

Joona Herranen

# Energiatehokkuus rakennusautomaatiota käyttäen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

9.5.2017

|  |  |
|--|--|
| Tekijä(t)<br>Otsikko   | Joona Herranen<br>Energiatehokkuus rakennusautomaatiota käyttäen |
| Sivumäärä<br>Aika  | 34 sivua<br>9.5.2017   |
| Tutkinto   | insinööri (AMK)  |
| Tutkinto-ohjelma   | talotekniikka  |
| Suuntautumisvaihtoehto   | LVI-suunnittelupainotteinen                                      |
| Ohjaaja(t)   | toimitusjohtaja Asko Laune<br>lehtori Jarmo Tapio                |
| <p>Tässä insinöörityössä tarkastellaan vuoden 2007, tai sitä uudempien, rakentamismääräysten perusteella rakennettujen tai saneerattujen kiinteistöjen rakennusautomaatiota. Työssä kartoitetaan tekijöitä jotka tekevät rakennusautomaatiojärjestelmästä energiatehokkaan, sekä syitä siihen, miksi energiatehokkuustavoitteisiin ei aina päästä. Työn tavoitteena oli löytää tyyppiesimerkkejä rakennusautomaatiojärjestelmissä esiintyvistä puutteista energiatehokkuuden kannalta sekä keinot näiden puutteiden korjaamiseen.</p> <p>Työn teoriaosuudessa esitellään kirjallisuuslähteisiin perustuen, mitkä asiat tekevät rakennusautomaatiojärjestelmästä energiatehokkaan ja miksi näihin tavoitteisiin ei aina päästä. Työn tutkimusosuudessa tarkasteltiin kolmen eri kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmän toimintaa sekä etsittiin puutteita energiatehokkuuden kannalta. Pääasiallisena työkaluna puutteiden etsimisessä käytettiin rakennusautomaatiojärjestelmän valvomoa.</p> <p>Referenssikohteiden perusteella voidaan todeta, että modernienkin kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmissä on puutteita energiatehokkuuden kannalta. Suurimmat puutteet olivat asetusarvojen virheellisyys, puutteet laitteiden ja koneiden tasapainotuksessa, sekä valvomopäätelaitteiden grafiikan epäselvä ja virheellinen esitys. Kiinteistön talotekniikassa esiintyviä mahdollisia puutteita voidaan paikallistaa käyttämällä hyödyksi rakennusautomaation valvomopäätelaitteita. Puutteet voidaan useimmissa tapauksissa korjata ohjelmallisilla muutoksilla. Erityisesti taloteknisen urakoinnin jälkeen on tilaajan kannalta tärkeää, että mahdolliset parannuskohdat löydetään ja korjataan kiinteistön takuuaikana.</p> <p>Insinöörityötä voidaan käyttää ohjeistuksena energiatehokkuusongelmien kartoittamiseen rakennusautomaatiojärjestelmistä. Työ esittää esimerkkejä modernien kiinteistöjen talotekniikassa esiintyvistä energiatehokkuuspuutteista, sekä tapoja joilla puutteita voidaan löytää. Työn perusteella voidaan myös pohtia eri toimintatapoja, miten kiinteistöjen energiatehottomasta käytöstä päästään eroon, esimerkiksi hyödyntämällä etäohjausta, tehostamalla toimintatapoja urakoinnin jälkeen ja resursoimalla kiinteistönhuoltoa eri painotuksella.</p> |  |
| Avainsanat   | rakennusautomaatio, energiatehokkuus, valvomo                    |

|   |  |
|---|--|
| Author<br>Title   | Joona Herranen<br>Energy efficiency by utilizing building automation |
| Number of Pages<br>Date   | 34 pages<br>9 May 2017   |
| Degree  | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme  | Bulding Services Engineering   |
| Specialisation option   | HVAC Engineering, Design orientation                                 |
| Instructors   | Asko Laune, CEO<br>Jarmo Tapio, Senior Lecturer                      |
| <p>This bachelor's thesis studied whether it is possible to increase the energy efficiency of modern buildings by studying the operation of their building automation systems. The thesis aimed to find problems in the operation that might increase the total energy consumed by the building. The purpose was not to develop the automation systems further and increase the complexity of them, but to ensure that the systems are designed in a sensible way and that they are adjusted to work as efficiently as possible.</p> <p>To find problems in the automation systems, the thesis studied three different buildings. The studied buildings were all renovated according to modern regulations presented in The National Building Code of Finland.</p> <p>The study showed that it is possible to achieve savings in energy consumption by adjusting the operation of the building automation system, even in buildings that are renovated recently. The thesis presented the typical problems in building automation systems that may affect the energy efficiency of modern buildings and the solutions to fix them. In addition, the thesis contemplated what to do in advance to prevent problems from occurring.</p> <p>By basis of this thesis it is possible to understand the typical problems affecting energy efficiency in modern buildings and to develop ways to prevent the problems from occurring in advance and ways to fix them afterwards.</p> |  |
| Keywords  | building automation, energy efficiency,                              |

## Sisällys

### Lyhenteet

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Johdanto  | 1  |
| 1.1 | Tausta  | 1  |
| 1.2 | Tavoite ja hypoteesit                                     | 3  |
| 1.3 | Toteutus  | 3  |
| 1.4 | Rajaus  | 4  |
| 2   | Rakennusautomaatio  | 4  |
| 2.1 | Rakennusautomaatio LVI-järjestelmissä                     | 4  |
| 2.2 | Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne ja käyttöliittymä  | 5  |
| 3   | Rakennusautomaation vaikutus energiatehokkuuteen          | 5  |
| 3.1 | Hälytykset  | 6  |
| 3.2 | Aikaohjaukset   | 7  |
| 3.3 | Mittaus- ja kulutusseuranta                               | 7  |
| 3.4 | Yö- ja vapaajäähdytys                                     | 7  |
| 4   | Virheelliselle toiminnalle altistavat tekijät             | 8  |
| 5   | Kenttätutkimuksen kohteet                                 | 10 |
| 5.1 | Kohde 1: peruskoulu                                       | 10 |
| 5.2 | Kohde 2: peruskoulu                                       | 11 |
| 5.3 | Kohde 3: peruskoulu                                       | 12 |
| 6   | Ongelmakohtien etsiminen rakennusautomaatiojärjestelmästä | 13 |
| 6.1 | Toimintakaavion tarkastelu                                | 13 |
| 6.2 | Trendikaavioiden tarkastelu                               | 15 |
| 7   | Kohdekäynnit ja datan keräys                              | 17 |
| 7.1 | Datan keräys, kohde 1                                     | 17 |
| 7.2 | Datan keräys, kohde 2                                     | 18 |
| 7.3 | Datan keräys, kohde 3                                     | 22 |

|     |                        |    |
|-----|------------------------|----|
| 8   | Kenttämittaukset       | 25 |
| 9   | Korjausehdotukset      | 27 |
| 9.1 | Kohde 1                | 28 |
| 9.2 | Kohde 2                | 28 |
| 9.3 | Kohde 3                | 30 |
| 10  | Yhteenveto ja pohdinta | 31 |
|     | Lähteet                | 34 |

## Lyhenteet

LTO Lämmöntalteenotto.

SFP Specific fan power. Ominais sähköteho, eli sähköverkosta otettu teho, joka tarvitaan yhden ilmakeuution kuljettamiseen rakennuksen läpi sekunnissa.

VAK Valvonta-alakeskus. Ohjelmoitava LVI-ohjauskeskus.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Uudisrakentamisen energiatehokkuusvaatimukset Suomessa ovat kiristyneet merkittävästi viimeisten vuosikymmenien aikana. Tämä johtuu pääasiassa Euroopan unionin tavoitteesta vähentää hiilidioksidipäästöjä. Rakennusten energiankäytön vähentäminen on tehokas tapa vähentää hiilidioksidipäästöjen määrää Suomessa, sillä rakennusten lämmityksen osuus energiankäytöstä on noin 40 % [1]. Suomessa energian kokonaiskulutuksesta 37 % tuotetaan polttamalla öljyä, hiiltä tai maakaasua [2], jotka vapauttavat pa- laessaan suuret määrät hiilidioksidia ilmakehään.

Vuonna 2007 ympäristöministeriö julkaisi uudistuneet rakentamismääräyskokoelman osat D3 ja D5. Asetus D3 antaa entistä tiukempia vaatimuksia uusien rakennuksien energiatehokkuudelle. Ohje D5 esittää rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennan aikaisempia vaatimuksia tarkemmin. Nämä uudistukset yhdessä Euroopan parlamentin ja neuvoston energiatehokkuusdirektiivin kanssa ovat vaatineet kehittämään kiinteistön rakenteita sekä taloteknisiä järjestelmiä energiatehokkaammiksi hyvinkin lyhyessä ajassa. Paine taloteknisten järjestelmien kehittämiseen on tullut suoraan niissä esiintyvistä energiansäästöpotentiaalista, sillä erityisesti lämmitysenergiaa saadaan kiinteistössä hukattua paljonkin, jos kiinteistöä ei ole suunniteltu energiatehokkaaksi. Energiatehokkuus saavutetaan talotekniikan osalta esimerkiksi ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa hyödyntämällä ja rakenteiden osalta eristämällä tehokkaasti. Uudistuneet määräykset mahdollistavat rakennuksen energiatehokkuusvaatimusten täyttämisen joustavasti yhdistelemällä eri lämmöntuotantotapoja sekä rakenteellisia ratkaisuja. Määräyksissä ei kuitenkaan juuri huomioida rakennuksen automaation vaikutusta energiankulutukseen.

Taulukko 1. Rakennusten energiatehokkuuslainsäädäntö vuoden 2007 jälkeen

| Vuosi              | 2007     | 2010 | 2012     | 2013                                       | 2015                      | 2020   |
|--------------------|----------|------|----------|--|---------------------------|--|
| Lait ja määräykset | D3 ja D5 | D5   | D3 ja D5 | Laki rakennuksen energiato-<br>distuksesta | Energiatehok-<br>kuuslaki | Kaikki uudisra-<br>kennukset lähes<br>nollaenergiara-<br>kennuksia |

Energiatehokkuusvaatimusten kiristytessä nykyisiä rakenteita ja teknisiä järjestelmiä on kehitetty energiatehokkaammiksi. Nollaenergiarakennusten tavoitteeseen pääsemiseksi on alettu rakentamaan uusia sekä saneeraamaan vanhoja kiinteistöjä nk. passiivirakenteisiksi. Passiivitalojen on kuitenkin epäilty aiheuttavan sisäilmaongelmia rakenteen vähäisen hengittävyuden johdosta, mikä on erityisesti mediassa tuotu esille [3; 4]. Koska rakennuksen ilmanvaihto vaikuttaa merkittävästi kiinteistön energiatehokkuuteen, ilmanvaihtokoneiden sekä kanavistojen suunnittelua on alettu ohjaamaan kiristämällä SFP-luvun hyväksyttyä ylärajaa. Tiukemmat määräykset SFP-luvulle johtavat suurempiin kanavakokoihin ilmastointikanavamitoituksissa. Jos erityisesti ilmastoinnin runkokanavia jatkuvasti kasvatetaan, ne tulevat viemään kiinteistön sisätilasta aina vain suuremman osan. Tämä vaikuttaa kiinteistön rakenteelliseen ja arkkitehtuuriseen suunnitteluun, esimerkiksi kerroskorkoihin ja julkisivuihin. Kun nykyiset energiatehokkuuden parantamiseen käytetyt keinot näyttävät tuovan mukanaan myös uusia haasteita, tarve parantaa energiatehokkuutta myös muilla tavoilla kasvaa. Rakentamisen energiatehokkuuden eteen on kuitenkin tehty jo vuosia töitä eri määräysten muodossa, joten nykyisen tekniikan tulisi olla jo hyvinkin energiatehokasta. Vaatiiko kiinteistön energiatehokkuuden parantaminen kehittämään vielä uutta tekniikkaa, vai onko nykyisten määräysten perusteella rakennettuja järjestelmiä mahdollista käyttää nykyistä energiatehokkaammin?

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrää uudet rakennukset suunniteltavaksi ja rakennettavaksi siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti [5]. Automaatiota hyödyntämällä voidaan estää energian tarpeeton käyttö, jos kiinteistön toimintaa ohjataan oikein. Uusien kiinteistöjen talotekniset järjestelmät sekä rakennusautomaatio vaativat kuitenkin usein 1-2 vuoden seurantaakin sekä mahdollista uudelleenvirittämistä rakennuksen luovutuksen jälkeen, ennen kuin ne toimivat energiatehokkuuden kannalta optimaalisesti. Tämänkin jälkeen järjestelmien toimintaa tulisi seurata ja huoltaa säännöllisesti. Kiinteistöjen taloteknisten järjestelmien seurannan ja ylläpidon sekä huollon tärkeyttä ei kuitenkaan ole huomioitu aina riittävästi. [6, s.223.]



## 1.2 Tavoite ja hypoteesit

Insinööriyön lähtöolettamuksena on, että Suomen nykyisessä rakennuskannassa on mahdollista saavuttaa säästöjä kiinteistöjen energiankulutuksessa varmistamalla kiinteistön taloteknisten järjestelmien suunnitelmien mukainen sekä järkevä toiminta. Kiinteistöjen järjestelmien toiminnan puutteellisesta seurannasta johtuen energiaa voidaan hukata kiinteistöissä esimerkiksi lämmittämällä tai jäähdyttämällä tiloja tarpeettomasti. Tyypillisesti ilmanvaihtoa myös ohjataan tiloihin täyttä kuormitusta vastaavalla ilmamäärällä silloinkin, kun tila ei ole käytössä. Myös rakennuksen säätö- sekä automaatiojärjestelmissä voi olla puutteita, johtuen esimerkiksi vääristä asetusarvoista, tai huoltojen laiminlyönnistä.

Insinööriyön tavoitteena on löytää ongelmakohtia nykyisten määräysten perusteella suunniteltujen kiinteistöjen LVI-tekniisiä järjestelmiä ohjaavissa automaatiojärjestelmissä. Lisäksi tavoitteena on löytää syitä, jotka johtavat ongelmakohtien ilmenemiseen sekä ratkaisumallit ongelmakohtien korjaamiseen.

## 1.3 Toteutus

Työn teoriaosuudessa esitellään olemassa olevien kiinteistöjen taloteknisten järjestelmien tavanomaisten säätö- ja ohjausjärjestelmien hyödyntäminen energiatehokkuuden kannalta. Tutkimusosiossa selvitetään kolmen eri esimerkkikohteen LVI-järjestelmien automaatio-ohjauksen sekä säädön nykytila ja mahdolliset ongelmakohdat. Mahdollisten ongelmakohtien pohjalta esimerkkikohteiden rakennusautomaatioon suunnitellaan ohjelmalliset sekä mahdolliset fyysiset korjaustoimenpiteet. Pääpainona on mahdollisilla korjaustoimenpiteillä saavuttaa säästöä kiinteistön ostoenergiankulutuksessa.

Lopputuloksena saadaan tilaajalle selvitys vuonna 2007 voimaan tulleiden rakentamismääräysten perusteella rakennettujen/saneerattujen kiinteistöjen rakennusautomaatiossa esiintyvistä puutteista energiansäästön kannalta. Insinööriyö tarjoaa myös esimerkkiratkaisuja näiden puutteiden korjaamiseen.

Insinööriyön tilaajana on Vahanen Talotekniikka Oy. Vahanen Talotekniikka Oy on osa Vahanen-yhtiötä, joka on suuri suomalaisomisteinen rakennus- ja kiinteistöalan asiantuntijaorganisaatio. Vahanen Talotekniikka Oy:n pääasiallinen toimiala on kiinteistöjen

taloteknisiin järjestelmiin sekä energiatehokkuuteen liittyvät suunnittelu- sekä konsultointitehtävät. Insinööriyön tutkimusosuus toteutetaan kevään 2017 aikana.

#### 1.4 Rajaus

Tutkimusosuuden esimerkkikohteiksi valitaan suuret kiinteistöt, kuten julkiset päiväkodit ja opetuslaitokset tai toimistorakennukset. Tarkasteltavissa kiinteistöissä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Lisäksi kiinteistöt on rakennettu vuonna 2007 voimaan tulleiden tai uudempien rakentamismääräysten mukaan. Esimerkkikohteina ei ole asuinrakennuksia.

Tässä insinööriyössä ei tarkastella tai kehitetä uusia tapoja säätää kiinteistöjen LVI-tekniisiä järjestelmiä rakennusautomaation avulla. Lähtöolettamuksena on, että nykyiset järjestelmät ovat hyvinkin toimivia ja tehokkaita, jos ne toimivat oikein. Jos olemassa olevia rakennusautomaatiojärjestelmiä kehitetään eteenpäin, ne vaativat asentamaan yleensä uusia ohjausohjelmia, antureita ja mittauspisteitä. Mitä enemmän järjestelmässä on tekniikkaa, sitä enemmän on kohtia, jotka voivat toimia virheellisesti. Nykyisen kiinteistönhuollon resursoinnin johdosta voidaan päätellä, että yksinkertaisempi ratkaisu on parempi vaihtoehto. Tällä minimoidaan huollon tarve sekä varmistetaan tehokas ja suunnitelmien mukainen toiminta.

## 2 Rakennusautomaatio

### 2.1 Rakennusautomaatio LVI-järjestelmissä

Rakennusautomaatio LVI-järjestelmissä on pitkälti säätötekniikan ohjaamista automaattisesti. Itsestään säätäviä säätimiä on LVI-tekniikassa käytetty jo pitkään, näitä ovat esimerkiksi termostaattiset venttiilit. Nykyisin rakennusautomaatiolla kuitenkin tarkoitetaan tekniikkaa, jossa digitaalisten signaalien ja tiedonsiirron sekä ohjelmoinnin avulla valvotaan ja säädetään tekniikkaa automaattisesti. [6]

## 2.2 Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne ja käyttöliittymä

Nykyisen käytännön mukaan rakennettu rakennusautomaatiojärjestelmä on perusrakenteeltaan tyypillisesti kolmitasoinen. Tehtäväalueiden mukaan jaotellaan kolme päätasoa:

- Hallintotaso. Taso on hierarkiassa ylimpänä. Tähän kuuluu valvomot; kiinteistössä sijaitseva paikallisvalvomo ja mahdolliset etävalvomot. Valvomon avulla käyttäjä voi seurata, ohjata ja valvoa järjestelmän toimintaa.
- Automaatiotaso. Tähän kuuluvat alakeskukset. Alakeskus kerää mittalaitteiden välittämät tiedot, sekä välittää eri ohjauskäskyt eteenpäin toimilaitteille. Lisäksi ohjausviestien laskeminen, sekä muu laskenta suoritetaan yleensä alakeskuksissa.
- Kenttätaso. Taso on hierarkiassa alimpana. Kenttälaitteet ovat antureita ja toimilaitteita, joiden viestien perusteella säädetään prosessien toimintaa. Esimerkiksi huoneantureiden perusteella säädetään ilmanvaihtokoneen toimintaa. [6]

## 3 Rakennusautomaation vaikutus energiatehokkuuteen

Ensimmäisten säätö- ja valvontajärjestelmien toiminnan tarkoitus oli ylläpitää suotuisat ja määräysten mukaiset sisäympäristön olosuhteet, vaikka ulkoiset olosuhteet tai tilojen kuormitus muuttuisi. Kiristyvät energiatehokkuusvaatimukset ovat kuitenkin pakottaneet hyödyntämään rakennuksen säätöjärjestelmiä myös energiansäästötarkoituksissa.

Paremmat hyötysuhteet esimerkiksi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottolaitteessa tai puhaltimessa ja tehokkaammat eristykset ulkoseinissä vähentävät kiinteistön jatkuvaa energiankulutusta merkittävästi. Nykyisten rakentamismääräysten perusteella rakennetussa kiinteistössä rakenteiden eristävyys sekä LTO-laitteiden hyötysuhteet ovat kuitenkin niin energiatehokkaat, ettei niitä parantamalla saavuteta enää suuria säästöjä. Aja-tuksen tasolla yksinkertaisin keino vähentää kiinteistön energiankulutusta on poistaa energiankäytön tarve kokonaan. Edullisinta energiaa on säästetty energia, eli energia, jota ei käytetä ollenkaan. Kiinteistöjen energiantarvetta ei tietenkään voida poistaa kokonaan, mutta on tärkeää välttää tarpeetonta energiankäyttöä. Tarpeeton energiankäyttö voidaan minimoida nykyaikaisilla säätöjärjestelmillä. Energiatehokkaan säätöjärjestelmän prosessien tulee mukautua vaihtuviin käyttäjämääriin ja olosuhteisiin. Lisäksi kokonaisjärjestelmä on hyvä olla jaoteltu pienempiin osiin, joita voidaan ohjata ja säätää yksilöllisesti.

Sen lisäksi että ohjauksen tulee mukautua muuttuviin tilanteisiin, energiatehokkaan rakennusautomaatiojärjestelmän pitää toimia optimaalisesti. Optimaalisesti toimiva rakennusautomaatiojärjestelmä säättää alituisesti omaa toimintaansa optimaaliselle toimintalueelle eri antureiden toimittaman datan avulla. Eri taloteknisten järjestelmien ohjauksen tulee myös toimia yhtenäisesti, jolloin ei synny tilanteita, joissa järjestelmät toimivat ristiriidassa. Energiatehokkuuden kannalta ristiriitainen tilanne on esimerkiksi, jos kiinteistön patterilämmitysjärjestelmä lämmittää jotain tilaa, samalla kun jäähdytysjärjestelmä jäähdyttää samaa tilaa.

Erittäin tärkeää on myös järjestelmän toiminta häiriötilanteissa. Rakennusautomaatiojärjestelmän tulee valvoa toimintaansa hälytyksin ja mittauksin. Mikäli vika- tai häiriötilanteita syntyy, optimaalisesti toimiva rakennusautomaatiojärjestelmä hälyttää ja reagoi välittömästi. Vika- tai häiriötilanteesta paluu optimaaliseen toimintaan tulee tapahtua nopeasti, vikatilassa toimiva järjestelmä tuhlaa energiaa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän on mahdollista myös tallentaa suuret määrät dataa taloteknisten järjestelmien toiminnasta. Järjestelmän historiallista energiankulutus- ja energiatehokkuusdataa säännöllisesti analysoimalla voidaan huomata mahdollisia parannuskohtia järjestelmän toiminnassa energiatehokkuuden kannalta.

### 3.1 Hälytykset

Nykyaikaiset rakennusautomaatiojärjestelmät ohjaavat ja valvovat kiinteistön taloteknisiä laitteita jatkuvasti. Järjestelmä hälyttää vikatilanteessa tarpeen mukaan, jos järjestelmä ei toimi oikein, tai käyttäjältä vaaditaan toimenpiteitä. Hyvin suunnitellun järjestelmän tulee antaa hälytyksiä riittävän laaja-alaisesti eri häiriötiloista, jolloin pienemmätkin ongelmat ja häiriöt eivät jää huomioimatta. Vikatilanteiden paikallistamista ja korjaamista nopeuttaa myös, jos hälytykset on luokiteltu niiden tyyppin ja kiireellisyyden mukaan omiin luokkiinsa. Täten korjaustoimenpiteet voidaan priorisoida asiasta vastaavalle oikealle henkilölle. [6, s. 224.]

Suuri määrä kuittaamattomia hälytyksiä kertoo, ettei kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmä ja huolto toimi optimaalisesti. Tällöin myös energiatehokkuudessa on parantamisen varaa.

### 3.2 Aikaohjaukset

Rakennusautomaatiota hyödyntämällä voidaan ohjelmoida laitteiden käyntiaikoja. Tyyppillisesti näitä käytetään ilmanvaihtokoneiden sekä valaistuksen ohjauksessa. Aikaohjelmilla voidaan esimerkiksi asettaa ilmanvaihtokoneet toimimaan täydellä teholla vain silloin, kuin kiinteistössä on käyttöä, ja muulloin vähentää ilmanvaihdon tehoa. Aikaohjaukset toimivat parhaiten silloin, kun ilmanvaihtokoneet on jaoteltu eri palvelualueisiin. Täten eri tilojen vaihtelevat käyttöasteet voidaan huomioida tehokkaimmin. Tilojen käyttöajat voivat muuttua kiinteistön elinkaaren aikana, jolloin aikaohjauksia pitää tarkastella uudelleen. Aikaohjauksen hyödyntäminen on tehokkaimpia tapoja vähentää kiinteistön turhaa energiankäyttöä. [6, s. 226.]

### 3.3 Mittaus- ja kulutusseuranta

Kiinteistön LVI-järjestelmän tilasta ja toiminnasta saadaan tietoa keräämällä eri anturien mittauksia tietokantaan. Tarkastelemalla kerättyjä tietoja pitkällä aikavälillä voidaan havainnoida toiminnassa, ja erityisesti säädössä, esiintyviä mahdollisia epätarkkuuksia. Kehittyneimmät rakennusautomaatiojärjestelmät analysoivat automaattisesti itse mittausdataa ja pyrkivät näiden pohjalta laskemaan sopivat säätöarvot järjestelmälle, mukautuen sen hetkisiin olosuhteisiin.

Yksinkertaisemmatkin automaatiojärjestelmät kuitenkin usein tallentavat mittautietoja niin kutsuttuun trendiin. Trendi tallentaa yhden tai useamman mittaussuureen lukuarvon tietyssä ajankohtana ohjelman muistiin. Trendiseurantaan tallennettavat suureet voivat olla myös laskennallisia, kuten LTO-hyötysuhde. Trendiseuranta tallentaa lukuarvoja jatkuvasti ennalta määritetyn aikavälin perusteella, esimerkiksi kerran minuutissa tai kerran tunnissa. Kerätyt lukuarvot tulee tarkastelua varten tulostaa graafiseksi esitykseksi.

### 3.4 Yö- ja vapaajäähdytys

Kesällä yöaikaan voidaan ilmanvaihdon automaatio-ohjausta hyödyntämällä viilentää rakennuksen rakenteita puhaltamalla viileää ulkoilmaa rakennukseen, olosuhteiden niin salliessa. Näin voidaan vähentää rakennuksen vaatimaa päivän ensimmäisten käyttötuntien jäähdytysenergian tarvetta. Kesällä yöaikaan ulkoilma on usein hyvinkin kosteaa,

mikä tulisi ottaa huomioon yöjäähdytysohjelmia hyödynnettäessä. Tästä huolimatta yöjäähdytys on todettu melkein riskittömäksi, ja sitä suositellaan hyödynnettäväksi kaikissa käytönaikaista jäähdytystä vaativissa tiloissa [6, s. 238].

Tiloja joissa on suuri sisäinen lämpökuorma, esimerkiksi serveritilat, joudutaan usein jäähdyttämään, vaikka ulkona on viileää. Tässä tilanteessa voidaan jäähdytysjärjestelmän kylmäkoneen kylmäaine ohjata kompressorin ohi suoraan lauhduttimelle, jossa ulkoilma riittää jäähdyttämään aineen eikä kompressorin kuluta sähköä tarpeettomasti. Tätä kutsutaan vapaajäähdytykseksi. Prosessin tehokkuus riippuu suoraan ulkoilman lämpötilasta. Moderneilla komponenteilla varustettu vapaajäähdytysjärjestelmä pystyy toimimaan suurimmalla tehollaan vain noin 0 °C:n ulkolämpötilaan asti. Ulkolämpötilan noustessa 7 °C:seen maksimiteho on pudonnut jo noin puoleen. [7, kuva 2.]

Yhteenvedona rakennusautomaatiota voidaan käyttää energiatehokkuutta parantavana työkaluna. Eri tavat, joilla rakennusautomaatiota hyödynnetään, voidaan jakaa seuraaviin osiin:

- Rakennusautomaation avulla voidaan optimoida eri prosesseja, prosessit ohjautuvat tarpeen mukaan
- Vika- ja häiriötilanteissa rakennusautomaatiojärjestelmä hälyttää. Aika- sekä energianhukka, joka kuluu virheelliseen toimintaan sekä korjauksiin, minimoidaan
- Rakennusautomaatiojärjestelmän prosessien toimintaa ja tehokkuutta voidaan seurata nykyhetkellä ja historiallisesti. Tämän pohjalta käytännön toimintaa voidaan ymmärtää ja kehittää.

#### **4 Virheelliselle toiminnalle altistavat tekijät**

Tässä kappaleessa esitellään mahdollisia syitä sille, miksi rakennusautomaatiojärjestelmä toimii virheellisesti. Mahdollisten vikakohtien syntyminen voidaan ajankohdallisesti jakaa pääpiirteittäin kolmeen osaan: suunnittelun aikana, urakoinnin aikana sekä käytön aikana syntyviin ongelmiin.

Suunnittelun aikana tehdyt virheet automaatiojärjestelmissä ilmenevät lähinnä epätehokkaina asetusarvoina, jotka johtavat järjestelmän toimimiseen optimaalisen alueen ulko-

puolella. Ongelmat suunnittelussa voivat johtua vanhentuneista käytännöistä, tai pätevyyden puuttumisesta. Vanhentuneiden käytäntöjen tapauksessa rakennusautomaatioasioihin ei suunnitteluvaiheessa kiinnitetä riittävästi huomiota. Tällöin koneiden toimintaselostukset ja laitteiden säätöarvot määritetään vakiintuneiden käytäntöjen, tai mallipohjien perusteella. Nämä käytännöt voivat olla vanhentuneita, eivätkä vastaa taloteknisissä järjestelmissä tapahtunutta nopeaa muutosta viimeisen 10 vuoden aikana. Pätevyyden puuttuessa LVI-suunnittelija vastaa osaltaan myös kohteen taloteknisten järjestelmien ja koneiden automaatiosuunnittelusta. LVI-suunnittelijalta ei välttämättä löydy tarpeeksi osaamista tämän tehtävän suorittamiseen parhaalla mahdollisella tavalla. LVI-suunnittelua tekevät tyypillisesti LVI-insinöörin koulutuksen saaneet henkilöt. LVI-insinöörin koulutus pääkaupunkiseudulla ei anna tarpeeksi taitoja toteuttaa rakennusautomaatiosuunnittelua, vaan osaamista täytyy kerryttää muualta.

Urakoinnin aikana automaatiourakoinnin toteutus on riippuvainen muiden urakoitsijoiden aikatauluista. Monet asennukset sekä säädöt voidaan suorittaa vasta kun muut talotekniset järjestelmät on kokonaan asennettu. Täten mahdolliset viivästykset muissa urakoissa vähentävät automaatiourakoinnille varattua aikaa. Säädöille ja koekäyttöille ei välttämättä jää riittävästi aikaa, jolloin järjestelmään voi helposti jäädä virheitä eikä automaatio toimi uutenakaan optimaalisella tavalla. [8]

Urakoinnin aikana ohjelmistoihin tai anturien ja säätimien kytkentöihin voi siis jäädä virheitä. Luonteensa johdosta, osa virheistä tulee esille vasta käytön aikana. Kiinteistön käyttöönotossa tulisi varmistua siitä, että käyttäjä huomaa nämä mahdolliset virheet. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu. Urakoinnin jälkeen kiinteistö toimii suunnittelijan antamalla lähtöarvoilla, jotka eivät välttämättä vastaa käytännön toiminnan optimaalisinta tasoa. Suunnittelija ja urakoitsija eivät enää ohjaa tekniikan toimintaa vaan vastuu on siirretty kiinteistön omistajalle. Kiinteistönhuollon kilpailutuksesta johtuen huoltomiehet vaihtuvat usein, sekä yhdellä huoltomiehellä on useita kohteita hoidettavanaan. Tieto kiinteistön tekniikan toiminnasta ei siirry eteenpäin. Kiinteistöjen toiminnan ymmärtäminen vaatii pitkäaikaista perehtymistä ja seuraamista sekä teknistä osaamista. [8]

Jos teknistä osaamista ei ole riittävästi, tai kiinteistön toimintaan ei ole perehdytty, käyttäjien huomautuksien pohjalta voidaan tehdä muutoksia rakennusautomaatiojärjestelmään, joiden vaikutuksia ei ole ymmärretty. Tyypillinen ongelma on esimerkiksi lämmityksen säätökäyrän sivuttaissiirto kiinteistön käyttäjien kylmyydentuntemusten ja valitus-

ten johdosta. Näissä tilanteissa sivuttaissiirretty käyrä ohjaa kiinteistön patterilämmitysverkostoa lämmittämään tiloja turhan lämpimällä ulkolämpötilalla keväisin ja kesäisin. Parempi ratkaisu vähentää kylmyyden tunteesta johtuvia ongelmia kiinteistössä on lisätä patterilämmityspiirin säätökäyrälle lisää ohjauspisteitä. Tällöin patterilämmityspiiriä ei säädetä lineaarisesti, vaan käyrän jyrkkyys vaihtelee eri ulkolämpötiloissa. Lämpimällä säällä ei lämmitetä turhaan mutta kylmällä säällä lämmitystä tehostetaan.

## 5 Kenttätutkimuksen kohteet

Rakennusautomaatiossa energiankäytön kannalta ilmenevien puutteiden havainnoimiseksi suoritetaan kenttätutkimuksia. Tutkimukset suoritetaan kolmessa eri koulurakennuksessa, jotka valittiin vastaamaan rajausta. Kiinteistöt ovat Helsingin kaupungin kiinteistöviraston tilakeskuksen hallinnoimia.

### 5.1 Kohde 1: peruskoulu

Kohde 1 on vuonna 1960 valmistunut opetusrakennus. Rakennus on betonirunkoinen, julkisivu on tehty paikallamuuratusta tiilestä ja ikkunat ovat 3-lasiset puuikkunat. Rakennusta on perusparannettu seitsemän kertaa elinkaarensa aikana. Viimeisin perusparannus on toteutettu vuonna 2012. Perusparannus koskee pääosin LVI- ja sähköjärjestelmiä, lisäksi myös rakenteiden korjaamista on tehty.

Kiinteistö on kytketty Helsingin Energian kaukolämpöverkkoon. Lämpö jaetaan vesikierroksen patteriverkoston kautta. Ilmanvaihdolla (n. 500 kW), käyttöveden lämmityksellä (n. 380 kW) sekä patterilämmityksellä (n. 500 kW) on jokaisella omat lämmönsiirtimensä. Kaukolämmön alakeskuksen mittaukset, säädöt ja ohjaukset on liitetty lämmönjakohuoneessa sijaitsevaan valvonta-alakeskukseen. Kaukolämmön mittauskeskus on varustettu laittein, joilla kulutustiedot siirretään etälukujärjestelmään. Lisäksi kulutustiedot voidaan lukea automaatiojärjestelmästä.

Rakennuksen patterilämmitysjärjestelmä on jaettu kahteen, pohjois- ja eteläfasadien, lämmityspiiriin. Tämän tulisi helpottaa verkoston säätöä ja laskea energiankulutusta. Molemmat lämmityspiirit on varustettu automaattisin ilmanpoistimin ja täyttölaittein, joista



tuodaan hälytykset rakennusautomaatiojärjestelmään. Märkäeteiset ja tuulikaapit on varustettu oviverhokojeilla ja kiertoilmalämmittimillä.

Käyttövesiverkoston ja patteriverkoston kiertovesipumput ovat vanhoja. Ilmanvaihtoverkoston kiertovesipumppu on uusittu vuoden 2012 perusparannuksessa taajuusmuuttajaohjatuksi pumpuksi.

Rakennusten ATK-tilassa sekä serveritilassa on glykolikierrolla toteutettu jäähdytysjärjestelmä. Tämä on kuitenkin kytketty pois tarpeettomana.

Rakennuksessa on koneellinen sekoittava ja osin syrjäyttävä tulo-poisto-ilmanvaihtojärjestelmä. Ilmastointijärjestelmät ovat kokonaan uusittu vuoden 2012 perusparannuksessa. Ilmastointi on mitoitettu täyttämään Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset sisäilmastoluokat. Ilmanlaadun osalta luokituksena on käytetty luokkaa S2, huonelämpötilan osalta S3 ja äänitason osalta S3.

Kaikki ilmanvaihtokoneet on varustettu taajuusmuuttajilla, ja niiden ohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmän kautta. Likainen poistoilma poistetaan vesikatolle asennetuista taajuusmuuttajaohjatuista huippuimureista. Yleisilmanvaihdon ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto on toteutettu pyörivillä, regeneratiivisilla lämmönsiirtimillä. Rakennuksessa on keittiö rasvapoistolla sekä kohdepoistoja puutyöluokassa. Keittiön erillispoiston lämmöntalteenotto on toteutettu nestekiertoisella neulapatteri LTO:lla.

Rakennukseen on asennettu kiinteistöautomaatiojärjestelmä, johon kuuluu kolme alakeskusta sekä valvomolaitteisto. Järjestelmään on liitetty LVI-ohjausten lisäksi valaistuksen aikaohjaukset, sulatusohjaukset sekä sähköjärjestelmien hälytysindikoinnit.

## 5.2 Kohde 2: peruskoulu

Kohde 2 on betonirunkoinen ja tiiliverhoiltu opetusrakennus, joka on peruskorjattu vuonna 2015. Samassa kiinteistössä toimii lisäksi päiväkot.

Kiinteistö on liitetty kaukolämpöverkkoon. Lämpö jaetaan vesikiertoisen patteriverkoston kautta, märkätiloissa on lattialämmitys. Kylmähuoneissa on split-koneilla toteutettu jäähdytysjärjestelmä. Kiinteistön tuulikaapeissa on ilmanvaihdon lämmityspiiriin kytketyt kiertoilmakeijit.

Kiinteistö on varustettu koneellisella tulo-poisto-ilmanvaihtojärjestelmällä, jossa on lämmöntalteenotto. Ilmanvaihtokoneet on kytketty kahteen alakeskukseen. Koneet on pääasiassa toteutettu pyörivällä lämmöntalteenotolla. Keittiötä palvelevassa ilmanvaihtokoneessa on glykolinestevälitteinen lämmöntalteenotto. Lisäksi kohteessa on kaksi pientä ns. paketti-ilmanvaihtokonetta, joissa on levylämmönsiirtimillä toteutettu lämmöntalteenotto.

Rakennukseen on asennettu kiinteistöautomaatiojärjestelmä, johon kuuluu alakeskukset sekä valvomolaitteisto. Valvomotietokoneelle on asennettu WebVision -valvomo-ohjelmisto.

### 5.3 Kohde 3: peruskoulu

Kohde 3 on vuonna 2005 valmistunut betonirunkoinen ja puuverhoiltu opetusrakennus. Samassa kiinteistössä toimii lisäksi päiväkotii. Koulu on peruskorjattu ja laajennettu vuonna 2014.

Kohteen lämmitysmuoto on toteutettu uudenlaisten energiaratkaisujen testaamisen piiiottihankkeena. Rakennuksessa on hybridilämmitysjärjestelmä, jossa yhdistetään öljykattila, maalämpö sekä aurinkokeräimet. Aurinkokeräimiä on 16 kappaletta, ja niiden tuotantoteho on 150 kW. Maalämpökaivoja on 21 kappaletta, ja lämpöpumppujen mitoitusteho on 275 kW. Koulun maksimi lämmitystehontarve on 1200 kW. Öljylämpökeskuksen maksimiteho on 1500 kW, joten se on mitoitettu kattamaan koulun lämmitystarve kaikissa tilanteissa. Lämpö jaetaan vesikiertoisen patteriverkoston kautta, tuulikaapit on varustettu vesikiertoisilla kierrätysilmalämmittimillä. Ilmanvaihtokoneet ja kiertoilmalämmittimet on kytketty omaan verkkonsa.

Kiinteistö on varustettu koneellisella tulo-poisto-ilmanvaihtojärjestelmällä. Ilmanvaihtokoneissa on joko pyörivällä lämmönsiirtimellä tai levylämmönsiirtimellä toteutettu lämmöntalteenotto. Pääilmastointikoneilla on pyörivä lämmönsiirrin, opetuskeittiön, teknisen

työn tilan sekä alustatilojen IV-kojeet on varustettu levylämmönsiirrintyyppisillä lämmön talteenottolaitteilla. Kaikki ilmanvaihtokoneet ovat taajuusmuuttajaohjattuja. Laajennuksessa lisätyt uudet ilmanvaihtokoneet on varustettu tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mahdollistavalla automatiikalla. Ilmanjako on toteutettu pääsääntöisesti sekoittavalla periaatteella. Ilmanvaihtoa hyödynnetään myös tilojen jäähdytyksessä. Likainen poistoilma poistetaan vesikatolle asennetuista taajuusmuuttajaohjatuista huippuimureista

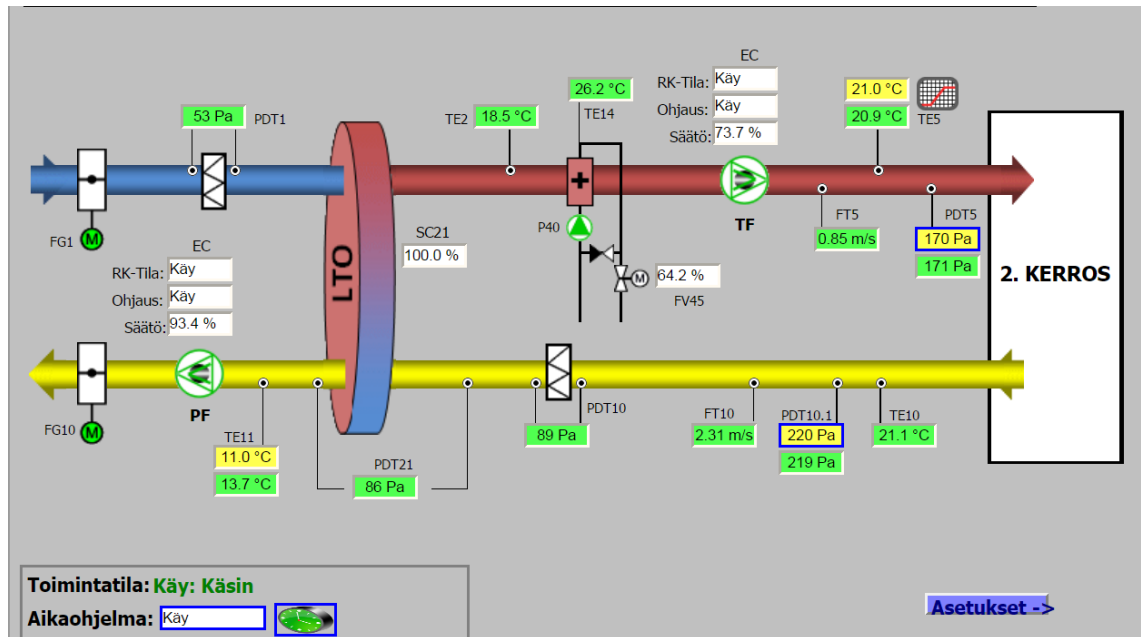
Rakennukseen on asennettu kiinteistöautomaatiojärjestelmä, johon kuuluu alakeskukset sekä valvomolaitteisto. Kiinteistö on varustettu energian- ja vedenkulutusmittareilla.

## **6 Ongelmakohtien etsiminen rakennusautomaatiojärjestelmästä**

Tässä luvussa esitellään tapoja, miten mahdollisia ongelmia rakennusautomaatiojärjestelmän toiminnassa lähdettiin referenssikohteista etsimään. Rakennusautomaatiojärjestelmiä tarkasteltiin kohdekierroksilla. Kiinteistön konehuoneissa sekä lämmönjakohuoneessa sijaitsevien laitteiden kunto tarkastettiin silmämääräisesti. Tarkempi tarkastelu tehtiin kirjautumalla kiinteistön valvomojärjestelmään. Valvomojärjestelmässä ongelmakohtien etsiminen aloitettiin kohteissa aina toimintakaavion sekä mittausantureiden keräämän datan trendiseurantaa tarkastelemalla.

### **6.1 Toimintakaavion tarkastelu**

Toimintakaavioita tarkasteltaessa voidaan havainnoida järjestelmässä olevat mahdolliset akuutit virhetilat. Kaaviosta nähdään järjestelmän laitteiden käyntitilat, sekä eri antureiden mittaama suureen reaaliaikainen arvo. Tärkeimpiä tarkasteltavia arvoja ovat lämpötilat sekä paineet. Jos lämpötilat poikkeavat suuresti suunnitelluista arvoista, poikkeaman syy tulee selvittää. Poikkeukselliset lämpötilat voivat johtua tehottomasta säädöstä tai ohjauksesta. Poikkeuksellisen suuret arvot paine-ero antureissa johtuvat usein vain tukkeutuneesta komponentista. Komponenttien, erityisesti suodattimien, tukkeutumisen pääasiallinen syy on niiden likaantuminen. Suunnitellusta poikkeavat arvot kanavapaineessa johtuvat taas useammin säädön tai ohjauksen puutteista.



Kuva 1. Kohteen 2 ilmanvaihtokoneen 204tk toimintakaavio

Kuvassa 1 on esitetty kohteen 2 ilmanvaihtokoneen 204tk toimintakaavio. Kuvassa anturit FT5 ja FT10 esittävät ilmanvaihtokoneen tuottaman tulo- ja poistoilmavirran nopeuden. Anturi FT5 näyttää ilmannopeudeksi 0,85 m/s. Anturi FT10 näyttää ilman nopeudeksi 2,31 m/s. Ilman nopeudet ovat suuresti epätasapainossa, mikä viestii mahdollisista puutteista säätöjärjestelmässä. Ulkolämpötila oli tarkasteluajankohtana +2 °C. Kuvassa anturi TE2 näyttää tuloilman lämpötilaksi lämmöntalteenoton jälkeen 18,5 °C. Lämmöntalteenoton teho on siis näiden lukemien perusteella normaali.

Tässä tilanteessa lämmityspatteri kuitenkin lämmittää vielä tuloilmaa. Anturista TE5 nähdään, että tuloilman lämpötilan asetusarvo, joka on merkitty keltaisella, on nostettu 21 °C:seen. Mitattu arvo on 20,9 °C, joten säätö toimii. Tässä tilanteessa voidaan kuitenkin pohtia, onko näin korkea tuloilman asetusarvo energiatehokkuuden kannalta järkevää. Lämmöntalteenotto toimii niin hyvin, että tuloilman lämpötila olisi yli 18 astetta ilman lämmityspatteriaakin. Tämä voisi olla parempi tuloilman lämpö, jos mahdollinen tarvittava tilalämmitystarve otetaan tilalämmitysjärjestelmästä pattereiden kautta, ilmanvaihtokoneen patterin sijaan. Tilojen lämmitys on usein energiatehokkaampaa tilojen lämmityspattereita hyödyntämällä kuin ilmalämmitystä hyödyntämällä. Näin voidaan säilyttää sama sisäilmaston taso energiatehokkaammin.

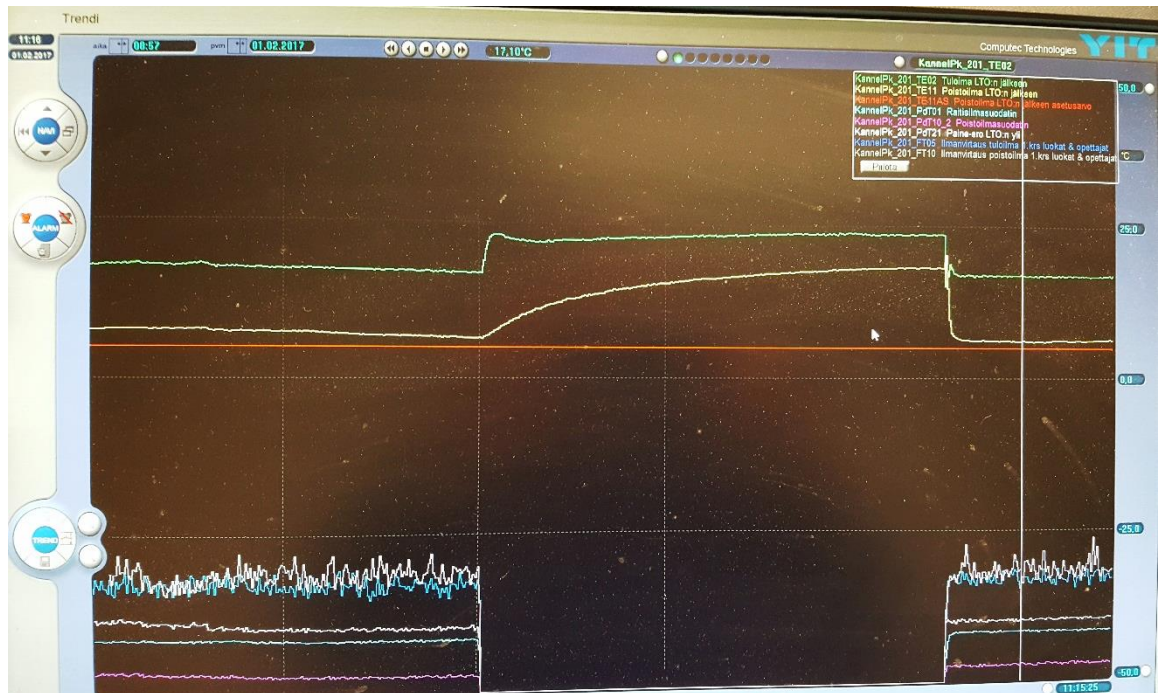
Lisäksi toimintakaaviosta voidaan tarkastella eri paineantureiden arvoja. Paine-eroantureiden arvot ovat enemmän apuna järjestelmän huollossa. Esimerkiksi paine-ero suodattimen yli kertoo, onko suodatin tukkeutunut. Suodattimien paine-erot voidaan lukea kuvasta 1 kohdista PDT1 ja PDT10. Paine-ero lämmöntalteenoton yli voidaan lukea kohdasta PDT 21. Paine-ero lämmöntalteenoton kiekon yli kertoo talvella kiekon mahdollisesta huurtumisesta ja jäätymisestä. Tällä on vaikutus energiatehokkuuteen. Painemittauksesta onkin hyvä tarkastella kiekon sulatuskäytön ohjelma ja käynnistyksen paine-raja.

Tärkeä asia ilmanvaihtokoneen energiatehokkuuden kannalta on sen käyntiajat. Kuten luvussa 3 kerrottiin, ilmanvaihtokoneita tulee ohjata aikaohjelmilla, jolloin niiden toimintaa voidaan optimoida kiinteistön käyttöaikojen perusteella. Esimerkiksi opetus- tai toimistorakennuksessa suurin käyttökuormitus on yleensä kello 7.00-16.00. Näin voidaan vähentää ilmanvaihtoa niinä aikoina, kun kiinteistö ei ole käytössä. On kuitenkin tärkeää huomioida, ettei ilmanvaihtoa voida kokonaan keskeyttää, jos kiinteistö ei ole käytössä. Pois päältä kytketty ilmanvaihto voi johtaa ongelmiin kiinteistön rakenteessa, erityisesti kosteuden siirtymisen johdosta. Perusilmanvaihto tulee olla käytössä aina.

Kuvasta 1 nähdään toimintatila-kohdasta ilmanvaihtokoneen käyvän käsikäytöllä. Tämä on tässä tilanteessa oikein, sillä kohteen saneeraus on valmistunut alle 2 vuotta ennen kohdekierrosta. Tästä johtuen kiinteistössä käytetään tehostettua ilmanvaihtoa. Jos kiinteistö on normaalikäytössä, toimintakaaviosta voidaan tarkastella ilmanvaihtokoneiden aikaohjaukset ja niiden ajantasaisuus sekä energiatehokkuus.

## 6.2 Trendikaavioiden tarkastelu

Valvomojärjestelmä mahdollistaa trendiseurantakaavioiden tulostamisen. Antureiden arvojen tarkastelu pitkällä aikavälillä on joissain tapauksissa tehokkaampi tapa etsiä virhe-toimintaa järjestelmässä, kuin toimintakaavion reaaliaikaisten arvojen tarkastelu. Ongelmat eivät usein tee suuria muutoksia koneen toimintaan hetkellisesti, joten pienet poikkeamat on helpompi huomata, kun ne skaalataan pidemmälle aikavälille. Pidemmän aikavälin trendiseurannasta huomataan myös, miten järjestelmä palautuu muutostilanteista, esimerkiksi puhallinnopeuksien tai lämpötilan muutoksesta.



Kuva 2. Kohteen 1 valvomotietokoneelta tulostettu trendiseuranta

Kuvassa 2 on kohteen 1 valvomotietokoneelta tulostettu trendiseuranta. Näytöllä on seurantapisteiden arvot 24 tunnin aikavälillä. Vuorokauden ajan tehty seuranta on hyvä lähtökohta järjestelmän toiminnan yleiseen tarkasteluun.

Kuvasta 2 nähdään esimerkiksi koneen aikaohjaus sekä toiminta käynnistys- ja pysäytystilanteissa. Kuvan yläosan vihreä ja keltainen käyrä esittävät tuloilman ja poistoilman lämpötilaa. Kuvan alaosan sininen ja valkoinen käyrä esittävät ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirtaa. Ilmavirtojen käyrää analysoimalla nähdään helposti koneen käyntiajat. Kuvan keskialueella käyrän arvojen pienentyessä nollaan kone on seis. Kuvan oikealla reunalla arvojen suurentuessa kone käynnistyy. Vaikka tulo- ja poistoilman lämpötilat muuttuvat koneen ollessa seis, koneen käynnistymisen jälkeisistä käyrän arvoista havaitaan, että lämpötila palaa nopeasti haluttuun tasoon eikä jää huojumaan.

Pidemmän aikavälin tarkastelussa suuret poikkeamat ja heitot tulevat selkeästi esille. Pääperiaatteena voidaan sanoa, että arvojen tulisi olla vakaita. Jos arvoissa on selkeitä suuria heittoja, tulee niiden syy selvittää. Kuvasta 2 havaitaan, että trendiseurannan käyrät ovat suhteellisen lineaarisia ilman suuria poikkeamia. Ainoa poikkeama syntyy koneen pysähtyessä ja käynnistyessä. Ilmavirtaa kuvaavissa käyrissä on kuitenkin huojun-

taa. Nämä käyrät näkyvät kuvassa 2 sinisellä ja valkoisella. Tämä huojunta johtuu kuitenkin vain mittausteknisistä seikoista. Ilmavirrat pyörteilevät kanavassa, joten virtausmittaus ei ole absoluuttisen tarkkaa.

Trendiseurannan avulla pystytään seuraamaan useita ilmanvaihtokoneessa tapahtuvia prosesseja. ST-käsikirjassa ”Kiinteistöjen valvomojärjestelmät” [8, s. 46] diplomi-insinööri Jukka Sulku erittelee seuraavat asiat tarkastettavaksi trendistä:

- sisäänpuhalluslämpötila ja sen mahdollinen kompensointi poisto- tai ulkolämpötilan mukaan suhteessa suunnitteluarvoihin
- lämmityspatterin paluuveden lämpötila sekä venttiilin avautumisaste sekä ilman lämpeneminen lämmityspatterissa
- paluuveden seuranta-ajan lämpötilan pysyvyys
- jäädytyspatterin venttiilin avautumisaste
- lämpötilat lämmöntalteenoton yhteydessä sekä säätötilanne
- sulatustilanne lämmöntalteenoton yhteydessä
- LTO-hyötysuhdelaskenta
- painesäätöjen pysyvyys
- mahdollisten vyöhykepeltien toiminta.

## 7 Kohdekäynnit ja datan keräys

Tässä luvussa esitellään havaintoja puutteista tutkimuskiinteistöjen järjestelmissä. Havainnot on tehty kohdekäynneillä tarkastelemalla kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmää valvomopäätelaitteen kautta.

### 7.1 Datan keräys, kohde 1

Kohteen 1 talotekniset järjestelmät on kytketty valvomopäätelaitteeseen, jossa on Computec-ohjelmisto. Valvomopäätelaitteesta tarkasteltiin sekä trendiseurantaa että toimintakaavioita. Ilmanvaihtokoneiden trendiseurantakaaviot näyttivät, että ilmanvaihtokonei-

den säätö on toteutettu tehokkaasti, ilman trendikäyrän ylimääristä huojuntaa tai eri arvojen ristiriitoja. Toimintakaavioista nähtiin kuitenkin, että osa asetusarvoista voisi olla energiatehokkaammalla alueella.

Lämmitysverkoston kiertoveden asetusarvo on turhan lämpimällä. Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätöventtiilit olivat kaikki 30-50 % välillä auki. Säätöventtiilien asennot on esitetty taulukossa 2. Yhdenkään säätöventtiilin aukeama ei ollut yli 50%. Säätöventtiilien ei tarvitse tässä tilanteessa aueta enempää kasvattaakseen lämmityspiirin kiertoveden virtaamaa, sillä kiertoveden lämpötila on korkea. Turhan korkea kiertoveden lämpötila kasvattaa siirtohäviöitä.

Taulukko 2. Kohde 1, ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätöventtiilien asennot

| kone   | 201tk | 202tk | 203tk | 204tk | 205tk | 206tk |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| lukema | 43 %  | 49 %  | 47 %  | 50 %  | 28 %  | 41 %  |

Kiinteistön lämmityspatteriverkoston kahden piirin säätö on molemmat toteutettu omalla säätökäyrällään, mikä on energiatehokasta. Säätökäyrässä on kuitenkin vain kaksi asetuspistettä, joiden välillä lämpötilan säätö tapahtuu lineaarisesti. Tästä johtuen kiertoveden lämpötila on noin 30 astetta, vaikka ulkolämpötila olisi 15 astetta. Kiinteistön rakenteet on perusparannettu, joten näin lämpimillä ulkolämpötiloilla ei välttämättä tarvita lämmitystä.

Patteriverkostossa ei ole myöskään automaattista säätöä pumpuille, joka pysäyttäisi pumput lämmityskauden ulkopuolella. Tästä johtuen lämmityspatteriverkoston kiertovesi kiertää verkostossa, vaikka lämmitystarvetta ei ole. Tämä on kuitenkin yleinen käytäntö nykyisin piirin sakkautumisen estämiseksi.

## 7.2 Datan keräys, kohde 2

Kohteen 2 talotekniset järjestelmät on kytketty valvomopäätelaitteeseen, jossa on WebVision-ohjelmisto. Valvomopäätelaitteesta tarkasteltiin sekä trendiseurantaa että toimintakaavioita. Kohteen 2 perusparannus on valmistunut vuonna 2015, joten kohteessa on vielä takuu aika voimassa. Koska perusparannuksesta ei ollut kiinteistökierron toteuttamisajankohtaan mennessä kulunut vielä kahta vuotta, osa ilmanvaihtokoneista kävi täysiaikaisesti ilman aikaohjelmia.



Kohteen trendiseurantakaavioissa on puutteita. Osa tilapisteistä ei ole kytketty trendiseurantaan. Myös joidenkin trendien skaala on virheellinen, jolloin koko trendikäyrä ei mahdu asteikolle.



Kuva 3. Virheellinen skaalaus kohteen 2 valvomon trendikaaviossa

Lisäksi toimintakaavioista havaittiin, että osa antureista voi antaa virheellisiä lukemia tai ilmamäärät ovat epätasapainossa. Valvomopäätelaitteen esittämät ilman nopeus sekä ilmamäärämittaukset olivat ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistopuolien välillä selkeästi epätasapainossa. Myös ilmanvaihtokone 201tk:n paineanturi, joka mittaa paine-eroa LTO-patterin yli, näytti valvomotietokoneella paine-eroksi 0 Pa.

Ilmanvaihtokoneiden patterilämmityspiiri sekä tilalämmityksen patteriverkosto vaativat uudelleensäätämistä. Pattereiden säätöventtiilien arvot vaihtelivat koneesta riippuen 36 %:n ja 83 %:n välillä. Säätöventtiilien asennot on esitetty taulukossa 3. Lisäksi lämmönjakokeskuksen säätökaavio näytti tilalämmitysjärjestelmän patteriverkoston meno- ja paluupuolen välisen paine-eron poikkeavan huomattavasti asetusarvostaan.

Taulukko 3. Kohteen 2 ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätöventtiilien asennot

| kone   | 201tk | 202tk | 203tk | 204tk | 205tk | 208tk |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| lukema | 51 %  | 36 %  | 52 %  | 68 %  | 83 %  | 37 %  |

Kiinteistössä on kaksi pientä ilmanvaihtokonetta, ns. pakettikonetta, jotka palvelevat käytävä-, wc- ja VSS-tiloja. Koneissa on lämmityspatteri, joka on kytketty IV-lämmitysverkkoon. Koneiden lämmityspatterit lämmittivät tuloilmaa liian korkeaksi. Ilmanvaihtokoneiden tuloilman lämpötilat on esitetty taulukossa 4. Nämä arvot todettiin myös kanaviin asennetuista lämpömittareista.

Taulukko 4. Kohteen 2 pakettikoneiden tuloilmalämpötilat

| kone   | 206tk   | 207tk   |
|--------|---------|---------|
| lukema | 24,9 °C | 30,6 °C |

Ilmanvaihtokoneen 207tk lämmityspatterin tehon säätö on toteutettu kuristamalla kiertoveden virtaamaa termostaattisella patteriventtiilillä, tyypillisen kolmitieventtiilisäädön sijaan. Säätö on esitetty kuvassa 4. Säätö ei pysty pitämään tuloilman lämpötilaa suunnitellussa lämpötilassa.



Kuva 4. Ilmanvaihtokoneen 207tk tuloilman lämpötilan säätö

Ilmanvaihtokoneen 206tk tuloilmalämpötilan säätö on toteutettu pakettikoneen sisäisellä säädöllä, joka ei ole kytketty rakennusautomaatiojärjestelmään. Tuloilman lämpötilan asetusarvo on esitetty kuvassa 5. Asetusarvo on liian korkea.



Kuva 5. Ilmanvaihtokoneen 206tk tuloilman lämpötilan asetusarvo

Kiinteistössä on tuulikaapeissa kiertoilmakoneet, joita ohjataan automaattisesti lämpötila-anturin perusteella. Kiertoilmakoneen puhallin menee päälle lämpötilan saavuttaessa alarajan. Kiertoilmakoneiden käynnistymisrajat on esitetty taulukossa 5. Niissä koneissa, joissa käynnistymisraja oli 19 astetta, puhallin kävi kiinteistön käyttöaikana huomattavan paljon.

Taulukko 5. Kohteen 2 kiertoilmakoneiden käyntirajat

| kone            | 251 KsK | 252 KsK | 253 KsK | 257 KsK | 254 KsK | 255 KsK | 256 KsK |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| käynti-<br>raja | 17 °C   | 17 °C   | 17 °C   | 17 °C   | 19 °C   | 19 °C   | 19 °C   |

Ilmanvaihtokone 205tk palvelee kiinteistön liikuntasalia. Valvomon toimintakaavio näyttää tuloilmamäärän anturin arvoksi  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Arvo on niin suuri, että anturissa tai yksikössä on todennäköisesti vikaa. Lisäksi ilmanvaihtokone 205tk palvelee vain yhtä tilaa, mutta käy silti koko ajan täydellä teholla, mikä ei ole energiatehokasta. Ilmanvaihtokoneen tuloilman anturia tarkasteltaessa havaittiin, että valvomon toimintakaaviossa on yksikkövirhe. Anturi mittaa ilman nopeutta ei ilmamäärää. Lisäksi tuloilmakanavan paine-eroa mittaava anturi antaa arvoksi poikkeuksellisen alhaisen kanavapaineen suhteessa ilmamäärään, vain 20 Pa.

Antureiden mittausarvot, erityisesti nopeus- ja virtausmittaukset heiluivat valvomosta luettuna. Antureiden sijoituksesta havaittiin, että erityisesti ilmanvaihtokone 202tk:n tuloilman virtaus- ja lämpötila-anturi FT5/TE5 oli asennettu mittausvirheen kannalta huonosti. Anturi on asennettu heti ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin viereen, kanavaliitännän

reunaan ennen kanavasupistusta. Sijoitus kanavan reunaan sekä lämmityspatterin vie-reen lisää anturin mittausvirhettä.

Ilmanvaihtokoneen 204tk tuloilman lämpötila on 21 °C, joten sitä voidaan mahdollisesti laskea. Lämmöntalteenotto toimii niin hyvin, että tuloilman lämpötila oli tarkastelutilanteessa yli 18 astetta ilman lämmityspatteriakin. Puuttuva lämmitysteho voitaisiin ottaa tilalämmitysjärjestelmästä ilmanvaihdon lämmityspatterien sijaan.

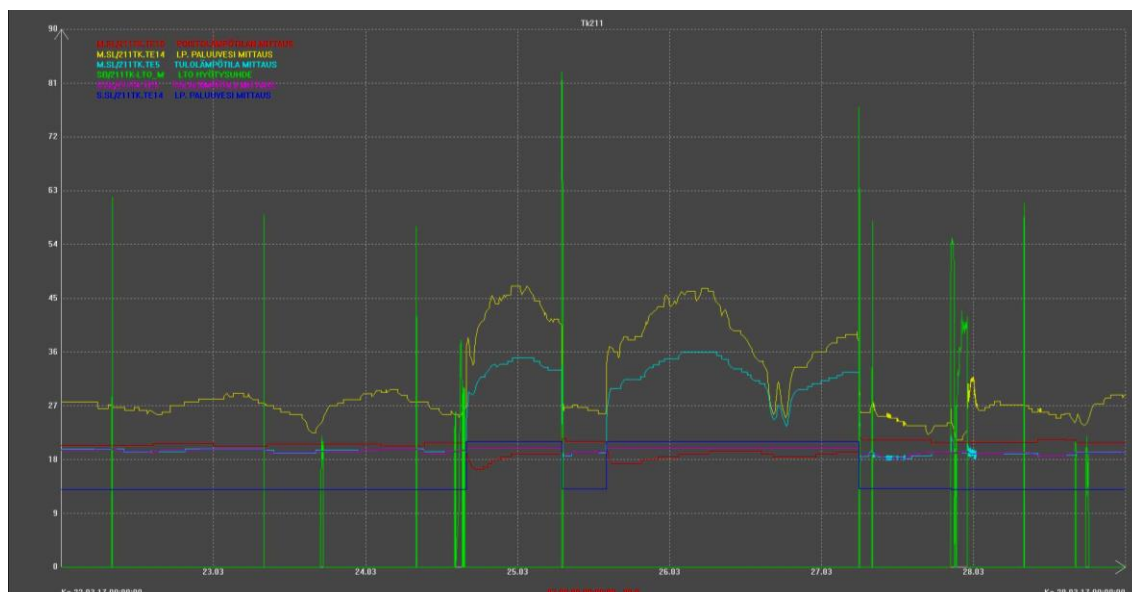
### 7.3 Datan keräys, kohde 3

Insinööriyön työmäärän laajentumisen vuoksi kohteeseen 3 tehtiin vain yksittäinen kohdekäynti. Ongelmakohtien etsiminen toteutettiin kohteessa valvomotietokoneen antaman datan perusteella. Järjestelmiä ei tarkasteltu fyysisesti, joten valvomon antaman datan oikeellisuutta ei tarkastettu. Tehdyt havainnot voivat siis johtua virheellisen toiminnan lisäksi rakennusautomaation antureiden toimittamasta virheellisestä datasta.

Kohteen valvomojärjestelmässä oli useita aktiivisia hälytyksiä. Kohteen huoltomiehen mukaan tämä on tyypillistä. Aktiiviset hälytykset viestivät rakennusautomaation mahdollisesta epätehokkaasta toiminnasta.

Ilmanvaihtokoneen tk211 lämpötila-anturi TE02 hälytti. Anturi TE02 mittaa tuloilman lämpötilaa lämmöntalteenoton jälkeen. Hälytys johtui tuloilman alhaisesta lämpötilasta lämmöntalteenoton jälkeen. Toimintakaavio esitti tuloilman lämpötilaksi +3,4 °C automaatiojärjestelmästä luetun ulkolämpötilan ollessa +0,6 °C. Ilmanvaihtokoneessa on pyörivä lämmöntalteenotto. Lämpötilojen perusteella voidaan päätellä, ettei LTO-kiekko toimi oikein. Toimintakaavio myös näytti LTO-kiekon suhteelliseksi pyörimisnopeudeksi 0 %.

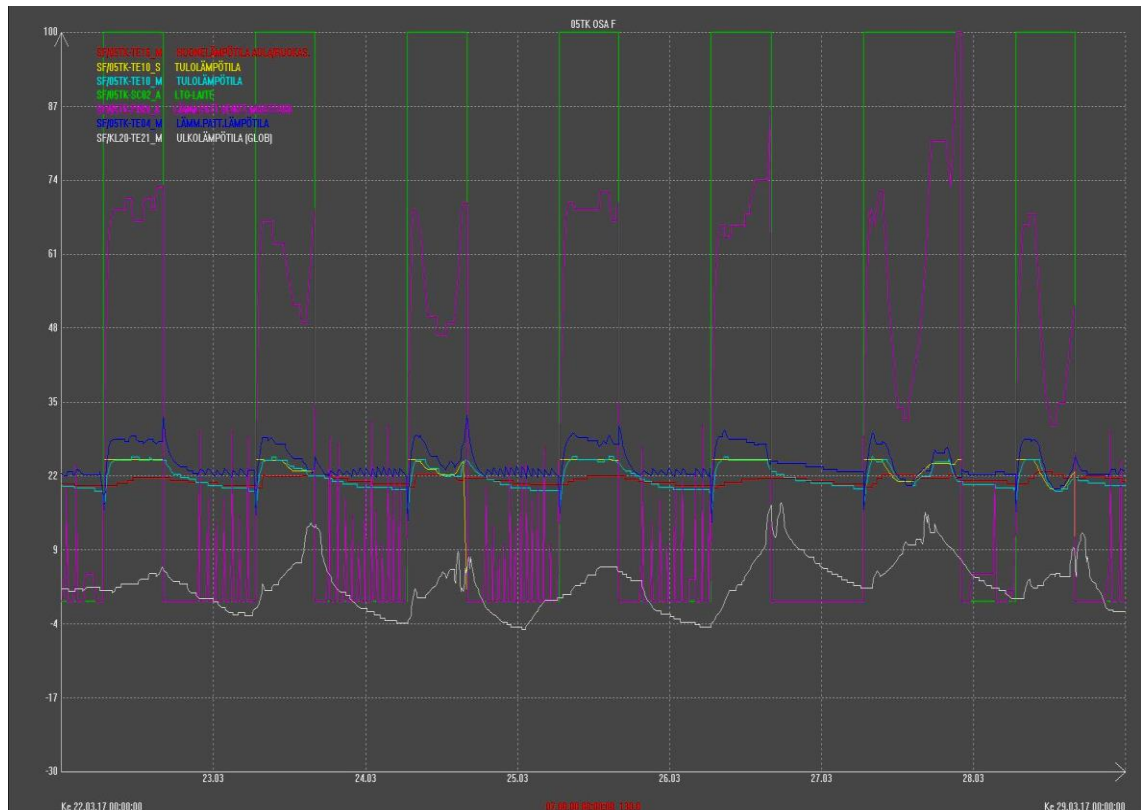
Ilmanvaihtokoneen tk211 lämmöntalteenoton historiallista toimintaa tutkittiin hakemalla valvomojärjestelmästä koneen trendi. Trendi on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Ilmanvaihtokoneen tk211 trendi kohdekäyntiä edeltävän 7vrk:n ajalta

Ilmanvaihtokoneen trendi piirtää automaatiojärjestelmän laskeman LTO-hyötysuhteen. LTO-hyötysuhde on esitetty kuvassa 6 vihreällä. Kuvan pystyakselin skaala on 0-90 välillä. Kuvasta nähdään, että hetkellisiä arvoja koneen käynnistymistilanteessa lukuun ottamatta lämmöntalteenoton hyötysuhde on 0. Lämmöntalteenotto ei trendin perusteella toimi.

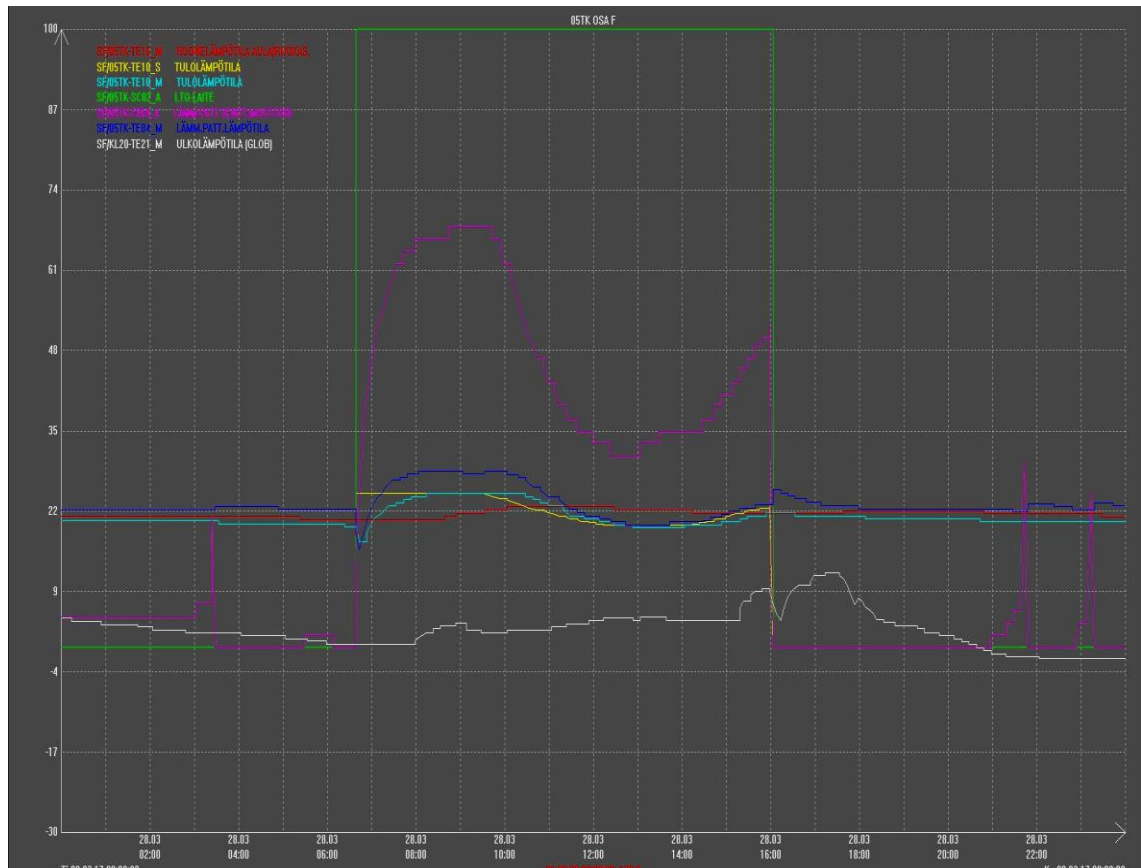
Ilmanvaihtokoneen 05tk toimintakaaviosta havaittiin poikkeama tuloilman lämpötilassa. Tuloilman lämpötila oli 27 °C, joka on liian suuri. Tuloilman lämpötilan anturin lukema tarkistettiin vertaamalla sitä ilmanvaihtokoneen tuloilmapuolen lämpötilamittariin, joka näytti myös 27 °C. Kohdekäynnin aikana tuloilman lämpötila alkoi hitaasti laskea. Tuloilman historiallista lämpötilaa tutkittiin hakemalla valvomojärjestelmästä ilmanvaihtokoneen 05tk trendi. Trendi on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Ilmanvaihtokoneen 05tk trendi kohdekäyntiä edeltävän 7vrk:n ajalta

Ilmanvaihtokoneen trendistä havaitaan, että kone pysäytetään kiinteistön käyttöajan ulkopuolella. Tämä nähdään esimerkiksi siitä, että vihreällä merkitty LTO-laitteen pyörimisnopeus saa yöaikaan arvon 0 ja päivällä 100. Tuloilman lämpötila on kuvassa 7 merkitty vaaleansinisellä. Ilmanvaihtokoneen käynnistytksen jälkeen tuloilman lämpötila pysyy korkeana useita tunteja. Ilmanvaihtokoneen toimintaa käynnistystilanteessa voidaan tarkastella havainnollisemmin valitsemalla trendin ajanjakso lyhyemmäksi. Tuloilman lämpötila 24 tunnin ajanjaksolta on esitetty kuvassa 8.





Kuva 8. Ilmanvaihtokoneen 05tk trendi kohdekäyntiä edeltävän 24 tunnin ajalta

Kuvasta 8 nähdään ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin säätöventtiilin asento, sekä tuloilman lämpötila käynnistymistilanteessa. Tuloilman lämpötila on merkitty vaaleansinillä. Vihreällä merkitystä LTO-laitteen pyörimisnopeudesta voidaan päätellä, että ilmanvaihtokone käynnistyy aamulla kello 6:30. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin säätöventtiilin ohjaus toimii hitaasti, joten tuloilman lämpötila hakee oikeaa arvoa pitkään. Tuloilman lämpötila nousee trendissä korkeimmillaan noin  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen. Tuloilman lämpötilan asetusarvo on  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Asetusarvon mukainen lämpötila saavutetaan vasta noin viiden tunnin päästä ilmanvaihtokoneen käynnistymisestä.

## 8 Kenttämittaukset

Kohteen 2 valvomojärjestelmästä voitiin lukea, että ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilman ilmamäärät olivat useissa koneissa keskenään epätasapainossa. Tulosten varmis-

tamiseksi kohteessa suoritettiin kenttämittauksia. Kenttämittauksissa mitattiin pistokoeluonteisesti kahden ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmamäärät. Ilmanvaihtokoneet oli kytketty eri valvonta-alakeskuksiin.

Ilmamäärän selvittämiseksi ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistopuolen paine mitattiin ilmanvaihtokoneen mittausyhteistä paine-eromittarilla. Mittaukset tehtiin Swema 3000 -mittalaitteella. Mittalaite esittää mitattavan suureen arvon reaaliaikaisesti.

Ilmavirrat mitattiin koneista 205tk sekä 208tk. Ilmanvaihtokoneet ovat tyypiltään Energent Rtek -ilmanvaihtokonepaketteja. Ilmavirta  $q_v$  yksikössä  $m^3/h$ , saadaan laskettua ilmanvaihtokoneiden kiinteistä mittayhteistä mitatusta paine-erosta kaavalla:

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p_w} \quad (1)$$

jossa  $k$  on puhaltimelle ominainen kerroin, joka on merkitty ilmanvaihtokoneeseen mitayhteiden viereen ja  $\Delta p_w$  on mitattu paine-ero (Pa).

Koneen 205tk kerroin  $k$  on 93. Poistoilman paine-eroksi mitattiin 315 Pa ja tuloilman paine-eroksi 480 Pa. Kaavan 1 avulla poistoilmavirraksi saatiin  $1650 m^3/h$  eli  $0,46 m^3/s$ . Tuloilmavirraksi saatiin  $2040 m^3/h$  eli  $0,57 m^3/s$ . Ilmanvaihtokoneen suunnitelluksi tulo- ja poistoilmavirraksi on määritetty  $0,43 m^3/s$ . Poistoilmavirta on lähellä suunniteltua arvoa mutta tuloilmavirta poikkeaa suunnitellusta paljon.

Koneen 208tk kerroin  $k$  on 116. Poistoilman paine-eroksi mitattiin 505 Pa ja tuloilman paine-eroksi 255 Pa. Kaavan 1 avulla poistoilmavirraksi saatiin  $2610 m^3/h$  eli  $0,72 m^3/s$ . Tuloilmavirraksi saatiin  $1850 m^3/h$  eli  $0,51 m^3/s$ . Ilmanvaihtokoneen suunnitelluksi tulo- ja poistoilmavirraksi on määritetty  $0,51 m^3/s$ . Tuloilmavirta on suunnitellun mukainen, mutta poistoilmavirta poikkeaa suunnitellusta paljon.

Lisäksi kenttämittauksilla testattiin kohteen 2 automaatiohälytysten toiminta. Kohteen 2 isännöinnistä vastaa Palmia. Kohteen automaatiojärjestelmien hälytykset on kytketty Palmian ulkoiseen hälytysvalvomoon. Tällöin kiinteistön merkittävistä hälytyksistä tulee ilmoitus valvomoon, josta otetaan yhteyttä kiinteistön kouluisäntään. Rakennusautomaatiojärjestelmän reagointi sekä hälytysten muodostaminen testattiin pistokoemenetelmällä ilmanvaihtokoneista 207tk ja 208tk.



Ilmanvaihtokoneen 208tk paine-eroanturista irrotettiin toinen mittaletku, jolloin anturin mittaama paine-ero kasvaa suureksi. Paine-eron kasvu voi johtua käytännön tilanteessa esimerkiksi lämmöntalteenottokiekon jäätymisestä. Rakennusautomaatiojärjestelmä havaitsi nousseen paine-eron ja alkoi vähentää kiekon pyörimisnopeutta. Näin rakennusautomaatiojärjestelmä yrittää sulattaa mahdollisesti jäätynyttä kiekkoa. Samalla lämmityspatterin säätöventtiili aukesi enemmän, jotta tuloilma pysyisi asetusarvossaan. Paine-eroanturin mittaletkun annettiin olla irti, jolloin järjestelmä ei onnistunut vähentämään paine-eroa kiekon yli. Lopulta järjestelmä toimi oikein ja antoi hälytyksen. Valvomosta voitiin lukea järjestelmän antaneen B-luokan hälytyksen.

Toinen hälytysten toimivuuden testaus suoritettiin ilmanvaihtokoneesta 207tk. Ilmanvaihtokoneen puhallin kytkettiin pois päältä koneen kyljessä olevasta huoltokytkimestä. Koneen puhaltimien pysähtyessä ilmanvaihtokoneen automatiikka toimi oikein ja sulki kanavien moottoripellit. Lisäksi valvomosta voitiin lukea A-luokan hälytys. A-luokan hälytyksestä kulki myös tieto Palmian hälytysvalvomoon, josta tuli puhelinilmoitus kiinteistön kouluisännälle.

Kun hälytysjärjestelmän oli todettu toimivan, ilmanvaihtokoneiden toimintaan vaikuttaneet tahalliset häiriöt poistettiin. Molemmat ilmanvaihtokoneet palasivat nopeasti häiriötilasta. Asetusarvojen mukainen toiminta saavutettiin nopeasti, eikä koneiden säätö jäänyt vikatilaa jälkeen virheelliseen tilaan tai huojumaan.

## **9 Korjausehdotukset**

Kohteissa suoritetuissa tutkimuksissa havaittiin, että kohteiden talotekniset järjestelmät ja laitteet mahdollistavat energiatehokkaan toiminnan. Puutteita järjestelmissä huomattiin kuitenkin rakennusautomaation säätöpisteiden asetuksissa, mikä vaikuttaa taloteknisten järjestelmien toimintaan ja tasapainoon. Lisäksi eri antureiden mittaamien arvojen lukemien valvomoesityksessä oli puutteita.

## 9.1 Kohde 1

Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien kiertoveden lämpötilan asetusarvoa voidaan säätää alhaisemmaksi. Lämmityspatterien säätöventtiilien matalista aukeamisasenoista havaitaan, että kiertovesi on turhan lämmintä ja sen lämpötilaa voidaan laskea.

Kiinteistön lämmityspatterien säätökäyrää voidaan tarkastella uudelleen. Säätökäyriä on sivuttaissiirretty korkeammalle, jolloin patterit lämmittävät tiloja myös ulkolämpötilan ollessa vielä +15 °C. Lämmityksen säätökäyrät on toteutettu kahdella säätöpisteellä ja niiden välisellä lineaarisella viivalla. Käyrään voidaan lisätä lisää säätöpisteitä, jolloin säätökäyrän jyrkkyys vaihtelee eri ulkolämpötiloissa.

## 9.2 Kohde 2

Kohteen 2 perusparannus on valmistunut vuonna 2015, joten kiinteistön energiatehokkuuteen vaikuttaa vielä ilmanvaihtokoneiden poikkeukselliset käyntiajat. Tehostettu ilmanvaihto urakan valmistumisen jälkeen on täysin oikea toimintatapa eikä tätä tule muuttaa. Huomioitavaa kiinteistössä on säätöjen epätarkkuudet, epätehokkaalla alueella olevat asetusarvot sekä valvomon grafiikan ja mittausarvojen yksiköiden epäselvyys.

Ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterien säätöventtiilit eivät ole tasapainossa suhteessa toisiinsa, mikä johtaa korkeaan kiertoveden lämpötilaan ja siirtohäviöihin. Tämä voidaan korjata tasapainottamalla lämmityspiiri.

Kiinteistön patterilämmityspiiri ei toimi suunnitelmien mukaisilla arvoilla. Valvomosta lue-  
tut paine-erot patteriverkostoissa poikkeavat suuresti asetusarvoista. Tämä voidaan korjata säätämällä ja tasapainottamalla patteriverkosto uudelleen.

Kiinteistön valvomokoneen trendiseurantakaavioissa on puutteita. Osa tilapisteistä ei ole kytketty valmiisiin trendiseurantakaavioihin. Trendiseurantakaavioiden skaalaukset ovat osittain virheellisiä, jolloin arvojen lukemat eivät mahdu tulostettavaan näkymään. Mittauspisteiden arvojen yksiköt eivät ole selkeitä. Kanavamittauksissa osa arvoista näyttää ilmavirtaa ( $m^3/s$ ) ja osa ilman nopeutta ( $m/s$ ), jolloin anturi mittaa ilman nopeutta mutta valvomografiikka esittää ilmavirtaa. Valvomografiikan selkeys ja helppokäyttöisyys on erittäin tärkeää, jotta kiinteistönhoitajalla on mahdollisuus helposti ja nopeasti seurata

kiinteistön järjestelmien toimintaa. Valvomo-ohjelmiston toimittajan tulee korjata tiedot kohteen takuuajana.

Antureiden sijainnit ja mahdolliset puutteet tulisi tarkistaa. Esimerkiksi ilmanvaihtokone 201tk:n paineanturi PDT21, joka mittaa paine-eroa LTO-patterin yli, näytti paine-eroksi 0 Pa. Pikaisella tarkastelulla fyysistä anturia ei löytynyt ilmanvaihtokoneesta. Lisäksi osa antureista näyttää poikkeuksellisia ja vaihtelevia lukemia. Tämä voi johtua antureiden huonosta sijoittelusta. Osa ilman nopeutta mittaavista antureista oli sijoitettu kanavan reunaan, jolloin virheen määrä mittauksessa on suuri. Anturit tulisi asentaa kanavan keskelle mahdollisimman kauas häiriötä aiheuttavista komponenteista. Erityisesti anturin FT5/TE5 sijainti on huono, anturia häiritsee viereinen lämmityspatteri, kanavasupistus sekä sijoitus ilmanvaihtokoneen kanavaliitännän reunaan.

Kiinteistön tulo- ja poistoilmavirrat tulee tarkastaa ja tasapainottaa. Ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmamäärät eivät olleet mitatuissa koneissa tasapainossa tai suunnitelmien mukaisia. Energiatehokkuusvaikutusten lisäksi selkeä ylipaineisuus tiloissa on pitkään jatkuessaan riski kiinteistön rakenteille. Ilmavirtaukset kuljettavat vesihöyryä, joten ylipaineisuus lisää rakenteeseen kohdistuvaa sisäpuolista kosteuskuormitusta. Rakennevaurioiden välttämiseksi on tärkeää pitää kiinteistön ilmavirrat tasapainossa.

Ilmanvaihtokone 208tk palvelee kiinteistön liikuntasalia. Koneen tuloilmavirta on täysaikaisesti korkea, vaikka tila ei olisi käytössä. Koneen energiatehokkuutta voidaan parantaa ohjaamalla koneen ilmavirtaa tarpeen mukaan. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi lisäämällä tilaan hiilidioksidianturit tai manuaalinen läsnäolokytkin aikaohjelmalla. Tällöin tilan ilmanvaihtoa voidaan vähentää, jos tila ei ole käytössä.

Kiinteistön erillisten pienempien paketti-ilmanvaihtokoneiden tuloilma on liian lämmintä. Tuloilman asetusarvo pitää laskea ja ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin säätöventtiilin toiminta tarkistaa. Pakettikoneiden lämmityspatterin säätöventtiilistä ei tule tietoa kiinteistön valvomojärjestelmään, eikä arvoja voi lukea valvomopäätelaitteelta. Kaikkien koneiden kytkeminen valvomoon auttaa ongelmatilanteiden havainnoimista.

Osassa tuulikaapeista kiertoilmalämmittimien käynnistymislämpötilan asetusarvo on korkea. Puhaltimien korkea käyntiaika ei ole energiatehokasta. Käyntiajan vähentämiseksi käynnistymislämpötilan asetusarvoa voidaan laskea sekä siirtää lämpötila-antureita kauemmaksi ulko-ovista, jolloin ne mittaavat tarkemmin huoneen lämpötilan keskiarvoa.

Asetusarvon määrittelyssä tulee huomioida, että osassa tuulikaapeista on kosteita vaatteita, jolloin korkeampi lämpötila on perusteltua.

Kuten luvussa 3 mainittiin, on energiatehokkuuden kannalta tärkeää, että järjestelmä hälyttää vikatilanteissa sekä palautuu nopeasti takaisin normaaliin toimintaan. Hälytysjärjestelmän todettiin toimivan normaalisti. Lisäksi koneet palautuivat vikatilasta nopeasti. Huomioitavaa hälytyksissä on niiden luokittelu. Puhaltimen käyntitiedon hälytys kuului luokkaan A, mutta LTO:n painehälytys luokkaan B. Vain luokan A hälytyksistä tuli ilmoitus Palmian hälytysvalvomoon. Hälytysten luokittelu ei ole standardisoitua vaan useimmiten tilaajakohtaista. Aiheutetun häiriön tilanteessa koneen lämmöntalteenotto oli kokonaan pois käytöstä. Energiatehokkuuden kannalta tämänkaltainen tilanne on pitkään jatkuessa erittäin huono. Tämänkaltaisista hälytyksistä voi myös tulla ilmoitus Palmian hälytysvalvomoon, jolloin vian korjaaminen nopeasti varmistetaan.

### 9.3 Kohde 3

Kohteeseen 3 tehtiin yksittäinen kohdekäynti. Kohteen rakennusautomaatiojärjestelmästä tehdyt havainnot tehtiin valvomojärjestelmän kautta eikä antureiden toimittamien arvojen oikeellisuutta tarkistettu.

Valvomotietokoneen esittämän datan perusteella ilmanvaihtokoneen tk211 lämmöntalteenotto ei toimi. Tuloilman lämpötilamittaus lämmöntalteenoton jälkeen hälyttää alarajaa ja toimintakaavio näyttää kiekon pyörimisnopeudeksi 0. Ilmanvaihtokoneen trendi talentaa lämmöntalteenoton hyötysuhteen kuukauden ajalta. Trendistä havaittiin, ettei lämmöntalteenotto ole toiminut oikein tänä aikana. Ilmanvaihtokoneen ilmavirta on valvomon mittauksen perusteella noin  $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Lämmöntalteenotolla on suuri vaikutus energiankulutukseen näin suurella ilmamäärällä. Ongelma lämmöntalteenotossa tulee selvittää ja korjata välittömästi.

Ilmanvaihtokoneen 05tk tuloilman lämmityspatterin säätö vaatii uudelleenvirittämistä. Lämmityspatterin säätö toimii hitaasti koneen käynnistymistilanteessa, ja tuloilman lämpötila on liian korkea useita tunteja koneen käynnistymisen jälkeen.

Rakennusautomaatiojärjestelmässä on noin 20 päivittäin toistuvaa hälytystä. Rakennusautomaatiojärjestelmä vaatii kokonaisvaltaisen tarkastelun, jossa hälytysten syyt selvitetään ja mahdolliset puutteet korjataan. Hälytysten suuri määrä viestii mahdollisista ongelmista järjestelmässä.

## 10 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä insinööriyössä havaittiin, että myös hiljattain saneerattujen kiinteistöjen LVI-järjestelmien automaatio-ohjauksessa on puutteita. Huomioitavat puutteet olivat pääasiassa säätöjen epätarkkuudet, epätehokkaalla alueella olevat asetusarvot sekä valvomon grafiikan epäselvyys. Positiivisena aspektina havaittiin, että kiinteistöt on järjestelmään kuuluvien laitteiden osalta rakennettu energiatehokkaiksi. Järjestelmien potentiaalia hukataan kuitenkin tehottomien säätöjen johdosta. Perehtymisen kiinteistön valvomojärjestelmään todettiin olevan tehokas ja yksinkertainen keino tarkastella yleisesti kiinteistön talotekniikan kuntoa ja toimintaa.

Insinööriyön lähtöolettamuksen vähentää kiinteistöjen energiankulutusta säätämällä nyky määräysten mukaan rakennettuja rakennuksia uudelleen, todettiin pitävän paikkansa. Koska kiinteistön talotekniset järjestelmät, kuten lämmitys ja ilmanvaihto, vaikuttavat osaltaan merkittävästi kiinteistön käyttökustannuksiin, pienetkin säätövirheet korjaamalla voidaan saavuttaa investoinnin kannalta kannattavia säästöjä. Kiinteistön säädön korjaaminen ei välttämättä vaadi kiinteitä muutoksia olemassa oleviin laitteisiin, vaan korjaukset voidaan toteuttaa ohjelmallisesti.

Tutkittujen kiinteistöjen perusteella nykyiset rakennusautomaatiojärjestelmät ovat perusperiaatteeltaan toimivia. Järjestelmät säätävät itseään järkevästi, ottavat huomioon eri olosuhteet esimerkiksi ulkolämpötilassa tai huoneiston kuormituksessa ja hälyttävät sekä palautuvat häiriötilanteista oikein. Suurimmat ongelmat havaittiin asetusarvoissa ja tasapainotuksessa. Jos kiinteistöjen säätöjärjestelmät asetetaan toimimaan energiatehokkaalle alueelle, kiinteistöjen ostoenergiankulutuksessa voidaan saavuttaa kustannussäästöjä.

Kohde 2 toi esille, että myös hiljattain saneeratun kiinteistön automaation toimintaa pitää tarkastella takuuajana. Urakoinnin jälkeen on säätöihin ja tekniikkaan jäänyt virheitä,

jotka voidaan takuuajana helposti korjata. Tilaajan kannalta on tärkeää, että korjaukset suoritetaan takuuajan puitteissa.

Lisäksi tulisi tarkastella uudelleen käytäntöjä urakoinnin jälkeen. Syntyykö kiinteistön hoitoon ”tyhjiö” urakoinnin jälkeen, jolloin urakoitsija, tai suunnittelija ei enää vastaa kiinteistön säädöistä, eikä rakennusautomaation toiminnan valvontaa ja uudelleenviritystä ole resursoitu uudelle henkilölle? Jotta saavutetaan optimaalisin taso, kiinteistön toimintaa tulee seurata ja virittää uudelleen 1-2 vuoden ajan kiinteistön käyttöönotosta. Ongelmien etsiminen ja uudelleensäädöt eivät vaadi resursoimaan täyspäiväistä henkilöä seuraamaan kiinteistön toimintaa kokoaikaisesti. Säättöongelmien paikallistaminen voidaan toteuttaa yksittäisellä tarkastelulla, ja säätömuutosten vaikutus ja mahdollinen uudelleenviritys toteuttaa uusilla tarkastuksilla muutaman kuukauden välein.

Optimaalinen tilanne saavutetaan, jos kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmä toteutetaan etäluettavana. Säättöongelmia voidaan havaita ja korjata myös etänä, vain tarkastelemalla automaatiojärjestelmän toimittamaa dataa. Näin vähennetään tarvetta käydä kiinteistökiertoilla kohteessa. Työn tehokkuutta voidaan nostaa, jolloin asiantuntija voi suorittaa automaation tarkastelua tehokkaasti omalta työpisteeltään. Esimerkkikohteiden rakennusautomaatiojärjestelmiin ei ollut etäohjausmahdollisuutta. Mahdollisuus kiinteistöjen etäohjaukseen olisi hyvä selvittää. Tarvetta käydä kiinteistössä ei voida poistaa kokonaan, mutta kuten insinööriyössä havaittiin, ongelmia voidaan havaita valvomografiikkaa tarkastelemalla. Myös korjaukset voidaan toteuttaa usein ohjelmallisesti.

Kohdekäynneillä havaittiin, että kiinteistöjen huoltomiehillä oli vähäiset resurssit seurata ja ohjata kiinteistön rakennusautomaation toimintaa. Kohteiden huoltomiehet olivat hallinnoineet omaa kiinteistöään vain muutaman kuukauden ajan. Jos kiinteistöjen huoltomiehien vaihtuvuus on tiuhaa, ei järjestelmiin ole mahdollisuutta perehtyä syvällisesti eikä seurata niiden toimintaa eri vuodenaikoina. Lisäksi huoltomiehien vastuulla oli useita eri kohteita. Tästä johtuen huoltomiehien aika kuluu akuuttien palvelupyyntöjen kuittaamiseen, eikä aikaa riitä kiinteistöjen järjestelmien tekniseen tarkasteluun. Koska aikaa perehtyä kiinteistön järjestelmiin on huoltomiehillä hyvin rajallisesti, tulisi huolehtia, että kiinteistön tuottama data on nopeasti, yksiselitteisesti ja helposti saatavilla. Tämä pitää erityisesti huolehtia valvomografiikkaa suunniteltaessa. Lisäksi huoltomiesten työtaakan vähentämiseksi voidaan tarkastella mahdollisuutta siirtää kiinteistöjen automaatiojärjestelmien valvonta ja ohjaus erilliselle asiantuntijataholle, pois huoltomiehiltä.

Aiemmin mainittu rakennusautomaatiojärjestelmien etälukutoiminto mahdollistaisi tämän.

## Lähteet

- 1 Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen. 2012. Perusteet ja opas. Ympäristöministeriö.
- 2 Energian loppukäyttö. 2015. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <<http://www.findikaattori.fi/fi/26l>>. Päivitetty 14.12.2015. Luettu 15.11.2016.
- 3 Manninen, Tapio. 2013. Pullotalo voi olla homepommi. Verkkouutinen. Helsingin Sanomat <<http://www.hs.fi/kotimaa/art-2000002617859.html>> Julkaistu 4.3.2013. Luettu 21.3.2017.
- 4 Virta, Ismo. 2013. Näin Suomi rakennetaan täyteen homepommeja. Verkkouutinen. Talouselämä. <http://www.talouselama.fi/uutiset/nain-suomi-rakennetaan-tayteen-homepommeja-3434049> Päivitetty 28.8.2015. Luettu 21.3.2017.
- 5 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 6 Piikkilä, Veijo (toim.). 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 7 Vapaajäähdytys, suunnittelijan käsikirja. Markkinointiesite. Onninen. <[http://www.vapaajäähdytys.fi/ladattavat/onninen\\_suunnittelijan\\_net.pdf](http://www.vapaajäähdytys.fi/ladattavat/onninen_suunnittelijan_net.pdf)>
- 8 Piikkilä, Veijo (toim.) 2008. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 9 Luukka, Joonatan. 2015. Rakennusautomaatio. Koulutusesitys. Vahanen Talotekniikka Oy.