



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Kaj Tötterman

Parannusehdotuksia Espoon kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööritutkinto

Konetekniikka

Opinnäytetyö

10.4.2021

Tekijä Otsikko	Kaj Tötterman Parannusehdotuksia Espoon kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmiin
Sivumäärä Aika	28 sivua 10.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori, Maria Sjöholm Automaatioasiantuntija, Ari Pekonen
<p>Insinööriyössä koottiin parannusehdotuksia Espoon kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmiin, jonka päätarkoituksena oli parantaa rakennuksien energiatehokkuutta ja parantaa järjestelmien toimintaa. Työssä keskitytään säätötekniikkaan ja sen eri säätötapojen toimintaan, sekä niiden vaikutusta automaatiojärjestelmän kokonaismääräiseen toimintaan.</p> <p>Teoriaosuuden lähteinä on käytetty lähinnä alan yleistä kirjallisuutta, sekä säätötekniikan PID-kirjaa. Työssä käytettiin apuna myös Espoon kaupungin Tarkastusryhmän käynneistä koostettuja raportteja.</p> <p>Työn perusteella voidaan todeta, että pienillä korjauksilla ja säädöillä voidaan saada aikaan paremmin toimiva järjestelmä ja täten säästää laajasti energiankulutuksessa. Espoon kaupungilla on hallinnassaan noin 400 rakennusautomaatiolla toimivaa kohdetta, jossa usean kohteen toiminnassa on parannettavaa. Mitä useampi kohde saadaan toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti, sitä isompi säästö siitä syntyy tulevaisuudessa.</p> <p>Työtä voidaan käyttää ohjeistuksena tulevaan ja siihen liittyen löytyy monta laajempaakin insinööriyön aiheita Espoon kaupungilta.</p>	
Avainsanat	rakennusautomaatio, säätötekniikka, ilmanvaihto

Author Title	Kaj Tötterman Improvement Suggestions for the City of Espoo's Building Automation Systems
Number of Pages Date	28 pages 10 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Program	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Maria Sjöholm, Senior Lecturer Ari Pekonen, Automation Specialist
<p>This Bachelor's thesis suggests solutions, how to improve the City of Espoo's building automation systems. The main purpose of the thesis was to improve the energy efficiency of buildings and to enhance the operation of the systems. The thesis focuses on control technology and its various control methods, as well as their impact on the overall operation of the automation system.</p> <p>The sources of the theoretical part mainly consist of general literature in the field, as well as the PID basics book of control technology. In addition, the reports by the City of Espoo Inspection team were also used in the thesis.</p> <p>Based on the thesis, it can be stated that with small repairs and adjustments, a better functioning system can be achieved, and thus make large savings in the energy consumption of Espoo. Furthermore, it can be mentioned that the City of Espoo controls approximately 400 sites with building automation, where there is room for improvement in the operation of several sites. Therefore, if more buildings can be made to operate as energy efficiently as possible, greater savings will be achieved in the future.</p>	
Keywords	building automation, control technology, ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tavoitteet	2
1.2	Tarkastusryhmä	2
2	Rakennusautomaatio	3
2.1	Rakennusautomaatio Espoon kaupungin kohteissa	3
2.2	Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne	4
2.3	Valvomot	4
2.3.1	Valvonta-alakeskukset, eli VAKit	5
2.3.2	Kenttälaitteet	6
3	Rakennusautomaatiojärjestelmän toiminta ja sen virittäminen	7
3.1	Säätötekniikka	8
3.1.1	Säätötavat	8
3.1.2	Säädintyypit	9
3.2	Lämmönjakoverkosto	11
3.3	Lämmönjaon parametrien virittäminen	14
3.4	Ilmanvaihto ja sen toiminta	15
3.4.1	Lämmöntalteenotto	16
3.4.2	Pyörivät lämmönsiirtimet	17
3.4.3	Levylämmönsiirtimet	17
3.4.4	Nestekiertoiset lämmönsiirtimet	17
3.5	Ilmanvaihdon viritys ja säätö	18
3.6	Viritysparametrien säätö käytännössä	19
3.7	Taajuusmuuttajat	20
3.8	Energiatehokkuus	20
3.9	Ulkolämpötila-anturit	21
4	Parannusehdotukset	22
4.1	Ilmanvaihtokoneiden ongelmat	23

4.2	Ulkolämpötila-antureiden ongelmat	25
4.3	Taajuusmuuttajien ongelmat	26
4.4	Valvomoiden ongelmat	27
5	Yhteenveto	28
	Lähteet	29

Lyhenteet

LVI	Lämpö, vesi, ilmastointi
RAU	Rakennusautomaatio
VAK	Valvonta-alakeskus
AI	Analog Input, analoginen sisääntulo
I/O	Input-/Output, sisääntulo-/ulostulo
AO	Analog Output, analoginen ulostulo
DI	Digital Input, digitaalinen sisääntulo
DO	Digital Output, digitaalinen ulostulo
IV	Ilmanvaihto
LTO	Lämmöntalteenotto
LKV	Lämminkäyttövesi
LJH	Lämmönjakohuone
PV	Patteriverkosto

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli koota parannus- ja korjausehdotuksia Espoon kaupungin päiväkotien, koulujen, ja kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmiin. Työssä käydään läpi rakennusautomaation perusteita ja Espoon kaupungin rakennusautomaatio kohteiden yleisimpiä vikoja ja niiden toimivuuden parantamiseen tarvittavia toimenpiteitä.

Työssä perehdyttiin tarkemmin järjestelmien ilmanvaihdon ja lv-järjestelmien säätöparametrien virittämiseen, sekä muihin automaatiojärjestelmien toimintaa parantavien asioiden korjaamiseen. Kohteina ovat tarkastuskäynneillä vastaan tulleet koulut, päiväkodit, ja toimistotalot.

Kohteiden yleisimpinä ongelmina voidaan pitää mm. liian korkeaa lämmitystä, järjestelmien seuranta-antureiden huonoa asennussijaintia ja toimintaa, automaatiojärjestelmien vääränlaisia säätötapoja ja niihin liittyviä asioita, sekä rakennusautomaatiojärjestelmään liittyviä laitteita, kuten valvomotietokoneiden huonoa toimintaa.

Tärkeänä voidaan pitää myös rakennusautomaation valvomotietokoneiden historiaseurantaa, joka on puuttunut tai ollut puutteellinen monessa eri kohteessa. Historiaseurannasta voidaan havaita järjestelmässä olevat puutteet ja järjestelmän toiminta eri vuodenaikoina.

Insinööriyö tehtiin Espoon Tilapalvelut-liikelaitokselle.

1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteista ja tarkoituksesta keskusteltiin Espoon kaupungin tilapalveluiden tarkastusryhmän automaatioasiantuntija Ari Pekosen kanssa. Tavoitteena oli koota parannusehdotuksia Espoon kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmiin, joita korjaamalla rakennukset saadaan toimimaan energiatehokkaammin, ja jotta järjestelmät toimisivat käyttäjäystävällisemmin.

1.2 Tarkastusryhmä

Tarkastusryhmän työnkuvaan kuuluu sisäilmaongelma kohteiden- eli useimmiten päiväkotien ja koulujen tarkastaminen, joissa tarkastetaan kohteiden sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä. Jokaisesta laajemmasta tarkastuskäynnistä julkaistaan sisäilmatarkastusraportti, jossa kartoitetaan kohteiden mahdolliset rakenteelliset sekä tekniset viat. Tarkastusraportit ovat julkisia ja ne julkaistaan Espoon kotisivuilla.

Tarkastuksissa tehtävät mittaukset- ja kuvaukset

- Ilmamäärämittaukset
- Pintakosteusmittaukset
- Sisäilmalaadun- ja paine-erojen mittaukset / Miran DLS antureiden avulla
- Kattojen- ja julkisivujen kuvaukset Dronella

Työskentelin ryhmässä automaatioharjoittelijana. Tarkastusryhmä kuuluu Espoon tilapalveluiden alaisuuteen. Ryhmä koostuu rakennustekniikan, talotekniikan, automaation, sekä kiinteistönhoidon asiantuntijoista.

2 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaation tehtävänä on ohjata ja seurata talotekniikan eri prosessien toimintaa, joista tärkeimpinä voidaan pitää ilmanvaihtoa ja lämmitystä. Rakennusautomaation toiminnan alla on yleisesti myös palontorjuntajärjestelmät, jäähdytykset, tele- ja data järjestelmät, sekä mahdollisesti myös kulunvalvonta. Rakennusautomaatiota hyödynnetään useassa kohteessa myös kiinteistöjen valaistuksen ohjauksessa. Rakennusautomaatiota voidaan kutsua talotekniikan aivoiksi, joka on oikein viritettynä ja säädettyinä energiatehokas, sekä pitää huoneiden sisäilmälämpötilan haluttuna jokaisena vuodenaikana.

Yleisesti ottaen rakennusautomaatiojärjestelmä kerää tietoa kenttälaitteiden antureilta, jonka avulla järjestelmä ohjaa ja säätelee mm. taajuusmuuttajia (säätelevät puhaltimien käyntinopeutta), peltejä, venttiileitä, sekä muita kenttälaitteita.

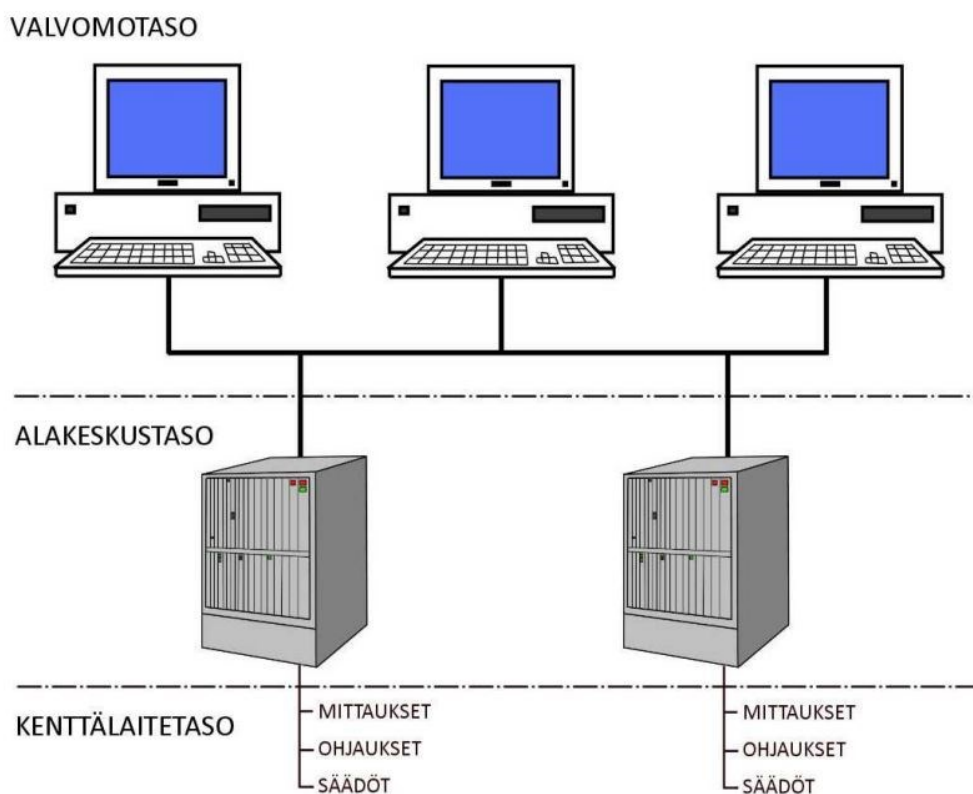
Kenttälaitteiden säätö on toteutettu usein hyödyntämällä väylätekniikkaa, jossa kaikki laitteet liitetään samaan tietoväylään. Väylätekniikkaa käyttämällä elektroniikassa, sen liitännät ja kaapelointi vähenevät.

2.1 Rakennusautomaatio Espoon kaupungin kohteissa

Rakennusautomaatiota löytyy noin 400:sta Espoon kaupungin kohteesta, joista monessa löytyy pelkästään Vak- tai kellokytkin. Useassa kohteessa on myös vanhentunutta teknologiaa ja osaan järjestelmistä ei enää ole saatavilla varaosia. Kaupungin rakennusautomaatio järjestelmien keski-ikä on noin 17,5 vuotta (1). Monessa kohteessa on siis edessä kokonaisvaltainen automaation uusiminen (1). Kaupungin kohteissa on käytössä monta eri rakennusautomaatiojärjestelmää, niistä voidaan mainita mm. Atmostech, Siemens, Ouman, Deos, Fidelix, Computec. Useissa kohteissa järjestelmiin löytyy myös valvomotietokoneet. Valvomon sisältävistä järjestelmistä yleisin on Atmostech, seuraavaksi yleisin järjestelmä on Fidelix (1). Espoon kaupungin kohteissa käytettävät yleisimmät Rau-säätimet ovat Ouman Oy:n valmistamia (1).

2.2 Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne

Rakennusautomaatiojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen eri tasoon. Ensimmäisenä hierarkiassa on valvomotaso, toisena valvomo-alakeskustaso- eli VAK, kolmantena kenttälaitetaso. Kuvassa 1 kuvitettuna rakennusautomaation toiminta hierarkia.



Kuva 1. RAU hierarkia (1, s.5).

2.3 Valvomot

Valvomosta käsin voidaan säätää automaatiojärjestelmän viritysparametrejä, seurata historia toimintaa, sekä muuttaa IV-koneiden kellotoimintoja. Valvomotietokone lähettää hälytykset eteenpäin. Jos valvomossa on vikaa, hälytykset eivät välttämättä välity eteenpäin.

Valvomon avulla on mahdollista havaita järjestelmässä olevat viat laitteissa tai muut ongelmat järjestelmän toiminnassa. Valvomosta käsin voidaan asettaa käyttörajat mm. puhaltimille, lämpötiloille, ilmanpaineille, sekä paine-eroille. Valvomot ovat useimmiten sijoitettu lämmönjakohuoneen läheisyyteen. Valvomot toimivat Windows-pohjaisella käyttöjärjestelmällä sekä automaatiojärjestelmän omalla erikseen asennettavalla ohjelmistolla. Tietyissä kohteissa valvontajärjestelmää voidaan tarkastella myös etäyhteyttä hyödyntämällä, jossa usein täytyy kytkeytyä samaan sisäiseen verkkoon järjestelmän kanssa. Valvomoiden tärkeimpinä tehtävänä voidaan siis pitää.

- Toimintaa rajapintana ihmisen ja järjestelmän välillä.
- Järjestelmän historiaseuranta, josta voidaan havaita nopeasti viat.
- Hälytyksien eteenpäin lähettämistä.

2.3.1 Valvonta-alakeskukset, eli VAKit

Useimmat valvonta-alakeskukset sijaitsevat kohde kiinteistöjen IV-konehuoneissa. Keskuksiin on kytketty kohteeseen tarvittava määrä erilaisia moduuleita. Rakennusautomaatiossa käytettäviä moduuleita ovat mm.

- ohjaus DO.
- säätö AO.
- mittaus AI.
- hälytys ja indikointi DI.

Valvonta-alakeskusten tärkeimpinä tehtävinä voidaan pitää.

- Automaatitason ohjausta, säätämistä, sekä valvontaa.

- Kenttälaitteiden ohjausta, sekä tiedonsiirtoa valvomoon.
- IV-koneiden jäätymissuojaa.

2.3.2 Kenttälaitteet

Kenttälaitteilla kootaan tietoa laitteiston eri tapahtumista ja ohjataan niiden toimintaa. Kenttälaitteet ovat kytkettyinä valvomoalakeskuksien moduuleihin, josta viestit edelleen lähetetään valvomoon.

Yleisimpiä mitta- sekä toimilaitteita ovat mm. peltimoottorit, puhaltimet, jäätymissuojat, lämpötila, paine, Co2, sekä virtausanturit, joiden avulla järjestelmän toimintaa säädetään ja seurataan. Kuvassa 2 nähdään Belimon valmistama peltimoottori, jolla ohjataan ilmanvaihtopeltien asentoa.



Kuva 2. Belimon valmistama peltimoottori.

3 Rakennusautomaatiojärjestelmän toiminta ja sen virittäminen

Rakennusautomaation lämmönjakopaketin ja ilmanvaihtokoneiden toimintaa ohjataan niiden antureilta tulevan tiedon mukaan. Antureilta mitattu tieto säädetään kyseisen pisteen säätöparametrien mukaisesti. Säätöparametrien virittämisellä pyritään yleisesti siihen, että rakennuksen lämmitykseen kuuluvat energiakustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi ja jotta järjestelmän laitteiden toiminta saataisiin mahdollisimman taiseksi. Oikein viritetyillä säätöparametreilla rakennuksen energiakustannuksissa voidaan säästää jopa 40 %, sekä saada käyttäjälle mukavimmat olosuhteet (13).

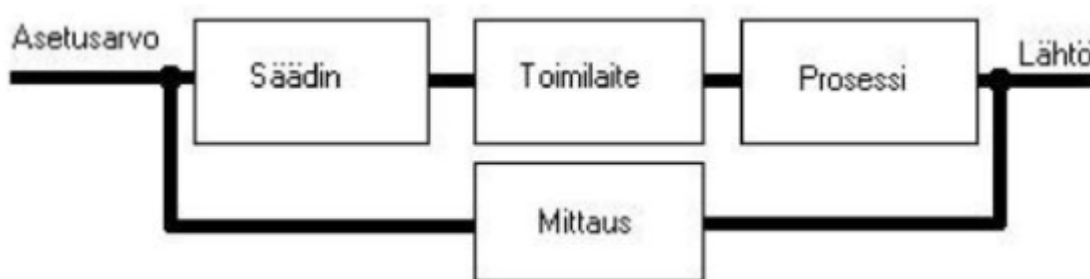
Rakennusautomaatiossa viritettäviä laitteita ovat lämmitysverkoston ja ilmanvaihtokoneiden säätimet. Säätimillä säädetään lämmönjakopaketin venttiilien asentoa sekä ilmanvaihtokoneiden taajuusmuuttajia, jotka vaikuttavat puhaltimien kierrosnopeuteen. Oikein viritetyt parametrit vähentävät järjestelmän prosessien huojuntaa. Huojunta johtuu järjestelmän väärälaisista säätöparametreista, joiden tarkkuutta voidaan parantaa muuttamalla niitä kohteeseen paremmin sopivammaksi.

Vääränlaisista säätöparametreista johtuva huojunta voidaan todeta mm. mittapisteiden historiaseurannasta, tai kuuntelemalla IV-koneiden käyttäytymistä. Järjestelmän huojunta voi pahimmassa tapauksessa johtaa järjestelmän kenttälaitteiden ennen aikaiseen kulumiseen ja sitä kautta rikkoutumiseen.

3.1 Säättötekniikka

Säättötekniikalla tarkoitetaan prosessin ja niiden eri osioiden seuranta ja säätöä. Prosessien osien tapahtumia seurataan anturein, jotka viestivät saman osion säätimelle. Prosessin säädössä keskeisenä käsitteenä on prosessidynamiikka, jolla tarkoitetaan prosessin tuloksen muutosta ajan mukana ja sen vaikutusta lopputulokseen (6, s. 9.).

Kuvassa 3 esitetynä säätöpiirin takaisinkytkentä, jota voidaan pitää yleisimpänä säätötavalla. Mittatuloksia prosessin lopputuloksesta säätimelle tarvitaan, jotta järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla mahdollisimman tarkasti.



Kuva 3. Säättöpiirin takaisinkytkentä (12).

3.1.1 Säättötavat

Useimmissa RAU-säätimissä on käytössä jokin kolmesta yleisimmästä säätötavasta, joita ovat vakioasetusarvo, kompensointisäätö ja kaskadisäätötapa.

Vakioasetusarvossa säätimelle annetaan pysyvä asetussarvo, joka pysyy samana koko prosessin säädön aikana. Täten järjestelmä toimii siten, että anturilta saatu mittaustulos vastaa aina vakioasetusarvoa. Vakioasetusarvo säätötapaa käytetään ilmanvaihtokoneiden kanavapaineiden asetussarvoina sekä lämpimän käyttöveden säädön asetussarvoina (6, s. 9).

Kaskadisäätötavassa muuttujan arvo määräytyy järjestelmän toisen säätöpiirin asetusarvon mukaan, joten kaskadisäädössä on aina kaksi sisäkkäistä säätöpiiriä/säätöpistettä (6, s 33).

Kaskadisäätöä voidaan hyödyntää IV-koneen tuloilman säätämiseen poistoilman lämpötilan perusteella. Kaskadisäätöä käytetään harvoin rakennusautomaatiossa. Kaskadisäätö on kuitenkin hyvä vaihtoehto käyttää kohteissa, jossa on liikaa muuttujia ja häiriötekijöitä esim. koulut, päiväkodit. Kaskadisäädöllä saadaan huonekohtaisesti parempi ja tasaisempi lämpötila.

Kompensointisäätötavassa asetusarvo muuttuu toisen muuttujan mukaan, joka useimmiten on ulkolämpötila-anturilta tuleva tilatieto. Säädin toimii ennalta määritetyn säätökäyrän mukaan, joka toimii ulkolämpötilan mukaan. Tällä saadaan talvisin tarpeeksi lämpimät olosuhteet ja kesäisin tarpeeksi viileät. Kompensointisäätöä ei tulisi käyttää paljon häiriötä sisältävään huonetilaan.

3.1.2 Säädintyypit

PI-säätö eli (Proportionali Integrointi)

PI-säätö on perussäätömuodon ja integroivan säätimen yhdistelmä, jossa yhdistyvät molempien kertoimien säätöarvojen laskumuodot. PI-säätötavassa ohjauksen arvo lasketaan vahvistuskertoimen ja integrointiosan laskennan tuloksen perusteella. PI-säätö on yleisin rakennusautomaatiossa käytettävä säätötapa. Säädön arvojen muuttaminen riippuu automaatiojärjestelmästä, useimmiten säätöarvoja voidaan muuttaa kyseisen säätöpisteen kohdalta (6, s. 49).

PID-säätö eli (Proportionaali, Integrointi, Derivaatta)

PID-säätö on tarkin mahdollinen säätötapa, jossa yhdistyvät kaikki kolme laskentatapaa ohjauksen arvon säätämiseksi. Rakennusautomaatiossa käytetään harvoin PID-säätöä, koska pelkkä PI-säätö usein riittää. PID-säätöä käytetäänkin useimmiten teollisuudessa,

jossa järjestelmien ohjaukselle vaaditaan paljon tarkempaa ja nopeampaa toimintaa (6, s. 50).

Rakennusautomaatiossa käytettävien prosessien säätötapoja on kaksi. Yleisin näistä on PI-säätö. Järjestelmien toiminnan säätäminen perustuu kolmen eri viritysparametrin arvoon, joiden yhteisen laskennallisen tuloksen mukaan säädetään järjestelmän ohjausta. Näitä kertoimia ovat vahvistuskerroin (K_p), integrointiaika (T_i), sekä derivointiaika (T_d) (6, s. 50).

Vahvistuskerroin P

Vahvistuskerroin toimii järjestelmän säätimen suhdekertoimena, sen ohjauksen ja erosuureen välillä. Vahvistuskertoimen arvoa nostamalla voidaan nopeuttaa järjestelmän toimintaa. Säätimen integrointiosan tehtävänä on poistaa virheet järjestelmän jatkuvuustilassa (6, s. 51).

Integrointi I

Integrointiosa hyödyntää ohjauksen erosuureen vanhoja arvoja, jonka mukaan se säätää ohjaukseen menevää arvoa. Haluttaessa lisää nopeutta järjestelmän toimintaan, tulee integrointi osan arvoa pienentää, jos järjestelmän toimintaa halutaan hidastaa, tulee integrointiosan arvoa kasvattaa (6, s. 51).

Derivointi D

Säätimen derivoivan osan tarkoituksena on ennakoida järjestelmän käyttäytymistä tulevaisuudessa, jossa derivoiva osa seuraa järjestelmän ohjauksen erosuureen muunnosta sen muutosnopeuden pohjalta (6, s. 51).

3.2 Lämmönjakoverkosto

Lämmönjakoverkoston tarkoitus on ylläpitää käyttöveden ja patteriverkostossa virtaavan veden lämpötilaa. Lämpimän käyttöveden tulee olla vähintään 55 °C. Käyttöveden maksimi lämpötilan tulee olla alle 65 °C, jotta se ei aiheuta palovammoja. (10)

Lämmönjako toteutetaan lämmönjakohuoneessa sijaitsevalla lämmönjakopaketilla, joka ottaa lämpimän veden yleisestä vesiverkostosta. Usea lämmönjako toteutetaan kaukolämpöä hyödyntämällä.

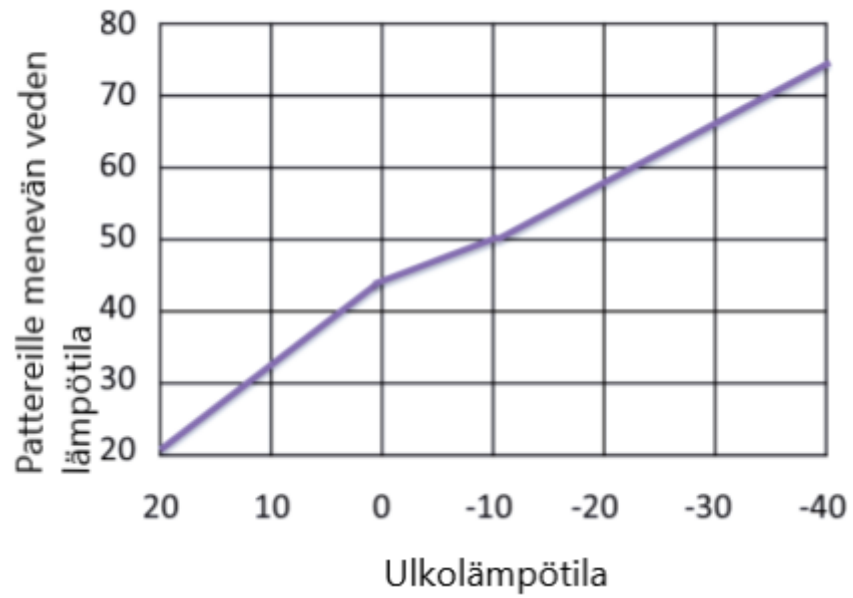
Rakennusautomaatio säättää yleisestä lämminvesiverkosta tulevan veden säätöventtiilien avulla, jossa lämmönsiirtimen ensiöpuolella kiertävän yleisestä verkostosta tulevan veden virtausta säädetään venttiileillä.

Rakennusautomaatio seuraa sekä tulo- että menoveden lämpötilaa anturein. Automaatio säättää menoveden lämpötilan perusteella, tuloveden venttiileitä. Rakennuksia voidaan lämmittää myös sähköllä, jota voidaan kutsua ns. kuivaksi-järjestelmäksi. Kuivassa-järjestelmässä lämmitys toteutetaan useasti katto- ja patterilämmityksellä, sekä mahdollisella kaapeloidulla lattialämmityksellä. (10)

Lämmitys- ja IV-verkoston veden lämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan, jossa ulkolämpötilan laskiessa, menoveden lämpötilan asetusarvo nousee. (7)

Säätökäyrät tulisi luoda jokaiselle kiinteistölle yksilöllisesti, jotta ulkolämpötilan laskiessa huonelämpötilat pysyisivät samana. Silti monessa kiinteistössä on usein käytössä tehdasasetuksissa oleva säätökäyrä, joka on harvemmin energiatehokkain vaihtoehto.

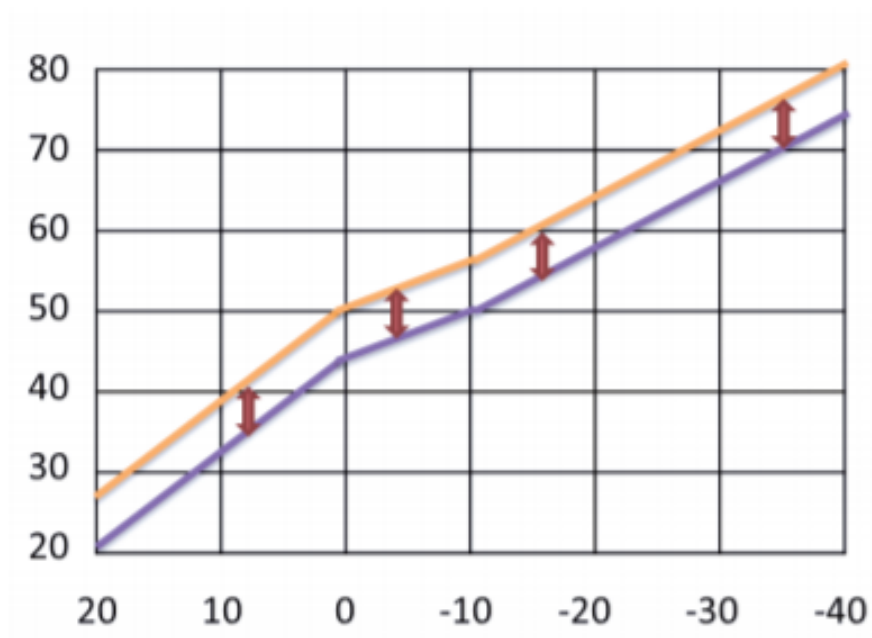
Kuvassa 4 havainnoituna patteriverkoston ideaali säätökäyrä, johon voidaan tehdä muutoksia valvomotietokoneelta.



Kuva 4. Patteriverkoston ideaali säätökäyrä. (12)

Säätökäyriin voidaan tehdä myös suuntais siirto (kuvassa 5), jolla tarkoitetaan sitä, että jo valmiina olevaa säätökäyrää siirretään asteikolla alaspäin tai ylöspäin. Suuntais siirtoa käytetään, jos järjestelmä muuten toimii oikein mutta lämpötila on liian alhainen tai korkea.

Suuntais siirtoa käytetään usein myös tuulisella tai kostealla säällä lämmityksen korjaukseen. Suuntais siirto on hyvä valinta myös silloin, kun halutaan laskea huonelämpötilaa yöksi tai viikonlopuksi. Suuntais siirtoa tulisi käyttää harkiten ja vain väliaikaisena vaihtoehtona.



Kuva 5. Säätökäyrän suuntais siirto. (12)

3.3 Lämmönjaon parametrien virittäminen

Lämmönjakoprosessin virittäminen tapahtuu käytännössä kohteen valvomosta käsin, josta voidaan vaihtaa säätimien parametreja. Lämmönjakoprosessin parametrien tulisi olla suhteellisen nopeatoimisia verrattuna ilmanvaihdon säätöparametreihin. LV- säädössä käytetään ennalta asetettua suhdealuetta ja integrointiaikaa, joiden tulee reagoida nopeasti menoveden vaihtuvaan lämpötilaan.

Käyttöveden lämpötilojen tulee olla aina 55°C – 65°C välillä, jos veden lämpötila laskee alle 55°C- tai nousee yli 65°C tulisi järjestelmän reagoida tilanteeseen välittömästi. Käyttöveden säätämiseen käytetään säätöventtiileitä, joita ohjaavat venttiilimoottorit. Käyttöveden säätöventtiilit ovat nopeita toiminnoiltaan, venttiilien päädyistä päätyyn ajoaika on noin 9–15 sekuntia, kuin muissa verkostoissa käytettävillä venttiileillä ajoaika on yleensä noin 35 sekuntia. (3)

Lämpimän käyttöveden säätöjen oikein toimivuutta ei voida todeta välittömästi, vaan järjestelmän toiminnan seurantaan tarvitaan pidempi aikaväli. Seurannan olisi hyvä pitää sisällään kaikki vuodenaajat, jotta voidaan todeta järjestelmän käyttäytyminen soveltuvaksi jokaiselle vuodenajalle.

Toimintaa voidaan seurata kätevästi järjestelmän historiaseurannasta. Tietyissä rakennusautomaatiojärjestelmissä historiaseuranta ei kerää pistetietoja, eli dataa antureilta ja säätimiltä automaattisesti, vaan se täytyy itse ohjelmoida keräämään ne järjestelmän taustalle. Historiaseuranta on usein jätetty pois kustannussyistä, vaikka se on olennainen osa järjestelmän oikeintoimivuuden seurantaan.

Lämmönjakoverkoston alla olevista prosesseista järjestyksessä toiminnaltaan hitaimmasta nopeimpaan ovat PV-verkosto, IV-verkosto, ja LKV-verkosto.

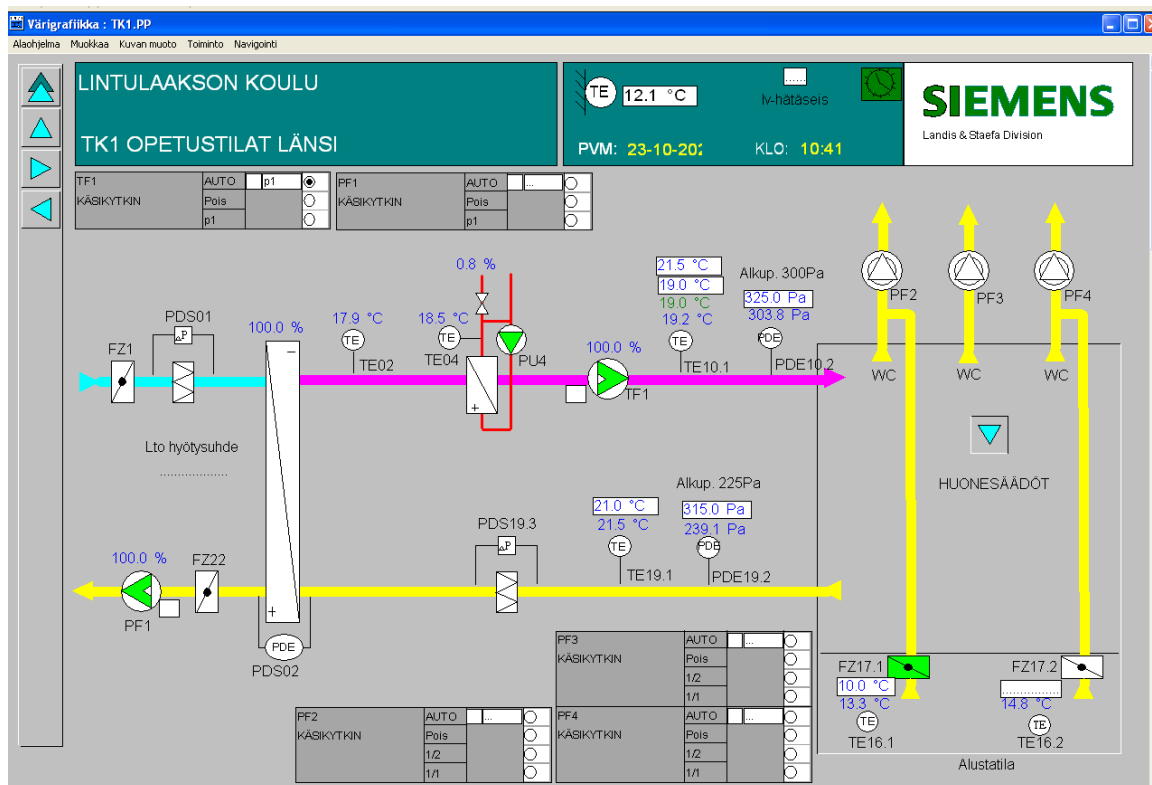
3.4 Ilmanvaihto ja sen toiminta

Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda puhdasta ilmaa rakennukseen sisälle ja poistaa likainen sisäilma. Rakennukseen tulevaa puhdasta ilmaa kutsutaan tuloilmaksi, josta suodattetaan suurimmat epäpuhtaudet IV-koneissa. Rakennuksesta poistuvaa ilmaa kutsutaan poistoilmaksi. Ilmanvaihdon toiminta perustuu sisäilman paine-eroihin, jossa ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään (7).

Sisäilman paine-ero tehdään yleisesti koneellisesti puhaltimilla, eli IV-koneilla tai painovoimaisesti toimivalla järjestelmällä, jossa hyödynnetään lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutusta. Rakennuksen ilmanvaihtoon käytettäviä vaihtoehtoja ovat mm. koneellinen tulo- ja poistoilma, muissa tapauksissa myös pelkkä koneellinen poistoilma, jossa tuloilma tulee korvausilma säleiköistä. Ilmanvaihtojärjestelmän tuloilmaa voidaan myös jäähdyttää tai kostuttaa, tällöin puhutaan ilmastoinnista. Monesti vanhat asuintalot ovat varustettu korvausilmaa ja koneellista poistoa hyödyntämällä, joka on halvempi tapa tuottaa rakennukseen ilmanvaihto (7).

Koneellisen tulo- ja poistoilmakoneen etuina ovat tuloilman suodattaminen ja lämmittäminen poistoilmaa hyödyntämällä. Tuloilmaa lämmitetään lämmöntalteenotolla, jossa poistoilmaan kertyvää lämpöenergiaa pyritään siirtämään tuloilmaan. Likaisella poistoilmalla ei pystytä lämmittämään suoraan tuloilmaa, joten sitä siirretään monella eri tavalla. Useat IV-koneet ovat varustettu myös lämmityspattereilla, jotka lämmittävät tuloilmaa ennen lämmöntalteenottoa (7).

Kuvassa 6 pyörivällä LTO:lla varustetun IV-koneen graafinen näkymä valvomosta.



Kuva 6. Pyörivällä LTO:lla varustetun IV-koneen graafinen esitys.

3.4.1 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenoton tarkoituksena on siirtää poistoilmaan kertyvää lämpöenergiaa tuloilmaan, jolla saadaan jo kerran lämmitettyä sisäilmaa uudelleen käytettyä. LTO:ta käyttämällä voidaan säästää myös lämmitykseen menevissä kuluissa. Talvikuukausina pelkästään LTO ei usein riitä ylläpitämään haluttua lämpötilaa, joten IV-koneissa käytetään myös lämmityspattereita (sähkö- tai vesikiertoisia).

Lämmöntalteenottoon on kehitetty monta erilaista vaihtoehtoa, joita voidaan käyttää moneen erilaiseen kohteeseen. Isommassa kohteessa käytetään usein monta eri LTO-tapaa.

Yleisimpiä LTO- järjestelmiä ovat mm.

3.4.2 Pyörivät lämmönsiirtimet

Pyörivässä lämmönsiirtimessä lämpöenergian siirtyminen tapahtuu siten, että lämmin poistoilma virtaa kiekon yläosan lävitse ja kylmä tuloilma alaosan lävitse. Lämpö sitoutuu hitaasti pyörivän kiekon massaan, jonka jälkeen sen lämpöenergia hiljalleen johtuu tuloilmaan. Pyörivää LTO:ta käytettäessä tulee ottaa huomioon tulo- ja poistoilman sekoittuminen, joten sitä ei voida käyttää tiloissa, jossa ilman täytyy vaihtua kokonaan. Tällaisia rakennuksia ovat esim. sairaalat (5, s. 75).

Pyörivän LTO järjestelmän hyötysuhde on noin 70–80 % luokkaa (8).

3.4.3 Levylämmönsiirtimet

Levylämmönsiirtimessä lämpöenergian siirtyminen tapahtuu tulo- ja poistoilmavirtojen ristikkäiskanavoinnilla, jossa poistopuolella kiertävässä ilmassa oleva lämpöenergia siirtyy lämpöä johtavien metallilevyjen kautta tuloilmaan. Levylämmönsiirtimet ovat edullisia ja ovat usein käytössä pientaloissa (5, s. 75).

Levylämmönsiirtimien hyötysuhde on noin 50–65 % luokkaa (8).

3.4.4 Nestekiertoiset lämmönsiirtimet

Nestekiertoisessa lämmönsiirtimessä lämpöenergian siirtyminen tapahtuu kahden patterin avulla. Pattereissa kiertää neste, joka sisältää noin 30–40 % glykolia. Poistupuolen lämmin ilma virtaa poistupuolen patteriston lävitse, josta lämpöenergia siirtyy tämän puolen patterin glykoliseokseen. Poistopuolella virrannut glykoliseos virtaa tulopuolen patteriin ja lämmittää tuloilman (5, s. 76).

Nestekiertoisen patteristo lämmönsiirtimen hyötysuhde on noin 40–60 % luokkaa (8).

3.5 Ilmanvaihdon viritys ja säätö

Oikein viritetty ja säädetty ilmanvaihto on huoneiden hyvien sisäilmaolosuhteiden peruste. Sisäilman peruslämpötilana voidaan pitää 21°C. Ilmanvaihdon virityksellä ja säädöllä on tarkoitus saada ilmanvaihtokoneen toiminta mahdollisimman tasaiseksi ja energiatehokkaaksi, sekä sisäilman paine-erot mahdollisimman tarkaksi.

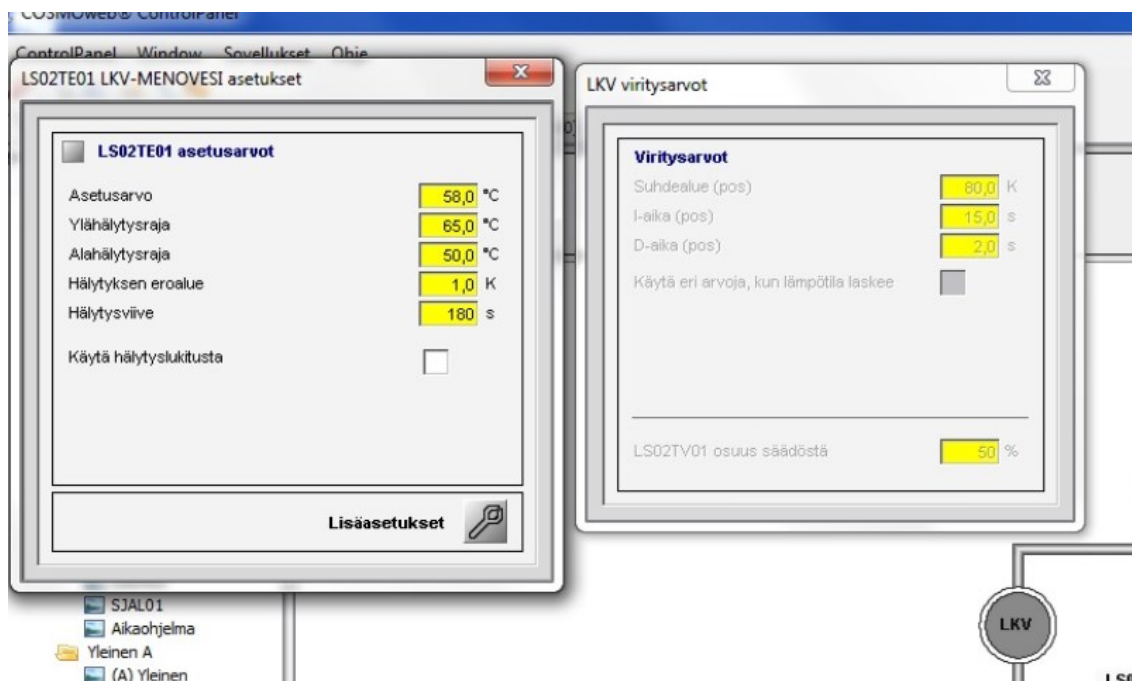
Ilmanvaihdon hitaudesta johtuen sen virittäminen on yleisesti helpompaa kuin lämmönjakoprosessien, kuitenkin molempien prosessien virityksessä käytetään samoja periaatteita, jossa perusteena ovat P- ja I- säädöt. Ilmanvaihtokanavissa vallitseva paine tulee olla myös mahdollisimman tasainen, jotta ilma liikkuu kanavissa suunnitellulla tavalla. Liika turbulenttinen ilma voi vaikeuttaa ilman liikkumista ja aiheuttaa ylimääräistä ääntä ilmanvaihtoon.

Ilmanvaihdon virityksessä viritettävät parametrit ovat puhaltimien säädöt ja yleensä poistoilman lämpötilaan mukaan reagoivat säätöpisteet, jotka ohjaavat käytännössä koko ilmanvaihtoprosessin toimintaa.

3.6 Viritysparametrien säätö käytännössä

Monessa kohteessa järjestelmän säätöpisteissä on käytettävissä tehdasasetuksissa olevat arvot, nämä arvot ovat usein aivan vääränlaisia ja ne aiheuttavat liiallista huojuntaa järjestelmän toimintaan. Säätöpisteissä olevat viritysparametrit tulisi korjata kohteisiin sopiviksi, seurata tilannetta, ja kysellä käyttäjiltä sisäilmaolosuhteista säännöllisin väliajoin. Esimerkkinä voidaan käyttää säätöpistettä, jolla säädetään IV-koneen toimintaa. Tämän säätöpisteen viritysparametrit tulisivat olla mahdollisimman lähellä laskennallista arvoa, mutta suoraan oikeita arvoja on vaikea arvioida tai laskea. Ilmanvaihdossa on niin paljon muuttujia, jotka vaikuttavat säätöjen toimintaan jatkuvasti. Ilmanvaihdon viritykseen merkittäviä asioita ovat myös mittalaitteiden sijainnit ja säätötavat.

Säädettäessä järjestelmän parametrejä tulisi käyttää apuna aiheen kirjallisuutta, joskin kokenut asiantuntija osaa arvioida tarvittavat säädöt ilman kirjallisuuttakin. Viritysparametrien säätäminen tapahtuu automaatiovalvomosta käsin. Useassa Rau- valvomojärjestelmässä tarvitaan huolto- tai asentajakäyttäjätunnukset, jotta voidaan tehdä muutoksia viritysparametreihin. Kuvassa 7 valvomossa nähtävät säätöparametrit.



Kuva 7. Valvomosta nähtävät säätöparametrit

3.7 Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttajat ohjaavat moottoreiden tehonsyötön taajuutta ja jännitettä. Taajuusmuuttajilla on myös mahdollista ohjata moottorin ylös ja alas ramppausta pysäyttämisen ja käynnistämisen aikana (12). Rakennusautomaatiossa taajuusmuuttajat ohjaavat ilmanvaihtokoneiden puhaltimien tehonsyöttöä, jossa taajuusmuuttajien on tarkoitus ohjata puhaltimille tulevaa tehonsyötön taajuutta ja jännitettä. Puhaltimien nopeuksia säädetään taajuusmuuttajilla, koska sillä voidaan parantaa mm. energiankulutusta, järjestelmän tehokkuutta, nopeutta, melutasoja, pumppujen mekaanisten rasituksen rajoittamista, sekä parantaa puhaltimien käyttöikää. Taajuusmuuttajia käyttämällä voidaan säästää jopa yli 40 % energiankulutuksessa (12).

3.8 Energiatehokkuus

Rakennuksien energiatehokkuus on tärkeässä roolissa nykypäivänä ja siihen panostetaan jatkuvasti enemmän. Euroopan unioni on asettanut tavoitteeksi, että energiankulusta tulisi vähentää 32,5 % vuoteen 2030 mennessä (2). Euroopan unionin komission tietojen mukaan rakennuksien energiankulutus on noin 40 % EU:n kokonaisenergiankulutuksesta ja ne aiheuttavat noin 36 % EU:n hiilidioksidipäästöistä (2). Taloteknisten järjestelmien oikeanlainen käyttäytyminen on tärkeää, jotta saavutetaan haluttu lopputulos mahdollisimman pienellä energiankulutuksella. Huonosti toimivalla ja säätämättömällä rakennusautomaatiolla harvoin saavutetaan parasta mahdollista energiatehokkuutta (15).

Rakennusautomaatioon tehtävillä suhteellisen pienillä korjauksilla- tai säätötoimenpiteillä voidaan säästää paljon.

Espoon kaupungin kohteiden energiatehokkuutta ja energiankulutusta voidaan tarkastella Granlund Manager- järjestelmässä, josta voidaan etsiä kohdekohtaista tietoa. Espoon kaupungin Tilapalvelut on tehostamassa kiinteistöjensä energiatehokkuutta sen omien tavoitteidensa mukaisesti.

3.9 Ulkolämpötila-anturit

Rakennusautomaatiossa käytetään usein NTC 10 -mallista ulkolämpötila-anturia, jossa lämpötilaa mitataan NTC-termistorielementtejä hyödyntäen. Anturi lähettää tilatiedon ohjainjärjestelmälle, joka kääntää sen °C lukemaksi. Antureissa käytetään yleistä lämpötila/vastus taulukkoa, josta voi vertailla lämpötilaa vastaavaa ohmimäärää (20). Kuvassa 8 Pro dual NTC 10 antureiden lämpötila / vastus taulukko.

Lämpötila/vastus -taulukko:

°C	NTC 10 / Ω	°C	NTC 10 / Ω
120	389.0	25	10000.0
100	680.0	20	12490.0
90	917.7	15	15710.0
80	1258.0	10	19900.0
75	1480.0	5	25400.0
70	1752.0	0	32650.0
65	2082.0	-5	42340.0
60	2488.0	-10	55330.0
55	2968.0	-15	72980.0
50	3603.0	-20	97070.0
45	4368.0	-25	130400.0
40	5327.0	-30	177000.0
35	6532.0	-40	336500.0
30	8057.0	-50	670100.0

Kuva 8. Pro dual NTC 10 lämpötila/vastus -taulukko (20).

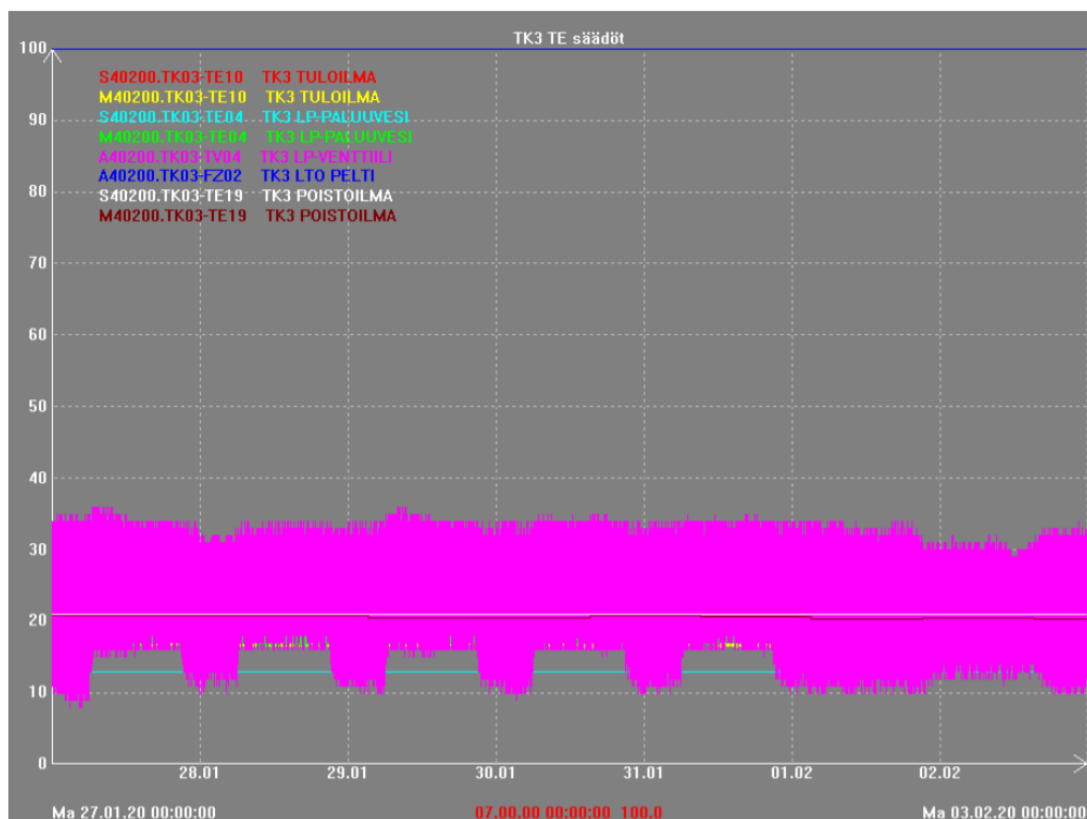
Ulkolämpötila-anturit tulisi asentaa rakennuksen pohjoispuolelle, varjoisaan, sekä suojaisaan paikkaan noin 2,5 metrin korkeudelle. Anturia ei tulisi asentaa suoraan ikkunoiden, ovien, tuuletusaukkojen, tai muiden häiriöitä aiheuttavien asioiden läheisyyteen. Asentamista ilmastoinnin poistokanavan tai muiden lämmönlähteiden viereen tulee myös välttää. Anturit ovat väriykseltään valko- harmaita, jotta auringonpaisteesta johdettu lämpö vääristymä olisi mahdollisimman pieni (19).

4 Parannusehdotukset

Tarkastuskäynneillä usein huomattuja puutteita ja virheitä, joista koottuja parannusehdotuksia Espoon kaupungin rakennusautomaatio järjestelmiin ovat mm.

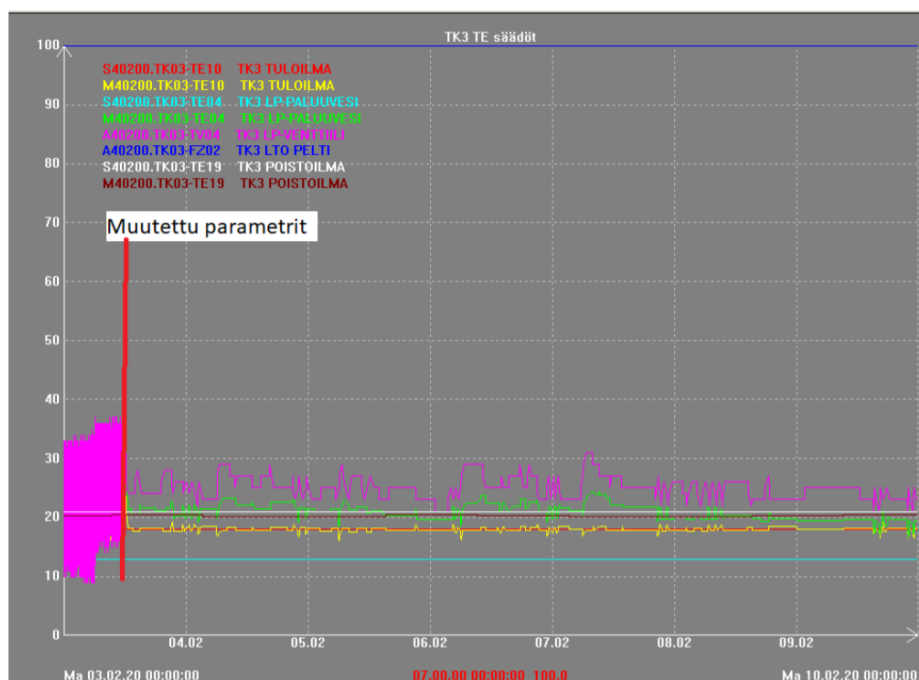
- Säästöparametrien korjaukset kohteisiin soveltuviksi.
- Ulkolämpötila-antureiden toiminnan tarkistuttamiset ja tarvittaessa uudelleen sijoittamiset.
- Kohteiden liiallista lämmittämistä tulisi myös vähentää, joskin huomioiden kohde. (Isojen luokkatilojen 1 °C – 2 °C pudotusta)
- Taajuusmuuttajien EMC-suojauksien tarkistaminen- tai lisääminen.
- Taajuusmuuttajien ramppinopeuksien tarkistamiset ja tarvittaessa niiden korjaaminen.
- Valvomojärjestelmien historiaseurantojen toiminnan varmistaminen ja tarvittaessa seurannan lisääminen.
- Ilmanmääräsäätimien- eli IMS toiminnan tarkistaminen.
- Valvomotietokoneiden toiminnan tarkistaminen- tai koneiden päivittäminen uuteen.
- Kiinteistöhoitajille parempaa ohjausta valvomojärjestelmien toiminnasta.
- Lisäresursseja kaupungin rakennusautomaatio kohteisiin.

4.1 Ilmanvaihtokoneiden ongelmat



Kuva 9 Väärin säädetty IV-kone.

Kuvassa 9 olevan IV-koneen säädöt olivat pielessä ja ne aiheuttivat laajaa huojuntaa järjestelmän toimintaan. IV-koneen toiminnan huojunta johtui siitä, että sen säätöparametrit olivat jätetty niin sanottuihin tehdasarvoihin, eli niitä ei ole säädetty kohteeseen sopiviksi uutena- tai remontin jäljiltä. Kyseisestä kuvasta voidaan todeta, että säätimen integrointi-aika on ollut liian lyhyt, eli säädin on reagoinut liian nopeasti huonelämpötilan muutoksiin. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatteri on reagoinut jatkuvasti ajamalla auki- ja kiinni asentoon, jotta se saisi ylläpidettyä halutun huonelämpötilan.



Kuva 10. Muutetut säätöparametrit näkyvät historiaseurannassa.

Kuvassa 10 IV-koneeseen korjatut säätöparametrit näkyvät järjestelmän historiaseurannassa, joista voidaan todeta säätöparametrien virittämisen auttaneen järjestelmää toimimaan paljon tasaisemmin. Atmostechin järjestelmässä ilmanvaihdon oletusarvot ovat P-vahvistus 40 ja I-vahvistus 60 sekuntia. Näitä voidaan muokata kohteisiin paremmin sopivimmaksi. I-vahvistuksen, eli integrointiajan arvoksi voidaan muuttaa noin 120–140 sekuntia, jolloin säätö reagoi hitaammin muutokseen ja täten vähentää IV-koneiden jatkuvaa huojuntaa.

4.2 Ulkolämpötila-antureiden ongelmat

Anturit ovat usein asennettu lämmönjakohuoneen lähistölle, koska kaapelointi vähenee huomattavasti. Lämmönjakohuoneen lähistölle asennettavassa anturissa tulee ottaa huomioon lämmönjakohuoneen poistokanavat, josta voi aiheutua paljon mittahäiriöitä. Tarkastuskäynneillä useassa kohteessa Rau-järjestelmän ulkolämpötila-antureiden sijoittamisessa on parantamisen varaa. Joissain kohteissa anturit on asennettu suoraan auringonpaisteeseen ilman mitään suojaa, jolloin anturit ovat antaneet vääränlaista tietoa järjestelmälle.



Kuva 11. Väärin sijoitettu lämpötila-anturi.

Kuvassa 11 kyseisen kohteen ulkolämpötila-anturi oli asennettu liian lähelle lämmönjakohuoneen poistoilmakanavaa, kuvasta voidaan ottaa huomioon, että anturia on suojattu suoralta auringonpaisteelta, mutta anturiin aiheutuu silti häiriöitä LJK-poistokanavasta. Häiriö pystyttiin havaitsemaan järjestelmän historiaseurannasta.

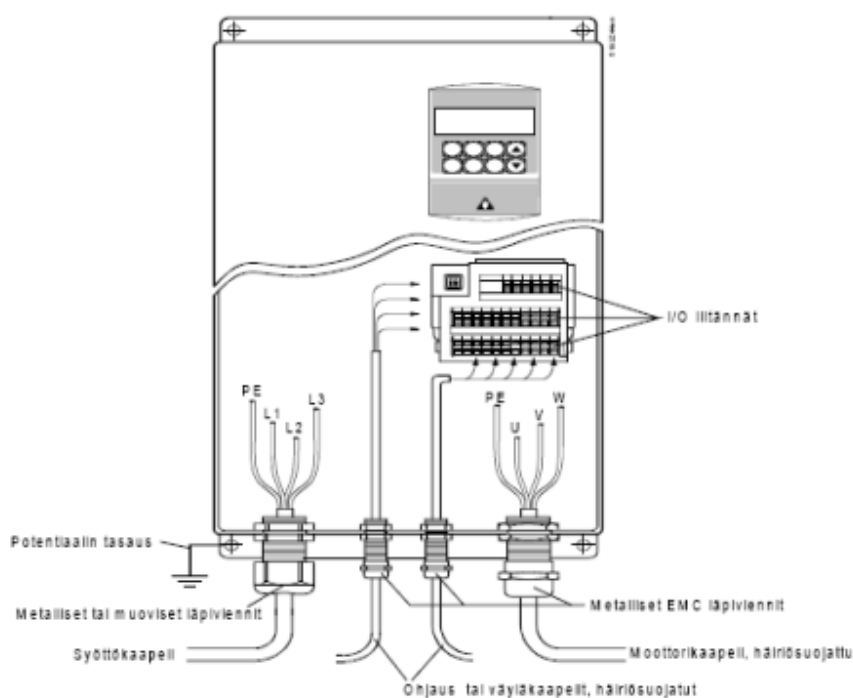
4.3 Taajuusmuuttajien ongelmat

Tarkastuskäynneillä usein huomattuja vikoja taajuusmuuttajissa olivat mm. liian nopeat kiihdytykset ja hidastukset- eli rampit, ja niiden sähköliitännöiden EMC-suojaukset, jotka puuttuivat usein varsinkin vanhempien rakennuksien taajuusmuuttajien liitännöistä. Taajuusmuuttajien rampinopeuksilla on myös suora vaikutus järjestelmän huojuntaan. EMC-suojauksella tarkoitetaan suojaa kotelossa- tai sen liitännöissä, jonka tarkoituksena on estää laitteelle tulevaa sähkömagneettisia häiriöitä (17).

Häiriöitä voi syntyä mm. salamaniskuista, staattisen sähköön purkautumisesta, sähköverkon kuormituksesta johtuvista jännitteen muutoksista, langattoman viestinnän lisääntymisestä johtuvasta taajuushäiriöistä. Ilmanvaihtokonehuoneessa sijaitsevat taajuusmuuttajat voivat saada häiriöitä myös ympärillä olevista sähkömoottoreista, muuntajista, loistevalaisimista, tietokoneista yms. (17). Taajuusmuuttajien asentamisessa tulisi huomioida myös muut asennettavat taajuusmuuttajat, jotka tulisivat asentaa turvaetäisyydelle toisistaan (17).

Taajuusmuuttajia asentaessa tulisi seurata tarkasti valmistajan ohjeita, jotta saavuttaisiin riittävä EMC-suojaus (17). Koska taajuusmuuttajat ovat todella tärkeitä oikein toimivassa järjestelmässä, tulisi niiden liitännöiden olla myös EMC- suojattuja.

Kuvassa 12 nähdään taajuusmuuttajan oikeaoppiset EMC-suojatut läpiviennit (17).



Kuva 12 Taajuusmuuttajan EMC-suojatut läpiviennit (17).

4.4 Valvomoiden ongelmat

Tarkastuskäynneillä tuli vastaan myös valvomotietokoneita, jotka olivat yksinkertaisesti niin huonossa kunnossa, että niitä ei pystytty käyttämään lainkaan. Valvomotietokoneisiin tulisi myös tehdä päivityksiä, korjauksia ja varmistaa, että valvomosta lähtee hälytykset eteenpäin, koska huonosti toimiva tietokone voi jättää hälytykset lähettämättä ja täten aiheuttaa iso vahinkoa kohteessa.

Jos kohteisiin ei tehdä kokonaisvaltaista rakennusautomaation uusimista, tulisi ainakin toimimattomat valvomotietokoneet korjata- tai korvata uusilla tietokoneilla. Tarkastuskäynneillä huomattiin monessa kohteessa olevan käytössä alkuperäinen valvomotietokone, joka voi pahimmillaan olla jopa 20 vuotta vanha.

Vanhemmissa valvomotietokoneissa käytetään usein Windows XP pohjaista käyttöjärjestelmää, joka on nykyään erittäin haavoittuvainen tietoliikennehyökkäyksissä.

5 Yhteenveto

Insinööriyössä koottiin parannusehdotuksia Espoon kaupungin rakennusautomaatiojärjestelmiin. Työssäni koostin yleisimpiä tarkastuskäynneillä kohdattuja vikoja ja niiden korjaukseen vaadittavia toimenpiteitä. Espoon kaupungilla on tulevaisuudessa tulossa vastaan laajamittainen rakennusautomaatiojärjestelmien uusiminen. Sitä ennen jo toiminnassa oleviin järjestelmiin tehtävillä pienillä korjauksilla voidaan parantaa energiatehokkuutta, sekä parantaa rakennuksien käyttäjien mukavuutta.

Listatuilla korjauksilla voidaan saavuttaa isoja säästöjä tulevaisuudessa, niiden kerta-luontoisen korjaamisen hintaan verrattuna. Useassa kaupungin koulussa- tai päiväko-dissa on potentiaalia toimia energiatehokkaammin pienillä korjauksilla, joiden korjaami-nen maksaa itsensä takaisin ajan kuluessa. Tietyissä kohteissa pitää myös miettiä auto-maation kokonaisvaltaista uusimista, koska vanhempiin järjestelmiin ei välttämättä enää valmisteta varaosia.

Espoon kaupungin Tilapalvelut on tehnyt vuoden 2020 lopussa sopimuksen Caverion Suomi Oy:n kanssa, jonka tarkoituksena on kehittää rakennuksien energianhallinnan ja rakennusautomaation etäkäyttöä. Sopimuksessa on iso potentiaali säästöihin, mutta tu-lisi silti ottaa huomioon yksittäisien kohteiden järjestelmien säätöjen korjaamiset.

Lopuksi haluan kiittää tarkastusryhmän automaatioasiantuntija Ari Pekosta, opinnäyte-työn aiheesta sekä neuvoista.

Lähteet

1. Automaation kartoitus ja korjaukset 2020. Espoon Tilapalvelut.
Luettu 2.2.2012
2. Energiatehokkuus. Verkkoaineisto. 2018. Euroopan parlamentti.
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fi/sheet/69/energiatehokkuus>.
Luettu 28.1.2021.
3. Hakala, Matias. 2020. Viritettävät rakennusautomaatioprosessit
Lämmönjakopaketin ja ilmanvaihtokoneen viritysohje. insinööriyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähkö- ja automaatiotekniikka.
4. Harju, Pentti. Talotekniikan automaatio, mittaus ja säätö. 2014. Penan
tieto-opus. Luettu 23.1.2021
5. Harju, Pentti. 2009. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Penan tieto-opus. Luettu 13.1.2021
6. Harju, Timo & Marttinen, Arto. Espoo 2001. Säättöpiirin vityksen perusteet.
Control Cad. Espoo. Luettu 12.1.2021.
7. Ilmanvaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry.
<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>. Luettu 14.1.2021.
8. Lämmin koti ja lämmöntalteenotto. Verkkoaineisto. 2017. Sähkölämmitysfoorumi Ry.
<http://www.lamminkoti.fi/index.php?k=17619>. Luettu 14.1.2021.
9. Helen Oy. Lämmitys ja jäähdytys talotekniikassa. Verkkoaineisto.
<https://www.helen.fi/lammitys-ja-jaahdytys/sahkolammitys/talotekniikka>.
Luettu 1.3.2021

10. Motiva Oy. Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila. Verkkoaineisto. 2018. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammityksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila. Luettu 2.2.2021
11. Matinlahden koulun Tarkastusraportti 2020. Espoon Tilapalvelut. Tarkastusryhmä. Ari Pekonen. Luettu 1.3.2021.
12. Oy Danfoss Ab. Mikä on taajuusmuuttaja. Verkkoaineisto. <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>. Luettu 20.1.2021.
13. Optiwatti Oy. Omakotitalon energiatehokkuus – mitä siitä pitäisi tietää? Verkkoaineisto. 2019. <https://www.optiwatti.fi/omakotitalon-energiatehokkuus-mita-siita-pitaisi-tietaa/>. Luettu 1.2.2021
14. Piikkilä, Veijo. Rakennusautomaatiojärjestelmät. ST-käsikirja 17. 2012. Sähkötieto ry.
15. Ympäristöministeriö. Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen. Verkkoaineisto. 2012. <https://docplayer.fi/425757-Rakennusten-automaaation-vaikutus-energiatehokkuuteen.html>. Luettu 25.1.2021.
16. Suomäki, J. Vepsäläinen, S. Talotekniikan automaatio - Käyttäjän opas. 2019. https://www.kiinteistomedia.fi/ContentFiles/tuotteet/Talotekniikan%20automaatio/Talotekniikan%20automaatio_naytesivut.pdf. Luettu 23.2.2021.
17. SähköNet. Sähkö- ja automaatiotekniikan oppimateriaalisivusto. Taajuusmuuttajat ja Emc- suojaus. Verkkoaineisto. 2009. <https://blogit.gra-dia.fi/sahkonet/sahko-ja->

[automaatioasennukset/oppimistehtavat/teollisuuden-sahkoasennukset/moottori-kaytot/taajuusmuuttajat/](#). Luettu 27.1.2021.

18. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Säättöteknikasta. Verkkoaineisto. 2006. http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1_s2006u.htm. Luettu 3.2.2021.
19. Taloon Yhtiöt Oy. Ulkolämpötila-anturi Ouman TMO NTC10. Tekninen opas. https://www.taloon.com/media/attachments/ouman/ulkoanturi_tmo_tekninen_esite.pdf. Luettu 25.1.2021.
20. Produal Oy. Ulkolämpötila-anturi Teu NTC 10. Tekninen opas. 2006. Verkkoaineisto. <https://www.pakmelo.fi/wp-content/uploads/TEUNTC10a.pdf>. Luettu 1.2.2021.