikkunan avaamiselle ja edellä mainituille lämpökuormille.

Lisäksi on myös mahdollista, ettei kaikkia automaation korjauksia tai muutoksia ole kirjattu Granlund Manageriin tai mihinkään kuuhun dokumenttiin. Tämä mahdollisuus voi jo itsessään tehdä tämän työn kaltaiset selvitykset mahdottomiksi tulevaisuudessa, sillä jokaisen lämpöenergiakulutuksen muutoksen taustalla voi olla monia tuntemattomia syitä, eikä mitään muutosta voi täten suoraan kytkeä mihinkään tunnettuihin korjauksiin tai muutoksiin.

Granlund Managerista ei myöskään löytynyt luotettavasti tietoa kiinteistöihin tehdyistä isoista huoltotoimenpiteistä, kuten peruskorjauksista. Myöskään rakennuspinta-alaa ei ollut saatavilla suurimpaan osaan kiinteistöistä. Nämä tiedot olisi erittäin tärkeää saada koottua tietokannoista yhteen yhteisesti saavutettavaan paikkaan.

Lisäksi tämänkaltaisessa tarkastelussa on vielä ongelmana se, että ei ole olemassa luotettavaa tietoa, kuinka kauan tunnistetut viat ovat ehtineet vaikuttaa lämmönkulutukseen. Jos esimerkiksi LTO:n huomataan toimivan vajaalla nopeudella, ei voida olla varmoja, kuinka kauan vika on ollut olemassa ennen kuin se raportoitiin. Yksi mahdollinen ratkaisu tähän olisi tarkat vianpäivystysmerkinnät (merkintä aina kun laite on tarkistettu), mutta tämäkään ei poista mahdollisuutta, että vikaa ei huomattu edellisellä tarkistuskäynnillä.

5 Muita ongelmia Espoon automaatiassa

Espoon automaatio on jo erittäin vanhaa. Monissa kohteissa oli vikamerkintöjä VAK:ien toimimattomuudesta, osien hajoamisista ja varaosien saatavuusvaikeuksista. Lisäksi valvomokoneet olivat toimimattomia tai hitaita monissa kohteissa ja ne käyttävät edelleen Windows XP:tä, joka on tänä päivänä erittäin haavoittuvainen tietotekniikkahyökkäyksille.

Monissa kohteissa myös ohjausparametrit ovat joko huonosti määriteltä tai jätetty kokonaan tehdasasetuksille, mikä pahimmillaan aiheuttaa kovaa huojuntaa lämmityksessä. Tämä haaskaa lämmitysenergiaa ja täten rahaa sekä kuluttaa turhaan hallintalaitteita. Todennäköisesti tämä vähintään aiheuttaa epämieluisia lämpötiloja.

Muutamissa kohteissa jäätymissuojat eivät laenneet kylmillä lämpötiloilla. Tämä voi pahimmillaan aiheuttaa tuloilmakojeen lämmityspatterin jäätyksen ja täten putkien halkeamisen ja vesivahingon. Lisäksi monissa kohteissa taajuusmuuttajia ei ole suojattu kunnolla. Tämän takia ne aiheuttavat helposti häiriöitä rakennusautomaation tietoväylässä ja voivat aiheuttaa mittausvälineiden mittausvirheitä.

5.1 Mahdolliset lisätoimenpiteet ja – tutkimukset

Espoon kiinteistöissä on mahdollisuuksia saavuttaa merkittäviä säästöjä lämpöenergiankäytön suhteen. Niitä on myös mahdollista saada käyttäjilleen miellyttävämmiksi. Parannuksia on mahdollista saada yksinkertaisilla ja edullisilla keinoilla. Lisäksi Espoon on myös mahdollista saada lisätietoa tulevien päätösten tueksi yksinkertaisilla mutta pitkäjänteisillä keinoilla.

Yksinkertaisin keino säästää lämmityskuluissa olisi tarkistaa kaikkien kiinteistöjen lämmitysparametrit ja muuttaa ne kohteisiin sopivampiin arvoihin. Tämä vähentäisi toimilaitteiden huojuntaa ja täten lämmitysenergian hukkaa. Lisäksi tämän muutoksen avulla toimilaitteet kestäisivät pidempään.

Edelliseen liittyvä keino olisi valvomoiden historiaseurantojen korjaaminen. Tämän muutoksen avulla Espoo pystyisi seuraamaan tarkemmin, miten eri kiinteistöjen lämmitys oikeasti toimii. Se auttaisi löytämään mahdollisia vikoja lämmityksessä.

Eräs tehokas keino vikojen löytämiseen voisi olla tarkemmat viankuvaukset ja huoltokertomukset. Tarkemman tiedon avulla voitaisiin tunnistaa ongelmat helpommin ja laitetta vähemmänkin tuntevat voisivat saada huollossa apua vanhojen toimenpiteiden kuvailusta.

Enemmän rahaa vaativa toimenpide olisi rakennusten automaatioiden uusiminen. Monet Espoon automaatiolaitteistot ovat jo vuosikymmenien ikäisiä ja alkavat vähitellen hajoamaan. Suurin ongelma on kuitenkin varaosien puute. Pahin tilanne Espoolle olisi, jos monen kohteen automaatio alkaisi hajoamaan samaan aikaan, sillä automaation hajoaminen tarkoittaisiin käytännössä sekä ilmanvaihdon että lämmityksen loppumista. Tämä tekisi kyseisistä rakennuksista käyttökelvottomia, kunnes vika saataisiin korjattua, ja lämmityksen puute voisi pahimmillaan rikkoa kohteiden rakenteita. Automaation uusiminen on kallis projekti, mutta se on välttämätön toimenpide, koska ilman sitä moniin rakennuksiin voi tulla paljon kalliimpaa vahinkoa.

Tilapalvelut on kuitenkin jo ryhtynyt asiantilaa korjaaviin toimenpiteisiin. Espoon kiinteistöjen sisäilmaongelmia kartoittava työryhmä on tehnyt monissa tutkimissaan kohteissa myös automaatio-ongelmien kartoitusta, mikä tuo epäkohtia esille. Työryhmä on myös tilannut tai tehnyt itse huoltoja mahdollisuuksien mukaan. Tilapalvelut ovat myös palkanneet aikaisempaa enemmän automaation asiantuntijoita, jotka ovat alkaneet kartoittamaan kiinteistöautomaation tilaa Espoon alueella laajasti ja koonnut listaa automaation parannustarpeista, jonka perusteella nämä epäkohdat on mahdollista ottaa huomioon korjausbudjetissa.

Mikäli Tilapalvelut haluaa jatkaa tiedon keräämistä mahdollisiin lämmityssäästöihin liittyen, yksi mahdollisuus saada asiasta tietoa on valita muutama rakennus, mihin ei ole lähivuosien tulossa suuria IV- tai taloteknisiä remontteja ja tarkistuttaa niiden automaatio läpikotaisin, toimilaitteista säätöparametreihin. Tämän jälkeen niiden lämmitysenergian käyttöä voi seurata seuraavat kaksi-kolme vuotta. Mikäli selvää säästöä huomataan, voi samoja toimenpiteitä käyttää muissakin rakennuksissa. Tässäkin lähestymistavassa on samaa epätarkkuutta kuin mitä on aikaisemmin mainittu (vaihtelevat ihmismäärät, ikkunoiden avaamiset), mutta pienemmässä otannassa ainakin osaa näistä muuttujista voi seurata paljon tarkemmin kuin tässä työssä tehdyssä laajassa otannassa.

Espoon kaupunki on myös alkanut tehdä entistä enemmän yhteistyötä Fortumin kanssa. Moniin Espoon kiinteistöihin on jo tai tullaan asentamaan LeanHeat-järjestelmä, jonka avulla tulevaisuudessa voidaan helpommin hallinnoida ja valvoa kiinteistöjen energiankulutusta. Tämä osaltaan auttaa säästämään lämmityskuluissa tulevaisuudessa sekä tunnistamaan epäkohtia.

6 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli löytää mahdollista näyttöä Espoon toimista rakennusautomaatiohuollossa, mitä voisi liittää lämmitysenergian säästöihin. Mitään selkeää näyttöä ei kuitenkaan löydetty. Tähän on monia syitä: kiinteistöjen käytöstä otannan aikana ei tiedetä tarpeeksi, että esimerkiksi ihmismäärien vaikutusta voisi rajata pois, huoltotiedot ovat puutteellisia ja osassa rakennuksia energianseuranta itsessään on puutteellinen.

Espoolla on kuitenkin monia mahdollisia, teoreettisia säästökohteita automaation alueella, joilla on mahdollista saavuttaa paljonkin säästöjä tulevaisuudessa. Samalla Espoolla on kuitenkin myös monia ongelmia, joista suurin on automaatiokannan vanheneminen ja käyttövarmuuden laskeminen. Nämä ongelmat täytyy ottaa vakavasti, sillä lyhyellä tähtäimellä ne aiheuttavat turhia kuluja lämmityksen alueella ja ovat osasyynä sisäilmaongelmiin, ja pitkällä tähtäimellä automaatio-ongelmat voivat tehdä monista rakennuksista käyttökelvottomia, kunnes automaatio saadaan korjattua.

Kaiken kaikkiaan työn alkuperäinen tavoite ei onnistunut, mutta sen aikana tunnistettiin monia korjattavissa olevia ongelmia niin automaation saralla kuin sen ulkopuolellakin. Lisäksi kehitettiin alustava suunnitelma Espoolle tutkia mahdollisia lämmityssäästöjä tarkemmin tulevaisuudessa.

Työn tekijänä kiitän Espoon Tilapalveluita mahdollisuudesta päästä tutkimaan asiaa ja käyttämään heidän tietokantojaan.

Lähteet

1. Tero Pirhonen. 2011 Kiinteistöautomaation peruselementit ja –toiminnot sekä kiinteistöautomaatioprojektin toteutus, insinööriyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, automaatiotekniikka, s. 5.
2. Jäätymisvaararele. Verkkoaineisto. Slo-verkkokauppa.
<https://verkkokauppa.slo.fi/fi/saatava-jaatymisvaararele-usj-24-1110010-aad4000>. Luettu 23.7.2021.
3. Anturit, mittarit ja termstatit. Verkkoaineisto. Edu-oppimateriaalit.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aiho5/iv-koje/saatolaitteet.htm>. Luettu 22.7.2021.
4. Takaisinkytkentä. Verkkoaineisto. Aalto-wiki.
https://wiki.aalto.fi/download/attachments/62723051/epop_3_1.pdf?version=3&modificationDate=1327688546000. Luettu 25.7.2021
5. Perustietoa sisäilmasta. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys.
<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Sisailmaston-tarkastuslistat/Terveen-koulun-tuntomerkit>. Luettu 25.7.2021.
6. Oulun seudun ammattikorkeakoulu,
Automaatiotekniikka I kurssimateriaali.

7. Käyttöveden lämpötila ja laatu. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo.
<https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/kayttoveden-lampotila-ja-laatuverkkoaineisto>. Luettu 27.7.2021.
8. Värjä Pertti, Mikkola Jukka-Matti, Uusi kiinteistöautomaatio, 10. painos, 1999.
9. Käyttöohje, lämmityksen säädin. Verkkoaineisto. Qvantech.
<https://www.qvantech.fi/wp-content/uploads/2019/01/eheat-kayttoohje-v24.pdf>. Luettu 27.7.2021.
10. Suomaki, Jorma & Vepsäläinen, Sami. Talotekniikan automaatio – käyttäjän opas, 2017. Luettu 24.7.2021.
11. Tekninen ohje. Verkkoaineisto. Vallox.
https://www.vallox.com/files/1072/TEKN90_221003.pdf.
Lutettu 26.7.2021.
12. Sääätötekniikan koulutusmateriaali. Verkkoaineisto. Automaatioseura.
https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf. Luettu 23.7.2021.

13. Tamminen, Joel. 2019. PID-säädön ja ennustavan prosessimalli-pohjaisen säädön vertailu lämmönvaihdinprosessissa. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka.
14. Valolinna, Heinola. 2017. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmät. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniologia.
15. RETCARE ilmanvaihtokoneet. Verkkoaineisto. Retermia. <https://www.retermia.fi/fi/tuotteet/ilmanvaihtokoneet/>. Luettu 28.7.2021.
16. Espoon Granlund Manager
17. Kulutuksen normitus auttaa kulutusseurannassa. Verkkoaineisto. Motiva. https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf. Luettu 26.7.2021.

Tarkastetut päiväkodit

Taulukko 1. Tarkastetut päiväkodit

Aallonhuipun päiväkot
Aamunkoiton päiväkot
Ajurinmäen päiväkot
Auroranportin päiväkot
Degerbyntien päiväkot
Eestinmalmin päiväkot
Eestinmetsän päiväkot
Ellipsin päiväkot
Espoonlahden päiväkot
Friisilän päiväkot
Haukilahden päiväkot
Heiniemen päiväkot
Hösmärin päiväkot
Hösmäripuiston päiväkot
Iivisniemen päiväkot
Jousenkaaren päiväkot
Juvanpuiston lastentalon
Järvenperän päiväkot
Järviatorpan päiväkot
Kaitaanniityn päiväkot
Kalajärven päiväkot
Kallionkujan päiväkot
Kaskipihan päiväkot
Kastevuoren päiväkot

Kauklahten päiväkoti
Kepelin päiväkoti
Kilon päiväkoti
Kilonpuiston päiväkoti
Kiltakallion päiväkoti
Kipparin päiväkoti
Kirkkojärven päiväkoti
Kirstin päiväkoti
Koivumankkaan päiväkoti
Koulumestarin päiväkoti
Kuninkaisten päiväkoti
Kuutamon päiväkoti
Kylänmäen päiväkoti
Kylätalo Palttinan päiväkoti
Kyyhkyspuiston päiväkoti
Laajalahden päiväkoti
Laakakiven päiväkoti
Laaksolahden päiväkoti
Lakelan päiväkoti
Lasantien päiväkoti
Lasinpuhaltajan päiväkoti
Latokasken päiväkoti
Laurinlahden päiväkoti
Lehtikasken päiväkoti
Leppäsillan päiväkoti
Leppäviidan päiväkoti
Lintumetsän päiväkoti
Lintuvaaran päiväkoti

Lippajärven päiväkoti
Lipunkantajanpolun päiväkoti
Luhtaniityn päiväkoti
Lystimäen päiväkoti
Lährerannan päiväkoti
Mainingin päiväkoti
Majurinkulman päiväkoti
Mankkaan päiväkoti
Matinkylän päiväkoti
Matinniityn päiväkoti
Merenkulkijan päiväkoti
Merikansan päiväkoti
Mikkelän päiväkoti
Muurahaisen päiväkoti
Mäkkylän päiväkoti
Niittykummun päiväkoti
Niitynmaan päiväkoti
Nokkalanpuiston päiväkoti
Nuottakunnan päiväkoti
Nuumäen päiväkoti
Nöykkiön päiväkoti
Ohrakasken päiväkoti
Olarin päiväkoti
Opinmäen päiväkoti
Paapuurin päiväkoti
Painiityn päiväkoti
Pisan päiväkoti
Pohjois-Tapiolan päiväkoti

Postipuun päiväkoti
Rinkelin päiväkoti
Roosaliinan päiväkoti
Ruusulinnan päiväkoti
Saapasaukion päiväkoti
Saunalahden päiväkoti
Saunarannan päiväkoti
Seilimäen päiväkoti
Silkkiniityn päiväkoti
Soukankujan päiväkoti
Suomenojan päiväkoti
Suvelan päiväkoti
Säterinmetsän päiväkoti
Taavinkylän päiväkoti
Tapiolan päiväkoti
Tiistilänraitin päiväkoti
Tllinmäen päiväkoti
Tontunmäen päiväkoti
Toppelundin päiväkoti
Träskändan päiväkoti
Tuohimäen päiväkoti
Tuomarilan päiväkoti
Vallipuiston päiväkoti
Vantinkulman päiväkoti
Vanttilan päiväkoti
Westendipuiston päiväkoti
Yläkartanon päiväkoti
Ymmerstan päiväkoti

Tarkastetut alakoulut

Taulukko 2. Tarkastetut alakoulut

Aarnivalkean koulu
Eestinkallion koulu
Friisilän koulu
Hansakallion koulu
Iivisniemen koulu
Jalavapuiston koulu
Jousenkaaren koulu
Juvanpuiston koulu
Kalajärven koulu
Kantokasken koulu
Karamzinin koulu
Kilon koulu
Kilonpuiston koulu
Kirkkojärven koulu
Kirstin koulu
Koulumestarin koulu
Laajalahden koulu
Lahnuksen koulu
Latokasken koulu
Laurinlahdenkoulu
Leppävaaran koulu
Lintulaakson koulu
Lintuvaaran koulu
Lähderannan koulu

Mainingin koulu
Mankkaanpuron koulu
Martinkallion koulu
Matinlahden koulu
Meritorin koulu
Mikkelän koulu
Niipperin koulu
Niittykummun koulu
Nöyekiönlaakson koulu
Olarin koulu
Perkkaanpuiston koulu
Postipuun koulu
Päivänkehrän koulu
Rastaalan koulu
Ruusutorpan koulu
Saunalahden koulu
Sepon koulu
Soukan koulu
Sunan koulu
Taavinkylän koulu
Tiistilän koulu
Toppelundin koulu
Tuomarilan koulu
Vanttilan koulu
Westendipuiston koulu
Viherlaakson koulu
Ymmerstan koulu

Tarkastetut yläkoulut

Taulukko 3. Tarkastetut yläkoulut

Espoonlahden koulu
Haukilahde koulu
Juvanpuiston koulu
Järvenperän koulu
Kaitaan koulu
Kalajärven koulu
Karakallion koulu
Kauklaahden koulu
Kilonpuiston koulu
Kirkkojärven koulu
Leppävaaran koulu
Lintumetsän koulu
Mainingin koulu
Mankkaan koulu
Martinkallion koulu
Nöykkiön koulu
Olarin koulu
Pohjois-Tapiolan koulu
Postipuun koulu
Ruusutorpan koulu
Saarnilaakson koulu
Saunalahden koulu
Tapiolan koulu
Tiistilän koulu
Vanttilan koulu
Viherlaakson koulu

Muut tarkastetut kiinteistöt

Taulukko 4. Muut tarkastetut kiinteistöt

Eestinmetsän lähipalvelukeskus
Etelä-Leppävaaran palveluasema Ruusulinna
Karakallion asukaspuisto
Karakallion monitoimitalo
Keskuspaloasema
Matinkylän monitoimitalo
Nöyekiön kirjasto
Perkkaan asukaspuisto
Viherlaakson terveysasema